

# GIS-basierte Lawinengefahrenanalyse unter Berücksichtigung des Lawinenlageberichts

VON MARCEL SIEGMANN UND ARMIN HELLER

**D**iese Untersuchung soll klären, inwieweit es möglich ist, eine Lawinengefahrenkarte auf Grundlage des Lawinenlageberichts mithilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) zu erstellen. Im ersten Schritt werden die grundlegenden Informationen des Lawinenlageberichts unter Zuhilfenahme der Elementaren Reduktionsmethode (ERM) und eines Höhenmodells verknüpft. Die ERM teilt den Hang anhand der jeweils vorherrschenden Gefahrenstufe und der Hangneigung in Gefährdungsbereiche ein. Zur Darstellung der Zusatzinformationen wird im zweiten Schritt eine automatisierte Geländeformerkennung durchgeführt. Die darin genannten geomorphologischen Formen können anschließend als besonders gefährdete Bereiche ausgewiesen werden. Durch die Erstellung einer Gefahrenkarte anhand der Basisinformationen konnten sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Dazu wurde die Gefahrenkarte anhand von digitalisierten Skitouren analysiert. Mit Zunahme der Gefahrenstufe nimmt der Anteil der Streckenteile mit geringem Risiko ab. Für die Arbeitsschritte wurden drei Modelle mit dem Geographischen Informationssystem ArcGIS (ESRI) entwickelt, die für jedes Höhenmodell mit einer Auflösung von 10 Metern verwendet werden können.

## Methode

Für die Erstellung einer Gefahrenkarte wurde auf die ERM nach Munter (2009) zurückgegriffen (siehe Abbildung 1). Die ERM verknüpft die Lawinengefahrenstufe mit der Hangneigung und empfiehlt passende Verhaltensregeln:

- Gering: Vorsichtig verhalten ab 40° Hangneigung.
- Mäßig: Verzicht ab 40°, vorsichtig verhalten ab 35°.
- Erheblich: Verzicht ab 35°, vorsichtig verhalten ab 30°.
- Groß: Verzicht ab 30°, vorsichtig verhalten bei unter 30°.

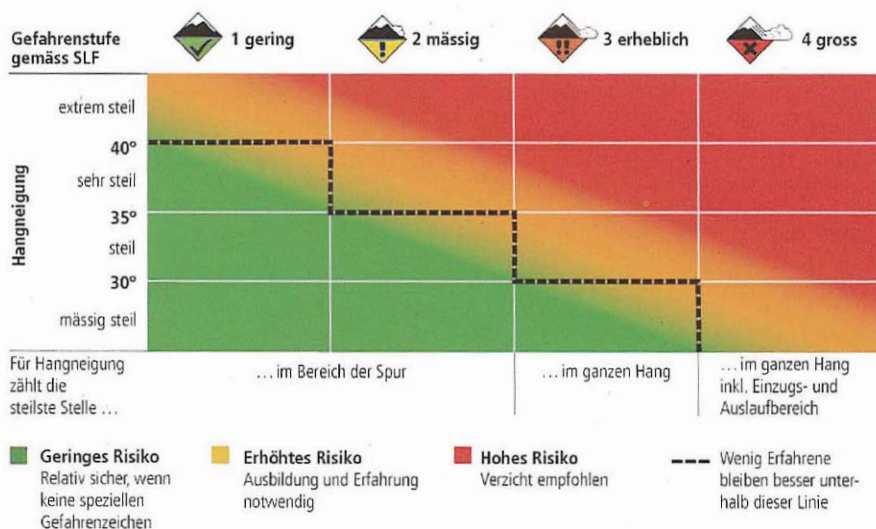


Abb. 1: Elementare Reduktionsmethode (Utelli und Eisenhut 2012).

Laut Munter (2009) ließen sich mithilfe der Reduktionsmethode mindestens zwei Drittel der tödlichen Lawinenunfälle vermeiden. Kraml und Fuhrer (2006) überprüften die Lawinenunfälle der Wintersaisons 1997/98 bis 2002/03 und stellten fest, dass „bei konsequenter Anwendung der ERM mindestens 70 % der Lawinenunfälle vermieden werden können“.

Zusätzlich gilt die allgemeine Gefahrenstufe nur für die Kombination aus ungünstiger Hang- und Höhenlage. Die Gefahrenstufe außerhalb dieser Schnittmenge kann um eine Stufe herabgesetzt werden (Munter 2009).

