



## Master Thesis

im Rahmen des  
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“  
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für GeoInformatik (Z\_GIS)  
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

# Skitourenplanung auf Knopfdruck?

Die optimale Aufstiegsroute bezüglich Anstrengung  
und Lawinensicherheit, modelliert mit einem  
Geographischen Informationssystem (GIS)

vorgelegt von

**Dipl. Ing. Landschaftsarchitekt FH Andreas Eisenhut**  
UP10590, UNIGIS MSc Jahrgang 2011

Zur Erlangung des Grades  
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:  
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Bern, 2. Juli 2013





*Bei der Beschäftigung mit Wetter, Schnee und Gelände sollte nie vergessen gehen,  
dass im Gelände letztlich ein Verhalten Voraussetzung ist, das schlicht mit  
"von gesundem Menschenverstand geprägt" umschrieben werden kann.*

*Paul Nigg, Bergführer, Kriens*



---

## Vorwort

*Es müsste eine Maschine geben, welche die beste Route berechnet*, dachte ich Anfang der 90er Jahre, als ich mit zwölf Jahren im Kinderbergsteigen des SAC Säntis das erste Mal Hangneigungen aus der Landeskarte 1:25000 gemessen habe.

Die Motivation für diese Arbeit besteht also schon so lange, wie ich selbst Skitouren unternehme. Erst viele Jahre später lernte ich die weite Welt der Geoinformation (GIS) auch in der digitalen Form kennen.

Vor zwei Jahren wurde aus der schlummernden Skitourenidee endgültig eine konkrete Forschungsfrage. Bei meinem Arbeitgeber, der IMPULS AG in Thun, durfte ich damals das Projekt *GIS-Analyse Skitourenrouten nach Risikostufe* ausführen. Dass ich nun in der eigenen Master Thesis privates und berufliches Herzblut mit viel Freiraum und Unterstützung miteinander verknüpfen konnte, hat grossen Spass gemacht.

Ein herzliches Merci geht an

- Mägie – für die Energie und den entscheidenden Kick bis zum Abschluss,
- Hans-Heini für das Bergführer-Fundament und die fachliche Begleitung,
- Chrigel für den L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X-Support,
- Ädu, Anja, Heidi, Raymond und Simone für die Gegenlese und den Schlusssupport,
- alle 72 Umfrageteilnehmer für die kernigen Feedbacks,
- alle Skitourengspänli der Jahre 1991 bis 2013 für die vielen tollen Erlebnisse.

Nun ist dieses virtuelle Baby geboren, und in zwei Monaten kommt das Richtige! Höchste Zeit also, nach so viel GIS wieder *zurück zu Feld eins* zu gehen.

Und im nächsten Winter? Skitouren in der realen Welt werden auch für frisch gebackene Väter ganz neue Dimensionen erhalten.

## Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit

“Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden sind entsprechend gekennzeichnet.”

Andreas Eisenhut, Bern, 2. Juli 2013

---

## Kurzfassung

In dieser Master Thesis wird in experimenteller Herangehensweise ein neues GIS-Berechnungsmodell entwickelt, welches die optimale Aufstiegsroute für eine beliebige Skitour erstellt und bewertet. Es müssen dafür nur Start und Ziel der Skitour bekannt sein. Mit der optimalen Aufstiegsroute ist die *Bleistiftlinie* gemeint, wie sie in der traditionellen Skitourenplanung mit Hilfe von Lawinenbulletin, Skitourenführer und weiteren Planungshilfen auf die Landeskarte 1:25000 übertragen wird.

Im Literaturteil der Arbeit werden als Fundament für das GIS-Projekt die aktuelle Skitourenplanungspraxis und GIS-Arbeiten zu dieser Thematik zusammengetragen.

Dem GIS-Berechnungsmodell liegen das neue Terrainmodell und Topografische Landschaftsmodell des Bundesamtes für Landestopografie (swisstopo) zugrunde. Das Terrainmodell ist seit März 2013 flächendeckend für die ganze Schweiz in einer neuen Qualität verfügbar. Anhand von acht Skitouren in einem Testgebiet wird das Potenzial dieser neuen GIS-Daten für die Skitourenplanung ausgelotet.

In der Entwicklung des Berechnungsmodells wird in einem ersten Schritt die kraftsparendste Aufstiegsroute definiert und mit dem Konzept der *Verbindungsentfernung (Path Distance)* hergeleitet. In einem zweiten Schritt kommt die Lawinengefahr ins Spiel. Dabei fliesst das Lawinenrisiko aus der *Grafischen Reduktionsmethode (GRM)* für die Lawinengefahrenstufen *gering*, *mässig* und *erheblich* in das Berechnungsmodell mit ein. Es werden sowohl der *gefährdete Hangbereich* als auch die *Schutzwirkung des Waldes* mit berücksichtigt.

Die optimale Aufstiegsroute wird folglich als kraftsparendste Linie und als lawinensichere Linie erstellt. Ergänzend zu diesen Linien zeigt eine modellierte Korridorfläche diejenigen Geländebereiche, welche unter ähnlichen Bedingungen wie die Aufstiegsrouten begehbar sind. Das Modell bewertet zudem jeden Routenabschnitt der Aufstiegsrouten und der Korridorfläche bezüglich Lawinensicherheit, Anstrengung, Exposition und Höhenlage, sodass die Schlüsselstellen einer Skitour sichtbar gemacht werden können.

Schliesslich werden in einem letzten Teil alle Modellierungen präsentiert und mit den Skitourenrouten des Schweizer Alpen-Club SAC sowie einer eigenen Begehung verglichen. Zusätzlich überprüfen Skitourengehänger unterschiedlicher Niveaus (Anfänger bis Bergführer) die Ergebnisse in einer Umfrage hinsichtlich Qualität und Praxistauglichkeit.

Die Ergebnisse zeigen, dass die neuen Daten der swisstopo bei sorgfältiger Aufbereitung einen Gewinn für die Skitourenplanung darstellen. Es wird sichtbar, dass die in der Schweiz bewährten Planungshilfen *Beurteilungs- und Entscheidungsrahmen 3x3* und *Grafische Reduktionsmethode GRM* dank GIS noch einfacher angewendet werden können, insbesondere vor einer Tour bei der Planung zu Hause. Das individuelle Kartenstudium darf dabei nicht ersetzt, sondern soll unterstützt, erleichtert und auch für Anfänger besser greifbar werden.

Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass GIS-Auswertungen trotz verbesserter Datengrundlage stets klare Grenzen aufweisen werden und lediglich als Planungshinweise dienen. Insbesondere tagesaktuelle Verhältnisse wie *frischer Tribschnee* oder *kritische Neuschneemenge* und der gesamte *Faktor Mensch* des *3x3* lassen sich mit GIS kaum berücksichtigen. Genau diese Aspekte sind aber für viele Beurteilungen vor und während der Tour entscheidend. Wahrnehmen, denken und entscheiden muss also auch in Zukunft noch jeder selbst.

Schlüsselwörter:

Skitouren, GIS, Path Distance, Tourenplanung 3x3, Grafische Reduktionsmethode GRM

---

## Abstract

Planning ski touring hikes at the touch of a button?

The optimal ascent route, concerning physical effort and avalanche risk, modelled by a Geographic information system (GIS)

In the present master thesis, a new GIS-calculation model is developed by using an experimental method. The developed GIS-calculation model can be applied to plan and to evaluate the optimal ascent route for any ski touring route by using only the starting and the arrival point. The term *the optimal ascent route* complies with the pencil line which is drawn in the *National Map 1:25'000* as the result of the traditional ski touring planning consulting the national avalanche bulletin, ski touring guide books and other planning aids.

In the literal part of the thesis, the current ski touring planning methods and the existing GIS-studies are assembled as a base for the GIS-project.

The new digital elevation model and topographical landscape model of the Federal Office of Topography (swisstopo) provide the basis for the calculation model developed in the present thesis. The digital elevation model is available area-wide for the whole country of Switzerland in a new quality since March 2013. Using eight ski touring hikes in a certain test area, the potential of these new GIS-dates for planning ski touring hikes is reviewed.

As a first move to develop the calculation model, the most physical effort-saving route is defined and implemented by using the concept of *Path Distance*. As a second move, the avalanche danger has to be considered whereas the avalanche risk resulting from the *Graphical Reduction Method GRM* for the avalanche danger degrees *low*, *moderate* and *considerable* are integrated in the calculation model. For this purpose, the considered area of the slope and the protective effects of forests are incorporated.

Thus, the calculation model plans the optimal ascent route as the best route concerning saving physical effort and providing the best avalanche security. In addition to this best route, a modelled corridor represents the area, which can be used for the ascent under similar conditions like the optimal ascent route. Furthermore, the model judges every part of the optimal route and the corridor concerning avalanche risk, physical effort and altitude. In doing so, the cruces of a certain ski touring hike can be visualised.

Finally, in the last part of the thesis, all modelling which have been conducted are presented and compared with the ski touring routes proposed by the SAC (National Alpinism Club of Switzerland) and with the route chosen and done by the author of this thesis. In addition, mountain guides, ski touring guides and ski touring beginners evaluate the results of the model concerning quality and practicability in a survey.

All these results reveal that the new data of the Federal Office of Topography (swisstopo) are beneficial for the planning of ski touring hikes if they are prepared carefully. Furthermore, it becomes apparent that often used and established planning aids in Switzerland like the *Assessment and Decision Framework 3x3* or the *Graphical Reduction Method GRM* can be applied even more easily using the GIS especially for the planning at home.

In contrast, the results show also that assessments by using GIS will always have a certain limit even though if the data base is much more better. Thus, assessments by using GIS will remain planning aids. Especially, the specific daily conditions such as *new wind loading* or a *critical new snow depth* and all the *human factors* which are included in the method *Assessment and Decision Framework 3x3* can not be taken into account by applying GIS. But exactly these daily circumstances are crucial for a lot of judgments before and during a ski

---

touring hike. Thus, thinking and decision making won't be replaced by any planning aids - everyone will still do that individually.

Keywords:

ski touring, GIS, Path Distance, Assessment and Decision Framework 3x3,  
Graphical Reduction Method GRM

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>III</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>IV</b>
<b>Abstract</b>	<b>V</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>X</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XII</b>
<b>Abkürzungen</b>	<b>XIII</b>
<b>I Einleitung</b>	<b>1</b>
1 Motivation	1
2 Fragestellung	3
3 Ziele	4
4 Anspruch und Abgrenzung	4
4.1 Testgebiet . . . . .	5
4.2 Publikum . . . . .	5
4.3 Werkzeuge und Methoden . . . . .	6
4.4 Nicht behandelte Themen . . . . .	6
5 Herangehensweise und Gliederung	8
6 Erwartete Ergebnisse	9
<b>II Aktuelle Praxis und Literaturüberblick</b>	<b>11</b>
7 Definition der wichtigsten Skitouren- und Lawinenbegriffe	11
8 Allgemein akzeptierter Lawinenkunde-Konsens	12
8.1 Kurzer Blick auf die Entwicklung der Lawinenkunde in der Schweiz . . . . .	13
8.2 Lawinen-Gefahrenprävention, Lawinenlagebericht (Bulletin) . . . . .	14
8.3 Kernausbildungsteam Lawinenprävention Schneesport (KAT) . . . . .	15
9 Traditionelle Skitourenplanung	15
9.1 3x3 Tourenplanung, Grundschrte einer Tourenplanung . . . . .	16
9.2 Skitourenführer, Karten und Messinstrumente . . . . .	17
9.3 Grafische Reduktionsmethode GRM . . . . .	20
9.4 Typische Lawinenprobleme (Muster) . . . . .	24
9.5 Aufstieg mit Skis, Spuranlage . . . . .	25

---

9.6	Entscheiden im Einzelhang . . . . .	26
9.7	Handlungsspielraum von Anfängern und Experten . . . . .	26
<b>10</b>	<b>Computergestützte Skitourenplanung</b>	<b>28</b>
10.1	Kleiner GIS-Einstieg für Skitourenplaner . . . . .	28
10.2	Digitales Kartenmaterial . . . . .	29
10.3	Tourenplanungsplattformen, nützliche Internet-Informationsquellen . . . . .	32
10.4	Mobile Anwendungen (GPS und Smartphone) . . . . .	37
<b>11</b>	<b>Bisherige GIS-Arbeiten</b>	<b>39</b>
11.1	Abbildung der Lawinengefahr im Gelände . . . . .	39
11.2	Vertiefte GIS-Analysen zu Detailfragen der Thematik . . . . .	41
11.3	Naturgefahren-Hinweiskarten und Lawinenkataster . . . . .	42
11.4	Die Grenzen von GIS in dieser Thematik . . . . .	43
<b>12</b>	<b>Fazit: Status quo Skitourenplanung in der Schweiz</b>	<b>45</b>
<b>III</b>	<b>Eigenes Projekt</b>	<b>47</b>
<b>13</b>	<b>Theorieansatz</b>	<b>47</b>
13.1	Experimentelle Herangehensweise und Grundidee . . . . .	47
13.2	Definition kraftsparendste und lawinensicherste Aufstiegsroute . . . . .	48
13.3	Konzept der Verbindungsentfernung (Path-Distance) . . . . .	49
<b>14</b>	<b>Datengrundlage</b>	<b>52</b>
14.1	Digitales Geländemodell . . . . .	52
14.2	Topografisches Landschaftsmodell . . . . .	54
14.3	Wahl des Testgebiets . . . . .	55
14.4	Skitourenrouten als Referenz . . . . .	55
14.5	Weitere Datengrundlagen . . . . .	56
<b>15</b>	<b>Gesamtübersicht Berechnungsschritte</b>	<b>57</b>
<b>16</b>	<b>Berechnungsmodell Anstrengung, Begehbarkeit</b>	<b>58</b>
16.1	Hangneigungsstufen und Geländeformen . . . . .	58
16.2	Bodenbedeckung, Strassen und Wege . . . . .	59
16.3	Zusammenfassende Beurteilungsmatrix . . . . .	62
<b>17</b>	<b>Berechnungsmodell Lawinenrisiko</b>	<b>64</b>
17.1	Hinweiskarten <i>gering</i> und <i>mässig</i> . . . . .	64
17.2	Hinweiskarte <i>erheblich</i> . . . . .	64
17.3	Einfluss des Waldes auf das Lawinenrisiko . . . . .	66
17.4	Gesamtüberblick Hinweiskarten Lawinenrisiko . . . . .	67

---

<b>18 Berechnungsmodell Aufstiegsrouten</b>	<b>68</b>
18.1 Kostenoberflächen Anstrengung und Lawinensicherheit . . . . .	68
18.2 Oberflächenraster und vertikaler Faktor . . . . .	70
18.3 Distanzberechnung, kostengünstigster Pfad, Korridor . . . . .	71
<b>19 Berechnungsmodell Routenbewertung</b>	<b>73</b>
19.1 Zusammensetzung der Bewertungsebene . . . . .	73
19.2 Darstellung der Auswertungen . . . . .	74
<b>20 Nicht ausgeführte Detaillierungsschritte</b>	<b>75</b>
<b>21 Überprüfung der Berechnungsmodelle</b>	<b>77</b>
21.1 Eigene Geländebegehung, Besteigung der Männliflue . . . . .	77
21.2 Online-Umfrage, Austausch mit Skitourengängern . . . . .	78
<b>IV Auswertungen</b>	<b>79</b>
<b>22 Ergebnisse im Vergleich mit den SAC-Skitourenrouten</b>	<b>79</b>
<b>23 Ergebnisse im Vergleich mit der Begehung der Männliflue</b>	<b>80</b>
<b>24 Ergebnisse der Online-Umfrage</b>	<b>81</b>
24.1 Echo kraftsparendste Aufstiegsroute . . . . .	82
24.2 Echo lawinensicherste Aufstiegsroute (defensive Routenwahl) . . . . .	85
24.3 Echo Praxistauglichkeit . . . . .	87
<b>25 Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>89</b>
25.1 Genauigkeit der Aufstiegsrouten . . . . .	89
25.2 Abgrenzung Hang bei erheblich und Darstellung Lawinenrisiko . . . . .	94
25.3 Anforderungen an Wunsch-Tourenplanungsplattform. . . . .	98
<b>26 Zusammenfassung</b>	<b>100</b>
<b>27 Schlussfolgerungen und Ausblick</b>	<b>102</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>105</b>
<b>V Anhang</b>	<b>109</b>
Beispiel-Tourenbeschriebe aus SAC-Skitourenführer . . . . .	109
Gesamtübersicht Online-Umfrage . . . . .	109
Übersicht Testgebiet mit Modellierungsergebnissen (Karte 8) . . . . .	109
Verwendete GIS-Werkzeuge . . . . .	109
Entwickelte GIS-Berechnungsmodelle . . . . .	109

---

## Abbildungsverzeichnis

1	“Frischer Pulver - Nichts wie raus! Aber jetzt ist es doch lawinengefährlich!” Sodweidli bei Lenk (600 025 / 149 060) am 13. Februar 2013. . . . .	1
2	Optimale Aufstiegsroute mit Varianten und Schlüsselstellen, mit dem Bleistift auf die Landeskarte 1:25000 eingezeichnet. Quelle: Eigene Abb. aus [43], [49] und [46]. . . . .	3
3	Lage Testgebiet (rot) und mögliches Anwendungsgebiet (ganze Schweiz, gelb). .	4
4	Übersicht Testgebiet mit Haupt-Testskitour (rot) und weiteren Testtouren (gelb). Quelle: Eigene Abb. aus [44] und [47]. . . . .	5
5	Nicht behandelt: Wächtenbruch, Spaltensturz, Absturz, optimale Abfahrtsrou- te. Quelle: Eigene Abb. ergänzt mit [14, S. 12]. . . . .	7
6	Grober Aufbau der Arbeit. Dunkle Pfeile zeigen Gliederung, helle Pfeile illus- trieren Diskussion. Quelle: Eigene Abb. aus [35] und [46]. . . . .	8
7	Wie praxisnah lässt sich die <i>optimale Aufstiegsroute</i> mit GIS berechnen? Quelle: Eigene Abb. aus [37], [17] und [51]. . . . .	9
8	Werner Munter. Quelle: [32] . . . . .	13
9	SAC-Skitourenkarte aus dem Jahr 1922 auf der Grundlage der Siegfriedkarte. Quelle: [48]. . . . .	17
10	Freeride Map Lötschental mit befahrbaren Korridoren nach Schwierigkeitsgra- den. Quelle: [15]. . . . .	19
11	Grafische Reduktionsmethode (GRM). Quelle: [17]. . . . .	20
12	Hilfsmittel <i>Check Tourenplanung</i> im Taschenformat für die Tourenplanung zu Hause. Quelle: [4] und [53]. . . . .	21
13	Der <i>ganze Hang</i> bei <i>erheblich</i> . Quellen: [29], [18] und [51]. . . . .	22
14	Spuranlage, ein Zusammenspiel von Sicherheit und Komfort. Quelle: [14] und [28].	25
15	Lawinenrisiko abschätzen vor dem Einzelhang - Definitiver Entscheid. Quelle: [17].	26
16	Faktoren und Beurteilungshilfen für den Umgang mit dem Lawinenrisiko für Einsteiger und Fortgeschrittene. Quelle: [18, S. 157]. . . . .	27
17	GIS-Beispiel einfach dargestellt. Quelle: Eigene Abb. aus [43], [49] und Projek- tergebnissen. . . . .	28
18	Vergleich digitale Karten: a. Hangneigungsklassen mapplus [49], b. Hangnei- gungsklassen ab swissALTI3D10m [44], c. SAC-Skitourenkarte mit roten Steil- hängen [43], d. Winterkarte <a href="http://www.gps-tracks.com">www.gps-tracks.com</a> , e. Winterkarte sowie f. Google- Geländekarte mit Hangneigungen von <a href="http://www.outdooractive.com">www.outdooractive.com</a> . . . . .	31
19	Interaktive Funktionen mit Geoportal CH [46] und SwissMap Online [43]. . . .	32
20	SLF Projekt <i>Tourenplanungsportal snowsense</i> , erscheint voraussichtlich im De- zember 2013 innerhalb der Aktualisierung von <i>White Risk</i> . Quelle: [36]. . . . .	33
21	Atlas der Schweiz 3. Quelle: [42]. . . . .	35
22	Smartphone-Anwendungen White Risk Mobile [38] (oben) und Ortovox [30] (unten). . . . .	38
23	Darstellung durchschnittliche Bulletinsituation für Beispielregion und Bewer- tung der SAC-Skitourenrouten bezüglich GRM-Lawinenrisiko. Quelle: [50]. . . .	40
24	Lawinen-Ereigniskataster und Naturgefahrenkarte Lawine mit modellierten Ge- fahrenhinweisen ausserhalb der Siedlungsgebiete (braun). Quelle: [1]. . . . .	43
25	Grundidee: Die optimale Aufstiegsroute (grün) ist so <i>kraftsparend</i> wie möglich.	47

---

26	Grundlegende Begriffe des Konzepts der <i>Verbindungsentfernung</i> , übertragen auf ein Höhenprofil einer Skitourenroute. . . . .	50
27	Vergleich swisstopo-Geländemodelle swissALTI3D10m und DHM25. . . . .	53
28	Topografisches Landschaftsmodell (swissTLM3D) der swisstopo. . . . .	54
29	Referenzrouten der Skitour vom Fildrich auf die Männliflue. . . . .	56
30	Schematische Gesamtübersicht aller Berechnungen mit Eingangsdaten (blau), Zwischenresultaten (grün), Werkzeugen (rot) und Ergebnissen (gelb). . . . .	57
31	Relevante Hangneigungsstufen und Geländeformen bezüglich Anstrengung. . . . .	59
32	Aufbereitung der einzelnen Bodenbedeckungsthemen und Verortung der Fotos <i>a</i> und <i>b</i> . . . . .	61
33	Modell <i>ganzer Hang bei erheblich</i> . . . . .	65
34	Waldeinfluss bei definierter erheblicher Lawinengefahr. . . . .	66
35	Darstellung GRM-Lawinenrisiko für <i>geringe, mässige und erhebliche Lawinengefahr</i> . . . . .	67
36	Vergleich Kostenoberflächen Anstrengung und Lawinensicherheit. . . . .	69
37	Spitzkehren auf den letzten Metern zur Männliflue. Lassen sich diese angemessen modellieren? . . . . .	70
38	Distanzoberfläche und kostengünstigster Pfad. . . . .	71
39	Korridor mit annähernd gleichen Aufstiegsbedingungen. . . . .	72
40	Zusammensetzung der Bewertungsebene. . . . .	73
41	Visualisierungsbeispiel Aufstiegsrouten Männliflue, betrachtet vom Rauflihore (603 370 / 153 500). . . . .	74
42	Perfekte Abfahrtsbedingungen am 24. April 2013 um 10.45 Uhr (608 090 / 155 100). . . . .	77
43	Vergleich aller Modellierungen (Aufstiegsrouten und Korridore) mit den SAC-Skitourenrouten der LK 1:50000 [41]. . . . .	79
44	Vergleich der modellierten <i>kraftsparendsten und lawinensichersten Aufstiegsroute</i> und des <i>Korridors</i> mit der eigenen Begehung der Männliflue und weiteren Referenzrouten. . . . .	80
45	Teilnehmer Online-Umfrage aufgeteilt nach Erfahrung und Gebietskenntnis. . . . .	81
46	Rückmeldungen zur Beurteilungsmatrix, Kartenausschnitt der Anstrengungs-Oberfläche. . . . .	82
47	Rückmeldungen zur Linienführung und Bewertung der Aufstiegsrouten. . . . .	84
48	Rückmeldungen zur GRM-Nutzung, zur Abgrenzung <i>Hang bei erheblich</i> , zur Genauigkeit der Hinweiskarten und zum Waldeinfluss auf das Lawinenrisiko. . . . .	85
49	Digitale Tourenplanungswerkzeuge: Aktuelle Nutzung und grundsätzliches Echo zu neuen Werkzeugen. . . . .	87
50	Echo zu konkreten neuen Werkzeugideen. . . . .	88
51	Reflexion Anstrengungsoberfläche, Bodenbedeckung. . . . .	90
52	Reflexion Hangneigungen, Gipfelhang. . . . .	91
53	Reflexion Schlüsselstellen, Routenverlauf. . . . .	92
54	Darstellung Lawinenauslösewahrscheinlichkeit für Gefahrenstufe <i>erheblich</i> und beobachtete Lawinenkegel aus Gefahrenstufe <i>gross</i> . . . . .	95
55	Darstellungsvorschlag <i>Hinweiskarte Lawinenrisiko für Skitourenplanung</i> : Je nach Gefahrenstellen des Lawinenbulletins sind für Anfänger bei <i>erheblich</i> bereits <i>mässig steile</i> oder <i>steile</i> Hänge tabu. . . . .	96

---

56	“In dieser Genauigkeit kann keine Software eine Skitourenroute berechnen - und das ist auch gut so!”. Höll bei Hinterrhein (728 130 / 150 840) . . . . .	103
57	Virtueller und realer Ausblick vom Gipfel der Männliflue Richtung Osten. Quelle: Eigene Abb. aus <a href="http://www.peakfinder.org">www.peakfinder.org</a> . . . . .	104

**Quellen** Wenn nicht vermerkt, dann eigene Abbildung. Alle Fotos vom Autor, mit Ausnahme von Abb. 17 und 41 (beide A. Schneiter).

## Tabellenverzeichnis

1	Definition Geländeformen. Konvexe Formen links und konkave Formen rechts. Quelle: [7]. . . . .	11
2	Definition wichtigste Begriffe. Quellen: Siehe Tabelleninhalt. . . . .	12
3	Europäische Lawinengefahrenskala mit Bemerkungen zur Schneedeckenstabilität und Lawinen-Auslösewahrscheinlichkeit. Quelle: [34]. . . . .	14
4	Beurteilungs- und Entscheidungsrahmen 3x3, mit GIS bearbeitbare Kriterien (gelb, vgl. Kapitel 25.3). Quelle: Eigene Abb. aus [51, S. 33] und [17]. . . . .	16
5	SAC-Schwierigkeitsskala für Skitouren. Quelle: [2, S. 21]. . . . .	18
6	Munters elementare Reduktionsmethode (ERM). Quelle [24, S. 56] . . . . .	20
7	Typische Lawinensituationen - die vier Muster. Quelle: Eigene Abb. aus [4] und [17]. . . . .	24
8	Sammlung nützliche Internetlinks zu diversen Tourenplanungskriterien. Quellen: [51, S. 90], [18, S. 151], [40] und Online-Umfrage (vgl. Kapitel 21.2), Zugriff Mai 2013. . . . .	36
9	Pro und Contra zur Darstellung des Lawinenrisikos für Skitourengänger auf einer Karte. Quellen: [50] und viele Gespräche. . . . .	44
10	Zusammenfassung <i>Status quo Skitourenplanung</i> im Hinblick auf die eigene Arbeit. Quellen: Siehe Tabelleninhalt. . . . .	46
11	Matrix zur Bewertung der Anstrengungsoberfläche. . . . .	63
12	Ideen für Weiterentwicklungen. . . . .	76
13	Aufbau und Inhalt der Online-Umfrage. . . . .	78
14	Themenzusammentrag für die <i>Wunsch-Tourenplanungsplattform</i> . Quellen: siehe Tabelleninhalt. . . . .	99

**Quellen** Wenn nicht vermerkt, dann eigene Tabelle.

---

## Abkürzungen

Begriff	Bedeutung
BAFU	Bundesamt für Umwelt (Schweiz)
bfu	Beratungsstelle für Unfallverhütung (Schweiz)
GeoportalCH	Geoportal des Bundes ( <a href="http://map.admin.ch">http://map.admin.ch</a> , Schweiz)
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System
3x3	Beurteilungs- und Entscheidungsrahmen für die Tourenplanung
GRM	Grafische Reduktionsmethode
J+S	Jugend+Sport (Schweiz)
KAT	Kern-Ausbildungsteam Lawinenprävention und Schneesport (Schweiz)
OSM	OpenStreetMap, die freie Wiki-Weltkarte ( <a href="http://www.osm.org">www.osm.org</a> )
SAC	Schweizer Alpen-Club
slf	WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (Schweiz)
swisstopo	Bundesamt für Landestopografie (Schweiz)



---

## Teil I

# Einleitung

## 1 Motivation

Endlich frischer Pulverschnee und schönes Wetter am nächsten Wochenende! Die Lust auf neue Skitourenenerlebnisse ist geweckt und es stehen sofort die ersten Fragen im Raum:

*Wo gehen wir hin? Welche Skitour ist bei diesen Bedingungen überhaupt möglich? Ist es jetzt nicht überall lawinengefährlich? Gibt es für die gewünschte Tour Alternativen und Varianten?*



Abbildung 1: "Frischer Pulver - Nichts wie raus! Aber jetzt ist es doch lawinengefährlich!?" Sodweidli bei Lenk (600 025 / 149 060) am 13. Februar 2013.

Der erfahrene Skitourengänger<sup>1</sup> startet seine Tour nicht nur *leicht fröstelnd*<sup>2</sup>, sondern betreibt auch eine seriöse Tourenplanung, von der Grobplanung zu Hause über eigene Beobachtungen der tatsächlichen Verhältnisse während der Tour bis zum definitiven Entscheid über den weiteren Tourenverlauf vor einem Einzelhang. In der Schweiz hat sich als Hilfe dafür der

---

<sup>1</sup>In dieser Arbeit wird die männliche Form für beide Geschlechter verwendet.

<sup>2</sup>Mündliche Überlieferung einer alten Bergsteigerweisheit.

*Beurteilungs- und Entscheidungsrahmen 3x3* (Kurz3x3) von Werner Munter [25] über Jahre bewährt und weiterentwickelt. Dieser wird auch in den aktuellsten Lehrbüchern zur Lawinenkunde des WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) [18] und der bergpunkt ag [51] aufgegriffen und verfeinert. Das 3x3 wird im Kapitel 9.1 noch genauer erläutert. Als grobes Werkzeug zur Beurteilung des Lawinenrisikos wird in der Schweiz innerhalb des 3x3 die *Grafische Reduktionsmethode (GRM)* (vgl. Kapitel 9.3) verwendet.

Welchen Beitrag an die Tourenplanung kann diese Arbeit leisten? In der Welt der Geoinformation (GIS) lassen ständig verbesserte digitale Daten und Softwarewerkzeuge immer neue Analysearbeiten und Anwendungsmöglichkeiten zu. Im März 2013 beispielsweise hat das Bundesamt für Landestopographie (swisstopo) die Flächendeckung ihres hochauflösenden digitalen Geländemodells abgeschlossen [45] (vgl. Kapitel 14.1).

*Die Motivation besteht nun darin, das Potenzial von solchen GIS-Daten und heutigen Softwarewerkzeugen für die Skitourenplanung ganz konkret aufzuzeigen und auszuloten.*

Es soll sichtbar werden, in welcher Weise 3x3 und GRM dank GIS noch einfacher angewendet werden können, insbesondere vor einer Tour bei der Planung zu Hause. Das individuelle Kartenstudium darf dabei nicht ersetzt, sondern soll unterstützt, erleichtert und auch für Anfänger besser greifbar werden.

Die GIS-Berechnungen in dieser Arbeit haben einen ausgeprägten experimentellen Charakter und bauen auf eigenen Skitourenenerfahrungen auf. Das Literaturstudium im Teil II trägt die Grundlage dafür kompakt zusammen, stellt die zentralen Debatten der heutigen Skitourenplanung dar und führt bestehende GIS-Arbeiten auf.

Bei dieser Ausgangslage ist der Bezug zur Praxis sehr wichtig. Gespräche mit Bergführern und Skitourenleitern aus dem persönlichen Umfeld, eine Online-Umfrage sowie die eigene Begehung einer Testskitour (vgl. Abb. 4) bilden die Basis für die Evaluation der Ergebnisse (vgl. Kapitel 21.2). Dabei wird eine möglichst hohe Akzeptanz und Praxistauglichkeit angestrebt. Die zwei Welten *Skitouren* und *GIS* sollen näher zusammenrücken, die Entstehung der Ergebnisse auch für Tourengänger ohne GIS-Erfahrung nachvollziehbar sein.

In der Master Thesis eines GIS-Anwendungsstudiums darf *der Bogen auch etwas fest gespannt* werden. Das heisst konkret, dass auch Ergebnisse gezeigt werden sollen, welche in Fachkreisen umstritten sind. Auf diese Weise lässt sich das Potenzial von GIS-Werkzeugen für die Skitourenplanung noch stärker ausloten, die Reaktionen zu den Ergebnissen fallen deutlicher aus.

---

## 2 Fragestellung

Die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit lautet:

- Lässt sich die "optimale Aufstiegsroute" einer beliebigen Skitour mit dem Computer automatisch erzeugen, wenn nur Start und Ziel der Skitour bekannt sind?

Mit der *optimalen Aufstiegsroute* ist die *Bleistiftlinie* gemeint, wie sie in der traditionellen Skitourenplanung (vgl. Abb. 2 und Kapitel 9) mit Hilfe von Lawinenbulletin, Skitourenführer und weiteren Planungshilfen auf die Landeskarte 1:25000 übertragen wird. Bei *geringer Lawinengefahr* (vgl. Tabelle 3) zeigt diese Bleistiftlinie den Routenverlauf mit der erwarteten kleinsten Anstrengung. Mit zunehmender Lawinengefahr wird das Lawinenrisiko mit berücksichtigt und auf Kosten der Anstrengung eine möglichst defensive Routenwahl eingezeichnet. Die optimale Aufstiegsroute wird im Kapitel 13.2 präzisiert.



Abbildung 2: Optimale Aufstiegsroute mit Varianten und Schlüsselstellen, mit dem Bleistift auf die Landeskarte 1:25000 eingezeichnet. Quelle: Eigene Abb. aus [43], [49] und [46].

Die zentrale Forschungsfrage wirft zwei weitergehende Fragen auf:

- Qualität der Ergebnisse: Wie werden die Ergebnisse von Bergführern, Skitourenleitern und Skitouren-Anfängern beurteilt?
- Praxisrelevanz: Sehen Skitourengehänger in solchen digitalen Produkten einen Nutzen für die Tourenplanung?

### 3 Ziele

Ausgehend von der zentralen Forschungsfrage und den zwei weitergehenden Fragen werden in dieser Arbeit aus GIS-technischer Sicht folgende Ziele verfolgt:

- Entwickeln eines *GIS-Berechnungsmodells*, welches die kraftsparendste und lawinensicherste Aufstiegsroute für eine beliebige Skitour erstellt und bewertet (vgl. Definitionen in Kapitel 13.2).
- Überprüfen der GIS-Resultate auf drei verschiedenen Ebenen: Durch den Vergleich mit den SAC-Skitourenrouten (vgl. Kapitel 9.2), durch die eigene Begehung einer Testskitour (vgl. Kapitel 21.1) sowie durch Skitourenzügler mittels einer Online-Umfrage (vgl. Kapitel 21.2).

### 4 Anspruch und Abgrenzung

Die Arbeit konzentriert sich auf die Entwicklung eines *GIS-Berechnungsmodells* und nicht auf ein mögliches darauf aufbauendes Produkt wie z. B. einer neuen digitalen Routensammlung. Das Modell soll dank den verwendeten Grundlagendaten (vgl. Kapitel 14 und Abb.3) schweizweit anwendbar sein. In anderen Ländern wäre eine Anwendung ebenfalls möglich, sofern Datengrundlagen in ähnlicher Qualität verfügbar sind.



Abbildung 3: Lage Testgebiet (rot) und mögliches Anwendungsgebiet (ganze Schweiz, gelb).

Die Entwicklung des Modells erfolgt unabhängig und wird nicht von anderen Interessen gelenkt und beeinflusst. Der Schweizer Alpen Club (SAC), das SLF oder eine andere Organisation wurde bezüglich fachlicher Begleitung nicht angefragt. Mitarbeiter dieser Organisationen haben jedoch an der Umfrage (vgl. Kapitel 21.2) teilgenommen.

## 4.1 Testgebiet

Erarbeitet wird das Modell in einem Testgebiet, welches in Abbildung 3 verortet und in Abbildung 4 mit den Test-Skitouren dargestellt ist.

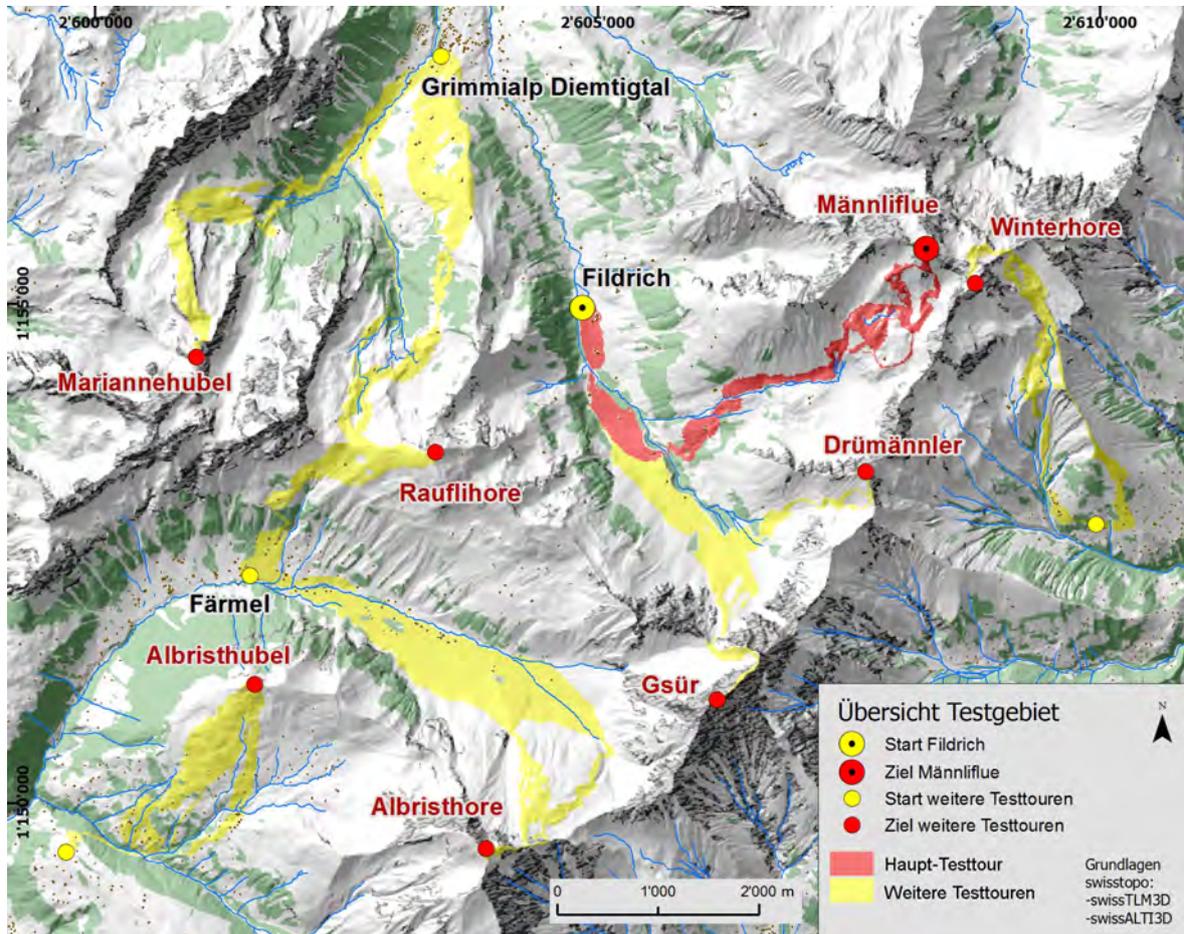


Abbildung 4: Übersicht Testgebiet mit Haupt-Testskitour (rot) und weiteren Testtouren (gelb).  
Quelle: Eigene Abb. aus [44] und [47].

Die Skitour vom Fildrich auf die Männliflue (vgl. Skitourenbeschreibung im Anhang Teil V) dient als Haupt-Testskitour. Acht weitere Aufstiegsrouten auf umliegende Gipfel (in Abbildung 4 gelb dargestellt) werden ebenfalls berechnet. Die Kriterien zur Wahl des Testgebiets und der Haupt-Testskitour sind im Kapitel 14.3 beschrieben.

## 4.2 Publikum

Die Arbeit ist in erster Linie für alle skitourenbegeisterten Personen geschrieben. Vorgehensweise und Produkte sollen also auch für GIS-Laien nachvollziehbar und beurteilbar sein. Die detaillierten Erläuterungen aller Arbeitsschritte des eigenen GIS-Projekts im Teil III und insbesondere die nicht ausgeführten Detaillierungsschritte (vgl. Kapitel 20) sind für GIS-Sachbearbeiter geschrieben und entsprechend einem kleineren Publikum zugänglich. Für GIS-Laien werden Geographische Informationssysteme im Kapitel 10.1 eingeführt.

### 4.3 Werkzeuge und Methoden

Als GIS-Software wird *ESRI ArcGIS Desktop Version 10.0*<sup>3</sup> verwendet. Es kommen Standardwerkzeuge sowie die Erweiterung *ArcGIS Spatial Analyst* zum Einsatz [13]. Sämtliche Berechnungsschritte sind im *ArcGIS ModelBuilder* umgesetzt und dokumentiert.

Die Modellierung der *optimalen Aufstiegsroute* erfolgt aufbauend auf dem Konzept der *Verbindungsentfernung*, welche im Kapitel 13.3 genau erläutert wird. Die Gründe für diese Wahl sind folgende:

- Der Autor kann auf sechs Jahre Berufserfahrung in der Anwendung von *ESRI ArcGIS Desktop* zurückblicken und es bestehen schon grundlegende Erfahrungen in der Umsetzung des gewählten Konzepts.
- Das im Kapitel 14.1 beschriebene Geländemodell, welches als Grundlage für die Modellierung verwendet wird, wird von der swisstopo als Raster-Datensatz<sup>4</sup> aufbereitet. Die Umwandlung in ein anderes Modellformat (z.B. in ein *Triangulated irregular Network TIN*<sup>5</sup>) als Basis für eine andere Methode hätte Informationsverluste zur Folge.

### 4.4 Nicht behandelte Themen

In der Fragestellung im Kapitel 2 ist das Thema dieser Arbeit bereits deutlich eingegrenzt, es handelt sich um die Modellierung der kraftsparendsten und lawinensichersten Aufstiegsroute für eine beliebige Skitour.

Die nachfolgenden Aspekte werden nicht oder nur sehr oberflächlich behandelt. In einer kurzen Erläuterung ist aufgeführt, warum dies der Fall ist.

**Lawinengefahr *gross* und *sehr gross*** Behandelt werden die Lawinengefahrenstufen *gering*, *mässig* und *erheblich* (vgl. Kapitel 8.2). Die Gefahrenstufen *gross* und *sehr gross* fließen nicht in die Berechnungen ein, weil die allermeisten Skitouren dann prinzipiell nicht mehr begehbar sind und eine plausible flächige Abbildung des Lawinenrisikos bei diesen Gefahrenstufen den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde oder gar nicht möglich ist (vgl. Kapitel 11.3). Ab *grosser* Lawinengefahr ist es für die meisten Skitouren nicht mehr angebracht, Lawinenrisiken abzuwägen, sie sind so oder so zu gross.

**Vertiefte Auseinandersetzung mit Lawinenmodellierungen** Im Kapitel 11.2 werden Lawinen-Simulationsmodelle kurz erwähnt, wie sie in der aktuellen Praxis in vielen Projekten eingesetzt werden. Ein solches Modell für die Abbildung des *ganzen Hanges bei erheblich* (vgl. Kapitel 9.3 und ??) anzupassen, würde ebenfalls den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

**Absturzgefahr, Spaltensturzgefahr, Wächtenbruch** In Abbildung 5 ist ersichtlich, dass diese drei Gefahren nicht berücksichtigt werden. Aus Aufwandgründen wird bei den möglichen objektiven Gefahren nur das Lawinenrisiko behandelt.

---

<sup>3</sup><http://www.esri.de/products/arcgis/about/desktop.html> (Zugriff: 2013-05)

<sup>4</sup>Raster: <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#/009t00000002000000> (Zugriff: 2013-06)

<sup>5</sup>TIN: <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#/006000000001000000> (Zugriff: 2013-06)

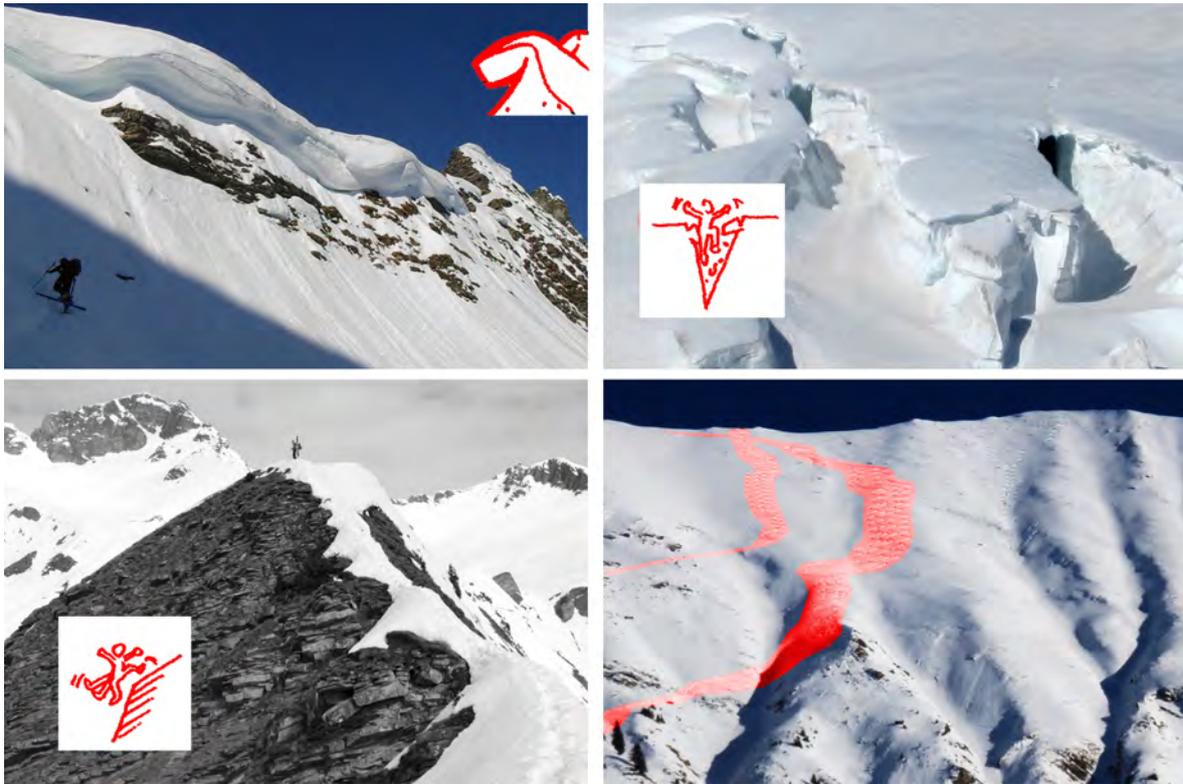


Abbildung 5: Nicht behandelt: Wächtenbruch, Spaltensturz, Absturz, optimale Abfahrtsroute.  
Quelle: Eigene Abb. ergänzt mit [14, S. 12].

**Optimale Abfahrtsrouten** Auch dieser Aspekt fällt wegen des Aufwands weg (vgl. Abb. 5). Die optimale Abfahrtsroute folgt grundlegend anderen Überlegungen (Routenwahl, Umkehrpunkt, etc.) als die optimale Aufstiegsroute.

**Optimierung für andere Nutzergruppen (Freerider, Schneeschuhwanderer)** Die Arbeit beschränkt sich auf klassische Skitouren, welche im Kapitel 7 definiert sind. Weitere Nutzergruppen zu berücksichtigen würde ebenfalls den Rahmen der Arbeit sprengen.

**Fertiges Endprodukt (z.B. Webseite mit Anwendungswerkzeugen für beliebige Benutzer)** Diese Arbeit beschäftigt sich nicht mit einer Ausarbeitung von fertigen Werkzeugen, sondern versucht ganz einfach die Forschungsfrage im Kapitel 2 zu beantworten. Beispiele solcher Endprodukte werden jedoch via Online-Umfrage zusammengetragen und diskutiert (vgl. Kapitel 25.3).

**Rechtliche Aspekte** Weil sich diese Arbeit mit der Entwicklung eines Berechnungsmodells beschäftigt und kein Endprodukt ausgearbeitet wird, darf dieser Aspekt ausgeblendet werden. In der Diskussion im Kapitel 25 fließen rechtliche Überlegungen jedoch kurz ein.

## 5 Herangehensweise und Gliederung

In Abbildung 6 ist der grobe Aufbau dieser Master Thesis ersichtlich.

Ausgehend vom Teil I mit Motivation, Fragestellung und Zielen folgt im Teil II eine auf diese Arbeit zugeschnittene Zusammenfassung der aktuellen Skitourenplanungs- und GIS-Praxis.

Weil das eigene GIS-Projekt im Teil III von einem experimentellen Vorgehen ausgeht und auf eigenen Skitourenenerfahrungen aufbaut, dient der Literaturteil nicht der Präzisierung der Forschungsfrage, sondern zur Abstützung von Definitionen (vgl. Kapitel 13.2), als Grundlage für die Diskussion und vorallem als Hilfe, um die zwei Welten *Skitourenplanung* und *GIS* näher zusammenzuführen. Ein Bergführer und GIS-Laie bedient sich hier anderer Kapitel als ein GIS-Anwender ohne Skitourenenerfahrung.

Im Teil IV werden die Ergebnisse des eigenen GIS-Projekts präsentiert und in der Diskussion mit der Fragestellung und der aktuellen Praxis in Beziehung gesetzt. Diskussion und Ausblick runden diese Arbeit ab.

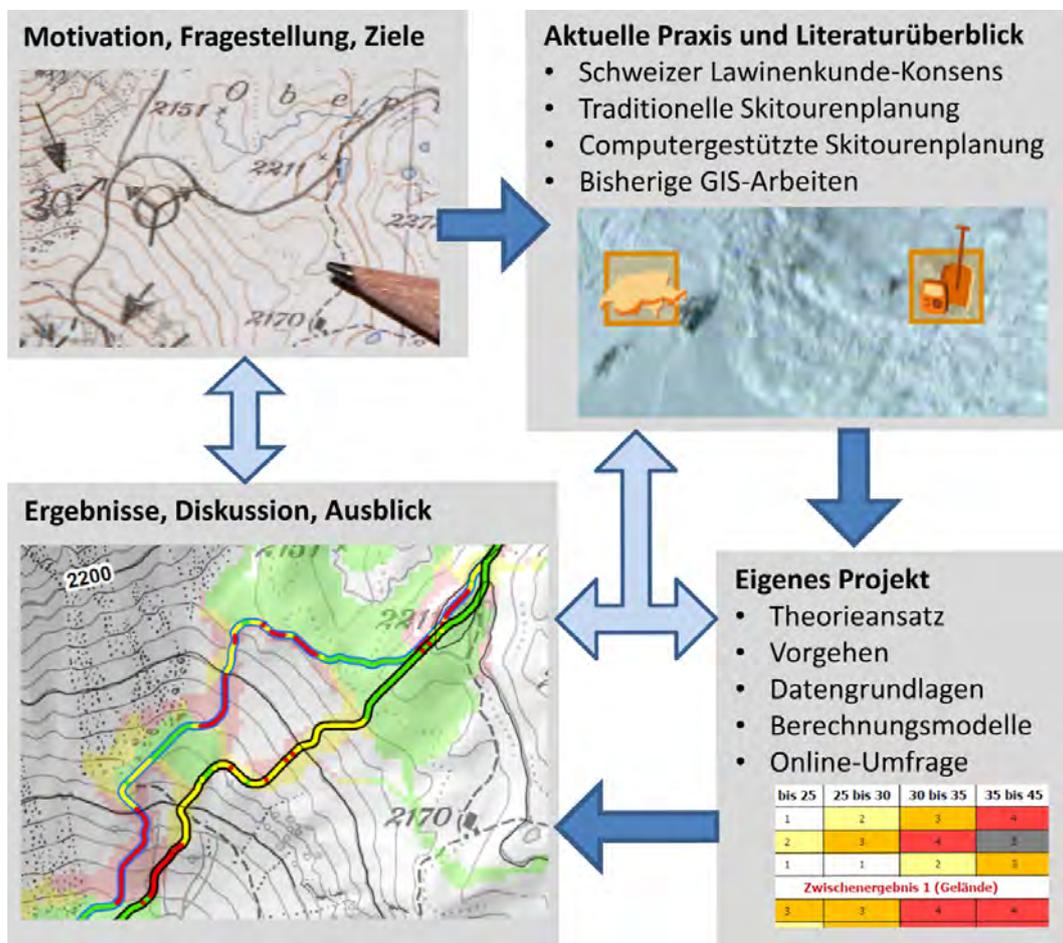


Abbildung 6: Grober Aufbau der Arbeit. Dunkle Pfeile zeigen Gliederung, helle Pfeile illustrieren Diskussion. Quelle: Eigene Abb. aus [35] und [46].

## 6 Erwartete Ergebnisse

Nachfolgend sind die in dieser Arbeit erwarteten Ergebnisse aufgeführt. Ob sich diese Erwartungen erfüllen, zeigt die Präsentation der Ergebnisse im Kapitel 22 und die Diskussion im Kapitel 25.

**Kraftsparendste Aufstiegsroute** Aus den neuen GIS-Daten (vgl. Kapitel 14.1 und 14.2) lässt sich die kraftsparendste Aufstiegsroute erzeugen, welche dem Planungsmaßstab 1:25000 gerecht wird. Es werden dabei Feinheiten des Geländes berücksichtigt (Geländeformen zwischen den 20m-Höhenlinien, siehe Grafik in Abb. 7), die in der 25000er Karte verborgen bleiben und bisher erst im Gelände situativ beurteilt wurden.

**Lawinensicherste Aufstiegsroute (defensive Routenwahl)** Das Lawinenrisiko kann ebenfalls in die Routenberechnung mit einfließen. Hierfür lassen sich für eine definierte Lawinengefahrensituation die Bereiche mit geringem (grün), erhöhtem (gelb) und hohem Lawinenrisiko (rot) gemäss GRM auf das Gelände übertragen. Zudem lässt sich für die Gefahrenstufe *erheblich* der *ganze Hang inklusive Hangfuss* darstellen, wie ihn ein Skitourenanfänger berücksichtigen soll (vgl. Kapitel 9.3). Ebenfalls ist darstellbar, welchen Einfluss geschlossener Wald auf das Lawinenrisiko hat.

**Praxistauglichkeit** Bergführer und Tourenleiter erkennen in den Ergebnissen neue Möglichkeiten für die Tourenplanung zu Hause. Aus den GIS-Daten lassen sich Werkzeuge und Produkte erzeugen, welche die bestehenden Planungsmöglichkeiten verbessern. Beispielsweise können Aussagen gemacht werden, ab welcher Gefahrenstufe eine Tour begehbar ist und welcher *Grob-Charakter* diese Tour besitzt.

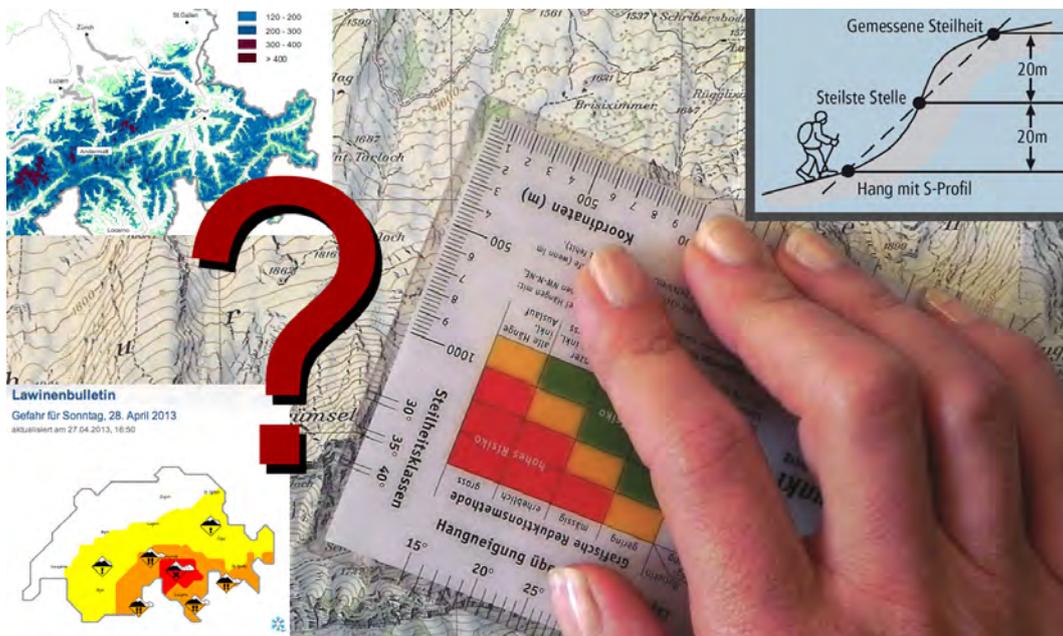


Abbildung 7: Wie praxisnah lässt sich die *optimale Aufstiegsroute* mit GIS berechnen? Quelle: Eigene Abb. aus [37], [17] und [51].



---

## Teil II

# Aktuelle Praxis und Literaturüberblick

Die Kapitel in diesem Teil dienen als Fundament für das eigene GIS-Projekt im Teil III und für die Diskussion der Ergebnisse im Teil IV.

Nach den Definitionen der wichtigsten Begriffe im Kapitel 7 folgt im Kapitel 8 kurz der *allgemein akzeptierte Lawinenkunde-Konsens*. Danach werden im Kapitel 9 die traditionelle Skitourenplanung und im Kapitel 10 die Planung mit bestehenden digitalen Hilfsmitteln vorgestellt. Diese Kapitel sind nicht als Skitourenplanungs-Lehrbuch zu verstehen, sondern zeigen die für diese Arbeit relevanten Grundlagen der aktuellen Praxis auf.

Schliesslich folgt im Kapitel 11 ein Überblick über bestehende GIS-Arbeiten in diesem Bereich. Kapitel 12 fasst die heutige Skitourenplanungs-Praxis mit den wichtigsten positiven und negativen Punkten kompakt zusammen.

## 7 Definition der wichtigsten Skitouren- und Lawinenbegriffe

Die Tabellen 1 und 2 zeigen die wichtigsten Begriffe im Umgang mit Gelände und Lawinenrisiko. Sie werden für das Verständnis der weiteren Kapitel vorausgesetzt. Zudem sind *Skitouren* als Aktivität abgegrenzt. In Tabelle 1 werden konvexe und konkave Geländeformen einander gegenübergestellt. Die Umsetzung der Geländeformen im eigenen GIS-Projekt wird im Kapitel 16.1 erläutert.

GIS-technische Grundbegriffe werden direkt im Projekt im Kapitel 13.3 eingeführt. Im Anhang Teil V befindet sich zudem eine kurze Erläuterung sämtlicher verwendeter GIS-Werkzeuge.

<p><b>Grat:</b> Schmale Kammlinie eines Berges. Aussage Bergführer: „Ein Grat beginnt dort, wo Skis ausgezogen werden“.</p> <p><b>Kamm:</b> Langer, markanter Gebirgsrücken. Ein Kamm ist immer eine auffällige Erhebung im Georelief und verbindet oft viele Gipfel miteinander. Grat ist immer Kammlage.</p>		<p><b>Couloir:</b> Steile Rinne, meist in kamnaher Lage und begrenzt von blankem Fels. Oft mit Schutt durchsetzt. Bevorzugter Ort für die Bildung von Triebsschneeansammlungen.</p>	
<p><b>Rücken:</b> Langgestreckter, abgerundeter Geländeteil, der sich von der Umgebung abhebt.</p>		<p><b>Rinne, Runse:</b> In der Regel steile und langgestreckte Erosionsfurche. Bevorzugter Ort für die Bildung von Triebsschneeansammlungen.</p>	
<p><b>Rippe:</b> Längliche, vom umliegenden Gelände deutlich abgesetzte, talwärts verlaufende Erhebung.</p>		<p><b>Mulde:</b> Runde oder längliche, sanfte Vertiefung in flachem Gelände oder in einem Hang. Bevorzugter Ort für die Bildung von Triebsschneeansammlungen.</p>	

Tabelle 1: Definition Geländeformen. Konvexe Formen links und konkave Formen rechts. Quelle: [7].

Skitouren	“Touren mit Ski oder Snowboard abseits von gesicherten Pisten. Traversierung von Gletschern und Besteigung von Gipfeln mit leichter Kletterei” [3].
Schneesportler	“Der Begriff Schneesportler schliesst Skitouren­gänger, Snowboarder und Schneeschuh­läufer ein, die sich im ungesicherten Touren­gelände bewegen, abseits von viel befahrenen Varianten und Pisten” [27, S. 57].
Schneebrett-lawine	“Lawine, die durch den Abbruch einer Schneetafel entsteht. Die Schneebrettlawine ist durch einen linienförmigen, quer zum Hang verlaufenden Anriss charakterisiert” [7]
Triebsschnee	“Der Wind ist der Baumeister von Schneebrettlawinen. Er bildet den sog. Triebsschnee, indem er Schnee transportiert bzw. verfrachtet. Frische Triebsschneeansammlungen sind gefährlich. Rund zwei Drittel aller Lawinenunfälle mit Wintersportlern geschehen nach Perioden, in denen Triebsschnee gebildet wurde” [18, S. 50].
Landeskarte (LK)	Kartenprodukte der swisstopo [46], insbesondere die Landeskarte 1:25000. Diese erscheinen von der Fragestellung im Kapitel 2 bis zu den Kartenprodukten im Anhang Teil V.
Mässig steile Hänge	“Hänge flacher als rund 30 Grad” [7]
Steilhänge	“Hänge steiler als rund 30 Grad” [7]
extremes Steil­gelände	“Besonders ungünstige Hänge bezüglich Neigung (steiler als etwa 40 Grad), Geländeform, Kammnähe und Bodenrauigkeit” [7]
Exposition, Hangrichtung	“Himmelsrichtung, in die ein Hang abfällt. Ein Nordhang fällt z.B. nach Norden ab.” [7].
Kammlage, kammnah, gratnah, gipfel­nah	“Gebiet, das direkt an den Kamm, bzw. Grat oder Gipfel angrenzt und besonders stark durch den Wind beeinflusst wird . Bevorzugter Ort für die Bildung von Triebsschneeansammlungen” [7] (vgl. Kapitel 9.4)
Weitere Gelände­formen	Grat, Kamm, Rücken, Rippe, Couloir, Rinne, Runse und Mulde sind in Tabelle 1 beschrieben.

Tabelle 2: Definition wichtigste Begriffe. Quellen: Siehe Tabelleninhalt.

## 8 Allgemein akzeptierter Lawinenkunde-Konsens

Bevor im Kapitel 9 mit der eigentlichen Skitourenplanung gestartet wird, soll kurz ein Abstecher in die Geschichte der Lawinenkunde unternommen werden. Nur so wird diese Thematik genügend greifbar.

“Lawinenkunde ist keine exakte Wissenschaft. Trotz laufend neuer Erkenntnisse in der Forschung sind Lawinen räumlich und zeitlich nur mit grossen Unsicherheiten vorherzusagen. Es gibt keine Formeln und exakte Regeln, die der Wintersportler anwenden kann, um die Lawinengefahr zu berechnen. (...) Wen wir im Lawinengelände unterwegs sind, müssen wir mit diesen Unsicherheiten umgehen und versuchen, die wichtigsten Schlüsselfaktoren und deren Zusammenhänge zu erkennen” [18, S. 6]. Dieses Zitat stammt aus der aktuellsten Lektüre des SLF. Ob dies in der Vergangenheit stets die gängige Lehrmeinung war, verrät das nächste Kapitel.

---

## 8.1 Kurzer Blick auf die Entwicklung der Lawinenkunde in der Schweiz

Im neuen Lehrmittel *Lawinen und Risikomanagement* [51], das beinahe zeitgleich mit dem neuen Lehrmittel des SLF [18] erschienen ist, befindet sich im Vorwort von Paul Nigg eine kompakte Zusammenfassung zur Entwicklung der Lawinenkunde in der Schweiz. Die wichtigsten Aussagen daraus sind:

**Ende der 1970er Jahre** lag der Fokus eher auf Rettung als auf Prävention, die Lawinenkunde bestand aus einfachen Regeln und Merksätzen. Die Gefahrenstufen des Lawinenbulletins (vgl. Tabelle 3) waren noch nicht eingeführt.



Abbildung 8: Werner Munter. Quelle: [32]

**In den achtziger Jahren** strukturierte Werner Munter (vgl. Abb. 8) mittels der *Matrix 3x3* (vgl. Tabelle 4) die klassische Lawinenbeurteilung, welche im Kapitel 9.1 beschrieben wird. Man war der festen Überzeugung, mit dem Rutschkeiltest den Umgang mit der Lawinengefahr im Griff zu haben. Der Rutschkeil wurde in der Ausbildung zum Standard, jedoch in der Praxis kaum angewandt. Später gelangte man zur Überzeugung, dass ein Rutschkeil nicht die Stabilität eines ganzen Hanges repräsentieren kann.

**Anfang der neunziger Jahre** führte Munter (vgl. Abb. 8) mit dem Slogan *Rechnen statt Schaufeln* die *Reduktionsmethode* [24, S. 55] ein, eine an Wahrscheinlichkeiten orientierte Lawinenkunde. Wenige ausgewählte Fakten wurden gewichtet, in Form einer einfachen Berechnung miteinander vernetzt und ein erlaubtes und akzeptables Restrisiko als Messlatte gesetzt. Aus der ursprünglich vorgeschlagenen *Reduktionsmethode* entstanden viele Abwandlungen. Die in der Schweiz aktuell angewendete *Grafische Reduktionsmethode (GRM)* wird im Kapitel 9.3 ausführlich erläutert.

**In jüngster Zeit** erfolgte der im Kapitel 8.3 beschriebene Konsens unter den Ausbildungsorganisationen in der Schweiz, zudem publizierte das SLF als Neuerung die *Mustererkennung*, welche im Kapitel 9.4 beschrieben ist.

**Und aktuell?** “Die Entwicklung der praktischen Lawinenkunde ist bei weitem noch nicht abgeschlossen. Sie enthält bedeutsames Potential für Erweiterungen und Verbesserungen in unterschiedlichen Bereichen: (...v. a.) -die Sensibilisierung der Freizeitsportler und eine dieser Zielgruppe angepasste Vermittlung von elementaren Kenntnissen” [27, S. 60]

## 8.2 Lawinen-Gefahrenprävention, Lawinenlagebericht (Bulletin)

In vielen europäischen Ländern ist ein regelmässig aktualisierter Lawinenlagebericht (in der Schweiz: Lawinenbulletin des SLF [37]) abrufbar, welcher als Prognose der aktuellen Lawinengefahr zu verstehen ist.

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

- Erklärungen:
- \*\* Zusatzbelastung:
    - gross (z.B. Skifahrergruppe ohne Abstände, Pistenfahrzeug, Lawinensprengung)
    - gering (z.B. einzelner Schneesportler, Schneeschuhgeher)
  - \* im Lawinenbulletin im allgemeinen näher beschrieben (z.B. Höhenlage, Exposition, Geländeform)
    - mässig steiles Gelände: Hänge flacher als rund 30 Grad
    - Steilhänge: Hänge steiler als rund 30 Grad
    - extremes Steilgelände: besonders ungünstig bezüglich Neigung (meist steiler als etwa 40 Grad), Geländeform, Kammnähe, Bodenrauigkeit
  - spontan: ohne menschliches Dazutun
  - Exposition: Himmelsrichtung, in die ein Hang abfällt
  - exponiert: besonders der Gefahr ausgesetzt

Tabelle 3: Europäische Lawinengefahrenskala mit Bemerkungen zur Schneedeckenstabilität und Lawinen-Auslösewahrscheinlichkeit. Quelle: [34].

Die Webseite [www.avalanches.org/](http://www.avalanches.org/) [7], welche durch den Lawinenwarndienst Tirol [8] betrieben wird, bildet den einheitlichen Zugang zu diversen europäischen Lawinenwarndiensten. Auf dieser Webseite befindet sich unter *Basics* die vereinheitlichte *Europäische Lawinengefahrenskala* (vgl. Tabelle 3) und ein nützliches Glossar.

---

“Die Gefahrenstufe ist ein Superzeichen, in dem die vier Grössen *Schneedeckenaufbau* (Geschichte der Schneedecke), *Niederschlag* (Schnee, Regen, Oberflächenreif), *Wind* (Richtung und Stärke) sowie *Temperatur und Strahlung* in einem einzigen Wort zusammengefasst sind (z. B. *erheblich*)” [24, S. 53].

Zu bedenken ist jedoch: “Das Lawinenbulletin unterteilt den Gefahrengrad in Stufen. In Wirklichkeit handelt es sich um eine gleitende Skala” [27, S. 59].

“Innerhalb der gleichen Lawinengefahrenstufe kann die Ausprägung der Lawinensituation unterschiedlich sein. Es lohnt sich die Gefahrenentwicklung der letzten Tage zu verfolgen und sich die Frage zu stellen, welches das Hauptproblem (Muster, vgl. Kapitel 9.4) ist” [18, S. 103]. Für die korrekte Anwendung des SLF Lawinenbulletin für die Schweiz steht eine detaillierte Interpretationshilfe [34] zur Verfügung.

Das SLF ist stets bemüht, die vielen Informationen noch kompakter, einfacher und verständlicher zur Verfügung zu stellen. So wurde das Bulletin für den Winter 2012/13 komplett neu aufgebaut [52], mehr Infos dazu sind in den Kapiteln 10.3 und 10.4 ersichtlich.

### 8.3 Kernausbildungsteam Lawinenprävention Schneesport (KAT)

“Im Jahre 2005 initiierte das SLF zusammen mit den massgeblichen Alpinverbänden<sup>6</sup> in der Schweiz das Kernausbildungsteam *Lawinenprävention Schneesport* (KAT). Unter der Leitung von Paul Nigg erarbeitete das KAT einen Konsens, der den kleinsten gemeinsamen Nenner für die Lawinenausbildung auf unterschiedlichen Ausbildungsstufen beschreibt” [18, S. 7].

Das aktuellste Buch des SLF, aus welchem dieses Zitat stammt, das aktuelle Merkblatt *Achtung Lawinen* [17] und das nachfolgende Kapitel 9 dieser Arbeit bauen darauf auf.

## 9 Traditionelle Skitourenplanung

“Die grosse Zahl der Freizeit-Schneesportler dürfte vom Bedürfnis nach eindrücklichen Erlebnissen abseits der Alltagswelt motiviert sein. (...). Die Mehrheit dieser Gruppe dürfte über eher oberflächliche Kenntnisse im Bereich Risikomanagement verfügen. Daraus kann abgeleitet werden, eine praktische Lawinenkunde für diese Zielgruppe soll einfache und verständliche Strategien anbieten und ihre Grundzüge sollen in kurzer Ausbildungszeit vermittelbar sein (...). Das Konzept des Risikomanagements muss jedoch auch für Leiter und Bergführer einfach sein, es gilt grundsätzlich: Komplexe Situation erfordert einfache Handlungsregeln” [27, S. 57].

“Für den Schneesportler stellt schon das Bewältigen der Informationsflut ein zentrales Problem dar (...). Das Risiko ist somit gegeben, dass Wichtiges übersehen oder vergessen wird (...). Es ist deshalb eine einfache Struktur zur übersichtlichen Gliederung aller wichtigen Fakten notwendig.” [27, S. 57f.].

---

<sup>6</sup>Details siehe [http://www.slf.ch/praevention/kat/index\\_DE](http://www.slf.ch/praevention/kat/index_DE) (Zugriff: 2013-05)

### 9.1 3x3 Tourenplanung, Grundschrirte einer Tourenplanung

Der Anforderung aus dem vorherigen Abschnitt entspricht das bewährte 3x3, welches in Tabelle 4 ersichtlich ist. Es dient der systematischen und gut merkbaren Einordnung der Informationen und als Handlungskonzept zur Beurteilung der Lawinengefahr in drei Phasen (Filter):

1. Planen der Tour (zu Hause, mit Fremdinformationen, Prognosen und Annahmen)
2. Beurteilen der Situation im Gelände (Am Tag der Tour, sobald man im Gebiet ist)
3. Beurteilen im Hang (definitiver Entscheid "to go or not to go" vor einer Schlüsselstelle)

In jeder Phase werden die drei Kriterien: *Verhältnisse*, *Gelände*, *Mensch* zueinander in Beziehung gesetzt. "Die Erfahrung zeigt (zwar), dass dieser Anforderung mindestens ein Teil der Anwender nicht gewachsen ist" [27, S. 57f.]. Trotzdem hat sich das 3 x 3 über viele Jahre in der Praxis bewährt.

