

Echtzeitvisualisierung von Lawinenrisiko basierend auf hochauflösenden Geodaten

Johannes Eschner, Adam Celarek, Manuela Waldner

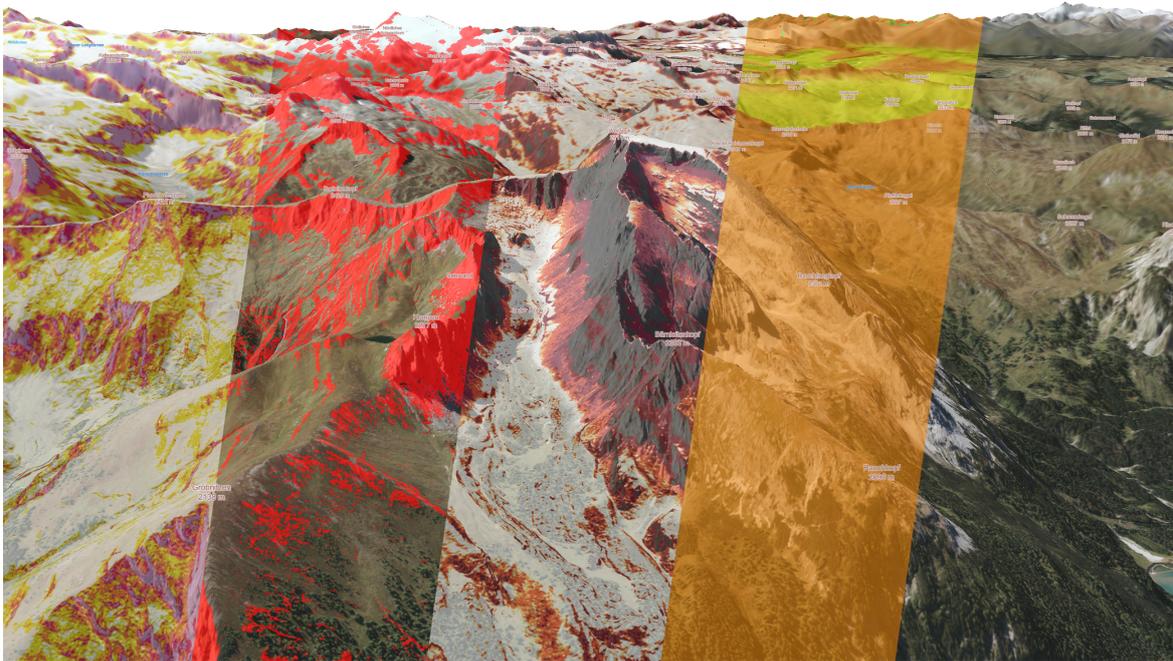


Abbildung 1: Übersicht der verschiedenen Overlays unserer 3D Risikovisualisierung. Von links nach rechts: Hangneigung, Stop-or-Go, SnowCard, Lawinenwarnstufe, Geländemodell ohne Overlay.

1 Einleitung

Um das Lawinenrisiko auf Touren abzuschätzen, konsultieren Tourengänger_innen typischerweise vorab den aktuellen Lawinenlagebericht (LLB) sowie die Geländeeigenschaften, wie Hangneigung, Höhe und Exposition der geplanten Tour auf einer Karte. Reduktionsmethoden wie Stop-or-Go oder die SnowCard können sowohl bei der Planung als auch vor Ort angewandt werden, um das Risiko abzuschätzen. Bei korrekter Anwendung dieser Methoden könnte ein Großteil der Todesfälle vermieden werden [3]. Die Anwendung umfasst jedoch mehrere kognitiv aufwändige Schritte: Im ersten Schritt müssen Tourengänger_innen die Informationen aus LLB und Karte korrekt verknüpfen und anhand der gewählten Methode interpretieren, um potenziell kritische Regionen entlang der Route vorab identifizieren zu können. Im zweiten Schritt müssen potenziell kritische Regionen auch während der Tour als solche wiedererkannt und vor Ort beurteilt werden.