Im zweiten Schritt wurde versucht, eine automatisierte Geländeformerkennung von Bergkämmen, Rinnen und Mulden durchzuführen. Da der Wind als Baumeister der Lawinen gilt, sind die oben genannten Geländeformen besonders von Schneeverfrachtungen betroffen, was häufig eine erhöhte Gefahr darstellt (Würtl et al. 2009).

Um eine dynamische Gefahrenkarte zu erstellen, die je nach Lawinenlagebericht angepasst werden kann, wurden drei Modelle entwickelt, die aufeinander aufbauen. Das erste Modell Topographic Position analysiert Kämmen, Rinnen und Mulden. Das zweite Modell Lawinenskala berechnet die Gefahrenstufen Gering, Mässig und Erheblich für ein bestimmtes Gebiet. Das dritte Modell Gefahrenkarte verknüpft die errechneten Gefahrenstufen und integriert gefährdete Geländeformen anhand des aktuellen Lawinenlageberichts.

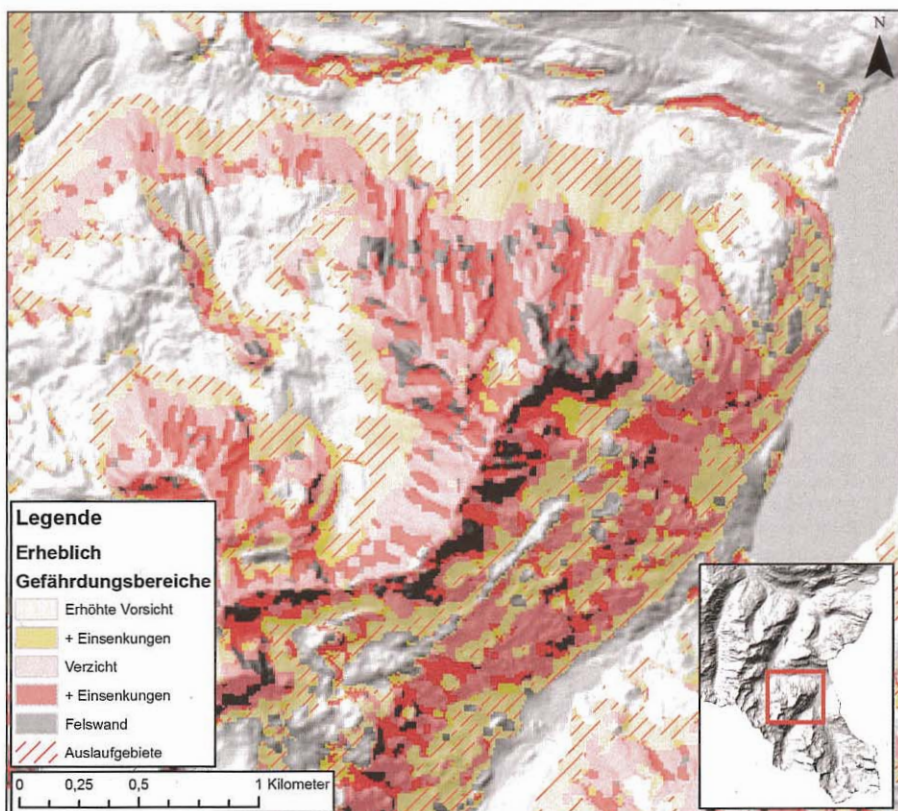


Abb. 2: Gefahrenstufe Erheblich, Felswand ab 55° Hangneigung (Siegmann 2013).

Ein weiterer wichtiger Punkt, der bei der ERM beachtet werden muss, ist der einbezogene Betrachtungsraum. Dieser variiert je nach Gefahrenstufe. Bei Gefahrenstufe Gering ist nur die Hangneigung der eigenen Spur ausschlaggebend, während bei Gefahrenstufe Mäßig die steilste Stelle innerhalb einer 20-Meter-Umgebung um die eigene Spur beurteilt wird. Bei Gefahrenstufe Erheblich wird die steilste Stelle des Hangs oberhalb der Spur als relevant erachtet, da es bei dieser Gefahrenstufe schon zu Fernauslösungen kommen kann (Würtl et. al. 2009). Die Gefahrenstufen Groß und Sehr Groß werden nicht berücksichtigt, weil in diesen Klassen spontane Selbstaumlösungen möglich sind, die nicht berechnet werden können.