3 x 3		3 Kriterien			Hilfsmittel
		Gelände	Verhältnisse	Mensch	
3 Filter	<b>Bei der Tourenplanung</b> Welches Gebiet? Welche Touren sind möglich? Fremdinformationen Prognosen Annahmen	– Geländecharakter? – Routenverlauf? – Steilste Stellen? – Hang- und Höhenlagen? – Weitere Gefahren: Spalten, Absturz, Eisschlag?	– Lawinenbulletin inkl. Zusatzinfos? – Tour begangen? – Hauptgefahr? – Muster?	– Wer kommt mit? – Verantwortung? – Sind alle der Tour gewachsen? – Gemeinsame Ziele und Bedürfnisse? – Ausrüstung? – Realistischer Zeitplan! – Alle informiert und motiviert!	Schwerpunkt auf GRM  ☹️/☺️ abwägen
	<b>Vor dem Start und laufend im Gelände</b> Tour (Schlüsselstellen) möglich? Routenführung? eigene Beobachtungen	– Wo ist die nächste schwierige Stelle? – Stimmen meine Vorstellungen vom Routenverlauf? – Wo kann ich die Schlüsselstelle einblicken?	– Alarmzeichen? – Krit. Neuschnee? – Frische Triebsschnee-ansammlungen? – Stimmt das Bulletin? – Wetter: Wärme, Sicht, Tendenz? – Heutige Hauptgefahr, Muster? – Evtl. Schneedeckentest? – Evtl. Nivo-Check?	– Was beeinflusst mich heute besonders: > andere Gruppe; > Gruppenklima; > äussere Vorgaben (Druck) > eigener Ehrgeiz? – Verfassung der Teilnehmer? – LVS-Kontrolle, Ausrüstung i. O.? – Wo stehen wir im Zeitplan?	Stellenwert Muster/GRM ist ausgewogen  ☹️/☺️ abwägen
	<b>Vor der Schlüsselstelle</b> Hang machbar? Taktik? letzte Überprüfung Entscheid	– Steilheit, Relief – Exposition – Kammnähe – Hanggrösse – Höhenlage – Was ist über/unter mir? – Mögliche Schneebrettgrösse – Optimale Spuranlage? – Sichere Inseln? – Resultat GRM?	– Welches Lawinenproblem hat dieser Hang? – Neuschneemenge? – Triebsschnee? – Wärme? – Sicht? – Befahren?	– Verfassung? – Sind alle informiert und motiviert? – Alternativen? – Nutzen versus Risiko? – Taktik: > Abstände; > Spurfahren; > Korridor bestimmen.	Schwerpunkt auf Muster  ☹️/☺️ abwägen

Tabelle 4: Beurteilungs- und Entscheidungsrahmen 3x3, mit GIS bearbeitbare Kriterien (gelb, vgl. Kapitel 25.3). Quelle: Eigene Abb. aus [51, S. 33] und [17].

Für das eigene Projekt in dieser Arbeit sind die Kriterien *Gelände* und *Verhältnisse* in der Phase *Tourenplanung* von zentraler Bedeutung, Werkzeuge dafür werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer behandelt. Die gelb eingefärbten Punkte werden in der Diskussion im Kapitel 25.3 aufgegriffen.

Tabelle 4 zeigt zudem die Gewichtung der *GRM* (vgl. Kapitel 9.3) und der *Muster* (vgl. Kapitel 9.4) innerhalb der jeweiligen Phase.

"Der Mensch ist nicht nur die oft entscheidende Zusatzlast, sondern er muss auch entscheiden ("to go or not to go") - und macht dabei Fehler. Diese sind häufig die Folge von psychologischen und sozialen Einflüssen" [18, S. 8]. Im Hinblick auf das eigene Projekt wird der Faktor Mensch jedoch in dieser Arbeit nicht tiefer betrachtet.

---

Im Lehrmittel *Lawinen und Risikomanagement* [51, S.39] werden ergänzend zum  $3 \times 3$  auch die 5 Grundschrirte einer Tourenplanung aufgezeigt, die ersten drei davon sind als Basis für das eigene Projekt sehr nützlich:

1. Tourenziel festlegen: Was wollen, können und dürfen wir? Welche Tour ist bei den aktuellen Verhältnissen möglich? Gibt es Alternativen, Varianten? Hier erfolgt auch eine intensive Auseinandersetzung mit dem Lawinenbulletin. Die Tour wird mit dem Bleistift auf die Karte eingetragen.
2. Schlüsselfaktoren erkennen: Was muss ich bei der Tour beachten? Wo sind die Schlüsselstellen? Die Informationen werden auf die Karte übertragen. (vgl. nachfolgende Kapitel)
3. Plan B ausarbeiten: Was machen wir, wenn es nicht so ist, wie ich mir vorgestellt habe?

## 9.2 Skitourenführer, Karten und Messinstrumente

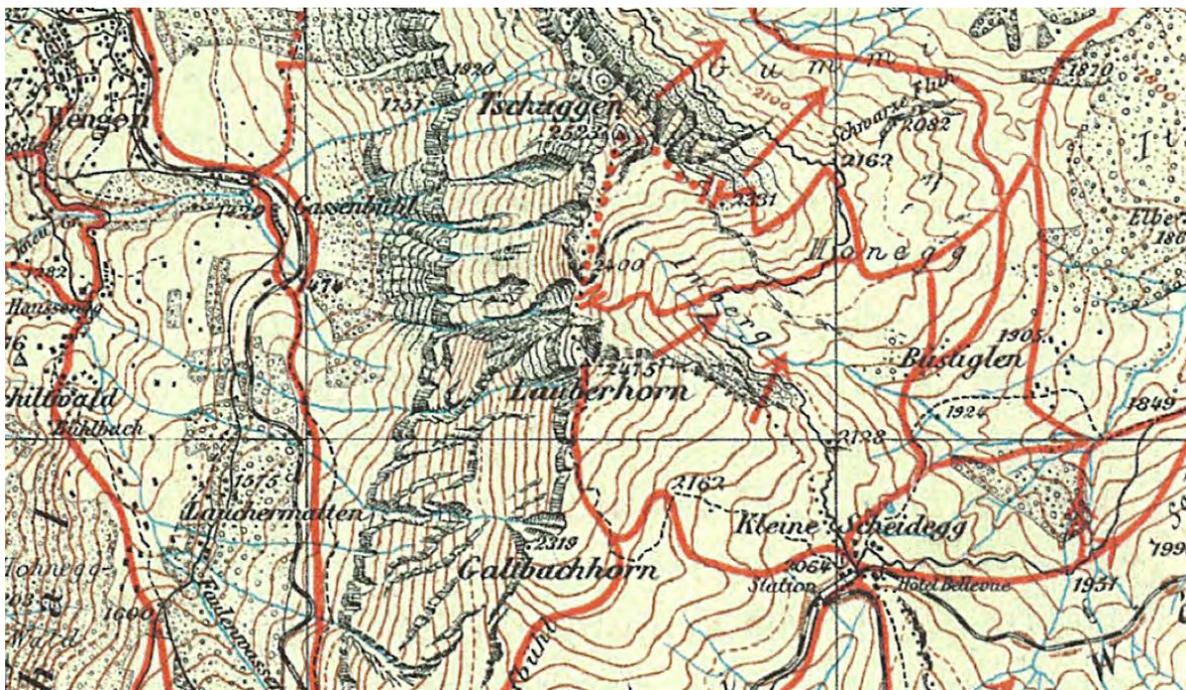


Abbildung 9: SAC-Skitourenkarte aus dem Jahr 1922 auf der Grundlage der Siegfriedkarte. Quelle: [48].

Schon vor fast 100 Jahren erstellte der SAC erste Skitourenkarten mit erstaunlichem Detailgehalt (vgl. Abb. 9). Heute stehen uns eine Vielzahl von Techniken und Hilfsmittel zur Verfügung, die wir für die konkrete Anwendung der oben beschriebenen 5 Grundschrirte einer Tourenplanung und des  $3 \times 3$  in der Phase *Tourenplanung zu Hause* nutzen können. Die wichtigsten *analogen* Hilfsmittel, die uns ohne den Gebrauch eines Computers zur Verfügung stehen, sind in diesem Kapitel nachfolgend aufgelistet (vgl. auch [51, S. 40]). Nützliche Internet-Informationsquellen werden darauf aufbauend im Kapitel 10.3 gezeigt.

**SAC-Skitourenführer** In der Schweiz ist diese Lektüre<sup>7</sup> in Kombination mit der nachfolgend erläuterten Skitourenkarte unverzichtbar. Informationen zu Schlüsselstellen und Besonderheiten jeder Tour sind mit zahlreichen Fotos illustriert. Zudem wird eine Schwierigkeitsskala für Skitouren verwendet, welche in Tabelle 5 ersichtlich ist. Diese Bewertung dient als wichtiger Anhaltspunkt, ob eine Tour allen Anwärtern zugemutet werden kann. Bezüglich Lawinensicherheit sind meist die gefährlichsten Passagen beschrieben. Die Touren sind jedoch nicht nach Lawinensicherheit bewertet, wie dies z.B. in einem GIS-Projekt [50] versucht wurde, welches im Kapitel 11.1 beschrieben ist.

Hauptkriterien					
Grad	Steilheit	Geländeform Aufstieg und Abfahrt	Engpässe in der Abfahrt	Ausgesetztheit	Beispiele
L +	bis 30°	weich, hügelig glatter Untergrund	keine Engpässe	keine Ausrutschgefahr	Niremont, Wildhorn von Lenk
- WS +	ab 30°	überwiegen offene Hänge mit kurzen Steilstufen, Hindernisse mit Ausweichmöglichkeiten (Spitzkehren nötig)	Engpässe kurz und wenig steil	kürzere Rutschwege, sanft auslaufend	Pointe de Tsérié, Bunderispiz
- ZS +	ab 35°	kurze Steilstufen ohne Ausweichmöglichkeit, Hindernisse in mässig steilem Gelände erfordern gute Reaktion (sichere Spitzkehren nötig)	Engpässe kurz aber steil	längere Rutschwege mit Bremsmöglichkeiten (Verletzungsgefahr)	Dent de Lys, Rinderhorn
- S +	ab 40°	Steilhänge ohne Ausweichmöglichkeit, viele Hindernisse erfordern eine ausgeprägte Fahrtechnik	Engpässe lang und steil, Kurzschnitten noch möglich	lange Rutschwege, teilweise in Steilstufen abbrechend (Lebensgefahr)	Sanetschhorn, Vorder Lohner
- SS +	ab 45°	allgemein sehr steiles Gelände, oft mit Felsstufen durchsetzt, viele Hindernisse in kurzer Folge	Engpässe sehr lang und sehr steil, Abrutschen und Quersprünge nötig	Rutschwege in Steilstufen abbrechend (Lebensgefahr)	Balmhorn Nordwand (Direktabfahrt)
AS	ab 50°	äusserst steile Flanken oder Couloirs, keine Erholungsmöglichkeit in der Abfahrt	Folge von sehr langen und steilen Engpässen, oft nur noch Abrutschen oder Quersprünge	äusserst ausgesetzt	
EX	ab 55°	extreme Steilwände und -couloirs	ev. Abseilen über Felsstufen nötig		

**Hilfskriterien:** erschwerte Orientierung in Aufstieg und Abfahrt, Routenverlauf nicht einsehbar, Routenfehler sind kaum oder gar nicht mehr korrigierbar.

### SAC-Schwierigkeitsskala für Skitouren

- Die Gesamtbewertung (Grad) der Skitouren entspricht dem Spitzenwert der Hauptkriterien.
- Bei Einbezug von Hilfskriterien wurde der Schwierigkeitsgrad um eine Drittstufe angehoben (z.B. von WS+ auf ZS-).
- Die Angaben minus (-) und plus (+) dienen der Verfeinerung der Skala.
- Bei den Schwierigkeitsgraden handelt es sich um Richtwerte bei gutem Schnee-, Witterungs- und Sichtverhältnissen.
- Die Bewertung bezieht sich ausschliesslich auf den skifahrerischen Teil der Touren. Alpinistische Schwierigkeiten sind im Beschreibungskopf separat umschrieben (Bewertung: UIAA-Skala für Kletterstellen, Wortbeschriftung für Fussaufstiege).

Erläuterungen zur Bewertung siehe auch unter *Schwierigkeitsangaben* im Kapitel *Hinweise zum Gebrauch des Skitourenführers*.

**Hilfskriterien**

- erschwerte Orientierung in Aufstieg und Abfahrt,
- Routenverlauf nicht einsehbar,
- Routenfehler sind kaum oder gar nicht mehr korrigierbar.

Legende zur umstehenden Tabelle:

L = leicht  
 WS = wenig schwierig  
 ZS = ziemlich schwierig  
 S = schwierig  
 SS = sehr schwierig  
 AS = ausserordentlich schwierig  
 EX = extrem schwierig

Tabelle 5: SAC-Schwierigkeitsskala für Skitouren. Quelle: [2, S. 21].

**Skitourenkarte 1:50000 mit rot eingefärbten Steilhängen** Diese Karten [41] beinhalten mit hinweisendem Charakter die SAC-Skitourenrouten der SAC-Skitourenführer, generalisiert rot eingefärbt alle Steilhänge steiler 30° sowie Schutzgebiete, Unterkünfte, Hütten und Haltestellen des öffentlichen Verkehrs. Ausschnitte dieses Produkts sind im Kartenvergleich in Abb. 18 sowie im Anhang Teil V ersichtlich.

<sup>7</sup> erhältlich auf <http://www.sac-cas.ch/> im Shop (Zugriff: 2013-05)

**Landeskarte 1:25000** Aufbauend auf der *Skitourenkarte 1:50000* ist diese detaillierteste Karte der swisstopo für die Feinplanung einer Skitour und für das Einzeichnen der optimalen Aufstiegsroute (vgl. Kapitel 2) unverzichtbar. Ein Ausschnitt dieser Karte ist ebenfalls im Anhang Teil V ersichtlich.

**Freeride Map Lötschental** An dieser Stelle wird auch dieses Kartenprodukt erwähnt, obwohl sich diese Arbeit nicht mit *Freeridern* befasst. Auf der Basis der *Landeskarte 1:25000* sind Abfahrtsvarianten nach Schwierigkeitsgraden als Flächen (Korridore) und nicht als Linie eingetragen (vgl. Abb. 10). Im Kapitel 13.2 im eigenen GIS-Projekt wird der Korridor-Gedanke auch für Skitouren-Aufstiegsrouten aufgenommen.

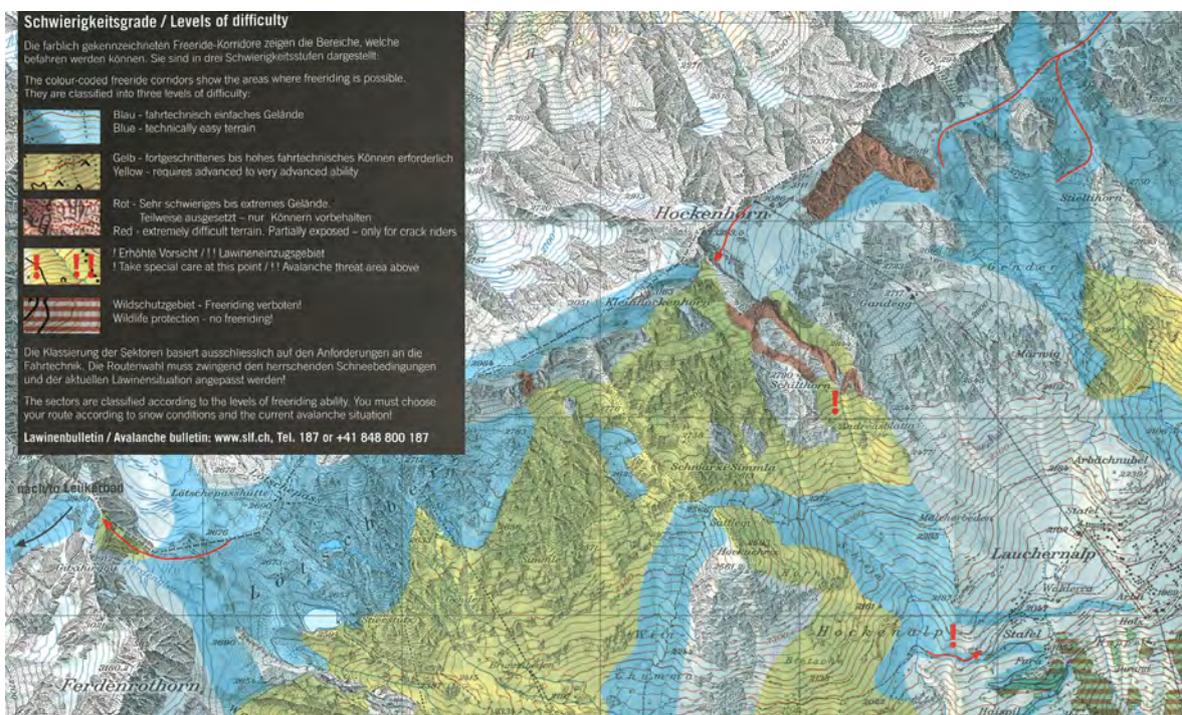


Abbildung 10: Freeride Map Lötschental mit befahrbaren Korridoren nach Schwierigkeitsgraden. Quelle: [15].

**Hangneigungsmesser** Von zentraler Wichtigkeit in der Tourenplanung zu Hause ist das effiziente und zuverlässige Bestimmen der Hangneigungen einer Skitour. Ohne Computer besteht die Möglichkeit, aus der *Landeskarte 1:25000* Hangneigungen zu messen. Ein Beispiel eines solchen Werkzeugs ist in Abb. 12 ersichtlich. Zu beachten ist allerdings: "Die Hangneigung kann auf der Landkarte nicht exakt gemessen werden, die Auflösung der Höhenkurven ist zu grob" [27, S. 59]. Zudem ist der Aufwand beachtlich, wenn die gesamte Geländekammer einer Skitour auf diese Weise beurteilt werden soll. Im Kapitel 10 werden digitale Hilfsmittel vorgestellt, welche diesen Schritt vereinfachen können.

### 9.3 Grafische Reduktionsmethode GRM

Nun wird das beste Werkzeug für die Beurteilung des Lawinenrisikos in der Tourenplanung zu Hause (vgl. Tabelle 4) gesucht. Munters *Reduktionsmethode* (vgl. Kapitel 8.1) hat hierfür neue Massstäbe gesetzt, bis heute entstehen daraus immer neue Abwandlungen. Die ursprüngliche *Reduktionsmethode* setzt dabei die grösste Denkarbeit und Expertenwissen voraus, ermöglicht jedoch die grösste Flexibilität und den grössten Spielraum [24, S. 55]. “Die zusätzlichen Regeln und einige Anwendungsprobleme, beispielsweise die Frage, wie gross der Beobachtungsradius sein muss, sorgten (bei der klassischen Reduktionsmethode) für Unsicherheiten.” [51, S. 2].

Gefahrenstufe	Massnahme für die im Bulletin genannte ungünstige Hang- und Höhenlage
mässig	Nur Touren im Gelände weniger als 40 °
erheblich	Nur Touren im Gelände weniger als 35 °
gross	Nur Touren im Gelände weniger als 30 °
In unverspurten Steilhängen Entlastungsabstände (mind. 10m)	

Tabelle 6: Munters elementare Reduktionsmethode (ERM). Quelle [24, S. 56]

Für Anfänger (...) entwickelte Munter aus der *Reduktionsmethode* im Jahre 1997 die *Elementare Reduktionsmethode (ERM)* [24, S. 55], welche in Tabelle 6 dargestellt ist. Das KAT (vgl. Kapitel 8.3) hat für die Schweiz nicht Munters *ERM* als Ausbildungsstandard definiert, sondern die *GRM*, welche in Abbildung 11 ersichtlich ist. Sie verknüpft die Lawinengefahrenstufe des Bulletins (vgl. Kapitel 8.2) ebenfalls mit der Hangneigung, differenziert jedoch das Restrisiko. So kann bei der Planung eingeschätzt werden, welche Hänge ein gerin-

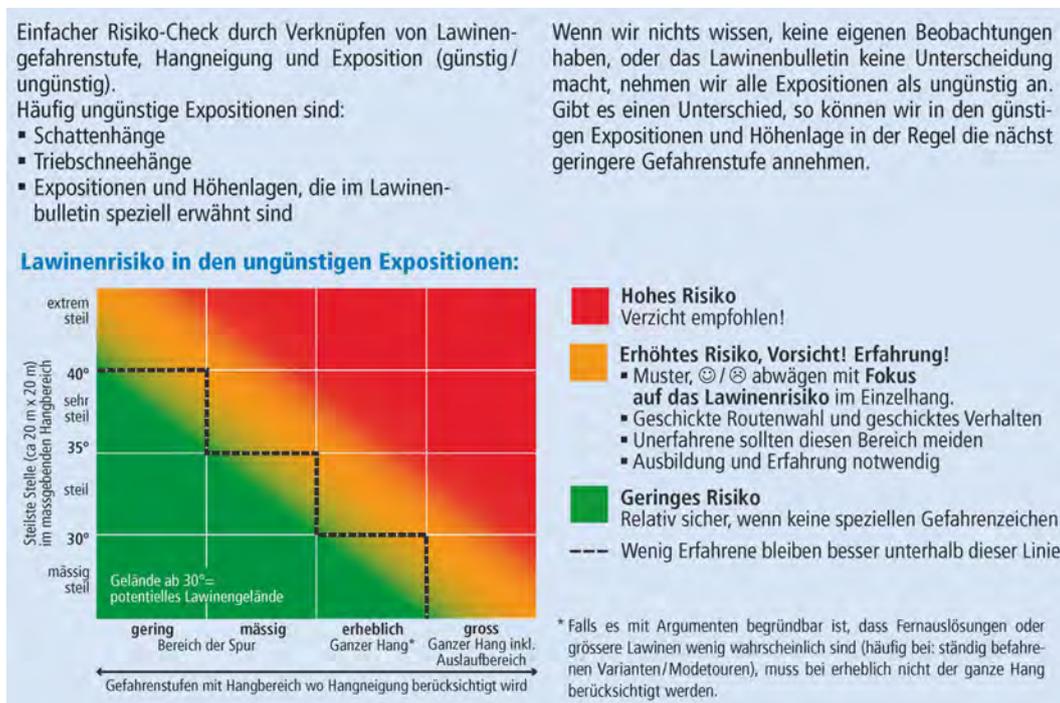


Abbildung 11: Grafische Reduktionsmethode (GRM). Quelle: [17].

ges Risiko (grün), ein erhöhtes Risiko (gelb) oder ein hohes Risiko (rot) bergen. “Auch bei geringem Risiko sind Lawinen in Hängen, die steiler sind als 30 Grad, möglich. Die Risikoabschätzung (...) gilt für die ungünstigen Expositionen und Höhenlagen” [18, S. 18 f.]. “Personen mit wenig Erfahrung können auch im Einzelhang mit der GRM entscheiden. Sie bleiben besser im grünen Bereich und beschränken sich bei offensichtlichen Anzeichen für Lawinengefahr (...) auf mässig steiles Gelände (<30 °)” [18, S. 159]. Im Vergleich zur *ERM* (vgl. Tabelle 6) wird also bei der *GRM* der Handlungsspielraum für Anfänger noch stärker eingeschränkt.

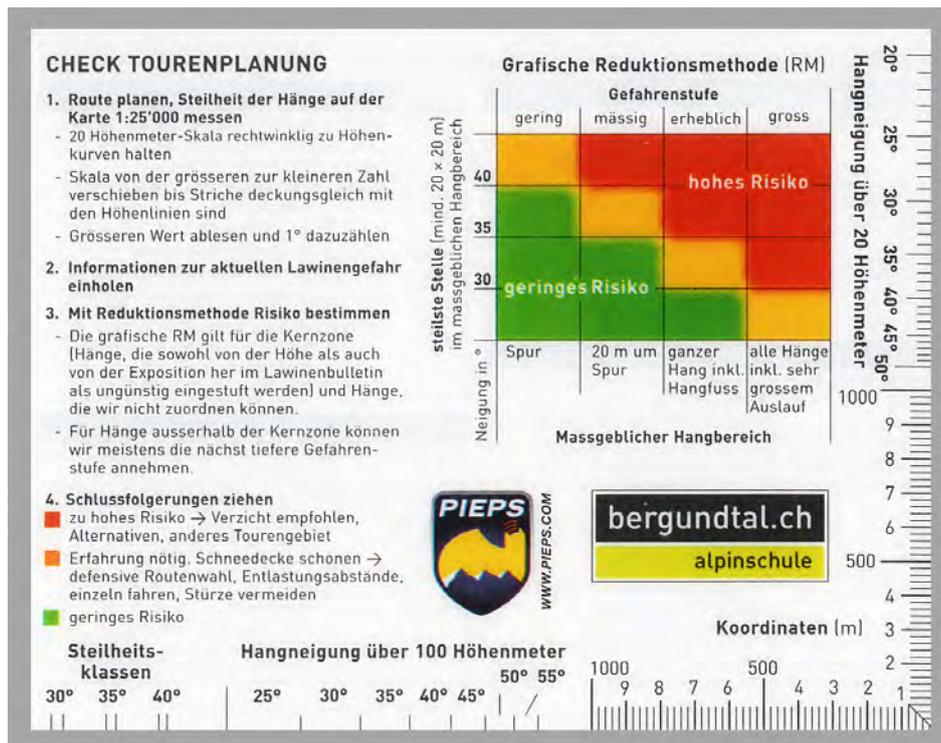


Abbildung 12: Hilfsmittel *Check Tourenplanung* im Taschenformat für die Tourenplanung zu Hause. Quelle: [4] und [53].

Abb. 12 zeigt eine im Vergleich zu Abb. 11 vereinfachte Darstellung und Anwendung der GRM auf einem praktischen Tourenplanungswerkzeug. Die GIS-Berechnungen für die lawinensicherste Aufstiegsroute im Teil III bauen auf der *GRM* auf, weil sie in der Schweiz allgemein anerkannt ist. Zudem eignet sie sich für GIS-Berechnungen besonders gut, da jegliche psychologischen Faktoren (weiche Kriterien) von Munters ursprünglicher Reduktionsmethode ausgeblendet werden. Weitere Abwandlungen von Munters klassischer Reduktionsmethode werden nicht tiefer betrachtet:

- Limits 1999, Goldene Regel 2002 und Bierdeckel 2004 (vgl. [24, S. 56 f.])
- SnowCard und Faktorencheck - die Risiko-Management-Konzepte des Deutschen Alpenvereins (vgl. [19, S. 38])
- stop or go 2012 als Grundlage aller Lawinenkurse im Österreichischen Alpenverein (vgl. [20, S. 54 ff.])

**Definition ganzer Hang, Hangsteilheit und Auslöseradius** Im Hinblick auf die Modellierung des *ganzen Hanges bei erheblich* im GIS-Projekt (vgl. Kapitel 17.2) werden diese Grundlagen im Detail aufgelistet.

“Als Hang ist die ganze Fläche anzunehmen, die als Schneebrett abgehen könnte, d. h. bis zur nächsten markanten Änderung der Geländeform (Grat, Kante, Rippe, Fläche usw.). Je grösser die Lawinengefahr, desto grösser ist in der Regel ein Schneebrett (Hang). Es braucht viel Erfahrung, um die Grösse dieser Fläche abzuschätzen. Die Neigung der steilsten Stelle eines Hanges wird als Hangsteilheit bezeichnet. Es werden nur Stellen berücksichtigt, die sich mindestens über ca. 10 bis 20 Höhenmeter erstrecken und daher meist in der Landeskarte 1:25000 ersichtlich sind” [51, S. 17].

“Es stellt sich (...) die Frage, wo die Hangneigung geschätzt werden soll; andersherum gefragt: wie gross könnte ein mögliches Schneebrett werden, wie weit ist der wirksame Auslöseradius. Merkwürdigerweise wurde diese nahe liegende Fragestellung lange Zeit nicht beachtet. Erfahrungsgemäss kann die Beurteilung bei Stufe *mässig* auf die nähere Umgebung der Spur begrenzt werden, Umkreis ca. 20 m. Bei Stufe *erheblich* hingegen soll der gesamte Hang, also der ganze Einzugsbereich, in Betracht gezogen werden” [27, S. 59].

**Der ganze Hang bei erheblicher Lawinengefahr** Lässt sich der *Auslöseradius* für *erheblich* noch klarer abgrenzen? In Abb. 13 sind Darstellungen dafür aufgeführt. Es stellt sich die Frage, ab welchem Punkt im Gelände eine Lawine bei *erheblich* (fern)ausgelöst werden kann oder wie der in Abb. 12 bezeichnete *Hangfuss* zu verorten ist. Bei der Anwendung der *DAV SnowCard* [12] soll gar der *gesamte Hang und weite Auslaufbereiche* berücksichtigt werden.

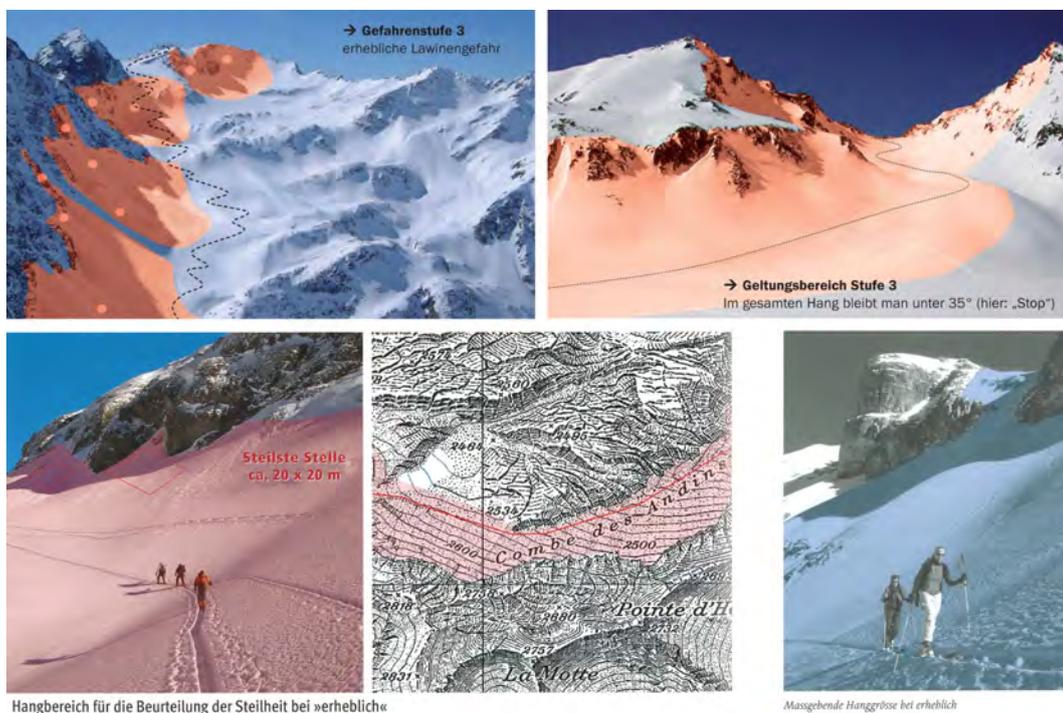


Abbildung 13: Der ganze Hang bei *erheblich*. Quellen: [29], [18] und [51].

---

Aus diversen persönlichen Gesprächen<sup>8</sup> geht hervor, dass eine präzise Abgrenzung auf der Karte aus folgenden Gründen nicht möglich ist:

- Aus dem Kapitel 8.2 wissen wir, dass *erheblich* nicht gleich *erheblich* ist, je nach Gefahrenmuster (vgl. Kapitel 9.4) und Gefahrenentwicklung sind z.B. Fernauslösungen zu erwarten oder nicht.
- Bei der Beurteilung des *ganzen Hangs* müssen auch die aktuellen Verhältnisse (das *Bauchgefühl*) in der *3x3 Phase 2 und 3* (vgl. Kapitel 9.1), miteinfließen. Hangmächtigkeit, Schneemenge, Muster etc. spielen bei dieser Beurteilung und einer möglichen Fernauslösung immer eine Rolle.
- Egal ob Experte oder Anfänger, ein definitiver Entscheid muss immer vom Skitouren-gänger selbst gefällt werden, unabhängig von seinem Erfahrungsstand, und lässt sich nicht durch eine Computermodellierung ersetzen.

Für Tourenanfänger ist es schwierig, in der Tourenplanung abzuschätzen, in wie weit Steilhänge ( $>30^\circ$ ) bei erheblicher Lawinengefahr berücksichtigt werden müssen. Experten können sich dazu mit Hilfe von Bulletin und Karte einfach ein Bild machen. In der SAC-Skitourenkarte (vgl. Abb. 18c) werden nur die Steilhänge ( $>30^\circ$ ) für den Masstab 1:50000 vereinfacht dargestellt, die übrigen Auslösbereiche (ganzer Hang), welche bei *erheblich* zentral sind, jedoch nicht. Ein Anfänger kann somit in die Irre geführt werden. Dieses Defizit wird in der Literatur z. T. völlig ausgeblendet:

“(...) Einfacher ist es deshalb, wenn man für die Tourenplanung die aktuellen Skitourenkarten von swisstopo (LK 1:50000) zurate zieht (...) So erkennt man mit einem Blick, auf welche Touren bei erheblicher Lawinengefahr zu verzichten ist und wo eine Route noch ohne erhöhte Risiken begangen werden kann” [23]. Viel zu schnell schliesst ein Anfänger daraus, dass alle Bereiche ausserhalb der *roten Hänge* der SAC-Skitourenkarte bei *erheblich* sicher sind. In der Diskussion des eigenen Projekts (vgl. Abb. 55) findet sich ein Vorschlag, wie dieses Problem behoben werden könnte.

**Grenzen der GRM** Mit der GRM wurde versucht, Fehlanwendungen von Munters klassischer Reduktionsmethode zu beheben und das Werkzeug anfängertauglich zu gestalten. Dies führt wiederum zu neuen Grenzen:

“Die Koppelung der Gefahrenstufe mit der Hangneigung, seit der Einführung der Reduktionsmethoden sehr in den Vordergrund gerückt, ist richtig und wichtig, aber nicht allein entscheidend. So einfach ist die praktische Lawinenkunde nun leider nicht!” [51, S. 3].

“Oft wird darauf hingewiesen, dass die Reduktionsmethoden wichtige Fakten nicht einbeziehen. Das ist nicht unbedingt eine Schwäche der Methode, denn die Beschränkung auf die Schlüsselfakten ist notwendig...” [27, S. 59]

“Mit den Reduktionsmethoden verfügen wir, trotz aller Einwände, über ein wirksames Planungs- und Kontrollinstrument, das die klassische Beurteilung mittels 3x3 sinnvoll ergänzt. Reduktionsmethoden lösen aber das Einzelhangproblem ungenügend; ihr Stellenwert sollte deshalb im Gelände geringer gewichtet werden als bei der Planung (vgl. Abb. 4). Stützt man sich für Entscheide im Gelände allein auf sie, müssen Sicherheitsmargen eingebaut werden” [51, S. 2]. Das SLF reagierte auf dieses Defizit mit der *Mustererkennung*, welche im nachfolgenden Kapitel kurz erläutert wird.

---

<sup>8</sup>Gespräche mit Bergführern und Telefongespräch am 16. 5. 2013 mit S. Harvey SLF.

### 9.4 Typische Lawinenprobleme (Muster)

Aus dem Merkblatt *ACHTUNG LAWINEN!* [17] wird deutlich ersichtlich, dass der aktuelle Schwerpunkt des SLF bei der Sensibilisierung auf das tagesaktuelle Lawinenproblem, bei der sogenannten *Mustererkennung* liegt. Diese ist in Tabelle 7 vereinfacht dargestellt.

“Mit Mustern sind typische Situationen gemeint: nämlich Neuschnee, Triebsschnee, Nassschnee und Altschnee (schwacher Schneedeckenaufbau). Sie helfen, die Neubeurteilung im Gelände losgelöst von der Gefahrenstufe zu machen und leiten zum Prozessdenken an: Wie sind die Bedingungen für ein Schneebrett?” [51, S. 2].

Tabelle 4 zeigt die Gewichtung der *Muster* und der *GRM* innerhalb der jeweiligen Phase des 3x3.

<b>CHECK GEFAHRENSITUATION: HAUPTGEFAHR HEUTE?</b>	
<b>Neuschneesituation</b> ■ GRM:  nützlich	
Beschreibung	ungenügende Verbindung Neuschnee-Altschnee, bis ca. 3 Tage nach Schneefall
Gefahrenstufe oft	erheblich
kritische Schicht	Verbindung Neuschnee-Altschnee
Kennzeichen	- kritische Neuschneemenge - Alarmzeichen
Wichtig	- effektive Neuschneemenge und Wind mit Bulletin vergleichen - Altschnee-Oberfläche
<b>Altschneesituation</b> ■ GRM:  defensiv anwenden	
Beschreibung	Schneefälle oder Verfrachtungen liegen einige Tage zurück. Schneedecke hat Schwachschichten
Gefahrenstufe oft	mässig
Kritische Schicht	Altschneedecke, Lage oft unklar
Kennzeichen	- auch für Erfahrene schwierig erkennbar - Blick in die Schneedecke zeigt mögliche Schwachschichten - ev. Wummgeräusche
Wichtig	- Reduktionsmethode einhalten - extreme Hänge meiden - Schneedecke schonen
<b>Triebsschneesituation</b> ■ GRM:  wenig nützlich	
Beschreibung	frischer Triebsschnee durch Wind in den letzten ca. 3 Tagen
Gefahrenstufe oft	mässig oder erheblich
Kritische Schicht	Verbindung Triebsschnee-Altschnee
Kennzeichen	- Windzeichen - Alarmzeichen
Wichtig	- Gelände gut beobachten - Triebsschnee umgehen - Hänge als ungünstig annehmen, ausser wenn vom Gegenteil überzeugt - Varianten planen (wenn kein Triebsschnee, dann, sonst ...) - Vorsicht bei schlechter Sicht
<b>Frühjahrssituation</b> ■ GRM:  wenig nützlich	
Beschreibung	Die gefrorene Schneedecke weicht im Tagesverlauf auf.
Gefahrenstufe oft	im Tagesverlauf deutlich ansteigend
Kritische Schicht	Altschnee oder auf dem Boden
Kennzeichen	- durchweichte, feuchte oberste Schicht bzw. Schneedecke - spontane Rutsche und Lawinen
Wichtig	- klare Nacht - Tour früh beenden (Zeitplan) - Vorsicht vor grossen spontanen Lawinen, auch im Hüttenaufstieg

Quelle: Bergsport Winter, SAC Verlag  
 Videoanleitung: [www.bergundtal.ch/video](http://www.bergundtal.ch/video)  
 In Zusammenarbeit mit: [www.slf.ch](http://www.slf.ch)



Kurse und Touren: [www.bergundtal.ch](http://www.bergundtal.ch)

Tabelle 7: Typische Lawinensituationen - die vier Muster. Quelle: Eigene Abb. aus [4] und [17].

**Grenzen der GRM innerhalb der Muster** In der Tabelle 7 wird ebenfalls ersichtlich, dass die GRM nicht bei jedem *Muster* gleich zuverlässig verwendet werden kann.

“Zwei typische Situationen entziehen sich in einem gewissen Grad der Einschätzung mittels Reduktionsmethoden: frischer Triebsschnee, infolge der kaum einschätzbaren Auslösewahrscheinlichkeit; kohäsionsloser nasser, oder trockener zuckriger Schnee.” [27, S. 59]

“Am zuverlässigsten ist die GRM bei Neuschneesituationen. Bei Triebsschnee und Nassschneesituationen...

tuationen ist sie weniger hilfreich, weil bei diesen Situationen die Geländeform und Exposition wichtiger sind als die Hangneigung. Bei Altschneesituationen ist die GRM teils nützlich” [18, S. 159]. Gemäss Kapitel 9.3 gelten diese Tatsachen insbesondere, wenn der Tourengänger im *erhöhten Risiko (gelb)* gemäss GRM unterwegs ist. Bei defensiver Anwendung der GRM und der strikten Einhaltung von *Sicherheitsmargen* kann die GRM für alle Muster und auch für Entscheide im Gelände nützlich sein [51, S. 2].

**Einfluss des Waldes auf die Lawinengefahr** “Lichter Wald schützt nicht vor Lawinen” [17]. Welchen Einfluss aber hat *geschlossener Wald*? Für diese Frage liegt im eigenen Projekt im Kapitel 17.3 ein Lösungsvorschlag vor.

## 9.5 Aufstieg mit Skis, Spuranlage

Über das vorherige Kapitel zur Mustererkennung sind wir nun mit der *Spuranlage* endgültig in der *Phase 2 des 3x3* (laufende Beurteilung im Gelände) angekommen. Es liegt auf der Hand, dass die definitive Spuranlage erst im Gelände festgelegt und in dieser Detailtreue (bis auf die genaue Position jeder *Spitzkehre*) nicht vorgängig geplant werden kann.

In dieser Arbeit wird jedoch versucht, die *optimale Aufstiegsroute* zu modellieren, welche einer definitiven Spuranlage angemessen nahe kommt und im besten Fall deren Wahl unterstützen kann. Grundlegende Überlegungen zur Spuranlage im Gelände, illustriert in Abb. 14, fliessen somit auch in das GIS-Projekt ein.

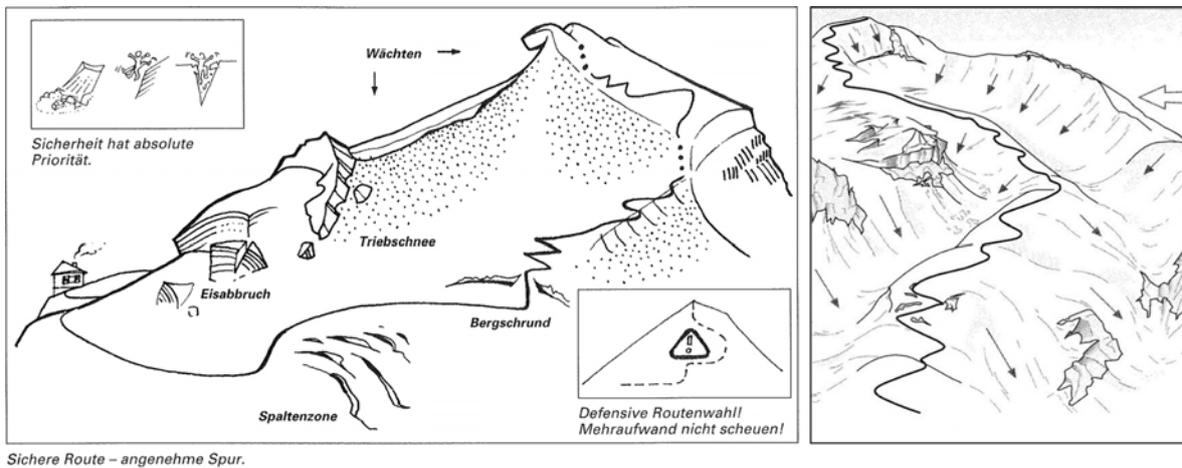


Abbildung 14: Spuranlage, ein Zusammenspiel von Sicherheit und Komfort. Quelle: [14] und [28].

“An der Qualität der Spuranlage und Gruppenorganisation erkennt man den Könnler. Bei der Spuranlage müssen die sich zum Teil konkurrierenden Aspekte Sicherheit, Komfort und Organisation der Gruppe optimiert werden” [51, S. 48].

Eine optimale Spuranlage bedeutet “(...) konvexe (rückenförmige) Geländeformen ausnutzen, die steilsten Hangpartien und frische Triebsschneeanstimmungen meiden, im grünen Bereich der GRM bleiben” [18, S. 17].

Im Kapitel 13 dieser Masterarbeit ist aufbauend auf diesen Überlegungen die gesuchte *kraftsparendste und lawinensicherste Aufstiegsroute* definiert. Die detaillierte GIS-Umsetzung ist in den anschliessenden Kapiteln im Detail beschrieben.

## 9.6 Entscheiden im Einzelhang

In Abb. 15 sind diejenigen Faktoren aufgeführt, welche es ergänzend zu Hangneigung, Exposition, Höhenlage und Muster beim definitiven Entscheid vor einem Einzelhang zu berücksichtigen gilt. Ob GIS-Produkte für die Beurteilung einiger dieser Faktoren nützlich sind, zeigen die Auswertungen der Masterarbeit im Teil IV.



Abbildung 15: Lawinenrisiko abschätzen vor dem Einzelhang - Definitiver Entscheid. Quelle: [17].

## 9.7 Handlungsspielraum von Anfängern und Experten

Abb. 16 zeigt den unterschiedlichen Handlungsspielraum von Einsteigern und Fortgeschrittenen für die Beurteilung des Lawinenrisikos innerhalb des 3x3 auf. Anfänger müssen sich auf wenige Schlüsselfaktoren und die defensive Anwendung der GRM beschränken. “Völlig verstanden und akzeptiert ist der Neuanatz (der Anwendung strategischer Entscheidungsverfahren wie der GRM) allerdings bis heute nicht (v. a. auch nicht von Experten.) [19, S. 39].

- Für viele Experten sind Entscheide, welche ausschliesslich auf der GRM-Anwendung beruhen, *haarsträubend*. Sie sind davon überzeugt, dass Fortschritte in der Lawinengefahrenprävention nur mit einer *vertieften Wahrnehmung im Gelände* möglich sind. “Wer eine Skitour in Angriff nimmt, muss sich mit den Verhältnissen auseinandergesetzt haben” [6].
- Beim Versuch, eine möglichst breite Masse (insbesondere der Anfänger) zu sensibilisieren, werden so einfache Entscheidungshilfen wie möglich benötigt. Dafür steht heute keine bessere Lösung zur Verfügung als die (defensiv angewendete) GRM. Sie soll jedoch noch einfacher (und fehlerfreier) anwendbar sein.

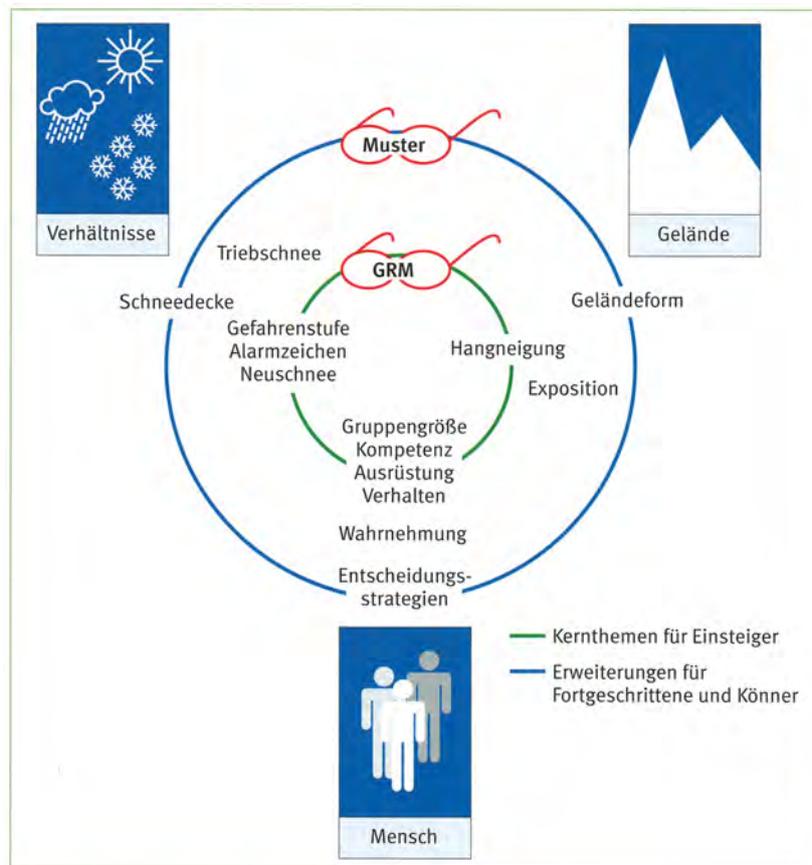


Abbildung 16: Faktoren und Beurteilungshilfen für den Umgang mit dem Lawinenrisiko für Einsteiger und Fortgeschrittene. Quelle: [18, S. 157].

**Umgang mit bleibenden Unsicherheiten in der Lawinenkunde** “Die praktische Lawinenkunde bewegt sich im Spannungsfeld zwischen einfach anwendbaren Regeln und Methoden und der Komplexität schwierig durchschaubarer Naturprozesse. Daraus folgt: Weniger Erfahrene sollten sich konsequent an Regeln halten, die den Spielraum defensiv eingrenzen. Wer näher an der Grenze schrammen und dabei überleben will, kommt nicht darum herum, sich intensiv mit der Lawinenkunde auseinanderzusetzen und eigene Erfahrung aufzubauen” [51, S. 3].

**Wahrnehmung von Laien und Experten** In der folgenden Quelle wird ersichtlich, dass insbesondere Anfänger in der Entscheidungsfindung besser unterstützt werden sollen: “Laien und Experte nehmen sehr unterschiedlich wahr und schenken verschiedenen Geländebe- reichen mit unterschiedlicher Intensität und Reihenfolge ihre Aufmerksamkeit. Laien halten sich mit ihren Blicken länger in gefährlichen Bereichen auf und springen vermehrt mit ihren Blicken, statt Stellen anzufixieren. Ihre Entscheidungsfindung dauert insgesamt länger und führt sie öfter in die vorher stärker beachteten Gefahrenbereiche. Experten treffen schnell die Gefahrenentscheidung und blicken länger auf die ungefährlicheren Bereiche des Gebietes, um sich für eine optimale Route zu entscheiden” [11, S. 48].

## 10 Computergestützte Skitourenplanung

Vieles, was in der traditionellen Skitourenplanung im Kapitel 9 gemacht wird, hat mit kombinieren, analysieren und interpretieren von räumlichen Informationen zu tun. Dies entspricht genau der Funktionsweise eines Geographischen Informationssystems, kurz GIS. Digitale Karten, Informationen und Werkzeuge werden für Jedermann immer einfacher verfügbar und nutzbar. Was dies für die Skitourenplanung bedeutet, wird in diesem Kapitel ersichtlich.

### 10.1 Kleiner GIS-Einstieg für Skitourenplaner

Abb. 17 beschreibt die Grundsätze und ein möglicher Nutzen eines GIS anhand der Tour vom Fildrich auf die Männliflue:

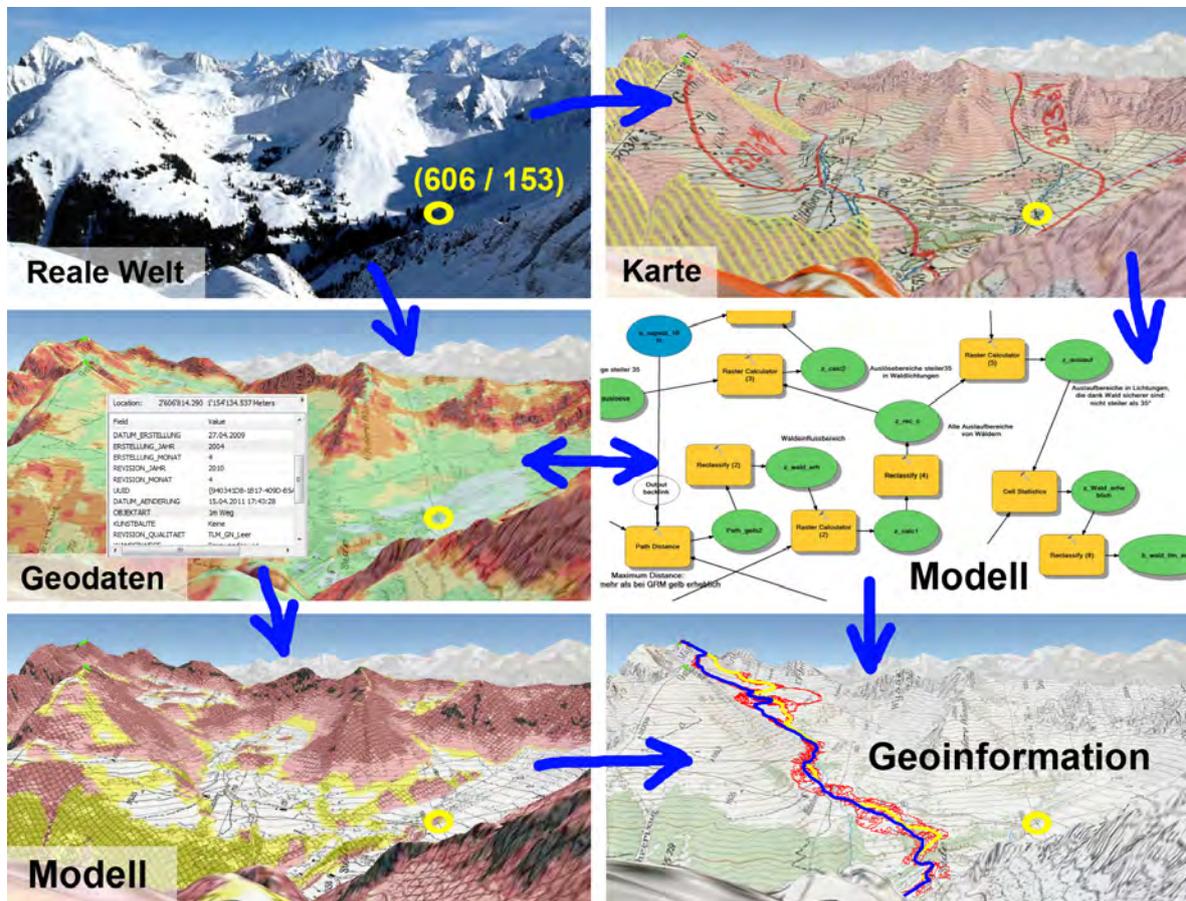


Abbildung 17: GIS-Beispiel einfach dargestellt. Quelle: Eigene Abb. aus [43], [49] und Projektergebnissen.

---

Jede Skitour findet draussen in der realen Welt statt. Die reale Welt kann in Form einer Landeskarte mit definierten Signaturen (Legende) dargestellt werden, in einem beliebigen Masstab oder auch dreidimensional. Einer Karte liegt ein *Koordinatensystem* zugrunde, sodass jeder Punkt der realen Welt exakt verortet und auf einer Karte wieder gefunden werden kann. In der Abb. 17 ist dies mit dem Beispielpunkt (606 / 153) illustriert.

Nun können alle Inhalte einer Landeskarte auch digital in der Form von *Geodaten* vorliegen. Jedes Geodaten-Objekt (z. B. ein Haus als Fläche, eine Brücke als Linie oder ein Einzelbaum als Punkt) enthält individuelle Eigenschaften und ist fix an Koordinaten gebunden. Damit ist klar, wo das Objekt zu liegen kommt. Geodaten als Basis fürs eigene GIS-Projekt werden im Kapitel 14 vorgestellt.

Bestehende und selbst erfasste Geodaten (z.B. GPS-Aufzeichnungen) lassen sich mit GIS-Programmen (Spezialsoftware, vgl. Kapitel 4.3) in eigens erstellten *Berechnungsmodellen* (vgl. Anhang Teil V) kombinieren und analysieren, damit die automatisch modellierte *optimale Aufstiegsroute* als neue *Geoinformation* zur Verfügung steht und eine zusätzliche Hilfe in der Tourenplanung darstellt.

## 10.2 Digitales Kartenmaterial

Die in Abb. 18 gegenübergestellten digitalen Karten sind (mit Ausnahme von Karte b) als *Skitourenkarten oder Winterkarten* im Internet verfügbar und werden als Werkzeug zur präzisen Tourenplanung angepriesen. Welche Karten wirklich einer Tourenplanung im Sinne von Kapitel 9 gerecht werden, ist bei näherer Betrachtung schnell geklärt.

Zu bemerken ist hier, dass diese Übersicht in keiner Weise abschliessend ist, die Entwicklung neuer und besserer Internet-Karten schreitet in hohem Tempo voran.

**Kartenmaterial der swisstopo** Die qualitativ besten topografischen Karten bilden nach wie vor die Landeskarten 1:25000 und 1:50000 der swisstopo, welche im Kapitel 9 bereits als Basis dienen. Diese Kartenprodukte sind heute auch auf mehreren Internet-Plattformen verfügbar, siehe Kapitel 10.3. In Abb. 18 bildet die LK 1:25000 den Hintergrund für Bild a und b.

Bild c in Abb. 18 zeigt die Skitourenkarte 1:50000 (vgl. Kapitel 9.2) mit den *roten Linien* (Skitourenrouten mit hinweisendem Charakter) und den rot eingefärbten Steilhängen, welche dem DHM25 der swisstopo entstammen (vgl. Bild a und Kapitel 14.1).

**Hangneigungskarte von mapplus** Bild a in Abb. 18 zeigt diese bewährte Hangneigungsklassierung [49] auf der Basis des DHM25 der swisstopo (vgl. Kapitel 14.1). Diese Ebene lässt sich heute flexibel in das *Geoportal CH* (vgl. Kapitel 10.3) einbauen und mit allen Landeskarten der swisstopo kombinieren.

Im Kapitel 14.1 wird jedoch klar, dass die Auflösung dieses Produkts der LK 1:25000 nicht gerecht wird. Eine aussagekräftigere Karte ist im Anhang Teil V ersichtlich.

Bild b in Abb. 18 zeigt vergleichend dazu dieselben Hangneigungsklassen auf der Basis des präzisen neuen Geländemodells, welches in dieser Arbeit verwendet und ebenfalls im Kapitel 14.1 beschrieben wird.

**Winterkarten auf gps-tracks.com** Bild d in Abb. 18 zeigt die *Winterkarte* der Plattform [www.gps-tracks.com](http://www.gps-tracks.com) (vgl. Kapitel 10.3). Die Karte stammt von Hallwag Kümmerly+Frey<sup>9</sup>, es werden die Hangneigungen *steiler* 30° (hellrötlich) und *steiler* 35° (dunkelrötlich) auf der Basis eines Höhenmodells mit einer Auflösung von 25m<sup>10</sup> abgebildet.

Der Vergleich mit den Karten a und c zeigt jedoch, dass dieses Höhenmodell eine grobere Auflösung als das DHM25 der swisstopo bzw. eine schlechtere Qualität als dieses aufweist.

**Freizeitkarten von outdooractive.com** Die Bilder e und f in Abb. 18 zeigen ein weiteres Internet-Produkt einer Winterkarte [31]. Es lässt sich ebenfalls eine Hangneigungskarte (30°, 35°, 40°) mit diversen Hintergrundkarten kombinieren, z. B. im Bild e mit der Karte *Outdooractive Winter*<sup>11</sup> oder im Bild f mit der Geländekarte aus GoogleMaps<sup>12</sup>. Solche Kartenprodukte finden sich in unzähligen Smartphone-Anwendungen wieder (vgl. Kapitel 10.4). Diese Hangneigungskarte lässt sich auf dem outdooractive-Portal innerhalb der Schweiz auch mit der LK 1:25000 kombinieren, obwohl das Hangneigungs-Bild überhaupt nicht diesem Masstab entspricht.

**Fazit zum verfügbaren digitalen Kartenmaterial** Der Kartenvergleich zeigt deutlich auf, dass die Karten d bis f in keiner Weise die Präzision der Karten a bis c erreichen. Daraus folgt, dass mit Ausnahme der bewährten Karten der swisstopo viele aktuell verfügbaren Internet-Karten für die Skitourenplanung zu Hause (noch) nicht brauchbar sind. Ein trauriges Fazit, wenn man bedenkt, dass vor fast 100 Jahren bereits viel bessere Skitourenkarten zur Verfügung standen (vgl. Abb. 9) als zum Teil heute via Internet.

---

<sup>9</sup>[http://www.swisstravelcenter.ch/winter\\_erlebniskarten.html](http://www.swisstravelcenter.ch/winter_erlebniskarten.html) (Zugriff: 2013-05)

<sup>10</sup>[http://www.swisstravelcenter.ch/K\\_F\\_Digital\\_Maps.html](http://www.swisstravelcenter.ch/K_F_Digital_Maps.html) (Zugriff: 2013-05)

<sup>11</sup>Basisdaten nicht ermittelt.

<sup>12</sup><https://maps.google.ch/> (Zugriff: 2013-05)

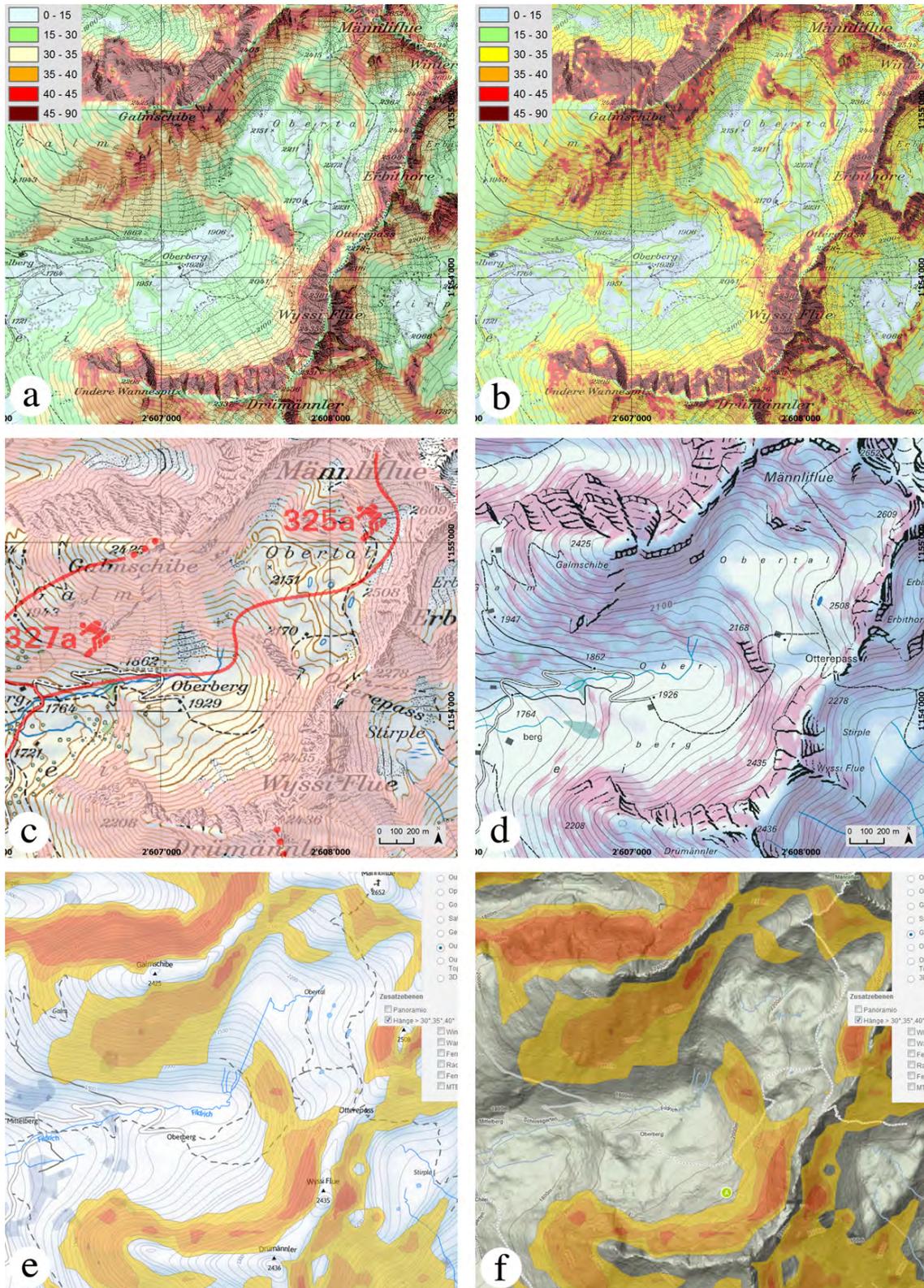


Abbildung 18: Vergleich digitale Karten: a. Hangneigungsklassen mapplus [49], b. Hangneigungsklassen ab swissALTI3D10m [44], c. SAC-Skitourenkarte mit roten Steilhängen [43], d. Winterkarte [www.gps-tracks.com](http://www.gps-tracks.com), e. Winterkarte sowie f. Google-Geländekarte mit Hangneigungen von [www.outdooractive.com](http://www.outdooractive.com).

### 10.3 Tourenplanungsplattformen, nützliche Internet-Informationsquellen

Das Internet bietet eine Vielzahl von Tourenplanungshilfen und Informationsquellen für diverse Aspekte, eine kompakte Übersicht dazu liefert die Tabelle 8.

Ergänzend zu dieser Tabelle werden nachfolgend die wichtigsten Online-Plattformen und PC-Anwendungen kurz erläutert.

“Smartphones, Webcams, Daten von automatischen Wetterstationen, Berichte aus Internetforen und eine Fülle von spezifischen Informationen, welche die Lawinenwarndienste aufbereiten, ermöglichen es heute, sich bereits zu Hause ein wesentlich besseres Bild der Situation zu machen” [18, S. 8].

**Geoportal CH** In der Schweiz bildet dieses Portal [46] den einfachsten Zugang zu sämtlichen Kartenprodukten und Luffotos der swisstopo, einer hochauflösenden Reliefschattierung (vgl. Tabelle 8) und voraussichtlich ab Winter 2013/14 einer neuen Hangneigungskarte mit 10m-Auflösung<sup>13</sup>.

Zudem stehen eine Vielzahl von Geobasisdaten des Bundes als thematische Ebenen und als Darstellungsdienste<sup>14</sup> zur Verfügung. Dank zahlreichen Zusatzfunktionen, z. B. dem in Abb. 19 dargestellten Profilwerkzeug, wird eine interaktive Tourenplanung möglich. Leider lässt sich das Profil noch nicht exportieren und bezüglich Hangneigungen und Marschzeit weiter auswerten, doch das ist wohl nur eine Frage der Zeit.

Das Geoportal CH zeigt eindrücklich eine Tendenz moderner Geoportale, nämlich die flexible Nutzung und Austauschbarkeit eigener Inhalte sowie die Einbindung von Themen anderer Anbieter (vgl. Kapitel 10.2, mapplus).

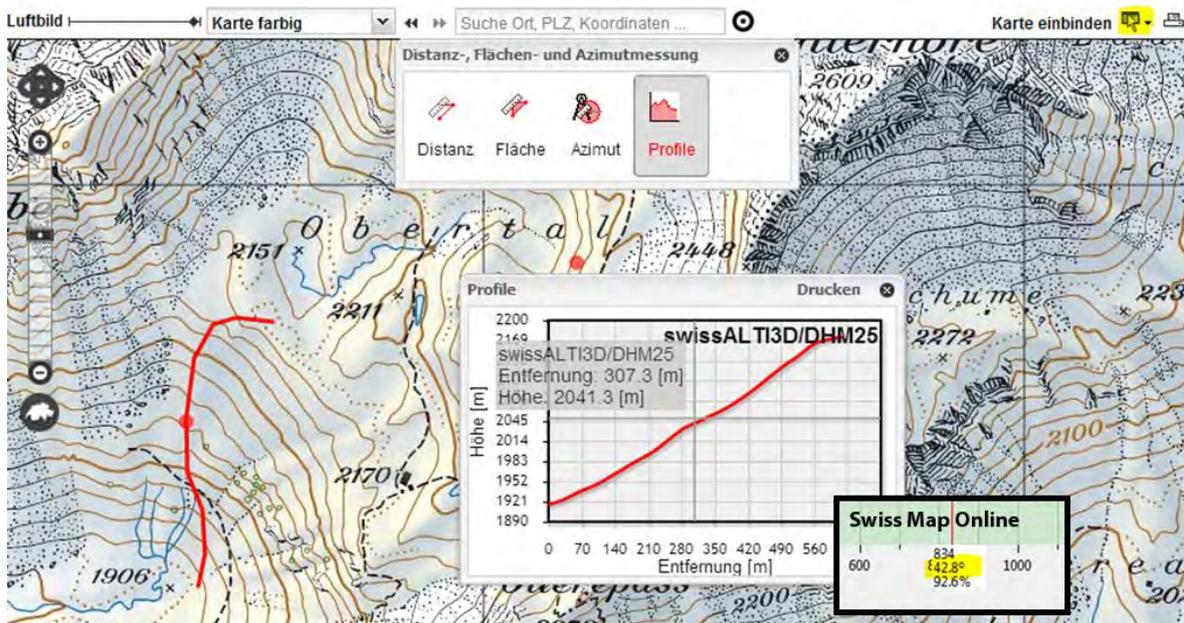


Abbildung 19: Interaktive Funktionen mit Geoportal CH [46] und SwissMap Online [43].

<sup>13</sup>Telefonauskunft von S. Harvey SLF am 16. 5. 2013.

<sup>14</sup>WMS, siehe [http://www.geo.admin.ch/internet/geoportal/de/home/services/geoservices/display\\_services/services\\_wms.html](http://www.geo.admin.ch/internet/geoportal/de/home/services/geoservices/display_services/services_wms.html) (Zugriff: 2013-05)

**SwissMap Online** Dies ist im Vergleich zum Geoportal CH die kostenpflichtige Variante der swisstopo [43], welche lokal auf dem Computer installiert werden muss und dasselbe Kartenmaterial wie das Geoportal CH via Internetverbindung einbindet.

Hier sind wesentlich mehr Funktionen für die Tourenplanung verfügbar als im Geoportal CH, z. B. eine umfangreiche Profelfunktion (vgl. Ausschnitt in Abb. 19 sowie Erfassungs-, Import- und Exportfunktionen für GPS-Tracks und GoogleEarth.

Zudem lassen sich die SAC-Skitourenrouten und die *roten Hänge* der Skitourenkarte 1:50000 einblenden, was im Geoportal CH bis heute nicht möglich ist.

Aus der Anwendersicht bleibt zu hoffen, dass die gesamte Funktionalität der SwissMap Online in Zukunft in das Geoportal CH eingebaut wird.

**Informationen zu aktuellen Wildruhezonen und Wildschutzgebieten** Dies ist in der Schweiz in der Tourenplanung ein sehr wichtiges Thema. Aktuelle Wildruhezonen müssen berücksichtigt werden. Dank der erfolgreichen Kampagne *Respektiere deine Grenzen*<sup>15</sup> wird dies auch immer einfacher.

Leider ist diese Kartenebene aktuell nicht im Geoportal CH oder als Darstellungsdienst verfügbar, obwohl dies zwischenzeitlich der Fall war. Erst dann können diese Informationen auch flexibel in andere Tourenplanungsplattformen einfließen.

**White Risk SLF** Wie interaktive Lawinenprävention und Ausbildung aussehen kann, zeigt seit einigen Jahren das SLF mit der Plattform *White Risk*<sup>16</sup>. 2006 als DVD-Anwendung *WhiteRisk* lanciert, steht seit gut 2 Jahren *White Risk Mobile* [38] als Smartphone-App zur Verfügung (vgl. Kapitel 10.4 und Abb. 22).

Zusätzlich lancierte das SLF 2011 das Projekt *snowsense*, eine Webplattform und Smartphone-App für die Planung und Durchführung von Ski- und Snowboardtouren (vgl. Abb.20).



Auf dem Webportal können Ski- und Snowboardtouren geplant und abgespeichert werden.

Via iPhone App hat der Nutzer Zugang zu seinen gespeicherten Touren, einer digitalen Karte und zahlreichen Funktionen zum Abrufen und Melden der aktuellen Verhältnisse.

Abbildung 20: SLF Projekt *Tourenplanungsportal snowsense*, erscheint voraussichtlich im Dezember 2013 innerhalb der Aktualisierung von *White Risk*. Quelle: [36].

