

ALGORITHMISCHE SKITOURENPLANUNG

Vom Bildschirm an den Berg – und zurück



Jesse Born, G21D

September 2024

Eingereicht bei Michael Kappeler
Alte Kantonsschule Aarau

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis

Abstract

Vorwort

1 Einleitung	1
1.1 Theoretische Grundlagen	1
1.1.1 Moderne Lawinenkunde	1
1.1.2 Schema 3x3	1
1.1.3 Digitale Höhenmodelle	2
1.1.4 Relevante Geländefaktoren	2
1.1.5 Unfalldaten & Begehungen	2
1.2 Methodik	2
1.2.1 Berechnung von topographischen Oberflächenfaktoren	2
1.2.2 Parallele Berechnungen	3
1.2.3 Rechenleistung zur freien Verfügung	3
1.2.4 3D-Karte im Webbrower	3
2 Hauptteil	4
2.1 Resultat	4
2.2 Produktevaluation	4
2.3 (Methodische Reflexion)	4
3 Schlusswort, Fazit und Diskussion	5
Literatur	6
4 Abbildungsverzeichnis	7

ABSTRACT

In vorliegender Arbeit wird die methodische¹ sowie technische Umsetzung² eines Computer-Programms zur automatisierten Planung von Ski- und Bergtouren realisiert. Auf Basis des digitalen Höhenmodells (DEM) SwissAlti^{3D} mit einer Auflösung von 0.5m, der Bodenbedeckungskarte SwissTLM^{3D} sowie historischen Unfalldaten des SLF wird eine computeroptimierte Reduktionsmethode entwickelt, welche flächendeckend individuelle Gefahrenwerte für einzelne Rasterpunkte innerhalb der Schweiz errechnen kann. Um sinnvolle Risikowerte zu errechnen, muss ausserdem die Begehungshäufigkeit zugriffen werden. (Weniger Begehungen entsprechen nicht unbedingt linear auch weniger Unfällen). Die Berechnung der Risikokarten soll dabei in Echtzeit erfolgen können, um das täglich erscheinende Lawinenbulletin sowie – als Erweiterung des Projekts – im Tagesverlauf wahrgenommene Warnzeichen in die Karte aufnehmen zu können.

Aus obigen Datengrundlagen können mittels vom Benutzer eingetragenen Start- & Zielkoordinaten sichere, bzw. risikooptimierte Routen automatisiert geplant werden. Ausserdem wird der Einfluss eines solchen Werkzeuges auf die Risikobereitschaft eines Tourengängers sowie dessen Nutzwert diskutiert. Die mit dem Algorithmus erstellten Routen sollen durch Bergführer, Risk-V ausgebildete Schneesportlehrpersonen sowie Freizeittourengeher blind bewertet und aus einer Auswahl von nicht-computergenerierten Routen identifiziert werden.

¹Wie können Risikowerte berechnet werden

²Wie kann ein Computer diese Berechnungen ausführen

VORWORT

Jedes Jahr ereignen sich in den Alpen abseits der gesicherten Pisten der Skigebiete XXX tödliche verlaufende Unfälle. Fortschritte

1 EINLEITUNG

1.1 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

1.1.1 MODERNE LAWINENKUNDE

Lawinenprobleme lassen sich grundsätzlich aus zwei Perspektiven betrachten und vorhersagen: Einerseits auf Basis der Schneedecke, andererseits auf Basis von Geländeformen und Statistik. Dabei wird bei der praktischen Lawinenkunde auf das erstellen von beispielsweise Schneeprofilen (Extended Column Test) zur Einschätzung der lokalen Stabilität der Schneedecke gesetzt.

Bei der analytischen Lawinenkunde arbeiten wir mit historischen Unfalldaten, konkret ist das Ziel, ein quantitatives Mass für das eingegangene Risiko zu errechnen. Wir korrelieren also bekannte Konsequenzen mit der Hangform und deren Eintrittswahrscheinlichkeit. Es folgt also unser Risikobegriff:

$$r = k \cdot \frac{u}{b} \quad (1)$$

wobei r unser Risiko darstellt, u die Anzahl Unfälle und b die Anzahl Begehung. Anders ausgedrückt, misst das Risiko nicht in welchem Anteil der Begehung ein Unfall eintritt, sondern, wie gross ein eintretender Unfall statistisch sein wird.

Dies steht der praktischen Lawinenkunde gegenüber. Hier beobachten wir die Schneedecke und leiten daraus die Entscheidung ab, weiter aufzusteigen oder umzukehren – diese Entscheidung steht in beiden Gebieten im Vordergrund.