Um die Anwendung von Reduktionsmethoden für Wintersportler_innen zu vereinfachen, können die Informationen aus LLB computergestützt mit den Geländeeigenschaften aus-

gewertet und direkt in einer Karte dargestellt werden. Skitourenguru [7], beispielsweise, berechnet das Lawinenrisiko entlang vorgegebener Routen und stellt diese in einer 2D Karte dar. Im Vergleich zu 2D Karten erleichtert eine dreidimensionale Darstellung jedoch die Interpretation des Geländes und das Finden von Routen [1, 6]. Unsere Hypothese ist daher, dass eine direkte Visualisierung des Lawinenrisikos auf einer detaillierten 3D Karte die Identifikation von potenziell kritischen Regionen einer Route in der Planungsphase, sowie deren Wiedererkennung während der Tour, erleichtert.

Wir stellen eine integrierte 3D Risikovisualisierung vor, welche Daten aus dem aktuellen LLB mit einem hochauflösenden Geländemodell kombiniert und existierende Reduktionsmethoden in Echtzeit auswertet, um das Ergebnis auf einer interaktiven Webseite zu visualisieren.

2 Hintergrund

Der Lawinenlagebericht (LLB) dient als zentrale Anlaufstelle für Alpinist:innen um sich über die aktuelle Lawinensituation zu informieren. Obwohl es internationale Standards für den LLB gibt, beschränkt sich der Fokus unserer Risikovisualisierung auf Daten der Österreichischen Lawinenwarndienste. Eine Ausweitung auf andere Länder ist jedoch dadurch nicht ausgeschlossen, da die vorgestellten Techniken auf allgemeine Anwendbarkeit ausgelegt sind.

Der LLB in Österreich wird in der Wintersaison regelmäßig aktualisiert und steht auf den Internetauftritten der jeweiligen Lawinenwarndienste zur Verfügung. Diese Daten sind nicht nur auf der Webseite des Warndienstes verfügbar, sondern werden auch in einem maschinenlesbaren Format veröffentlicht, welches es ermöglicht die Berichte automatisiert auszuwerten. Dieses XML-basierte Format nutzt den Standard der Canadian Avalanche Association Markup Language (CAAML) um den LLB zu kommunizieren. Unser Risikovisualisierungstool liest und verarbeitet diese Daten, um den Bericht in Folge darzustellen.

Reduktionsmethoden, wie sie beginnend in den 1990er Jahren mit der Elementaren und der Professionellen Reduktionsmethode von Werner Munter eingeführt wurden [4, 5], sind Werkzeuge, die für die Einschätzung des lokalen Lawinenrisikos zur Hilfe genommen werden können. Während mittlerweile eine Vielzahl solcher Methoden existiert, sind im deutschen Sprachraum - und damit auch im Zielgebiet unserer Risikovisualisierung - vor allem die Stop-or-Go Methode des Österreichischen Alpenvereins und die SnowCard des Deutschen Alpenvereins weit verbreitet. Bei diesen beiden Methoden wird ein Zusammenhang zwischen der Hangneigung und der Lawinenwarnstufe hergestellt, aus dem sich ein erster Risikowert ergibt. Weitere Faktoren, wie die Exposition, die Vegetation oder auch die Gruppengröße können Einfluss auf diesen Risikowert haben. Faktoren wie vorhandene Verspürung, die das Risiko verringern kann, können jedoch nur vor Ort geprüft werden. Daher ist etwa die Stop-or-Go Methode in zwei Checks unterteilt: der erste Check umfasst Risikofaktoren, die sich aus LLB und Geländeeigenschaften ableiten lassen, während der zweite Check eine Einschätzung der Situation vor Ort benötigt. Nachdem Daten zur Situation vor Ort im Allgemeinen nicht in einem maschinenlesbaren Format zur Verfügung stehen, beschränkt sich die von uns entwickelte Visualisierung auf jene Risikoeinschätzung, die dem ersten Check bei Stop-or-Go entspricht.