<sup>15</sup>[www.respektiere-deine-grenzen.ch/](http://www.respektiere-deine-grenzen.ch/) (Zugriff: 2013-05)

<sup>16</sup>[www.whiterisk.org/](http://www.whiterisk.org/) (Zugriff: 2013-05)

“Der Nutzer kann seine Tour auf einer digitalen Karte einzeichnen, einen Zeitplan festlegen, Schlüsselstellen markieren, so wie deren Schwierigkeit mittels eines geführten Dialoges einschätzen. Hangneigung, Exposition, Höhenlage und die prognostizierten Schnee- und Wetterverhältnisse fließen dabei in die Vorbereitung ein. Unterwegs hat der Tourengänger Zugriff auf seine zu Hause geplante Tour und kann diese auf einer GPS-gestützten Karte abrufen” [36]. Die Plattform *snowsense* wurde bis zum aktuellen Zeitpunkt nicht veröffentlicht, soll aber in die nächste Überarbeitung von *White Risk* integriert werden<sup>17</sup>.

Im Dezember 2013 wird *White Risk* als neue, komplett überarbeitete Webplattform in den Sprachen Deutsch, Französisch, Italienisch und Englisch lanciert. Darin sollen folgende Punkte enthalten sein:

- Lawinenwissen für den autodidaktischen Gebrauch, inhaltlich in etwa wie die bisherige DVD.
- Tourenplanungsfunktionalität übernommen aus dem Projekt *snowsense*. Die geplanten Touren können aufs Smartphone-App übertragen werden.
- PresenterTool für Ausbildner, um Präsentationen zu machen.
- E-Learning: Hier können vorgegebene Inhalte niveaugerecht und strukturiert gelernt werden. Dieser Teil wird jedoch erst später realisiert.
- Die Plattform wird laufend unterhalten mit dem Ziel, auch immer wieder Neuerungen einzubauen.

Es kann sich bis zum nächsten Winter jedoch auch noch einiges ändern, weil noch viele Details offen sind.

**GoogleEarth** GoogleEarth<sup>18</sup> kann als einfach bedienbares Tourenplanungsportal mit vielen hilfreichen Funktionen für die Tourenplanung eingesetzt werden. Es lassen sich in einer (zumindest in der Schweiz) hochauflösenden 3D-Umgebung eigene Routen erfassen, Profile anzeigen, beliebige Karten einbinden und die Routen als eigene Geodaten (GPS-Tracks) abspeichern und austauschen.

In dieser Arbeit dient GoogleEarth für die Plausibilisierung der Ergebnisse innerhalb der Online-Umfrage (vgl. Kapitel 21.2) sowie für 3D-Visualisierungen in einigen Abbildungen. Eine Kurzanleitung zur Tourenplanung mit GoogleEarth in Verbindung mit den in diesem Projekt erstellten Hinweiskarten befindet sich im Anhang Teil V.

**Atlas der Schweiz 3** Als Beispiel für interaktive Kartenanwendungen wird an dieser Stelle auch der Atlas der Schweiz erwähnt [42]. Abb. 21 zeigt auf, dass sich damit Hangneigungen, Expositionen und Höhenstufen interaktiv filtern und beliebig darstellen und auswerten lassen. Zwar reicht die Raster-Auflösung des Höhenmodells (100m) und die enthaltene kleinmasstäbliche topografische Karte noch nicht aus, um als Skitourenplanungswerkzeug zu dienen. Solche Werkzeuge werden jedoch stets verbessert und stehen vielleicht bald in ausreichender Auflösung auf einer Webplattform zur Verfügung.

---

<sup>17</sup>Mailverkehr und Telefon mit S. Harvey SLF am 16. 5. 2013.

<sup>18</sup>[www.google.com/earth/index.html](http://www.google.com/earth/index.html) (Zugriff: 2013-05)

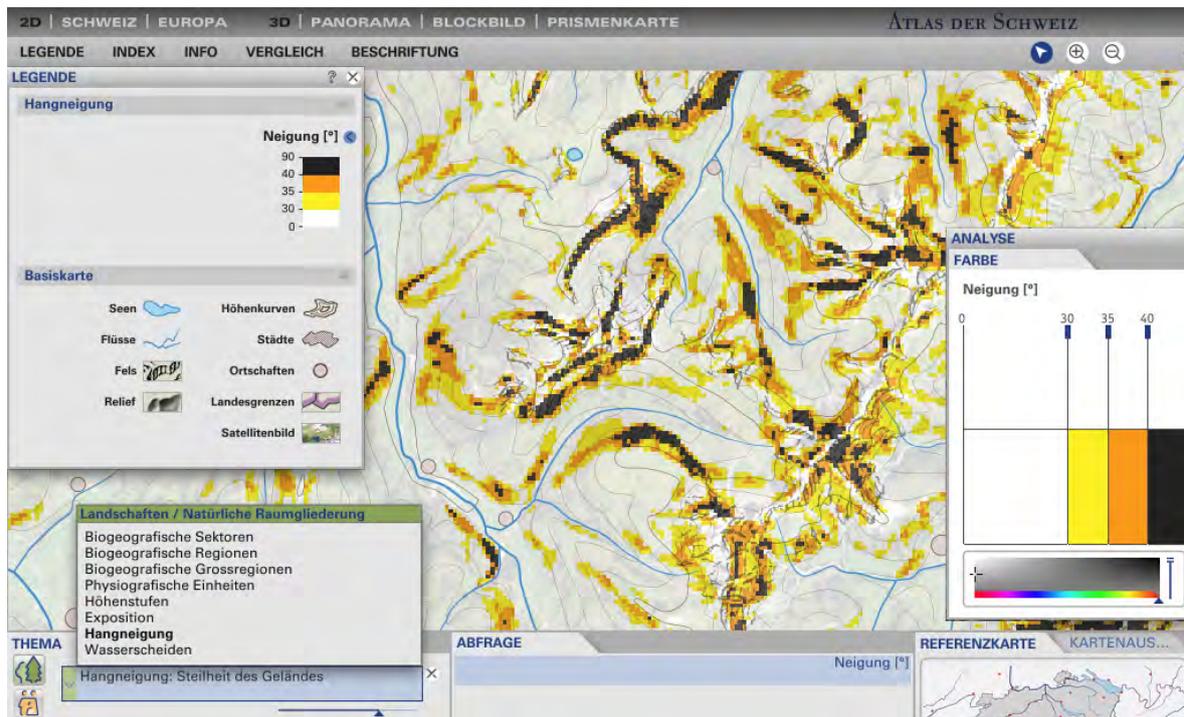


Abbildung 21: Atlas der Schweiz 3. Quelle: [42].

**Fertige GPS-Tracks von Skitouren** Auf unzähligen Tourenportalen sind heute Tourentipps mit fertigen GPS-Routen verfügbar, einige davon sind in Tabelle 8 aufgeführt. Diese Daten zeigen jedoch oft den individuellen Routenverlauf des Tourengängers, welcher an einem bestimmten Tag bei den damaligen Verhältnissen unterwegs war. Zudem ist die Qualität der erfassten Routen sehr unterschiedlich, oft sind sogar gravierende Messungenauigkeiten in den Tracks enthalten. Die Routen zeigen selten die *optimale Aufstiegsroute* in der Qualität, wie sie in der Fragestellung in Kapitel 2 definiert und gesucht wird.

“Es ist verlockend: Statt in mühseliger Kleinarbeit die Skitour einzuzichnen, statt Hangneigungen auf der 25000er-Karte zu messen, statt sich über das Lawinenbulletin und die Anriss- und Auslaufgebiete möglicher Schneebretter Gedanken zu machen und statt Alternativen und Varianten zu planen, hockt man vor den Computer und lädt sich die gewünschte Skitour als Track aufs GPS. So einfach geht das heute. Und so gefährlich ist es auch. (...) Denn entscheidend für die Beurteilung der Gefahren sind die Verhältnisse im Gelände. Egal wohin das GPS zeigt.” [6].

**Sammlung nützlicher Internetlinks** In der nachfolgenden Tabelle 8 sind nun nützliche Links zu diversen Tourenplanungskriterien zusammengetragen.

Wetter und Niederschlagsradar Schweiz	<a href="http://www.meteoschweiz.ch">www.meteoschweiz.ch</a> , <a href="http://www.meteocentrale.ch">www.meteocentrale.ch</a> , <a href="http://www.meteotest.ch">www.meteotest.ch</a> , <a href="http://www.meteoblue.com">www.meteoblue.com</a> , <a href="http://www.landi.ch">www.landi.ch</a> , <a href="http://www.metradar.ch">www.metradar.ch</a> , <a href="http://www.meteo.ch">www.meteo.ch</a> (Linksammlung) Persönliche Beratung: Meteoschweiz 0900 162 333
Wetter Ausland	<a href="http://www.wetter.at">www.wetter.at</a> , <a href="http://www.zamg.ac.at">www.zamg.ac.at</a> , <a href="http://www.provinz.bz.it">www.provinz.bz.it</a> , <a href="http://www.meteo.it">www.meteo.it</a> , <a href="http://www.wetter.de">www.wetter.de</a> , <a href="http://www.meteox.com">www.meteox.com</a> , <a href="http://www.mountain-forecast.com/">www.mountain-forecast.com/</a>
Lawinen, Schneeinfos	<a href="http://www.lawinen.org">www.lawinen.org</a> , <a href="http://www.slf.ch">www.slf.ch</a> (vgl. Kapitel 8.2) <a href="http://www.lawine.salzburg.at/">www.lawine.salzburg.at/</a>
Verhältnisse, Community-Plattformen, z. T. Routendownload	<a href="http://www.skitouren.ch">www.skitouren.ch</a> (v.a. Deutschschweiz), <a href="http://www.skirando.ch">www.skirando.ch</a> (v.a. Westschweiz), <a href="http://www.gipfelbuch.ch">www.gipfelbuch.ch</a> , <a href="http://www.alpine-auskunft.at">www.alpine-auskunft.at</a> , <a href="http://www.alpintouren.com">www.alpintouren.com</a> , <a href="http://www.bergsteigen.at">www.bergsteigen.at</a> , <a href="http://www.alpenvereinaktiv.com">www.alpenvereinaktiv.com</a> , <a href="http://www.bergfex.at/">www.bergfex.at/</a> , <a href="http://www.gulliver.it/">www.gulliver.it/</a> , <a href="http://www.hikr.org/">www.hikr.org/</a>
Routendownload, digitale Tourensammlungen	<a href="http://www.gps-tracks.com">www.gps-tracks.com</a> , <a href="http://www.outdooractive.com/">www.outdooractive.com/</a> , <a href="http://www.gps-touren.ch/">www.gps-touren.ch/</a> , <a href="http://www.barbalex.ch">www.barbalex.ch</a> , <a href="http://www.gpsies.com">www.gpsies.com</a> , <a href="http://www.chmoser.ch">www.chmoser.ch</a> (Vorsicht unterschiedliche Qualität)
Landeskarte 1:25000 mit Einfärbung von Hangneigungen	<a href="http://map.geo.admin.ch/">http://map.geo.admin.ch/</a> (ab Winter 2013/14), <a href="http://www.mapplus.ch">www.mapplus.ch</a> (vgl. Abb. 18), <a href="http://lawine.tirol.gv.at/basics/gelaendeneigungen/">http://lawine.tirol.gv.at/basics/gelaendeneigungen/</a>
Hochauflösende Relief-schattierung Schweiz	<a href="http://s.geo.admin.ch/0490cd0e7">http://s.geo.admin.ch/0490cd0e7</a> (zusätzlich Landeskarte und Luftfoto)
Hochauflösende 3D-Karten	<a href="http://www.realitymaps.de/">www.realitymaps.de/</a> , <a href="http://www.google.com/earth/index.html">www.google.com/earth/index.html</a>
Geländeprofil	<a href="http://map.geo.admin.ch/">http://map.geo.admin.ch/</a> , <a href="http://geo.ebp.ch/gelaendeprofil/">http://geo.ebp.ch/gelaendeprofil/</a> (kaum für Touren)
Checklisten	<a href="http://www.sac-cas.ch/unterwegs/tourenplanung.html">www.sac-cas.ch/unterwegs/tourenplanung.html</a> (SAC) <a href="http://www.jugendundsport.ch/internet/js/de/home/skitouren/download.html">www.jugendundsport.ch/internet/js/de/home/skitouren/ download.html</a> (J+S)
Routenplaner, Hütten	<a href="http://www.schweizmobil.ch">www.schweizmobil.ch</a> , <a href="http://www.sac-cas.ch">www.sac-cas.ch</a> > Unterwegs <a href="http://www.sac-cas.ch/huetten/huette-suchen.html">www.sac-cas.ch/huetten/huette-suchen.html</a> <a href="http://www.club-arc-alpin.eu/">www.club-arc-alpin.eu/</a>
Nachhaltiger Bergsport	<a href="http://www.respektiere-deine-grenzen.ch">www.respektiere-deine-grenzen.ch</a> , <a href="http://www.busalpin.ch">www.busalpin.ch</a> , <a href="http://www.mountainwilderness.ch">www.mountainwilderness.ch</a> , <a href="http://www.alpentaxi.ch">www.alpentaxi.ch</a>
GPS Hardware und Software	<a href="http://www.garmin.ch/de/categorie-alpine">www.garmin.ch/de/categorie-alpine</a> , <a href="http://www.gpsbabel.org/">www.gpsbabel.org/</a> , <a href="http://www.qgis.org/">www.qgis.org/</a>
Webcams	<a href="http://www.topin.ch">www.topin.ch</a>
Panorama	<a href="http://www.peakfinder.org">www.peakfinder.org</a>
Notfallnummern	<a href="http://de.wikipedia.org/wiki/Notruf">http://de.wikipedia.org/wiki/Notruf</a> (innerhalb dieser Arbeit nicht relevant)

Tabelle 8: Sammlung nützliche Internetlinks zu diversen Tourenplanungskriterien. Quellen: [51, S. 90], [18, S. 151], [40] und Online-Umfrage (vgl. Kapitel 21.2), Zugriff Mai 2013.

---

## 10.4 Mobile Anwendungen (GPS und Smartphone)

**Satellitennavigation** Die diversen Aspekte von GPS (vgl. Erläuterungen in [16]) wird in dieser Arbeit nicht behandelt, weil der Fokus auf der Tourenplanung zu Hause liegt. Wichtig festzuhalten ist jedoch, dass Outdoorgeräte mit GPS-Funktionalität ständig verbessert werden und mit dem Smartphone ein GPS-Empfänger plötzlich bei einer breiten Masse angelangt ist. “Das GPS ist in Bezug auf die Orientierung ein sinnvolles und sehr nützliches Instrument. Lawinenunfälle, die im Winter häufigste Unfallursache, lassen sich damit aber nicht verhindern” [6]. In Tabelle 9 werden gängige Meinungen für und gegen solche Instrumente einander gegenübergestellt.

**Apps von Tourenplanungsportalen** Viele der in Tabelle 8 aufgeführten Tourenplanungsportale stellen in jüngster Zeit auch *Smartphone-Apps* zur Verfügung (z. B. [www.gps-tracks.com](http://www.gps-tracks.com)), um direkt via Smartphone neue Routen zu erfassen und bestehende Routen im Gelände zu nutzen. Einige Anbieter stellen einen meist kostenpflichtigen Download von Karten im Stil von Abb. 18 zur Verfügung (gute Qualität bis unbrauchbar). Auf einer Tour ist die digitale Karte auf dem Smartphone dann ohne Netzempfang verfügbar. Die Fülle neuer Apps ist schwierig fassbar, es bestehen grosse Differenzen in Preis und Qualität der Angebote.

**Apps mit Werkzeugen zur Einschätzung des Lawinenrisikos** *White Risk Mobile* [38], die *Ortovox-App* [30] und bestimmt noch weitere Smartphone-Anwendungen bieten nebst dem Zugang zum aktuellen Lawinenbulletin Zusatzfunktionen wie einen Risiko-Check, einen integrierten Kompass, Hangneigungsmesser und Höhenmesser an (vgl. Abb. 22).

Das Gefahrenbeurteilungs-Tool in der *Ortovox-App* liefert auf der Basis der *DAV Snowcard* [12] (vgl. Kapitel 9.3) dem Anfänger eine Sicherheitsempfehlung für den Entscheid vor einem Einzelhang. Unterstützend wird zuerst die tagesaktuelle Gefahrenstufe, mit dem integrierten Hangneigungsmesser oder manuell die Steilheit und schliesslich mit Kompasshilfe die *günstige* oder *ungünstige* Exposition zusammengetragen. Eine Ampel zeigt dann das Lawinenrisiko an (vgl. Abb. 22). Der *ganze Hang bei erheblich* wird dabei jedoch nicht gezielt berücksichtigt<sup>19</sup>. *White Risk Mobile* bietet kein GRM-Tool, sondern einen *Muster-Analyzer* für die angeleitete Beurteilung des aktuellen Lawinenmusters (vgl. Kapitel 9.4). Diese Anwendungen zeigen zudem den Umgang mit der Haftungsfrage auf: An mehreren Passagen der Anwendungen erscheinen deutliche Hinweise, dass das Bulletin falsch sein kann und der Tourengänger schlussendlich aufgrund von eigenen Beobachtungen der aktuellen Verhältnisse entscheiden muss. “Wer sich aber erst im konkret zu befahrenden Hang mit der potenziellen Gefahr auseinandersetzt, kommt definitiv zu spät. Eine vernünftige Tourenplanung nach dem 3x3-System kann die Applikation auf keinen Fall ersetzen” [5]. “(Zudem ist das) Schätzen der Hangsteilheit im Gelände [...] infolge der perspektivischen Verzerrung schwierig” [27, S. 59].

---

<sup>19</sup>Eigene Tests der App im Februar 2013.



Abbildung 22: Smartphone-Anwendungen White Risk Mobile [38] (oben) und Ortovox [30] (unten).

---

## 11 Bisherige GIS-Arbeiten

Dieses Kapitel zeigt einige der für diese Arbeit wichtigen bisherigen GIS-Arbeiten auf.

### 11.1 Abbildung der Lawinengefahr im Gelände

Zahlreiche Arbeiten haben sich in der Vergangenheit mit der Frage beschäftigt, ob oder wie detailliert sich das Lawinenrisiko in einer Karte darstellen lässt. Nachfolgend werden drei Arbeiten genauer betrachtet.

**Kleinräumige Visualisierungen des Salzburger Lawinenlageberichts als ortsbasierter Dienst [9]** Auf Basis eines digitalen Geländemodells mit einer Auflösung von 10m wird 2007 in dieser Arbeit versucht, tagesaktuelle Lawinengefahrenkarten in einer für mobile Endgeräte optimierten Darstellung zu erzeugen. Die Modellierung des *ganzen Hangs bei erheblich* ist darin nicht umgesetzt, dafür werden Geländeformen (Rinnen, Mulden, Rücken, Rippen und Kammlagen) detailliert hergeleitet und mit Literatur untermauert [9, S. 96ff]. Die Diplomarbeit war Teil des Forschungsprojektes *TourGuide* von Salzburg Research<sup>20</sup> und wurde zum Schluss in einem Expertenworkshop beurteilt. Aus diesem Workshop<sup>21</sup> und einem persönlichen Gespräch<sup>22</sup> gehen folgende Punkte hervor:

- Die 10m Auflösung des Geländemodells hat sich für die Bearbeitung der Thematik als optimal erwiesen (vgl. Kapitel 14.1).
- Das Vermischen der Tourenplanungsmethodik (Regionale Stufe mit Lokaler Stufe, vgl. Tabelle 4) ist problematisch, Fremdinformationen sollen grundsätzlich zu Hause beigezogen werden.
- Detaillierte Hangneigungskarten sind eine sinnvolle Unterstützung, die Karten zur Lawinengefahr jedoch werden zu scharf abgegrenzt (keine Übergangsbereiche), was nicht der Realität entspricht.
- Ziel der Bemühungen muss sein, die Lawinengefahr möglichst anschaulich zu vermitteln. Die Darstellung von gefährdeten Bereichen in einer integrierten Karte wäre (trotz des Problems der schwierig darstellbaren Unschärfe) wünschenswert.
- Einzelne Faktoren (Hangneigung, gefährdete Bereiche, etc.) könnten auch auf getrennten Karten angezeigt werden, so wäre der Nutzer gezwungen, sich intensiver damit auseinander zu setzen.

**Verzicht contra Risiko - Kartographische Auswertung von angewandtem Risikomanagement im Schneesportbereich [26]** Unter der Leitung des SLF entstand 2010 diese Bachelorarbeit. Sie befasst sich mit einem quantitativen Vergleich von Munters *ursprünglicher Reduktionsmethode* mit den davon abgewandelten Methoden *Bierdeckel* und *GRM* (vgl. Kapitel 9.3). Die jeweiligen Verzichtsgebiete werden dabei modelliert und einander gegenübergestellt, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Reduktionsmethoden erfassen zu können. Eine Schlussfolgerung der Arbeit lautet: "Die gRM als einfacher anwendbare Methode bietet

---

<sup>20</sup> [www.salzburgresearch.at/](http://www.salzburgresearch.at/) -> TourGuide (Zugriff: 2013-05)

<sup>21</sup> Unveröffentlichtes Protokoll des Workshops, von C. Eisank zur Verfügung gestellt.

<sup>22</sup> Gespräch mit C. Eisank an der AGIT 2012 in Salzburg.

bei den Gefahrenstufen GERING und MÄSSIG für wenig Erfahrene einen gewissen Vorsichtschutz, bei ERHEBLICH aber eher einen zu grossen Handlungsspielraum” [26, Vorwort]. Allerdings ist der *ganze Hang bei erheblich* (vgl. Kapitel 9.3) nicht berücksichtigt, was bei einem quantitativen Flächenvergleich der Verzichtbereiche stark ins Gewicht fallen dürfte. Zudem lassen weitere Schritte der GIS-Bearbeitung noch einige Fragen offen. Die Ergebnisse dieser Arbeit müssen daher kritisch betrachtet werden.

**GIS-Analyse Skitourenrouten nach Risikostufe [50]** Diese Arbeit durfte der Autor selbst im Jahr 2011 bei der IMPULS AG<sup>23</sup> ausführen, in Zusammenarbeit mit einem Bergführer. Sie bildet den *eigenlichen Startschuss* zur eigenen Master Thesis.

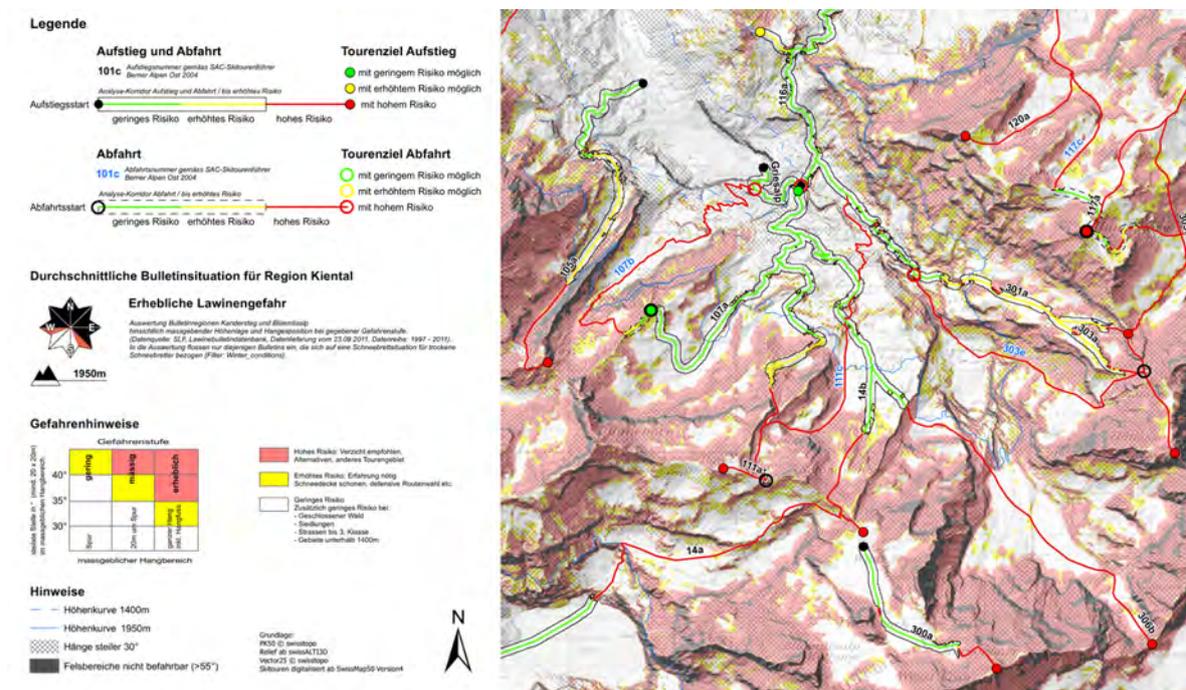


Abbildung 23: Darstellung durchschnittliche Bulletinsituation für Beispielregion und Bewertung der SAC-Skitourenrouten bezüglich GRM-Lawinenrisiko. Quelle: [50].

Das hier entwickelte GIS-Berechnungsmodell erlaubt, auf der Basis des aktuellen Lawinenbulletins und des digitalen Geländemodells (Auflösung 10m) die nach geltender Lehrmeinung gefährlicheren und weniger gefährlichen Hangbereiche für Skitouren auszuscheiden. Der Fokus liegt bei der defensiven Anwendung der GRM für wenig Erfahrene. Es ist auch ein Modell für den *ganzen Hang bei erheblich* umgesetzt (vereinfachte Herangehensweise, Darstellung der Auslösewahrscheinlichkeit, keine Sturzbahnberechnung). Darauf aufbauend ist für eine Testregion ausgewertet, welcher Anteil der SAC-Skitouren bei gegebener Gefahrenstufe (umgesetzt mit der durchschnittlichen Bulletinsituation) mit geringem, erhöhtem oder hohem Risiko (gemäss GRM) begangen werden kann. Bewertet wurde nicht nur die (zu ungenaue) SAC-Route, sondern ein Korridor.

Abb. 23 zeigt einen Ausschnitt dieser Auswertung.

<sup>23</sup> [www.impulsthun.ch/](http://www.impulsthun.ch/) (Zugriff: 2013-05)

---

“Die dargestellten *Gefahrenhinweiskarten* eröffnen neue Anwendungsmöglichkeiten auf der Stufe Tourenplanung (zu Hause), indem sie das Messen mit dem Hangneigungsmesser von Hand ersetzen und objektivieren, Schlüsselstellen darstellen und gleichzeitig den gesamten Handlungsspielraum in einer Tourenregion bei einem gegebenen Lawinenbulletin aufzeigen. Die dargestellten *Gefahrenhinweiskarten* würden es zudem erlauben, die Lagegenauigkeit der Skitourenrouten zu verbessern" [50, S. 28].

Das Projekt konnte im Dezember 2011 bei Vertretern des KAT (vgl. Kapitel 8.3) präsentiert werden.

Aufbauend auf diesem Projekt, der Präsentation und der bisherigen Diskussion werden folgende Punkte festgehalten:

- Für Skitouren existieren noch keine digitalen Routensammlungen mit einheitlicher, zuverlässiger Genauigkeit. Der Bedarf an solchen GPS-Routen steigt stetig. Der SAC arbeitet ständig daran, die SAC-Skitourenrouten dahingehend aufzubereiten<sup>24</sup>.
- Methoden und Werkzeuge zur Verbesserung der Routengenauigkeit werden sehr begrüsst, sie könnten die Basis für neue Bausteine in der Tourenplanung zu Hause sein.
- Die Grenzen von GIS in dieser Thematik sind im Kapitel 11.4 insbesondere in der Tabelle 9 zusammengetragen.

## 11.2 Vertiefte GIS-Analysen zu Detailfragen der Thematik

Die nachfolgend angeschnittenen Themenfelder sind riesig. Im Rahmen dieser Arbeit ist es nicht möglich in allen Teilthemen, beispielsweise in der bestmöglichen Ausscheidung der skitourenrelevanten Geländeformen, detailliert in die Tiefe zu gehen. Die aufgeführten Quellen zeigen auf, dass in vielen Detailbereichen Bearbeitungspotenzial schlummert. Die meisten Beispiele benötigen Spezialsoftware und darauf aufbauend grundlegende Anwendungserfahrung.

**Lawinen-Simulationsmodelle** Dabei handelst es sich um mehr oder weniger komplexe *Fliess- und Sturzbahnberechnungen*, welche Parameter wie Hanglänge, Einzugsgebietsgrösse, Schneemenge, Anrisshöhe, Fließwiderstände und Geländeformen im Auslaufbereich berücksichtigen. Eine Lawine kann bis heute nicht exakt berechnet werden (vgl. Kapitel 8).

- Die Software RAMMS [39] des SLF setzt in Projekten zu detaillierten Gefahrenbeurteilungen neue Masstäbe. RAMMS dient insbesondere der möglichst präzisen Modellierung einzelner Lawinen unter Berücksichtigung vieler Parameter. Aus Österreich ist dafür die Software SAMOS<sup>25</sup> bekannt.
- Für die flächige Modellierung von Schadenlawinen über die ganze Schweiz wurde im Projekt SilvaProtect [21, Anhang 1, S. 10ff.] das SLF-Lawinenmodell *AVAL-2D* verwendet (vgl. *Gefahrenhinweiskarten* in Abb. 24). Dieses Modell könnte allenfalls auch auf die Modellierung des *ganzen Hanges bei erheblich* angepasst werden.

---

<sup>24</sup>Hinweis von B. Hasler SAC während KAT-Präsentation Dezember 2011.

<sup>25</sup><http://bfw.ac.at/050/1912> (Zugriff: 2013-05)

**Routenfindung im offenen Gelände** Diese MasterThesis wendet das Konzept der *Verbindungsentfernung (Path Distance)* an (vgl. Kapitel 4.3 und 13.3). Es gibt viele Arbeiten, die sich aufbauend auf der gewählten Methode mit der Bildung von *Korridoren* beschäftigen, beispielsweise zur Analyse der Habitatvernetzung [22] im Naturschutz. Eher Neuland dagegen ist die detaillierte Modellierung der Skispur sowie die Differenzierung von Aufstieg und Abfahrt<sup>26</sup>.

Auf der *Verbindungsentfernungsanalyse* aufbauende Arbeiten mit stärkerem Bezug zum Thema wurden keine gefunden. Es fand jedoch keine intensive Suche solcher Arbeiten statt, weil der Ansatz in dieser Arbeit stark auf Erfahrungswerten von Bergführern und Skitourenleitern aus dem persönlichen Umfeld aufbaut (vgl. Kapitel 2 und Teil III).

Komplexere Ansätze wurden nicht weiter geprüft, z. B. der *Dispersions-Index*<sup>27</sup> einer Topografie als Mass der Vorwärtsbewegung und zur möglichen Definition von Skitouren-Korridoren.

**Geländeanalysen** Welche Aussagekraft in der LK 1:25000 steckt, wurde dem Autor in vielen Lawinenkursen lebendig vermittelt. So lässt sich aus der 2D-Karte von Hand eine präzise 3D-Landschaft konstruieren (sozusagen eine fundierte GIS-Geländeanalyse ohne Computerhilfe), und der optimale Skitourenverlauf ist im Kopf fest verankert<sup>28</sup>. Folgende GIS-Ansätze zur detaillierten Geländeanalyse werden in dieser Arbeit nicht genauer betrachtet:

- Landform-Klassifikation basierend nur auf Höheninformation, in objektbasierter Umgebung (nicht pixelbasiert). Dabei erfolgt eine Gruppierung (Clusterung) von Pixeln basierend auf der Ähnlichkeit von Nachbarpixeln. Das Gelände wird in die möglichen Kombinationen aus konkaven und konvexen Geländeformen eingeteilt. Grenzen in kleinen Masstäben (grobere Klassierung) finden sich in grösseren Masstäben mit feinerer Klassierung wieder. Auf diese Weise lassen sich z. B. Kammbereiche und Gletscherkare präzise ausscheiden [10].
- Auswertung von Laserscandaten. Hier verbirgt sich sehr viel Potenzial, z. B. zur Identifizierung morphologischer Detailstrukturen alpiner Hänge [33]. Dank des neuen swisstopo Geländemodells (vgl. Kapitel 14.1) könnten als weiteres Beispiel die Spaltenzonen auf Gletschern präziser herausgearbeitet werden als in der bestehenden LK 1:25000<sup>29</sup>.

### 11.3 Naturgefahren-Hinweiskarten und Lawinenkataster

Für erstaunlich viele Gebiete sind vergangene Schadenlawinen-Ereignisse dokumentiert und Bereiche mit potenzieller Lawinengefahr ermittelt. Die Grundlagen fürs Testgebiet (vgl. Kapitel 4.1) sind in Abb. 24 ersichtlich. Sie zeigen Lawinenbahnen, wie sie ab Gefahrenstufe *gross* (vgl. Kapitel 8.2) zu erwarten sind und können in dieser Arbeit höchstens als zusätzliche Hinweise für die Plausibilisierung der Ergebnisse dienen (vgl. Abb. 54).

- Der Naturgefahren-Ereigniskataster [1, NGKAT 2012 01] zeigt vergangene schadenrelevante Lawinenereignisse auf.
- Die Naturgefahren-Hinweiskarte 1:25000 [1, GH25 2013 01] zeigt die potenzielle Gefährdung und entstammt den flächendeckenden Modellierungen aus dem Projekt *SilvaProtect*

---

<sup>26</sup>Gespräch mit Prof. J. Strobl an der AGIT 2012 in Salzburg.

<sup>27</sup><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X12001043> (Zugriff: 2013-05)

<sup>28</sup>Schlechtwetter-Übung im Lawinenkurs 2001 des SAC-Säntis, angeleitet von Bergführer A. Brunner.

<sup>29</sup>Siehe interaktiver Kartenvergleich: <http://s.geo.admin.ch/3fedac9e5> (Zugriff: 2013-05)

(vgl. Kapitel 11.2). Abb. 24 zeigt auf, dass die Modellierung für die gesamte Geländekammer der Testskitour eine Gefährdung für Schadenlawinen ausweist.

- Für Siedlungsgebiete existieren plausibilisierte Naturgefahrenkarten im Masstab 1:5000 [1, GK5 2013 01] mit der Angabe von erwarteter Intensität und Häufigkeit eines Lawinenabgangs.

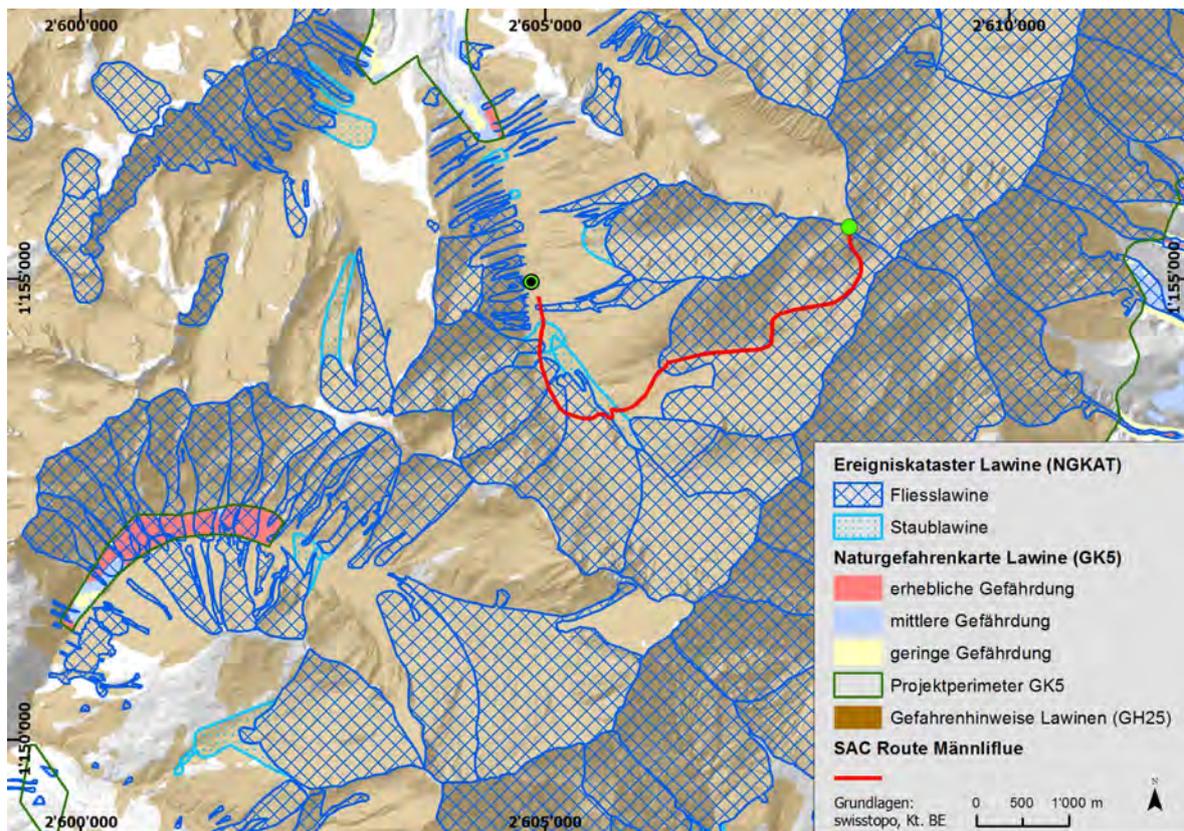


Abbildung 24: Lawinen-Ereigniskataster und Naturgefahrenkarte Lawine mit modellierten Gefahrenhinweisen ausserhalb der Siedlungsgebiete (braun). Quelle: [1].

#### 11.4 Die Grenzen von GIS in dieser Thematik

Chancen, Risiken und Grenzen der Darstellung des Lawinenrisikos mittels GIS in einer Karte oder der Nutzung von Smartphones in der Tourenplanung werden in Fachkreisen kontrovers und oft emotional diskutiert<sup>30</sup>. Die Meinungen gehen dabei weit auseinander, viele Argumente für oder gegen solche neuen Werkzeuge lassen sich jedoch aus verschiedenen Perspektiven beurteilen und werden in Tabelle 9 einander gegenübergestellt.

<sup>30</sup>Erkenntnis aus diversen Diskussionen (mit KAT, Bergführern und Tourenleitern (vgl. Projekt [50])).

Contra	Pro
Bulletin ist wie Wetterprognose, und lässt sich niemals auf Landeskarte im 10m-Raster abbilden. Bulletin nach eigenen Angaben des SLF zu 20-50% falsch (Rückmeldungen aus Umfrage). GRM-Lawinenrisiko lässt sich deshalb nicht auf Karte darstellen.	Problem besteht immer und ist überhaupt nicht neu. Dieser Schritt muss seit jeher im 3x3 zu Hause vollzogen werden für Entscheid, ob die Tour bei den aktuellen Verhältnissen möglich ist. Bewährte Werkzeuge dafür sind Hangneigungsmesser und Karten, welche in digitaler Planung mit gleichwertigen oder besseren Werkzeugen ersetzt werden sollen.
Einem schlechten Handwerker sollen nicht scharfe Werkzeuge zur Verfügung stehen. Ein Anfänger wägt sich mit auf Karte dargestelltem Lawinenrisiko in falscher Sicherheit.	Experten trauen Anfängern fast nichts zu. Auf diese Weise wird breite Masse von Tourengängern bezüglich Lawinenprävention jedoch nie erreicht. Wichtig ist vielmehr, wie benutzerfreundlich Lawinenrisiko auf Karte dargestellt wird und keinesfalls Skitourengänger in falscher Sicherheit wähnt.
GRM kommt nur bei einem Teil der Bedingungen zur Anwendung (insbesondere Neuschnee-Muster). Im Gelände (definitiver Entscheid) soll auf Mustererkennung fokussiert werden. GRM ist auf jeden Fall nur eine von mehreren Komponenten bei der Beurteilung der Lawinensituation.	Contra-Aussage trifft für erfahrene Tourenger und Experten zu. Anfänger haben keine Chance, GRM, Mustererkennung und Faktor Mensch sinnvoll zu kombinieren. Sie brauchen so einfach handhabbare Regeln wie möglich, welche den Spielraum (mit Sicherheitsmargen) defensiv eingrenzen. Bei defensiver Anwendung kann GRM von Anfängern auch als Entscheidungsgrundlage im Einzelhang verwendet werden.
Gefahrenstufe erheblich hat extreme Spannbreite, vom oberen schwierig erkennbaren mässig bis zu Spontanlawinen. Deshalb kann <i>der ganze Hang</i> nicht modelliert werden.	Selbstverständlich gibt es nicht die <i>allgemeingültige</i> Hangabgrenzung. Einbezug des <i>ganzen Hangs</i> wird aber in der Praxis vernachlässigt und oft ignoriert. Bei korrekter Anwendung des Hangneigungsmessers muss Jeder überlegen, wo diese Grenze ist. Es sollte deshalb möglich sein, eine (eher pessimistische) Abgrenzung zu visualisieren, dies würde diesen Planungsschritt objektivieren.
Smartphones, Karten mit dargestelltem Lawinenrisiko und hochgenaue GPS-Routen wirken kontraproduktiv, verleiten dazu, dem Computer recht zu geben und tatsächliche Verhältnisse im Gelände nicht mehr zu beachten.	Problem für Fehlanwendungen besteht mit jedem Werkzeug, es liegt am Anwender, es richtig einzusetzen. Smartphones lassen sich nicht wegradieren, jedoch deren sinnvolle Nutzung aufzeigen: Objektive Gefahren und Gelände-merkmale spielerisch sichtbar machen. Risikodenken, Prozessdenken unterstützen und fördern (Einfluss des Geländes auf Lawinengefahr und Spuranlage, etc.).
Es darf niemals eine Internetanwendung geben, welche die tagesaktuelle Bulletinsituation auf einer Karte <i>auf Knopfdruck</i> darstellt. Im Gelände muss Fokus auf Natur gelenkt werden, auf das bewusste Wahrnehmen der aktuellen Verhältnisse und Alarmzeichen (frische Lawinen, Wumm-Geräusche, schlechte Sicht, starker Wind, etc.).	Hier sind sich alle einig. Tourengänger darf nicht zur Passivität verleitet werden und mit starrem Blick aufs GPS durchs Gelände gehen. Warum aber nicht eine Karte, die in Planungsphase interaktiv filterbar ist und sichtbar macht, welche Auswirkungen Änderung der Bulletinsituation auf Lawinenrisiko in geplanter Tour hat, etc. Dies wird von vielen Teilnehmern der Online-Umfrage gewünscht.

Tabelle 9: Pro und Contra zur Darstellung des Lawinenrisikos für Skitourengänger auf einer Karte. Quellen: [50] und viele Gespräche.

## 12 Fazit: Status quo Skitourenplanung in der Schweiz

Die nachfolgende Tabelle 10 fasst alle wichtigen Punkte aus dem Teil II im Hinblick auf das eigene Projekt (Teile III und IV) zusammen. Sie gibt einen ersten Eindruck, für welche Aspekte der Skitourenplanung GIS-Produkte einen Beitrag leisten können und welche Themen im eigenen Projekt im Teil III behandelt werden. Im Teil IV dieser Arbeit, der Präsentation und Diskussion der eigenen Ergebnisse, soll dieser Blick noch deutlich geschärft werden.

Stichwort	Beschreibung	Verbesserungsmöglichkeit, GIS-Bearbeitung, Wunsch	vgl.
Anfänger versus Experte: 3x3, GRM, Muster	3x3 ist als Informationsspeicher und Handlungskonzept unerlässlich. GRM bei Experten umstritten (Hangneigung zu stark gewichtet), Fokus auf Musterrerkennung, aktuelle Verhältnisse, Erfahrungsaufbau.	Anfänger sollen sich konsequent an Regeln halten, die den Spielraum defensiv eingrenzen [51, S. 3]. Anfänger nutzen GRM mit noch besseren Werkzeugen.	K.8 T.4 K.9.3 K.9.4
Ganz. Hang erheblich in Praxis	In Lawinenausbildung nicht präzise abgegrenzt, jedoch deutlich grösser als stur Steilhänge. Sehr unterschiedlich je nach Gefahrenmuster. In praktischer Anwendung oft vernachlässigt oder ignoriert.	Qualitativ beste digitale Hilfsmittel einbeziehen (v. a. erwartete neue Hangneigungskarte der swisstopo).	A.13
Ganz. Hang erheblich mit GIS	Einfaches Modell <i>Auslösewahrscheinlichkeit</i> bildet Kompromiss zwischen Darstellung Anrissgebiete (gering, mässig) und Sturzbahnberechnungen (Lawinenauslauf bei gross, sehr gross).	Erheblich-Modell von Experten umsetzen lassen (ev. mit vereinfachter Sturzbahnberechnung).	K.11.1 K.17.2 K.24.2
Grundsatz bei Kartendarstellungen	Klare Trennung von harten Faktoren: Neigung, Exposition, Höhenlage, (Geländeformen) und unsicheren Informationen: Lawinenrisiko.	Einzelne Faktoren auf getrennten Karten (Ebenen) anzeigen und Nutzer zwingen, sich intensiver damit auseinander zu setzen.	K.11.1 K.11.4
Darstellung Hinweiskarten, Übergangsbereiche	Hinweiskarten Lawinenrisiko mit scharfer Abgrenzung machen keinen Sinn (grosse Spannweite innerhalb Gefahrenstufe und Muster, Vortäuschen einer falschen Sicherheit).	Visualisierung mit Toleranzbereichen (ev. Farbverlauf)	K.11.1 K.11.4
Entscheiden im Einzelhang	Touregänger muss auch in Zukunft immer selbst entscheiden. Computer kann dies nicht übernehmen. Wer sich erst vor Einzelhang mit Problem befasst, kommt definitiv zu spät.	Optimierte Hinweiskarten verschiedener Kriterien als Entscheidungshilfe zu Hause und unterwegs.	K.9.6 A.18

Stichwort	Beschreibung	Verbesserungsmöglichkeit, GIS-Bearbeitung, Wunsch	vgl.
Qualität digitale Routen	SAC-Routen nur hinweisend, Lagegenauigkeit für LK 1:25000 nicht ausreichend. GPS-Tracks unterschiedliche, oft schlechte Qualität.	Werkzeug zur automatischen Prüfung und Verbesserung von Routen.	K.10.3 K.10.4 A.23
Neues Höhenmodell, Darstellung Geländeformen	Seit März 2013 für Schweiz flächendeckend verfügbar (Auflösung 2m). Geländeformen präziser als auf LK 1:25000 darstellbar. Auflösung 10m für Darstellung Skitourenengelände optimal (Schneeeinfluss).	Beste Ausscheidung von skitourenrelevanten Geländeformen finden.	K.11.1 K.14.1
Neues Relief und Hangneigungen Schweiz	Voraussichtlich ab Winter 2013/14 neue Neigungskarte von swisstopo mit Auflösung 10m, perfekt für Skitourenplanung. Reliefschattierung schon heute sehr nützlich.	Offen, plattformunabhängig nutzbar machen und bestehende unbrauchbare Angebote verdrängen.	A.18 A.19
Qualität und Fülle digitaler Werkzeuge	Unüberblickbare Vielfalt von sehr nützlichen bis unbrauchbaren Software-, Webportal- und Smartphoneanwendungen. Aktualisierung von WhiteRisk im Winter 2013/14 mit Spannung erwartet.	Qualitativ beste Werkzeuge und Informationen in einem Portal bündeln (plattformunabhängig).	K.10 T.8 A.22
Mit GIS in dieser Arbeit behandelt	Hangneigung, Exposition, Höhenlage, GRM-Lawinenrisiko defensiv angewendet, Geländeformen, Hang ist über/unter mir, Bodenbedeckung (Korridore und Hindernisse). Defensive Routenwahl (optimale Aufstiegsroute).	Alle Details und Grenzen von GIS-Anwendungen sind im eigenen Projekt beschrieben.	T.4 Teil III
Mit GIS ebenfalls denkbar (Bsp.)	Weitere objektive Gefahren, Sonneneinstrahlung, typische Lawinhänge (oft schattig, Kammlagen, häufiger Triebsschnee), Felsdurchsetztes Gelände, grosser Hang, Erreichbarkeit, Sperrzonen.	In dieser Arbeit nicht behandelt, meist klare Anwendungsgrenzen.	T.4 A.14 A.15 K.20
Mit GIS nicht bearbeitbar (Bsp.)	Alarmzeichen, kritische Neuschneemenge, Windeinfluss, Schlechte Sicht, viel befahren, ganzer <i>3x3 Faktor Mensch</i> , Differenzierung Muster	GIS-Werkzeuge bei tagesaktuellen Verhältnissen meist fehl am Platz.	T.4 T.7 A.15 A.16
Von Experten klar abgelehnt	Hochauflösende tagesaktuelle Gefahrenhinweiskarte auf Knopfdruck (ohne weitere Gedanken nutzbar).	Darf nicht das Ziel dieser Arbeit sein, verleitet zur passiven Planung.	T.9
Von Experten meist begrüsst	Qualitativ hochwertige digitale Skitourenrouten als Hilfe in der Tourenplanung und Unfallprävention.	Hauptfokus dieser Arbeit.	K.11.1

Tabelle 10: Zusammenfassung *Status quo Skitourenplanung* im Hinblick auf die eigene Arbeit. Quellen: Siehe Tabelleninhalt.

---

## Teil III

# Eigenes Projekt

## 13 Theorieansatz

Welches Vorgehen erweist sich nun als zielführend, um die Fragestellung dieser Arbeit zu beantworten, um die Möglichkeiten von GIS für die automatische Berechnung der optimalen Aufstiegsroute auszuschöpfen?

Der Literaturteil hält fest, dass das Projekt *GIS-Analyse Skitourenrouten nach Risikostufe* [50] (vgl. Kapitel 11.1) den eigentlichen Ursprung der vorliegenden Master Thesis darstellt. Aus der damaligen Arbeit geht hervor, dass eine Verbesserung der Qualität digitaler Routen im Gegensatz zu detaillierten Lawinen-Gefahrenhinweiskarten von Experten mehrheitlich begrüsst wird.

### 13.1 Experimentelle Herangehensweise und Grundidee

Auch in dieser Master Thesis wird eine experimentelle Herangehensweise und der Austausch mit Bergführern und Tourenleitern als Vorgehen gewählt, weil sich diese Arbeitsform im oben erwähnten Projekt bewährt hat. Durch praktisches *Herantasten* an die Fragestellung mittels vieler Testberechnungen und Gespräche hat sich die nachfolgende Grundidee herauskristallisiert.

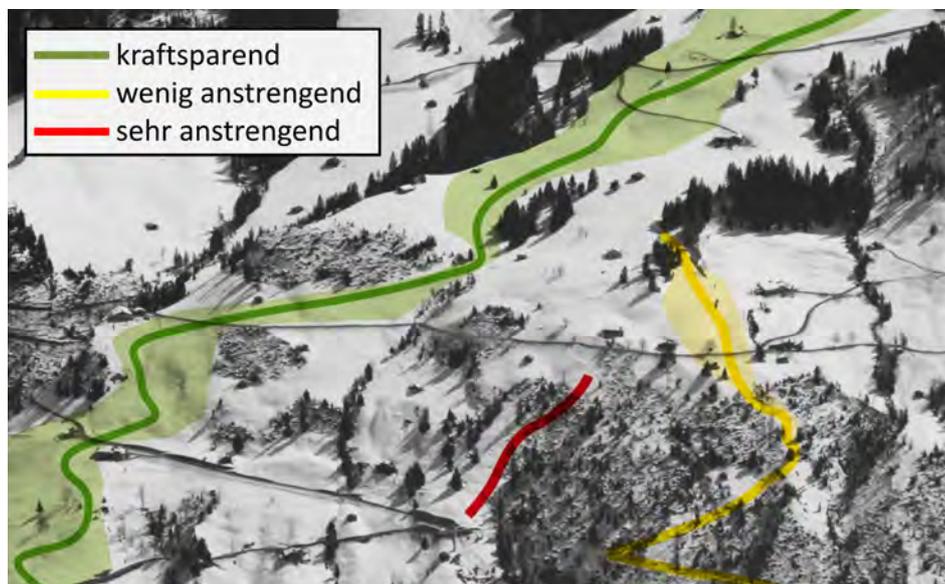


Abbildung 25: Grundidee: Die optimale Aufstiegsroute (grün) ist so *kraftsparend* wie möglich.

Aus GIS-technischer Sicht bewegen sich Autofahrer und in den meisten Fällen auch Fussgänger auf vektorbasierten *Netzwerk-Geometrien*. Skitourenfahrer sind jedoch oft im offenen Gelände abseits von Strassen und Wegen unterwegs und können über verschiedene Wege mehr oder weniger sinnvoll und sicher ihr Ziel erreichen. Vielschichtige Faktoren haben einen Einfluss auf die Routenwahl, so zum Beispiel potenzielle Lawinhänge bei gegebener Bulletinsi-

tuation, Sperrzonen wie Wildschutzgebiete, Schneeverfrachtungen, felsdurchsetztes Gelände, dichter oder offener Wald, Fusspassagen und nicht zuletzt ein möglichst kraftsparender Routenverlauf (konstante Steigung, vermeiden von Spitzkehren und Traversen).

Die gesuchte *optimale Aufstiegsroute* wird in erster Linie durch den Charakter des Skitourengebietes vorgegeben. Grundsätzlich zeigt sie diejenige Linie, welche gesamthaft betrachtet am kraftsparendsten ist (vgl. Abb. 25). Jeder Ort des Skitourengebietes soll also bezüglich Anstrengung (oder Energieverbrauch) bei dessen Durchquerung bewertet werden. Muss beispielsweise ein Bergbach überquert werden, geschieht dies an der einfachsten Stelle, entlang eines Wanderweges oder im besten Fall über eine Brücke. Um die entsprechende Stelle zu nutzen, wird meist auch ein längerer Weg in Kauf genommen.

Bei geringer Lawinengefahr folgt die Routenwahl fast ausschliesslich solchen Überlegungen. Mit zunehmender Lawinengefahr weicht die *optimale Aufstiegsroute* zugunsten eines möglichst geringen Lawinenrisikos und zu Lasten der Anstrengung oft von der kraftsparendsten Aufstiegsroute ab.

### 13.2 Definition kraftsparendste und lawinensicherste Aufstiegsroute

**Definition kraftsparendste Aufstiegsroute** Kraftsparend (vgl. [51, S.48]) heisst *so bequem und so gut begehbar wie möglich*:

- Keine unnötigen Höhenmeter, keine langen Strecken gradeaus, möglichst gleichmässige Steigung zwischen  $15^\circ$  und  $30^\circ$ , nicht zu steil
- Spitzkehren und lange Querungen in Steilhängen vermeiden, monotone Aufstiege mit geschickter Spuranlage unterbrechen.

Notwendige Lawinen-Gefahrensituation, damit die kraftsparendste Route begangen werden kann (Annahme in dieser Arbeit):

- Die Lawinengefahr ist in allen Expositionen und Höhenlagen gering, bezüglich Lawinengefahr bestehen allgemein günstige Bedingungen.
- Für die Spuranlage der bequemsten Aufstiegsroute muss die Lawinengefahr kaum berücksichtigt werden (nur in extremen Steilhängen, die ohnehin erst begangen werden, wenn keine andere Möglichkeit mehr besteht).

**Definition lawinensicherste Aufstiegsroute** Möglichst lawinensicher (vgl. [51, S.48]) heisst:

- Lawinengefahr berücksichtigen und durch geschickte Routenwahl die steilsten Hänge möglichst umgehen
- Über die flacheren Hangpartien, über Stellen mit geringerer Auslösewahrscheinlichkeit aufsteigen, Geländerücken bevorzugen
- Mögliche Verschüttungsgefahr bzw. -tiefe minimieren, indem Lawinenauslaufbereiche gemieden und Steilhänge möglichst oben gequert werden und an deren Rand aufgestiegen wird.

---

Weil in dieser Arbeit die tagesaktuelle Lawinen-Gefahrensituation nicht berücksichtigt wird, gilt eine fiktive Lawinen-Gefahrensituation (erheblich), welche im Kapitel 17.2 genauer abgegrenzt wird.

Möglichst lawinensicher heisst in dieser Arbeit:

- Unvermeidbare Tourenabschnitte mit erhöhtem und hohem Lawinenrisiko gemäss GRM werden so sicher wie möglich passiert (z.B. über Geländerrücken), soweit dies mit einem GIS berücksichtigt werden kann.
- Bequemste Aufstiegsroute (gemäss Definition) so weit wie möglich durch grünes Gelände (geringes Lawinenrisiko gemäss GRM), so wenig wie möglich durch gelbes resp. rotes Gelände (erhöhtes und hohes Lawinenrisiko gemäss GRM).

**Lawinensicherste und kraftsparendste Aufstiegsroute: identisch oder nicht?** Verläuft die bequemste Aufstiegsroute bei definierter erheblicher Lawinengefahr durchgehend im grünen Bereich gemäss GRM (geringes Lawinenrisiko), ist sie identisch mit der lawinensichersten Aufstiegsroute.

Beinhaltet die bequemste Aufstiegsroute bei definierter erheblicher Lawinengefahr gelbe oder rote Bereiche gemäss GRM, welche mit vertretbarem Aufwand (Begehbarkeit, Zusatzdistanz, Höhenmeter) und sicherer umgangen werden können, sind die beiden Aufstiegsrouten nicht identisch.

**Aufstiegsroute: Linie oder Fläche?** Damit ein Skitourenkorridor erzeugt werden kann, ist mindestens der Start- und Zielpunkt der Route bekannt.

Die kraftsparendste und lawinensicherste Aufstiegsroute eines Tourenziels kann sowohl als Linie als auch als Fläche (Korridor) dargestellt werden.

Der Korridor beschreibt alle Routenvarianten, die mit annähernd gleichen Voraussetzungen möglich sind.

### 13.3 Konzept der Verbindungsentfernung (Path-Distance)

Der eigentlichen Modellierung der Aufstiegsrouten und des Korridors liegt das Konzept der *Verbindungsentfernung* zugrunde. Umgesetzt wird dieses Konzept mittels der ArcGIS-Spatial-Analyst Werkzeuge *Path Distance*, *Cost Path*, *Corridor* und weiterer Rasterwerkzeuge. Eine Beschreibung dieser Werkzeuge und der grundlegenden Theorie ist in der ESRI-Onlinehilfe<sup>31</sup> zu finden. Sämtliche benutzten Werkzeuge sind zudem im Anhang Teil V aufgeführt.

In diesem Kurzkapitel wird das Konzept der *Verbindungsentfernung* anhand der Bedürfnisse eines Skitourengängers erläutert. In der Abb. 26 sind die grundlegenden Begriffe für das Verständnis dieses Konzepts zusammengefasst.

**Horizontale Entfernung und Oberflächenentfernung** Um auf einer Bespielskitour vom Start zum Ziel zu gelangen, muss eine auf der Karte gemessene Distanz von 4.5 Kilometern zurückgelegt werden (Horizontale Entfernung). Dafür ist Energie notwendig, die der Skitouren Wenger in Form von Spaghetti oder Bananen zu sich nimmt.

Muss auf dieser Strecke kein Höhenunterschied überwunden werden und ist die Oberfläche

---

<sup>31</sup><http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#/na/009z00000022000000/> (Zugriff: 2013-06)

ohne Einschränkungen auf einer gefrorenen Schneedecke begehbar, ist der Energieverbrauch für diese Strecke minimal. Je mehr Höhenmeter überwunden werden müssen, desto länger wird die tatsächliche Oberflächenentfernung und desto höher sind der Energieverbrauch und die Anstrengung.

Innerhalb der GIS-Umsetzung bedeutet dies folgendes: Wenn die Oberfläche für den Touren­gänger keine Hindernisse aufweist, erhält das Werkzeug *Path Distance* als *Input cost raster* (Kostenoberfläche) einen Raster zugewiesen, der durchgehend den Wert 1 enthält. Um die tatsächliche Oberflächenentfernung berechnen zu können, wird dem Werkzeug zusätzlich ein *Input surface raster* zugewiesen, bei Skitouren entspricht dies dem Höhenmodell. Aus der Kombination von horizontaler Entfernung und Höhenunterschied lässt sich die tatsächliche Oberflächenentfernung berechnen. Dank dem Einbezug der Oberflächenentfernung wird auch folgender für Skitouren sehr wichtige Aspekt berücksichtigt:

Beim Aufstieg sollen unnötige Zusatzhöhenmeter wenn möglich gemieden werden, indem z. B. eine Mulde entlang der Höhenlinie mit minimaler Zusatzdistanz und nicht auf dem direktesten Weg begangen wird.

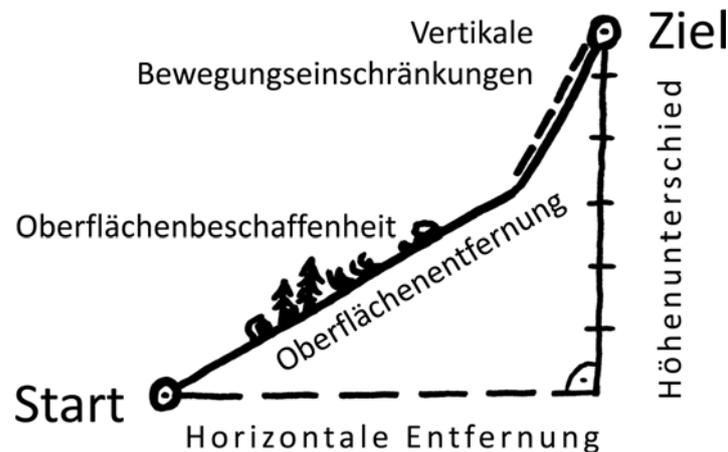


Abbildung 26: Grundlegende Begriffe des Konzepts der *Verbindungsentfernung*, übertragen auf ein Höhenprofil einer Skitourenroute.

**Oberflächenbeschaffenheit (Kostenoberfläche)** Viel anstrengender wird die Skitour, wenn anstelle eines offenen und angenehm begehbaren Skitouren­geländes das Gelände von Gebüschwald durchsetzt ist, lawinengefährdete Bereiche umgangen und mehrmals ein offen fließender Bach gequert werden muss.

Solche Aspekte gilt es ebenfalls mit GIS zu berücksichtigen, in dem das *Input cost raster* (Kostenoberfläche) entsprechend verfeinert und mit Widerständen versehen wird (vgl. Kapitel 16 bis 18).

**Horizontale Bewegungseinschränkungen** könnten im Werkzeug *Path Distance* ebenfalls mitberücksichtigt werden. Ein mögliches Beispiel im Bezug auf Skitouren wäre der Windeinfluss: eine Skitour ist bei permanentem Gegenwind viel anstrengender als bei Rückenwind. Solche Aspekte werden im eigenen Projekt nicht berücksichtigt.

---

**Vertikale Bewegungseinschränkungen** fließen als Spitzkehrenthematik in das eigene Projekt mit ein. Bis zu einer Hangneigung von etwa  $30^\circ$  ist der Tourengänger noch in der Lage, den Hang in seiner Falllinie auf direktem Weg zu begehen. Wird der Hang steiler, muss seitlich ausgewichen werden. Dies führt zu einem längeren Weg und es werden Spitzkehren erforderlich, die Begehung wird anstrengender.

Im GIS lässt sich dies mit dem *vertikalen Faktor* innerhalb des Werkzeugs *Path Distance* umsetzen. Die genaue Umsetzung davon ist im Kapitel 18.2 beschrieben.

**Resultate der Verbindungsentfernungsanalyse** Ausgehend vom eingegebenen Skitourenstart erzeugt das Werkzeug *Path Distance* bis zu einer gewählten Maximaldistanz eine Rasterebene, die für jede Rasterzelle die *kostengünstigste Distanz* unter Berücksichtigung aller Einschränkungen zurück zum Ausgangspunkt angibt (*Output distance raster*). Die kostengünstigste Distanz zeigt also die minimal erforderliche Anstrengung, um ausgehend von einem Startpunkt via *optimale Route* einen entsprechenden Ort im Gelände zu erreichen (vgl. Kapitel 18.3).

Zusätzlich kann eine Rasterebene ausgegeben werden, die für jede Zelle diejenige Nachbarzelle angibt, welche beim Weg zurück zum Ausgangspunkt als Nächste begangen wird (*Output backlink raster*).

**Kürzester Weg und Korridor** Dank den Resultaten der Verbindungsentfernungsanalyse (Distanzraster und Rückverknüpfungsraster) lässt sich mit dem Werkzeug *Cost Path* für einen beliebigen Punkt der Oberfläche der *kostengünstigste Weg* zurück zum Ausgangspunkt berechnen und in eine Vektorlinie (optimale Aufstiegsroute) umwandeln.

Um die Aufstiegsroute auch als Fläche (Korridor) zu erhalten, muss eine Verbindungsentfernungsberechnung ausgehend vom Start und vom Ziel der Skitour vorliegen. Danach werden die beiden erzeugten Distanzraster mit dem Werkzeug *Corridor* zusammengezählt. Dieser Ergebnisraster lässt sich nun beliebig klassieren und die gewünschte Korridorfläche darstellen (vgl. Kapitel 18.3).

## 14 Datengrundlage

In diesem Kapitel werden alle verwendeten Geodaten sowie die daran gestellten Anforderungen kurz vorgestellt. Zudem wird die Wahl des Testgebiets erläutert. Die Geodaten liegen im Koordinatensystem CH1903+/LV95 (EPSG:2056)<sup>32</sup> vor.

### 14.1 Digitales Geländemodell

Das digitale Geländemodell bildet den wichtigsten Datensatz für dieses Projekt. Aus der Fragestellung im Kapitel 2 und den erwarteten Ergebnissen im Kapitel 6 geht hervor, dass Geländemerkmale mindestens in der Genauigkeit der LK 1:25000 abgebildet werden sollen. Die Gegenüberstellung der swisstopo-Geländemodelle *DHM25* und *swissALTI3D* in Abb. 27 macht deutlich, welches Produkt der Fragestellung dieser Arbeit besser gerecht wird.

**DHM25 swisstopo** Dieses ältere Rasterhöhenmodell<sup>33</sup> mit einer Maschenweite von 25m wurde aus den Höhenlinien der LK 1:25000 abgeleitet und bildet folglich das Gelände nicht präziser, sondern eingeschränkter ab als die Landeskarte. In Abb. 27 sind die Produkte dieses Modells (Höhenlinien und Reliefschummerung) gelb gekennzeichnet. Die Höhenlinien weichen deutlich von der LK 1:25000 (in blau dargestellt) ab und sind zu stark geglättet. Das Relief bringt ebenfalls zum Vorschein, dass für Skitouren relevante Geländeformen (vgl. Tabelle 1) zu ungenau abgebildet werden.

**swissALTI3D swisstopo** „...ist ein sehr präzises digitales Höhenmodell, welches die Oberfläche der Schweiz ohne Bewuchs und Bebauung beschreibt. Es wird in einem Nachführungszyklus von 6 Jahren aktualisiert. Die Daten werden als Rastergitter mit einer Maschenweite von 2m, 5m oder 10m ausgeliefert“ [44]. Unterhalb von 2000 m ü. M. wird mit LIDAR-Befliegungen in allen drei Dimensionen eine Genauigkeit im Meterbereich erreicht, oberhalb mittels Stereokorrelation von Luftbildern eine mittlere Abweichung von 1 - 3 m. Seit März 2013 sind diese Daten in dieser homogenen Qualität erstmals flächendeckend für die ganze Schweiz verfügbar. In Abb. 27 sind die Produkte dieses neuen Modells in der Auflösung 10m (Höhenlinien und Reliefschummerung) rot gekennzeichnet. Die Höhenlinien sind im Gegensatz zum DHM25 beinahe deckungsgleich mit der LK 1:25000 (in blau dargestellt). Es ist zu erwarten, dass die roten Höhenlinien aufgrund des neuen Verfahrens und der Genauigkeitsangaben noch besser der Realität entsprechen als das Kartographieprodukt LK 1:25000. Die Reliefschummerung zeigt auf, dass für Skitouren relevante Geländeformen (vgl. Tabelle 1) nun deutlich sichtbar werden. Die Reliefschummerung der höchsten Auflösung von 2m kann im Geoportal CH<sup>34</sup> betrachtet werden.

Das kleine Foto der eingeschnittenen Geländeformen in Abb. 27 zeigt den Blick vom Gipfel der Männliflue auf die Ebene von Obertal (grüner Ausschnitt in Karte). Dieses Beispiel zeigt auf, dass die höchste Auflösung von 2m zu genau für die Fragestellung dieser Arbeit wäre, da der Schnee einige kleine Mulden meist auffüllt und das Relief ebenfalls noch mitgestaltet.

Im Rahmen der Entwicklung der Berechnungsmodelle hat sich die Auflösung von 10m als ideal für diese Fragestellung erwiesen. Damit werden kleine Anrissgebiete und Geländeformen

---

<sup>32</sup><http://spatialreference.org/ref/epsg/2056/> (Zugriff: 2013-06)

<sup>33</sup>[www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/height/dhm25.html](http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/height/dhm25.html)  
(Zugriff: 2013-06)

<sup>34</sup><http://s.geo.admin.ch/3f217a646> (Zugriff: 2013-06)

sichtbar, welche bei den Höhenlinien der LK 1:25000 durch die Maschen fallen, vom Schnee gefüllte kleine Rinnen und Mulden jedoch nicht mehr abgebildet.

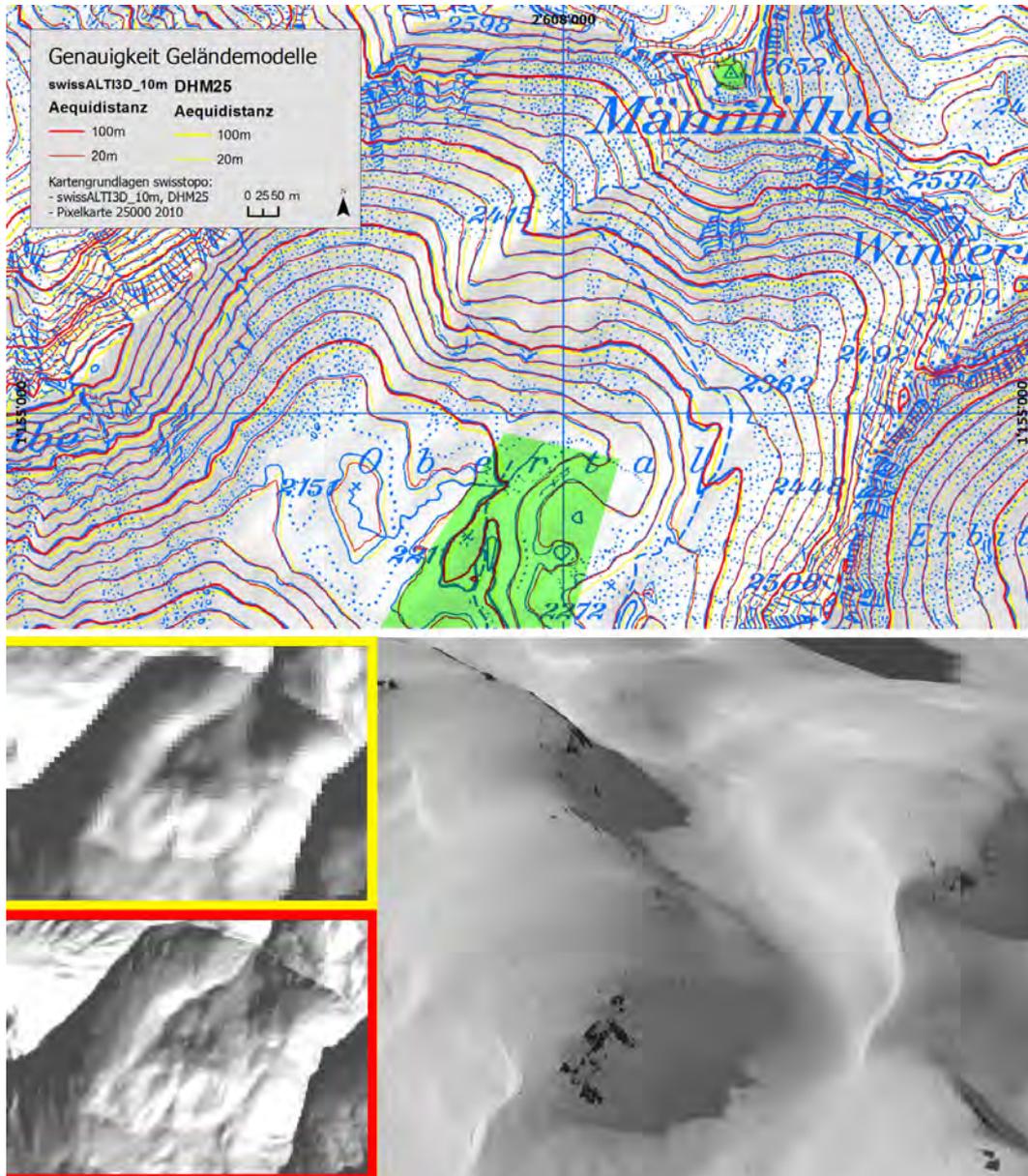


Abbildung 27: Vergleich swisstopo-Geländemodelle swissALTI3D10m und DHM25.

