

SLABS

Die größte Herausforderung beim Skitourengehen und Schneeschuhwandern ist und bleibt die Beurteilung des Lawinenrisikos. In diesem Artikel beschreiben wir eine neue probabilistische, also auf Statistiken beruhende, Methode: SLABS (Screening the Likelihood of Avalanches on Backcountry Ski tours). Sie basiert sowohl auf Unfalldaten als auch auf Tausenden von Kilometern an aufgenommenen Skitouren (GPS-Daten). Damit ist sie die erste vollständig datenbasierte probabilistische Methode zur Lawinenrisikobeurteilung.

Von Bart Degraeuwe, Günter Sch mudlach, Kurt Winkler und Jochen Köhler



Foto: Martin Eisenknapp



Bart Degraeuwe ist promovierter Maschinenbauingenieur und Forscher im Bereich der Luftqualität bei VITO in Belgien. In seiner Freizeit ist er ein leidenschaftlicher Alpinist und Skitourengeher. Seit 2019 ist er an der Entwicklung des Lawinenrisikomodells von www.skitourenuru.ch beteiligt.

Ein Modell zur Beurteilung des Lawinenrisikos

Das Interpretieren eines Lawinenbulletins (LB) ist komplex, ganz zu schweigen von der Einschätzung der Schneedeckenstabilität anhand eigener Beobachtungen. Die Methoden zur Beurteilung des Lawinenrisikos lassen sich in zwei große Kategorien einteilen: probabilistische (auch strategische) Methoden und analytische Methoden. Probabilistische Methoden nutzen eine beschränkte Anzahl von Geländeeigenschaften und Informationen aus dem LB, um das Risiko einzuschätzen. Sie sind schnell und eignen sich auch für die Programmierung in einem Computer. Sie bieten eine allgemeinere Einschätzung, die sich gut für die Planung eignet. Beispiele dafür sind die Grafische und die Professionelle Reduktionsmethode (GRM und PRM), die DAV SnowCard und Stop or Go (ÖAV). Analytische Methoden beurteilen den Schneedeckenaufbau sowie die Schneedeckenstabilität (z. B. anhand von Alarmzeichen oder einem Extended Column Test (ECT)). Sie ermöglichen eine lokale Einschätzung der Lawinensituation, verlangen aber viel Erfahrung und sind mitunter fehleranfällig.

In diesem Artikel beschreiben wir eine neue probabilistische Methode: SLABS (Screening the Likelihood of Avalanches on Backcountry Ski tours). Diese Methode basiert sowohl auf Unfalldaten als auch auf Tausenden von Kilometern an aufgenommenen Skitouren (GPS-Daten). Es ist die erste vollständig datenbasierte probabilistische Methode. Wir beschreiben, wie die SLABS-Methode entwickelt wurde und vergleichen sie mit drei bestehenden Methoden: der GRM, der PRM und der Quantitativen Reduktionsmethode (QRM). Die QRM wurde bis zum Winterende 2023/2024 von Skitourengeher verwendet. Für diesen Vergleich betrachten wir den Kompromiss zwischen Unfallvermeidung und Bewegungsfreiheit. Frühere Veröffentlichungen in bergundsteigen bewerteten die Präventionsrate verschiedener Reduktionsmethoden. Mersch und Behr berechneten, welcher Anteil eines Unfall-Datensatzes korrekt als solcher identifiziert wurde.¹ Dies wird auch als True Positive Rate (TPR) bezeichnet. Hier bedeutet ein positives Ergebnis einen Unfall. Beispielsweise wären 85 % der tödlichen Unfälle vermeidbar gewesen, wenn der rote Bereich der SnowCard gemieden worden wäre.¹ Was in diesen Studien nicht analysiert werden konnte, ist, wie oft die Methode „nein“ sagte, obwohl nichts passiert wäre. Dies wird als False Positive Rate (FPR) bezeichnet. Hierfür sind aufgezeichnete Routen von Skitouren erforderlich, bei denen kein Unfall stattfand. In diesem Artikel präsentieren wir einen Vergleich zwischen strategischen Methoden, der sowohl die True Positive Rate als auch die False Positive Rate berücksichtigt. Warum das wichtig ist, lässt sich mit einem einfachen Beispiel veranschaulichen. Stellen wir uns