Für die Darstellung und Auswertung des Geländemodells nutzen wir ein via Open Government Data zur Verfügung gestelltes Höhenmodell von Österreich welches eine Auflösung von rund einem Datenpunkt pro Quadratmeter aufweist. Dieses Modell steht in zwei Versionen zur Verfügung: das Digitale Geländemodell (DGM) beinhaltet die Geländehöhen, während das Digitale Oberflächenmodell (DOM) auch Oberflächeneigenschaften wie Vegetation und Gebäude umfasst. Diese Datensätze können mittels Kartendiensten wie MapLibre

[2] im Webbrowser dargestellt werden. Zusätzlich zu den Höheninformationen werden in unserer Anwendung Luftbilder als Textur für das Höhenmodell dargestellt, um eine realistische Darstellung des Geländes und damit einen hohen Wiedererkennungswert zu erzeugen.

Studien im Bereich der Risikovisualisierung, wie etwa für Evakuierungsrouten bei Vulkanausbrüchen [6], haben gezeigt, dass 3D Karten unter Verwendung eines Höhenmodells zu einem besseren Erkennen von Geländeeigenschaften und Finden von Evakuierungsrouten führen. Im Kontext der Lawinenrisikovisualisierung, wo Hangneigung und -exposition eine wichtige Rolle spielen, kann diese Eigenschaft erhebliche Vorteile bringen. Insbesondere können bei einer dreidimensionalen Darstellung des Geländes die anderen visuellen Kanäle der Kartendarstellung, wie etwa die Farbe, zur Kodierung zusätzlicher Informationen, wie dem Lawinenrisiko oder der Schneesituation, genutzt werden [6]. Bei 2D Karten wird die Farbe hingegen oft zur Kodierung der Geländeeigenschaften, beispielsweise der Hangneigung, benötigt.

3 Anwendung

Unser Prototyp soll die bewährten Reduktionsmethoden mit dem hochauflösenden DGM verbinden, um eine dynamische Visualisierung des Lawinenrisikos zu ermöglichen. Aus diesem Ziel ergeben sich die folgenden Anforderungen:

- *Verwendung von bewährten Reduktionsmethoden zur Risikobestimmung:* Empfohlene Reduktionsmethoden wie Stop-or-Go oder die SnowCard sind bereits weitgehend erprobt und ihre Effektivität ist empirisch belegt. Die einfachen Heuristiken, mit denen die Risikobewertung durchgeführt werden, lassen sich algorithmisch implementieren und für die Vorabplanung reicht es aus, Informationen aus dem LLB mit statischen Geländeeigenschaften zu verknüpfen.
- *Darstellung des Risikos durch eine effektive visuelle Kodierung:* Bei der visuellen Darstellung von Daten auf einer 3D Karte müssen Faktoren wie visuelle Überladung beachtet werden.
- *Aufmerksamkeit auf kritische Bereiche lenken:* Kritische Stellen mit potenziell erhöhtem Lawinenrisiko sollen auf der Karte so dargestellt werden, dass sie die Aufmerksamkeit der Nutzer:innen erregen.
- *Unterstützung der Orientierung und des Wiedererkennens kritischer Bereiche vor Ort:* Zusätzlich soll die Visualisierung so realitätsgetreu sein, dass zuvor identifizierte kritische Bereiche wiedererkannt werden können.
- *Bereitstellung eines Überblicks über die Lawinensituation:* Neben der detaillierten Geländeauswertung durch die gewählte Reduktionsmethode, soll auch ein Überblick über eine größere Region zur Verfügung gestellt werden. Dazu bietet sich eine klassische Darstellung der landesweiten Lawinenwarnstufen an.
- *Unterstützung für Echtzeit-Interaktionen mit der Risikovisualisierung:* Das Risikovisualisierungstool soll interaktive Inspektion ermöglichen. Neben klassischer Kartennavigation soll es möglich sein verschiedene Reduktionsmethoden anzuwenden und ausgewählte Geländepunkte genauer zu inspizieren. Dies soll in Echtzeit ohne Verzögerung möglich sein.
- *Ausweitung der Risikovisualisierung über vordefinierte Touren hinaus:* Anders als bei Sommertouren, wo in der Regel einer durch Wege vorgegebenen Route gefolgt wird, gehen Variationen bei Schitouren oft über vorgegebene GPS-Tracks hinaus. Die Nutzer:innen sollen die Möglichkeit haben alle Aufstiegs- und Abstiegsvariationen zu analy-