## 14.2 Topografisches Landschaftsmodell

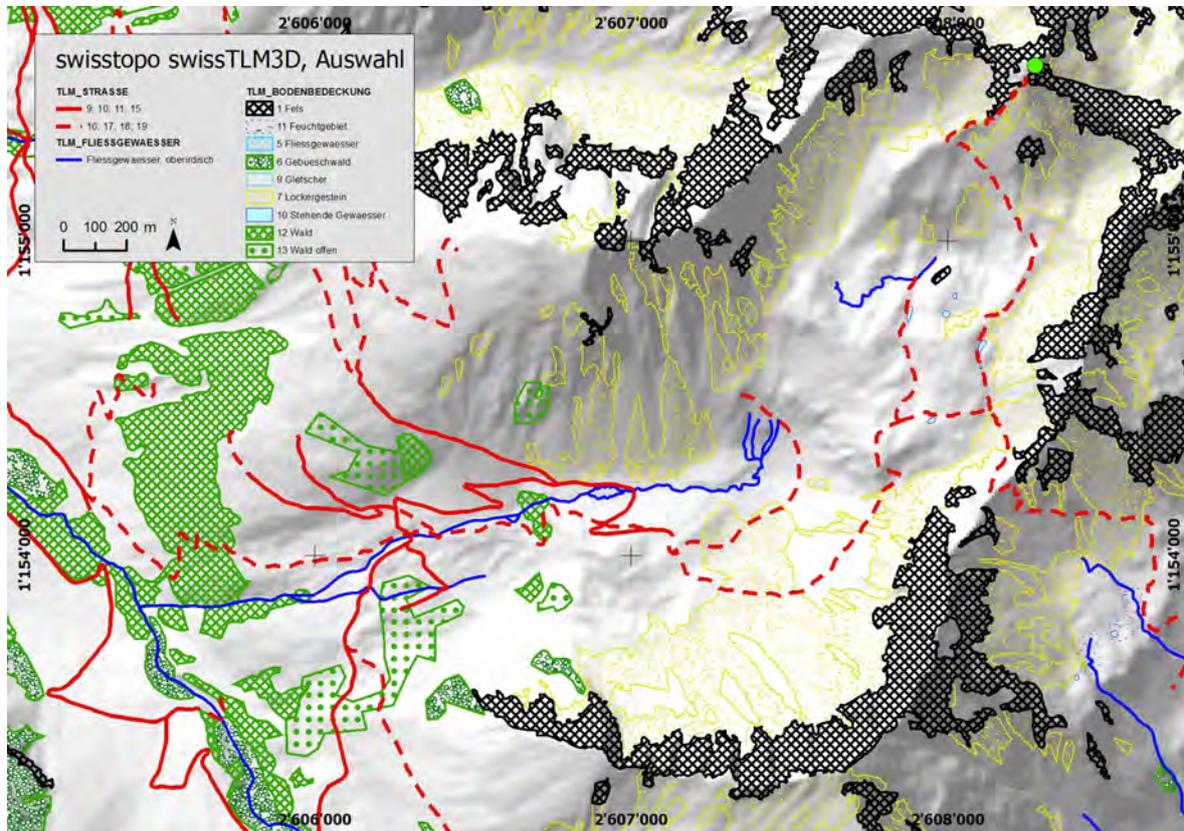


Abbildung 28: Topografisches Landschaftsmodell (swissTLM3D) der swisstopo.

Ergänzend zum Geländemodell wird für die Behandlung der Bodenbedeckung das Topografische Landschaftsmodell *swissTLM3D* verwendet. “swissTLM3D ist das grossmasstäbliche Topografische Landschaftsmodell der Schweiz. Das TLM löst die kartenbasierten Modelle VECTOR25, SwissNames und GG25 von swisstopo ab.” [47]. Die natürlichen und künstlichen Objekte der Landschaft, wie beispielsweise Strassen oder Wasserläufe, werden als dreidimensionale Vektoren dargestellt und in neun Themen gruppiert<sup>35</sup>. Deren Lagegenauigkeit wird dereinst vollständig mit dem neuen Geländemodell und Orthophoto übereinstimmen. In Abb. 28 sind die im Projekt verwendeten Objektklassen der Themen *STRASSE*, *FLIESSGEWAESSER* und *BODENBEDECKUNG* dargestellt. Zum Zeitpunkt der Verwendung weisen viele Daten noch die Geometriegüte des alten VECTOR25 auf, weil sie im Zuge der neuen TLM Produktion noch nicht aktualisiert worden sind. Insbesondere die Abgrenzung der Bodenbedeckungsklassen Wald, Wald offen und Gebüsch erscheint noch sehr grob. Die Geometrien der Strassen und Wege sind zwar im Vergleich zu VECTOR25 meist schon verbessert und stimmen in ihrer Lage mit dem Höhenmodell und Orthophoto überein, jedoch zeigt deren Klassierung noch einige Mängel. Die kompletten neuen Anwendungsmöglichkeiten des TLM können erst in einigen Jahren ausgeschöpft werden, wenn flächendeckend alle Themen in derselben Qualität zur Verfügung stehen.

<sup>35</sup> [www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/topics/geodata/TLM.html](http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/topics/geodata/TLM.html) (Zugriff: 2013-06)

---

Welche Objektklassen in welcher Form in die Berechnungsmodelle einfließen, zeigen die nächsten Kapitel auf.

### 14.3 Wahl des Testgebiets

Die nachfolgenden Überlegungen dienen der Wahl des geeigneten Testgebiets:

- Nicht zu grosses Gebiet, damit swisstopo-Datenbezug erschwinglich bleibt.
- Etwa 5 - 10 Skitouren mit unterschiedlichem Charakter (Exposition, Höhenlage, Geländebeschaffenheit, Schwierigkeit), die dem Autor und vielen Skitourengängern grösstenteils bekannt sind.
- Auswahl einer sehr beliebten und oft begangenen *Haupt-Testtour*, deren Planung bezüglich Geländebeschaffenheit und Lawinenrisiko anspruchsvoll ist.
- Bereiche der Skitouren liegen unterhalb und oberhalb der Waldgrenze, damit möglichst viele *Bodenbedeckungsfragen* behandelt werden können.

Die Skitouren ab dem Fildrich und dem Färmeltal im Berner Oberland erfüllen diese Bedingungen, allen voran die Tour vom Fildrich auf die Männliflue (vgl. Abb. 3 und 4), welche als Haupt-Testskitour dient.

### 14.4 Skitourenrouten als Referenz

Ergänzend zu den eigenen Gebietskenntnissen werden weitere Grundlagen verwendet, um während der Entwicklungsphase die Güte der Modellierungen zu überprüfen. In Abb. 29 sind diese dargestellt.

- Die *eigene Begehung* der Männliflue am 24. April 2013 (vgl. Kapitel 21.1) bildet die wichtigste Referenz (rote Linie), um die Güte der Modellierungen überprüfen zu können. Zahlreiche Abbildungen und auch einige Erkenntnisse in dieser Arbeit stammen aus dieser Begehung (vgl. Teil IV).
- Die Route aus dem Portal *www.gps-tracks.com* ist als Beispiel einer Online-Ressource aufbereitet (gelbe Linie).
- Aus der Zusatzaufgabe der Umfrage (vgl. Kapitel 21.2 und Anhang Teil V) entstammt die blaue Linie.
- Die orange Planungslinie wurde aus Werner Munters *3x3 Lawinen* [25] entnommen.
- Schliesslich ist die *rote Linie der SAC-Skitourenkarte* (hinweisender Verlauf im Mst. 1:50000, vgl. Kapitel 9.2) in grüner Farbe dargestellt.

Diese Referenzrouten zeigen Planungslinien mit unterschiedlicher Erfassungsgüte. Die Gesamtdarstellung gibt jedoch einen ersten Eindruck darüber, in welchem Geländebereich sich die optimale Aufstiegsroute befindet.

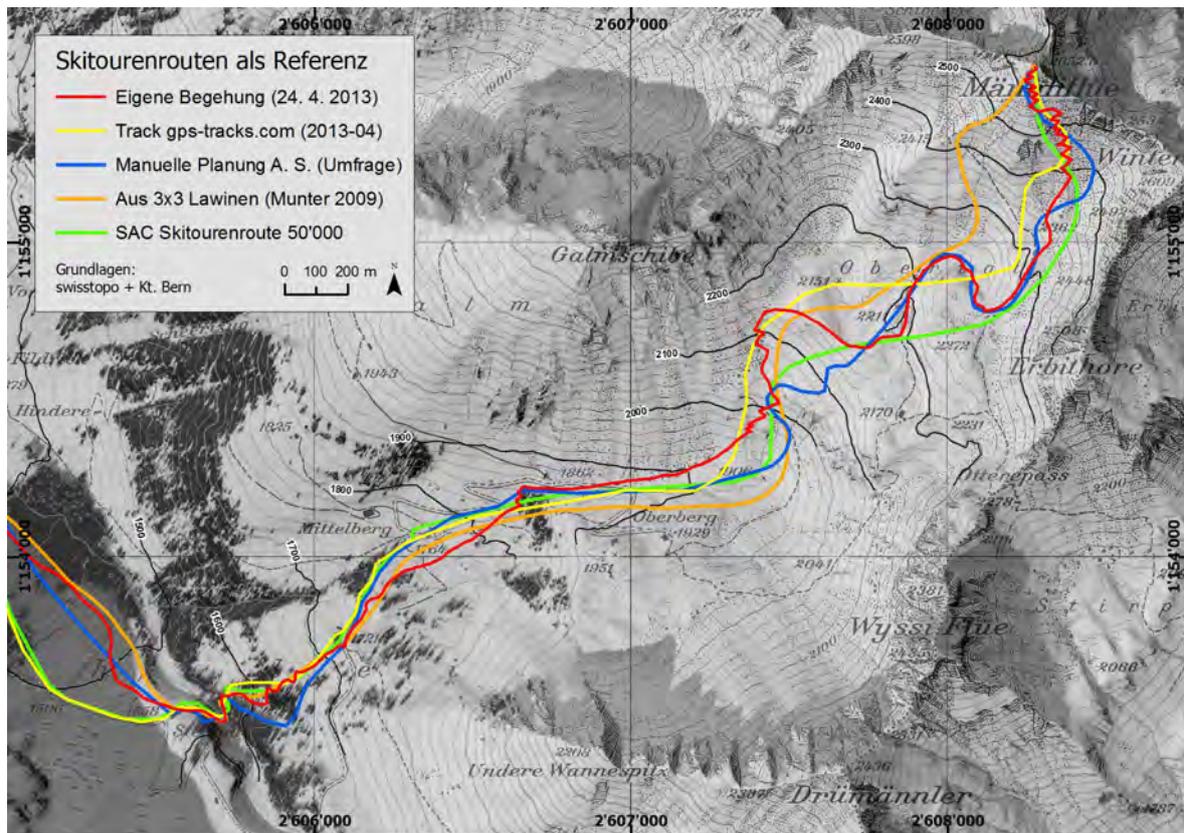


Abbildung 29: Referenzrouten der Skitour vom Fildrich auf die Männliflue.

### 14.5 Weitere Datengrundlagen

In der Skitourenplanung in der Schweiz wird für die Feinplanung die LK 1:25000 verwendet. Diese Karte bildet deshalb auch die kartographische Grundlage der meisten Detailabbildungen. Die swisstopo bietet für GIS-Anwendungen die Pixelkarte PK25<sup>36</sup> an.

Zusätzlich zur topografischen Karte werden Orthophotos als Kartengrundlage verwendet. Die Abt. Naturgefahren des Kantons Bern stellte für diese Arbeit ein Orthophoto des Lawinenwinters 1999 zur Verfügung. Darauf ist das Testgelände tief verschneit. Gebüsch- und Bachbereiche beispielsweise sind komplett eingeschneit. Diese Grundlage eignet sich hervorragend für die Überprüfung und Darstellung der Ergebnisse (vgl. Abb. 54). Schliesslich wurden im Rahmen der Umfrage auch die Orthophotos aus GoogleEarth einbezogen (vgl. Anhang Teil V).

<sup>36</sup> [www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/maps/national/digital.html](http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/maps/national/digital.html) (Zugriff: 2013-06)

## 15 Gesamtübersicht Berechnungsschritte

In Abb. 30 sind nun sämtliche GIS-Berechnungsschritte zusammenfassend dargestellt. Ausgehend von der Datengrundlage (vgl. Kapitel 14) folgt zuerst das *Berechnungsmodell Anstrengung, Begehbarkeit* (vgl. Kapitel 16). In diesem ersten Teilmodell werden möglichst alle Gelände- und Oberflächenmerkmale, welche aus den verfügbaren Geobasisdaten abgeleitet werden können und für die Fortbewegung auf einer Skitour von Bedeutung sind, nachvollziehbar in einer *Anstrengungs-Oberfläche* vereint.

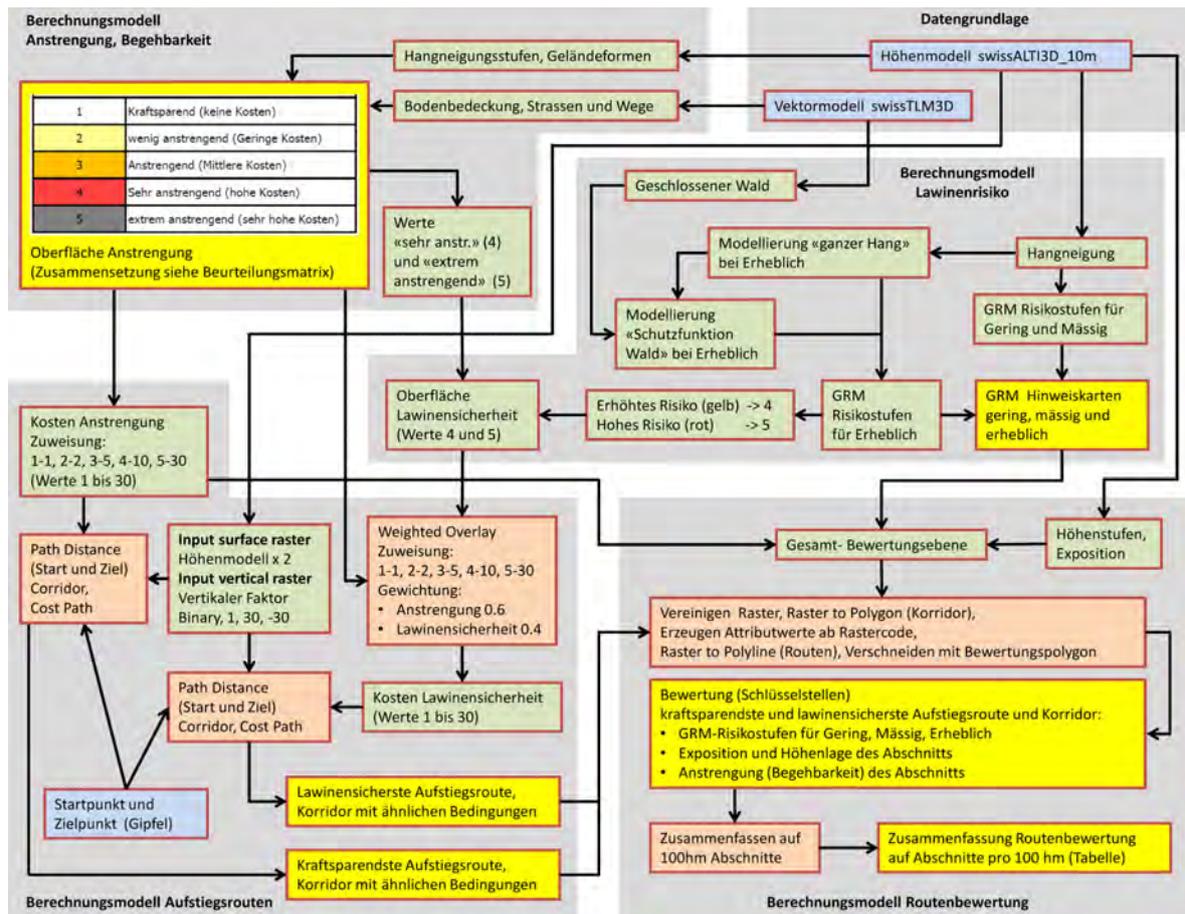


Abbildung 30: Schematische Gesamtübersicht aller Berechnungen mit Eingangsdaten (blau), Zwischenresultaten (grün), Werkzeugen (rot) und Ergebnissen (gelb).

In einem zweiten Schritt kommt die Lawinengefahr ins Spiel. Als Basis für die lawinensicherste Aufstiegsroute wird die *Anstrengungs-Oberfläche* mit der zusätzlich erstellten *Oberfläche Lawinensicherheit* ergänzt. Deren Erarbeitung erfolgt im *Berechnungsmodell Lawinenrisiko* (vgl. Kapitel 17). Im *Berechnungsmodell Aufstiegsrouten* (vgl. Kapitel 18) erfolgt dann aufbauend auf den erzeugten Oberflächen die eigentliche Modellierung der Aufstiegsrouten und des Korridors, bevor diese im *Berechnungsmodell Routenbewertung* bewertet werden (vgl. Kapitel 19). Ist eine Route berechnet und bewertet, sollen Aussagen möglich sein, ab welcher Gefahrenstufe eine Tour begehbar ist, bzw. darauf verzichtet wird, und welcher *Grob-Charakter* (Exposition, Höhenlage, Geländebeschaffenheit) diese Tour besitzt.

Jeder Berechnungsschritt in Abb. 30 ist in einem technischen Modell (ArcGIS ModelBuilder) umgesetzt, alle technischen Modelle sind im Anhang Teil V ersichtlich. Der Anhang beinhaltet zudem eine Übersichtstabelle aller verwendeten Werkzeuge mit Link zur ESRI-ArcGIS-Help [13].

Die technischen Modelle lassen sich für ein beliebiges Gebiet in der Schweiz wiederverwenden. Wie die Berechnungen im Detail ausgeführt werden, zeigen die nachfolgenden Kapitel.

## 16 Berechnungsmodell Anstrengung, Begehbarkeit

Wo die optimale Aufstiegsroute unabhängig von der Lawinengefahr im Gelände verläuft, entscheidet ein erfahrener Skitourengehänger beim Kartenstudium oft intuitiv. Die Brücke über den Bach wird selbstverständlich einbezogen, und die Steilstufe kann mit einer optimalen Spuranlage ohne Spitzkehre überwunden werden. Im GIS-Modell müssen jedoch alle diese Überlegungen technisch umgesetzt werden, damit die modellierte Aufstiegsroute der Skitourenpraxis so nahe wie möglich kommt. Aus dem Gelände- und Landschaftsmodell werden mit eigenen Erfahrungswerten alle Kriterien aufbereitet, welche bezüglich Anstrengung und Begehbarkeit eines Skitourengebietes von Bedeutung sind. Im Kapitel 16.3 folgt schliesslich die Überführung dieser Kriterien in eine gemeinsame Anstrengungs-Skala.

### 16.1 Hangneigungsstufen und Geländeformen

Diese zwei in Abb. 31 dargestellten Kriterien werden aus dem digitalen Geländemodell *swissALTI3D\_10m* (vgl. Kapitel 14.1) abgeleitet.

**Hangneigungsstufen** Bei der Bildung von relevanten Hangneigungsstufen bezüglich Anstrengung sind folgende Überlegungen eingeflossen:

- Das optimale Aufstiegsgebiet für Skitouren liegt zwischen  $15^\circ$  und  $25^\circ$ . In diesem Gelände wird bequem und kontinuierlich Höhe gewonnen. Lange flache Passagen haben grössere Distanzen und wundete Füsse zur Folge.
- In steilerem Gelände gilt: Je steiler der Hang, desto anstrengender die Fortbewegung. Zwar lassen sich im steilen Gelände mit guter Spuranlage meist ebenfalls mit wenig Anstrengung Höhenmeter überwinden. Je nach Verhältnissen rutscht man jedoch seitlich aus der Spur, es sind Spitzkehren nötig und der Weg wird länger.

**Geländeformen** Mit einer einfachen Herangehensweise werden die in Abb. 31 ersichtlichen Geländeformen abgeleitet. Dafür wird das Original-Geländemodell mittels Nachbarschaftsanalyse (*Focal Statistics*) geglättet und die erzeugten Höhenwerte mit dem *Raster Calculator* von den Original-Höhenwerten abgezogen. Danach werden die Subtraktionsergebnisse mittels *Reclassify* in drei neue Werteklassen überführt, sodass sich das Gelände in flächige, konkave und konvexe Formen unterteilen lässt. Diese Ausscheidung orientiert sich nicht an bereits bestehenden Klassifikationen, welche im Kapitel 11.2 erwähnt werden.

Die so erstellten Geländeformen fliessen in die Begehbarkeitsoberfläche ein, zeigen zu einem gewissen Teil jedoch auch den Aspekt der *Lawinensicherheit*, weil sie im Kapitel 17 nicht nochmals einfließen.

“In Mulden und Rinnen sammelt sich Triebsschnee an” [18, S. 60], eine optimale Spur versucht diese aus Komfort- und Sicherheitsgründen zu meiden.

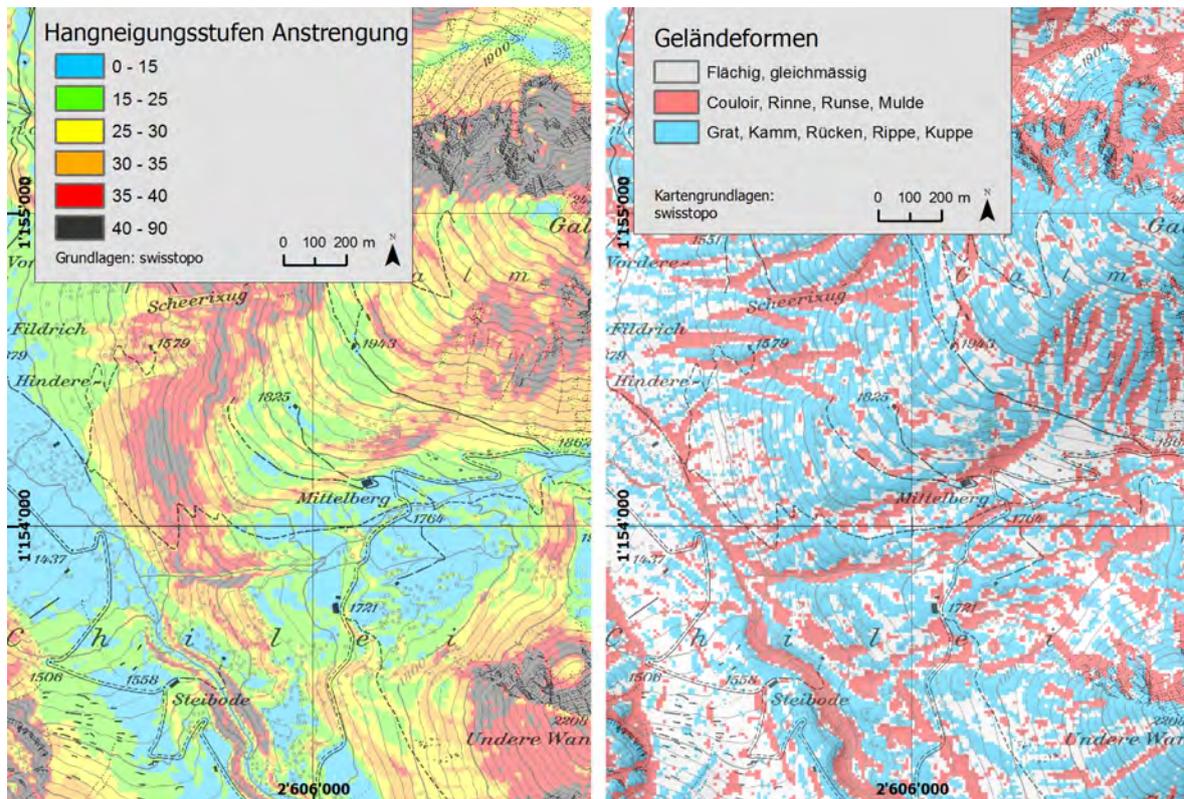


Abbildung 31: Relevante Hangneigungsstufen und Geländeformen bezüglich Anstrengung.

## 16.2 Bodenbedeckung, Strassen und Wege

Nun werden die relevanten Anstrengungs-Kriterien aus dem topografischen Landschaftsmodell *swissTLM3D* (vgl. Kapitel 14.2) abgeleitet. Diese gilt es vom Vektorformat in aufbereitete Ebenen im Rasterformat zu überführen, damit sie mit den Kriterien aus Kapitel 16.1 kombinierbar sind. Bei der Umwandlung von TLM-Flächenthemen in Rasterdaten muss darauf geachtet werden, dass die Randbereiche der Flächen korrekt ins Rasterformat überführt werden. Je nach Thema soll die gesamte Grenzlinie einer Vektorfläche innerhalb des erzeugten Rasters liegen, z.B. sollen alle Waldränder durch den erzeugten Wald-Raster komplett abgedeckt werden. In diesem Fall muss aus der Flächengeometrie zusätzlich eine Liniengeometrie erzeugt und ebenfalls in eine Rasterdatei überführt werden. Erst der daraus gewonnene wiedervereinte Raster vermag die gesamte Vektorfläche abzudecken. In den Berechnungsmodellen im Anhang Teil V sind sämtliche Arbeitsschritte dokumentiert, damit solche Spezialfälle für GIS-Sachbearbeiter rekonstruierbar sind.

**Geschlossener Wald** wird aus der Objektklasse *Wald* des TLM Themas *Bodenbedeckung* gewonnen. "Lärchenwald ist meistens gut begehbar, Tannenwald teilweise schlecht bis gar nicht" [16]. Der TLM-Datensatz vermag solche Unterschiede nicht abzubilden. Alle *geschlossenen Wälder* müssen gleich behandelt werden.

**Offener Wald** wird als Kombination aus der Flächen-Klasse *Wald offen* und der Punkt-Klasse *Einzelbaum* abgeleitet. Die momentan verfügbaren Flächengeometrien basieren noch auf VECTOR25 und bilden den offenen Wald zu zurückhaltend ab (vgl. Abb. 28). “Baumringel sind ein Flächensymbol, sie stehen nicht für einzelne Bäume” [16]. Je nach Dichte und Anordnung werden sie im Vektormodell als Fläche, Linie oder Punkt abgebildet. Deshalb wird versucht, die Punktdaten mittels minimaler Nachbarschaftsberechnung (*Focal Statistics*) zu vergrössern und mit dem Raster aus der Flächen-Klasse zu kombinieren. In Abb. 32 in der Ansicht a kann das aufbereitete GIS-Raster (hellgrün) mit der realen Welt verglichen werden.

**Baum- und Gebüschreihe** Dieser Aspekt wird aus dem Linien-Datensatz *Baum, Gebüschreihe* abgeleitet. Er ist eher nebensächlich, da das aktuelle TLM nur wenige Objekte davon abbildet. Die Daten zeigen meist Hecken, bei welchen es (ausser entlang eines Wanderweges) kaum ein Durchkommen gibt.

**Gebüschwald** ist “Meist weniger als 3 m hoch, oft schlecht oder gar nicht begehbar” [16]. Wenn viel Schnee liegt, können die Gebüschreihen auch komplett eingeschneit sein. Über die meiste Zeit des Winters jedoch gibt es darin fast kein Durchkommen. Dieser Aspekt wird aus der Flächen-Klasse *Gebüschwald* aufbereitet. Die aktuellen TLM-Daten zeigen auch diese Flächen eher zurückhaltend. Deshalb werden diese Flächen entlang deren Ränder um 20m vergrössert.

**Felsbereiche** Steile Felsbereiche werden bereits durch die höchste Hangneigungsstufe abgedeckt. Es gibt aber auch flaches Gelände mit anstehendem Fels, wo ein Durchkommen erschwert sein kann, z. B. in Karstgebieten. Deshalb wird dieser Aspekt auch berücksichtigt und aus der Flächen-Klasse *Fels* erzeugt.

**Fliessgewässer** Bei diesem Aspekt wird davon ausgegangen, dass ab einer gewissen Bachgrösse der Bach meist nicht eingeschneit und schlecht passierbar ist. Die Fliessgewässer werden als Kombination der Liniendaten *Fliessgewässer* und der gleichnamigen Objektklasse des TLM Flächenthemas *Bodenbedeckung* mit einer Auswahl der offen fliessenden Abschnitte erzeugt.

Alle Fliessgewässer von den Mündungsbereichen bis zum Fluss bezüglich Anstrengung bei einer Gewässerquerung gleich zu behandeln, ist im Hinblick auf das Produkt nicht denkbar.

Es werden deshalb all jene kleinen Gewässer separat behandelt, welche im Winter oft eingeschneit sind. Diese Information lässt sich jedoch nicht aus den TLM-Daten ableiten. Dafür dient eine eigene Rasteranalyse mittels der *Hydro-Tools* des Spatial Analyst<sup>37</sup> (einbrennen des Gewässernetzes ins Geländemodell, auffüllen von Senken, erzeugen des Einzugsgebiets für jede Rasterzelle, übertragen der Werte auf das Gewässernetz und setzen einer Grenze mittels Reclassify).

Damit im Kapitel 18 die modellierten Aufstiegsrouten die optimalen Bachübergänge “erwischen”, muss die Rasterebene der ausgeschiedenen grösseren Gewässer verbreitert und bei der Anstrengungsbewertung hoch bewertet werden. Das Resultat, die oft eingeschneiten kleinen Gewässer und der Übergang zu den verbreiterten grösseren Gewässern, ist In Abb. 32 in der Ansicht b als Kartenansicht und Foto veranschaulicht.

---

<sup>37</sup>[http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/An\\_overview\\_of\\_the\\_Hydrology\\_tools/009z0000004w000000/](http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/An_overview_of_the_Hydrology_tools/009z0000004w000000/) (Zugriff: 2013-06)

Für den Aspekt *Fliessgewässer* ist diese Aufbereitung eher realitätsfremd, weil ein ganz eingeschneiter Bach kein Hindernis bildet, ein offen fließender Bach aber eine deutliche Barriere darstellt. Bei der verfügbaren Datenbasis ist diese eher pessimistische Aufbereitung jedoch notwendig für eine vernünftige Routenmodellierung.

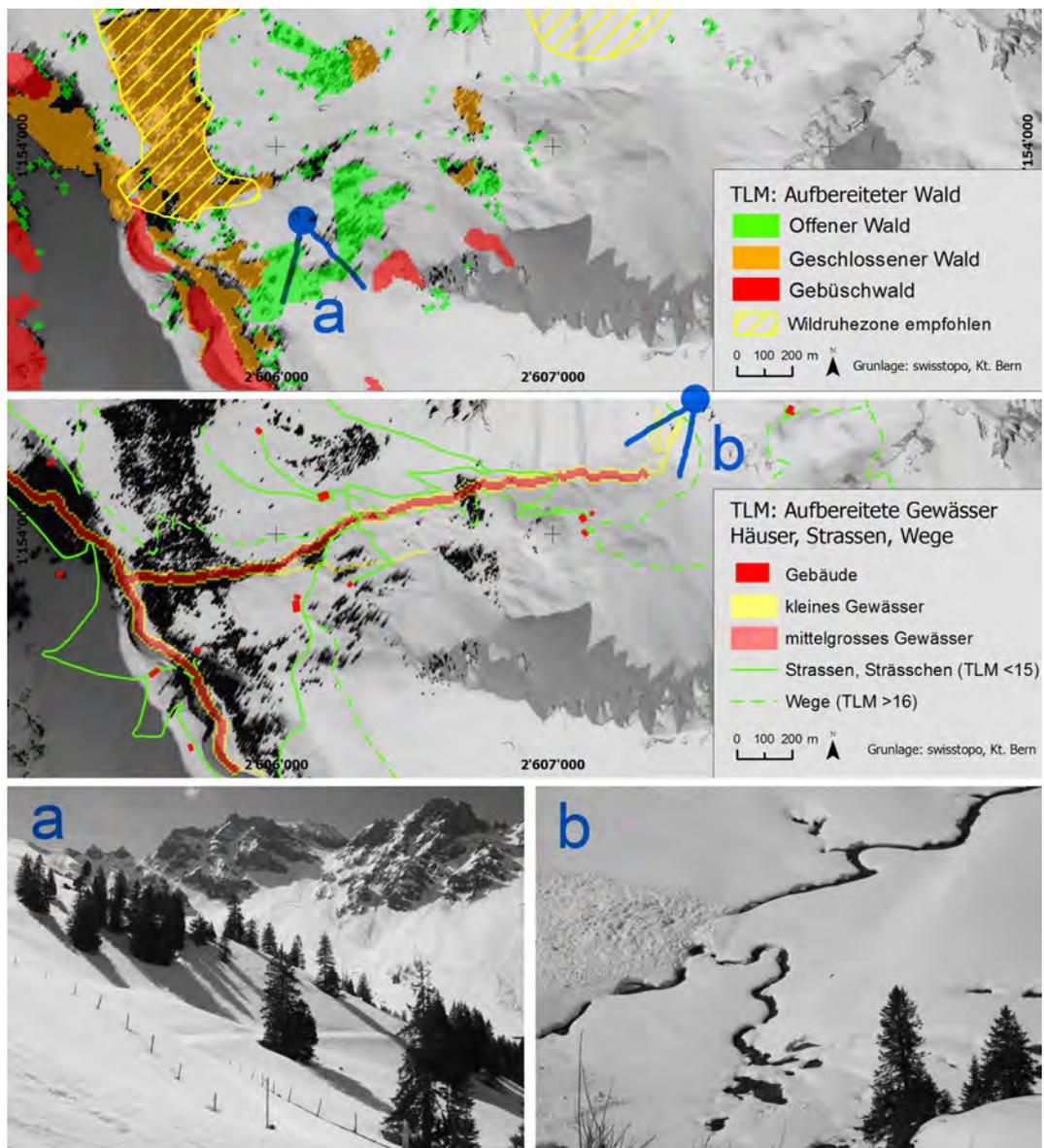


Abbildung 32: Aufbereitung der einzelnen Bodenbedeckungsthemen und Verortung der Fotos *a* und *b*.

**Stehende Gewässer** “Stauseen sind im Winter bei Pumpbetrieb sehr gefährlich” [16]. Bergseen jedoch sind in der Regel zugefroren, eingeschneit und leicht zu begehen. In Skitourenkarten sind Winter Routen über vielen Seen eingezeichnet. Ein Anstrengungswert für alle stehenden Gewässer zu vergeben ist daher schwierig, da die Begehbarkeit eher binär ist (sicher und einfach begehbar, nicht begehbar weil zu gefährlich). Der im Kapitel 16.3 vergebene Wert 3 ist

ein *fauler* Kompromiss, der nur innerhalb des Testgebiets gilt und nochmals reflektiert werden muss.

**Häuser** werden mit einem kleinen Umschwung als *nicht begehbar* betrachtet. Eine modellierte Route soll nicht durch ein Haus verlaufen.

**Böschungskanten** werden unterstützend zu den Hangneigungsstufen mit einbezogen, weil sie kleinräumig sehr steile Abbruchbereiche abbilden und mit Skis im Aufstieg zu meiden sind.

**Schutzgebiete** könnten ebenfalls in die Anstrengungsoberfläche einfließen. Bereiche mit Betretungsverbot (ausser den zulässigen Wegen) würden dabei als Maske ausgeschieden werden, damit die modellierte Route sich von diesen Gebieten fernhält. In Abb. 32 und in einer Karte im Anhang Teil V wird ersichtlich, dass sich im Testgebiet *empfohlene Wildruhezonen* befinden. Im Rahmen dieser Arbeit werden diese Flächen nicht in die Berechnungsmodelle eingebaut. Kein Modellierungsergebnis verläuft durch eine solche Zone.

**Strassen und Wege** Schliesslich fliessen Strassen und Wege in die Anstrengungsoberfläche ein. Tunnelbereiche bei Strassen fallen dabei nicht weg, da Tunnels in der Regel passierbar und sicher sind. Allgemein sollen im Winter befahrbare Strassen bis zur zweiten Klasse (TLM <11) als sicher gelten. Innerhalb des Testgebiets sind diese Strassen jedoch nicht relevant und müssten im Berechnungsmodell noch differenziert ausgeschieden werden. Strässchen dritter Klasse (TLM 11-15) lassen sich im aktuell verfügbaren TLM-Datensatz nur mit gewissen Mängeln ausscheiden. Für die Anstrengungsbewertung werden zwei Klassen abgeleitet, welche in Abb. 32 ersichtlich sind: Strassen und Strässchen (TLM <15) und Wege (TLM >16).

### 16.3 Zusammenfassende Beurteilungsmatrix

Nun sind alle Aspekte als einzelne Rasterebenen aufbereitet und werden in eine gemeinsame Skala mit *Anstrengungswerten* überführt. Die Werteskala 1 (kraftsparend) bis 5 (extrem anstrengend) beruht auf eigenen Erfahrungswerten und wird im Rahmen der Umfrage (vgl. Kapitel 21.2) überprüft und im Kapitel 25.1 diskutiert.

Die allermeisten Aspekte erhalten je nach zugehöriger Hangneigungsstufe unterschiedliche Anstrengungswerte. Die Tabelle 11 zeigt die Legende mit den fünf Anstrengungsstufen sowie die Matrix mit den zugewiesenen Werten. Auf eine Barrieremaske (nicht begehbare Bereiche) wurde verzichtet, da innerhalb des Testgebiets mit Ausnahme der Häuser fast alle Geländebereiche grundsätzlich als begehbar gelten. Die anstrengendste Stufe (Wert 5) wird jedoch wenn immer möglich gemieden. Die Tabelle 11 zeigt auch auf, in welcher Weise die Aspekte miteinander kombiniert werden:

- In einer Vorberechnung werden die Geländeformen mit den Hangneigungsstufen kombiniert und mit der Vergabe der Anstrengungswerte aus der Matrix das *Zwischenergebnis 1 (Gelände)* erzeugt. Der Wert 2 bei flachen Kuppen ist dazu da, dass keine zusätzlichen Höhenmeter begangen werden, wenn nicht nötig. Im Flachen werden Mulden gegenüber Kuppen deshalb bevorzugt.
- Anschliessend folgt eine Überlagerung aller Bodenbedeckungsaspekte und des Zwischenergebnis 1, indem für jede Rasterzelle der maximale Anstrengungswert übernommen wird. Dies ergibt das *Zwischenergebnis 2 (Gelände und Bodenbedeckung)*.

Zusammensetzung der Oberfläche "Anstrengung / Begehbarkeit"	Hangneigungsstufen					
	flacher 15	15 bis 25	25 bis 30	30 bis 35	35 bis 45	steiler 45
Geländeform: Flächige gleichmässige Hänge (0)	1	1	2	3	4	5
Geländeform: Couloir, Rinne, Runse, Mulde (1)	1	2	3	4	5	5
Geländeform: Grat, Kamm, Rücken, Rippe, Kuppe (2)	2	1	1	2	3	5
<b>Zwischenergebnis 1 (Gelände)</b>						
Geschlossener Wald (TLM12)	3	3	3	4	4	5
Offener Wald (TLM13), Einzelbaeume	2	2	3	4	4	5
Untergrund: Felsbereiche (Signatur Karte TLM1)	3	3	3	4	4	5
Untergrund: stehende Gewässer (Seelein, TLM10)	3					
Gebüschwald 6 (mit Puffer 10m), Traverse grösserer Bach/Fluss, Böschungskanten TLM, Häuser TLM, Schutzgebiete mit Betretungsverbot	5	5	5	5	5	5
Traverse Bach, Traverse Baum- und Gebüschreihe	4	4	4	4	4	5
<b>Zwischenergebnis 2 (Gelände und Bodenbedeckung)</b>						
Wege im offenen Gelände und im Gebüsch (TLM >15)	1	1	1	3	3	3
Wege im geschlossenen und offenen Wald (TLM >15)	1	1	1	2	2	2
Strassen und Strässchen inklusive Tunnels (TLM <=15)	1	1	1			
<b>Fertige Oberfläche "Anstrengung / Begehbarkeit"</b>						
1	Kraftsparend (keine Kosten)					
2	wenig anstrengend (Geringe Kosten)					
3	Anstrengend (Mittlere Kosten)					
4	Sehr anstrengend (hohe Kosten)					
5	extrem anstrengend (sehr hohe Kosten)					

Vorberechnung  
 Übernahme Maximalwert  
 Übernahme Minimalwert

**Legende "Anstrengung / Begehbarkeit"**

Tabelle 11: Matrix zur Bewertung der Anstrengungsoberfläche.

- Um die fertige *Oberfläche Anstrengung, Begehbarkeit* zu erzeugen, wird in einem letzten Schritt das Zwischenergebnis 2 mit den Strassen und Wegen kombiniert, indem für jede Rasterzelle der Minimalwert übernommen wird. Auf diese Weise wird erreicht, dass Wegpassagen durch Gebüsch oder über einen Bach in der Oberfläche korrekt abgebildet werden. Wege im offenen Gelände und im Wald werden dabei unterschiedlich behandelt. Wege im offenen Gelände gewinnen erst in Steilhängen an Bedeutung. Wege im geschlossenen Wald jedoch müssen meist stur verfolgt werden, da die restlichen Waldflächen kaum begehbar sind. Damit dies auch in der Routenmodellierung sauber eingehalten wird, erhalten Wege im Wald tiefere Anstrengungswerte. Dies widerspricht der Realität, sobald die Steigung der Wege im Wald mehr als 30° beträgt. Weil dann im Gegensatz zum offenen Gelände keine Ausweichmöglichkeiten bestehen, ist deren Begehung eigentlich anstrengender.

## 17 Berechnungsmodell Lawinenrisiko

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die *Hinweiskarten Lawinenrisiko* für die Gefahrenstufen gering, mässig und erheblich und die *Oberfläche Lawinensicherheit* als Teilprodukt für die Modellierung der Aufstiegsrouten erstellt werden. Eine schematische Übersicht des *Berechnungsmodells Lawinenrisiko* ist in der Abb. 30 ersichtlich.

### 17.1 Hinweiskarten *gering* und *mässig*

Wenn alle Expositionen und Höhenlagen als *ungünstig* gemäss GRM (vgl. Kapitel 9.3) gelten, lässt sich für die Lawinengefahrenstufen gering, mässig und erheblich eine Gefahrenhinweiskarte erzeugen, auf welcher das GRM-Lawinenrisiko unabhängig der tagesaktuellen Lawinensituation ersichtlich ist. Ob solche Darstellungen sinnvoll sind oder nicht, ist im Literaturteil in der Tabelle 9 zusammengetragen. Diese Arbeit befasst sich jedoch nicht mit der Optimierung solcher Produkte, sondern mit der Modellierung der lawinensichersten Aufstiegsroute. Die erzeugten Hinweiskarten werden also für die Berechnung der lawinensichersten Aufstiegsroute und für die anschliessende Routenbewertung verwendet.

Die Frage lautet: Wo herrscht welches GRM-Lawinenrisiko bei gering, mässig und erheblich, wenn alle Höhenlagen und Expositionen als ungünstig angenommen werden? Exposition und Höhenlage fliessen später in die Bewertung der Routen mit ein (vgl. Kapitel 19.1).

Die Hinweiskarte *gering* wird mit einer einfachen Klassierung aller Hänge erstellt, welche steiler sind als  $40^\circ$ . Bei *mässig* wird zusätzlich zur Klassierung der entsprechenden Hangneigungen (steiler  $35^\circ$  erhöhtes Lawinenrisiko gemäss GRM, steiler  $40^\circ$  hohes Lawinenrisiko gemäss GRM) eine einfache Nachbarschaftsanalyse (*Focal Statistics*) über alle Rasterzellen ausgeführt, in der jeder Zelle das höchste GRM-Lawinenrisiko aus der unmittelbaren Nachbarschaft übertragen wird. Diese beiden Abgrenzungen sind in Abb. 35 ersichtlich und fliessen später in die Routenbewertung mit ein.

### 17.2 Hinweiskarte *erheblich*

Für die Berechnung der lawinensichersten Aufstiegsroute wird eine erhebliche Lawinengefahr mit Lawinenmuster *Neuschnee* (vgl. Kapitel 9.4) als fiktive Lawinengefahrensituation angenommen, weil die GRM in diesem Muster am nützlichsten ist. Es werden alle Expositionen und Höhenlagen als *ungünstig* betrachtet.

**Ganzer Hang** In die Betrachtung bei angenommener erheblicher Lawinengefahr wird der ganze Hang mit einbezogen (vgl. Kapitel 9.3). Es wird davon ausgegangen, dass Fernauslösungen von Lawinen und noch keine Spontanlawinen möglich sind. Die räumliche Abgrenzung der *Auslösewahrscheinlichkeit* für Lawinen ist kleiner als der Bereich, welcher von einer ausgelösten Lawine verschüttet werden kann, jedoch deutlich grösser als die potenziellen Anrissgebiete einer Lawine, (Steilhänge steiler  $30^\circ$ ), welche bei gering und mässig als Risikogebiete ausgedehnt sind.

Das heisst: Der *ganze Hang* ist dasjenige Gebiet, aus welchem bei *erheblich* eine Fernauslösung mit nachträglicher Verschüttung erwartet wird.

Für die Berücksichtigung des *ganzen Hanges* dient die angemessene Modellierung der Sturzbahn mit Path-Distance aus dem Projekt *GIS-Analyse Skitourenrouten nach Risikostufe* [50]

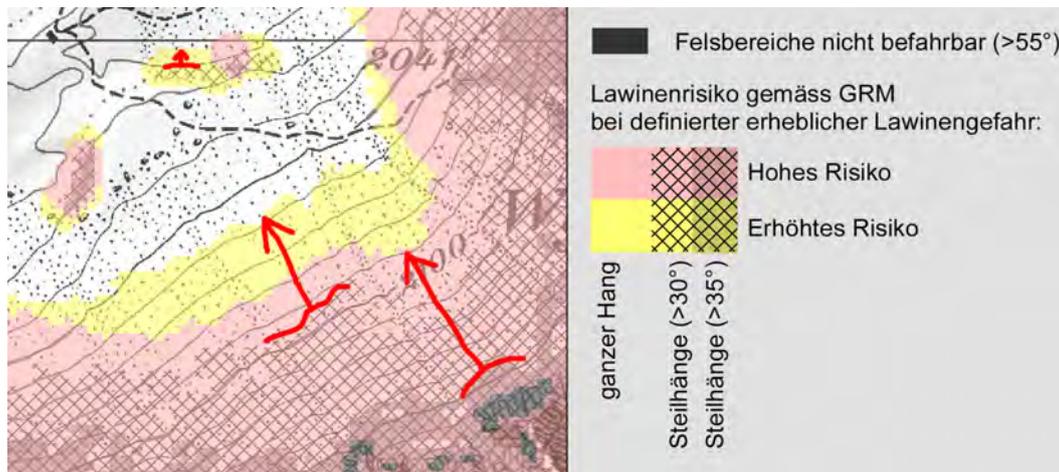


Abbildung 33: Modell *ganzer Hang bei erheblich*.

(vgl. Kapitel 11.1). Der Hang wird von den Abbruchstellen in Lawinfließrichtung in Abhängigkeit von der Hangneigung bis zu einer Maximaldistanz von 300m abgegrenzt (vgl. Abb. 33). Wenn die anschliessende Hangneigung weniger als  $25^\circ$  beträgt, erreicht die Abgrenzung nicht die Maximaldistanz, in flacherem Gelände als  $20^\circ$  stoppt die Abgrenzung<sup>38</sup>. In einfacher Form ist nun berücksichtigt, ob der Hang *über mir* oder *unter mir* ist (vgl. Abb. 15).

Aus dem Kapitel 9.3 geht hervor, dass sich dieser *Hangbereich* niemals scharf abgrenzen lässt, weil die tagesaktuellen Verhältnisse (Lawinmuster, vgl. Kapitel 9.4) dafür entscheidend sind. Ob diese (aus Sicht der experimentellen Herangehensweise) eher defensive Ausscheidung akzeptiert wird oder nicht, zeigen die Ergebnisse im Kapitel 24.2.

Erst bei Spontanlawinen (ab Gefahrenstufe *gross*, vgl. Tabelle 3) würde das Gebiet der *Auslöse- und Verschüttungswahrscheinlichkeit* dem tatsächlichen Lawinenauslauf entsprechen, für Gefahrenhinweiskarten dieser Gefahrenstufen müsste die effektive Sturzbahn unter Berücksichtigung vieler weiterer Parameter modelliert werden (vgl. Kapitel 11.3).

<sup>38</sup>Festgelegt in experimenteller Herangehensweise zusammen mit Bergführer.

### 17.3 Einfluss des Waldes auf das Lawinenrisiko

Es wird angenommen, dass für die Lawinengefahrenstufen mässig und erheblich vom geschlossenen Wald folgende Schutzfunktion ausgeht:

- Hohes GRM-Lawinenrisiko (rot) im geschlossenen Wald wird zu erhöhtem Lawinenrisiko (gelb), bestehendes erhöhtes GRM-Lawinenrisiko (gelb) bleibt gelb.
- Eine Lawine kann bei der gegebenen Lawinengefahr nicht aus dem Wald heraus fernausgelöst werden. Gefährdete Waldrandbereiche werden vernachlässigt. Die Beurteilung gilt für das Gefahrenmuster *Neuschnee* (vgl. Kapitel 9.4). Vor Nassschneelawinen bei erheblicher Lawinengefahr im Frühling ist man auch im dichten Wald nicht sicher.
- Liegt ein Abbruchbereich steiler  $35^\circ$  innerhalb des Waldes und der anschliessende flachere Auslaufbereich ausserhalb, wird auch der zugehörige Bereich ausserhalb des Waldes von GRM-rot zu GRM-gelb. Der Wald wird also auch für die Beurteilung des *ganzen Hangs* mit einbezogen.

Abb. 34 zeigt diesen Waldeinfluss grafisch auf. Es soll jedoch auch festgehalten werden, dass ein Wald mit einer Steilheit von mehr als  $30^\circ$ , der vor Lawinengefahr schützt, für Skitourenfahrer weder im Aufstieg noch in der Abfahrt begehbar ist, ausser entlang von Wegen.

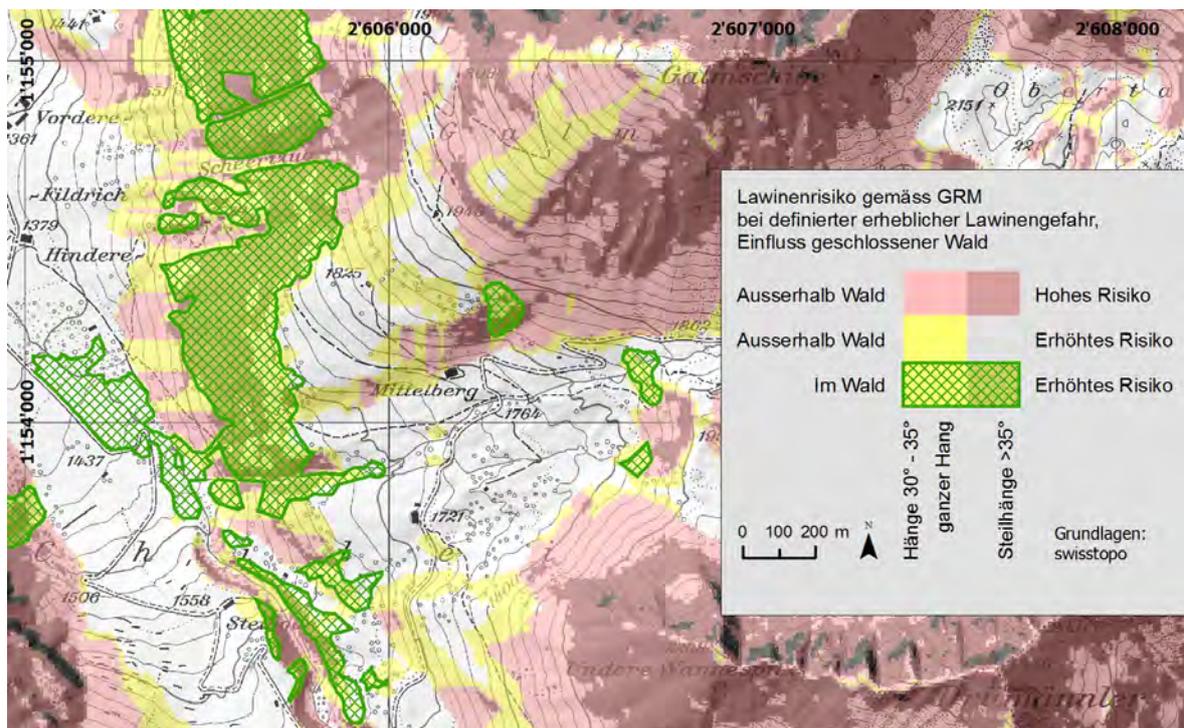


Abbildung 34: Waldeinfluss bei definierter erheblicher Lawinengefahr.

## 17.4 Gesamtüberblick Hinweiskarten Lawinenrisiko

Abb. 35 zeigt nun die erzeugten Gefahrenhinweiskarten im Gesamtüberblick.

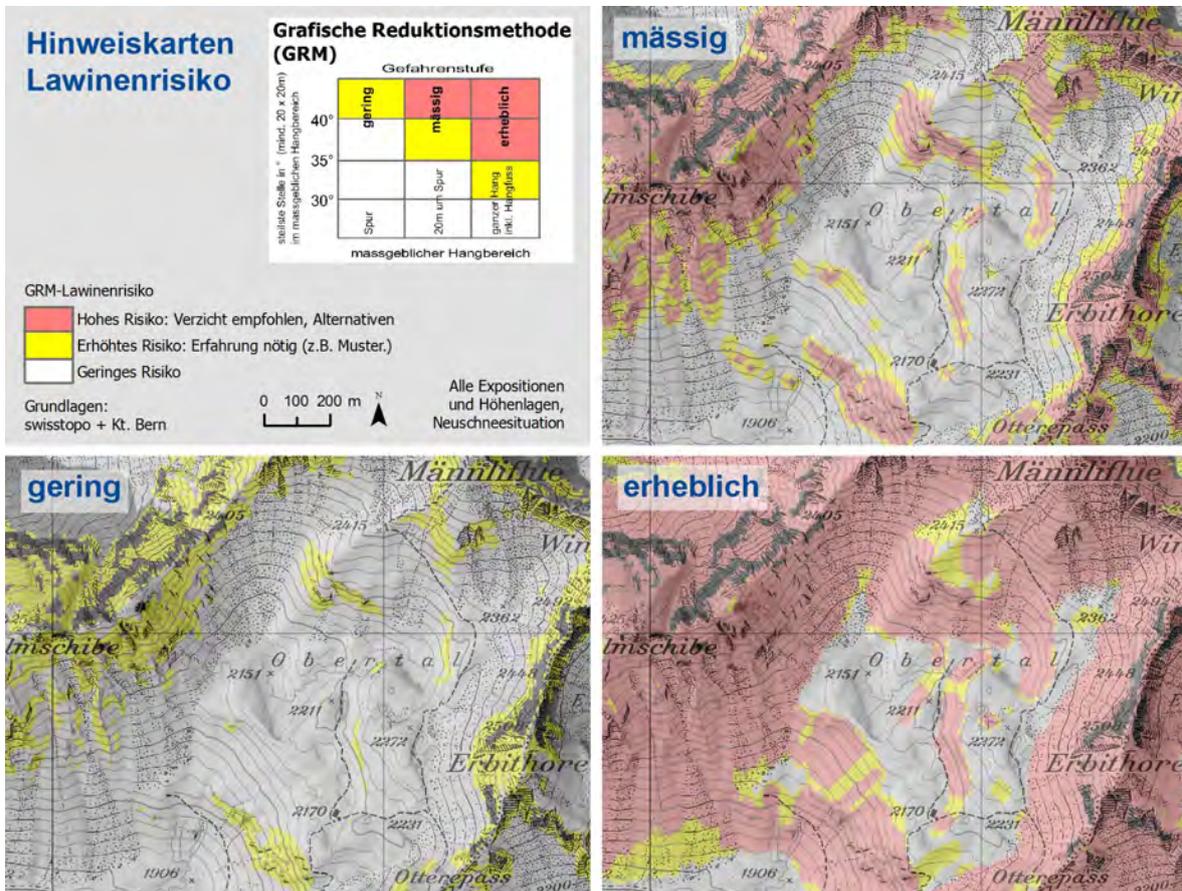


Abbildung 35: Darstellung GRM-Lawinenrisiko für *geringe*, *mässige* und *erhebliche* Lawinengefahr.

## 18 Berechnungsmodell Aufstiegsrouten

Nun sind alle Aspekte aufbereitet, um die eigentliche Routenmodellierung mittels *Verbindungsentfernungsanalyse (Path Distance)* (vgl. Kapitel 13.3) umzusetzen. Beide Routen, die kraftsparendste und die lawinensicherste, werden dabei separat modelliert. Dafür wird die im Kapitel 13.3 erläuterte *Oberflächenbeschaffenheit* (Input cost raster) unterschiedlich umgesetzt.

### 18.1 Kostenoberflächen Anstrengung und Lawinensicherheit

Die in den Kapiteln 16 und 17 erzeugten Oberflächen *Anstrengung* und *Lawinensicherheit* müssen nun in die fertigen *Kostenoberflächen* umgewandelt werden, welche als Eingabedaten für die Routenmodellierung dienen (*Input cost raster*). In der Berechnungsübersicht in Abb. 30 sind die anschliessenden Erläuterungen grafisch veranschaulicht. Diese Rasteroberflächen mit der aufbereiteten Werteskala dienen ausschliesslich als Baustein zur Routenmodellierung und keinesfalls als fertige Hinweiskarten.

- Die *Kosten Anstrengung* werden direkt aus der Anstrengungsoberfläche abgeleitet, indem die Werte 1 bis 5 auf eine Werteskala von 1 bis 30 übertragen werden. Die Ursprungswerte 1 und 2 erhalten in der neuen Skala dieselben Werte, Wert 3 erhält neu die 5, Wert 4 die 10 und Wert 5 die 30. Bei einer *sehr anstrengenden* Passage (Wert 4, neu 10) wird für die Überwindung derselben Distanz demnach eine zehnmal höhere Anstrengung erwartet als bei *kraftsparenden* Passagen (Wert 1).
- Die Aufbereitung der *Kosten Lawinensicherheit* in derselben Skala von 1 bis 30 gestaltet sich etwas komplizierter. Zusätzlich zu den Anstrengungswerten muss die Lawinengefahr in geeigneter Weise einfließen, damit in der modellierten Route die gefährdeten Bereiche möglichst gemieden werden (vgl. Kapitel 13.2).

Dafür erhalten die erzeugten GRM-Risikostufen (für erhebliche Lawinengefahr) die Werte 4 und 5 und werden mit einer Auswahl derselben Werte aus der Anstrengungsoberfläche kombiniert (Übernahme Maximalwert), damit diese bei der anschliessenden Überlagerung nicht geschwächt werden. Die so erzeugte Ebene wird mittels *gewichteter Überlagerung (Weighted Overlay)* mit der gesamten Anstrengungsoberfläche kombiniert und die fertigen *Kosten Lawinensicherheit* mit einer Skala von 1 bis 30 ausgegeben. Darin sind nun neben der Lawinensicherheit auch alle Anstrengungsaspekte enthalten, insbesondere auch die Geländeformen. Die Anstrengungswerte fliessen dabei mit 60%, die Lawinenwerte mit 40% in die fertige Oberfläche ein.

In Abb. 36 sind die beiden fertigen Kostenoberflächen (*Input Cost Raster*) einander gegenübergestellt. In der *Kostenoberfläche Lawinensicherheit* erhalten die beiden höchsten Klassen aus der *Kostenoberfläche Anstrengung* dank dem vorhin beschriebenen Verfahren mindestens gleich hohe Werte wie bei der *Kostenoberfläche Anstrengung* selbst.

Beim Betrachten dieser zwei Kostenoberflächen kann bereits erahnt werden, wo die optimalen Aufstiegsrouten auf die Männliflue in etwa zu liegen kommen. Deutlich sichtbar wird der Einfluss des integrierten Lawinenrisikos.

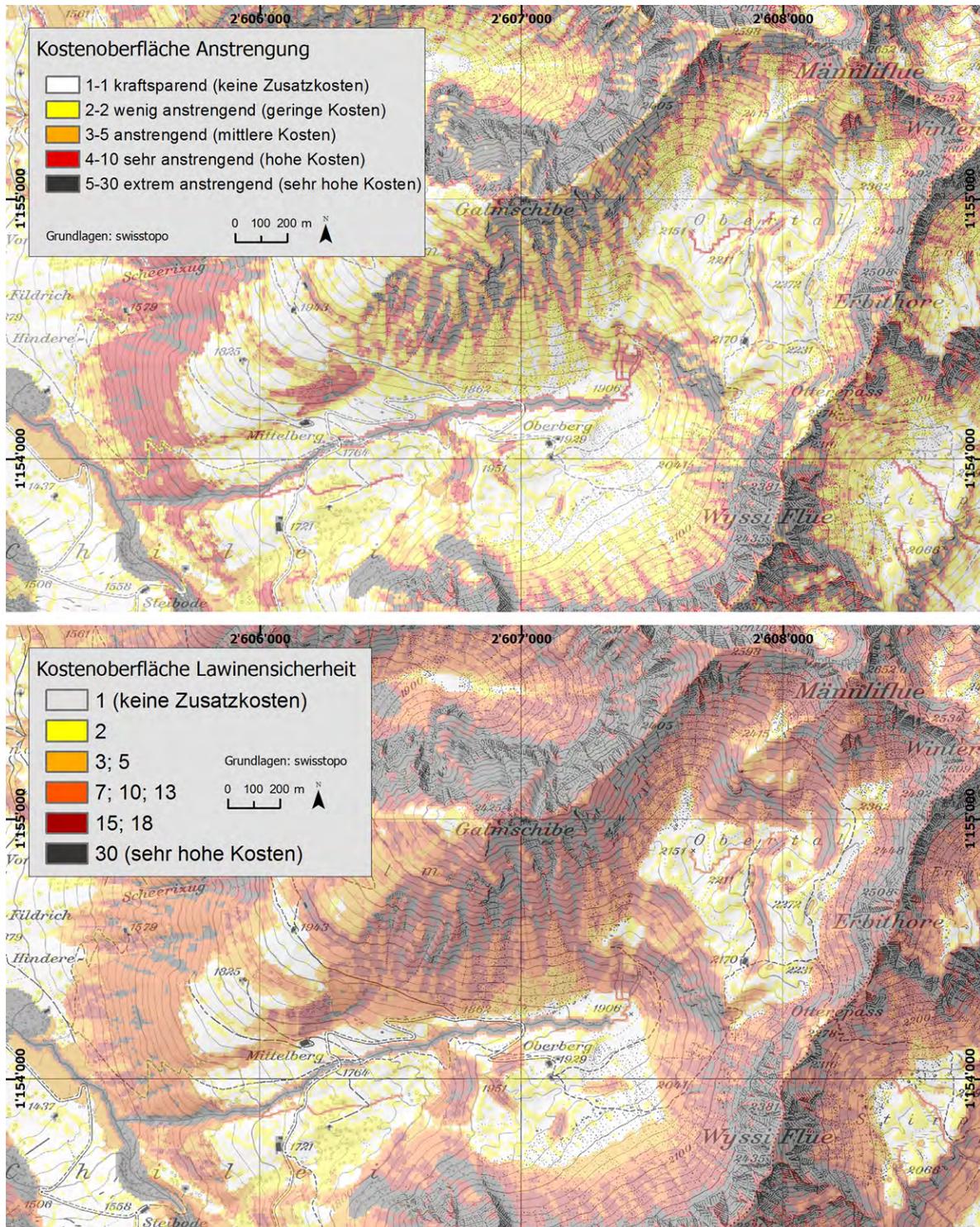


Abbildung 36: Vergleich Kostenoberflächen Anstrengung und Lawinensicherheit.

## 18.2 Oberflächenraster und vertikaler Faktor

Zusätzlich zu den im Kapitel 18.1 erstellten Kostenoberflächen fließen ein Oberflächenraster (*Input surface raster*) und vertikale Bewegungseinschränkungen (*Input vertical raster*) in die Routenmodellierung mit *Path Distance* ein (vgl. Theorie im Kapitel 13.3 und Berechnungsablauf in Abb. 30).

**Oberflächenraster** In der Theorie ist festgehalten, dass beim Aufstieg unnötige Zusatzhöhenmeter wenn möglich gemieden werden sollen, indem z. B. eine Mulde entlang der Höhenlinie mit minimaler Zusatzdistanz und nicht auf dem direktesten Weg begangen wird. In der experimentellen Umsetzung hat sich herausgestellt, dass dieser Aspekt plausibel abgebildet wird, wenn das eingegebene Höhenmodell (*Input surface raster*) mit Faktor 2 überhöht wird.

**Vertikaler Faktor** Der Versuch, mit dem *vertikalen Faktor* innerhalb des Werkzeugs *Path Distance* die Spitzkehrenthematik angemessen zu berücksichtigen, erweist sich als schwierig. Es ist nicht das Ziel, eine Spitzkehre präzise zu verorten. Spitzkehrengelände hat jedoch sicherlich einen Einfluss auf die erwarteten Modellierungsergebnisse und soll daher in einfacher Form in die Berechnungen einfließen.

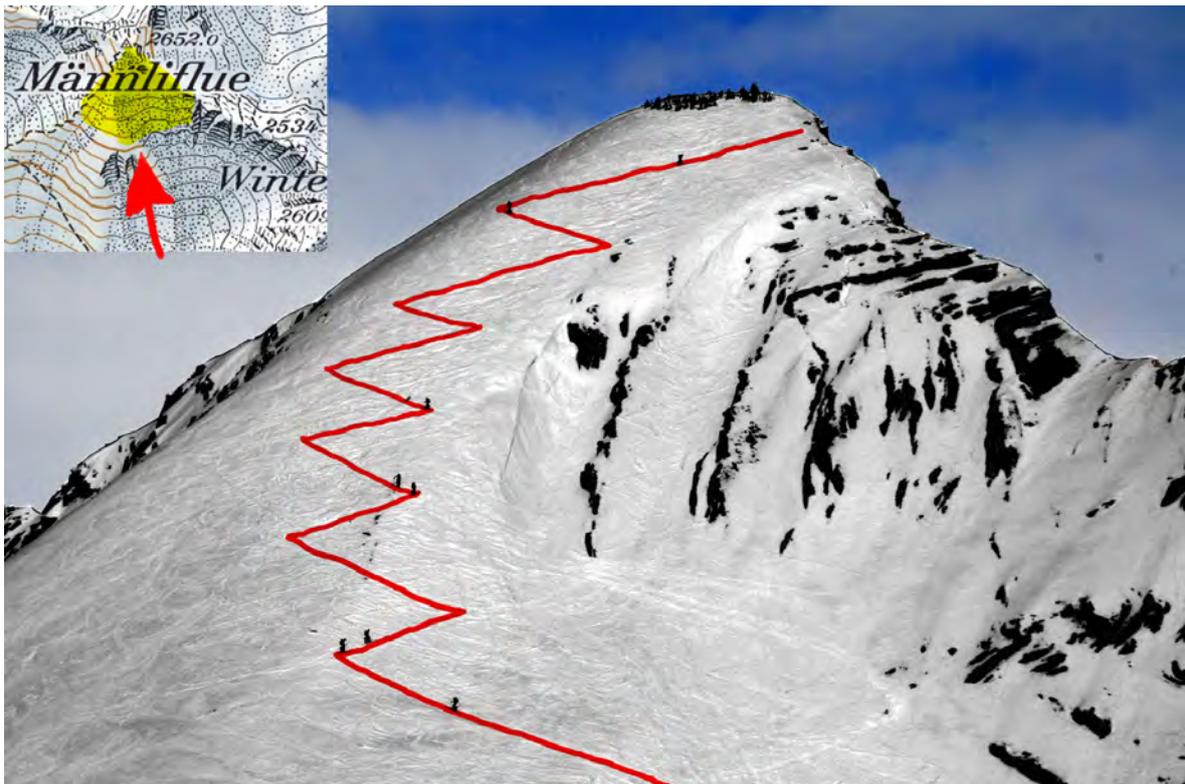


Abbildung 37: Spitzkehren auf den letzten Metern zur Männliflue. Lassen sich diese angemessen modellieren?

Abb. 37 zeigt den Gipfelbereich der Männliflue, betrachtet vom Erbitthore am 22. März 2009. Ist der Hang steiler als  $30^\circ$  (Falllinie), sind Spitzkehren erforderlich. Die Steigung der Skispur (Querneigung) ist dann kleiner als die Hangneigung.

Im GIS ist dies folgendermassen umgesetzt: Als *Input vertical raster* dient das Höhenmodell, damit lässt sich von jeder Zelle zu einer beliebigen Nachbarzelle die entsprechende Querneigung bestimmen. Sobald diese Querneigung mehr als  $30^\circ$  (Steigung oder Gefälle) beträgt, wird die Distanzberechnung (die modellierte Route) über eine andere Nachbarzelle fortgeführt, welche über eine kleinere Querneigung als  $30^\circ$  erreichbar ist. Damit wird in der Routenmodellierung erreicht, dass Steilhänge nicht auf dem direktesten Weg überwunden werden. Was aber noch verfeinert werden müsste, sind folgende Punkte:

- Es sollen möglichst wenig Spitzkehren erforderlich sein. Jede Spitzkehre zehrt an der Kraft und oft besteht auch ein erhöhtes Absturzrisiko. Das umgesetzte Modell vermag dies nicht zu berücksichtigen. Auch die tatsächliche Aufstiegsspur in Abb. 37 könnte diesbezüglich optimiert werden. Mit der Ausnützung der gesamten Hangbreite würden einige Spitzkehren wegfallen.
- Sobald das Gelände nicht mehr mit Skis, sondern zu Fuss begangen wird, muss die modellierte Route wieder dem direktesten Weg entsprechen. Auf einem zu Fuss begangenen Grat wird nicht seitlich ausgewichen, um eine Steilstufe zu überqueren.

### 18.3 Distanzberechnung, kostengünstigster Pfad, Korridor

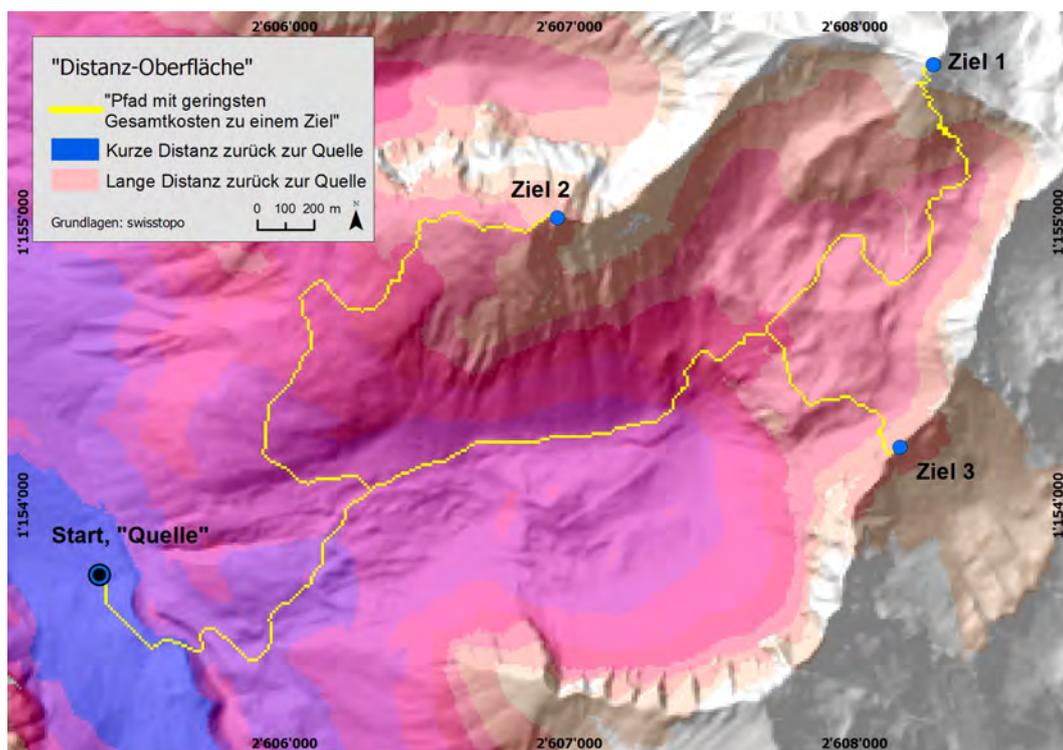


Abbildung 38: Distanzoberfläche und kostengünstigster Pfad.