Die Gefahrenstufe Erheblich zu simulieren, stellte eine der größten Herausforderungen dar, weil Fernauslösungen auch Tourengänger in einem Gelände betreffen können, das eine niedrigere Hangneigung als 30° aufweist. Es mussten Kriterien gefunden werden, die dieses Szenario abdecken können. Hierzu wurde auf die Parameter von

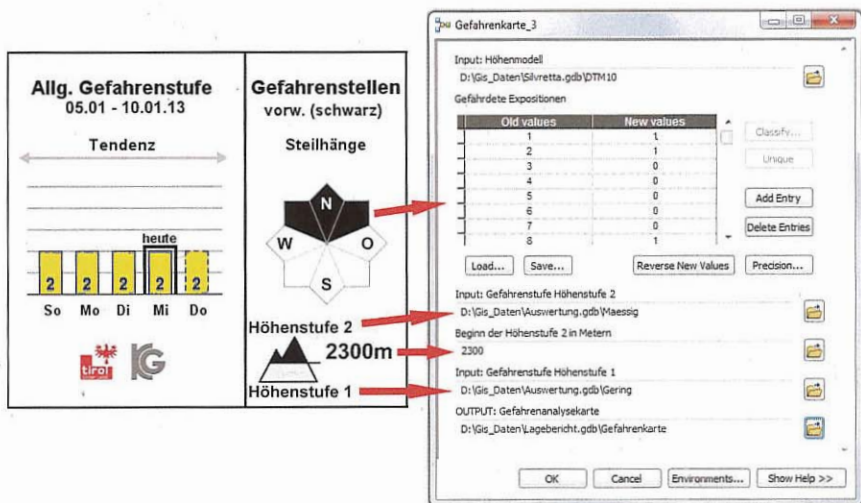


Abb. 3: Eingabe der Parameter in das entwickelte Tool Gefahrenkarte (Siegmann 2013).

Utelli und Eisenhut (2012) zurückgegriffen, die für die typische Skifahrerlawine, die Schneebrettlawine, gelten:

- Die Fernauslösung sowie die Auslaufdistanz sind maximal über eine Horizontal-distanz von 250 Metern möglich.
- Der Auslaufbereich befindet sich in Fließrichtung des Anrissbereiches.
- Ab 20° Neigung stoppt das Schneebrett.

Die Kriterien basieren teilweise auf Erfahrungen und Expertenwissen und sind nicht wissenschaftlich verifiziert.

Diese Parameter wurden in das Modell Lawinenskala integriert (siehe Abbildung 2). Um Auslaufgebiete von Lawinen zwischen 20° und 30° Hangneigung zu finden, wird eine hydrologische Abflusssimulation durchgeführt. Bei dieser vereinfachten Modellannahme wird also davon ausgegangen, dass eine Lawinenbahn die gleiche Fließrichtung wie Wasser hat. Die Oberflächenrauigkeit und die Anrissmächtigkeit müssen nicht berücksichtigt werden, weil die maximale Auslaufstrecke in Abhängigkeit von der Hangneigung berechnet wird.

Das Modell Gefahrenkarte ist für den Anwender das wichtigste Tool, weil es den aktuellen Lawinenlagebericht in einer Gefahrenkarte visualisiert. Dazu müssen folgende Parameter in das Tool eingegeben werden, die aus dem Lawinenlagebericht leicht abzulesen sind (siehe Abbildung 3):

- Gefährdete Hangexpositionen
- Gefahrenstufe der Höhenstufe 1
- Beginn der Höhenstufe 2 in Metern
- Gefahrenstufe der Höhenstufe 2

Die Gefahrenstufen werden dann mithilfe von Booleschen Operatoren verknüpft. Liegt ein Bereich in der Schnittmenge aus gefährdeter Hangexposition und gefährdeter Höhenlage, wird ihr die Gefahrenstufe der Höhenstufe 2 zugewiesen. Liegt ein Bereich innerhalb der Höhenstufe 2 und außerhalb der gefährdeten Exposition, wird ihr die Gefahrenstufe der Höhenstufe 1 zugewiesen. Bereiche innerhalb der Höhenstufe 1 bekommen die dafür zugewiesene Gefahrenstufe in allen Hangexpositionen. Gilt für das gesamte Gebiet nur eine Höhenstufe, müssen als Input für die einzutragenden Höhenstufen des Tools jeweils die gleichen Gefahrenstufen ausgewählt werden und der Beginn der Höhenstufe 2 auf 0 Meter gesetzt werden.