sieren. Auch die Umgebung der geplanten Route sollte bei der Planung berücksichtigt werden. Unser Risikovisualisierungstool wertet daher alle Geländepunkte aus – nicht nur jene entlang von vordefinierten Routen. Tour Tracks können zwar dargestellt werden, haben aber keinen Einfluss auf die Risikoberechnung.

- *Ausweitung der Risikovisualisierung über den aktuellen LLB hinaus:* Abgesehen von der aktuellen Lawinensituation soll unser Risikovisualisierungstool auch mit archivierten Berichten arbeiten können. Dadurch ist es möglich vergangene Touren zu untersuchen.

3.1 Technische Implementierung

Ausgehend von diesen Anforderungen ist das Softwaredesign unserer Anwendung in drei Hauptkomponenten gegliedert. Um die Echtzeitdarstellung und -auswertung der statischen Geodaten (Höhenmodell und Regionskarten) zu vereinfachen, werden diese in einem Vorverarbeitungsschritt in ein kompatibles Format konvertiert und für die Kartendarstellung bereitgestellt. Neben dem DGM, welches für die Berechnung der Hangneigung genutzt wird, wird hier auch das DOM bereitgestellt, wodurch Oberflächendetails wie Bäume und einzelne Felsblöcke in der 3D Karte dargestellt werden können. Diese können bei der Tourenplanung als Orientierungspunkte genutzt werden, wodurch die Wiedererkennung vor Ort erleichtert wird.

Für die Echtzeitauswertung der dynamischen Daten aus dem LLB am Endgerät, müssen diese ebenfalls vorverarbeitet werden. Hierbei wird die maschinenlesbare Version des LLB in ein stark komprimiertes internes Format übersetzt. Die dritte Hauptkomponente umfasst die Auswertung und Darstellung des Lawinenrisikos auf der 3D Karte. Hierzu werden die statischen Geodaten mit dem LLB verknüpft, um den Risikowert an jeder Stelle der Karte zu errechnen. Damit diese Berechnung in Echtzeit erfolgen kann, werden die Heuristiken der Reduktionsmethoden auf der Grafikkarte implementiert.

Die Implementierung auf der Grafikkarte bietet sich an, da es unser Ziel ist die Berechnung des Risikowertes für jeden sichtbaren Geländepunkt durchzuführen. Die Architektur von Grafikkarten ist auf das parallele Ausführen von Berechnungen optimiert, wobei sogenannte Shaderprogramme für jeden Pixel gleichzeitig ausgeführt werden. Wir nutzen diese Eigenschaft, um die Risikoberechnung effizient in Echtzeit durchzuführen. Shader wurden unter anderem für die Berechnung der Beleuchtung bzw. der Schattierung in der Computergrafik entwickelt. Bei diesen Berechnungen wird die Geometrie in Zusammenhang mit einer Lichtquelle ausgewertet. Im Fall der Reduktionsmethoden wird ebenfalls eine Auswertung der Geländegeometrie durchgeführt, wobei hier auf die Lichtquelle verzichtet werden kann. Eine besondere Herausforderung bei der Implementierung der Risikoberechnung ergibt sich daraus, dass die von uns verwendeten Shader nicht für beliebige Dateneingaben ausgelegt sind. Aus diesem Grund müssen die Daten aus dem LLB in eine Bildtextur kodiert werden. Die Regeln für Reduktionsmethoden selbst werden in tabellarischer Form an die Grafikkarte übermittelt. Daraus kann dann für jede Hangneigung (Zeile) und jede Warnstufe (Spalte) der Risikowert ermittelt werden. Für die Implementierung auf der Grafikkarte nutzen wir das WebGL und das MapLibre Framework, welche von allen gängigen Webbrowsern unterstützt werden. Eine schematische Übersicht der Risikoberechnung ist in Abbildung 2 zu sehen.