**Distanzoberfläche und kostengünstigster Pfad** Die Abb. 38 zeigt nun das Resultat der mit *Path Distance* ausgeführten Distanzberechnung. Ausgehend vom Start (der Quelle)

wird unter Berücksichtigung aller Bewegungseinschränkungen eine *Distanzoberfläche* berechnet (*Output distance raster*, vgl. Theorie im Kapitel 13.3). Darauf aufbauend lässt sich ausgehend vom Start die *optimale Route* zu einem beliebigen Punkt der Oberfläche erzeugen. In der Abb. 38 sind diese *Pfade mit den geringsten Gesamtkosten* zu den drei Zielen Männliflue, Galmschibe und Otterepass dargestellt.

**Korridor** Neben den optimalen Routen lässt sich nun auch der *Korridor* einer Skitour als Fläche darstellen. Dieser beinhaltet die *Bereiche mit annähernd denselben Aufstiegsbedingungen* wie die optimalen Aufstiegslinien. Abb. 39 zeigt als Beispiel einen grosszügig erweiterten Korridor mit der dazugehörigen Aufstiegsroute. Je transparenter die rote Fläche, desto grösser ist die zusätzliche Anstrengung im Vergleich zur optimalen Aufstiegsroute (gelbe Linie). Im GIS-Projekt erfolgt die Modellierung der kraftsparendsten und lawinensichersten Aufstiegsroute mit dem entsprechenden Korridor separat, die beiden Korridorflächen werden anschliessend zu einer Fläche zusammengefasst. Diese Korridor ist eher knapp ausgeschieden, ein Grossteil der Referenzrouten inkl. der selbst begangenen Linie sollen damit jedoch berücksichtigt sein (vgl. Abb. 44).

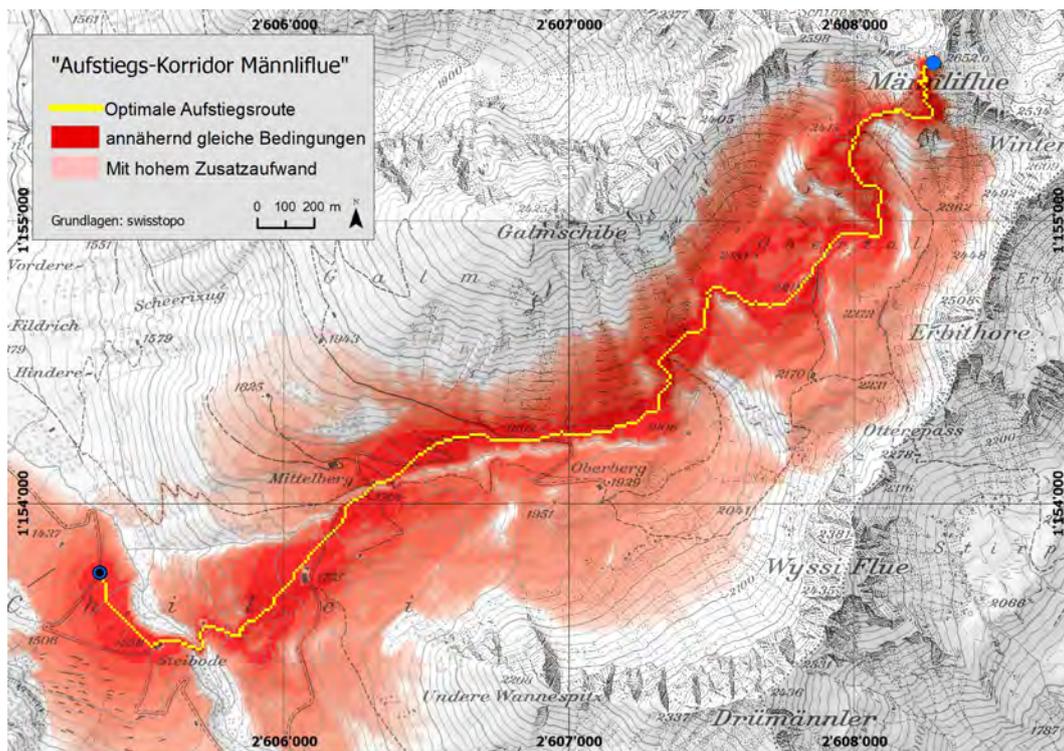


Abbildung 39: Korridor mit annähernd gleichen Aufstiegsbedingungen.

Nun sind die optimalen Aufstiegsrouten bezüglich Anstrengung und Lawinensicherheit als Linien und auch der dazugehörige Korridor fertig modelliert. Diese Resultate sind im Anhang Teil V in der Karte 7 ersichtlich.

## 19 Berechnungsmodell Routenbewertung

In diesem Kapitel wird aufgezeigt, wie die fertig modellierten Aufstiegsrouten mit GIS bewertet werden, um Schlüsselstellen einer Skitour sichtbar zu machen. In der Abb. 30 sind diese Berechnungsschritte grafisch zusammengefasst.

### 19.1 Zusammensetzung der Bewertungsebene

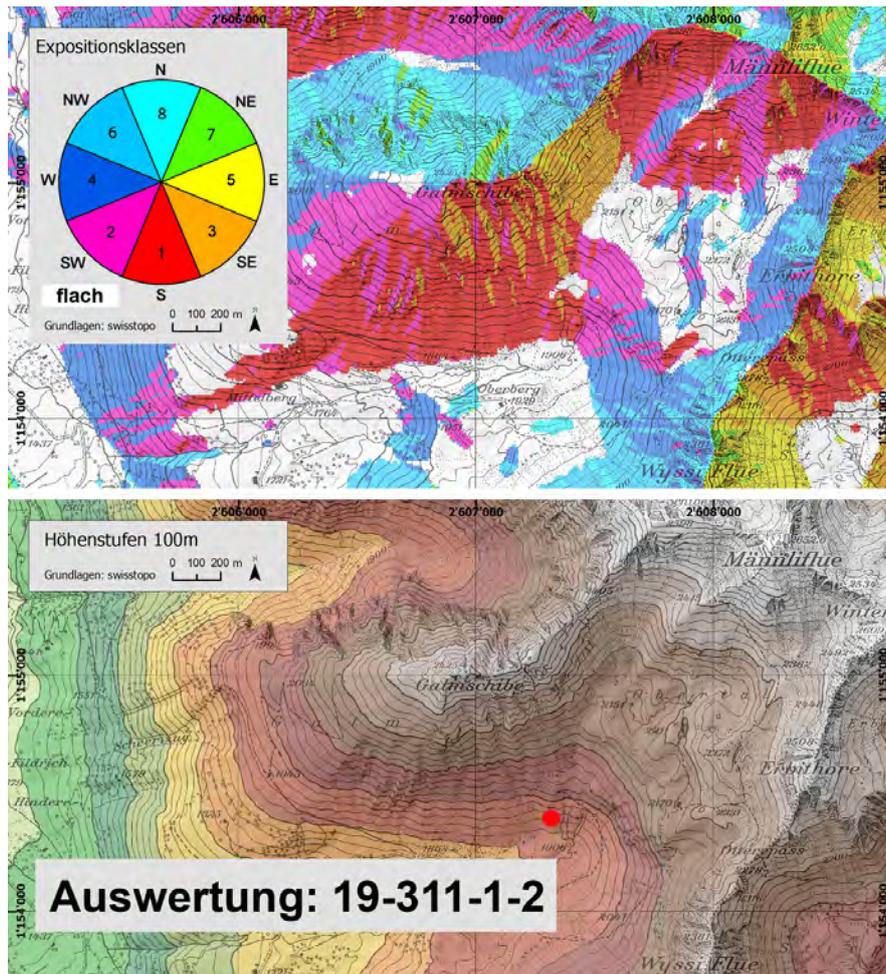


Abbildung 40: Zusammensetzung der Bewertungsebene.

Folgende Aspekte fließen in die Bewertung jedes Routenabschnitts ein:

- GRM-Lawinenrisiko (Werte 1 für gering, 2 für erhöht, 3 für hoch) bei Gefahrenstufe gering, mässig und erheblich (alle Expositionen und Höhenlagen gelten dabei als ungünstig, vgl. Abb. 35)
- Expositionssektoren inkl. flache Bereiche (Werte 0 bis 8) und Höhenstufen (100hm-Schritte) gemäss Abb. 40.
- Anstrengung, Begehbarkeit (Werte 1 bis 5, vgl. Tabelle 11).

Diese Aspekte lassen sich nun in einer Rasterebene kombinieren. Der in Abb. 40 dargestellte Auswertungscode zeigt dies beispielhaft auf. Der Rasterwert beim roten Punkt beträgt 1931112. Das bedeutet, dass dieser Punkt zwischen 1900m und 2000m liegt (19) sowie bei erheblicher Lawinengefahr ein hohes GRM-Lawinenrisiko und bei mässig und gering ein geringes GRM-Lawinenrisiko besteht (311). Zudem liegt der Punkt in einem Südhang (1) und die Begehbarkeit ist wenig anstrengend (2).

Wird nun die erstellte Bewertungsebene mit den modellierten Aufstiegsrouten und des Korridors vereint, lassen sich die Routen beliebig darstellen und auswerten.

## 19.2 Darstellung der Auswertungen



Abbildung 41: Visualisierungsbeispiel Aufstiegsrouten Männliflue, betrachtet vom Rauffihore (603 370 / 153 500).

**Hinweiskarten mit eingefärbten Routen** Karte 5 des Anhangs (Teil V) zeigt eine Einfärbung der Routen und des Korridors bezüglich Anstrengung, Karte 6 dieselbe Karte mit der Bewertung bezüglich Lawinensicherheit bei der Lawinengefahrenstufe erheblich. Als Basiskarte dieser Produkte dient die LK 1:25000 (vgl. Kapitel 9.2), die Ergebnisse sollen dem Masstab dieser Karte gerecht werden.

In dieser Arbeit wird der Fokus nicht auf die optimale Farbwahl für jede Hinweiskarte gelegt. Vielmehr sollen Zwischenschritte und Ergebnisse der Berechnungsmodelle möglichst einfach lesbar und interpretierbar sein. Wie die Ergebnisse beurteilt werden, wird im Teil IV dargelegt.

**Tabellarische Zusammenfassung in 100hm-Schritten** Ergänzend zu den auf einer Karte eingefärbten Routen werden die Ergebnisse in einer Tabelle in 100hm-Stufen zusammengefasst. Diese Tabelle ist in Abb. 47 und in den Karten 5 und 6 des Anhangs (Teil V) ersichtlich. Innerhalb einer Höhenstufe wird dabei für jede Lawinengefahrenstufe das höchste vorkommende Lawinenrisiko übernommen und zusätzlich der dominante Expositionssektor,

---

die durchschnittliche Anstrengung und die Horizontaldistanz ermittelt. Keinesfalls darf das durchschnittliche Lawinenrisiko innerhalb einer Höhenstufe berechnet werden, weil auch in einem sehr kurzen gefährlichen Abschnitt eine Lawine ausgelöst werden kann.

Dank der tabellarischen Auswertung ist das bewertete GRM-Lawinenrisiko nun mit der Exposition und Höhenlage verknüpfbar.

**3D-Visualisierungen mit GoogleEarth** Ergänzend zu den Hinweiskarten mit der LK 1:25000 und der Bewertungstabelle werden die Ergebnisse auch interaktiv in 3D präsentiert. Diese Darstellungsform wird innerhalb der Umfrage angewendet (vgl. Kapitel 21.2). Abb. 41 zeigt ein Beispiel davon.

Alle Karten lassen sich weiterhin mit der Software GoogleEarth betrachten (vgl. Kurzanleitung im Anhang Teil V<sup>39</sup>).

## 20 Nicht ausgeführte Detaillierungsschritte

Einige Berechnungsschritte können im Rahmen dieses Projekts aus Aufwandgründen nicht verwirklicht werden. Insbesondere die Spitzkehrenthematik im Kapitel 18.2 müsste präziser umgesetzt werden. Aus der Entwicklungsarbeit der Berechnungsmodelle gehen zahlreiche Verbesserungsideen hervor, welche in der Tabelle 12 aufgeführt sind.

---

<sup>39</sup>Download KMZ-Datei: [www.aus-sicht.ch/images/msc/Skitourenplanung\\_GIS\\_Eisenhut.kmz](http://www.aus-sicht.ch/images/msc/Skitourenplanung_GIS_Eisenhut.kmz) (Zugriff: 2013-06).

Zwischenergebnis, Kapitel	Ideen für Weiterentwicklungen
Kostenoberfläche K.16.1, Hinweiskarten Lawinenrisiko K.17.1	Präzise Aufbereitung unterschiedlicher Geländeformen, z. B. Kammlagen als zusätzliche Hinweisebene (vgl. Literatur im Kapitel 11.2).
Hinweiskarten Lawinenrisiko K.17.1	Schattenhänge und Sonnenhänge als zusätzliche Informationsebene, mit Einstrahlungsanalyse (Spatial Analyst, <i>Solar Radiation</i> ).
Kostenoberfläche K.16.2	Einbezug Schutzgebiete (einfach ins Modell integrierbar).
Kostenoberfläche K.16.2	ev. Kategorie <i>für Skitouren ungeeignet/unmöglich</i> als Maske definieren: Häuser, große Bäche, Stauseen, Schutzgebiete. Extrem steile Hänge müssen für Fussgelände-Abschnitte jedoch begehbar sein.
Kostenoberfläche, Gewässeraufbereitung K.16.2	BAFU Datensatz <i>Mittlere Gewässerabflüsse MQ</i> als Hilfe für Gewässereinteilung (meist eingeschneit oder meist offen) in Kombination mit Höhenlage.
Kostenoberflächen, Waldausscheidung K.16.2 und 17.2	TLM-Flächen mit BAFU-Sturmflächen Lothar und Vivian kombinieren (vgl. [21]). Abgrenzung von Wald und Gebüsch wäre als Ergänzung oder Alternative zum TLM auch aus Laserscan- und Luftbilddaten denkbar.
Kostenoberfläche, Geländeformen, K.16.1	Rasterproblem: Grate ohne Wege werden im Rastermodell tendenziell zu flach und damit zu gut begehbar angezeigt.
Lawinenrisiko K.17	ev. Grate und Gipfelbereiche als <i>lawinensicher</i> ausscheiden.
Hangmodell K.17.2	ev. Hangmodellierung für <i>ganzen Hang bei erheblich</i> mit Einbezug Hangmächtigkeit (Einzugsgebietsgrösse).
Lawinenrisiko K.17.2	ev. Gelände unterhalb 1400m nicht bezüglich GRM-Lawinenrisiko bewerten (vgl. [34]).
Vertikaler Faktor K.18.2	Das Modell sollte berücksichtigen, dass möglichst wenige Spitzkehren erforderlich sind (Ausnützen der ganzen Hangbreite wenn sinnvoll). Bei Fussgelände muss jedoch der direkteste Weg begangen werden.
Vertikaler Faktor K.18.2	Lässt sich Fussgelände modellieren? Ev. durch Kombination von extrem steilem Gelände (steiler 40 °) mit Kamm, Wanderweg oder kürzestem Weg durch Steilstufe.
Qualität der modellierten Routen K.18	Verläuft die modellierte Route entlang von Strassen und Wegen, müsste mittels Berechnungsmodell die TLM-Originalgeometrie übernommen werden.

Tabelle 12: Ideen für Weiterentwicklungen.

---

## 21 Überprüfung der Berechnungsmodelle

Damit Aussagen zur Qualität der Modellierungsergebnisse möglich sind, sollen diese auf verschiedenen Ebenen überprüft werden. Alle modellierten Skitouren lassen sich mit bestehenden Skitourenrouten vergleichen (vgl. Kapitel 14.4). Zusätzlich drängt sich eine eigene Begehung einer Testskitour auf, um einige Details selbst im Gelände zu überprüfen. Schliesslich sollen die erzeugten Produkte von weiteren Skitourengängern beurteilt werden. Darauf aufbauend lässt sich im Teil IV die Forschungsfrage aus Kapitel 2 beantworten und aufzeigen, ob die erwarteten Ergebnisse (vgl. Kapitel 6) erreicht worden sind. Dabei drängt sich die Frage auf, ob Bergführer, Skitourenleiter und Skitorenanfänger die Ergebnisse ähnlich oder unterschiedlich bewerten.

### 21.1 Eigene Geländebegehung, Besteigung der Männliflue

Am 24. April 2013 schliesslich nahm der Autor selbst den Aufstieg vom Fildrich auf die Männliflue unter die Skis, zusammen mit vier weiteren Frühaufstehern.

Wenige Tage vor der eigenen Begehung führte ein kräftiger Wintereinbruch und eine anschliessende markante Erwärmung am 20. April zu verbreitet grosser Lawinengefahr mit vielen grossen Lawinenabgängen<sup>40</sup>. Am Tag der Begehung herrschte nach einer klaren Nacht am Morgen verbreitet geringe Lawinengefahr, im Tagesverlauf stieg die Gefahr für Nassschneelawinen auf erheblich. Die Skitour musste vor dem Mittag beendet werden. Zwar waren dies komplett andere Verhältnisse als für die Modellierung angenommen (Nassschneesituation anstatt Neuschneesituation, vgl. Kapitel 9.4). Trotzdem war die eigene Begehung sehr aufschlussreich, um zusätzliches Material für die Diskussion im Kapitel 25 zusammenzutragen.



Abbildung 42: Perfekte Abfahrtsbedingungen am 24. April 2013 um 10.45 Uhr (608 090 / 155 100).

---

<sup>40</sup>[http://www.slf.ch/schneeinfo/wochenbericht/2012-13/0419/index\\_DE](http://www.slf.ch/schneeinfo/wochenbericht/2012-13/0419/index_DE) (Zugriff: 2013-06)

## 21.2 Online-Umfrage, Austausch mit Skitourengängern

Um möglichst viele Skitourenzügler mit unterschiedlicher Erfahrung zu erreichen, werden die Ergebnisse in einer Online-Umfrage präsentiert und von möglichst vielen Skitourenzüglern bewertet. Die Inhalte dieser Umfrage sind in der Tabelle 13 zusammengefasst, die Ergebnisse werden im Kapitel 22 präsentiert und im Kapitel 25 diskutiert. Die gesamte Umfrage inkl. Zusatzmaterialien und allen Antworten ist im Anhang Teil V zusammengestellt. Die Umfrageergebnisse sollen qualitative Hinweise zur Praxistauglichkeit der modellierten Aufstiegsrouten liefern. Es werden vorwiegend Skitourenzügler aus dem persönlichen Umfeld des Autors angesprochen, um die Rückmeldungen besser einordnen zu können.

Aufbauend und ergänzend zur Umfrage werden die Ergebnisse bei verschiedenen Gelegenheiten im persönlichen Gespräch diskutiert.

Frage, Karte im Anhang Teil V	Fragetyp
Einleitung, Download Zusatzmaterial	Erläuterung
Personalien (nicht veröffentlicht), als Qualitätscheck	Texteingabe
Skitourenleiter- Funktion, Erfahrung	Multiple-Choice
Kenntnis der bewährten Skitourenplanung-Unterlagen (Karte 1, Skitourenkarten, Tourenführer), Testskitour selbst schon ausgeführt	Multiple-Choice
Kenntnis und Nutzung bestehender digitaler Planungswerkzeuge (Karte 2) mit Bemerkungen	Multiple-Choice, Texteingabe
Beurteilung der Oberfläche Anstrengung / Begehbarkeit (Karte 3) mit Bemerkungen	Beurteilungsmatrix, Texteingabe
Kenntnis der GRM (Karte 4)	Multiple-Choice
Beurteilung Hangabgrenzung erheblich (Karte 4)	Beurteilungsmatrix
Beurteilung Waldeinfluss bei erheblich (Karte 4)	Multiple-Choice
Beurteilung der Oberfläche Lawinenrisiko (Karte 4, Räumliche Auflösung)	Beurteilungsmatrix, Texteingabe
Beurteilung der Ergebnisse (Karten 5 und 6, Linienführung und Bewertung Aufstiegsrouten und Korridor)	Beurteilungsmatrix, Texteingabe
Grundsätzliche Haltung zu solchen oder ähnlichen Computer-Tourenplanungswerkzeugen (Karten 5 und 6)	Multiple-Choice
Mögliche neue Tourenplanungs-Werkzeuge (digitale Planungshilfen für die 3x3 Tourenplanung zu Hause)	Beurteilungsmatrix, Texteingabe
Kenntnis ähnlicher Arbeiten, Quellen zu dieser Thematik (Zusatztipp für Literaturfundament)	Texteingabe
Zusatzaufgabe wenn Zeit und Energie: Eigene digitale Skitourenplanung mit Hilfe von Google Earth	Eigene Digitalisierung, Kurzanleitung

Tabelle 13: Aufbau und Inhalt der Online-Umfrage.

---

## Teil IV

# Auswertungen

Nun werden alle Ergebnisse präsentiert und die Möglichkeiten und Grenzen des entwickelten Modells aufgezeigt. In diesen letzten Kapiteln der Arbeit wird auch die Fragestellung dieser Arbeit beantwortet:

- *Lässt sich die "optimale Aufstiegsroute" einer beliebigen Skitour mit dem Computer automatisch erzeugen, wenn nur Start und Ziel der Skitour bekannt sind?*

Wie in den Zielen im Kapitel 3 definiert, werden die Ergebnisse auf drei verschiedenen Ebenen dargelegt: Als Vergleich mit den SAC-Skitourenrouten (vgl. Kapitel 9.2), der eigenen Begehung der Männliflue (vgl. Kapitel 21.1) sowie durch die Beurteilung von Skitourengängern mittels einer Online-Umfrage (vgl. Kapitel 21.2).

## 22 Ergebnisse im Vergleich mit den SAC-Skitourenrouten

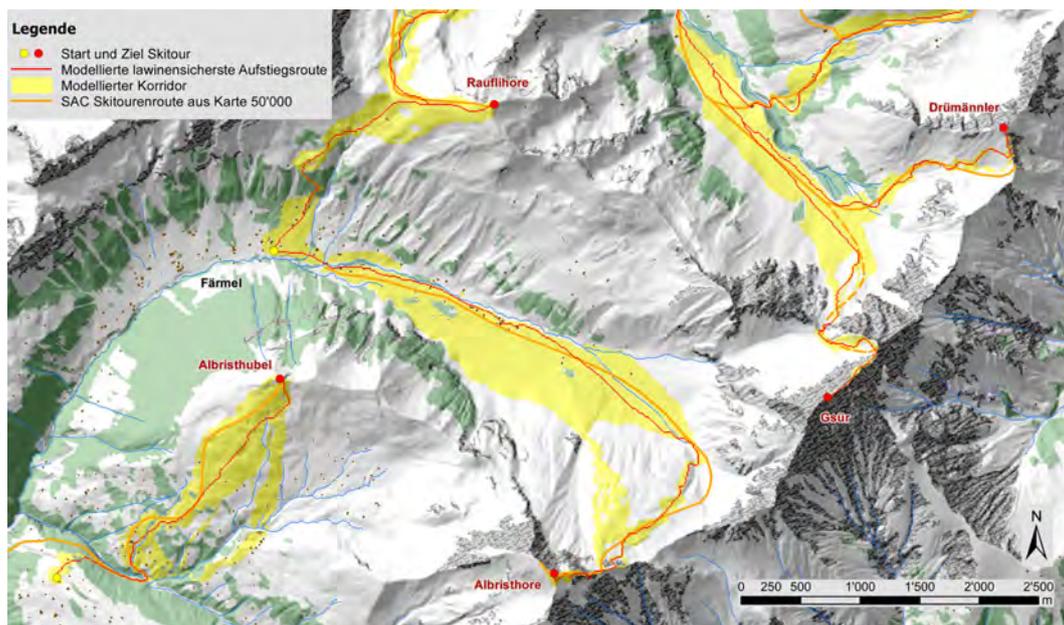


Abbildung 43: Vergleich aller Modellierungen (Aufstiegsrouten und Korridore) mit den SAC-Skitourenrouten der LK 1:50000 [41].

Die Abb. 43 zeigt auf, dass die Berechnung von Skitouren-Aufstiegsrouten im Vergleich mit den SAC-Skitourenrouten möglich ist und gute Resultate liefert. Die Modellierungen folgen meist den SAC-Routen und liegen in einem höheren Detaillierungsgrad als diese vor. Der modellierte Korridor (gelbe Fläche) fasst zudem alle Varianten zusammen, welche unter ähnlichen Bedingungen wie die modellierte Route begehbar sind. Diese Korridorflächen bilden eine Zusatzinformation, die auf bisherigen Skitourenkarten noch fehlt. Eine Abbildung sämtlicher Testskitouren ist zusätzlich im Format A3 im Anhang Teil V (Karte 8) ersichtlich.

## 23 Ergebnisse im Vergleich mit der Begehung der Männliflue

In den erwarteten Ergebnissen im Kapitel 6 ist festgelegt, dass die Genauigkeit der berechneten Aufstiegsrouten mindestens der Karte 1:25000 entsprechen soll. Geländemerkmale, welche nach intensivem Kartenstudium in die Linienführung der *Bleistiftroute* einfließen, sollen auch in den GIS-Berechnungen berücksichtigt sein.

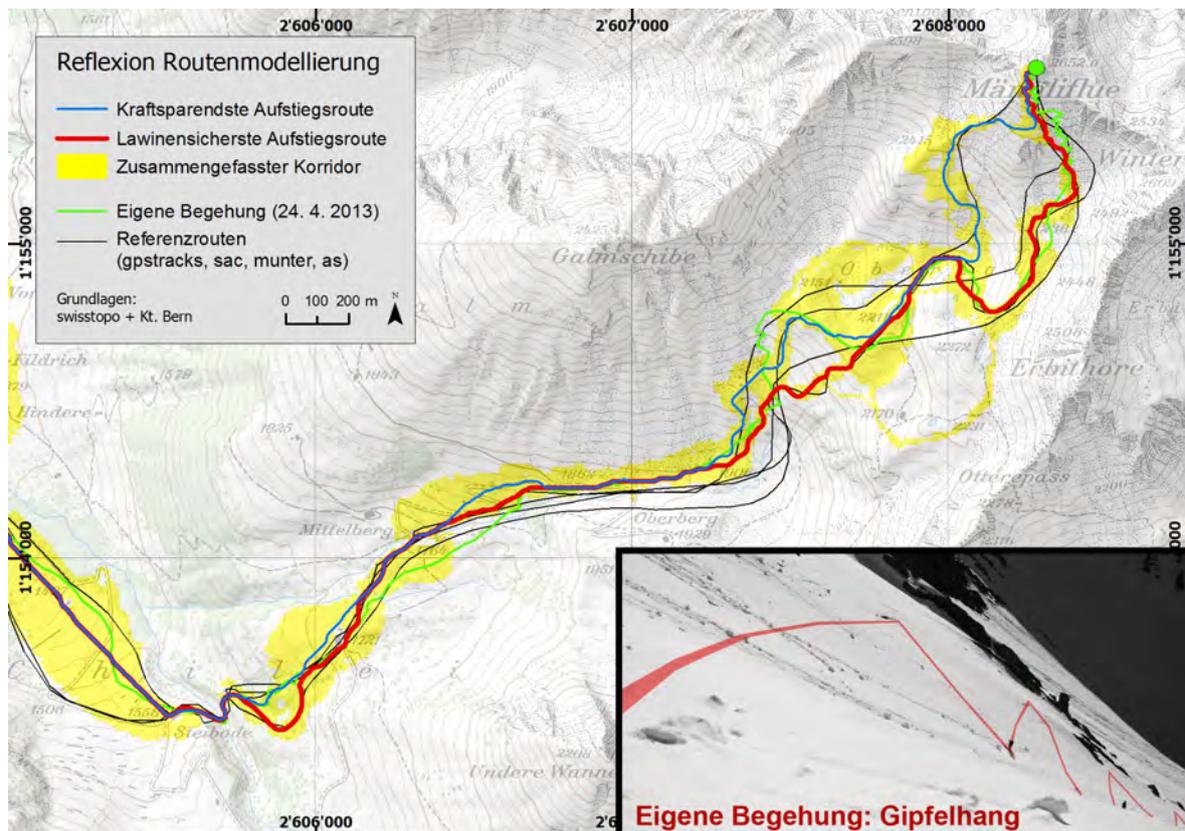


Abbildung 44: Vergleich der modellierten *kraftsparendsten* und *lawinensichersten* Aufstiegsroute und des *Korridors* mit der eigenen Begehung der Männliflue und weiteren Referenzrouten.

Abb. 44 zeigt die berechneten Routen (blau und rot) und den berechneten Korridor (gelb) im Vergleich zu den Referenzrouten (schwarz, vgl. Kapitel 14.4) und zur eigenen Begehung (grün, vgl. Kapitel 21.1). Die eigene Begehung der Männliflue machte nochmals deutlich: Die GIS-Modellierungen sind nachvollziehbar und hilfreich in der Tourenplanung. Die Abbildung zeigt, dass die Genauigkeit der berechneten Routen durchaus der Karte 1:25000 entspricht. Der Aspekt *Lawinensicherheit* fliesst in die Modellierung der *lawinensichersten Aufstiegsroute* ein und führt dazu, dass die bei erheblicher Lawinengefahr kritischen Lawinhänge so lange wie möglich gemieden und so zurückhaltend wie möglich überwunden werden. Dieses Ergebnis entspricht auch bei geringer Lawinengefahr oft der *optimalen Aufstiegsroute*.

Der Vergleich mit der Linienführung der eigenen Begehung inkl. der einzelnen Spitzkehren zeigt zudem auf, dass es kaum sinnvoll wäre, die modellierten Linien mit GIS noch präziser zu erzeugen. Es ist nicht Ziel der Arbeit, die einzelne Spitzkehre zu modellieren, wie sie die grüne Linie zeigt. Die eigene am 24. April 2013 begangene Aufstiegsroute ist nicht *in Stein*

*gemeisselt*, jeder Tourengänger würde diese Spur anders ins Gelände legen. Die Korridorfläche vermag unterschiedliche Linienführungen mit ähnlichem Charakter grösstenteils zusammenzufassen und bildet deshalb für die Tourenplanung eine nützlichere Information als eine einzelne modellierte Aufstiegslinie.

## 24 Ergebnisse der Online-Umfrage

Die im Kapitel 21.2 beschriebene Online-Umfrage ist mit allen Erläuterungen, Fragen, Karten und Antworten im Anhang Teil V zusammengestellt. Zudem können die Karten zur Umfrage interaktiv am Computer betrachtet werden<sup>41</sup>.

Über 100 Personen haben zumindest einen Blick in die Umfrage geworfen, 72 davon füllten die Umfrage schliesslich mit teils ausführlichen Kommentaren aus. Abb. 45 zeigt auf, wie sich diese 72 Personen bezüglich Skitourenenerfahrung und Gebietskenntnis aufteilen. Immerhin 8 Bergführer sind vertreten, und 13 Umfrage-Teilnehmer waren selbst schon via Test-Skitour auf der Männliflue. Fast vier Fünftel der Umfrage-Teilnehmer unternehmen selbständig Skitouren.

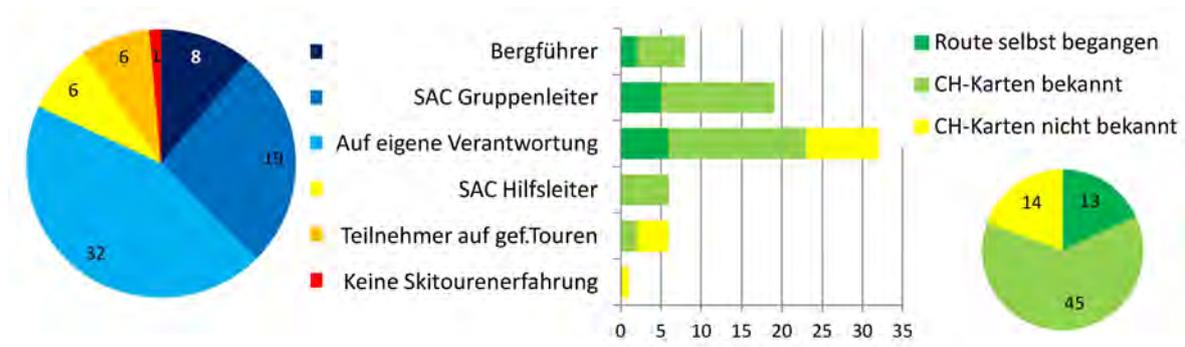


Abbildung 45: Teilnehmer Online-Umfrage aufgeteilt nach Erfahrung und Gebietskenntnis.

<sup>41</sup>[http://www.aus-sicht.ch/images/msc/Skitourenplanung\\_GIS\\_Eisenhut.kmz](http://www.aus-sicht.ch/images/msc/Skitourenplanung_GIS_Eisenhut.kmz) (Zugriff: 2013-06), Benutzungsanleitung siehe Anhang Teil V.

### 24.1 Echo kraftsparendste Aufstiegsroute

**Oberfläche Anstrengung / Begehbarkeit** Ist der Theorieansatz der *Anstrengungs-Oberfläche* zielführend für die automatische Routenwahl? Abb. 46 zeigt die Reaktion aller Umfrage-Teilnehmer zur Zusammensetzung der Anstrengungs-Oberfläche (Bewertungs-Matrix oben links). Im Anhang Teil V ist zudem ersichtlich, wie die acht Bergführer diese Matrix ausgefüllt haben. Die Anstrengungs-Werte für offene Hänge, Rinnen und Runsen sowie Strassen und Wege schneiden ausgezeichnet ab.

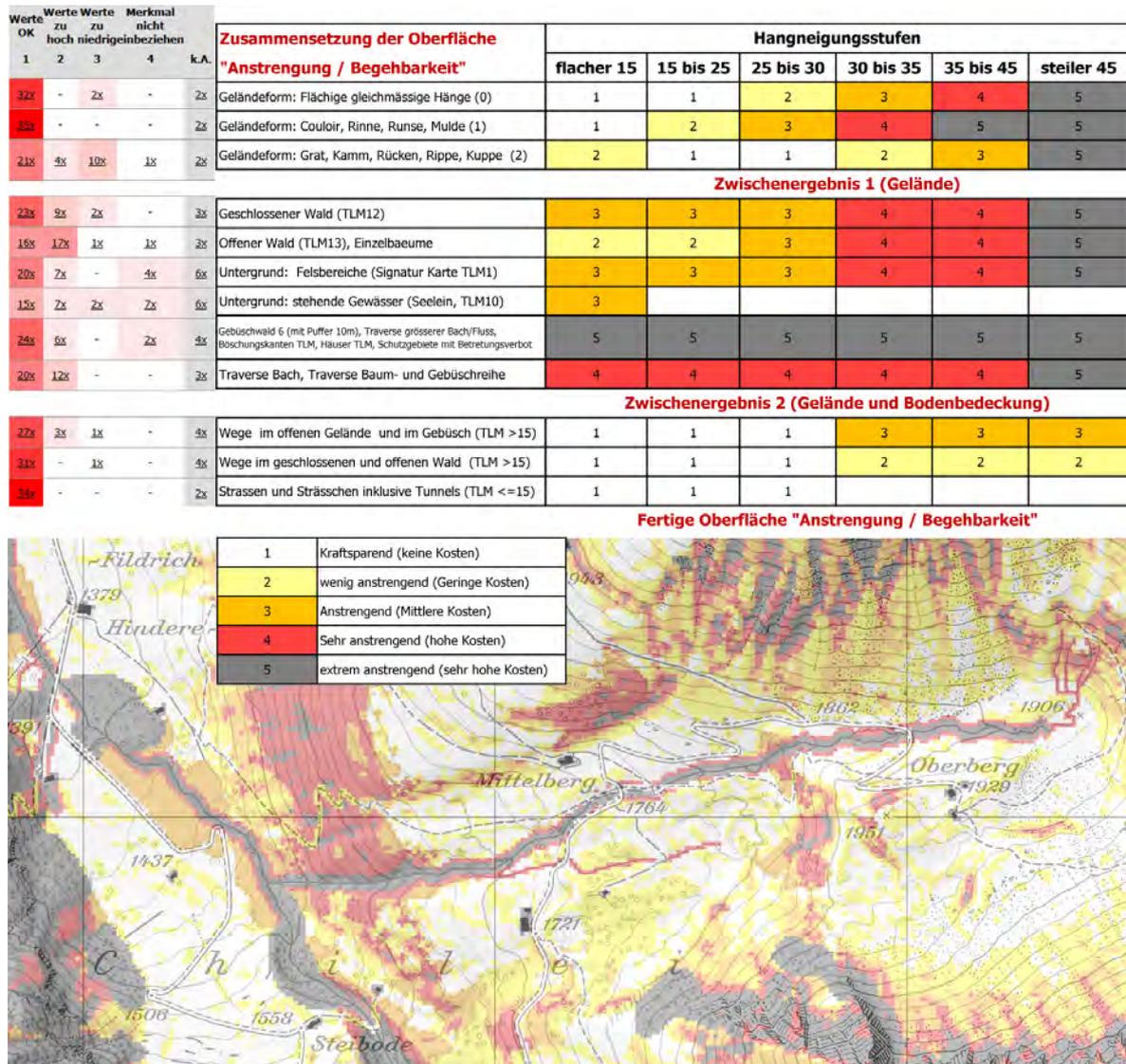


Abbildung 46: Rückmeldungen zur Beurteilungsmatrix, Kartenausschnitt der Anstrengungs-Oberfläche.

Ins Auge springen auch diejenigen Kriterien mit Verbesserungspotenzial:

- Grate, Rücken und Rippen sollen insbesondere ab einer Hangneigung von 25 ° höher (anstrengender) bewertet werden. Die Frage, ob ein Hang von 30 – 35 ° in Form ei-

---

ner Fläche (bei Ausblendung der Lawinengefahr) wirklich anstrengender als eine Rippe mit derselben Neigung ist, lässt sich je nach Verhältnissen unterschiedlich beantworten (Neuschnee oder abgeblasen oder gefrorener Firn, etc.). Meist ist eine Rippe, die steiler als  $30^\circ$  ist, jedoch anstrengender zu begehen als ein offener Hang, weil auf der Rippe keine Ausweichmöglichkeiten (Spuranlage) bestehen und oft viele Spitzkehren bewältigt werden müssen.

- Die stehenden Gewässer bilden mit dem gesetzten Wert 3 einen *faulen Kompromiss*, welcher im Kapitel 16.2 erläutert wird.
- Fließgewässer (insbesondere Kleine) sind zu hoch bewertet.
- Gebüschwald, Bachtraverse und felsiger Untergrund (insbesondere Karst) werden oft im Zusammenhang mit gewissen Verhältnissen bewertet. Sind sie eingeschneit, würde die Bewertung dem offenen Gelände entsprechen. Bei knapper Schneelage oder im Frühjahr ist ein Durchkommen manchmal kaum möglich.
- Flache offene und geschlossene Wälder sollen eine Stufe weniger hoch bewertet werden, da eine Umgehung von Bäumen im Flachen mit wenig zusätzlichem Aufwand gegenüber offenem Gelände zu machen ist (vorausschauende Spuranlage, vgl. Abb. 32 a).

Zusammenfassend wird aus den Rückmeldungen und Zusatzkommentaren ersichtlich, dass die *Anstrengungs-Oberfläche* schwierig zu beurteilen ist, jedoch die meisten Kriterien für gut befunden werden. Die Anstrengungsplanung wird im Hinblick auf die Routenmodellierung als gelungen betrachtet, aber kaum als Hilfe für die eigene Tourenplanung und Tourenwahl angesehen. Der erfahrene Tourengänger macht sich beim Betrachten der Landeskarte alle diese Überlegungen automatisch. Dem Anfänger bietet nicht diese Hinweisebene eine Planungshilfe, sondern die fertig modellierten Routen und Korridore.

Einige Kommentare und Beobachtungen beziehen sich auf spezielle Verhältnisse (zugefrorene Gewässer, eingeschneite Gebüsch und flache Felsen, etc.) die mit den verfügbaren GIS-Daten nicht berücksichtigt werden können.

**Linienführung und Bewertung Aufstiegsrouten und Korridor** Das Echo auf die erzeugten und bewerteten Aufstiegsrouten fällt grundsätzlich sehr positiv aus. Abb. 47 zeigt einen Kartenausschnitt der Testskitour mit eingefärbten Routen und Korridor bez. Anstrengung, mit der Bewertung der kraftsparendsten Route in 100hm-Abschnitten sowie der Rückmeldung aus der Online-Umfrage zu Linienführung und Bewertung der Aufstiegsrouten. Zudem lässt sich die Rückmeldung aller Teilnehmer mit den Rückmeldungen der Bergführer vergleichen. Aus den Zusatzbemerkungen gehen weitere, auch kritische Bemerkungen hervor:

- Einige Teilnehmer haben *optimal* nicht angekreuzt, weil die natürlichen Faktoren zu komplex sind und deshalb nicht zu 100% berechnet werden können. Die Auswertungskarten bilden aber sicherlich eine gute Unterstützung bei der Tourenplanung, natürlich ergänzend zur menschlichen Bewertung der Situation vor Ort, sie geben einige Inputs zu verborgenen Schlüsselstellen, z. B. wird die Traverse auf 2500m deutlich sichtbar.
- Die Linienführung berücksichtigt zu wenig, dass beim Skitouren durch *ausnützen des ganzen Hangs* oftmals eine erhebliche Verbesserung der Spur erreicht werden kann.

- Die pixelgenauen kleinräumigen Knicke in den Routen werden als störend und z. T. unrealistisch betrachtet.
- Die Tabelle mit der zusammenfassenden Bewertung pro 100hm wird in Frage gestellt. Die bezeichneten Schlüsselstellen in den Skitourenführern bilden viel wichtigere Informationen. Als Zusatzinformation wird sie dennoch von einigen Teilnehmern gewünscht.
- Die Abgrenzung des Korridors soll grosszügiger (weiträumiger) um die Routen sein.

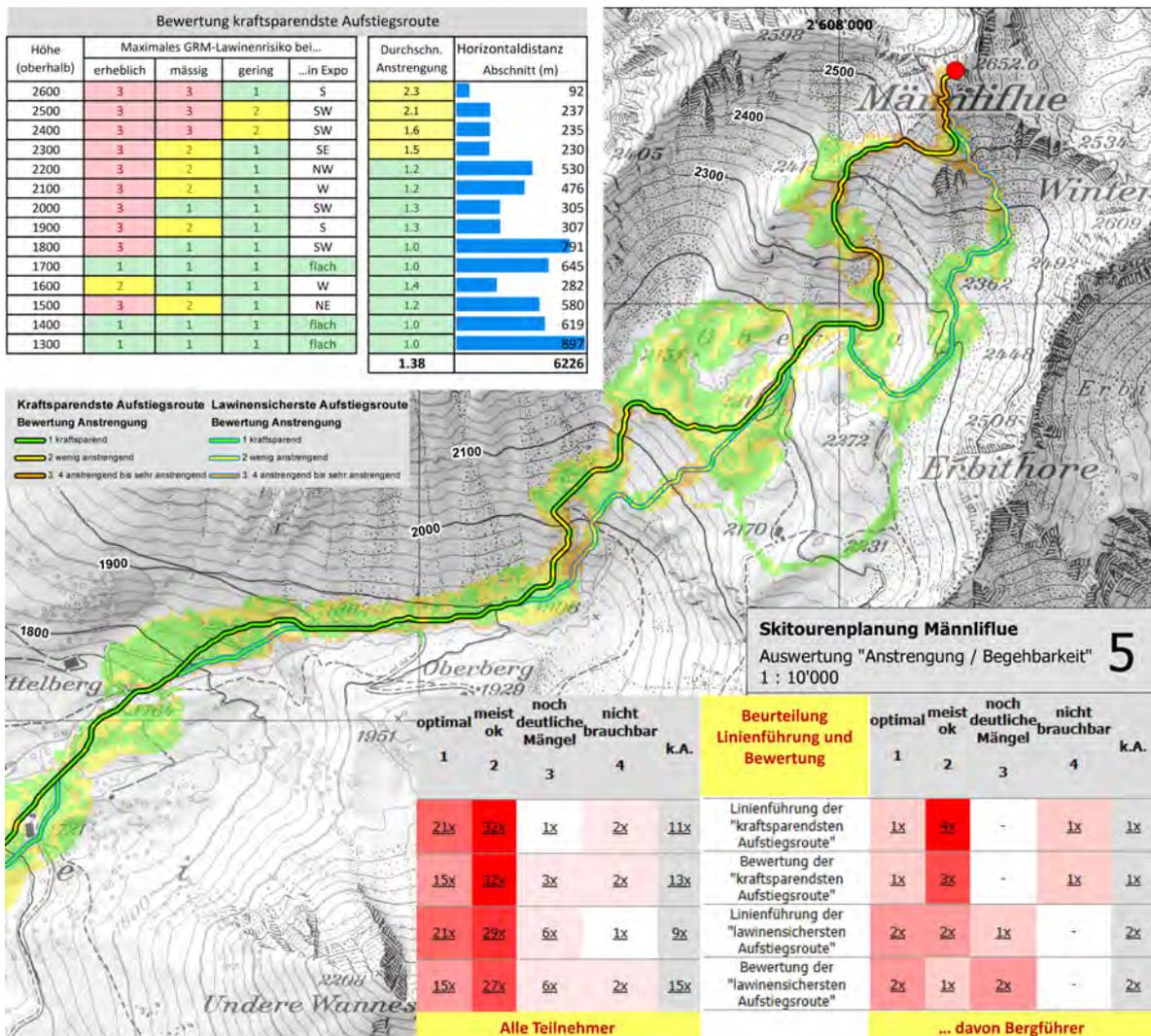


Abbildung 47: Rückmeldungen zur Linienführung und Bewertung der Aufstiegsrouten.

## 24.2 Echo lawinensicherste Aufstiegsroute (defensive Routenwahl)

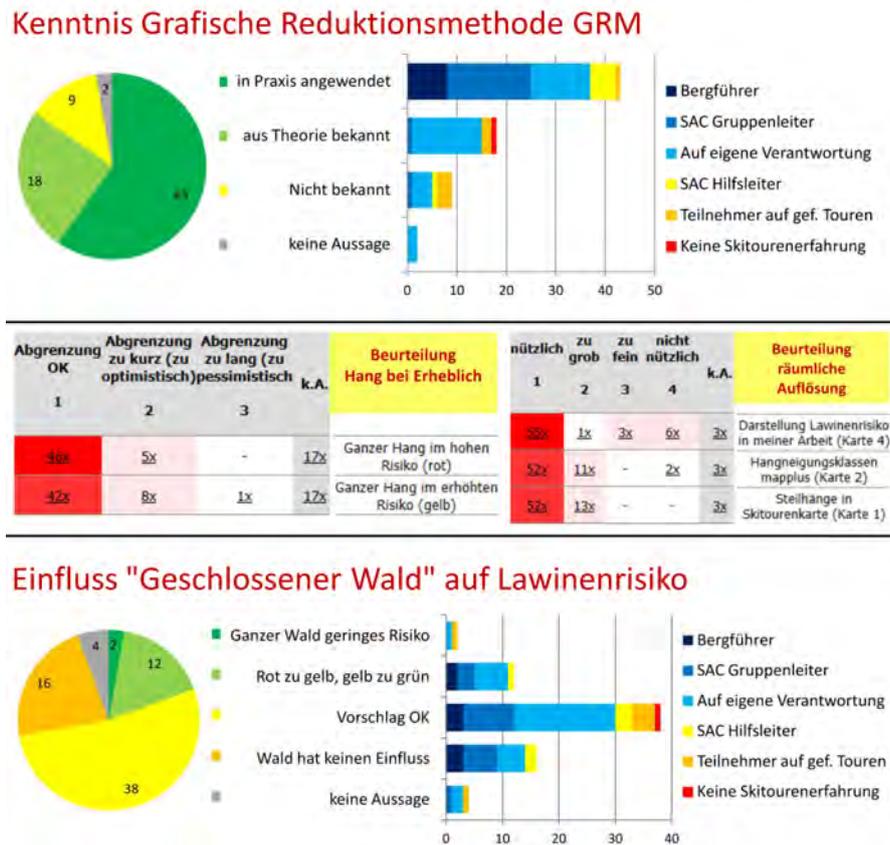


Abbildung 48: Rückmeldungen zur GRM-Nutzung, zur Abgrenzung *Hang bei erheblich*, zur Genauigkeit der Hinweiskarten und zum Waldeinfluss auf das Lawinenrisiko.

Die Rückmeldungen zur Lawinenrisiko-Darstellung der im Kapitel 17.2 definierten *erheblichen* Lawinengefahr fallen sehr kritisch und differenziert aus.

Abb. 48 zeigt auf, dass die meisten Teilnehmer die GRM selbst in der Praxis anwenden oder zumindest aus der Theorie kennen. Obwohl die meisten Teilnehmer einen klaren Nutzen in der Darstellung sehen, gibt es deutliche kritische Stimmen, welche die Auflösung als *zu fein* oder als *nicht nützlich* bewerten. Diese Bedenken sind auch vergleichbar mit der Zusammenstellung in Tabelle 9.

- Ein Problem bilden wohl die stark vereinfachten Vorannahmen, die so nur sehr selten zutreffen (viel Neuschnee ohne Windeinfluss). Zudem geht auf diese Weise die häufig anzutreffende Triebschneesituation vergessen.
- Die enorme Bandbreite von erheblich (von oberem mässig bis unterem gross) macht eine solche Darstellung auch nicht einfacher.
- Grosse Bedenken bestehen ebenfalls bezüglich falsch vermitteltem Sicherheitsgefühl. Die scharfe Abgrenzung sowie die Farbskala (rot - gelb - grün) zeichnen ein zu genaues Bild,

man sollte weiterhin in Grössenordnungen denken. Das Lawinenrisiko tendenziell grober anzugeben wäre zielführender, um die Unsicherheit der Aussage zu kommunizieren.

- Einige Teilnehmer schätzen die Hangabgrenzung als zu kurz ein, nur eine einzige Person beurteilt die Darstellung als *zu pessimistisch*. Das Lawinenrisiko ist auch davon abhängig, wie groß und steil die Hänge oberhalb sind.
- Der Einfluss des geschlossenen Waldes wird kontrovers beurteilt, die Hälfte befindet die vorgeschlagene Lösung für gut, fast ein Viertel sagt jedoch *Wald hat keinen Einfluss auf das GRM-Lawinenrisiko*. Kleine Wäldchen schützen wie offener Wald nicht vor Lawinen. Wald in Steilhängen ist ohnehin sehr schlecht bis gar nicht begehbar, ausser entlang von Wanderwegen. Auf die Routenmodellierung hat die Beuteilung des Waldes deshalb im Gegensatz zur Routenbewertung einen geringen Einfluss.
- Neben der Lawinengefahr gibt es noch andere Risiken, die in dieser Arbeit ausgeblendet werden (vgl. Kapitel 4.4). In einer Rückmeldung aus der Umfrage wird klargestellt, dass bei der vorliegenden Testskitour (Männliflue) die *Absturzgefahr* bei Frühlingsbedingungen (gefrorene Schneedecke am Morgen) weitaus gravierender ist als die Lawinengefahr.

Allgemein wird die Karte eher als *fertige Hinweiskarte für die Gefahrenstufe erheblich* beurteilt und nicht als Baustein für die automatische Routenberechnung. Dabei wurde die Karte ausschliesslich im Hinblick auf die Routenmodellierung erstellt. Dieser Punkt wurde wohl in der Umfrage zu knapp erläutert.

## 24.3 Echo Praxistauglichkeit

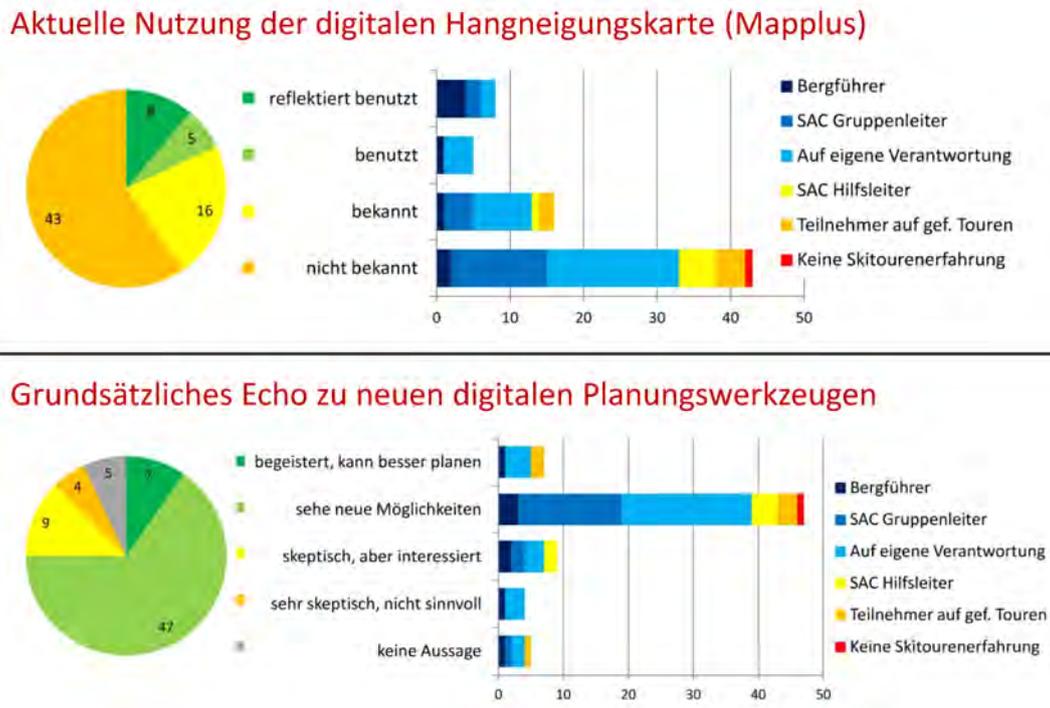


Abbildung 49: Digitale Tourenplanungswerkzeuge: Aktuelle Nutzung und grundsätzliches Echo zu neuen Werkzeugen.

**Zusammenfassendes Echo zu digitalen Tourenplanungswerkzeugen** Die Umfrage bringt deutliche Stimmen zur praktischen Anwendung solcher Produkte hervor:

- Je mehr Information desto besser! Jedoch keine Informationsflut, in der man sich nicht mehr zurechtfindet. Eine Auflösung wie in dieser Arbeit vermittelt einen guten Überblick der Möglichkeiten im Gelände, nicht nur *regional*.
- Alle Darstellungen sind in einem gewissen Stadium der Skitourenplanung nützlich, solange man sich deren Genauigkeit bewusst ist, und sie entsprechend einsetzt.
- Für die (manuelle) Tourenplanung zu Hause bevorzugen einige Teilnehmer bis heute die Skitourenkarte 1:50000, weil sie einfach zu interpretieren ist (rot eingefärbte Steilhänge, keine Detailplanung) und das Denken in Grössenordnungen ( $<$  oder  $>$   $30^\circ$ ) fördert.

In Abb. 49 ist in der oberen Grafik ersichtlich, dass nur etwa ein Fünftel der Teilnehmer die Mapplus-Hangneigungskarte als digitales Werkzeug für die Tourenplanung nutzen, acht davon sind sich der Qualität der Hangneigungskarte bewusst. Ein Grossteil der Teilnehmer kennt dieses Angebot noch nicht oder benötigt es nicht.

Die untere Grafik der Abb. 49 macht sichtbar, dass drei Viertel aller Teilnehmer in digitalen Werkzeugen grundsätzlich neue Möglichkeiten für die Tourenplanung sehen oder gar von den

gezeigten neuen Möglichkeiten begeistert sind. Deutlich sichtbar wird hier ebenfalls, dass sowohl bei Bergführern als auch bei Anfängern Befürworter und Skeptiker solcher Werkzeuge angesiedelt sind.

**Echo zu konkreten Werkzeugen** Die Abb. 50 zeigt nun Rückmeldungen aus der Online-Umfrage zu konkreten Werkzeugideen. Solche Produkte sind nicht Ziel der Arbeit, regen jedoch die Diskussion über Sinn und Unsinn digitaler Tourenplanungswerkzeuge weiter an. Einige davon werden in der anschließenden Diskussion noch näher aufgezeigt.

- Es kommen gewisse Ängste auf, dass die *freie Bergwelt* auf diese Weise noch weiter “verwegweisert” werden könnte. Einem Medium kann zwar nie etwas vorgeworfen werden; es ist immer deren Nutzung, die gut oder weniger sinnvoll ist. Es darf nicht soweit kommen, dass man irgendwann in Erklärungsnotstand geraten könnte, wenn man sich nicht an die inzwischen von allen eingehaltenen, offensichtlichen (da grafisch darstellbaren) Routen hält.
- Je mehr digitale Werkzeuge, desto höher die Gefahr, dass die Wahrnehmung der tatsächlichen Verhältnisse im Gelände (Wumm-Geräusche, Sichtbedingungen etc.) stärker ignoriert werden. Es wird bestimmt Nutzer geben, die nur noch nach der *Knopfdruck-Methode* planen, das kann nicht der Sinn sein.

sinnvoll, kaum erwünscht/sinnvoll					auf keinen Fall		k.A.		Ø		Beurteilung Werkzeugideen		sinnvoll, kaum erwünscht/sinnvoll				
1	2	3	k.A.	Ø	1	2	1	2	3	k.A.	1	2	3	k.A.			
30x	25x	2x	8x	1.51	♦						2x	3x	1x	1x			
44x	13x	4x	5x	1.34	♦						4x	1x	1x	1x			
43x	7x	6x	4x	1.31	♦						4x	1x	1x	1x			
24x	21x	2x	17x	1.53	♦						-	3x	1x	3x			
35x	19x	2x	8x	1.41	♦						4x	1x	1x	1x			
42x	14x	2x	7x	1.31	♦						4x	2x	-	1x			
Alle Teilnehmer											... davon Bergführer						

Abbildung 50: Echo zu konkreten neuen Werkzeugideen.

---

## 25 Diskussion der Ergebnisse

Nun liegen die Ergebnisse vor und werden vom Autor im Hinblick auf deren Qualität und auf mögliche weitergehende Anwendungen interpretiert und bewertet.

Diese Arbeit zeigt auf, dass sich mit einem GIS die *kraftsparendste und lawinensicherste Aufstiegsroute* als Linie und als Fläche (Korridor) für einen beliebigen Ort der Schweiz erzeugen lässt.

Es gilt jedoch auch, die Grenzen des entwickelten Modells aus der eigenen Sicht aufzuzeigen. Was nicht in die Berechnungen einfließen kann, sind die tagesaktuellen Verhältnisse. Daher können nur mit der Angabe von Start und Ziel niemals alle Überlegungen in die Routenwahl einfließen, die sich ein Tourengänger beim manuellen Einzeichnen der optimalen Aufstiegsrouten macht (vgl. Abb. 2 und Tabelle 4).

Beim Skitouren gilt im Gegensatz zum Bergwandern: Würden 20 Skitourengänger bei gleichen Verhältnissen dieselbe Aufstiegsroute als neue Spur in das Gelände legen, es kämen 20 verschiedene Routen dabei heraus.

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich einige Schlüsse ziehen, die nachfolgend noch präziser aufgezeigt werden:

- Es macht kaum Sinn, die modellierten Aufstiegslinien noch detaillierter auszuscheiden.
- Die modellierte Korridorfläche vermag unterschiedliche Linienführungen mit ähnlichem Charakter grösstenteils zusammenzufassen und bildet deshalb für die Tourenplanung eine nützlichere Information als eine einzelne modellierte Aufstiegslinie.
- GIS-Auswertungen bleiben stets Planungshinweise. Wahrnehmen, denken und entscheiden muss also auch in Zukunft noch jeder selbst.

Im Verlauf der Arbeit sind zudem einige konkrete Anwendungsideen entstanden, welche in diesem Kapitel ebenfalls kurz diskutiert werden.

### 25.1 Genauigkeit der Aufstiegsrouten

Wie die Abbildung 44 zeigen auch die nachfolgenden Abb. 51, 52 und 53, dass die berechneten Routen der Genauigkeit der Karte 1:25000 gerecht werden, markante Schlüsselstellen berücksichtigt werden und eine weitere Detaillierung der Linienführungen keinen Sinn macht.

**Der einfachste Weg durch das Bachtobel** Abb. 51 zeigt eine markante Schlüsselstelle bezüglich Anstrengung. Kein Tourengänger würde dieses Bachtobel via kürzestem Weg überqueren, sondern nur entlang des Wanderwegs (rot). Damit dies in der Anstrengungs-Oberfläche (vgl. Kapitel 16) korrekt einfließt, mussten einige Hürden überwunden werden. Dieses Detail ist ein Grund, weshalb Fliessgewässer etwas gar hohe Anstrengungswerte erhalten haben. Das Ergebnis fällt für diesen Fall nun plausibel aus. Die eigene Begehung zeigte zudem, dass beide modellierten Aufstiegsrouten auch nach dem Bachtobel einen plausiblen Verlauf aufweisen.



Abbildung 51: Reflexion Anstrengungsoberfläche, Bodenbedeckung.

**Auflösung des Höhenmodells, Schlüsselstellen im Gipfelhang** Eine Rückmeldung bezüglich räumlicher Auflösung der Hinweiskarten aus der Umfrage lautet: Lieber ungenau und richtig, als genau und mit der Wirklichkeit nicht zu vergleichen. Diese Aussage wäre treffend, wenn die höchste verfügbare swisstopo-Auflösung von 2m verwendet würde.

Die Abbildungen in diesem Kapitel zeigen ein anderes Bild. Die Mängel des alten digitalen Geländemodells (vgl. Kapitel 14.1) müssen auf jeden Fall behoben werden, insbesondere zur Darstellung der potenziellen Lawenanrissgebiete (vgl. Kapitel 25.2). Abb. 52 zeigt den Gipfelbereich der Männliflue mit den Hangneigungsklassen in der 10m Auflösung und den modellierten Routen in 2D und 3D. Die 10m-Auflösung der Hangneigungskarte erscheint gerade richtig, um die entscheidenden Schlüsselstellen sichtbar zu machen.

Die Frage, welche der beiden Routen im Gipfelhang die lawinensicherere ist, lässt sich mit der GIS-Modellierung alleine nicht ausreichend beantworten. Diese Entscheidung muss ohnehin mit Hilfe eigener Beobachtungen im Gelände gefällt werden. Bei *erheblicher Lawinengefahr* liegen beide Varianten über weite Strecken im *hohen Risiko* und dürfen gemäss GRM nicht mehr begangen werden. Selbst bei *geringer Lawinengefahr* weisen gemäss Auswertungstabelle (vgl. Kapitel 19.2) beide Routen Stellen mit *erhöhtem Risiko* auf. Die Modellierung der kraftsparenderen Route via Südwestgrat ist zwar insgesamt flacher, beinhaltet auf 2500m jedoch eine Traverse in einer Steilstufe. Diese mögliche Schlüsselstelle ist in der Skitourenkarte

1:50000 nicht sichtbar und auch in der LK 1:25000 nur mit viel Erfahrung lesbar. Genau für solche Beispiele kann eine neue Hangneigungskarte oder eine noch weiter aufbereitete *Hinweiskarte Lawinenrisiko* (vgl. Abb. 55) wertvolle Dienste leisten. Ob dort Triebsschnee liegt, oder der etwas flachere Südhang im Frühling schon zu viel Sonne erwischt hat, oder die Steilstufe im Südwestgrat pikellhart gefroren ist und daher ein hohes Absturzrisiko besteht, muss weiterhin erst im Gelände beurteilt werden.

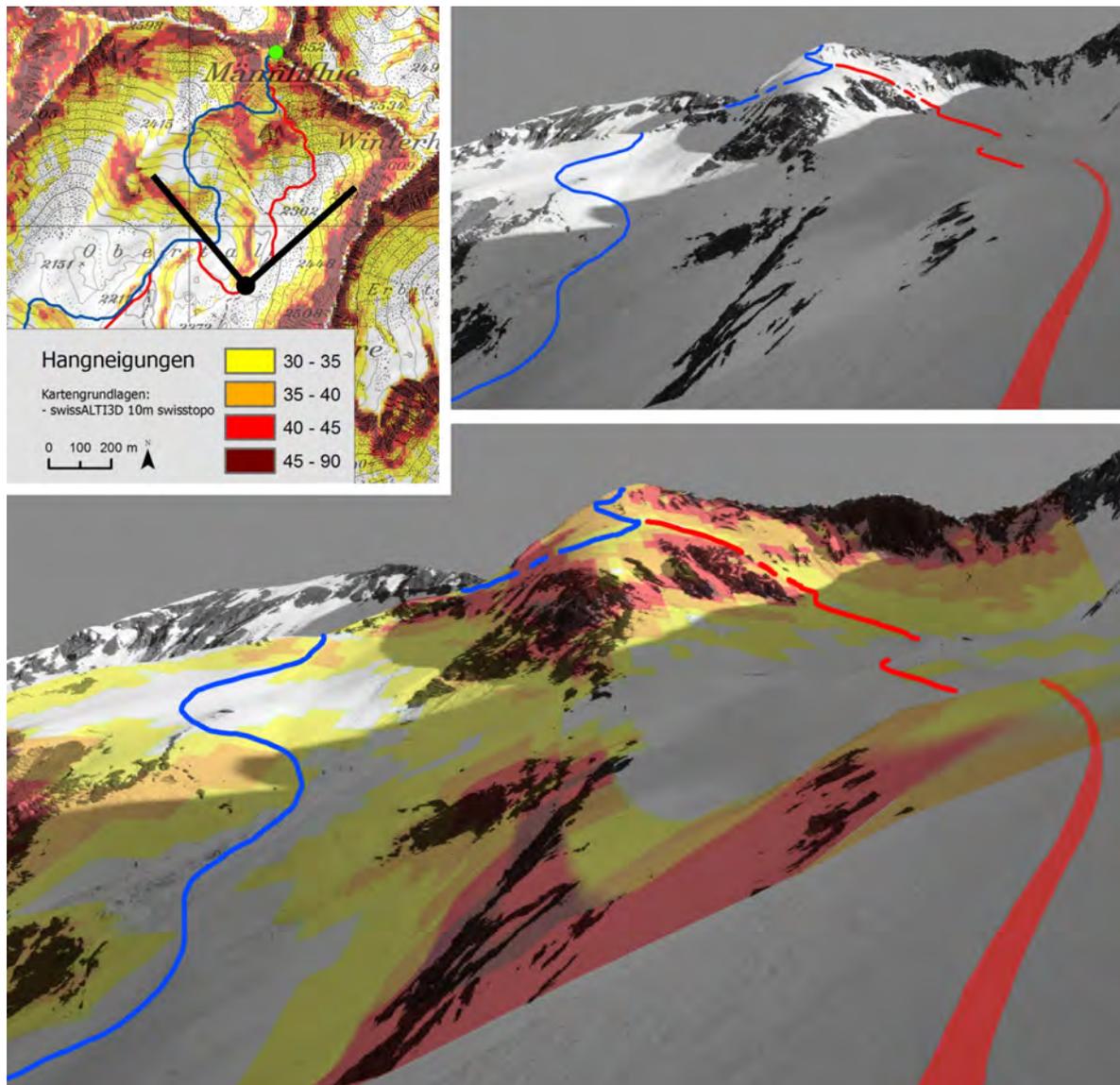


Abbildung 52: Reflexion Hangneigungen, Gipfelhang.

**Die optimale Route durch die Steilstufe** Abb. 53 zeigt die markante Steilstufe bei Oberberg mit den modellierten Aufstiegsrouten und Geländeformen (vgl. Kapitel 16.1). Zwar wären mit heutigen GIS-Möglichkeiten noch viel präzisere und differenziertere Ausscheidungen von Geländeformen möglich (vgl. Kapitel 11.2). Im Rahmen dieser Arbeit würde dies zu weit führen. Zudem müsste geprüft werden, ob dadurch wirklich eine Verbesserung der Routen- und Korridormodellierung erreicht würde.

Die Steilstufe in Abb. 53 lässt über mehrere Varianten mit ähnlicher Anstrengung und Lawensicherheit überwinden. Je nach Verhältnissen (eingeschneiter oder offen fließender Bach, Neuschnee- oder Frühlingsverhältnisse) werden Abschnitte der modellierten Routen, der Sommerweg oder weitere Linienführungen gewählt.

Diese Arbeit hat überhaupt nicht den Anspruch, für solche Schlüsselstellen noch präzisere Details zu liefern. Aus der Praxissicht ist es undenkbar, die Genauigkeit der modellierten Linien weiter zu erhöhen. Der Fokus soll auf der Optimierung der Korridorfläche liegen.

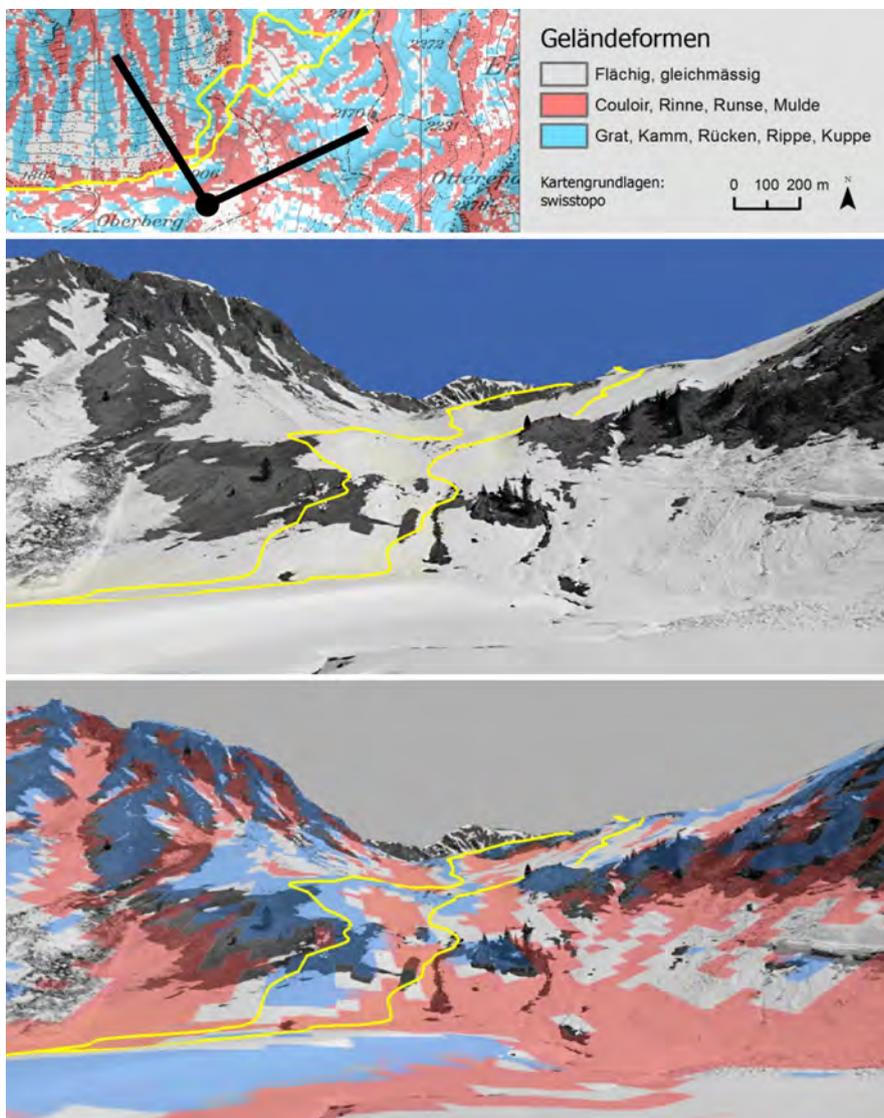


Abbildung 53: Reflexion Schlüsselstellen, Routenverlauf.