eine probabilistische Methode vor, die „With One Only Method“ (WOOM), die nur dann empfiehlt, eine Skitour zu unternehmen, wenn die Gefahrenstufe 1-gering ist. Die WOOM hat eine Unfallpräventionsrate von etwa 95 %, da nur 5 % der Unfälle bei Gefahrenstufe 1-gering auftreten. Aber die WOOM schränkt die Bewegungsfreiheit drastisch ein, da nur etwa 25 % der Skitouren bei Gefahrenstufe 1-gering durchgeführt werden. Die WOOM wäre nicht sehr beliebt. Eine Methode, die nur bei Gefahrenstufe 1-gering und 2-mäßig Skitouren empfehlen würde, wäre ebenfalls wenig sinnvoll. Denn sehr steile Hänge, also über 35 Grad, im Kerngebiet des LB bei Gefahrenstufe 1 und 2 sind gefährlicher als sanfte 20-Grad-Hänge bei Stufe 3-erheblich. Wir suchen nach einer Methode, die das Risiko auf konsistente Weise begrenzt, ohne in manchen Situationen übermäßig vorsichtig und in anderen Situationen leichtsinnig zu sein. Dies ist das Ziel der SLABS-Methode.

Risiko oder Wahrscheinlichkeit eines Unfalls?

Wir verwenden die Begriffe Unfallrisiko und die Unfallwahrscheinlichkeit annähernd synonym. Risiko wird oft als das Produkt aus Wahrscheinlichkeit und Ausmaß der Konsequenzen definiert. Das Risiko kann damit ziemlich tief sein, wenn die Wahrscheinlichkeit einer Lawine recht hoch, die Konsequenzen jedoch klein sind. Abgesehen von sehr eindeutigen Situationen (z. B. eine kleine Böschung oder wenn wir oberhalb des potenziellen Anrissgebiets stehen), ist es jedoch kein einfaches Unterfangen, die Konsequenzen einer möglichen Lawine korrekt einzuschätzen. Wenn Konsequenzen nicht ausgeschlossen werden können, sollte deshalb primär die Wahrscheinlichkeit im Fokus unserer Aufmerksamkeit stehen. In technischer Hinsicht spiegelt SLABS die Wahrscheinlichkeit „in der Unfalldatenbank des SLF zu enden“ (Konsequenzen) wider. Weil tödliche Unfälle vollständig, Bagatellfälle aber nur sehr unvollständig ans SLF gemeldet werden, führt dies automatisch zu einer höheren Gewichtung der schweren Unfälle.



Kombination des Lawinenbulletins mit dem Gelände zur Risikobewertung

Zuoberst in der sogenannten Informationspyramide (Interpretationshilfe SLF) steht die Gefahrenstufe auf einer Skala von eins bis fünf. In der Praxis sind primär die ersten drei Stufen relevant. Bei Stufe 4-groß ist ein guter Rat, auf den Pisten zu bleiben. Stufe 5 wird sehr selten angezeigt und ist ein deutlicher Hinweis, zu Hause zu bleiben. Neben der Gefahrenstufe gibt das LB eine Kernzone an: eine Höhe und Exposition, für die die Gefahrenstufe gilt. Für Hänge außerhalb dieser Kernzone hat es sich in der Tourenpraxis eingebürgert, die Gefahr um eine Gefahrenstufe tiefer anzunehmen (Interpretationshilfe SLF). Darüber hinaus beschreibt das LB das Lawinenproblem. Dies kann eine oder mehrere der folgenden Situationen umfassen: Neuschnee, Tribschnee, Altschnee, Nassschnee und Gleitschnee. Für eine detaillierte Beschreibung dieser Probleme verweisen wir auf die Literatur. Das LB enthält weitere textliche Informationen über die Gefahr und den Schneedeckenaufbau.

Aber wie entscheiden wir mit diesen Informationen, ob wir eine bestimmte Tour in Betracht ziehen sollen? Die Informationen aus dem LB müssen mit den Eigenschaften der Route kombiniert werden, um eine Entscheidung zu treffen. Dieses Problem hat eine lange Geschichte. In den 1990er Jahren schlug Werner Munter die Elementare und die Professionelle Reduktionsmethode (ERM und PRM) vor.² Munter leitete die ERM und PRM aus einer Analyse von Unfällen (Gefahrenstufe, Hangneigung, Höhe und Exposition), Rutschblocktests und viel Expertenwissen ab. Aus der ERM wurden andere Methoden abgeleitet, wie die Grafische Reduktionsmethode (GRM), die DAV SnowCard und Stop or Go.