3.2 User Interface

Für die Nutzer:innen werden die Risikowerte in Form von farblichen Overlays im Kartendiens dargestellt. Um eine möglichst große Auswahl an Informationen bereitzustellen, umfasst die Visualisierung vier verschiedene Overlays mit Informationen zur Lawinensituation. Das erste dieser Overlays stellt klassisch die Lawinengefahr in der aus dem LLB bekannten Farb-

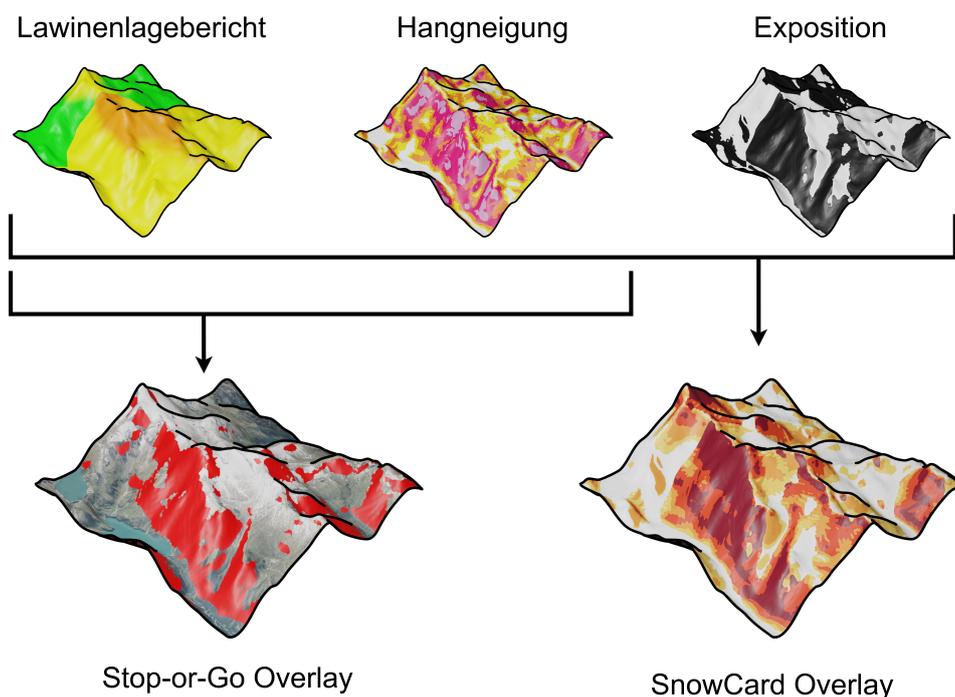


Abbildung 2: Übersicht der verschiedenen Overlays unserer 3D Risikovisualisierung. Von links nach rechts: Hangneigung, Stop-or-Go, SnowCard, Lawinenwarnstufe, Geländemodell ohne Overlay.

skala auf der 3D Karte dar. Diese Ansicht nutzt die Höhendaten aus dem DGM, um zwischen den Warnstufen in unterschiedlichen Höhenregionen zu unterscheiden und bietet damit einen großräumigen Überblick über die Lawinensituation. Im Gegensatz zur klassischen 2D Karte stellen wir in dieser Ansicht auch den graduellen Übergang zwischen den Höhenregionen dar, indem wir die Lawinengefahr zwischen den Höhenregionen interpolieren. Bei dieser Interpolation wird die jeweils höhere Warnstufe durch einen graduellen Übergang von 200 Höhenmetern in den Bereich der niedrigeren Warnstufe geschoben.