---

**Mängel in der Umsetzung des vertikalen Faktors** Die modellierten Aufstiegsrouten aller Testskitouren (vgl. Abb. 43) machen die im Kapitel 18.2 beschriebenen Defizite der vereinfachten Darstellung der Spitzkehrenthematik sichtbar. Beim Aufstieg auf das *Gsür* müsste der markante Nordhang grosszügiger gequert und insgesamt mit weniger Spitzkehren überwunden werden. Insbesondere die modellierte Korridorfläche müsste dort entsprechend breiter ausfallen. Auf dem Gipfelgrat des Albristhore darf die modellierte Route nicht in den Südhang ausweichen. Sobald Fussgelände besteht, muss die modellierte Route wieder dem direktesten Weg entsprechen. Gerade bei der Abbildung des Fussgeländes werden bei Modellierungen mit den verwendeten Grundlagedaten die Grenzen aber schnell erreicht. Aus den Daten ist in keiner Weise lesbar, wo im extrem steilen Fussgelände wirklich der beste Weg verläuft. Fussgeländepassagen könnten manuell erfasst werden und danach in die Modellierung einfließen.

**Weiterentwicklung des Modells: Optimierung bestehener Routen, Erfassungswerkzeug für neue Routen** Eine mögliche und aus der Sicht des Autors sehr vielversprechende Weiterentwicklung des Berechnungsmodells wäre folgende:

- Über eine Eingabemaske soll so grob oder detailliert wie gewünscht die Route manuell erfasst werden. Zudem müsste angegeben werden, innerhalb welchem *Toleranzbereich* (Abstand zur Route) das GIS-Modell danach den optimalen Korridor erzeugen soll. Auf diese Weise fließen die Überlegungen des Tourengängers direkt in das GIS-Modell mit ein. Darauf aufbauend leitet das GIS-Modell automatisch Start- und Endpunkt, Routen, Korridor und alle Auswertungen ab.
- Bestehende in unterschiedlicher Genauigkeit erfasste Routen könnten auf diese Weise ebenfalls in der Genauigkeit ihrer Linienführung optimiert werden. Wenn die Tour schon präzise geplant ist, wäre der zu berücksichtigende *Toleranzbereich* sehr klein, wenn die Tour eher grob als Hinweis erfasst ist (z.B. die roten SAC-Skitourenrouten, vgl. Kapitel 9.2), müsste der *Toleranzbereich* breiter gewählt werden.
- Dieses Werkzeug könnte also aus Routen unterschiedlicher Genauigkeit eine Routensammlung mit einheitlicher Datenqualität erzeugen. Ganze Routensammlungen zudem bezüglich Anstrengung und Lawinensicherheit im Stil dieser Arbeit zu bewerten, würde ergänzend zu den qualitativen Beschreibungen der Skitourenführer bestimmte zusätzliche Informationen liefern.
- Aus einigen Kommentaren der Online-Umfrage und der Tabelle 10 geht hervor, dass ein solches Werkzeug insbesondere für die Planung zu Hause erwünscht ist. Viele Experten sehen in qualitativ hochwertigen digitalen Skitourenrouten eine Hilfe für die Tourenplanung und Unfallprävention. In Abb. 50 schneidet diese Werkzeugidee jedoch im Vergleich zu anderen Werkzeugen schlecht ab. Hier spielt wohl die Angst mit rein, dass hochwertigen GPS-Routen zu fest vertraut wird, bzw. dass die Wahrnehmung der aktuellen Verhältnisse in den Hintergrund rückt (vgl. Kapitel 10.4). Der Autor ist der Meinung, dass die heute per Download verfügbaren GPS-Tracks zum Teil unbrauchbar sind (vgl. Abb. 44) und mehr Probleme verursachen, als Routen in der Qualität der GIS-Modellierungen, die zusätzlich auch noch eine Bewertung aufweisen. Spannend wird die Anwendung insbesondere dann, wenn der Computer eine andere Route vorschlägt als sich der eigene Kopf zurecht gelegt hat. So könnten Schlüsselstellen und der gesamte Handlungsspielraum noch einmal reflektiert werden. Ein Umfrageteilnehmer wünscht sich diese Anwendung zudem für Abfahrtsplanungen.

## 25.2 Abgrenzung Hang bei erheblich und Darstellung Lawinenrisiko

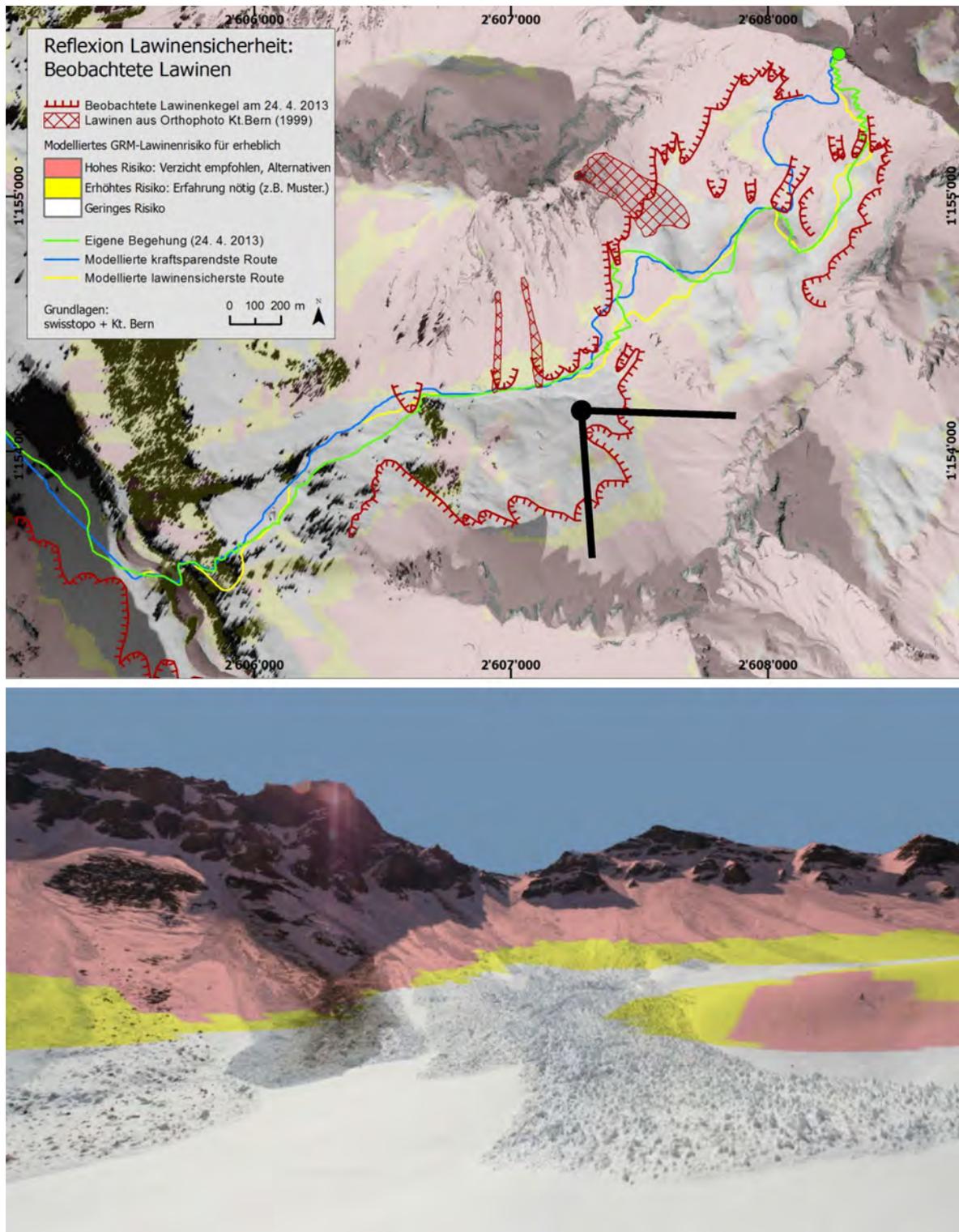
**Es gibt keine Lösung für den *ganzen Hang bei erheblich...*** Dies geht aus dem Kapitel 9.3 im Literaturteil hervor. Gleichzeitig wird dort der Wunsch geäußert, den *ganzen Hang bei erheblich* auf der Karte 1:25000 deutlicher zu zeigen, damit das manuelle Messen und Interpretieren des GRM-Lawinenrisikos vereinfacht wird.

**...oder etwa doch?** Die Modellierung im eigenen Projekt (vgl. Kapitel 17) hat im Hinblick auf die Berechnung der *lawinensichersten Aufstiegsroute* versucht, den *ganzen Hang bei erheblich* abzugrenzen. In Abb. 54 wird nun diese Abgrenzung dargelegt. Die Karte zeigt das modellierte GRM-Lawinenrisiko für *erheblich*, ergänzend dazu sind tatsächlich beobachtete Lawinenkegel während der eigenen Begehung am 24. April 2013 und Lawinenabgänge im Lawinenwinter 1999 (Winter-Orthophoto, Kartenhintergrund) dargestellt. Sowohl die Lawinenereignisse des Orthophotos als auch die selbst beobachteten Kegel entstammen einer Gefahrenstufe *gross* (vgl. Kapitel 21.1) und können deshalb nicht direkt mit dem modellierten Lawinenrisiko verglichen werden. Die Abb. 54 zeigt deutlich, dass bei Gefahrenstufe *gross* einzelne Lawinen im Testgebiet weit in flache Bereiche vorgedrungen sind, welche bei *erheblich* als sicher gelten. Das Modell ist deshalb bei Gefahrenstufe *gross* sicherlich nicht brauchbar. Die modellierte *Auslösewahrscheinlichkeit für erheblich* soll irgendwo zwischen den Anrissgebieten und dem gesamten Lawinenauslaufbereich zu liegen kommen (vgl. Kapitel 17.2). Laut Umfrage-Ergebnissen ist die Abgrenzung des *Hangs* eher zu kurz geraten, zudem ist die Mächtigkeit des Hangs im Modell nicht berücksichtigt. Vielleicht sind die Erläuterungen in der Online-Umfrage diesbezüglich zu unklar ausgefallen. Jedenfalls haben viele Teilnehmer den *ganzen Hang* mit dem *gesamten Lawinenauslauf* gleichgesetzt.

Die Grundfrage bei *erheblich* bleibt: Ab welchem Punkt im Gelände kann ich selbst eine Lawine auslösen, die mich dann auch verschüttet? Beim Messen mit dem Hangneigungsmesser geht man von der bereits eingezeichneten Spur aus in Richtung Anriss, und stellt sich die Frage, ob von der Spur ausgehend die Lawine fernausgelöst werden kann. Bei dieser Fernauslösungsfrage spielt (zumindest während der Tour) immer auch das Bauchgefühl mit (vgl. Kapitel 9.3), dieses kann beim einfach gehaltenen GIS-Modell nicht berücksichtigt werden.

Wäre eine präzisere Modellierung des *ganzen Hangs bei erheblich* möglich? Die SilvaProtect-Sturzbahnrechnungen (vgl. Kapitel 11.3) würden sich ev. mit anderen Parametern auf die Gefahrenstufe *erheblich* übertragen lassen. Ein solches Modell soll jedoch Lawinen-Experten überlassen werden, weil eine Interpretation sehr voraussetzungsvoll und schwierig ist. Im Rahmen dieser Arbeit und der Fragestellung im Kapitel 2 muss die Herangehensweise aus dem bfu-Projekt [50] ausreichen.

Abb. 54 zeigt ebenfalls, dass die modellierte *lawinensicherste Aufstiegsroute* (gelb) sich beinahe von allen beobachteten Lawinen fernzuhalten vermag. Diesbezüglich ist die Modellierung also geglückt.



**Hinweiskarte Lawinenrisiko** Dass viele Bergführer und erfahrene Tourengänger am Nutzen einer *Karte mit dargestelltem Lawinenrisiko* zweifeln und eine entsprechende Darstellung ablehnen, wird aus den Ergebnissen der Online-Umfrage und aus dem Literaturteil (vgl. Tabelle 10) deutlich sichtbar. Die in den Kapiteln 11.4 und 24.2 aufgeführten Bedenken sind auch gut nachvollziehbar. Fortgeschrittene kommen mit den bestehenden Hilfsmitteln (vgl. Kapitel 9.2) gut zurecht und sind meist in der Lage, sie in der jeweiligen Planungsphase angemessen einzusetzen.

In den Kapiteln 9.3 und 12 ist festgehalten, dass Anfänger die GRM auch im Einzelhang als Entscheidungshilfe benutzen können, sofern sie defensiv angewendet wird (Handlungsspielraum nur im geringen Risiko) und *Sicherheitsmargen* eingehalten werden. Der Autor ist der Meinung, dass diese Aussage alleine für viele Anfänger noch keine Hilfe darstellt oder auch zu Fehlschlüssen verleitet (z.B. “bei *erheblich* ist es ausserhalb der eingefärbten Steilhänge in den SAC-Skitourenkarten sicher...”).

Experten sollen deshalb trotz allen Bedenken Anfängern helfen und konkret auf einer Karte aufzeigen, was *Sicherheitsmargen* im Fall der Berücksichtigung des *ganzen Hangs bei erheblich* bedeuten. Der nachfolgende Kartenentwurf ist als solcher Versuch zu verstehen. Fortgeschrittene sind im Gegensatz zu Anfängern in der Lage, den defensiven Handlungsspielraum bei *erheblich* auf einer Karte masstabgerecht abzugrenzen. Dieser Schritt vom Bulletin auf die Karte musste schon immer vollzogen werden (vgl. Tabelle 9).

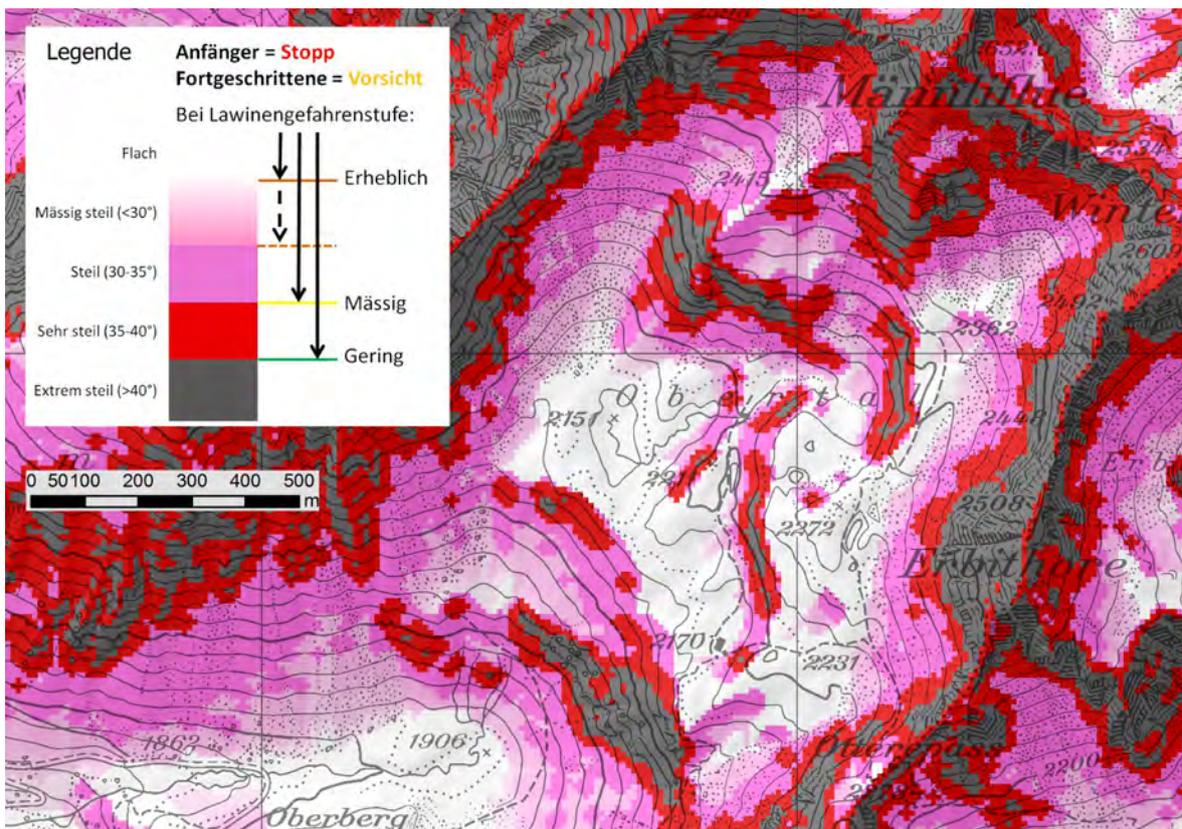


Abbildung 55: Darstellungsvorschlag *Hinweiskarte Lawinenrisiko für Skitourenplanung*: Je nach Gefahrenstellen des Lawinenbulletins sind für Anfänger bei *erheblich* bereits *mässig steile* oder *steile* Hänge tabu.

---

Abb. 55 zeigt nun einen konkreten Vorschlag einer *Hinweiskarte Lawinenrisiko* für die Skitourenplanung. Die relevanten Hangneigungsklassen bezüglich GRM-Lawinenrisiko sind mit einer Nachbarschaftsanalyse über eine Rasterzelle (Übernahme Maximalwert aus der Nachbarschaft) verstärkt, sodass die Schlüsselstellen noch besser ins Auge springen und etwa der im Gelände beurteilten Mindestfläche von 20 x 20m entsprechen (vgl. Abb. 13). Es werden alle Hanglagen als *ungünstig gemäss GRM* [51, S.31] angenommen.

Die Karte soll die Entscheidung unterstützen, welches Gelände bei welcher Gefahrenstufe mit geringem GRM-Lawinenrisiko noch begehbar ist. Während der Tour könnte sie zudem als Hilfe zur Einschätzung der tatsächlichen Lawinengefahr dienen.

“Es ist in der Praxis zweckmässig, grobe Klassen der Hangneigung zu bilden: unterhalb der kritischen Hangneigung ( $< 30^\circ$ ), steil ( $< 35^\circ$ ), sehr steil ( $< 40^\circ$ ), extrem steil ( $> 40^\circ$ ). Haarspalterische Überlegungen bei der Tourenplanung, ob die Sohle einer Mulde nun  $38^\circ$  oder  $41^\circ$  steil sei, sind wenig hilfreich. Ihre Seitenhänge sind, aus geometrischen Gründen, auf jeden Fall steiler” [27, S. 59].

Der Risikobereich für *erheblich* ist unterteilt in Steilhänge (steiler als  $30^\circ$ ) und in darunter liegende *mässig steile* Hangbereiche, welche zum flachen Gelände hin unscharf abgegrenzt sind. Präzisere Eingrenzungen von Schlüsselstellen im Lawinenbulletin sollen auch Anfänger berücksichtigen können. Dies wird mit dem gestrichelten Pfeil in der Legende angedeutet.

Eine solche Karte wäre nicht nur digital, sondern auch in gedruckter Form nutzbar. Selbstverständlich müssten deutliche Hinweise zu den Anwendungsgrenzen und zur Fehleranfälligkeit der Bulletininformation angebracht werden, wie sie etwa in Smartphone-Apps (vgl. Kapitel 10.4) erscheinen. Entscheidend für solche Darstellungen ist stets, dass sie so benutzergerecht wie möglich umgesetzt werden und keinesfalls Skitourengeher in einer falschen Sicherheit wähen.

**Hinweiskarte, filterbar auf tagesaktuelle Lawinensituation** Die Abb. 50 zeigt auf, dass eine *beliebig auf die tagesaktuelle Lawinengefahrensituation filterbare Hinweiskarte Lawinenrisiko* von den meisten Umfrage-Teilnehmern gewünscht wird und unter den Werkzeugideen am besten abschneidet. Dies könnte z.B. eine Webseite mit einer interaktiven (swisstopo-) Karte sein, welche beim Aufstarten über die ganze Fläche rot eingefärbt ist. Mit einem interaktiv bedienbaren Filter könnten Gefahrenstufe, kritische Höhenlage und Expositionen und ev. sogar Gefahrenmuster (vgl. Kapitel 9.4) eingegeben werden, sodass nur noch die erwarteten tagesaktuellen Gefahrenstellen in der Karte rot bezeichnet sind.

Genau solche Anwendungen werden jedoch von Experten scharf kritisiert (vgl. Tabellen 9 und 10). Zwar ist ein solches Produkt mit GIS-Werkzeugen sicherlich umsetzbar. Solange der Benutzer selbst den Filter bedienen würde, könnte damit spielerisch das Planungs-Kartenaugen geschult werden. Was sicherlich niemandem dienen würde, wäre ein einziger Knopf, der automatisch die aktuelle Bulletinsituation auf die Karte überträgt. Der Autor lehnt solche Anwendungen klar ab, weil sie zur Passivität verleiten und grosse Gefahr besteht, dass die eigentlichen Verhältnisse gar nicht mehr wahrgenommen werden und die Tourenplanung nach der Phase am Computer zu Hause später im Gelände zu wenig hinterfragt wird. Die vorgeschlagene Hinweiskarte in Abb. 55 hingegen zeigt weiterhin die Lawinengefahrenstufen gering, mässig und erheblich und regt auch im Gelände zum Denken an.

Dank der tabellarischen Auswertung (vgl. Kapitel 19) ist das den Routen zugeteilte GRM-Lawinenrisiko mit der Exposition und Höhenlage verknüpfbar. Es lassen sich die Schlüsselstellen bezüglich Lawinengefahr herauslesen, zudem lässt ein Vergleich mit der tagesaktuellen

Lawinengefahr (Lawinengefahrenstufe, ungünstige Höhenlagen und Expositionen) eine grobe objektivierte Aussage zu, ob die Skitour bei den aktuellen Verhältnissen begehbar ist oder nicht.

### 25.3 Anforderungen an Wunsch-Tourenplanungsplattform.

Mit GIS-Modellierungen kann nur ein relativ kleiner Teil der gesamten *Skitourenplanung 3x3* abgedeckt werden. In der Literatur in Tabelle 4 sind diejenigen Planungsaspekte in sattem gelb markiert, welche innerhalb dieser Arbeit berücksichtigt werden. Hellgelb sind zudem Aspekte markiert, welche ev. ebenfalls mit GIS behandelt werden könnten. Von den Verhältnissen fließt nur die Gefahrenstufe des Lawinenbulletins via GRM in die Modellierung ein, die alles entscheidenden tagesaktuellen Verhältnisse (Muster, Wind, Temperatur, etc.) und der gesamte Faktor Mensch werden ausgeblendet.

Mit diesem Gesamtblick wird deutlich, dass GIS-Produkte stets Planungswerkzeuge für Teilaspekte der gesamten Skitourenplanung bleiben, insbesondere in der Tourenplanung zu Hause. Die Tabelle 8 im Kapitel 10.3 zeigt auf, dass ergänzend zu den in dieser Arbeit modellierten Aufstiegsrouten unzählige Informationen zu einem Tourengebiet verstreut im Internet zu finden sind (Lawinenbulletin, Tourenberichte, Wettervorhersagen aller Art, Webcams, Karten, Tracks, etc.). Die Informationen sind zwar verfügbar, aber schwierig auffindbar. Der Tourengänger droht bei der Planung in der Informationsflut zu ersticken. Es ist schwierig, an die qualitativ besten Informationen zu gelangen (vgl. Kartenvergleich in Abb. 18).

Einige Umfrageteilnehmer wünschen sich die besten Informationen zu diversen Themen in einer Plattform gebündelt. Dies würde die Tourenplanung stark vereinfachen und viel Zeit einsparen. Insbesondere die Kombination von topografischen Karten und thematischen Hinweis-karten mit Informationen zu aktuellen Verhältnissen ist sehr vielversprechend. Auf diese Weise könnten diejenigen Fragen beantwortet werden, welche mit GIS niemals exakt behandelt werden können: Liegt genügend Schnee über den Legföhren, ist der See gefroren, der Bach passierbar, wie sieht es mit Schneeverwehungen und frischen Lawinen aus?

Ein grundsätzliches Echo aus der Umfrage lautet ebenfalls: Je mehr (einfach kombinierbare) Information, desto besser! Einzelne Informationsebenen sollen auch in andere Portale eingebunden werden können, z. B. via WMS-Dienst<sup>42</sup> in GoogleEarth.

Die Tabelle 14 trägt nun abschliessend und als Anregung zu zukünftigen Anwendungen verschiedene Themen für eine *Wunsch-Tourenplanungsplattform* zusammen.

Ob digitale Informationen nun via Computer zu Hause oder via Smartphone genutzt werden, macht dabei keinen grossen Unterschied, zentral ist das Anliegen, dass diese Instrumente den Blick auf die reale Landschaft schärfen, auf Planungsunsicherheiten hinweisen und nicht zu einer falschen Sicherheit verleiten. Generell gilt dabei für Kartenebenen, dass sich die Darstellung des Geländes (harte Kriterien) deutlich von der Interpretation des Lawinenbulletins (weiche Kriterien) unterscheiden lässt<sup>43</sup>. So bleibt sichtbar, dass sich eine Prognose wie das Lawinenbulletin nur mit vielen Unsicherheiten auf eine Karte übertragen lässt.

Die Aktualisierung von WhiteRisk wird diesbezüglich mit Spannung erwartet (vgl. Kapitel 10.3 und Abb. 20).

---

<sup>42</sup>WMS: Web Map Service.

<sup>43</sup>Telefonaussage von S. Harvey SLF am 16. 5. 2013.

Thema	Erläuterung
Aktuelle Wetter- Schnee- und Lawinen- informationen	Die zuverlässigsten Quellen zu aktuellen Verhältnissen, direkt und übersichtlich abrufbar
Bestes Kartenmaterial für jeden Masstab	Funktionalität wie in <a href="http://map.geo.admin.ch/">http://map.geo.admin.ch/</a> , zusätzlich hochauflösende Luftbilder, Reliefschattierung, ev. Winter-Orthophoto (vgl. Kapitel 14.5)
Hangneigungen	Im Mst. 1:50000 rote Hänge aus SAC-Skitourenkarte (Steilhänge ab 30°), im Mst. 1:25000 neue Hangneigungsklassen (Auflösung 10m)
Geländeformen, Expo- sitionsklassen, Höhen- stufen	Grat, Kammlage, Rücken, Rippe, Couloir, Rinne, Runse, Mulde (vgl. Kapitel 7), grosser zusammenhängender Hang, Expositionssektoren, Höhen- stufen pro 100hm (vgl. Abb. 40)
Hinweiskarte Lawinen- risiko	Gemäss Vorschlag in Abb. 55, ergänzend zu den blossen Hangneigungs- klassen, mit Unschärfen und ganzem Hangbereich bei erheblich, opti- miert für Anfänger
Weitere Gefahren als Hinweise	Spaltenzonen, Absturzbereiche, Karstgebiete, gefährliche Gewässer, son- nenexponierte Hänge (für Frühjahrsverhältnisse), potenzielle Trieb- schneehänge, etc.
Schutzgebiete, natur- schutzfachliche Aspekte	Wildschutzgebiete ( <a href="http://www.respektiere-deine-grenzen.ch">www.respektiere-deine-grenzen.ch</a> ), Jagdbann- gebiete, BLN-Gebiete, Naturschutzgebiete, Rauhfusshuhn-Habitats, Ein- standgebiete Rot/Gamswild, etc.
Bestehende GPS- Tracks	vgl. Links in Tabelle 8, SAC-Routen, kritische Hinweise zur entsprechen- den Routenqualität
Interaktive Routenop- timierung	Werkzeug zur automatischen Routenoptimierung, Erfassung und Bewer- tung neuer Routen gemäss Erläuterungen im Kapitel 25.1
Profil- und Marschzeit- berechnung	Distanz, Hangneigung, Schlüsselstellen (übertragene Gefahrenbereiche), Höhenmeter, Marschzeit (gemäss SwissMap Online, vgl. Kapitel 10.3) , mit Zusatzeingabekriterien (z.B. Gemütlich, normal, advanced)
Aktuelle Verhältnisse, Infos aus Community- Plattformen	Wetter, Niederschlagsradar, Lawinen- und Schneefinfos, Verhältnisbe- schriebe (wo wird üblicherweise aufgestiegen, wo wurden Lawinen ge- sichtet, Kommentare von Tourenggehern mit Vor-Ort Infos, Häufigkeit der Begehung), Webcams (vgl. Links in Tabelle 8)
Diverse Themen als Hinweise	Erreichbarkeit, Snowboardtauglichkeit (kein flaches Gelände, keine Ge- gensteigungen), ÖV-Anbindung, geöffnete Hütten mit dem besten Bier, Kindertauglichkeit (keine Abbrüche in näherer Umgebung, nicht zu steile Abfahrten), Hundetauglichkeit (Leinenzwang Naturschutzgebiet), Abenteuer- und Genussbewertung (über Stock und Stein, durch dichte Gebüsch, an Abbrüchen vorbei, schöne Aussicht, gleichmässiger Auf- stieg)
Funktionalität des geplanten SLF- Tourenplanungsportals	Mit Spannung wird die Aktualisierung der SLF Plattform <i>White Risk</i> für den Winter 2013/14 erwartet (vgl. Kapitel 10.3 und Abb. 20)

Tabelle 14: Themenzusammenhang für die *Wunsch-Tourenplanungsplattform*. Quellen: siehe Tabelleninhalt.

## 26 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden zuerst die aktuelle Skitourenplanungspraxis und GIS-Arbeiten zu dieser Thematik zusammengetragen. Darauf aufbauend erfolgte in experimenteller Herangehensweise die Entwicklung eines GIS-Berechnungsmodells für die automatische Erzeugung der *optimalen Aufstiegsroute*. Die Resultate wurden auf drei Stufen kritisch bewertet. Auf diese Weise konnten Nutzen und Grenzen des Berechnungsmodells und mögliche darauf aufbauenden Produkte identifiziert und diskutiert werden.

Die Resultate zeigen auf, dass sich die *optimale Aufstiegsroute* einer beliebigen Skitour mit dem Computer automatisch erzeugen lässt. Folgende Punkte sind dabei zu beachten:

- Wenn nur Start und Ziel der Skitour bekannt sind und der weitere Routenverlauf in keiner Weise vorgegeben ist, fließen Einschränkungen von tagesaktuellen Verhältnissen und gruppendynamische Aspekte (Faktor Mensch) nicht in die Berechnungen mit ein. In dieser Arbeit werden Hangneigungen, Geländeformen, Bodenbedeckung, Expositions- und Höhenlagen sowie das GRM-Lawinenrisiko berücksichtigt (vgl. gelb markierte Punkte in Tabelle 4).
- Voraussetzung für die Modellierung ist ein digitales Geländemodell mit der in dieser Arbeit verwendeten Genauigkeit. In der Schweiz sind diese Grundlagen seit März 2013 verfügbar.
- Es bestehen diverse Ideen für die Weiterentwicklung des Berechnungsmodells (vgl. Kapitel 20), beispielsweise bei der Ausscheidung der skitourenrelevanten Geländeformen. In der GIS-Anwendung liegen diesbezüglich schon diverse Arbeiten vor (vgl. Kapitel 11.2). Ob solche Weiterentwicklungen tatsächlich auch einer Verbesserung der modellierten Aufstiegsrouten und Korridore dienen würden, bleibt offen.
- Der bewertete Korridor bildet das nützlichere Ergebnis als die modellierten Linien. Würden zwanzig Skitourenzügler die Aufstiegsspur bei denselben Bedingungen in den frischen Pulverschnee legen, kämen zwanzig unterschiedliche Routen dabei heraus, welche zusammengefasst den modellierten Korridor zeigen. Es macht deshalb wenig Sinn, jeden modellierten Richtungswechsel der einzelnen Linie zu hinterfragen. Entscheidend ist, dass die wesentlichen Schlüsselstellen abgebildet werden, z. B. die Überquerung des Bachtobels entlang eines Wanderweges.
- Tagesaktuelle Verhältnisse und individuelle Planungsüberlegungen könnten in die Modellierung einfließen, wenn der (grobe) Routenverlauf vorgängig manuell erfasst und anschließend mit dem GIS-Modell optimiert würde (vgl. Werkzeugvorschlag im Kapitel 25.1).
- Die in den erwarteten Ergebnissen (Kapitel 6) definierte Genauigkeit wird erreicht. Dank des neuen digitalen Geländemodells werden z. T. tatsächlich Feinheiten des Geländes berücksichtigt, die in der 25000er Karte verborgen bleiben.
- Die Zusammensetzung der *Kostenoberfläche Anstrengung* bildet den eigentlichen Kern der Entwicklungsarbeit. Diese Oberfläche beeinflusst alle weiteren Resultate und hat

---

einen grossen Einfluss auf die Praxistauglichkeit der Modellierungen. Dank der zusammenfassenden Beurteilungsmatrix (vgl. Kapitel 16.3) ist deren Aufbau auch für GIS-Laien nachvollziehbar. Diese *Anstrengungs-Oberfläche* dient als notwendiger und gelungener Sockel für das GIS-Modell, bildet jedoch für den Tourengänger selbst kaum eine Hilfe.

- Die *allgemeingültige kraftsparendste Aufstiegsroute* kann nicht berechnet werden, weil sich tagesaktuelle Verhältnisse unterschiedlich auf die Anstrengungsoberfläche auswirken. Ein gefrorener Hang im Frühling wird bezüglich Anstrengung anders überwunden als ein Hang mit 30cm Neuschnee.
- Die Unterscheidung der *kraftsparendsten* von der *lawinensichersten* Aufstiegsroute ist ohne Einbezug der tagesaktuellen Verhältnisse ebenfalls nicht möglich. Beide Linienführungen zu erzeugen und zu bewerten und auch den Korridor daraus abzuleiten, ist jedoch als Entscheidungshilfe sehr nützlich.
- In der Praxis besteht die tatsächliche *optimale Aufstiegsroute* aus einer Kombination aller Modellierungsergebnisse, weiteren Informationen und eigenen Beobachtungen.
- Bezüglich Lawinenrisiko fällt das Fazit in dieser Arbeit weniger deutlich aus. Zu kontrovers sind diesbezüglich die Meinungen. Im Literaturteil sind Anwendungsgrenzen der GRM, unterschiedliche Bedürfnisse von Anfängern und Experten und die Pro- und Contra- Meinungen zur Darstellung des Lawinenrisikos auf einer Karte zusammengetragen (vgl. Kapitel 9.3, Tabelle 9 und Kapitel 12). Im Kapitel 6 wird erwartet, dass sich das GRM-Lawinenrisiko für eine beliebige Lawinengefahrsituation auf einer Karte darstellen lässt. Der Autor ist der Meinung, dass dies mit einer eher defensiven Darstellung und mit z.T. unscharfen Grenzen möglich ist, inklusive Einbezug des *ganzen Hangs bei erheblich* und des geschlossenen Waldes. Abb. 55 liefert einen Vorschlag dafür. Experten, die sich dank zusätzlicher Erfahrung auch im erhöhten GRM-Lawinenrisiko bewegen, setzen die Grenzen der Begehbarkeit meist offensiver. Ob ein solches Werkzeug für Anfänger und Fortgeschrittene wirklich eine Hilfe darstellt, kann in dieser Arbeit nicht beantwortet werden.
- Losgelöst von der Debatte über Sinn und Unsinn einer *Hinweiskarte Lawinenrisiko* fliesst der Aspekt Lawinensicherheit in die Modellierung der *lawinensichersten Aufstiegsroute* ein und führt dazu, dass die bei erheblicher Lawinengefahr kritischen Lawinhänge so lange wie möglich gemieden und so zurückhaltend wie möglich überwunden werden. Dieses Ergebnis entspricht auch bei geringer Lawinengefahr oft der *optimalen Aufstiegsroute*.
- Grundsätzlich besteht laut Umfrage das Echo: Je mehr Information für die Tourenplanung, desto besser! Jedoch darf keine Informationsflut entstehen, in der man sich nicht mehr zurechtfindet. Bereits heute wird der Tourenplaner mit einer schwierig fassbaren Informationsflut konfrontiert. Deshalb besteht der Wunsch, die qualitativ besten Informationen in einer flexibel nutzbaren Plattform zu bündeln. Tourengänger erhalten in dieser Arbeit eine kompakte Übersicht nützlicher bestehender Internet-Informationsquellen (vgl. Tabelle 8) sowie zu Ideen einer Plattform, welche alle gewünschten Planungsinformationen bündelt (vgl. Tabelle 14).

- Vor dem Hintergrund der sehr unterschiedlichen Qualität von bestehenden digitalen Karten und Routen (vgl. Kapitel 10.2) besteht grosses Potenzial, die heutigen Planungsmöglichkeiten mit den aufgezeigten Werkzeugen noch zu verbessern. So ist es denkbar, eine ganze digitale Tourensammlung (Aufstiegsrouten mit unterschiedlicher Genauigkeit) auf eine einheitliche Qualität zu bringen und zu bewerten. Darauf aufbauend sollen Aussagen möglich sein, ab welcher Gefahrenstufe eine Tour begehbar ist, bzw. darauf verzichtet werden soll und welcher *Grob-Charakter* (Exposition, Höhenlage, Geländebeschaffenheit) diese Tour besitzt. In dieser Arbeit wurde eine solche Auswertung im Kapitel 19 aufgezeigt.

Entscheidend ist dabei, dass solche Werkzeuge nicht auf Kosten der eigenen Wahrnehmung im Gelände eingesetzt werden, sie dürfen die Benutzer keinesfalls in einer falschen Sicherheit wähen. Das Problem von Fehlanwendungen besteht aber mit jedem Werkzeug. Ist das Werkzeug benutzergerecht gestaltet, liegt es am Anwender, es richtig einzusetzen.

- Schliesslich wird aufgezeigt, dass sowohl bei Bergführern als auch bei Anfängern Befürworter und Skeptiker von neuen digitalen Tourenplanungswerkzeugen angesiedelt sind. Eine deutliche Mehrheit sieht in solchen Anwendungen neue Möglichkeiten für die Tourenplanung.

## 27 Schlussfolgerungen und Ausblick

**Skitourengänger** können die bewährten Planungshilfen *Beurteilungs- und Entscheidungsrahmen 3x3* und *Grafische Reduktionsmethode GRM* dank GIS noch einfacher anwenden als bisher, insbesondere vor einer Tour bei der Planung zu Hause.

Die Darstellung der optimal begehbaren Korridorfläche und die Bezeichnung von erwarteten Schlüsselstellen einer Skitour sind dabei ebenso nützlich wie neue Hinweiskarten mit Hangneigungen, defensiv dargestelltem GRM-Lawinenrisiko oder Geländeformen. Das individuelle Kartenstudium darf dabei nicht ersetzt, sondern soll unterstützt, erleichtert und auch für Anfänger besser greifbar werden.

**GIS-Entwickler** müssen erkennen, dass eine weitere Optimierung der Skitourenlinie kaum Sinn macht. Im Unterschied zu einem Strassennetz führen viele verschiedene Routenlinien unter annähernd denselben Bedingungen auf einen Gipfel. Die mit GIS erzeugte optimale Skitour ist stets eine Fläche, welche diese verschiedenen Linien zusammenfasst. Eine mögliche Abgrenzung dieser Fläche (Korridor) und einige Ideen zur Weiterentwicklung des Berechnungsmodells werden in dieser Arbeit aufgezeigt.

Entscheidend für GIS-Anwendungen in dieser Thematik ist ebenfalls die Wahl des Höhenmodells mit einer Rasterauflösung von 10m. Für Skitouren entscheidende Geländeformen können mit einer gröberen Auflösung nicht befriedigend berücksichtigt werden, eine feinere Auflösung zeigt wiederum Details, welche in den meisten Schneelagen verschwinden.

---

**Was bringt nun die Zukunft?** Es ist nur eine Frage der Zeit, bis neue interaktive Werkzeuge, ob brauchbar oder nicht, den Weg ins Internet und aufs Smartphone finden<sup>44</sup>. Bei näherer Betrachtung der neusten Anwendungen wird klar, wie schnell diese Entwicklung voranschreitet (vgl. digitale Karten und Tourenportale in den Kapiteln 10.2, 10.3 und 10.4).

Die auf den Winter 2013/14 angekündigten Aktualisierungen *WhiteRisk* und *Hangneigungskarte swisstopo* (Auflösung 10m, vgl. Abb. 18) werden die digitalen Tourenplanungsmöglichkeiten im Vergleich zu heute markant verbessern.

Es wird bestimmt weiterhin auch fragwürdige Entwicklungen geben. Aus der Umfrage geht beispielsweise hervor, dass schon mal angedacht wurde, ob eine Outdoor-Uhr dem Tourengänger in Echtzeit den Weg weisen und auch den Entscheid bezüglich Lawinenrisiko abnehmen könnte<sup>45</sup>.

GIS-Auswertungen werden stets klare Grenzen aufweisen, auch mit verbesserter Datengrundlage, weil tagesaktuelle Verhältnisse wohl niemals im Detail berücksichtigt werden können. Der Tourenverlauf in Abb. 56 muss auch in Zukunft vor Ort im Gelände mit den eigenen Sinnen gefunden und optimiert werden, zu komplex sind alle Einflüsse, welche hier berücksichtigt werden müssen (teilweise eingeschneiter Bach, Lawinenkegel, kleinräumig änderndes Relief, Felsbrocken, Schneebeschaffenheit, etc.).

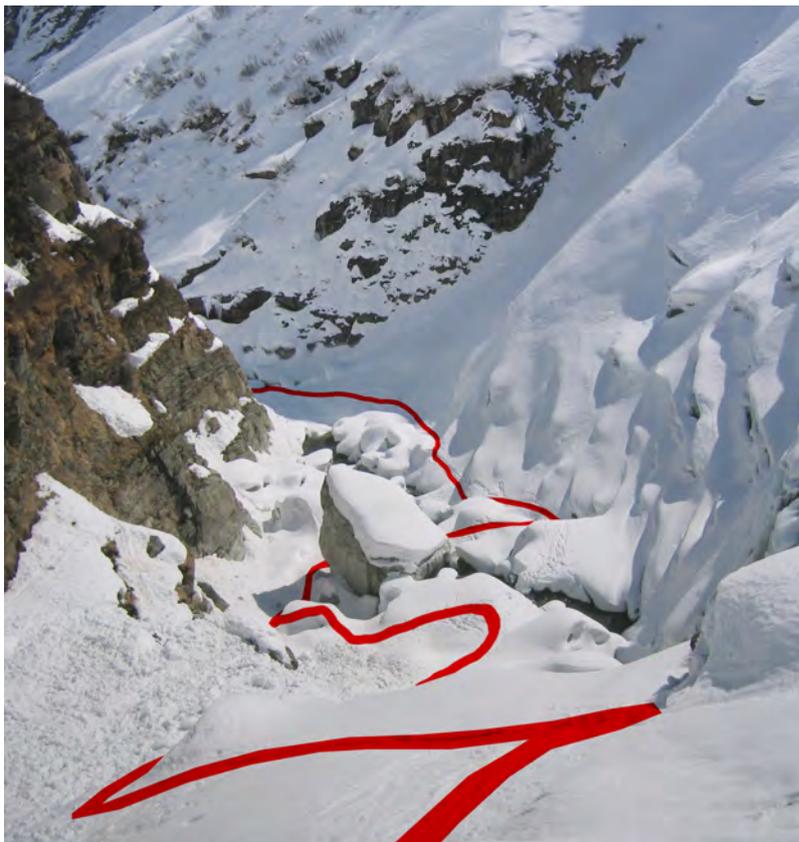


Abbildung 56: "In dieser Genauigkeit kann keine Software eine Skitourenroute berechnen - und das ist auch gut so!". Höll bei Hinterrhein (728 130 / 150 840)

---

<sup>44</sup>Echo aus KAT-Projektpräsentation im Dez. 2011, vgl. Kapitel 11.1

<sup>45</sup>vgl. Kommentare zu Werkzeugen in Umfrageergebnissen im Anhang Teil V

Alle digitalen Werkzeuge bleiben Planungswerkzeuge, man darf im Gelände nie stur danach gehen. Keines davon darf je den Entscheid übernehmen, ob eine Skitouren-Schlüsselstelle begehbar ist oder nicht. Wahrnehmen, denken und entscheiden muss also auch in Zukunft noch jeder selbst.

Neue Planungshilfen müssen nicht zwingend nur am Computer verfügbar sein, sondern könnten auch als gedruckte Karten benutzt werden. Sie sind wohl dann bei einem breiten Skitourenpublikum angelangt, wenn folgende Umfragerückmeldung wiederrufen wird:

*Ich bin Bergsteiger, benötige den PC schon zu oft im Arbeitsalltag und so will ich nicht auch noch meine Freizeitplanung damit verbringen.*

Schärfen wir doch mit neuen Werkzeugen unsere Planungssicht und freuen wir uns auf die weite, klare Aussicht von einem real bestiegenen Gipfel.

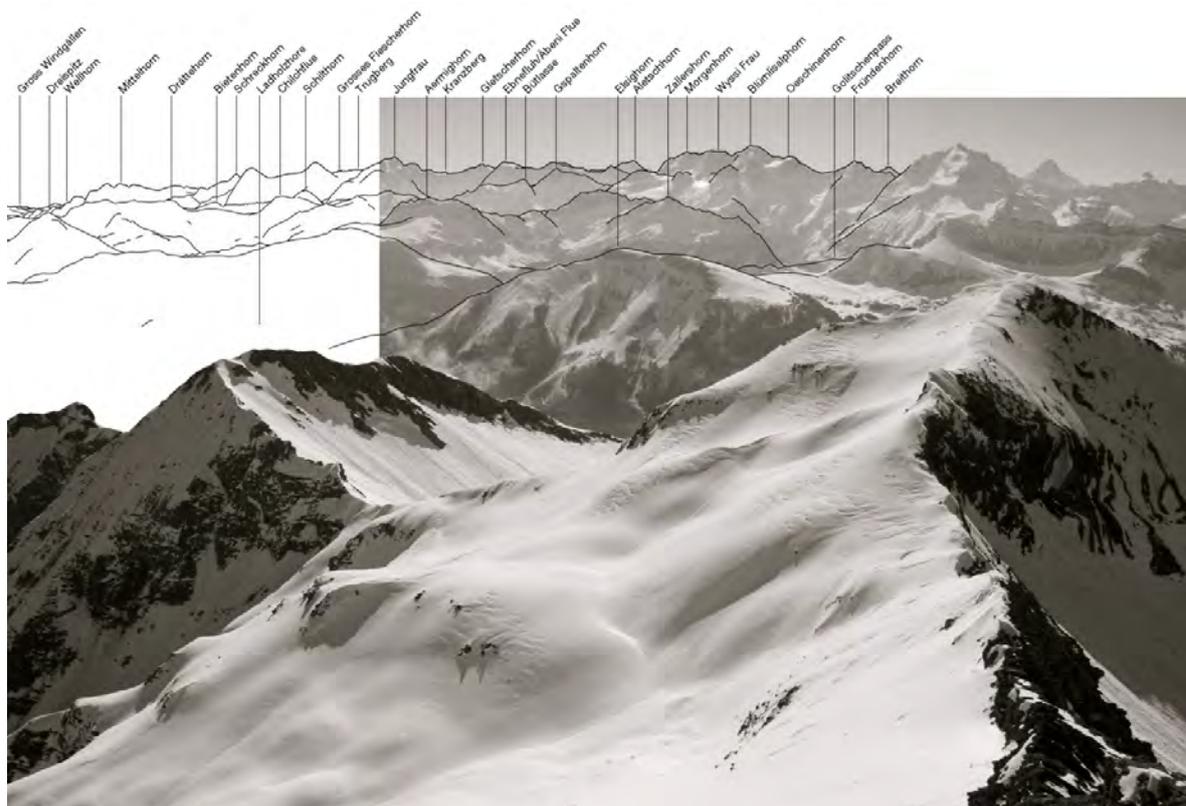


Abbildung 57: Virtueller und realer Ausblick vom Gipfel der Männlihue Richtung Osten.  
Quelle: Eigene Abb. aus [www.peakfinder.org](http://www.peakfinder.org)

---

## Literatur

- [1] AGI: *Geoportal des Kantons Bern (Geokatalog)*. <http://www.apps.be.ch/geo/>, 2013.
- [2] ANKER, D. und R. SCHNEGG: *Skitouren Berner Alpen West*. Nummer ISBN 3-85902-180-X. SAC-Verlag, Bern, 2000.
- [3] BASPO: *J+S-Handbuch Bergsport*, Kapitel Sicherheitsbestimmungen Bergsport. Nummer 30.905.250 d. Bundesamt für Sport BASPO, 2003.
- [4] BERGUNDTAL: *Check Tourenplanung Taschenguide*. <http://www.bergundtal.ch/video>, 2010.
- [5] CAMENZIND, P.: *Lawinenbulletins in der Tasche*. In: *Die Alpen 02/2010*, 2010.
- [6] CAMENZIND, P.: *GPS und Skitourenkarten reichen nicht*. In: *Die Alpen 02/2012*, 2012.
- [7] EAWS: *Europäische Lawinenwarndienste*. <http://www.avalanches.org/basics/lawinengefahrenskala/>, 2013.
- [8] EAWS: *Lawinenlagebericht Tirol*. <http://lawine.tirol.gv.at/>, 2013.
- [9] EISANK, C.: *Kleinräumige Lawinengefahrenkarten als ortsbasierter Dienst*, 2007.
- [10] EISANK, C. AND DRAGUT, L.: *developing a semantic model of glacial landforms for objectbased terrain classification - the example of glacial cirques*. [http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/4-c7/pdf/Eisank\\_140.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/4-c7/pdf/Eisank_140.pdf), 2010.
- [11] ELLERT, G.: *Eyetracking - Geschulte Wahrnehmung erhöht Sicherheit*. In: *bergundsteigen 4/10*, 2010.
- [12] ENGLER, M.: *DAV-SnowCard*. <http://www.av-snowcard.de/>, 2013.
- [13] ESRI: *ArcGIS-Hilfe 10.1*. <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#/na/00qn0000001p000000/>, 2013.
- [14] ESSM: *Handbuch Jugend und Sport*, Kapitel Alpinetechnik, Exkurs: Aufstieg mit Skis, Seite 12 ff. Nummer ESSM 30.42.310 d. Eidg. Sportschule Magglingen (ESSM), 1997.
- [15] FREERIDEMAP: *Freeride Map Lötschental*. [www.freeride-map.com](http://www.freeride-map.com), 2011.
- [16] GURTNER, M.: *J+S-Handbuch Bergsport, Merkblatt Orientierung*. <http://www.sac-cas.ch/ausbildungskurse/alpin-merkblaetter.html>, 2010.
- [17] HARVEY, S., J. SCHWEIZER und H. RHYNER: *Achtung Lawinen*. [http://www.slf.ch/dienstleistungen/merkblaetter/Achtung\\_Lawinen2011.pdf](http://www.slf.ch/dienstleistungen/merkblaetter/Achtung_Lawinen2011.pdf), 2011.
- [18] HARVEY, S., J. SCHWEIZER und H. RHYNER: *Lawinenkunde: Praxiswissen für Einsteiger und Profis zu Gefahren, Risiken und Strategien*. Outdoor-Praxis. Bruckmann Verlag GmbH, 2012.
- [19] LARCHER, M.: *Strategische Methoden für den Skitourenfahrer*. In: *Lawinen und Recht. Proceedings zum Internationalen Seminar vom 6.-9. November 2005.*, Seiten 35–40. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 2006.

- [20] LARCHER, M.: *stop or go 2012*. In: *bergundsteigen* 4/12, 2012.
- [21] LOSEY, S. und A. WEHRLI: *Schutzwald in der Schweiz. Vom Projekt SilvaProtect-CH zum harmonisierten Schutzwald. p. 29 und Anhänge*. Bundesamt für Umwelt, Bern., 2013.
- [22] MAURER, Y.-X.: *Analyse der Habitatvernetzung im Kanton Bern. Eine Vernetzungsanalyse basierend auf natürlichen und anthropogenen Ausbreitungswiderständen*. Diplomarbeit, Paris Lodron-Universität Salzburg, 2009.
- [23] MOSIMANN, U.: *Hangneigung bestimmen*. In: *Die Alpen* 02/2011, 2011.
- [24] MUNTER, W.: *logik des gelingens*. In: *bergundsteigen* 4/07, 2007.
- [25] MUNTER, W.: *3 x 3 Lawinen: Risikomanagement im Wintersport*. Pohl & Schellhammer, 2009.
- [26] NAEGELI, K.: *Verzicht contra Risiko - Kartographische Auswertung von angewandtem Risikomanagement im Schneesportbereich*. Bachelorarbeit, 2010.
- [27] NIGG, P.: *Umgang mit dem Lawinenrisiko auf Touren*. In: *Lawinen und Recht. Proceedings zum Internationalen Seminar vom 6.-9. November 2005.*, Seiten 57–62. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 2006.
- [28] NUF: *NUF-Handbuch Skitouren: Taktik beim Skiaufstieg*. <http://www.nuf.uni-freiburg.de/downloads>, 2013.
- [29] OEAV: *Downloaddokumente Stop or Go*. <http://www.alpineausbildung.at/index.php?auswahl=download>, 2013.
- [30] ORTOVOX: *Bergtouren App ORTOVOX*. <http://www.ortovox.com/bergtouren-app>, 2013.
- [31] OUTDOORACTIVE: *Tourenplattform outdooractive.com*. <http://www.outdooractive.com/>, 2013.
- [32] PLATTNER, P.: *bergundsteigen im Gespräch mit Werner Munter*. In: *bergundsteigen* 4/11, 2011.
- [33] RETT, H.: *Laserscandaten als Grundlage zur Identifizierung morphologischer Detailstrukturen alpiner Hänge*. Diplomarbeit, Paris Lodron-Universität Salzburg, 2011.
- [34] SCHWEIZER, J.: *Lawinenbulletins und weitere Produkte - Interpretationshilfe*. [http://www.slf.ch/dienstleistungen/merkblaetter/index\\_DE](http://www.slf.ch/dienstleistungen/merkblaetter/index_DE), 2012.
- [35] SLF: *White Risk CD-ROM*. <http://download.whiterisk.org/>, 2006.
- [36] SLF: *snowsense - Entscheidungen im Schnee*. <http://www.snowsense.ch/>, 2011.
- [37] SLF: *WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF*. <http://www.slf.ch/>, 2011.
- [38] SLF: *White Risk Mobile (Smartphone-App)*. [http://download.whiterisk.org/WRStore/lang\\_d/mobile/mobile.jsp](http://download.whiterisk.org/WRStore/lang_d/mobile/mobile.jsp), 2012.

- 
- [39] SLF: *RAMMS - Two-dimensional dynamics modeling of rapid mass movements in 3D alpine terrain*. <http://ramms.slf.ch/ramms/>, 2013.
- [40] STIDEL NOVERRAZ, M.: *In die Berge mit einigen Klicks. 1. Teil: Auswahl von informativen Websites*. [http://alpen.sac-cas.ch/de/zeitschrift/artikel-einzelanzeigen/?user\\_fjx145\\_pi1%5bmode%5d=single&user\\_fjx145\\_pi1%5bartid%5d=1000000267](http://alpen.sac-cas.ch/de/zeitschrift/artikel-einzelanzeigen/?user_fjx145_pi1%5bmode%5d=single&user_fjx145_pi1%5bartid%5d=1000000267), 2012.
- [41] SWISSTOPO: *Skitourenkarten 1 : 50'000 253S Gantrisch, 263S Wildstrubel*. <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/maps/leisure/ski.html?mapnr=2>, 2007.
- [42] SWISSTOPO: *Atlas der Schweiz 3*. <http://www.atlasderschweiz.ch/>, 2011.
- [43] SWISSTOPO: *Swiss Map online (Desktop Software)*. <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/maps/smonline.html>, 2011.
- [44] SWISSTOPO: *Digitales Terrainmodell swissALTI3D (10m)*. <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/height/swissALTI3D.html>, 2013.
- [45] SWISSTOPO: *geodatanews 28*. <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/docu/pub/topography/geodatanews.html>, 04 2013.
- [46] SWISSTOPO: *Geoportal Schweiz*. <http://map.admin.ch/>, 2013.
- [47] SWISSTOPO: *Grossmassstäbliches Topografisches Landschaftsmodell der Schweiz swissTLM3D*. <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/swissTLM3D.html>, 2013.
- [48] TOBLER, K.: *Diese Blätter sind ausserordentlich gut ausgeführt*. In: *Die Alpen 11/2012*, 2012.
- [49] TYDAC: *Hangneigungskarte mapplus*. [www.mapplus.ch](http://www.mapplus.ch), 2013.
- [50] UTELLI, H.-H. und A. EISENHUT: *GIS-Analyse Skitourenrouten nach Risikostufe*. [http://www.bfu.ch/PDFLib/1799\\_105.pdf](http://www.bfu.ch/PDFLib/1799_105.pdf), 2012.
- [51] WICKY, M.: *Lawinen und Risikomanagement: für Touren mit Ski, Snowboard oder Schneeschuhen: Grundlagen, Planung, Strategien, Mensch, Rettung*. Bergpunkt AG, 2012.
- [52] WINKLER, K. AND WESSELS, J.: *Neues Bulletin. Zoombar, interaktiv, übersichtlich*. In: *Die Alpen 11/2012*, 2012.
- [53] WINKLER, K., H.P. BREHM und J. HALTMEIER: *SAC Bergsport Winter: Technik/ Taktik/ Sicherheit*. SAC, 2012.

Zugriff Internetquellen: 2013-06



---

Teil V

## Anhang

Beispiel-Tourenbeschriebe aus SAC-Skitourenführer (Quelle: [2])

Gesamtübersicht Online-Umfrage

Übersicht Testgebiet mit Modellierungsergebnissen (Karte 8)

Verwendete GIS-Werkzeuge (Quelle: [13])

Entwickelte GIS-Berechnungsmodelle

Auszug aus "Skitouren Berner Alpen West" von Daniel Anker und Ralph Schnegg aus dem Jahr 2000. (SAC-Verlag, Bern)

## Männliflue 2652.3 m – Schattigi Schibe 2598 m

Die Männliflue ist der höchste Gipfel im eigentlichen Diemtigtal, denn das höhere Gsür liegt schon etwas ausserhalb. Die Männliflue ist eines der begehrtesten Ziele in der Chilei, einem Seitenast des Diemtigtals, der bei Schwenden abzweigt und sich gegen das Engstlimental erstreckt. An Wochenenden herrscht da viel Autoverkehr, weil der Talkessel der schneesicheren Chilei viele schöne Skiberge aufweist. Es gibt nun aber zwei andere Routen auf die Männliflue. Zum einen von der Busstation Achseten im Engstlimental über den Otterepass: ein überraschender und direkter Einstieg in eine der beliebtesten Skiecken des Diemtigtals. Zum anderen direkt aus dem Diemtigtal durch das Gurbs-Tal: eine wilde, grossartige Tour. Und falls dabei der Ausstieg auf die Männliflue wegen einer zu grossen Wächte nicht möglich ist, wartet daneben ihr Westgipfel, die Schattigi Schibe (2598 m), auf entdeckungsfreudige Skibergsteiger. Die Schattigi Schibe: ein neuer Ski-berg im Diemtigtal.

### 432 Von der Grimmialp via Vordere Fildrich über die S-Seite

**ZS-** Gipfelhang auf 300 Hm durchschnittlich 30°, zuletzt 38°  
**Höhenunterschied:** 1420 m von Grimmialp, 1300 m von Vordere Fildrich  
**Hangrichtung:** W, S  
**Zeit:** 5 Std. von Grimmialp, 4 Std. von Vordere Fildrich  
**LK:** 263 S; 1247  
**Foto:** S. 451, 461

**Ausgangspunkt:** Grimmialp (1235 m) bzw. Vordere Fildrich (1353 m) in der Chilei.

**Bemerkungen:** Im Winter und Frühling unter der Woche zuweilen Militär in der Chilei.

**Aufstieg:** Von Grimmialp/Egg (1235 m) – hierher von der Postautohaltestelle «Winteregg» oder von der Endstation beim Hotel Spillgerten – auf dem Strässchen auf der westlichen Seite ins Tal der Chilei. Bei P. 1269 überschreitet man den Fildrich-Bach und folgt der von Skitourenfahrern befahrenen Strasse bis Vordere Fildrich (1353 m).

Von Vordere Fildrich (1353 m) taleinwärts dem Strässchen entlang über Hindere Fildrich zur Steibode-Hütte (1558 m). Linkerhand den Fildrich-Bach überschreiten und dem Sommerweg folgend zur unteren Mittelberg-Hütte (1721 m). In flachem Gelände durch Mulden und über Kuppen nordostwärts, links eines Waldes empor in den Talkessel von Oberberg. Bei P. 1906 nach Norden abbiegen und einen Steilhang in Richtung P. 2151 im Obertal ersteigen. Am Fuss des Gipfelaufbaus der Männliflue entlang in den Kessel unterhalb des Winterhore (P. 2362). Etwas rechtsausholend in einer steilen Mulde, die man oben nach links verlässt, nordwärts mit Ski bis auf den Gipfel der Männliflue (2652.3 m); der Gipfelhang ist auf 300 Hm durchschnittlich 30°, zuletzt 38°.

Auszug aus "Skitouren Berner Alpen West" von Daniel Anker und Ralph Schnegg aus dem Jahr 2000. (SAC-Verlag, Bern)

## Galmschibe 2425 m

Eines der bekannteren Skiziele im Diemtigtal. Autofahrende Spätaufsteher haben an sonnigen Winterwochenenden Mühe, unten einen Park- und oben einen Gipfelplatz zu finden.

### 431 Von der Grimmialp via Vordere Fildrich über die W-Seite

**WS-** Abfahrt durch den Scheerizug (Variante a): WS+ (36° auf 100 Hm)  
**Höhenunterschied:** 1190 m von Grimmialp, 1070 m von Vordere Fildrich  
**Hangrichtung:** W  
**Zeit:** 3 1/2 Std. von Vordere Fildrich  
**LK:** 263 S; 1247  
**Foto:** S. 451, 463

**Ausgangspunkt:** Grimmialp (1235 m) bzw. Vordere Fildrich (1353 m) in der Chilei.

**Bemerkungen:** Manchmal ist die W-Seite ziemlich verblasen und im unteren Teil aper. Ausweichtouren sind Männliflue und Drümännler. Unter der Woche zeitweise Schiessbetrieb.

**Aufstieg:** Von der Grimmialp (1235 m) auf R. 432 (Männliflue) über Vordere Fildrich (1353 m) gegen die untere Mittelberg-Hütte (1721 m). Unterhalb davon nordwärts gegen die obere Mittelberg-Hütte und linkshaltend zur übernächsten Hütte (1947 m). Über den sich zuspitzenden Westrücken zum Gipfelaufbau; Skidepot auf etwa 2400 m. Zu Fuss über ein paar Felsblöcke leicht auf den höchsten Punkt (2425 m) der Galmschibe.

**Abfahrt:** Wie Aufstieg.

a) **Durch den Scheerizug:** Bei sicheren Verhältnissen direkt über den Westrücken und durch seine Fortsetzung, die 400 m hohe Lawinenrunse Scheerizug hinab (die obersten 100 Hm sind 36° steil, dann wird es flacher).

Auszug aus "Skitouren Berner Alpen West" von Daniel Anker und Ralph Schnegg aus dem Jahr 2000. (SAC-Verlag, Bern)

## Drümännler 2436 m

Früher ein Geheimtip im Skitourental Chilei; heute ist seine SW-Flanke manchmal so verfahren wie die Hänge der Galmschibe. Nicht nur deshalb lohnt sich der Wiederaufstieg aus dem Chumpli auf den Bodezehorn Westgipfel (2331 m). Wer am Drümännler – der Gipfel hiess früher Wannenspitz – unverspurte Hänge sucht, wagt sich in seine abschüssige E-Flanke oder in die SW-Flanke des Undere Wannenspitz (2208 m); hier nicht beschrieben.

### 429 Von der Grimmialp via Vordere Fildrich über die SW-Flanke

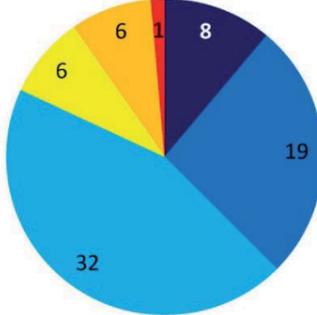
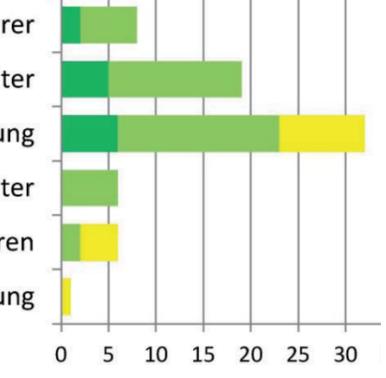
**WS** bis ZS; je nach Höhe und Ort des Skidepot  
**Höhenunterschied:** 1200 m von Grimmialp, 1080 m von Vordere Fildrich  
**Hangrichtung:** SW  
**Zeit:** 4 1/2 Std. von Grimmialp, 3 1/2 Std. von Vordere Fildrich  
**LK:** 263 S; 1247  
**Foto:** S. 451

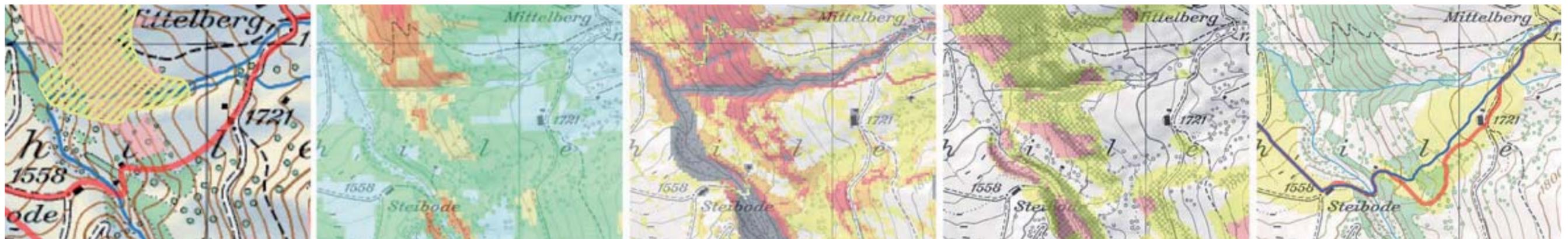
**Ausgangspunkt:** Grimmialp (1235 m) bzw. Vordere Fildrich (1353 m) in der Chilei.

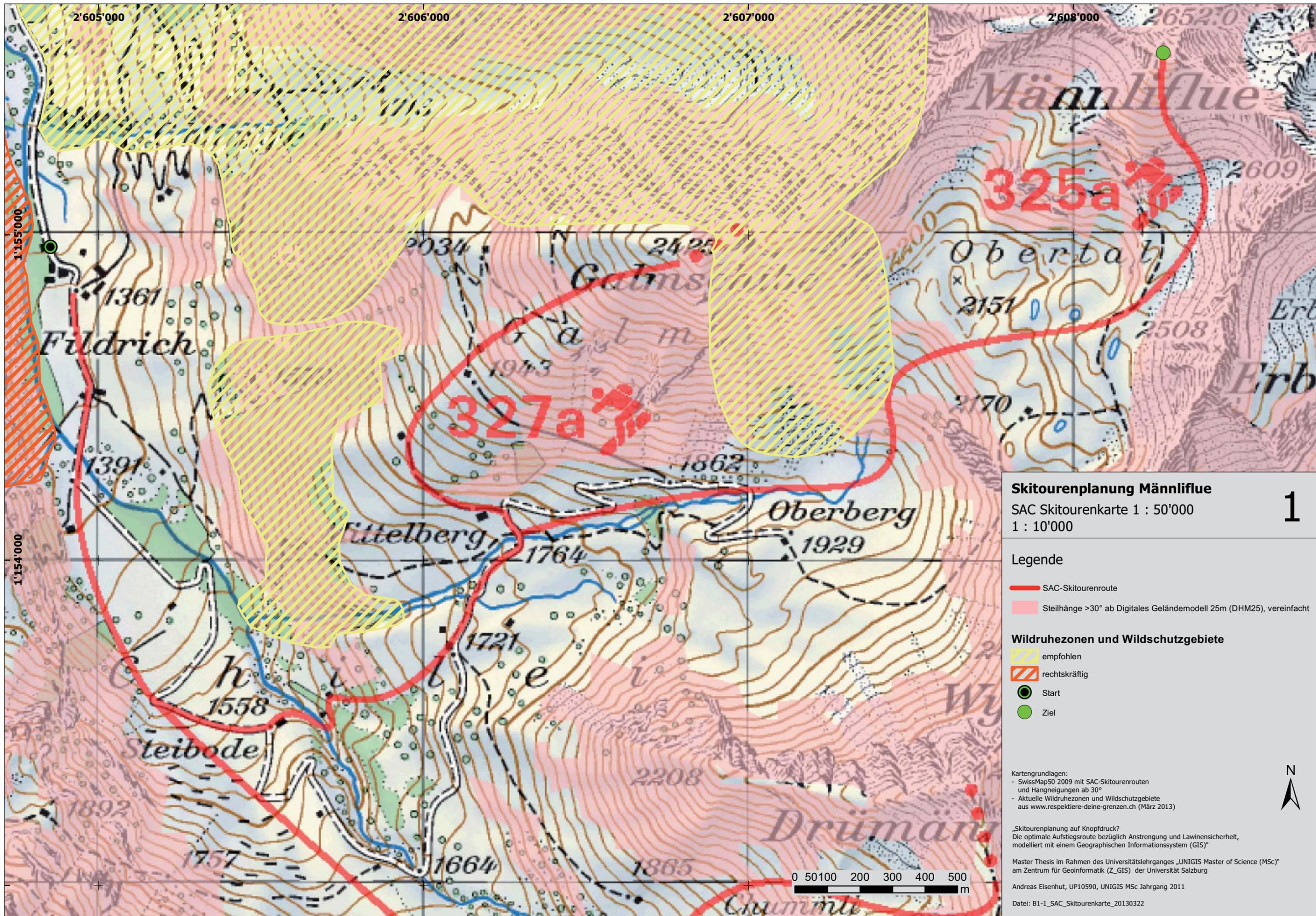
**Bemerkungen:** Oft schon im Winter Frühjahrsschnee. Ab Februar unter der Woche militärische Ski- und andere Übungen in der Chilei möglich.

**Aufstieg:** Von der Grimmialp (1235 m) auf R. 432 (Männliflue) nach Vordere Fildrich (1353 m). Über die Ebene von Fildrich und über den Bach. Über die sanften Hänge südostwärts nach Steibode und gegen links abdrehen zum Südwesthang des Drümännler. Hier ziemlich steil (34° auf 100 Hm) im Zickzack hinauf und nach rechts in eine Senke (P. 2168). In der SW-Flanke (34° auf 100 Hm) gegen den S-Grat des Drümännler hinauf und über diesen, zuletzt zu Fuss, auf den Gipfel (2436.2 m), wobei man je nach Schneelage und skifahrerischem Können das Skidepot weiter unten oder fast zuoberst machen wird. Man kann auch die SW-Flanke links der Gipfelfallinie hochsteigen und durch ein steiles Couloir (knapp 40°) den schmalen W-Grat gewinnen. Über diesen zu Fuss (oder evtl. gar mit Ski!) auf den höchsten Punkt.