Neben den grafischen Basisinformationen des Lawinenlageberichts sollen ebenfalls die Zusatzinformationen des Textfeldes in der Gefahrenkarte dargestellt werden. Da die beschriebenen gefährdeten Bereiche der Zusatzinformationen oftmals in Bezug zu geomorphologischen Formen stehen, wurde entschieden, ein Tool zu entwickeln, das eine automatisierte Geländeformerkennung durchführen kann. Für die Wiedergabe der Zusatzinformationen spielen vor allem die Geländeformen Rinnen, Mulden und Bergkämme eine wichtige Rolle, weshalb nur diese Geländeformen berücksichtigt wurden. Hierbei musste beachtet werden, dass die Analyse anhand konstanter Grenzwerte berechnet werden kann, um das Tool auf jedes Höhenmodell mit unterschiedlicher Größe und Auflösung anwenden zu können. Da das Thema der Geländeformerkennung sehr komplex ist, wurden drei bekannte Analysemethoden verglichen und die geeignetsten verwendet (vergleiche Weiss 2001; Jenness 2006; Coops et al. 1998; Klingseisen et al. 2004; Heller 2011).

Die Geländeformerkennung nach Coops et al. (1998) basiert auf einer Kombination aus verschiedenen topografischen Attributen mit festgelegten Grenzwerten. Der entwickelte Algorithmus entstand in Australien für ein Höhenmodell mit 20-Meter-Auflösung, weshalb die Frage aufkam, wie gut er sich für den Alpenraum eignet. Eine Untersuchung von Rauter et al. (2006) zur GIS-gestützten Analyse zur Berechnung potenzieller Abbruchgebiete in Kärnten zeigte, dass der Algorithmus auch auf ein Höhenmodell mit 10-Meter-Auflösung innerhalb des Alpengebietes anwendbar ist.

Durch den Vergleich der Grenzwerte zwischen Coops et al. (1998) und Klingseisen et al. (2004) stellte sich heraus, dass die überarbeiteten Grenzwerte von Klingseisen et

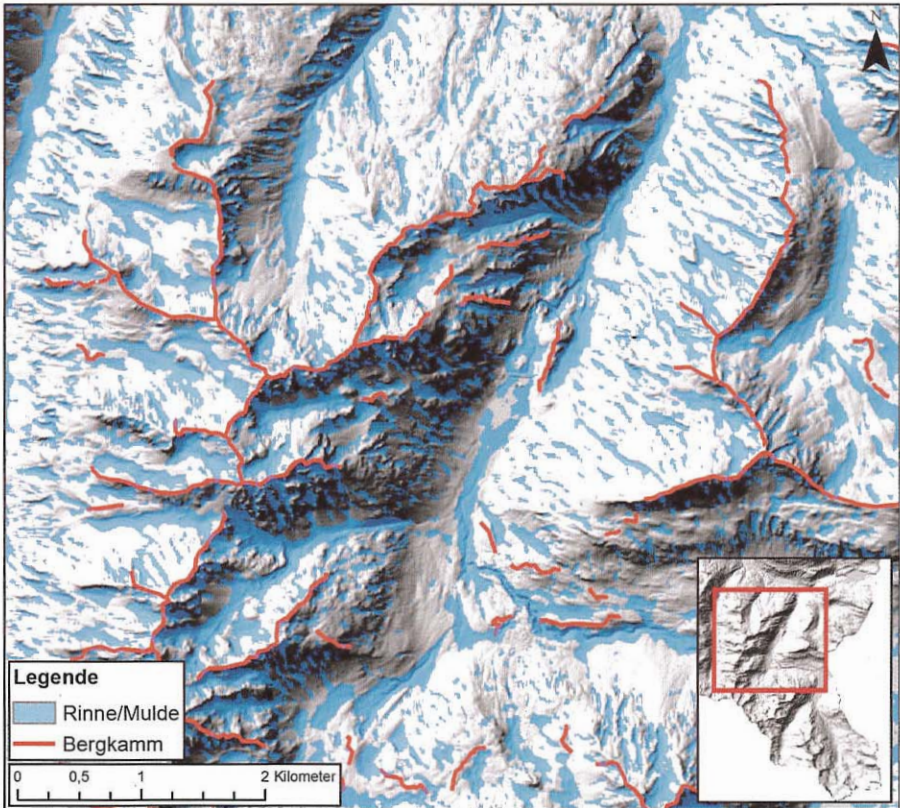


Abb. 4: Klassifizierung von Rinnen, Mulden und Bergkämmen (Siegmann 2013).

al. (2004) nach Generalisierung der Daten sehr gute Ergebnisse aufwiesen. Das mithilfe der Grenzwerte entwickelte Landform-Tool stand nicht zur Verfügung, sodass ein Modell mit den gleichen Eigenschaften programmiert wurde.