1.1.2 SCHEMA 3X3

Der Goldstandard der Tourenplanung ist heute Werner Munters 3x3-Schema. Dabei werden in drei «Zoom»-Stufen drei Faktoren ausgewertet:

Regional Von zuhause aus [1]:

- Verhältnisse: 1. Lawinenlagebericht LLB, 2. Wetterprognose, 3. Auskünfte von Einheimischen/Hüttenwart
- Gelände: 1. 1 : 25000-Karte, 2. Tourenführer, 3. Eigene Geländekenntnisse
- Menschen: 1. Wer ist Dabei?, 2. Ausbildung, 3. Material, 4. Emotionale und Physische Kondition?

Lokal Im Gebiet, soweit die Sicht reicht [1][2]:

- Verhältnisse / Schneedecke / Wetter: 1. Sicht?, 2. Bewölkung, Wind, Niederschlag, Temperatur?, 3. Schneeverfrachtungen, Neuschneemenge, 4. Stimmt der LLB?
- Gelände: 1. Stimmt meine Vorstellung (Steilheit, Exposition)? 2. Spuren anderer Gruppen
- Menschen: 1. Ausrüstungskontrolle (Gruppencheck LVS), 2. Andere Gruppen unterwegs?

Zonal Im Einzelhang [1][2]:

- Verhältnisse: 1. Neuschneemenge, 2. Trieb- schnee, 3. Mögliche Abrisszonen, 4. Sonnen- einstrahlung
- Gelände: 1. Wer / was ist über/unter der Gruppe?, 2. Steilste Stelle?, 3. Exposition, 4. Typisches Lawinengelände, 5. Hangform, 6. Höhe, 7. Oft befahren?
- Menschen: 1. Können & Kondition, 2. Vorsichtsmassnahmen, 3. Sichere Sammelstellen

1.1.3 DIGITALE HÖHENMODELLE

In den 1960er Jahren verlangte der schweizer Generalstab vom heutigen Bundesamt für Landes topografie zu prüfen, ob tief fliegende feindliche Kampfflugzeuge unbemerkt in die Schweiz ein dringen konnten. Um die für diese Prüfung nötigen Berechnungen erstmals an einem Grossrechner ausführen zu können, mussten die topographischen Höhen aus der Landeskarte 1 : 250000 auf Lochkarten transferiert werden. Mit einer Auflösung von 250 m wurden die Höhenlinien der analogen Kartenprodukte so in mühseliger Handarbeit zwischen 1966 – 1968 erstmals digital nutzbar gemacht. Das so erstellte digitale Höhenmodell DEM «RIMINI» wurde bis in die 1970er Jahre genutzt. [3]

Rufe nach einem engmaschigerem Modell brachten schliesslich unter anderem «DHM25» hervor, welches eine Auflösung von bereits 25 m mitbringt. [3]

Um die Jahrtausendwende erfolgte dank schnelleren CPUs und günstigem Datenspeicher eine Umkehrung des Prozess. Neu werden die analogen Landeskarten auf Basis eines DEM erstellt. Moderne DEMs erreichen dabei eine Auflösung bis zu 0.5 m bei einer Genauigkeit von 0.5 – 3 m [4]. SwissAlti^{3D} ist genau ein solches Modell.

Dank der «Open Government Data Strategie» des Bundes werden seit 2020 diverse Datensammlungen die öffentliche Verwaltungen produzieren der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt [5]. So landet nebst dem Fahrplan der SBB, Jungwaldflächen und den Standorten aller öffentlichen Toiletten der Stadt Luzern auch SwissAlti^{3D} auf dem Opendataportal des Bundes.

SwissAlti^{3D} wird als GeoTIFF ausgeliefert. GeoTIFF sind letztendlich nur Bilddaten, die um einen Eintrag zur Lokalisierung in einem Koordinatensystem, hier LV95 LN02, ergänzt wurden. Der Farbwert eines Pixel entspricht jedoch der Höhe an dieser Stelle. Insgesamt wird die Schweiz in ca. 43500 1 km × 1 km grosse Kacheln unterteilt. [4]

1.1.4 RELEVANTE GELÄNDEFAKTOREN

1.1.5 UNFALLDATEN & BEGEHUNGEN

1.2 METHODIK

1.2.1 BERECHNUNG VON TOPOGRAPHISCHEM OBERFLÄCHENFAKTOREN

Wir schneiden 3×3 -Ausschnitt aus dem Höhenmodell. Unser Ziel ist es, die charakteristischen Geländeigenschaften für die Zelle e zu berechnen. $a - h$ sind die Höhen an einem bestimmten Gitterpunkt:

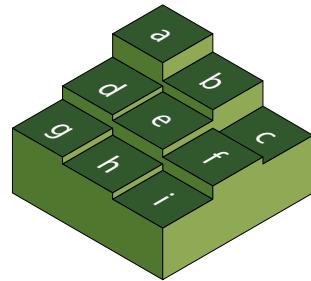


Abb. 1: 3×3 -Ausschnitt von Höhen aus einem DEM und deren Benennung

Hangneigung und Exposition nach [6]:

$$\frac{\Delta z}{\Delta x} = \frac{(c + 2f + i) - (a + 2d + g)}{8r} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta z}{\Delta y} = \frac{(g + 2h + i) - (a + 2b + c)}{8r} \quad (3)$$

Hangneigung ρ und Exposition θ :

$$\rho = \arctan \left(\sqrt{\left(\frac{\Delta z}{\Delta x} \right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{\Delta y} \right)^2} \right) \quad (4)$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{\frac{\Delta z}{\Delta x}}{-\frac{\Delta z}{\Delta y}} \right) \quad (5)$$

Geländekrümmung nach [7]:

$$D = \frac{(d + f)/2 - e}{r^2} \quad (6)$$

$$E = \frac{(b + h)/2 - e}{r^2} \quad (7)$$

$$F = \frac{-a + c + g - i}{4r^2} \quad (8)$$

$$G = \frac{-d + f}{2r} \quad (9)$$

$$H = \frac{b - h}{2r} \quad (10)$$

(6) – (10) sind die Faktoren eines teilweisen Polynom vierten Grades [7]. Hangkrümmung c_{Plan} und c_{Profil} beschreiben, mit welchem Radius sich die Hangneigung parallel (Plankrümmung) bzw. senkrecht (Profilkrümmung) zur Exposition ändert:

$$c_{Plan} = -\frac{2(DH^2 + EG^2 - FGH)}{G^2 + H^2} \quad (11)$$

$$c_{Profil} = \frac{2(DG^2 + EH^2 + FGH)}{G^2 + H^2} \quad (12)$$

1.2.2 PARALLELE BERECHNUNGEN

1.2.3 RECHENLEISTUNG ZUR FREIEN VERFÜGUNG

1.2.4 3D-KARTE IM WEBBROWSER

2 HAUPTTEIL

2.1 RESULTAT

2.2 PRODUKTEVALUATION

2.3 (METHODISCHE REFLEXION)

3 SCHLUSSWORT, FAZIT UND DIS- KUSSION

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetuer at, consectetuer sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo wisi enim

eget quam. Quisque libero justo, consectetuer a, feugiat vitae, porttitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut venenatis velit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consectetuer. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo a nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetuer odio sem sed wisi.

LITERATUR

1. MUNTER, Werner. *3x3 Lawinen*. Athesia-Tappeiner Verlag, 2016.
2. SPIES, Andi. *3x3-Filtermethode* [<https://www.redbull.ch/de/kleine-lawinenkunde-teil-8-3x3-filtermethode>]. 2017. [Accessed 08-05-2024].
3. SWISSTOPO, Bundesamt für Landestopografie. *Die Digitalisierung der Landestopografie (1960 - 1980)* — swisstopohistoric.ch [[https://www.swisstopohistoric.ch/de/archiv/die-digitalisierung-der-landestopografie-\(1960-1980\)-126.html](https://www.swisstopohistoric.ch/de/archiv/die-digitalisierung-der-landestopografie-(1960-1980)-126.html)]. [Accessed 08-05-2024].
4. SWISSTOPO, Bundesamt für Landestopografie. *SwissAlti3d Produktinformation* [<https://backend.swisstopo.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-swisstopoch-files/files/2023/11/14/6d40e558-c3df-483a-bd88-99ab93b88f16.pdf>]. 2022. [Accessed 08-05-2024].
5. DER BUNDESRAT, Informationsdienst EDI. *Bundesrat will die Nutzung offener Verwaltungsdaten stärker fördern* — admin.ch [<https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-73188.html>]. 2018. [Accessed 08-05-2024].
6. HORN, Berthold. Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*. 1981, Jg. 69, S. 14–47. Abger. unter DOI: [10.1109/PROC.1981.11918](https://doi.org/10.1109/PROC.1981.11918).
7. THORNE, Colin et al. Terrain analysis for quantitative description of zero-order basins. 1987.

4 ABILDUNGSVERZEICHNIS

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetuer at, consectetuer sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo wisi enim eget quam. Quisque libero justo, consectetuer a, feugiat vitae, porttitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut vene-

tatis vestit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consectetuer. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo a nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetuer odio sem sed wisi.