## Gesamtübersicht Online-Umfrage

<h3>Skitourenplanung auf Knopfdruck? -&gt; Sag mir deine Meinung!</h3>	<h3>Fragen</h3>	<h3>Ergebnisse</h3>														
<p>Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer dieser Umfrage, lieber Skitourenfreak</p> <p>In der Abschlussarbeit meiner Weiterbildung habe ich die Chance, privates und berufliches "Herzblut" zu kombinieren :-) Der Titel meiner Arbeit lautet: <b>"Skitourenplanung auf Knopfdruck?" - Die optimale Aufstiegsroute bezüglich Anstrengung und Lawinensicherheit, modelliert mit einem Geographischen Informationssystem (GIS)</b></p> <p>Ich stelle mir folgende Fragen: Wie weit kann der Computer (die GIS-Software) für einen beliebigen Skitouren-Aufstieg: - den kraftsparendsten Verlauf berechnen und jeden Routenabschnitt bezüglich Anstrengung bewerten? - den lawinensichersten Verlauf berechnen und jeden Routenabschnitt bezüglich Lawinenrisiko (aus der Grafischen Reduktionsmethode GRM) bewerten?</p> <p>Was diese Arbeit <b>NICHT</b> behandelt: - Lawinengefahr gross und sehr gross (betrachtet werden gering, mässig und erheblich) - Absturzgefahr, Spaltensturzgefahr (es wird nur die Lawinensicherheit behandelt) - Berechnung optimale Abfahrtsrouten - Darstellung der tagesaktuellen Lawinengefahr auf einer Karte - Digitale Hilfe für Unterwegs (z.B. Smartphone-App) -&gt; in der lokalen und zonalen Tourenplanung soll der Fokus auf die "reale Welt" gelenkt werden, auf das Erkennen der Lawinengefahrenmuster, auf den Faktor Mensch und die rollende Planung unterwegs - Optimierung für andere Nutzergruppen (Freerider, Schneeschuhwanderer)</p> <p>Es ist super, wenn du dir für die kommenden Fragen Zeit nehmen und mir deine ehrliche Meinung zu den ersten Resultaten der Arbeit mitteilen kannst, vielen Dank!</p> <p>Die Umfrage kann nur einmal ausgefüllt werden. Sie benötigt mindestens 15min Zeit, bei detaillierter Auseinandersetzung mit dem Thema und der Beantwortung aller Detailfragen jedoch deutlich mehr!</p> <p>Du wirst Schritt für Schritt und mit kurzen Erläuterungen durch die Fragen geführt. Nach jedem Frageblock hast du Gelegenheit, persönliche Bemerkungen anzubringen. Es gibt leider keinen "Zurück"-Knopf.</p> <p>Falls dir trotzdem eine Frage nicht klar genug ist, oder du andere Probleme mit der Umfrage hast, zögere nicht mir zu schreiben: <a href="mailto:andreas.eisenhut@impulsthun.ch">andreas.eisenhut@impulsthun.ch</a></p> <p>Nun kanns losgehen!</p>	<p><b>Name des Testers</b> <i>Hinweis: Name erscheint nicht in der Abschlussarbeit</i></p> <p><b>Deine Skitourenleiter-Funktion / Erfahrung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bergführer</li> <li>• SAC / J+S Skitourenleiter 2 (Gruppenleiter)</li> <li>• Auf eigene Verantwortung auf Skitouren unterwegs</li> <li>• SAC / J+S Skitourenleiter 1 (Hilfsleiter)</li> <li>• Als Teilnehmer auf geführten Skitouren unterwegs</li> <li>• Keine Skitourenenerfahrung</li> <li>• ....</li> </ul>	<p>Diente für Rückfragen und Gespräche</p> <p>Total <b>72</b> Teilnehmende, aufgeteilt in:</p>  <table border="1"> <caption>Participant Experience Distribution</caption> <thead> <tr> <th>Funktion / Erfahrung</th> <th>Anzahl</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bergführer</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>SAC Gruppenleiter</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td>Auf eigene Verantwortung</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>SAC Hilfsleiter</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Teilnehmer auf gef. Touren</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Keine Skitourenenerfahrung</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Funktion / Erfahrung	Anzahl	Bergführer	8	SAC Gruppenleiter	19	Auf eigene Verantwortung	32	SAC Hilfsleiter	6	Teilnehmer auf gef. Touren	6	Keine Skitourenenerfahrung	1
Funktion / Erfahrung	Anzahl															
Bergführer	8															
SAC Gruppenleiter	19															
Auf eigene Verantwortung	32															
SAC Hilfsleiter	6															
Teilnehmer auf gef. Touren	6															
Keine Skitourenenerfahrung	1															
<p><b>Benötigte PDF-Datei für die Beantwortung der Fragen</b></p> <p>Bitte speichere zuerst folgendes PDF lokal bei dir ab, du benötigst es für die weiteren Fragen: <a href="#">Skitourenplanung_GIS_Eisenhut.pdf</a></p> <p>Das PDF beinhaltet die SAC-Tourenbeschreibungen der Testskitouren (Männliflue, Galmschibe und Drümännler), Karten (Nummer 1 bis 7) der "Test-Skitourenplanung" vom Fildrich auf die Männliflue sowie (als Ergänzung zu dieser Umfrage, wenn du noch magst) eine Kurzanleitung zur digitalen Tourenplanung mit "GoogleEarth" (siehe Erläuterungen am Schluss der Umfrage).</p>	<p><b>Karte 1 und 7 des PDFs: Herkömmliche Unterlagen für die Skitourenplanung zu Hause</b></p> <p><i>Hinweis: Skitourenkarte 50'000 mit Steilhängen und Aufstiegsrouten, Landeskarte 1 : 25'000, Skitourenführer (Bitte ankreuzen, wenn zutreffend)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ich war selbst schon mal via diese Route auf der Männliflue</li> <li>• Ich kenne diese Planungs-Unterlagen bestens</li> <li>• Ich kenne solche Planungsunterlagen nicht</li> </ul>	 <table border="1"> <caption>Map Knowledge Distribution</caption> <thead> <tr> <th>Kategorie</th> <th>Anzahl</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Route selbst begangen</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>CH-Karten bekannt</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>CH-Karten nicht bekannt</td> <td>14</td> </tr> </tbody> </table>	Kategorie	Anzahl	Route selbst begangen	13	CH-Karten bekannt	45	CH-Karten nicht bekannt	14						
Kategorie	Anzahl															
Route selbst begangen	13															
CH-Karten bekannt	45															
CH-Karten nicht bekannt	14															





**Skitourenplanung Männliflue**  
 SAC Skitourenkarte 1 : 50'000  
 1 : 10'000

**1**

- Legende**
-  SAC-Skitourenroute
  -  Steilhänge >30° ab Digitales Geländemodell 25m (DHM25), vereinfacht

- Wildruhezonen und Wildschutzgebiete**
-  empfohlen
  -  rechtskräftig
  -  Start
  -  Ziel

Kartengrundlagen:  
 - SwissMap50 2009 mit SAC-Skitourenrouten und Hangneigungen ab 30°  
 - Aktuelle Wildruhezonen und Wildschutzgebiete aus [www.respektiere-deine-grenzen.ch](http://www.respektiere-deine-grenzen.ch) (März 2013)

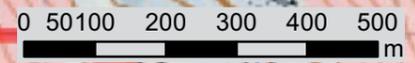


„Skitourenplanung auf Knopfdruck“  
 Die optimale Aufstiegsroute bezüglich Anstrengung und Lawinsicherheit, modelliert mit einem Geographischen Informationssystem (GIS)“

Master Thesis im Rahmen des Universitätslehrganges „UNIGIS Master of Science (MSc)“ am Zentrum für Geoinformatik (Z\_GIS) der Universität Salzburg

Andreas Eisenhut, UP10590, UNIGIS MSc Jahrgang 2011

Datei: B1-1\_SAC\_Skitourenkarte\_20130322



## Fragen, Hinweise

### Karte 2 des PDFs: bestehende Hangneigungskarte auf dem Internet

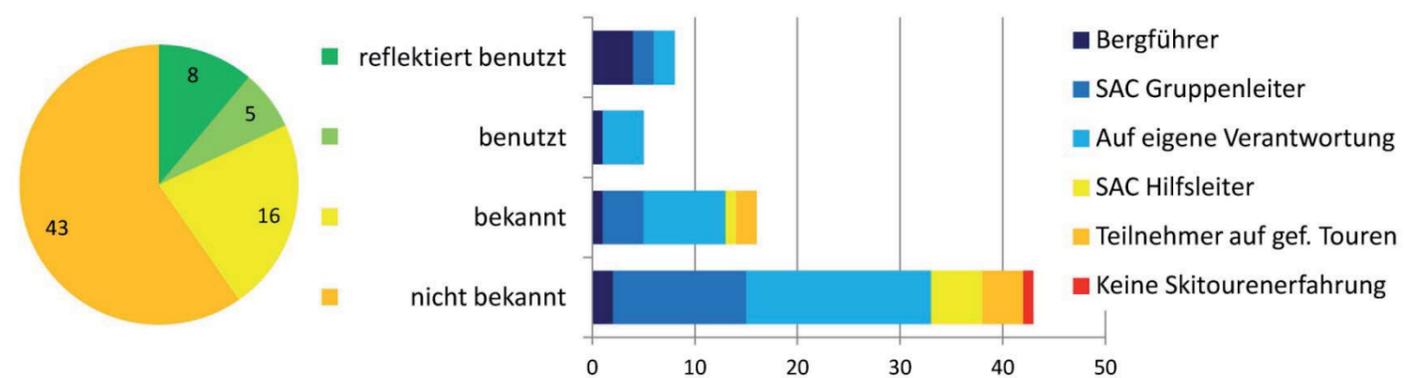
*Hinweis:* Hangneigungskarte von [www.mapplus.ch](http://www.mapplus.ch) (Grundlage: Digitales Geländemodell 25m), eingebunden ins Geoportals [map.geo.admin.ch](http://map.geo.admin.ch). Bitte zutreffende Aussage ankreuzen:

- Ich nutze dieses Angebot und bin mir der Genauigkeit dieses Angebots bewusst (Auflösung 25m, zeigt das Gelände grober als die Höhenkurven der 25'000er Landeskarte)
- Ich nutze dieses Angebot für die Skitourenplanung
- Ich kenne dieses bestehende Angebot
- Ich kenne dieses bestehende Angebot noch nicht

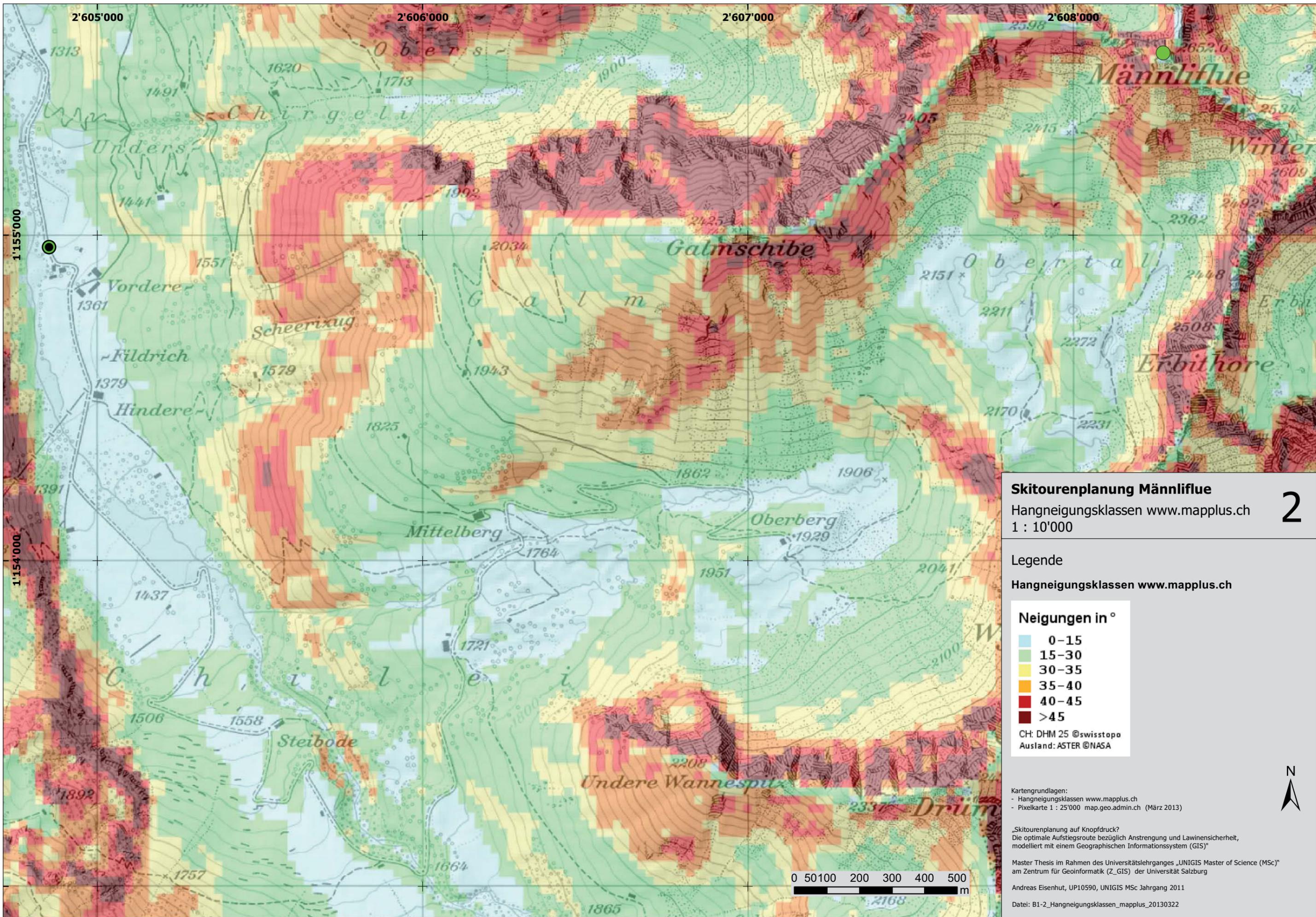
### Karte 2 des PDFs: Weitere Internet-Tourenplanungshilfen?

*Hinweis:* Gibt es weitere (ähnliche) Internet-Tourenplanungshilfen, die du kennst?

## Ergebnisse



- [www.gulliver.it](http://www.gulliver.it) [www.camptocamp.org](http://www.camptocamp.org) [www.mountai-forecast.com](http://www.mountai-forecast.com) [www.wetter.at](http://www.wetter.at) [www.wetter.ch](http://www.wetter.ch) [www.nimbus.it](http://www.nimbus.it)
- keine bekannt, bin noch oldschool mit karte unterwegs
- nicht wirklich ähnlich, aber oft sehr hilfreich ist die Seite [skitouren.ch](http://skitouren.ch) respektive [gipfelbuch.ch](http://gipfelbuch.ch)
- - Ich arbeite mit SwissMap (nicht Internet sondern lokal installiert)
- - Zudem habe ich für Österreich die elektronische Form der Karten, die ist jedoch qualitativ nicht so hochstehende, dafür ermöglicht sie eine 3D Ansicht. Die Hangneigungen lassen sich daraus jedoch ungenügend ablesen
- Tourenportale wie [alpintouren.com](http://alpintouren.com) / [bergsteigen.at](http://bergsteigen.at) / [www.alpenvereinaktiv.com](http://www.alpenvereinaktiv.com) (neu vom OeAV) / ...
- SLF-Seite (Lawinenbulletin)
- TIRIS (<https://portal.tirol.gv.at/mapAccelWeb/ClientServlet?CMD=Init&VIEWID=-139&MAPWIDTH=807&MAPHEIGHT=569&OVMAPWIDTH=200&OVMAPHEIGHT=122&ACTION=0&TYPE=-1&THEMEIDS=7463|2949|3660|4791|5604>)
- Infos über Verhältnisse auf [gipfelbuch.ch](http://gipfelbuch.ch) o.ä.
- verschiedene Tourenportale (mit / ohne Karten)
- [www.GPS-Tracks.com](http://www.GPS-Tracks.com)
- 3D RealityMaps produziert sehr hoch aufgelöste Karten für etliche Skigebiete im Alpenraum. Aber, soweit ich weiss bieten sie keine Auswertung bezüglich Ausdauer und Lawienen an.
- Ich schaue noch ab und zu auf [Gipfelbuch.ch](http://Gipfelbuch.ch) bzgl den aktuellen Verhältnissen (insb. auch Fotos) und ob die Touren bereits gemacht wurden. Sonst drucke ich oft die 25'000 Karte auf [mapplus](http://mapplus.ch) bzw. [geo.admin](http://geo.admin.ch) aus.
- [alpintouren.com](http://alpintouren.com) [lwz-salzburg.org](http://lwz-salzburg.org) [bergfex.at](http://bergfex.at)
- Nicht geeignet für Touren: <http://geo.ebp.ch/gelaendeprofil/>
- Tourenbeschreibungen auf [www.gipfelbuch.ch](http://www.gipfelbuch.ch), GPS-Tracks auf [gps-tracks.com](http://gps-tracks.com) (hat aber nur wenige Skitouren)
- <http://www.wanderwalter.de/karte> Das Angebot ist aber nur entfernt ähnlich. Es geht um Wandern in Deutschland
- nein, da ich in den Bergen unterwegs bin...
- [www.gipfelbuch.ch](http://www.gipfelbuch.ch) [www.hikr.org](http://www.hikr.org) [www.skitouren.ch](http://www.skitouren.ch)
- > Tourenbeschreibungen googeln > [gipfelbuch.ch](http://gipfelbuch.ch) besuchen
- Ich greife nicht auf Kartenmaterialien, aber auf andere Internet-Informationen bei der Tourenplanung zu (Bulletin,etc.).
- eine gute, meist sehr aktuelle info-quelle ist das [gipfelbuch.ch](http://gipfelbuch.ch), aber nicht spezifische planungshilfe auf basis von kartenmaterial - ebenso natürlich [slf.ch](http://slf.ch)
- ui da komme ich mir gerade sehr konservativ vor :) nein kenne keine ausser den guten alten papierkarten...und natürlich dem G: vom Büro IMPULS :)
- [Wanderland.ch](http://Wanderland.ch)
- kenne nur -[slf/meteo](http://slf/meteo) -[gipfelbuch](http://gipfelbuch) -<http://www.respektiere-deine-grenzen.ch/>
- Verschiedene Sites wie [hikr](http://hikr.org) wo man nach aktuell durchgeführten Touren suchen kann und ev. Hinweise auf momentane Verhältnisse findet
- SwissMap Online funktioniert leider nur mit einer Internetverbindung, ist jedoch eine lokale App.
- Google Erth, Fotos aus Führe od Internet
- [www.skitouren.ch](http://www.skitouren.ch) [www.wanderland.ch](http://www.wanderland.ch) [www.gps-tracks.com](http://www.gps-tracks.com)
- [www.skitouren.ch](http://www.skitouren.ch) [www.gipfelbuch.ch](http://www.gipfelbuch.ch)
- [skitouren.ch](http://skitouren.ch): Tourenbeschrieb (meist SAC mit Modifikationen und Alternativen der Autoren) sowie Tourenbuch für die aktuellen Verhältnisse
- Ähnliche kenne ich nicht. Aber andere, wie [skitouren.ch](http://skitouren.ch) und [hikr.org](http://hikr.org).
- nutze 'karte 2' meist, um mir einen ersten groben überblick zu verschaffen.
- Tourenbericht von Privaten, z.B. [Gipfelbuch.ch](http://Gipfelbuch.ch); Hütten-Websites
- Bzgl. Wildruhezonen und Jagdbanngebieten benutze ich [respektiere-deine-grenzen.ch/karte](http://respektiere-deine-grenzen.ch/karte)



**Skitourenplanung Männliflue**

Hangneigungsklassen [www.mapplus.ch](http://www.mapplus.ch)  
1 : 10'000

**2**

Legende

Hangneigungsklassen [www.mapplus.ch](http://www.mapplus.ch)

**Neigungen in °**

- 0-15
- 15-30
- 30-35
- 35-40
- 40-45
- >45

CH: DHM 25 ©swisstopo  
Ausland: ASTER ©NASA

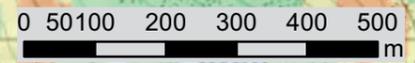
Kartengrundlagen:  
- Hangneigungsklassen [www.mapplus.ch](http://www.mapplus.ch)  
- Pixelkarte 1 : 25'000 [map.geo.admin.ch](http://map.geo.admin.ch) (März 2013)

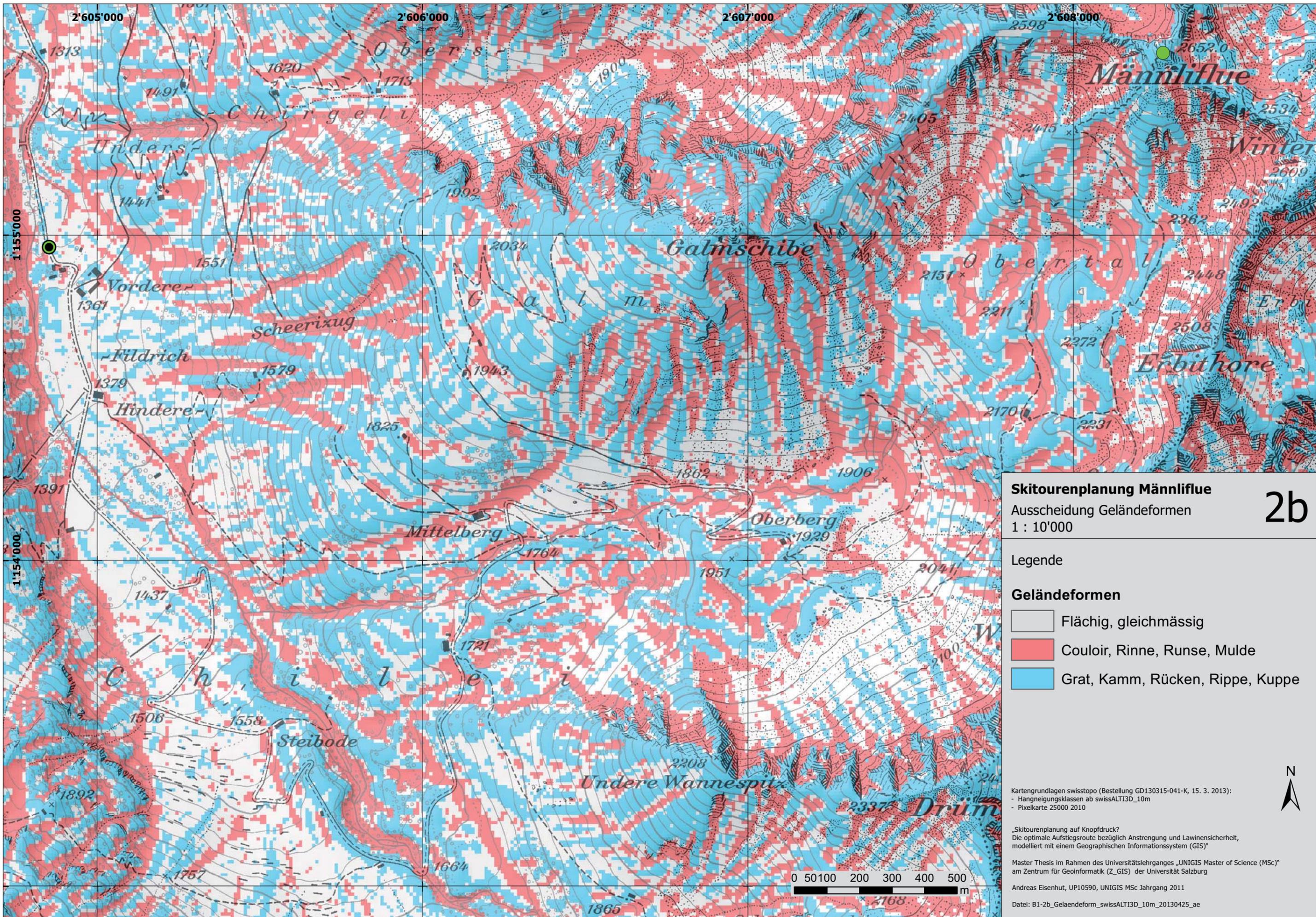
„Skitourenplanung auf Knopfdruck?“  
Die optimale Aufstiegsroute bezüglich Anstrengung und Lawensicherheit, modelliert mit einem Geographischen Informationssystem (GIS)“

Master Thesis im Rahmen des Universitätslehrganges „UNIGIS Master of Science (MSc)“ am Zentrum für Geoinformatik (Z\_GIS) der Universität Salzburg

Andreas Eisenhut, UP10590, UNIGIS MSc Jahrgang 2011

Datei: B1-2\_Hangneigungsklassen\_mapplus\_20130322





**Skitourenplanung Männliflue**

**2b**

Ausscheidung Geländeformen  
1 : 10'000

Legende

**Geländeformen**

- Flächig, gleichmässig
- Couloir, Rinne, Runse, Mulde
- Grat, Kamm, Rücken, Rippe, Kuppe

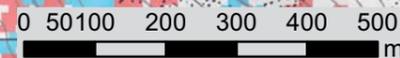
Kartengrundlagen swisstopo (Bestellung GD130315-041-K, 15. 3. 2013):  
- Hangneigungsklassen ab swissALTI3D\_10m  
- Pixelkarte 25000 2010

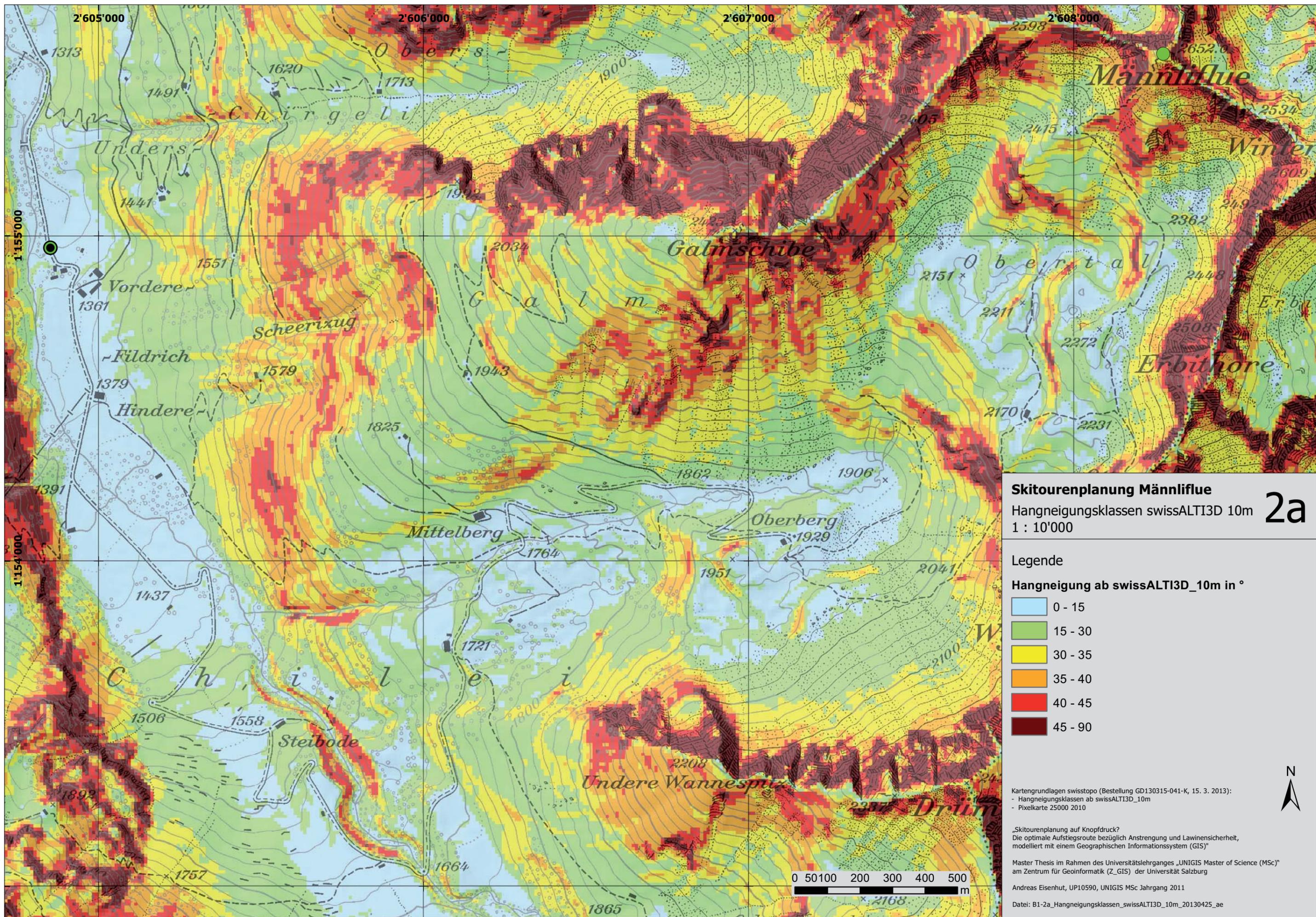
„Skitourenplanung auf Knopfdruck“  
Die optimale Aufstiegsroute bezüglich Anstrengung und Lawensicherheit,  
modelliert mit einem Geographischen Informationssystem (GIS)“

Master Thesis im Rahmen des Universitätslehrganges „UNIGIS Master of Science (MSc)“  
am Zentrum für Geoinformatik (Z\_GIS) der Universität Salzburg

Andreas Eisenhut, UP10590, UNIGIS MSc Jahrgang 2011

Datei: B1-2b\_Gelaendeform\_swissALTI3D\_10m\_20130425\_ae





**Skitourenplanung Männliflue**  
 Hangneigungsklassen swissALTI3D 10m  
 1 : 10'000 **2a**

**Legende**  
 Hangneigung ab swissALTI3D\_10m in °

0 - 15
15 - 30
30 - 35
35 - 40
40 - 45
45 - 90

Kartengrundlagen swisstopo (Bestellung GD130315-041-K, 15. 3. 2013):  
 - Hangneigungsklassen ab swissALTI3D\_10m  
 - Pixelkarte 25000 2010

„Skitourenplanung auf Knopfdruck“  
 Die optimale Aufstiegsroute bezüglich Anstrengung und Lawensicherheit,  
 modelliert mit einem Geographischen Informationssystem (GIS)“

Master Thesis im Rahmen des Universitätslehrganges „UNIGIS Master of Science (MSc)“  
 am Zentrum für Geoinformatik (Z\_GIS) der Universität Salzburg

Andreas Eisenhut, UP10590, UNIGIS MSc Jahrgang 2011

Datei: B1-2a\_Hangneigungsklassen\_swissALTI3D\_10m\_20130425\_ae



## Fragen, Hinweise

### Karte 3 des PDFs (meine Arbeit): Anstrengung / Begehbarkeit für jeden Punkt der Oberfläche

#### Anstrengung / Begehbarkeit

	1 kraftsparend (keine Zusatzkosten)
	2 wenig anstrengend (geringe Kosten)
	3 anstrengend (mittlere Kosten)
	4 sehr anstrengend (hohe Kosten)
	5 extrem anstrengend (sehr hohe Kosten)

Als Basis für die automatische Berechnung der "kraftsparendsten Aufstiegsroute" dient mir diese Oberfläche. Die GIS-Software findet darauf aufbauend automatisch diejenige Route, welche gesamthaft am wenigsten Hindernisse (die kleinsten Kosten) aufweist.

Zusätzlich zu dieser "Widerstands-Oberfläche" kommen für die Berechnung der "kraftsparendsten Aufstiegsroute" noch weitere Eingaben dazu. Ab 30° Hangneigung weicht die Spur beispielsweise seitlich ab, damit die Neigung der Spur 30° nicht übersteigt (ausser im Fussgelände), etc. Auf Details der Berechnungen gehe ich hier jedoch nicht ein.

### Karte 3 des PDFs (meine Arbeit): Beurteilung der Oberflächen-Zusammensetzung

*Hinweis: Wenn du magst, bin ich um dein Feedback zur Anstrengungs-Zusammensetzung froh (siehe Matrix in Karte 3), ausfüllen nicht zwingend*

### Karte 3 des PDFs (meine Arbeit): Persönliche Bemerkungen, Ergänzungen

*Hinweis: Hast du Bemerkungen, Ergänzungen, Fragen zur Zusammensetzung der "Anstrengungs-Oberfläche"?*

## Ergebnisse

Werte OK	Werte zu hoch	Werte zu niedrig	Werte in Beziehung	Merkmal nicht	k.A.	Beurteilung Oberfläche Anstrengung/ Begehbarkeit	Werte OK	Werte zu hoch	Werte zu niedrig	Werte in Beziehung	Merkmal nicht	k.A.
1	2	3	4	4			1	2	3	4	4	
32x	-	2x	-	2x		Geländeform, Flächige gleichmässige Hänge	4x	-	-	-	-	-
35x	-	-	-	2x		Geländeform, Couloir, Rinne, Runse, Mulde	4x	-	-	-	-	-
21x	4x	10x	1x	2x		Geländeform: Grat, Kamm, Rücken, Rippe, Kuppe	3x	-	-	1x	-	-
23x	9x	2x	-	3x		Geschlossener Wald	3x	-	1x	-	-	-
16x	17x	1x	1x	3x		Offener Wald, Einzelbäume	1x	1x	1x	1x	-	-
20x	7x	-	4x	6x		Untergrund, Felsbereiche	2x	1x	-	-	1x	-
15x	7x	2x	7x	6x		Untergrund, stehende Gewässer	1x	-	-	1x	2x	-
24x	6x	-	2x	4x		Gebüschwald, Traverse grosser Bach, Böschungen, Häuser	2x	1x	-	-	-	-
20x	12x	-	-	3x		Traverse kleiner Bach, Traverse Baumreihe	1x	2x	-	-	-	-
27x	3x	1x	-	4x		Wege im offenen Gelände und im Gebüsch	3x	-	-	-	-	-
31x	-	1x	-	4x		Wege im geschlossenen und offenen Wald	3x	-	-	-	-	-
34x	-	-	-	2x		Strassen und Strässchen	3x	-	-	-	-	-
<b>Alle Teilnehmer</b>							<b>... davon Bergführer</b>					

- schwierig zu beurteilen und kommt immer auf die letzten erlebnisse an...
- krass...
- Würde flache Wälder (offen und geschlossen) eine Stufe weniger hoch bewerten, da Umgehung von Bäumen im Flachen mit wenig zusätzlichem Aufwand gegenüber offenem Gelände zu machen ist. (Vorausschauende Spuranlage)
- Geländeform (Bemerkungen gelten vor ok)  
Ich würde für alle 3 Geländeformen bis 25 Grad eine 1 vergeben (jede Mulde/jeder Grat bis zu dieser Steilheit kann „gerade“ (ohne Kurven) in dieser Steilheit absolviert werden; von 25 – 30 Grad würde ich für Couloir und Grat eine 2 vergeben. Ein Hang von 30 – 35 % in Form einer Fläche kann nicht strenger sein als ein Grat. (Ich nehme an es geht um Anstrengung nicht um Lawinengefahr).  
See: kommt darauf an ob er begehbar ist oder nicht (Stausee mit Luft unter Eis kann sehr gefährlich sein)
- ..die Werte sind sehr plausibel - deine Erfahrungswerte? Die Absicherung durch eine Umfrage methodisch sehr elegant :)! Aufstieg über steile Hänge korreliert wirklich mit 'Anstrengung'. Die Begehbarkeit von zB dichtem Wald korreliert ebenfalls mit 'Anstrengung'. Diese beiden Raster also aus dieser Sicht durchaus kombinierbar.  
Die Traversierung eines Sees ist wenig anstrengend (Hangneigung 0). Die Begehbarkeit ist aber eher binär: begehbar (sicher) / nicht begehbar (gefährlich). In typischen Skitourenkarten sind Winterouten über Seen eingezeichnet - für mich wäre der Wert "1" vertretbar. "99" im Sinne eines absoluten Ausschlusses ebenso. "3" eher ein 'fauler' Kompromiss?
- Überleg, ob du für deine Oberfläche "no go" Gebiete definierst: Häuser, große Bäche kannst du ja von vorn herein ausschließen. Woher kommt die Information zu den Geländeformen? Verwendest du eine bereits bestehende Klassifikation, oder hast du die Formen selber abgeleitet, zB. aus Kurvaturen, wenn ja, wie objektiv ist diese Einteilung...
- Meiner Meinung nach ist der Bachlauf zwischen Pt. 1764 und Pt. 1904 im Winter kaum als Hindernis wahrzunehmen, da oftmals sehr gut mit Schnee gefüllt. Evtl. hat die Bewertung sehr anstrengend/extrem anstrengend somit einen zu grossen Einfluss auf die Route. Im unteren Teil, wo der Bach ein klares Bachbett geformt hat, trifft die Bewertung eher zu.  
Die Geröllhänge N-NW der "Undere Wannespitz" sind als "extrem anstrengend" bewertet, hingegen jene S "Galmschibe" zu grossen Teilen nur Stufe 1-2.  
Bei 2'607'300/1'153'950 gibt es Stufe 4? Warum? Auf der ersten Karte ist dort gar nichts auszumachen.
- Sieht super aus.
- Bei Skitouren sind die Gewässer sowieso zugefroren und daher ist das meiner Meinung nach zu hoch bewertet.
- Gewisse Bereiche würde ich nicht miteinbeziehen bzw. eine Rückfrage stellen: Extrem steile Hänge: Normalerweise nicht begangen (mit einbeziehen?)
- 

- mir ist nicht ganz klar inwieweit berücksichtigt wird, dass bei steileren Hängen ja die Spur flacher gelegt werden kann (Spitzkehren). Die Anstrengung bleibt dabei ja relativ gleich (außer der der Schnee ist sch... und man rutscht seitlich mit der Spur aus der Spur), nur wird der Weg länger...?
- Ich finde bei Touren durch Wald oder Gebüsch kommt es immer auf die Dichte an was die Schwierigkeit betrifft.
- aktuelle Schneeverhältnisse oder bereits vorhandene Spur beeinflussen die "Anstrengungs-Oberfläche" stark und ist auf dieser Karte nicht darzustellen.
- Meine Einteilungen von der Seite vorher beziehen sich auf den Kartenausschnitt. Ob generell gültig mag ich damit nicht sagen. ob "Kosten" der richtige Ausdruck ist, weiss ich nicht - danke mal an Simone: da ists anstrengender lass uns da lang ;-)
- Zur Verteilung der Werte kann ich nichts beitragen, dafür habe ich zu wenig Erfahrung mit Skitouren.
- Anstrengungsfläche für die Planung nicht relevant. Man kann auch im steilsten Gelände mit guter Spuranlage mit moderater Anstrengung Höhenmeter überwinden. Eigentlich müssten hierbei die Faktoren Zeit vs. Energieverbrauch verglichen werden.
- Traversierung von Bächen und Böschungen ist meiner Meinung nach bei durchschnittlicher Schneelage zu hoch bewertet
- Wie werden die ersten drei Geländeformen (Couloir, Rippen, etc.) generiert?
- schöner ansatz...  
die bemerkungen zu den verschiedenen anstrengungskategorien sind mit vorsicht geniessen (ohne die genaue berechnungsmatrix schwierig)
- Ich würde annehmen, dass die Bäche und Seelein im Winter gefroren sind. Ist ja auch meistens während der Skitourensaison so und die Routen werden auch dementsprechend gelegt. Das würde einiges vereinfachen und Du könntest das auch gut für die User deklarieren.
- - Was bedeutet kleiner Bach? Kleine Bäche häufig eingeschnitten -> in den unteren drei Hangneigungsklassen eher Wert 3 als 4; BAumriehe vergleichbar mit geschlossener Wald? -> in den unteren drei Hangneigungsklassen eher Wert 3 als 4  
- Mir ist der Wert 2 in der ersten Neigungsklasse bei Kuppen, Rippen nicht ganz klar. Wieso nicht 1?
- Wäre es allenfalls denkbar eine Kategorie 'für Skitouren ungeeignet/unmöglich' einzufügen?
- -Geländeform: Grat, Kamm, Rücken, Rippe, Kuppe: wieso ist <15° anstrengender als 15-30°? finde Grat 30-35° anstrengend, ist manchmal zu eng für Spitzkehren und zu Steil um gerade rauf..  
-Verstehe Untergrund Felsbereiche nicht ganz, wenns flach ist ist das doch eingeschnitten? oder rechnest du mit mühsamen Ausweichmanöver in karstigen Gebieten?  
-Untergrund stehende Gewässer: ok, wenn nicht zugefroren können die schon sehr mühsam sein
- Ich hätte gerne die Matrix für Dich ausgefüllt. Mir war aber nicht klar, wie die Spur/Aufstieg verläuft. Die Anstrengung hängt für mich wesentlich davon ab und erst zweitrangig von der Steilheit des Geländes. Kann, wenn gewünscht, nach Deiner Erklärung die Matrix noch einmal ausfüllen.
- Ist Geländeform: Grat, Kamm, Rücken, Rippe, Kuppe bei flacher 15 deswegen schwerer, weil man keine Kante nehmen kann und deswegen rutscht?
- Ich weiss nicht ob ich deine Tabelle richtig verstanden habe. Aber das meine Überlegungen zu den Kreuzen:  
-Felsuntergrund muss nicht zwingend schwieriger begehbar sein.  
-Seen sind im Winter meistens zugefroren und einfacher zu begehen  
-Einzelbäume stören nicht, solange nicht verbuscht  
-Ist ein Grat einfacher zu begehen als ein offener Hang?
- Kommt es nicht darauf an, in welcher Richtung man ein Hindernis überquert?  
eg. ein Bachgraben. In einem Bachgraben laufen ist nicht gleich anstrengend, wie einen Bachgraben zu überqueren.
- Dort wo ich die Werte als zu hoch angegeben habe ist dies evtl. in den flachen Partien im Verhältnis zu anderen anstrengend bis sehr anstrengend zu hoch gewählt.  
Grate als Geländeform können auch schon bei wenig Neigung anstrengend zu begehen sein, physisch und psychisch.
- Wie werden die äusseren Verhältnisse (vorhandene Spur ja oder nein, und was für eine Spur? Schneearart und -menge? Wetter) sowie diejenigen des Gehers (Technik, Kondition, Ausrüstung, Tagesform?)einbegogen?
- aus meiner sicht sind vor allem bei flachen steigungen die 'erschwernisse' zu hoch angesetzt.  
als snowboarder mit dem brett am rucksack ist geschlossener wald wiederum immer sehr anstrengend! (brett bleibt in den ästen hängen, mit splittboard kein problem mehr)
- Die Traversierung von Gewässern hängt von der Schneemenge ab, ist mit genug Schnee und gefrorenem Wasser gar kein Problem, bei fließendem Wasser jedoch sehr gross --> das kann man wohl nicht mit der Schneemenge (oder der durchschnittlichen Schneemenge bez. Hangneigung und Höhe)verbinden?  
Bei Wegen kann man im offenen Gelände abweichen, im geschlossenen Wald aber nicht, da wird es mühsam, sobald mehr als 30° steil. Dito bei einem Grat/einer Rippe.
- puh, das war schwierig zu beurteilen; da wo ich "Werte zu hoch" angegeben habe, bin ich davon ausgegangen, dass es sich ja um Skitouren handelt und ich also mit Schnee und gefrorenen Gewässern rechnen kann. Mir war nicht klar, weshalb du Gebüschwald so viel anstrengender als geschlossener Wald beurteilt hast. Aber das hat wohl wesentlich mit der Vorstellung davon, was ein Gebüschwald ist zu tun - das nervige Legföhrengewächs könnte ja auch vollständig von Schnee bedeckt sein...?  
Und bei einigen Beurteilungen bin ich überzeugt, dass du dir da viele Überlegungen gemacht hast und in den paar Minuten, die ich mir Zeit nehme, komme nicht auf all diese Gedanken. Daher würde ich grundsätzlich deiner Einteilung vollkommen trauen.
- Grundsätzlich waren die Auswahlmöglichkeiten fürs Feedback zu wenig differenziert. Teilweise fand ich einzelne Werte zu hoch oder zu niedrig, aber nicht alle dieser Kategorie.  
Stehende Gewässer: ein globaler Wert ist schwierig, hier müsste fast zwischen Jahreszeiten unterscheiden :-)  
Felsbereiche: ausser in Karstgebieten korreliert diese Schraffur meist mit der Neigung, von da her durch diese abgedeckt...

Zusammensetzung der Oberfläche "Anstrengung / Begehbarkeit"	Hangneigungsstufen					
	flacher 15	15 bis 25	25 bis 30	30 bis 35	35 bis 45	steiler 45
Geländeform: Flächige gleichmässige Hänge (0)	1	1	2	3	4	5
Geländeform: Couloir, Rinne, Runse, Mulde (1)	1	2	3	4	5	5
Geländeform: Grat, Kamm, Rücken, Rippe, Kuppe (2)	2	1	1	2	3	5

Zwischenergebnis 1 (Gelände)						
Geschlossener Wald (TLM12)	3	3	3	4	4	5
Offener Wald (TLM13), Einzelbaeume	2	2	3	4	4	5
Untergrund: Felsbereiche (Signatur Karte TLM1)	3	3	3	4	4	5
Untergrund: stehende Gewässer (Seelein, TLM10)	3					
Gebüschwald 6 (mit Puffer 10m), Traverse grosserer Bach/Fluss, Böschungskanten TLM, Häuser TLM, Schutzgebiete mit Betretungsverbot	5	5	5	5	5	5
Traverse Bach, Traverse Baum- und Gebüschreihe	4	4	4	4	4	5

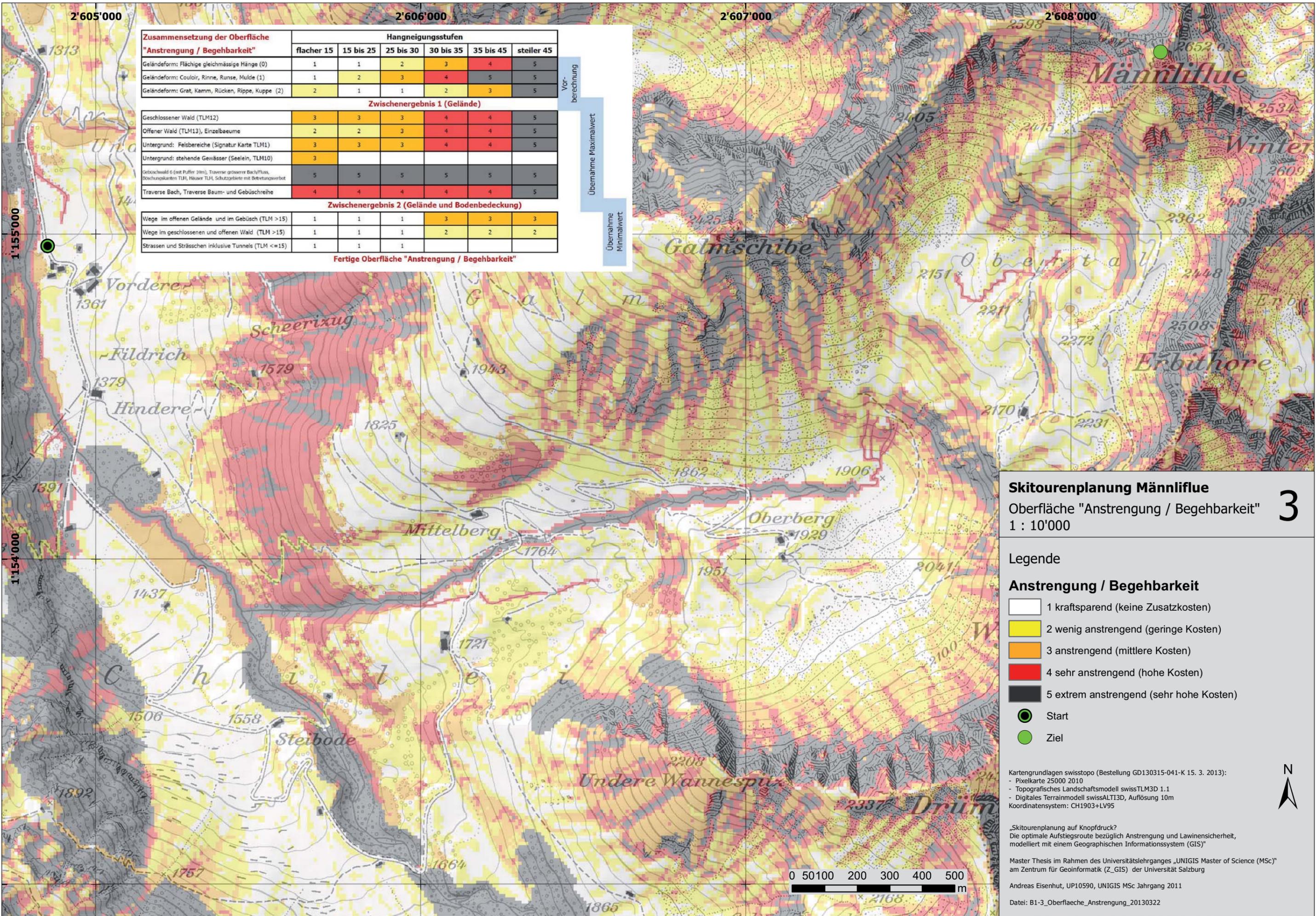
Zwischenergebnis 2 (Gelände und Bodenbedeckung)						
Wege im offenen Gelände und im Gebüsch (TLM >15)	1	1	1	3	3	3
Wege im geschlossenen und offenen Wald (TLM >15)	1	1	1	2	2	2
Strassen und Strässchen inklusive Tunnels (TLM <=15)	1	1	1			

Fertige Oberfläche "Anstrengung / Begehbarkeit"

Vor-  
berechnung

Übernahme  
Maximalwert

Übernahme  
Minimalwert



### Skitourenplanung Männliflue

Oberfläche "Anstrengung / Begehbarkeit"  
1 : 10'000

3

- Legende
- Anstrengung / Begehbarkeit**
- 1 kraftsparend (keine Zusatzkosten)
  - 2 wenig anstrengend (geringe Kosten)
  - 3 anstrengend (mittlere Kosten)
  - 4 sehr anstrengend (hohe Kosten)
  - 5 extrem anstrengend (sehr hohe Kosten)
  - Start
  - Ziel

Kartengrundlagen swisstopo (Bestellung GD130315-041-K 15. 3. 2013):  
 - Pixelkarte 25000 2010  
 - Topografisches Landschaftsmodell swissTLM3D 1.1  
 - Digitales Terrainmodell swissALTI3D, Auflösung 10m  
 Koordinatensystem: CH1903+LV95

„Skitourenplanung auf Knopfdruck“  
 Die optimale Aufstiegsroute bezüglich Anstrengung und Lawensicherheit, modelliert mit einem Geographischen Informationssystem (GIS)“

Master Thesis im Rahmen des Universitätslehrganges „UNIGIS Master of Science (MSc)“ am Zentrum für Geoinformatik (Z\_GIS) der Universität Salzburg

Andreas Eisenhut, UP10590, UNIGIS MSc Jahrgang 2011

Datei: B1-3\_Oberflaeche\_Anstrengung\_20130322



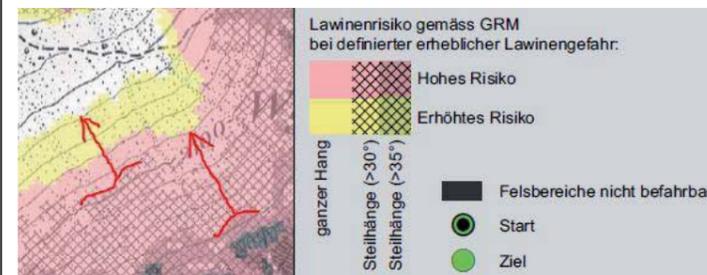
## Fragen, Hinweise

### Karte 4 des PDFs (meine Arbeit): Darstellung Lawinenrisiko

*Hinweis: Basis für die Darstellung bildet die Grafische Reduktionsmethode (GRM), siehe Hinweisfeld in Karte 4. Bitte zutreffende Aussage ankreuzen:*

- Ich benutze die GRM als Baustein in der Tourenplanung zu Hause
- Ich kenne die GRM aus der Theorie
- Ich kenne die GRM nicht

### Karte 4 Modellierungsvorschlag "ganzer Hang inkl. Hangfuss" für Erheblich (Neuschneesituation)



Bei der definierten erheblichen Lawinengefahr (Neuschneesituation) habe ich versucht, den "ganzen Hang inkl. Hangfuss" mit einzubeziehen: Ausgehend von Steilhang (Auslösbereich) fliesst eine Lawine in Hangrichtung maximal 300m weit, wenn das Gelände flacher als 25° wird, bremst die Lawine, flacher als 20° stoppt die Lawine.

### Karte 4 des PDFs (meine Arbeit): Deine Meinung zur Abgrenzung "ganzer Hang inkl. Hangfuss"

*Hinweis: Definition Lawinengefahr mit massgeblichem Hangbereich siehe Karte 4. Wie beurteilst du meine Abgrenzung des "ganzen Hangs"?*

### Karte 4: Einfluss "Geschlossener Wald" auf Lawinenrisiko

*Hinweis: Meine Annahme: Hohes Risiko (rot) im geschlossenen Wald wird erhöhtes Risiko (gelb). Bestehendes Gelb im Wald bleibt gelb. Wie beurteilst du den Wald-Einfluss aufs Lawinenrisiko?*

- Im geschlossenen Wald herrscht bei definiertem Erheblich geringes GRM-Lawinenrisiko (grün), Steilheit egal.
- Wald hat einen noch stärkeren Einfluss: (rot wird zu gelb, gelb wird zu grün)
- Der definierte Vorschlag ist OK (rot wird zu gelb, gelb bleibt gelb)
- Geschlossener Wald hat keinen Einfluss aufs GRM-Lawinenrisiko

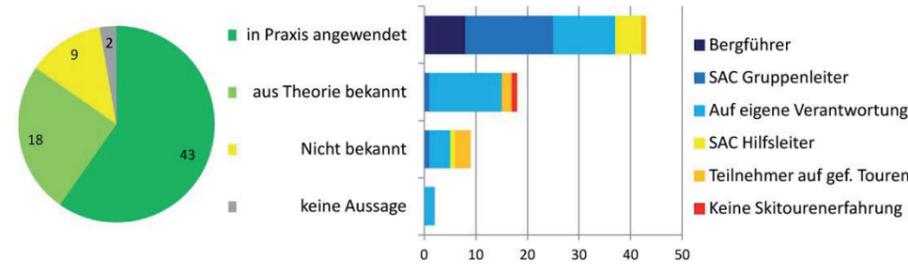
### Karte 4 des PDFs (meine Arbeit): Räumliche Auflösung des verwendeten digitalen Geländemodells sinnvoll oder nicht

*Hinweis: Meiner gesamten Arbeit liegt ein hochauflösendes Digitales Geländemodell (der swisstopo) zugrunde, welche das Gelände sehr präzise abbilden kann. Wie beurteilst du diese räumliche Auflösung (10m)?*

### Karte 4 des PDFs (meine Arbeit): Persönliche Bemerkungen, Ergänzungen

*Hinweis: Hast du Bemerkungen, Ergänzungen, Fragen zur Zusammensetzung der "Darstellung Lawinenrisiko"?*

## Ergebnisse



Abgrenzung OK				Beurteilung Hang bei Erheblich	Abgrenzung OK			
1	2	3	k.A.		1	2	3	k.A.
46x	5x	-	17x	Ganzer Hang im hohen Risiko (rot)	6x	-	-	2x
42x	8x	1x	17x	Ganzer Hang im erhöhten Risiko (gelb)	5x	1x	-	2x
Alle Teilnehmer					... davon Bergführer			



nützlich					Beurteilung räumliche Auflösung	nützlich				
1	2	3	4	k.A.		1	2	3	4	k.A.
55x	1x	3x	6x	3x	Darstellung Lawinenrisiko in meiner Arbeit (Karte 4)	5x	-	1x	2x	-
52x	11x	-	2x	3x	Hangneigungsklassen mapplus (Karte 2)	7x	-	-	1x	-
52x	13x	-	-	3x	Steilhänge in Skitourenkarte (Karte 1)	6x	2x	-	-	-
Alle Teilnehmer						... davon Bergführer				

- Ich finde die technische Berechnung aus folgenden Überlegungen "gefährlich":
  - Sehr starke Fokussierung auf Neuschneesituation führt zu irreführendem Sicherheitsgefühl der User
  - Alle Lawinenstufen sind Bandbreiten Erheblich ist nicht gleich erheblich und können deshalb nicht pauschal elektronisch berechnet werden.
  - Ein Hang kann in Kammnähe erheblich und unten mässig oder gering sein
  - Geschlossener Wald: Wenn er klein ist, schützt er nicht vor einer Lawine von oben...
  - usw.
- Werden diese Neigungs-Schwelwerte, die das Auslaufen bzw. Abbremsen einer Lawine bewirken, standardmäßig verwendet? Ich denke, dass je nach Geländeform - dh ob konkav oder konvex - die Werte verschieden sein müssen. Eine Lawine aus einer Rinne hat durch Kanalisationseffekte eine größere Reichweite...
- Geschlossener Wald ist schwierig - hängt natürlich auch davon ab, wie groß und steil die Hänge oberhalb sind...

- Karte 2 wäre für mich sehr nützlich! GRM ist wahrscheinlich eher heikel aber ein spannender ansatz.
- Gut lesbar. Es springt ins Auge, dass man bei erheblich nicht ohne hohes Risiko auf die Männlifluh gehen kann (wenn ich das richtig verstanden habe).
- Die im Lawinenbulletin genannten Hang- und Höhenlagen werden nicht berücksichtigt. Gerade bei "knapp erheblich" ist dies jedoch oftmals der ausschlaggebende Punkt, ob eine Tour durchgeführt werden kann oder nicht.
- Die Gefahr besteht darin, dass Triebschnee in Kammlagen und Mulden vergessen werden. Die GRM ist ausschliesslich bei Neuschnee und teilweise auch bei Altschnee anzuwenden. Auch Nassschneelawinen sind nicht berücksichtigt.
- Das mit dem Lawinenrisiko und der Hangneigung berechnet aus den 10 m Höhenmodellen ist so eine Sache: Der Punkt ist das Ausgangshöhenmodell: Das ist ja nicht 10 m? Sondern 25 oder das neue. Das Neue kenne ich nicht, das 25 m hat genau im kritischen Bereich von 25 -35 Grad gemäss meinen eigenen Untersuchungen die grössten Fehler. Entscheidend ist ja die die gesamte Hangneigung eines Hanges, sondern die eines Anrissgebietes. Die kann sehr kleinräumig sein, was bei der Modellierung von Risiken mit DTM der grösste Unsicherheitsfaktor bleibt.
- @ Hanglängen und Lawinen: Irgendwelche Validierungsdaten (tatsächliche Ereignisse)in deinem lokalen Ausschnitt? Lawinenrisiko tendenziell grob anzugeben ist wohl nicht verkehrt um die Vagheit der Aussage zu kommunizieren. Das problem an der ganzen Sache sind wohl die stark vereinfachten Vorannahmen, die so ja nur sehr selten zutreffen (viel Neuschnee ohne Windeinfluss). Rechtliche Aspekte bei Übertragung einer derartigen Anwendung in die Praxis sind sicher kritisch, selbst bei Verwendung entsprechender Disclaimer (Unfall auf "grünem" Hang...).
- Übrigens: in Ö gibt es die über 30° markierung von Hängen auf Skitourenkarten leider nicht...
- Wo nur ganz kleine Bereich ins erhöhte risiko fallen, finde ich die unterscheidung nicht sinnvoll.
- Ist reine Theorie! Die Reduktionsmethode kommt nur in einem relativ kleinen Teilbereich aller Situationen im Winter zur Anwendung (siehe Lawinetheorie). Zudem ist die Prognose nach eigenen Angaben des SLF im Schnitt zu 50% falsch! Der Fisch stinkt am Kopf!
- Die praktische Anwendung der Karte kann ich mir noch nicht ganz vorstellen (da sehr detailliert), aber ist ja wohl Teil deiner Arbeit, das herauszufinden ;)
- Zu Lawine/ Wald: mir hat eine Antwort dazwischen gefehlt: geschlossener Wald hat meist den Effekt wie von Dir definiert. Ab einer gewissen Steilheit können aber Lawinen trotzdem den Wald mitreissen. Schraffur und rote/gelbe Farbe sind gut, grün passt mir nicht - verwirrt mit "farblos der übrigen Flächen"
- Die Karte von mapplus dünkt mich genau genug, da es sich eh nicht um eine exakte Wissenschaft handelt
- Du schreibst, auf 25° wird eine Lawine gebremst, bei 20° kommt sie zum Stillstand. Als Kategorie sind aber Hänge mit >30° und >35° ausgewiesen. Vielleicht ergibt das einen Sinn, aber für mich war es irreführend.
- Die Einfärbung des Risikos könnte weiträumiger um die Route sein.
- Lieber ungenau und richtig, als genau und mit der Wirklichkeit nicht zu vergleichen. (Lokale Schneehöhen, Winde usw.) Lawinenbulletin nur zu 70-80% richtig.
- Faktor Schneehöhe bzw. Schneeart als entscheidender Parameter fehlt gänzlich. Lockerschneelawinen vs. Schneebrett etc.
- In einem Wald der vor Lawinengefahr schützt mit einer Steilheit von mehr als 30° ist für Skitourenfahrer weder im Auf noch im Abstieg begehbar, sprich meiner meiner Meinung nach irrelevant für die Lawinengefahr. Die Darstellung mit dem Lawinenauslauf finde ich super. Vielleicht bräuchte man zwei Farben, für die Hangsteilheit und den Auslauf, da das ganze bei Mässig und Gering wieder anders aussieht.
- zur frage 14: wichtig ist der bewusste umgang mit den hangneigungsinformationen - darum sind für mich alle angebote nützlich. für die (manuelle) tourenplanung zu hause würde ich bis heute die skitourenkarte bevorzugen, ist am einfachsten zu interpretieren
- Die Weiterentwicklung wäre dann noch die Auswahl für die Gefahrenstufe mässig... :-)
- Mir ist nicht ganz klar ob du den Wald auch für die Beurteilung ganzer Hang mit einbezieht? Für mich ist eine Reduktion (rot-> gelb, gelb->gelb) nur in den mit XXXX gekennzeichneten Gebieten im Wald plausibel. Ansonsten fliesst die Lawine bis in den Wald hinein. Vielleicht habe ich aber auch etwas falsch verstanden...
- -würde mich interessieren, wie man mit GIS die Auslaufstanz der Lawinen berechnen kann :-). mega cool -ev sind die Auslaufstanz unter grossen (langen) Hängen zu optimistisch, das heisst zu klein, könnte die Lawine noch weiter gehen? Aber du hast deine Berechnungen bestimmt mit den Gefahrenkarten verglichen? Oder geht das nicht, weil die Gefahrenkarten für "gross" und "sehr gross" sind?
- Ich bin mir nicht sicher, ob ich alle Deine Fragen verstanden habe. Grundsätzlich teile ich Deinen Einschätzung.
- Achtung: Dichter Wald, Nassschneelawinen im Frühling nicht sicher.
- Von welcher Gefahrenstufe wird ausgegangen?
- Neigung ab 30 in der Skitourenkarte ist eine Angabe die bei der Tourenplanung für mässig und erheblich noch wenig Detailinfo gibt, ausser Achtung da sollte ich besser (mit den erwähnten anderen Hilfsmitteln) hinschauen.
- alle darstellungen sind in einem gewissen stadium der skitourenplanung nützlich, solange man sich deren genauigkeit bewusst ist, und sie entsprechend einsetzt. eine auflösung wie sie in dieser arbeit vorliegt, wäre aus meiner sicht wünschenswert. sie vermittelt einen guten überblick der möglichkeiten im gelände, nicht nur 'regional'. das grafische ausschliessen der nicht befahrbaren stellen, wenn dann so, ist sehr 'angenehm' für die übersicht.
- Nützlich: die 10m Auflösung finde ich für deine Arbeit nützlich, in der ein Optimum modelliert werden soll. Für meine Tourenplanung erhalte ich gute Hinweise von mapplus und der swisstopo-STK. Zu genaue Angaben bzw. zu feine Auflösung bezüglich Neigung sind ja nicht nur gut, man sollte immer auch in Grössenordnungen denken (30-35, 35-40 etc.) Bezüglich der Ergebnisse des erhöhten Risikos (ganzer Hang). Auf den ersten Blick fand ich die Resultate nicht schlecht. Wurde ein bisschen stutzig, weil einige Häuser knapp in dieser Kategorie lagen, und diese Häuser stehen meist schon lange...liegt aber evtl. auch an der beschränkten Auflösung des DTM.

## Erhebliche Lawinengefahr (Neuschneesituation)



Weil in dieser Arbeit die tagesaktuelle Lawinengefahrensituation nicht berücksichtigt wird, gilt folgende (fiktive) Lawinengefahr:

- Neuschneesituation
- Lawinengefahr in allen Expositionen und Höhenlagen erheblich
- Alle Expositionen und Höhenlagen werden in der GRM-Anwendung als ungünstig eingestuft
- Bei der Ermittlung des GRM-Lawinenrisikos wird der „ganze Hang inkl. Hangfuss“ mitberücksichtigt.

- Geschlossener Wald im hohen GRM-Risiko wird als "Erhöhtes Risiko GRM" eingestuft.

## Grafische Reduktionsmethode (GRM)

steilste Stelle in ° (mind. 20 x 20m) im massgeblichen Hangbereich	Gefahrenstufe		
	gering	mässig	erheblich
40°	gering	mässig	erheblich
35°		20m um Spur	ganzer Hang inkl. Hangfuss
30°	Spur		

massgeblicher Hangbereich

- Hohes Risiko: Verzicht empfohlen, Alternativen
- Erhöhtes Risiko: Erfahrung nötig (Musteranwendung, etc.)
- Geringes Risiko

## Skitourenplanung Männliflue

Darstellung "Lawinenrisiko"  
1 : 10'000

4

### Legende

Lawinenrisiko gemäss GRM bei definierter erheblicher Lawinengefahr:

- Hohes Risiko
  - Erhöhtes Risiko
  - Felsbereiche nicht befahrbar (>55°)
  - Start
  - Ziel
- ganzer Hang  
Steilhänge (>30°)  
Steilhänge (>35°)

Kartengrundlagen swisstopo (Bestellung GD130315-041-K 15. 3. 2013):  
- Pixelkarte 25000 2010  
- Topografisches Landschaftsmodell swissTLM3D 1.1  
- Digitales Terrainmodell swissALTI3D, Auflösung 10m  
Koordinatensystem: CH1903+LV95

„Skitourenplanung auf Knopfdruck“  
Die optimale Aufstiegsroute bezüglich Anstrengung und Lawinensicherheit, modelliert mit einem Geographischen Informationssystem (GIS)“

Master Thesis im Rahmen des Universitätslehrganges „UNIGIS Master of Science (MSc)“ am Zentrum für Geoinformatik (Z\_GIS) der Universität Salzburg

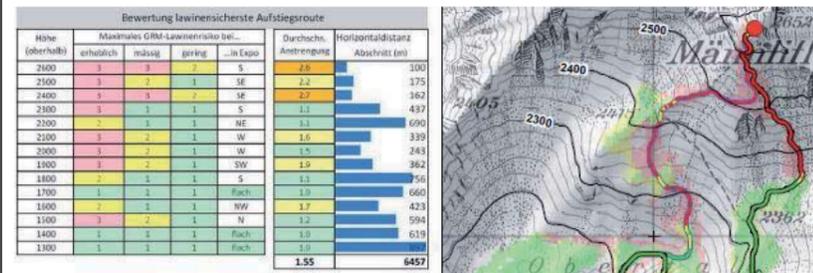
Andreas Eisenhut, UP10590, UNIGIS MSc Jahrgang 2011

Datei: B1-4\_Oberflaeche\_Lawinenrisiko\_20130322



## Fragen, Hinweise

### Karten 5 und 6: Berechnete Aufstiegsrouten mit automatischer Bewertung



Die Karten 5 und 6 zeigen nun die Ergebnisse des Prototyps meiner Arbeit für die Skitour vom Fildrich auf die Männliflue. Neben den optimalen Routen ist auch der "Korridor" als Fläche dargestellt. Der Korridor beinhaltet die "Bereiche mit annähernd denselben optimalen Bedingungen", zusammengefasst für beide Aufstiegsrouten. In Karte 5 sind Korridor und Aufstiegsrouten bezüglich "Anstrengung / Begehbarkeit" eingefärbt, in Karte 6 entsprechend bezüglich "Lawinensicherheit". In der Tabelle ist die Bewertung auf 100hm-Stufen zusammengefasst.

### Wie stehst du grundsätzlich zu solchen oder ähnlichen Computer-Tourenplanungswerkzeugen?

- Ich bin begeistert und kann die ersten Schritte meiner Tourenplanung noch präziser als bisher ausführen
- Ich sehe darin neue Möglichkeiten für die Skitourenplanung zu Hause (Ergänzend zu bewährten Hilfsmitteln)
- Ich bin skeptisch, aber interessiere mich für neue Entwicklungen
- Ich bin sehr skeptisch, halte (noch) nichts von solchen Planungswerkzeugen
- Ich möchte diesbezüglich keine Aussage machen

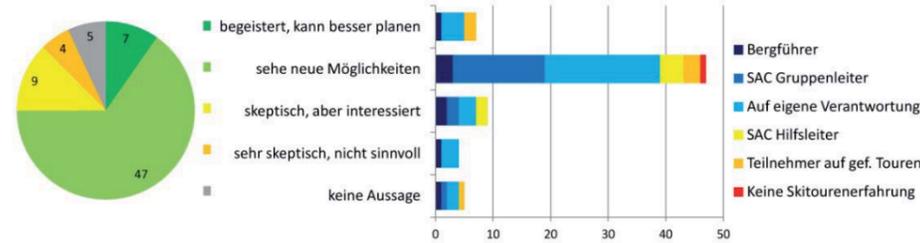
### Karten 5 und 6: Sind die Ergebnisse zufriedenstellend, nachvollziehbar?

