

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 Webbrowser | 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 Höhenmodels (DEM) SwissAlti^{3D} mit einer Auflösung von 0.5m, der Bodenbedeckungskarte SwissTLM^{3D} sowie historischen Unfalldaten des SLF wird eine computeroptimierte Reduktionsmethode entwickelt, welche flächen-deckend individuelle Gefahrenwerte für einzelne Rasterpunkte innerhalb der Schweiz errechnen kann. Um sinnvolle Risikowerte zu errechnen, muss ausserdem die Begehungshäufigkeit zugezogen 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 effizient ausführen

VORWORT

Seit der weltweiten Coronapandemie erlebt das Skitourengehen eine neue Hochkonjunktur, viele Pistenskifahrer stiegen dank geschlossener Transportanlagen auf Muskelkraft um [1]. So begab auch ich mich mit meinem Vater auf meine erste Skitour – den 1922 Meter hohen Fronalpstock im Herzen des Kantons Schwyz. Eigentlich ist dieser durch eine Sesselbahn in 2 Sektionen mechanisch erschlossen, nicht aber während der Weihnachtsferien 2020. Als ich im August 2021 an der Alten Kanti Aarau mit dem Gymnasium begann und ich mich bereits in den ersten Wochen für eine Themenwoche entscheiden musste, schafften es für mich nur drei Angebote in die engere Auswahl: Die beiden Skilager Flims 1 & 2 – und das Tourenlager angeboten von Michael Kappeler. So war ich im dann im April 2021 zum ersten Mal in Begleitung eines Bergführers auf Tour im Sustengebiet. Seit dort lässt mich das Skitourengehen nicht mehr los.

Im Winter der Jahre 2023/2024³ wurden vom Schweizer Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF 175 Lawinenabgänge mit Sach- oder Personenschaden gemeldet. Insgesamt waren 190 Personen von einer Lawine erfasst worden. [2]

Daher auch die Motivation für diese Arbeit. Um eine Risikominimierende Tour zu planen, gibt es bereits viele sogenannte Reduktionsmethoden, Entscheidungshilfen, die dazu dienen, eine Ja / Nein-Entscheidung zu treffen, ob eine gewünschte Route möglich oder unmöglich ist [3]. Hier besteht oft eine gewisse Interpretationsfreiheit. Computer besitzen keine Arroganz, sie sind emotional nicht an eine Lieblingstour oder ein Gipfelerlebnis gebunden. Sie führen nur genau diese Berechnungen durch, mit denen sie beauftragt wurden – genau diese Qualität ist hier verlangt. Stures, objektives abarbeiten des Geländes auf der Suche nach Schlüsselstellen oder übermäßig gewagten Routenführungen. Kann ein Computer also, ohne je das Konzept eines Gipfels zu verstehen, eine Reduktionsmethode durchführen? Uns vom Bildschirm lösen, uns aus dem Wohnzimmer auf eine sichere Tour schicken? Auf der Suche nach einer variantenreichen Abfahrt, das Risiko in einer Statistik des SLF zu enden, zu minimieren? Dieser Frage gehen wir in der anhenden Arbeit nach.

³1. Oktober 2023 – 26. März 2024

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 [4]:

- 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 [4][5]:

- 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 [4][5]:

- Verhältnisse: 1. Neuschneemenge, 2. Triebsschnee, 3. Mögliche Abrisszonen, 4. Sonneneinstrahlung
- 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 Landestopografie zu prüfen, ob tief fliegende feindliche Kampfflugzeuge unbemerkt in die Schweiz eindringen 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. [6]

Rufe nach einem engmaschigerem Modell brachten schliesslich unter anderem «DHM25» hervor, welches eine Auflösung von bereits 25 m mitbringt. [6]

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 [7]. 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 [8]. 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. [7]

1.1.4 RELEVANTE GELÄNDEFAKTOREN

1.1.5 UNFALLDATEN & BEGEHUNGEN

1.2 METHODIK

1.2.1 BERECHNUNG VON TOPOGRAPHISCHEN 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:

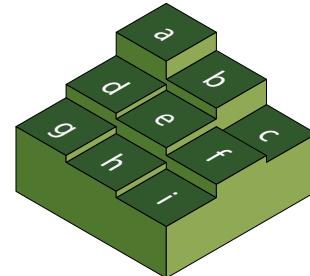


Abb. 1: 3×3 -Ausschnitt von Höhen aus einem DEM und deren Benennung

Hangneigung und Exposition nach [9]:

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

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

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 [10]:

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

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

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

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

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

(6) – (10) sind die Faktoren eines teilweisen Polynoms vierten Grades [10]. 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

LITERATUR

1. BACHMANN, Anita. *Corona macht Skitouren populärer — sac-cas.ch* [<https://www.sac-cas.ch/de/ausbildung-und-sicherheit/corona-macht-skitouren-populaerer-24680/>]. 2020. [Accessed 10-05-2024].
2. DR. ZWEIFEL, Benjamin. *Winterbericht 2023/24 — slf.ch* [<https://www.slf.ch/de/lawinenbulletin-und-schneesituation/winterberichte/winterbericht-202324>]. 2024. [Accessed 10-05-2024].
3. SCHMUDLACH, Günter. *Reduktionsmethoden — info.skitourenguru.ch* [<https://info.skitourenguru.ch/index.php/reduktionsmethoden>]. [Accessed 10-05-2024].
4. MUNTER, Werner. *3x3 Lawinen.* Athesia-Tappeiner Verlag, 2016.
5. SPIES, Andi. *3x3-Filtermethode* [<https://www.redbull.ch/de/leine-lawinenkunde-teil-8-3x3-filtermethode>]. 2017. [Accessed 08-05-2024].
6. 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].
7. 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].
8. 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].
9. 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).
10. THORNE, Colin et al. Terrain analysis for quantitative description of zero-order basins. 1987.

4 ABBILDUNGSVERZEICHNIS