Die nächsten beiden Overlays stellen die eigentliche Risikovisualisierung dar, indem sie eine visuelle Enkodierung der beiden Reduktionsmethoden (Stop-or-Go und SnowCard) auf dem Geländemodell implementieren. Die Visualisierung der Stop-or-Go Methode soll anzeigen, welche Bereiche im Gelände aufgrund des erhöhten Risikos zu meiden sind. Hierzu wird der “Check 1” von Stop-or-Go angewandt, welcher in Abhängigkeit von der Hangneigung und der Warnstufe im LLB entweder zu einem “Stop” oder “Go” führt. In der Implementierung dieser Methode wird die Hangneigung an jedem Punkt im DGM bestimmt und mit der Lawinenwarnstufe abgeglichen. Sollte dieser Abgleich zu einem “Stop” führen, so wird der entsprechende Punkt im Gelände rot markiert. Andernfalls bleibt die Kartendarstellung unverändert. Im Gegensatz zur Stop-or-Go bietet die SnowCard eine kontinuierliche Risikodarstellung, welche auch die Exposition miteinbezieht. In der Implementierung der SnowCard wird daher zusätzlich zum Abgleich von Warnstufe und Hangneigung auch die Exposition an jedem Punkt im Gelände evaluiert. Zur Visualisierung des Risikos wird eine kontinuierliche Farbskala genutzt. Die gewählte Farbskala unterscheidet sich bewusst von der Rot-Gelb-Grün Skala in der originalen SnowCard, da hier einerseits eine Verwechslungsgefahr mit der Darstellung der Lawinenwarnstufe besteht und andererseits Rot-Grün Skalen die Barrierefreiheit gegenüber farbfeldsichtigen Personen senken. Darüber hinaus führt die

halbtransparente Überlagerung der Rot-Grün Skala auf dem mehrheitlich grünen Hintergrund der Orthofotos zu Problemen in der Farbdarstellung.

Zuletzt steht auch noch ein klassischer Hangneigungslayer zur Verfügung, welcher die Steilheit in der 3D Karte farblich darstellt. Abbildung 1 zeigt einen Überblick der verschiedenen Overlays in der Visualisierung.

Um die Risikovisualisierung zur Tourenplanung zu nutzen, steht in der Kartenansicht ein weiteres Tool zur Verfügung. Bei diesem handelt es sich um ein Inspektionstool, welches es erlaubt durch einen Klick auf die Karte, die darunterliegenden Werte (Hangneigung, Höhe, Exposition) auszulesen und so zu verstehen, wie die Risikobewertung zustande kommt. Die einzelnen Einflussfaktoren werden hierbei als Piktogramme dargestellt. Ein Beispiel für die Verwendung des Inspektionstools in der Detailplanung ist in Abbildung 3 zu sehen.