*Hinweis: Wie beurteilst du die Resultate der mit GIS-berechneten Routen?*

### Karten 5 und 6 des PDFs (meine Arbeit): Persönliche Bemerkungen, Ergänzungen

*Hinweis: Hast du Bemerkungen, Ergänzungen, Fragen zu den Auswertungskarten?*

## Ergebnisse

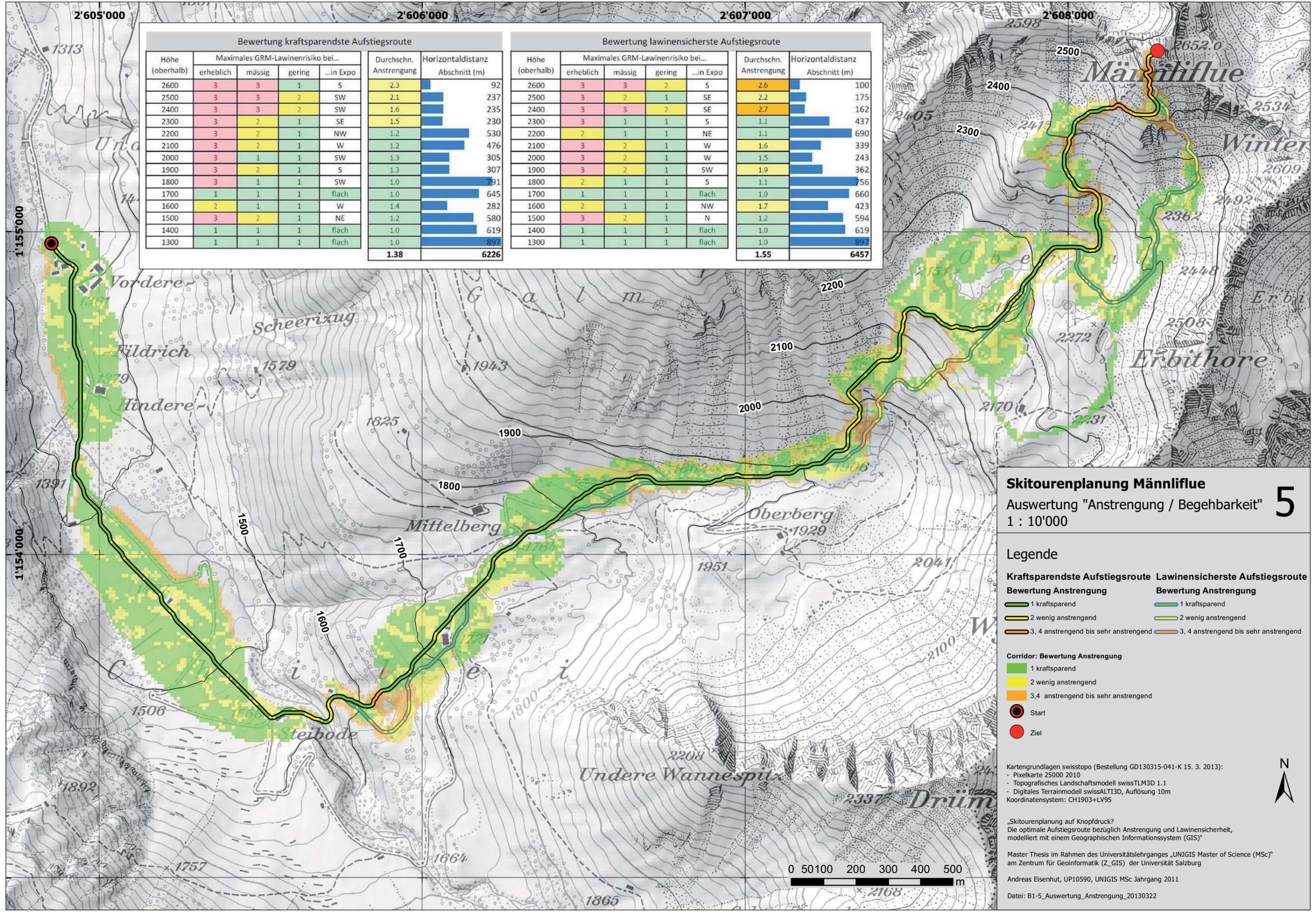


optimal	meist ok	noch deutliche Mängel	nicht brauchbar	k.A.	Beurteilung Linienführung und Bewertung	optimal	meist ok	noch deutliche Mängel	nicht brauchbar	k.A.
21x	32x	1x	2x	11x	Linienführung der "kraftsparendsten Aufstiegsroute"	1x	4x	-	1x	1x
15x	32x	3x	2x	13x	Bewertung der "kraftsparendsten Aufstiegsroute"	1x	3x	-	1x	1x
21x	29x	6x	1x	9x	Linienführung der "lawinensichersten Aufstiegsroute"	2x	2x	1x	-	2x
15x	27x	6x	2x	15x	Bewertung der "lawinensichersten Aufstiegsroute"	2x	1x	2x	-	2x
Alle Teilnehmer						... davon Bergführer				

- Elektronische Hilfsmittel sind ok in Planung insoweit sie Hilfsmittel bleiben die dem Menschen Denkmaterial zubringen. Unsere Erfahrung, unsere Intelligenz und unser Gefühl kann und sollte nie bei mathematischen Simulationen und Computermodellen ersetzt werden. Den niedrigsten Risikofaktor in einer alpinen Aktivität erzielt man wenn alle Faktoren in Betracht genommen werden, und möglichst vorort nicht nur mit Vorplanung.
- sieht ja stark aus, hast du das mit anderen beispielen auch schon durchgespielt? kannst du z.B. die schafwies ab der laui mal berechnen lassen? das würde ich gut kennen und ich könnte mir vorstellen, dass es noch tricki ist :-)
- Für mich interessant zu sehen wo es am kraftsparendsten wäre. Vorallem da man häufig sagt, dass der kraftsparendste Aufstieg in der Regel auch der Lawinensicherste und umgekehrt ist. Wäre Interessant an einigen Beispielen zu sehen obs wirklich so ist...
- Es gibt einzelne Stellen wo horizontale Querungen vorkommen. Das macht niemand so!
- Generell Coole Sache! Würde den Prototyp gerne testen.  
Prinzipiell:  
a) ich gehe davon aus, dass der User seine Route selbst einzeichnen kann und dann wird berechnet oder sind die Routen bereits fix voreingezeichnet?  
b) In jedem Fall Haftungsfrage, wenn die "Lawinenhänge" automatisch beurteilt werden, deshalb gefährlich für den Herausgeber  
c) Allenfalls könnte die Haftung reduziert werden, wenn die Tabelle mit der Gefährlichkeitsskala manuell erhöht oder reduziert werden könnte und sich die markierten Hänge entsprechend verlängern oder verkürzen  
d) Gratuliere zur Arbeit! - interessanter Ansatz, Denken muss jedoch noch jeder selbst, sonst wirts gefährlich  
e) Allenfalls wäre es interessant, direkt die Skitouren gem. 1:50000 Karte als Layer darüber zu setzen und zu vergleichen.
- Super spannende Instrumente hast du da kreiert!  
Für mich als "Soft-Skitüreler", der sich fast nur bei mässig rauswagt, ist das Ganze aber wohl (noch) nicht planungsrelevant. Als i-Phone-Anwendung wären die Instrumente sicher spannend.  
Eine Gefahr sehe ich (da wird sicher darauf hingewiesen): Durchschnittswerte (insb. für Lawinensicherheit) haben etwas gefährliches, da Gefahrenherde 'gemittelt' werden.
- Die Linienführung berücksichtigt zu wenig, dass beim Skitouren durch "ausnützen des ganzen Hangs" oftmals eine erhebliche Verbesserung der Spur erreicht werden kann.
- Bin beeindruckt von diesem technischen Instrument, geniale Arbeit!  
aus technischer Sicht hoch spannend.  
Eine Anwendung für mich sähe ich weniger. Ich bin zwar auch der Meinung, dass man mit unserem Kartenmaterial und entsprechendem Wissen schon sehr viele Informationen vor der Tour einholen kann, vertrete aber grundsätzlich die bewusste und gezielte Informationsverarbeitung mit allen Sinnen während der Tour. Also Augen, Ohren, Nase und Bauchgefühl 'offen' halten, anstatt aufs GPS fixiert durchs Gelände ziehen.

- Aus dem hohlen Bauch beurteilt, sind die relevanten Unterschiede der Aufstiegsrouten im obern Bereich (Sparsam /n Sicher) gut dargestellt. Für die Entscheidung vor Ort auf der Tour betrachte ich diese Berechnungen als sehr Hilfreich. Fließen doch viele Faktoren in die definitive "Bauch-" Entscheidung - inkl. umkehren, wenn notwendig / zu kritisch.  
Max Rü
- GIS-auswertungen sind immer cool - manchmal spannender zum Entwickeln als dann brauchbar :-)) aber dies ist sicher ein interessante und zu verfolgende Idee. Mit welcher Software berechnest du?
- Habe alles mit optimal bewertet. Natürlich gibt es am einen oder andern Ort noch Verbesserungspotenzial (Z. B. Bewertung von Strassen und Wegen), aber im grossen und ganzen sieht das ganze sehr vernünftig aus.  
Zudem sieht man hier jetzt die Planung im 10'000-er, während wir uns bisher gewohnt sind im 25'000-er zu planen, so dass gewisse Feinheiten der Planung, die man jetzt erkennt, bisher gar nicht möglich waren und bisher ienfach im Gelände situativ beurteilt wurden
- Im oberen Teil hätte ich die "kraftsparendste Route" (viel Unterschied in der Anstrengung würde ich nicht erwarten) als lawinensicherer eingeschätzt, weil sie z.T. am Rücken (Sommerweg?) verläuft => inwieweit fließt Geländemorphologie (Mulden, Rücken) in die Routenwahl mit ein?
- Ab und zu erscheinen scheinbar 1 Pixel große Änderungen in der Linie. Ist dies realistisch für z.B. der kraftsparendste Route vor allem in flachen Gelände?
- Mir ist Lawinensicherheit deutlich wichtiger als ein bequemer Aufstieg. Durch Spuranlage kann man ja auch noch einiges machen...
- Die Karte mit der eingezeichneten berechneten Route und auch dem Korridor halte ich für ein sehr gutes Hilfsmittel - natürlich ergänzend zur menschlichen Bewertung der Situation vor Ort.  
Die 100hm-Tabellen halte ich für nicht so hilfreich.
- Die Bemerkung für Karten 5 und 6 habe ich fälschlicherweise bei Karte 4 hingeschrieben. Ich finde die Einfärbung könnte grossräumiger sein.
- Karte 6: Unterscheidung lawinensicher/kraftsparend optisch nur schwer einsehbar - da lediglich die Transparenz als Unterscheidungsmerkmal dient
- Ich habe mir nur den Gipfelbereich angeschaut. Die Kraftsparende Variante (blaue) finde ich gut, da sie flacher ist. Bei der Lawinenrisikobeurteilung wird der Hang oberhalb von der Spur nicht berücksichtigt. Für mich ist Variante blau klar sicherer. Welche würdest Du Wählen wenn du bei einem halben Meter Neuschnee dich entscheiden müsstest? Auch sehe ich bei der Variante blau das Lawinenrisiko zwischen 2300 und 2400 ncht.
- als größte planungsstufe zu hause können die vorgeschlagenen linienführung als "optimal" bewertet werden. die darstellung als korridor lässt einem ja gewisse freiheiten für persönliche vorlieben und insbesondere entscheidungen im gelände.
- Nachteil: Den Rippen und Mulden werden für die Beurteilung der Lawinensicherheit zu wenig Gewicht gegeben.
- -Die Traverse auf 2500 könnte anstrengender sein als die Variante von der Tourenkarte?  
-Ev sind die pixelgenauen Variabilitäten des Risikos im 10 m Bereich zum Beispiel auf 1050, 2040 und 2100 zu genau? Oder denkst du, die Lawinengefahr ändert kann alle 10 m im Hang ändern? Ok, wenn es ganz kleine Rutsche sind..
- ich habe optimal nicht angekreuzt, da ich der Meinung bin, dass die natürlichen Faktoren zu komplex sind und deshalb nicht zu 100% berechnet werden können. Zudem fehlen mir die Ortskenntnisse, um die Aussagen mit meiner Erfahrung abgleichen zu können. Die Auswertungskarten sind aber sicherlich eine gute Unterstützung bei der Tourenplanung.
- Die kraftsparendste Route ist relativ schwierig zu beurteilen wenn man die Tour nicht kennt. Bezüglich Lawinensicherheit würde ich anhand der Karte glaubt oben die linke Aufstiegsroute wählen (muss nicht von unten in den grossen zusammenhängenden Hang laufen)
- ? Lawinensicherheit der empfohlenen Route im Gipfelbereich bei Verwehungen. Sonst finde ich es gut.
- Teils habe ich den Eindruck, dass gerade im flachen oder weniger anstrengenden Gelände zu oft korrigiert wird und so die grosszügigere gerade Linie etwas verloren geht. Andererseits wäre die eigene Spur bei etwas wenig Sicht mit GPS aufgezeichnet auch nicht gerade nur eine zielstrebige Linie sondern eine feiner abweichende Spur je nach Gelände und Neigung. Die Lawinensichere Linie passt gut!
- schwierig zu beurteilen, da ich auch das gebiet nicht kenne.  
bei der kraftsparendsten route stellt sich mir die frage ab welchem punkt ich kurzzeitig höhere anstrengungen in kauf nehme, um die distanz zu minimieren.  
bei der lawinengefahr hätte ich die linke route mit der gratsituation anhand der karte bevorzugt. -weniger schnee weil abgeblasen.
- Was ich gerne zu Bedenken geben möchte: die Linienführung weist zuweilen markante Knicke auf. Ob man diese Knicke in der Landschaft so deutlich erkennt? Es ist auf der Karte nicht klar, welches die Konsequenzen wären - laufe ich in eine Zone mit einem markant höheren Lawinenrisiko?
- Erstaunlich gut!  
Für eine erste Übersicht vor der Tour sicher brauchbar, gibt gute Inputs.  
Hier wurde ja in allen Expo/Höhenstufen dieselbe Lawinengefahrstufe angenommen. Dies ist meist nicht der Fall. Wäre noch interessant zu sehen, wies rauskommt, wenn der Südspickel (SE-S-SW) eine Stufe tiefer sind...  
Die automatisierte Generierung von Schlüsselstellen wäre bei mässig sicher relativ gut möglich, bei Erheblich sicher weniger.

Bewertung kraftsparendste Aufstiegsroute					Bewertung lawinensicherste Aufstiegsroute								
Höhe (oberhalb)	Maximales GRM-Lawinenrisiko bei...				Durchschn. Anstrengung	Horizontaldistanz Abschnitt (m)	Höhe (oberhalb)	Maximales GRM-Lawinenrisiko bei...				Durchschn. Anstrengung	Horizontaldistanz Abschnitt (m)
	erheblich	mässig	gering	...in Expo				erheblich	mässig	gering	...in Expo		
2600	3	3	1	S	2.3	92	2600	3	3	2	S	2.6	100
2500	3	3	2	SW	2.1	237	2500	3	2	1	SE	2.2	175
2400	3	3	2	SW	1.6	235	2400	3	3	2	SE	2.7	162
2300	3	2	1	SE	1.5	230	2300	3	1	1	S	1.1	437
2200	3	2	1	NW	1.2	530	2200	2	1	1	NE	1.1	690
2100	3	2	1	W	1.2	476	2100	3	2	1	W	1.6	339
2000	3	1	1	SW	1.3	305	2000	3	2	1	W	1.5	243
1900	3	2	1	S	1.3	307	1900	3	2	1	SW	1.9	362
1800	3	1	1	SW	1.0	791	1800	2	1	1	S	1.1	756
1700	1	1	1	flach	1.0	645	1700	1	1	1	flach	1.0	660
1600	2	1	1	W	1.4	282	1600	2	1	1	NW	1.7	423
1500	3	2	1	NE	1.2	580	1500	3	2	1	N	1.2	594
1400	1	1	1	flach	1.0	619	1400	1	1	1	flach	1.0	619
1300	1	1	1	flach	1.0	897	1300	1	1	1	flach	1.0	897
					<b>1.38</b>	<b>6226</b>						<b>1.55</b>	<b>6457</b>



### Skitourenplanung Männliflue

Auswertung "Anstrengung / Begehbarkeit" **5**  
1 : 10'000

- Legende**
- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| <b>Kraftsparendste Aufstiegsroute</b> | <b>Lawinensicherste Aufstiegsroute</b> |
| <b>Bewertung Anstrengung</b>          | <b>Bewertung Anstrengung</b>           |
| 1 kraftsparend                        | 1 kraftsparend                         |
| 2 wenig anstrengend                   | 2 wenig anstrengend                    |
| 3, 4 anstrengend bis sehr anstrengend | 3, 4 anstrengend bis sehr anstrengend  |

- Corridor: Bewertung Anstrengung**
- 1 kraftsparend
  - 2 wenig anstrengend
  - 3, 4 anstrengend bis sehr anstrengend
- Start  
● Ziel

Kartengrundlagen swisstopo (Bestellung GD130315-041-K 15. 3. 2013):  
 - Pixelkarte 25000 2010  
 - Topografisches Landschaftsmodell swissTLM3D 1.1  
 - Digitales Terrainmodell swissALTI3D, Auflösung 10m  
 Koordinatensystem: CH1903+LV95

„Skitourenplanung auf Knopfdruck“  
 Die optimale Aufstiegsroute bezüglich Anstrengung und Lawinensicherheit, modelliert mit einem Geographischen Informationssystem (GIS)“

Master Thesis im Rahmen des Universitätslehrganges „UNIGIS Master of Science (MSc)“ am Zentrum für Geoinformatik (Z\_GIS) der Universität Salzburg

Andreas Eisenhut, UP10590, UNIGIS MSc Jahrgang 2011

Datei: B1-5\_Auswertung\_Anstrengung\_20130322



## Frage, Ergebnis

### Mögliche neue Tourenplanungs-Werkzeuge (digitale Planungshilfen für die 3x3 Tourenplanung zu hause)

*Hinweis: Diese sind nicht Bestandteil meiner Arbeit, es ist jedoch spannend, ein Echo von dir zu hören :-)*

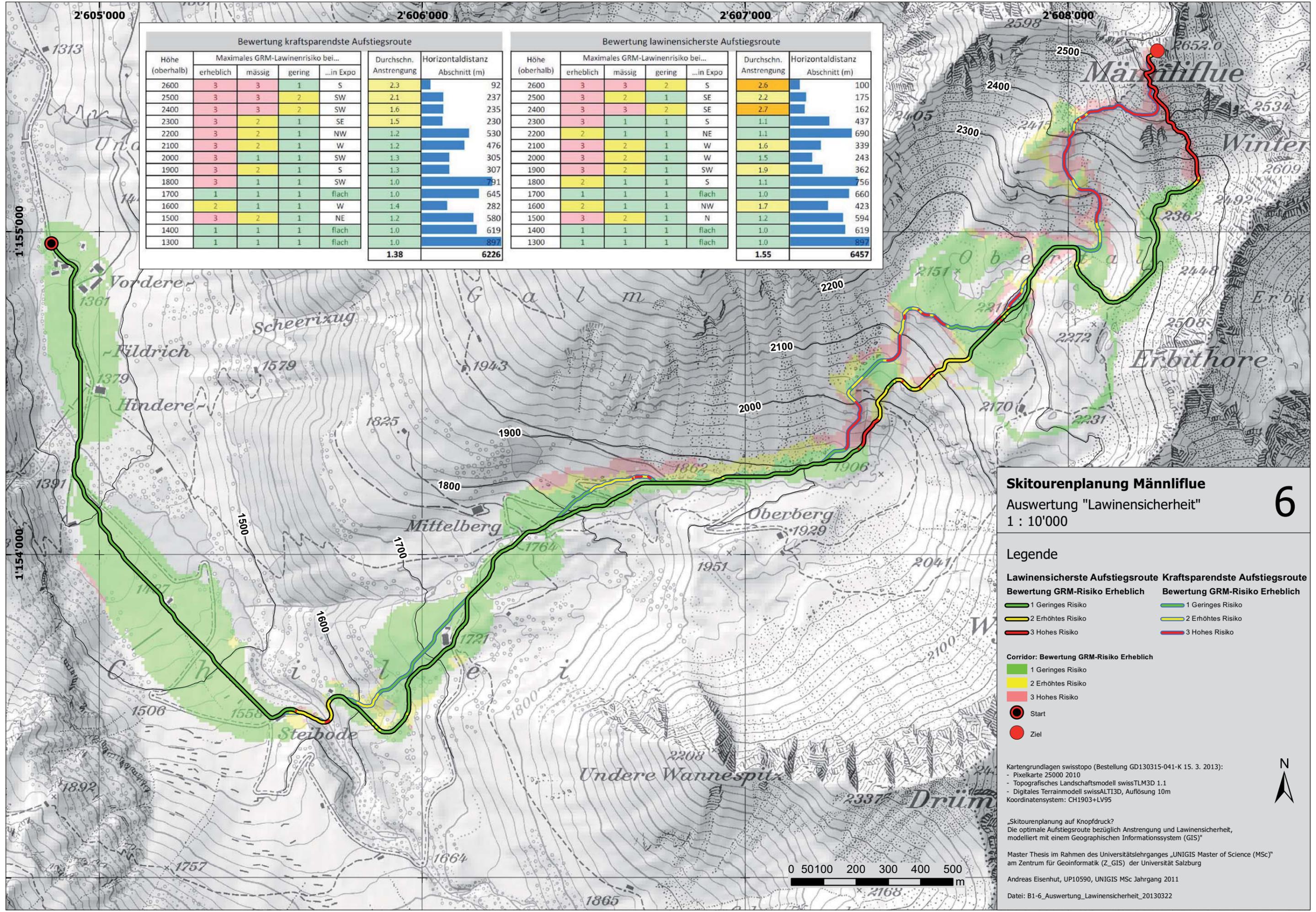
sinnvoll, kaum erwünscht					auf keinen Fall					Beurteilung Werkzeugideen		sinnvoll, kaum erwünscht				
1	2	3	k.A.	Ø	1	2	1	2	3	k.A.	1	2	3	k.A.		
30x	25x	2x	8x	1.51	♦	Hinweiskarte "Anstrengung" auf Internet	2x	3x	1x	1x						
44x	13x	4x	5x	1.34	♦	Hinweiskarte "Lawinenrisiko" auf Internet (mit def. erheblich)	4x	1x	1x	1x						
49x	7x	6x	4x	1.31	♦	Hinweiskarte "Lawinenrisiko" auf Internet (beliebig filterbar auf tagesaktuelle Lawinensituation)	4x	1x	1x	1x						
24x	21x	2x	17x	1.53	♦	Software zur automatischen Verbesserung bestehender GPS-Tracks, Routen unterschiedlicher Genauigkeit	-	3x	1x	3x						
35x	19x	2x	8x	1.41	♦	Bewertung möglichst aller (SAC-) Skitouren wie in Karte 5 und 6	4x	1x	1x	1x						
42x	14x	2x	7x	1.31	♦	Weitere Hinweiskarten auf Internet (z.B. Geländeformen, Sonneneinstrahlung,)	4x	2x	-	1x						
<b>Alle Teilnehmer</b>											<b>... davon Bergführer</b>					

## Frage, Ergebnis

### Mögliche neue Tourenplanungs-Werkzeuge: weitere Ideen *Hinweis: Hast du weitere Ideen bezüglich neuen Tourenplanungs-Bausteinen?*

- Tourenbeschreibungen derer die die Tour in den vorigen Tagen gemacht haben.
  - Wettervorhersage Sites.
  - GPS auf Tourenaufnahme stellen um im Falle von Nebel den richtigen Weg zurueckzufinden.
- Ich würde so etwas nicht (gratis) aufs Web stellen und als Bezahlsoftware dürfte der Markt klein sein. Erfahrung, Vorsicht und Denken kann darf elektronische Karte mindern, im Gegenteil, sie wirkt "verlockend" für Unerfahrene. Interessanter Ansatz, ich würde jedoch davon absehen, dies "professionell" umzusetzen
- eine feedback-Schleife wäre interessant: wo wird 'überlicherweise' gegangen, wo wurden Lawinen gesichtet, Kommentare von Tourengern mit Vor-Ort Infos,..
- Ich glaube, dass zu genau definierte Aufstiegsrouten, die als GPS-Tracks genutzt werden können, eine grosse Gefahr sein können, da damit automatisch die Wahrnehmung im Gelände reduziert wird. Was ich sehr nützlich finden würde: Es gibt bereits unzählige Daten zu einem Gebiet (Lawinenbulletin, Tourenberichte, Wettervorhersagen aller Art, Webcams, Karten, Tracks, etc.). Nur ist es leider so, dass diese alle separat irgendwo abgelegt sind. Spannend würde ich finden, wenn es ein Produkt geben würde, dass alle verfügbaren Informationen zu einem Gebiet zusammenträgt und diese darstellt. Das würde bei der Vorbereitung viel Zeit sparen.
- Hätte zu vorletzten Frage gehört: Siehst du nicht auch eine gewisse Gefahr, dass die freie Bergwelt so auch noch weiter 'verwegweisert' werden könnte? Klar kann einem Medium nie etwas vorgeworfen werden; es ist immer deren Nutzung, die gut oder weniger sinnvoll ist. Aber ich könnte mir schon vorstellen, dass man irgendwann in Erklärungsnotstand geraten könnte, wenn man sich nicht an die inzwischen von allen eingehaltenen, offensichtlichen (da grafisch darstellbaren) Routen hält. Hat für Deine Arbeit nun keine Relevanz, aber nur so als anregender Gedanke.
- Generell finde ich die Sache sehr spannend, hätte aber Bedenken bzgl. der rechtlichen Situation. Ich wäre auch zurückhaltend eine Farbskala (rot, grün) für gefährdete und sichere Bereiche entlang der Route zu vergeben, da derartiges ja tendenziell nicht als Hangneigung in Kombination mit dieser oder jener Gefahrenstufe sondern als "hier ist es (un)sicher" gewertet wird und die Gefahr besteht, dass andere Faktoren wie Wumm-Geräusche, Sichtbedingungen etc. stärker ignoriert werden. Vielleicht wäre eine tagesaktuelle weiche Gesamtaussage zur Tour ("aufgrund der vorkommenden hangneigungen in Kombination mit der derzeitigen Lawinenwarnstufe abzuraten, gefährlich v.a. im oberen Bereich") ein guter Kompromiss. Da hat man auch weniger das Gefühl "die roten Stellen sind eh nur kurz, und übertreiben werden die tendenziell auch"
- Je mehr Information desto besser!
- Häufigkeit der Begehung (ist nicht ganz einfach feststellbar), Eintrag von Lawinenereignissen (als Warnung)
- Berechnen der benötigten Zeit aus den Kosten. Dazu müsste diese aus Referenzwerten skaliert werden können, da ja jeder einen unterschiedlichen Leistungsstand hat.
- Tageszeitliche Risikoerhöhung
- Ist Munter out? Sonst wäre ein Munter-Tool noch spannend, in welches man für das aktuelle Bulletin die Reduktionsfaktoren eingeben kann. Die Hangneigung/Exposition/Höhenlage wäre durch das DTM gegeben. Was man wählen kann ist 'viel befahren', Abstände, Anzahl Tourengänger..
- Integration naturschutzfachlicher Aspekte, z.B. Rauhfußhuhn-Habitate, Einstandgebiete Rot/Gamswild
- Integration der geöffneten Hütten mit dem besten Bier (z.B. Adler-Bräu aus Glarus)
- Wind (Schneeüberwehungen, Ausaperung)
- Hunde-/Kindertauglichkeit (keine Abbrüche in näherer Umgebung, nicht zu steile Abfahrten, Leinenzwang (Naturschutzgebiet),...)
  - Empfohlene Skilänge (zB kurz für Couloirs, enge Waldpassagen)
  - Abenteuer-/Genussbewertung ("über Stock und Stein", "durch dichtes Gebüsch", "an Abbrüchen vorbei", "Gewässer querend": Abenteuerour; "schöne Aussicht", "kontinuierlicher Aufstieg": Genussstour)
- Vielleicht wäre es möglich mit meteorologischer Hilfe potenzielle Treibschneehänge vorzusehen anhand von Windstärken und Windrichtung?
- Die "Prüfung" der SAC Linien und der Angabe zum Lawinenrisiko könnte mit deinem Tool überprüft und die Aussage auf die Gefahrenstufen verfeinert werden (primär Aussage wegen Tourenlinie und erheblicher Gefahr (ganzer Hang).
  - Eigene Tourenlinie auf Basis der Neigungskarte und der GRM Kriterien ganzer Hang, Hanglänge etc. überprüfen, optimieren können wäre insbesondere dann auch für Abfahrtsplanungen eine Hilfe.
  - Anstrengungsplanung ist gelungen, benötige ich aber wohl weniger in meiner Tourenplanung und Tourenwahl.
- sinnvoll erwünscht ist immer schwierig..alles ist erwünscht.
  - unabhängig von lawinensituation wäre die frage der erreichbarkeit. und die frage von gegensteigungen die frage anteil kaum fahrbar (weil zu flach) (stöckeln ohne stöcke ist unangenehm..)
- Bewertung der Touren auf der Skitourenkarte kaum sinnvoll, da diese stark generalisiert sind.
  - Bewertung der Touren im Führer bezüglich Lawinengefahr: meines Erachtens sind die Schlüsselstellen wichtiger. Trotzdem: wenn man natürlich sieht, dass bei einer gegebenen Lawinengefahrssituation (gem. Bulletin) eine Tour in allen 100hm-Segmenten ein erhöhtes Risiko darstellt, so ist dies auch eine Information...

Bewertung kraftsparendste Aufstiegsroute					Bewertung lawinensicherste Aufstiegsroute								
Höhe (oberhalb)	Maximales GRM-Lawinenrisiko bei...				Durchschn. Anstrengung	Horizontaldistanz Abschnitt (m)	Höhe (oberhalb)	Maximales GRM-Lawinenrisiko bei...				Durchschn. Anstrengung	Horizontaldistanz Abschnitt (m)
	erheblich	mässig	gering	...in Expo				erheblich	mässig	gering	...in Expo		
2600	3	3	1	S	2.3	92	2600	3	3	2	S	2.6	100
2500	3	3	2	SW	2.1	237	2500	3	2	1	SE	2.2	175
2400	3	3	2	SW	1.6	235	2400	3	3	2	SE	2.7	162
2300	3	2	1	SE	1.5	230	2300	3	1	1	S	1.1	437
2200	3	2	1	NW	1.2	530	2200	2	1	1	NE	1.1	690
2100	3	2	1	W	1.2	476	2100	3	2	1	W	1.6	339
2000	3	1	1	SW	1.3	305	2000	3	2	1	W	1.5	243
1900	3	2	1	S	1.3	307	1900	3	2	1	SW	1.9	362
1800	3	1	1	SW	1.0	791	1800	2	1	1	S	1.1	756
1700	1	1	1	flach	1.0	645	1700	1	1	1	flach	1.0	660
1600	2	1	1	W	1.4	282	1600	2	1	1	NW	1.7	423
1500	3	2	1	NE	1.2	580	1500	3	2	1	N	1.2	594
1400	1	1	1	flach	1.0	619	1400	1	1	1	flach	1.0	619
1300	1	1	1	flach	1.0	897	1300	1	1	1	flach	1.0	897
					<b>1.38</b>	<b>6226</b>						<b>1.55</b>	<b>6457</b>



**Skitourenplanung Männliflue**  
 Auswertung "Lawinensicherheit"  
 1 : 10'000

6

- Legende**
- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| <b>Lawinensicherste Aufstiegsroute</b> | <b>Kraftsparendste Aufstiegsroute</b> |
| <b>Bewertung GRM-Risiko Erheblich</b>  | <b>Bewertung GRM-Risiko Erheblich</b> |
| 1 Geringes Risiko                      | 1 Geringes Risiko                     |
| 2 Erhöhtes Risiko                      | 2 Erhöhtes Risiko                     |
| 3 Hohes Risiko                         | 3 Hohes Risiko                        |

- Corridor: Bewertung GRM-Risiko Erheblich**
- 1 Geringes Risiko
  - 2 Erhöhtes Risiko
  - 3 Hohes Risiko
- Start  
 ● Ziel

Kartengrundlagen swisstopo (Bestellung GD130315-041-K 15. 3. 2013):  
 - Pixelkarte 25000 2010  
 - Topografisches Landschaftsmodell swissTLM3D 1.1  
 - Digitales Terrainmodell swissALTI3D, Auflösung 10m  
 Koordinatensystem: CH1903+LV95

„Skitourenplanung auf Knopfdruck“  
 Die optimale Aufstiegsroute bezüglich Anstrengung und Lawinensicherheit, modelliert mit einem Geographischen Informationssystem (GIS)“

Master Thesis im Rahmen des Universitätslehrganges „UNIGIS Master of Science (MSc)“ am Zentrum für Geoinformatik (Z\_GIS) der Universität Salzburg

Andreas Eisenhut, UP10590, UNIGIS MSc Jahrgang 2011

Datei: B1-6\_Auswertung\_Lawinensicherheit\_20130322



## Frage, Ergebnis

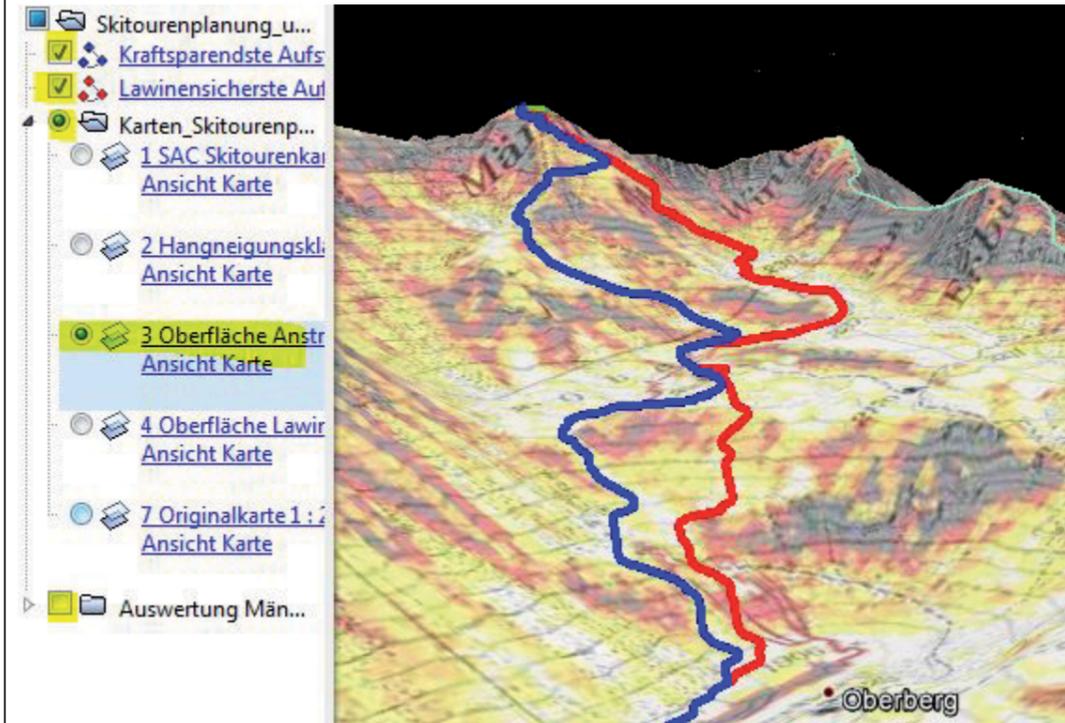
### Gibt es ähnliche Arbeiten, Quellen zu dieser Thematik, die du kennst?

*Hinweis: Hier bin ich um jeden nützlichen Hinweis froh! Merci!*

- Leider kenne ich keine. Daher gratuliere ich Dir auch fuer die Idee und fuer derer Verwirklichung!
- - 3-D Karten in Österreich  
- Artikel in Berg&Steigen (Weiss Nummer nicht mehr) über unterschiedliche Blickwinkel von Profis und Laien in der Beurteilung der Lawinengefahr und möglichen Aufstiegswegen (Messung der Augen, wie oft ein Bergführer eine Geländekammer-/form anschaut und wie oft ein Laie dies tut (erhebliche Unterschiede) ...
- Ich war vor 3/4 Jahren mal zu einer Besprechung bei (...) zu dem Thema eingeladen. Die wollten dort eine Kombination aus Aufstiegskorridor und Einzelhangbeurteilung, bei der die Outdoor- Uhr sagt: "Ein bisserl weiter rechts bitte", "stop zu gefährlich", etc. Ziel war dabei eine Plattform von der sich Laien ihre Route runterladen und auf die Uhr spielen können samt auswertung der Lawinensituation. Dass das mit den Lawinen nicht so einfach zu modellieren ist (Einwehungen z.T. auch bei Objekten die durchs DHM-Raster fallen, ...) wollten sie nicht so recht glauben. Überzeugender waren da schon die rechtlichen Aspekte.
- Bezüglich Skitouren kann ich da leider nicht helfen :o( Aber für Radler gibt es was cooles: <http://www.quaeldich.de/>
- Leider nein, wäre spannend noch weitere "auszuprobieren".
- Grundsätzlich eine coole Arbeit! Jedoch Spielerei für solche die über viel zeit verfügen... Verleitet dazu dem Computer recht zu geben anstatt den tatsächlichen Verhältnissen in der Natur.
- Habe diesen Winter gehört, dass der SAC auch an Ideen für solche Internettourenplanungstools arbeitet. Synergien mit dem Tool SchweizMobil evtl. andenken.
- nein -weiter so!

## Zugabe

### Zugabe, wenn du noch Zeit und Energie hast :-)



Führe die Tourenplanung selbst aus, erfasse die aus deiner Sicht optimalen Aufstiegsrouten selbst mit Hilfe von GoogleEarth!  
[http://www.aus-sicht.ch/images/msc/Skitourenplanung\\_GIS\\_Eisenhut.kmz](http://www.aus-sicht.ch/images/msc/Skitourenplanung_GIS_Eisenhut.kmz)

-die "kraftsparendste Aufstiegsroute" bei allgemein günstigen Bedingungen bez. Lawinengefahr  
-die "lawinensicherste Aufstiegsroute" bei definierter erheblicher Lawinengefahr (Neuschneesituation, erheblich in allen Höhenlagen und Expositionen)  
-Prioritäre Skitour: Fildrich - Männliflue  
-Weitere Skitouren: Fildrich - Galmschibe, Fildrich - Drümännler  
- Erfassung aufbauend auf der 25'000er Karte oder den Hinweiskarten aus meiner Arbeit, so präzis, wie es in der Skitourenplanung zu Hause möglich ist.

Deine Tourenplanung ist für mich die beste Hilfe, meine Berechnungen zu beurteilen  
Eine Kurzanleitung zur Erfassung deiner Routen findest du im PDF auf der letzten Seite.  
Schick mir am Schluss die KML-Datei mit deinen erfassten Routen per Mail zurück.

Vielen Dank!

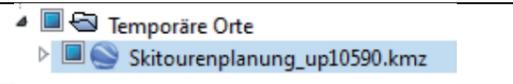
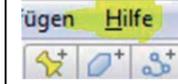
Hier eine einzige Rückmeldung, Merci Adrian! (vgl. Evaluation)



## Umfrage beendet

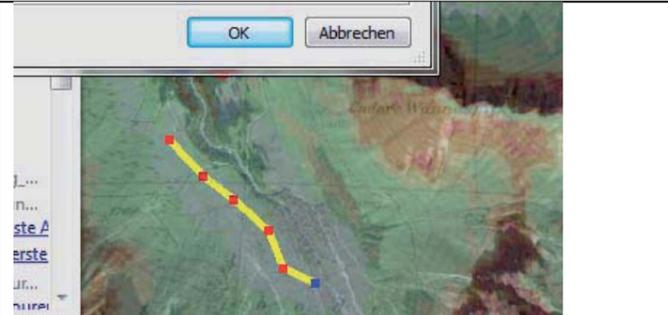
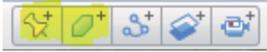
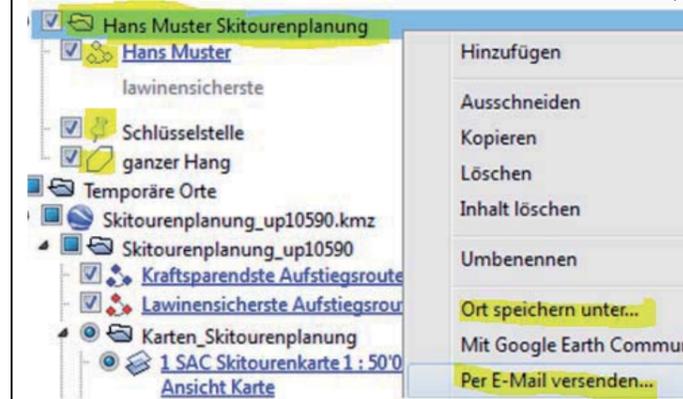
Die Umfrage ist hiermit beendet. Vielen Dank, dass du dir die Zeit genommen hast!

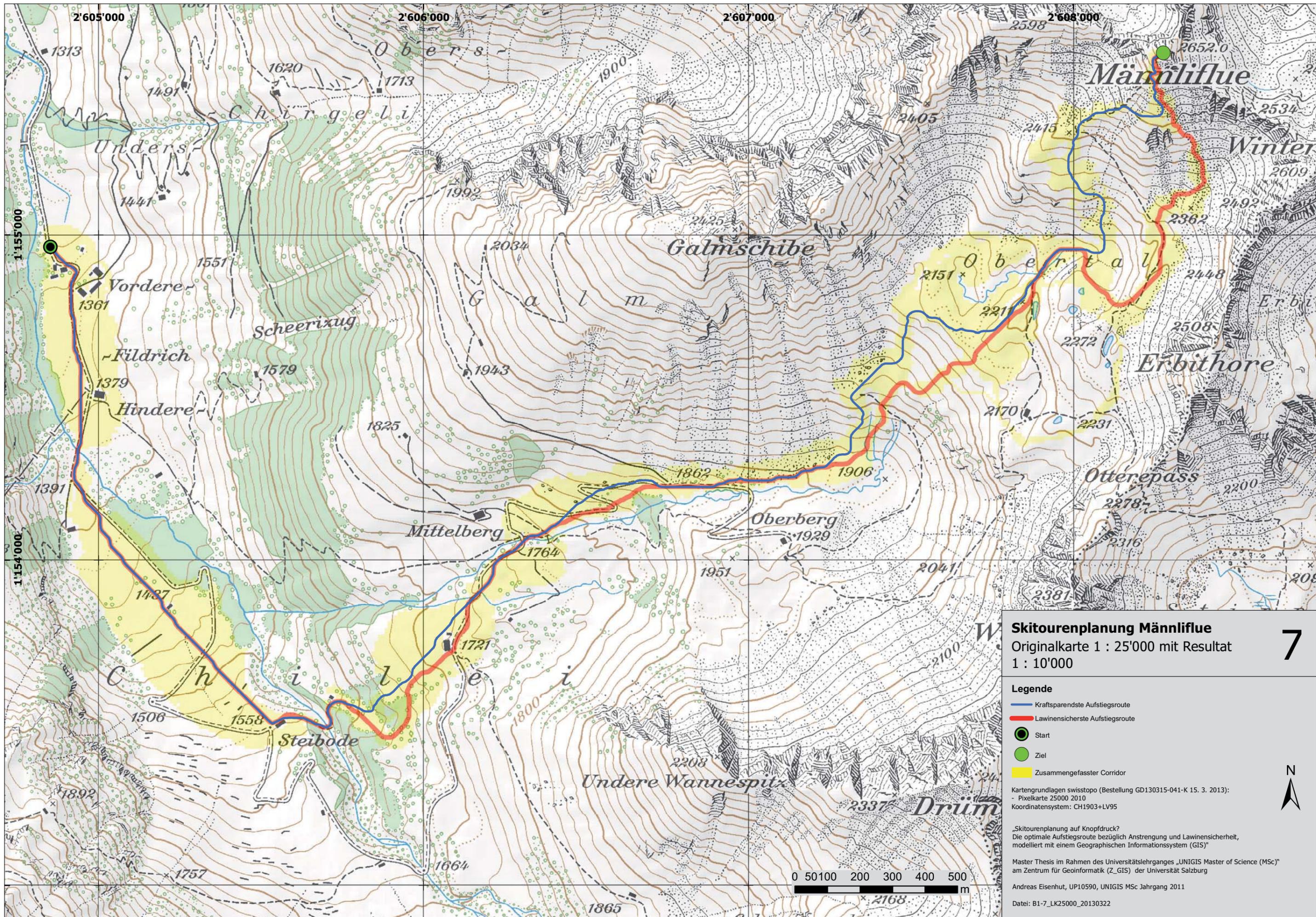
# Google-Earth Kurzanleitung

1	Installieren der Software auf eigenem Computer (falls nicht bereits gemacht)	<a href="http://www.google.ch/intl/de/earth/">http://www.google.ch/intl/de/earth/</a> -> Google Earth herunterladen (Vorsicht: wenn nicht erwünscht, Chrome-Internet-Browser nicht auch noch installieren...)
2	GoogleEarth-Datei starten: <a href="http://www.aus-sicht.ch/images/msc/Skitourenplanung_GIS_Eisenhut.kmz">http://www.aus-sicht.ch/images/msc/Skitourenplanung_GIS_Eisenhut.kmz</a>	
3	Die Datei erscheint in GoogleEarth links unter "Orte", temporäre Orte	
4	Tipps zur Bedienung	 Aufklappen Inhalte, Unterordner, Ein- und Ausschalten Sichtbarkeit, Navigation mit Mausrad, etc.
5	Navigation	 Linke Maustaste gedrückt halten, ziehen, scrollen, Shift-Taste zusätzlich betätigen, etc.  Programmhilfe verwenden
6	Sichtbarkeit, Transparenz eines Inhaltes einstellen	Inhalt aktiv anklicken, Transparenz-Schieber betätigen: 



## Erfasse deine eigene geplante Skitour und schick sie mir per Mail!

7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Karten als Planungshilfe betrachten und sichtbar schalten (25'000er Karte oder Mapplus-Hangneigungen oder Anstrengungs-Karte oder Lawinenrisiko-Karte)</li> <li>Sichtbarkeit, Transparenz der Ebene auswählen (siehe Punkt 6)</li> </ul>
8	<p>Neue Route erfassen</p>  <p>Pfad hinzufügen</p> <p>Es erscheint ein neues Fenster:</p> <p>Name: Dein Name Beschreibung: "kraftsparendste" oder "lawinensicherste"</p> <p>Stil, Farbe, Liniendicke anpassen</p>  <p>Während Fenster offen ist, kann mit Maus gezeichnet werden.</p> <p>Entweder Klick für Klick, Oder Maustaste gedrückt halten und Spur abfahren...</p> <p>Wenn Spur und Beschreibung der Spur fertig, Fenster mit OK-Taste schliessen.</p> 
9	<p>Weitere Inhalte erfassen</p>  <p>Wie die Skitourenroute kann auch ein Kommentar (Nadel) oder eine Fläche, etc. erfasst und mit Kommentaren versehen werden.</p>
10	<p>Fertige Inhalte per E-Mail versenden</p> <p>Alle in einem neuen Ordner gesammelten Inhalte mit "Ort speichern unter..." als .kml-Datei zwischenspeichern oder direkt mit "Per E-Mail versenden..." an <a href="mailto:andreas.eisenhut@impulsthun.ch">andreas.eisenhut@impulsthun.ch</a> schicken.</p> 



**Skitourenplanung Männliflue**  
 Originalkarte 1 : 25'000 mit Resultat  
 1 : 10'000

**Legende**

- Kraftsparendste Aufstiegsroute
- Lawinensicherste Aufstiegsroute
- Start
- Ziel
- Zusammengefasster Corridor

Kartengrundlagen swisstopo (Bestellung GD130315-041-K 15. 3. 2013):  
 - Pixelkarte 25000 2010  
 Koordinatensystem: CH1903+LV95

„Skitourenplanung auf Knopfdruck“  
 Die optimale Aufstiegsroute bezüglich Anstrengung und Lawinensicherheit,  
 modelliert mit einem Geographischen Informationssystem (GIS)“

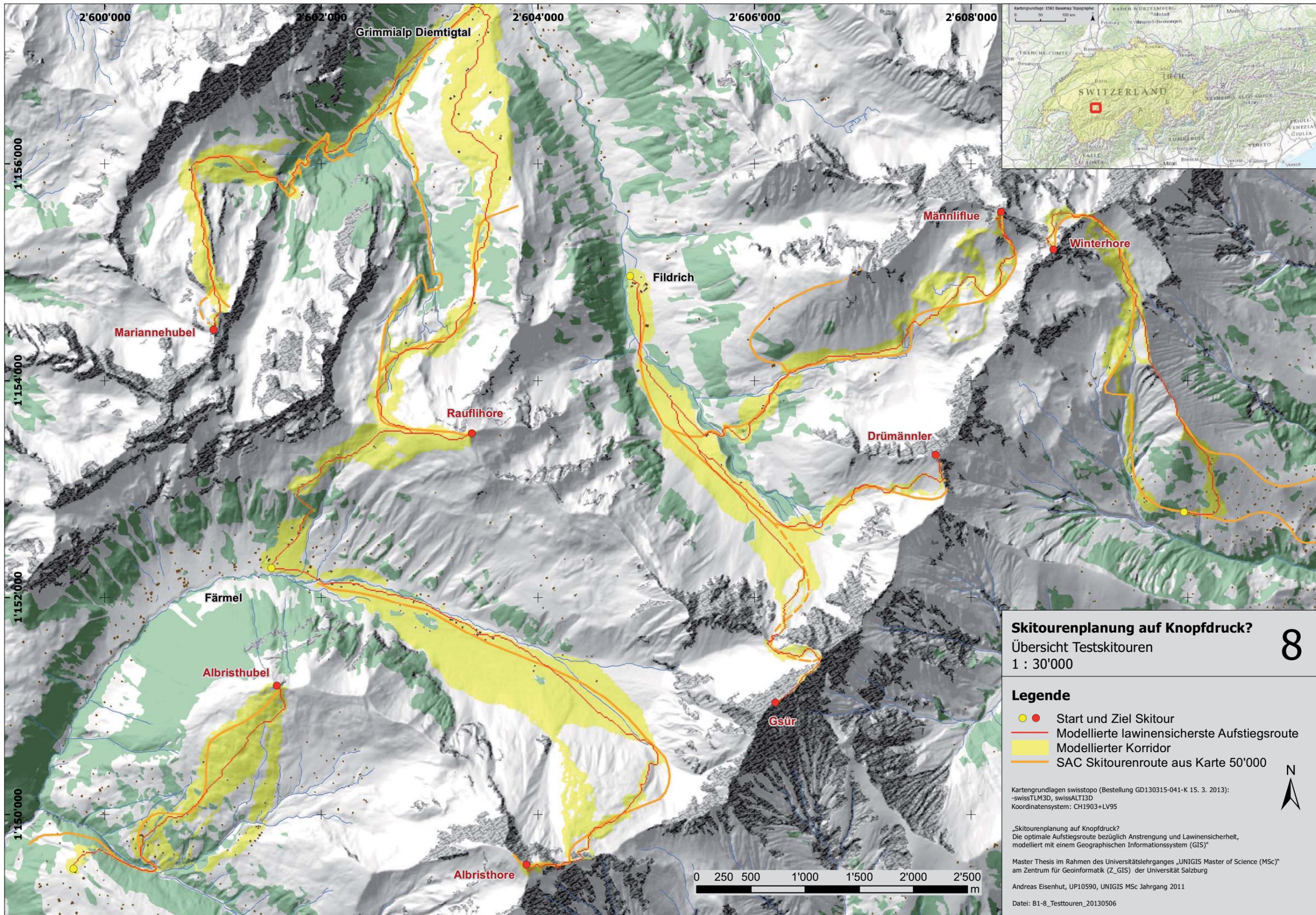
Master Thesis im Rahmen des Universitätslehrganges „UNIGIS Master of Science (MSc)“  
 am Zentrum für Geoinformatik (Z\_GIS) der Universität Salzburg

Andreas Eisenhut, UP10590, UNIGIS MSc Jahrgang 2011

Datei: B1-7\_LK25000\_20130322

7





**Skitourenplanung auf Knopfdruck?**  
 Übersicht Testskitouren  
 1 : 30'000

**Legende**

- ● Start und Ziel Skitour
- Modellierter lawinensicherste Aufstiegsroute
- Modellierter Korridor
- SAC Skitourenroute aus Karte 50'000

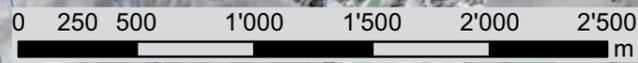
Kartengrundlagen swisstopo (Bestellung GD130315-041-K 15. 3. 2013):  
 -swissTLM3D, swissALTI3D  
 Koordinatensystem: CH1903+LV95

„Skitourenplanung auf Knopfdruck?“  
 Die optimale Aufstiegsroute bezüglich Anstrengung und Lawinensicherheit,  
 modelliert mit einem Geographischen Informationssystem (GIS)“

Master Thesis im Rahmen des Universitätslehrganges „UNIGIS Master of Science (MSc)“  
 am Zentrum für Geoinformatik (Z\_GIS) der Universität Salzburg

Andreas Eisenhut, UP10590, UNIGIS MSc Jahrgang 2011

Datei: B1-8\_Testtouren\_20130506



## Zusammentrag aller verwendeten Werkzeuge

Werkzeugname in der Suche der Online-Hilfe eintippen	<a href="http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/">http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/</a> (Zugriff 2013/06)
<b>Vektorwerkzeug</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>
Select	Teilauswahl aus Datensatz, Attributfilter
Merge	Zusammenfügen mehrerer Datensätze derselben Geometrie
Dissolve	Vereinigen, verschmelzen von Geometrieobjekten
Clip	Ausschneiden eines Datenbereichs mit Schablone
Intersect	Verschneiden von Datensätzen, erzeugen des kleinsten gemeinsamen Nenners.
Buffer	Geometrieobjekte mit individueller Distanz vergrößern oder verkleinern
Polygon to Line	Flächengeometrie in Liniengeometrie umwandeln
Smooth Line	Linie glätten
Add Field	Neues Attribut erzeugen
Calculate Field	Attributwerte berechnen
Delete Field	Bestehende Attribute löschen
Join Field	Tabellenverknüpfung (via Attribute) erstellen
Table to Table	Attributtabelle in anderes Tabellenformat ausgeben

<b>Rasterwerkzeug</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>
Slope	Hangneigungswerte ab Geländemodell erzeugen
Aspect	Expositionswerte ab Geländemodell erzeugen
Hillshade	Reliefschattierung ab Geländemodell erzeugen
Reclassify	Bestehende Werte in neue Werteklassen überführen
Raster Calculator	Rasterrechner mit zahlreichen Funktionen
Cell Statistics	Statistische Auswertung mehrerer Eingaberaster (Maximum-, Minimum-, Durchschnittswerte, Summe, etc.)
Focal Statistics	Nachbarschaftsanalyse jeder Rasterzelle bezogen auf Nachbarzellen
Zonal Statistics	Räumliche statistische Auswertungen nach Zonen
Fill	Auffüllen von Senken in einem Geländemodell
Flow Direction	Erzeugen der (Wasser-) Fließrichtung für jede Zelle
Flow Accumulation	Zusammenzählen aller Zellen, die durch eine Zelle entwässert werden (für jede Zelle)
Weighted Overlay	Gewichtete Überlagerung mehrerer Bewertungsebenen, erzeugen einer Gesamt-Bewertungsebene

<b>Verbindungsentfernung</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>
Path Distance	Verbindungsentfernungsberechnung
Cost Path	Erzeugen des günstigsten Pfades von einem beliebigen Punkt zurück zur Quelle
Corridor	Erzeugen eines Korridors aus zwei Verbindungsentfernungsoberflächen.

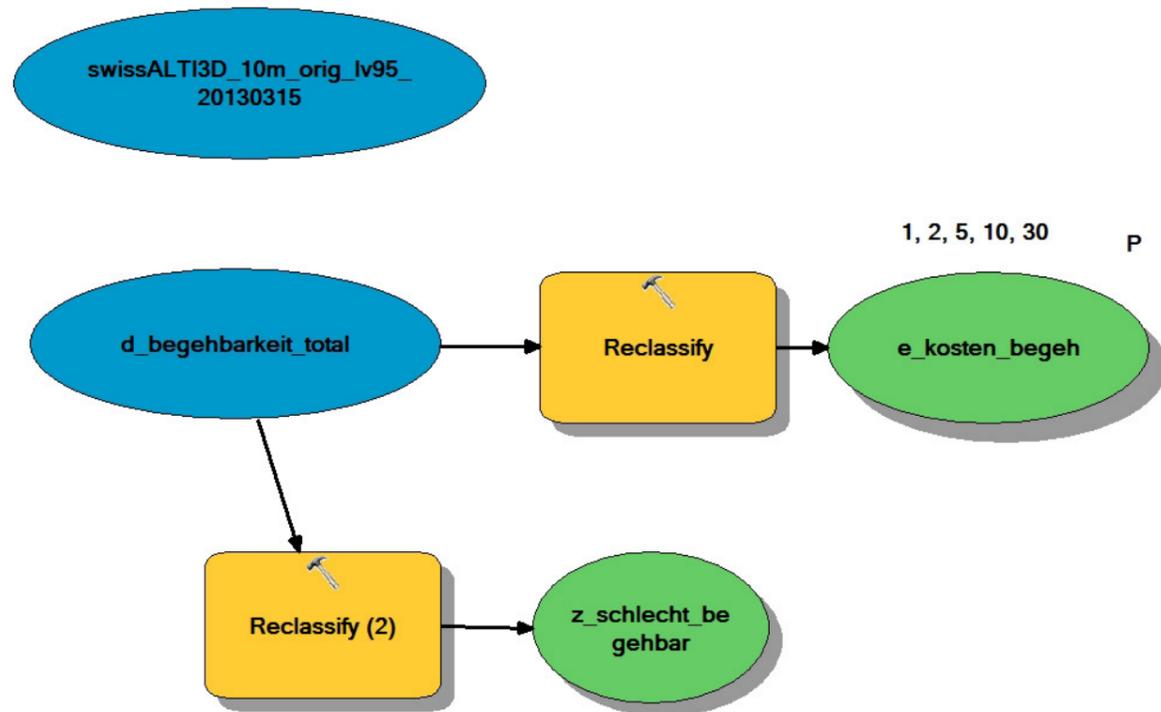
<b>Konvertierung</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>
Feature to Raster	Umwandeln Vektorgeometrie zu Rasterdaten
Raster to Polygon	Umwandeln Rasterdaten zu Vektorflächen
Contour	Erzeugen Höhenlinien (Vektorlinien) aus Geländemodell

Berechnungsmodell ArcGIS ModelBuilder	Kapitel im Teil III
a_Aufbereiten_Grundlagendaten_gef_gering_ae	Berechnungsmodell Lawinenrisiko
b1_Erstellen_gef_maessig_ae	
b2_Erstellen_gef_erheblich_ae	
b4_aufbereiten_Waldwirkung_erheblich	Berechnungsmodell Anstrengung, Begehbarkeit
d1_Aufbereiten_Hangneigung_Gelaendeform	
d2_aufbereiten_Fliessgewaesser	
d3_aufbereiten_tlm_Faktoren_Begehbarkeit_Wege	Berechnungsmodell Aufstiegsrouten
e1_Entwurf_Kostenoberflaeche_Begehbarkeit	
e2_Entwurf_Kostenoberflaeche_Sicherheit	
f1_PathDistance_Begehbarkeit, f2_PathDistance_Sicherheit	Berechnungsmodell Routenbewertung
e3_Gefahrendarstellung_eine_Ebene_fuer_Auswertung_ae	
e4_Zusammenfuegen_Auswertungsebene_ae	
g1_Bewerten_Route	
h_aufbereiten_Layout	

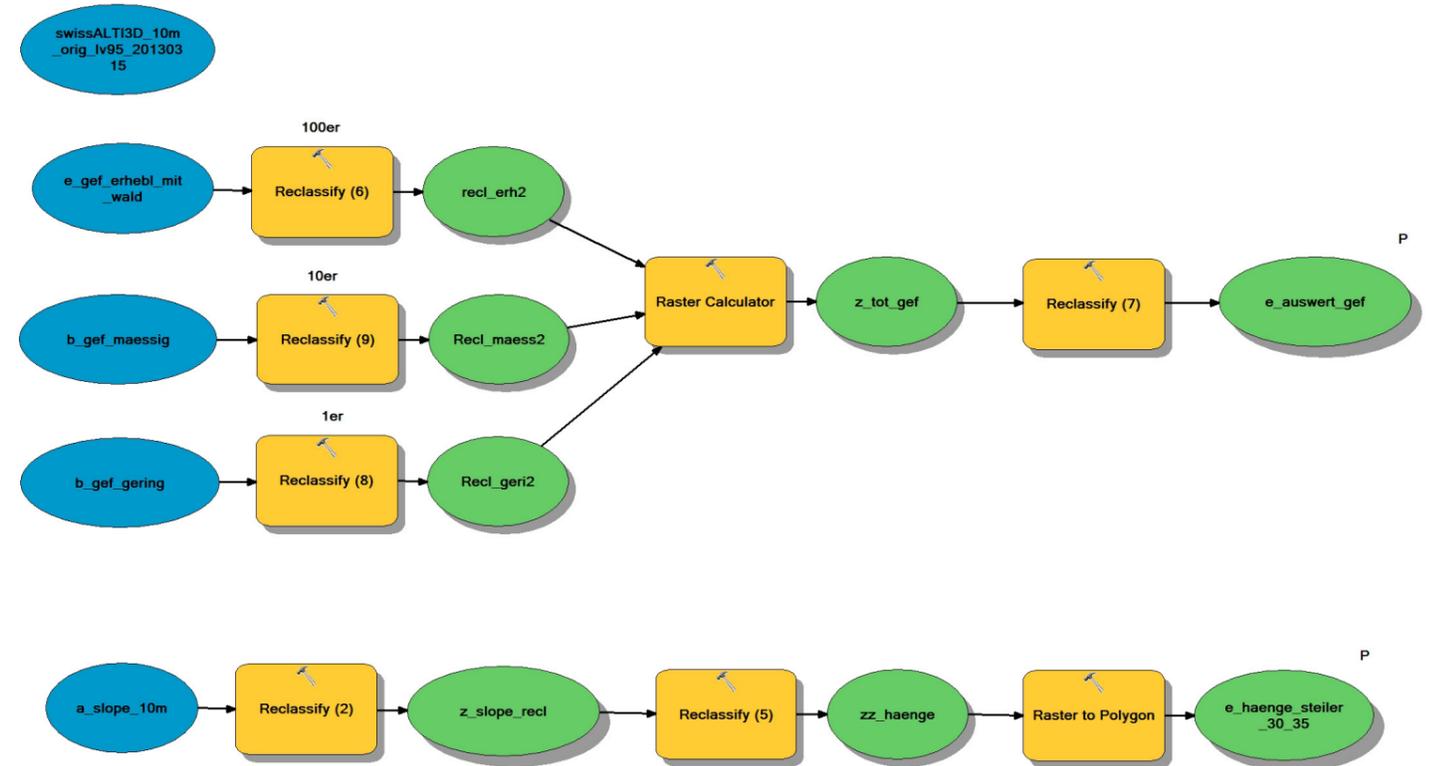




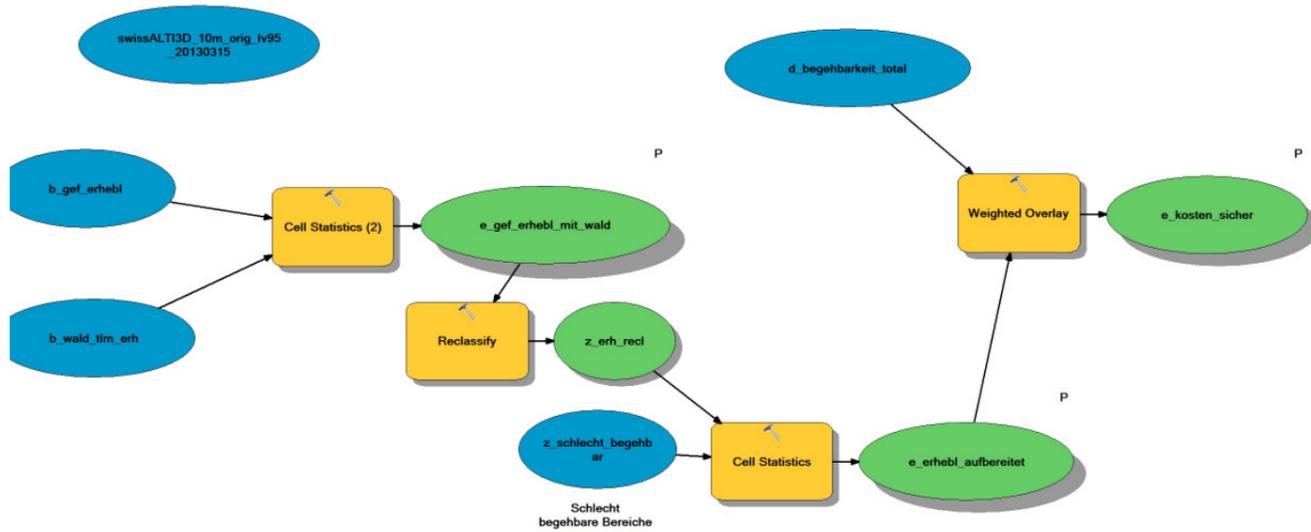
e1\_Entwurf\_Kostenoberflaeche\_Begehbarkeit



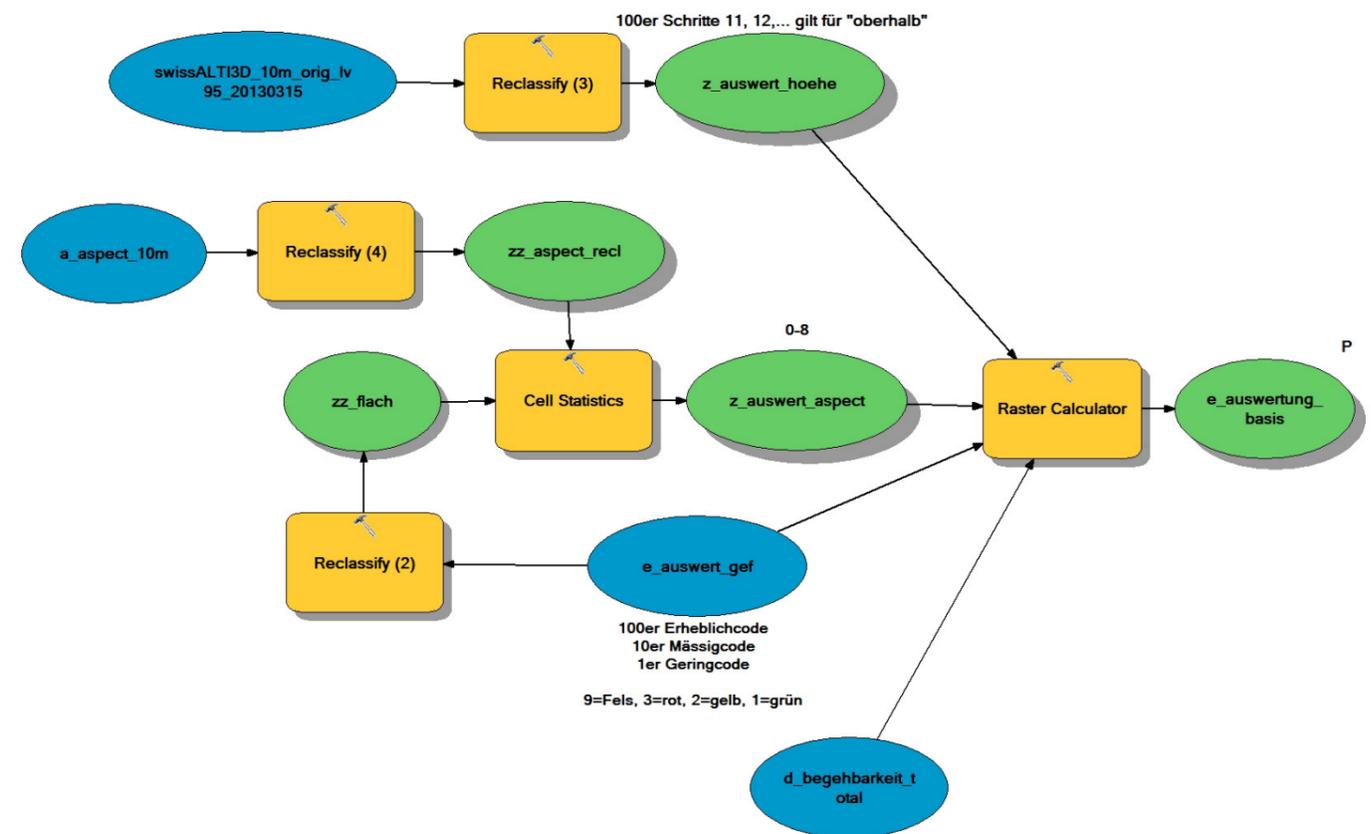
e3\_Gefahrendarstellung\_eine\_Ebene\_fuer\_Auswertung\_ae



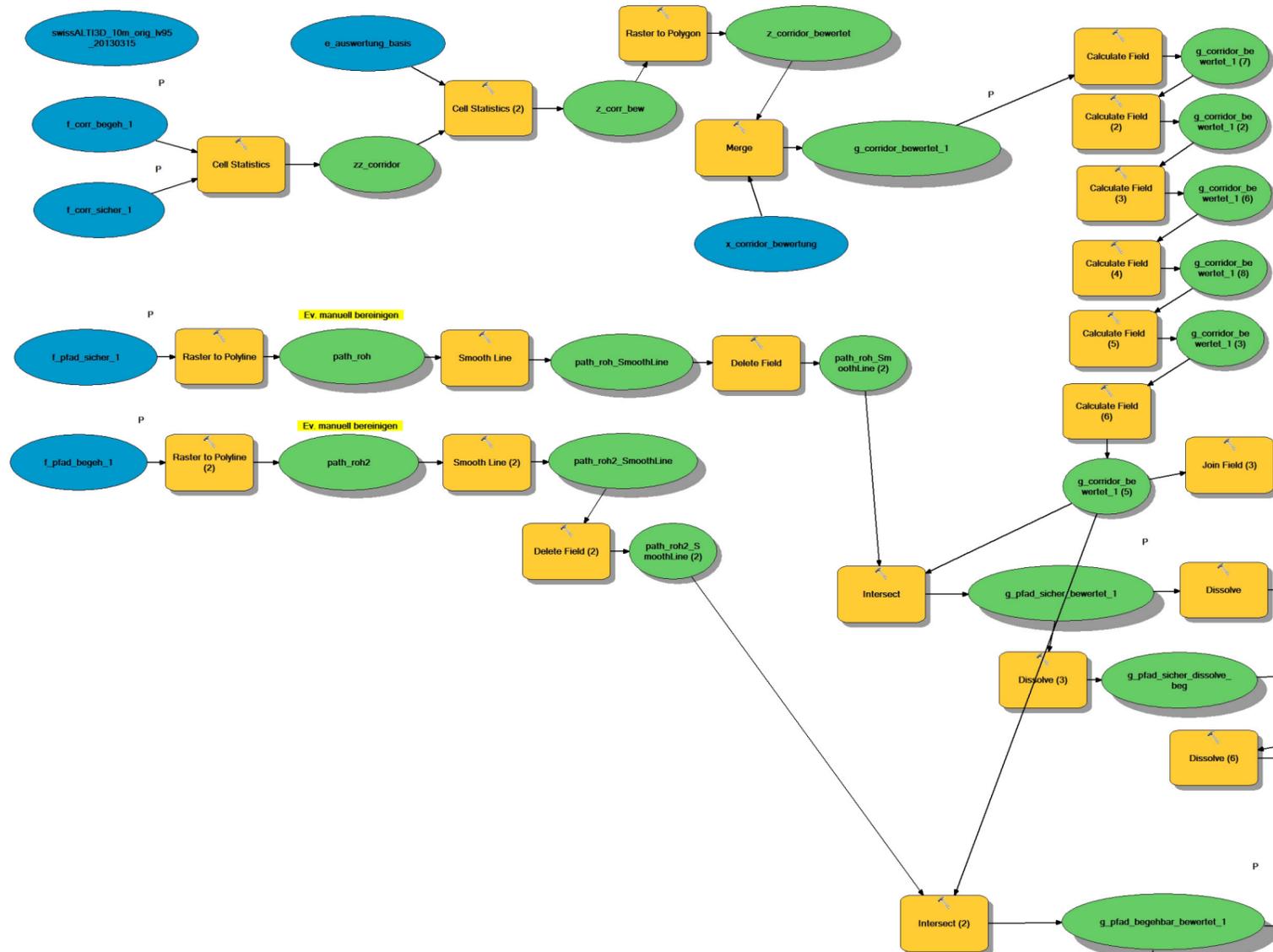
e2\_Entwurf\_Kostenoberflaeche\_Sicherheit



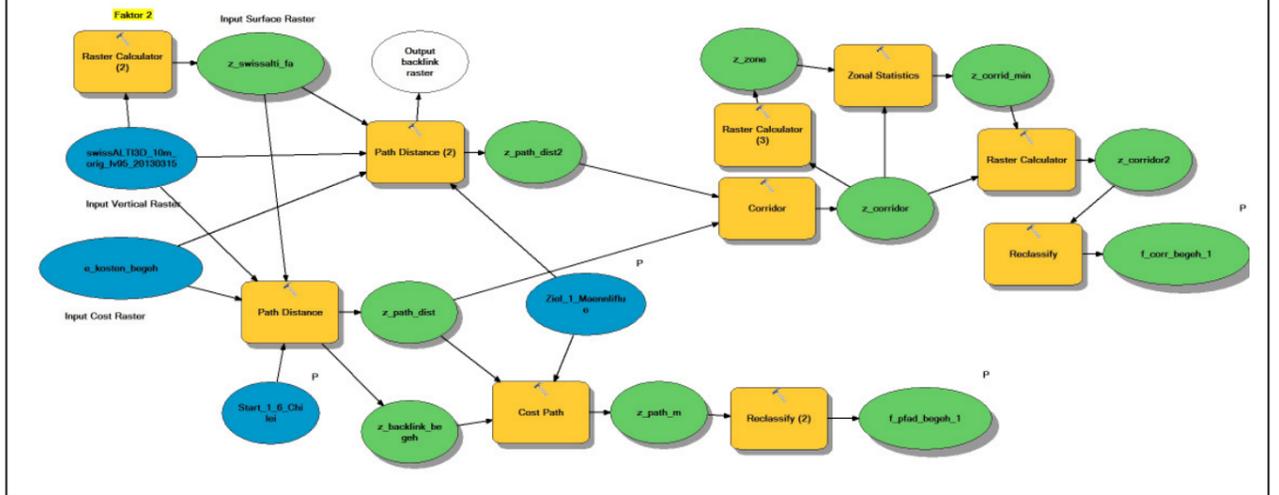
e4\_Zusammenfuegen\_Auswertungsebene\_ae



### g1\_Bewerten\_Route



### f1\_PathDistance\_Begehbarkeit f2\_PathDistance\_Sicherheit



### h\_aufbereiten\_Layout