Die Klassifizierung von Mulden und Rinnen kann nach der Bearbeitung anhand von Generalisierungstools sofort in die Gefahrenkarte integriert werden (siehe Abbildung 4).

## Ergebnisse

Abbildung 5 zeigt eine beispielhafte Gefahrenkarte aus dem Untersuchungsgebiet im Vorarlberger Teil der Silvretta Gruppe in Österreich. Die allgemeine Gefahrenstufe ist Erheblich. Die gefährdete Höhenlage liegt bei über 2.200 Metern in den Expositionen Nordwest, Nord, Nordost. Zusätzlich sind die digitalisierten Skirouten des Alpenvereins dargestellt.

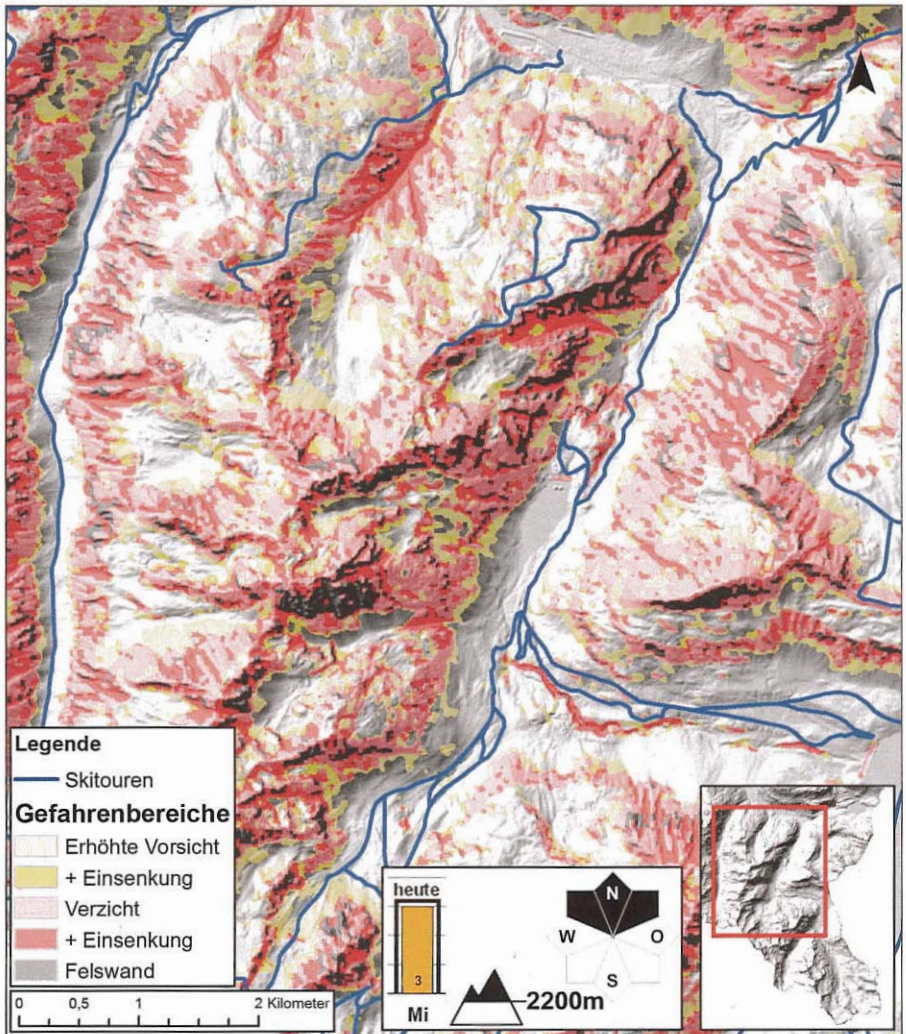


Abb. 5: Beispielhafte Umsetzung eines Lawinenlageberichts (Siegmann 2013)

Auf einer solchen Gefahrenkarte lassen sich Gefährdungsbereiche schnell erkennen, sodass eine geeignete Skitour gewählt werden kann. Sie soll die Tourenplanung unterstützen und keinesfalls die Begutachtung des Geländes vor Ort ersetzen.

Es musste die Frage gestellt werden, wie man die erstellten Karten überprüfen kann. Dazu wurde eine Skitourenanalyse durchgeführt. Die Skitouren der Alpenvereinskar-