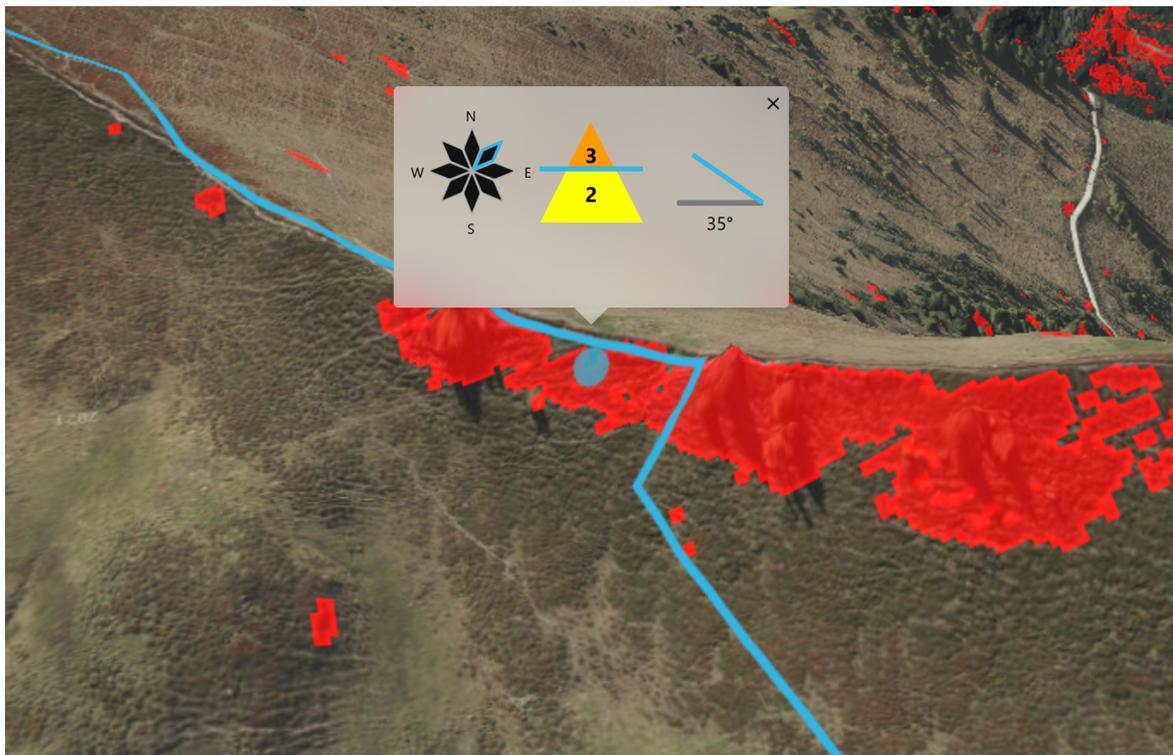


Abbildung 3: Beispiel einer Anwendung des Inspektionstools. An der ausgewählten Stelle gilt laut Auswertung von Stop-or-Go ein "Stop". Anhand der Piktogramme ist erkennbar, dass es sich um eine ungünstige Exposition handelt, eine Lawinenwarnstufe im Übergang von 2 und 3 vorherrscht und die Hangneigung 35° beträgt. Zusätzlich ist auch zu sehen, dass dank der hohen Auflösung einzelne Bäume im Geländemodell erkennbar sind.

4 Evaluierung und Ausblick

Zur Evaluierung des implementierten Visualisierungsprototyps und des gewünschten Aufmerksamkeitslenkungseffekts wurde eine Pilotstudie durchgeführt, bei der sechs Nutzer:innen mit unterschiedlichen Erfahrungsstufen (von gelegentlichen Tourengänger:innen ohne Planungserfahrung bis zu einem Schitourenführer des ÖAV) in der Tourenplanung an einem simulierten Planungsprozess teilnahmen. Im Rahmen dieser Studie wurden jeweils zwei Aufgaben zur Übersichts- und Detailplanung sowohl mit unserer 3D Risikovisualisierung als auch mit einer herkömmlichen 2D Hangneigungskarte und dem separaten LLB gelöst. Dadurch konnte untersucht werden, inwieweit der Planungsprozess durch die 3D Risikovisualisierung

für diese beiden Aufgabentypen beeinflusst wird. Für die Studie wurde nur eines der Overlays (die Auswertung der SnowCard) herangezogen. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurde auch das Inspektionstool (Abbildung 3) nicht zur Verfügung gestellt. Durch die geringe Anzahl an Teilnehmer·innen lassen sich keine statistisch signifikanten Aussagen treffen.

Die Ergebnisse zeigen, dass es bei der Überblicksplanung, wo aus zwei möglichen Touren die risikoärmere auszuwählen war, keinen eindeutigen Effekt durch die Verwendung der 3D Risikovisualisierung gibt. Bei der Aufgabe zur Detailplanung, wo Teilnehmer·innen potenziell kritische Bereiche auf der Karte markieren sollten, zeigte sich hingegen ein potenziell positiver Effekt gegenüber der 2D Hangneigungskarte. Die von den Nutzer·innen als besonders kritisch markierten Bereiche entlang der Route waren über die Teilnehmer·innen hinweg konsistenter und entsprachen auch jenen Positionen, die durch Skitouren guru als Schlüsselstellen markiert waren.

Zusätzlich zu den beiden Aufgabenstellungen wurden die Teilnehmer·innen der Studie nach jeder Aufgabe gefragt, wie sicher sie sich in ihrer getroffenen Einschätzung waren. Die Auswertung dieser Sicherheitswerte zeigte, dass sich die Teilnehmer·innen bei der Anwendung der herkömmlichen Methode in ihren Entscheidungen sicherer waren als bei der Nutzung der 3D Risikovisualisierung. Diese Ergebnisse decken sich auch mit den qualitativen Aussagen der Teilnehmer·innen während des Interviews am Ende der Studie. Hierbei war vor allem das fehlende Vertrauen in die integrierte 3D Risikovisualisierung auffallend. Vier von sechs Benutzer·innen kritisierten, dass es nicht klar ist, wie die gezeigte Risikobewertung berechnet wurde. Gleichzeitig wurden der höhere Informationsgehalt und die visuelle Kodierung der Karte positiv gesehen.

Ausgehend von den Ergebnissen der Pilotstudie lassen sich die folgenden vorläufigen Schlüsse ziehen:

- Für Übersichtsaufgaben in der Tourenplanung sind wahrscheinlich 2D Karten ausreichend.
- Um potenziell kritische Stellen entlang einer Route vorab zu identifizieren ist unser Ansatz der 3D Risikovisualisierung vielversprechend. Allerdings müsste noch systematischer untersucht werden, welchen Einfluss die 3D Darstellung bzw. das Risiko-Overlay jeweils haben.
- Um Vertrauen in die Anwendung zu schaffen ist Transparenz nötig. Nutzer·innen müssen nachvollziehen können, wie die dargestellte Risikobewertung zustande kommt.

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass mit der vorliegenden Arbeit gezeigt wurde, dass eine integrierte Echtzeitvisualisierung des Lawinenrisikos unter Einbeziehung des LLB und eines hochauflösenden Geländemodells möglich ist und das Potential hat, zur Identifikation kritischer Stellen auf einer Tour beizutragen. Im Speziellen konnte gezeigt werden, dass die hochauflösende Risikoanalyse bei der detaillierten Vorabplanung das Erkennen potenzieller Gefahrenstellen erleichtern kann. Das Tool ist so flexibel implementiert, dass relativ einfach auch andere Reduktionsmethoden, Variationen von Reduktionsmethoden und alternative Farbschemata getestet werden können. Diese Erweiterungen bieten eine Basis für zukünftige, tiefere Studien. Eine weitere wichtige Ergänzung wäre das Einpflegen von im Winter aufgenommenen Luftbildern anstatt der momentan vorhandenen Sommerbilder.

Eine Demoversion der Implementierung, welche sowohl für Desktopbrowser als auch für mobile Endgeräte optimiert ist, ist unter folgendem Link verfügbar: <https://alpinemaps.cg.tuwien.ac.at/>



Abbildung 4: Die Implementierung ist für Desktop- und Mobilgeräte ausgelegt und kann über den QR-Code direkt im Browser ohne Download genutzt werden.

References

- [1] Aileen Buckley, Lorenz Hurni, Karel Kriz, Tom Patterson, and Jeff Olsenholler. “Cartography and visualization in mountain geomorphology”. In: *Geographic information science and mountain geomorphology* (2004), pp. 1–27.
- [2] MapLibre Contributors. *MapLibre GL JS*. <https://maplibre.org/maplibre-gl-js-docs/api/>. Accessed: 2023-01-15. 2023.
- [3] Jan Mersch and Wolfgang Behr. “There is no Glory in Prevention! Klarstellungen zur Lawinenkunde”. In: *Tagungsband des 4. internationalen Lawinensymposiums, Graz*. 2021, pp. 12–19.
- [4] Werner Munter. *3 x 3 Lawinen: entscheiden in kritischen Situationen*. Garmisch Patenkirchen, Germany: Agentur Pohlmann & Schellhammer, 1997.
- [5] Werner Munter. “Reduktionsmethode Vom Minutenentscheid zum synthetischen Blick”. In: *Berg & Steigen* 01.4 (2001), pp. 35–36.
- [6] Charles A Preppernau and Bernhard Jenny. “Three-dimensional versus conventional volcanic hazard maps”. In: *Natural Hazards* 78.2 (2015), pp. 1329–1347.
- [7] Günther Schudlach. *Skitouren guru*. <https://www.skitouren guru.ch/>. Accessed: 2023-01-19. 2022.