Im Jahr 2016 wurde eine erste Version der Website www.skitouren-guru.com vorgestellt.³ Die erste Version basierte auf der GRM und bewertete täglich das Risiko auf 625 Skitouren. Die automatische Anwendung der GRM warf die Frage auf, wie bestimmte Konzepte in Computersprache übersetzt werden könnten. Das Problem bei den strategischen Methoden ist, dass einige der verwendeten Konzepte nicht klar definiert sind. Zum Beispiel sagt die GRM bei Stufe 3-erheblich, man solle den steilsten Abschnitt im relevanten Hang berücksichtigen. Aber wie groß ist der relevante Hang? Ist ein kleiner steiler Abschnitt 100 Meter von mir entfernt wirklich von Bedeutung? Solche unklar definierten Konzepte lassen viel Raum für Interpretation. Wenn man eine bestimmte Route unbedingt machen möchte, könnte man bewusst oder unbewusst steilere Abschnitte in der weiteren Umgebung der Route ignorieren. Die Lösung bestand darin, eine Formel auf das anzupassen, was der durchschnittliche Experte wahrnimmt.⁴ Im Winter 2020/2021 wechselte Skitouren-guru von der GRM zu einem neu entwickelten Modell, der sogenannten Quantitativen Reduktionsmethode (QRM).⁵ Die QRM wurde von Unfalldaten und von einem Datensatz mit realen Begehungen (www.skitouren-guru.com, www.gipfelbuch.ch und www.camptocamp.org) abgeleitet.

Die QRM verwendet zwei Eigenschaften: einen Terrain Indicator (TI, Indikator betreffend Gelände) und einen Danger Indicator (DI, Indikator betreffend Lawinengefahr). Der TI fasst Informationen über die Frage zusammen, inwiefern das Gelände um den Skifahrer

herum geeignet ist, eine Lawine auszulösen. Der DI bezieht Informationen aus dem LB (Gefahrenstufe und Kernzone). Ein Risiko wurde aus dem Verhältnis zwischen der Anzahl der Unfälle und unfallfreien Begehungen für Kombinationen von TI und DI abgeleitet. SLABS ist eine Weiterentwicklung der QRM. Der TI und DI enthielten einige Annahmen über die Gewichtung einzelner Eigenschaften. Das SLABS-Modell verarbeitet die Rohdaten und kann daher die Abhängigkeit des Lawinenrisikos direkt aus dem Lawinenbulletin und dem Gelände ableiten. Wir lassen also die Daten sprechen und verzichten so weit wie möglich auf Annahmen.



Wie funktioniert SLABS? Ein Einblick in die Statistik

Der Datensatz

Die SLABS-Methode wurde aus einem Datensatz abgeleitet, der aus 1250 Unfällen und einer großen Sammlung von im Feld aufgenommenen Skitourenrouten (GPS-Daten) besteht. In der Schweiz unterhält das WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) eine Datenbank, die alle gemeldeten Lawinenunfälle enthält. Wir berücksichtigten nur Unfälle, die den folgenden Kriterien entsprechen: 1) Wintersaisons von 2001/2002 bis 2020/2021. 2) Mindestens eine Person wurde erfasst. 3) Der Unfallbericht ist in der Datenbank als zuverlässig und genau markiert. 4) Eine Lawinenprognose vom Vorabend ist verfügbar. 5) Die gemeldete Aktivität ist eine Skitour oder Snowboardtour (nicht Variantenfahren).

Begehungsdaten über Skitouren wurden von den Online-Plattformen www.gipfelbuch.ch, www.camptocamp.org und www.skitouren-guru.com bereitgestellt. Die ursprünglichen GPS-Daten wurden sorgfältig bereinigt: Punkte auf Straßen wurden entfernt, Punkte in der Nähe von Skipisten (Variantenfahren) wurden ausgeschlossen, Punkte außerhalb der Schweiz wurden verworfen, Spitzen und Artefakte wurden entfernt. Begehungsdaten sind für die Wintersaisons von 2005/2006 bis 2020/2021 verfügbar. Der Gesamtdatensatz enthält 57.800 Kilometer auf 8558 Touren. Wir schätzen, dass dies etwa 0,5 Promille der Skitouren in der Zeit von der Saison 2001/2002 bis zur Saison 2020/2021 repräsentiert (der Zeitraum, für den auch Unfälle verfügbar sind). Für alle Unfall- und Begehungspunkte wurde eine Reihe von Eigenschaften berechnet. Ein erster Datensatz bezieht sich auf das Gelände:

- der lokale Neigungswinkel (SA) und der maximale Neigungswinkel (MSA) im relevanten Hangbereich. Verschiedene Definitionen des relevanten Hangbereichs wurden mit einem kleineren oder größeren Bereich um die Position des Skifahrers getestet: MSA₄₀, MSA₇₀, MSA₁₀₀ und MSA₁₅₀. Die Zahl ist ein Maß für die Größe des relevanten Hangs um die Position des Skifahrers.
- die Exposition des Hangs
- die Höhe über dem Meeresspiegel
- Die Krümmung zeigt an, ob das Gelände homogen, konvex (Grate, Rücken) oder konkav (Täler, Rinnen) ist.
- der Abstand zu einem Grat. Grate werden durch ihre Krümmung bestimmt
- die Walddichte von 0 bis 100 %

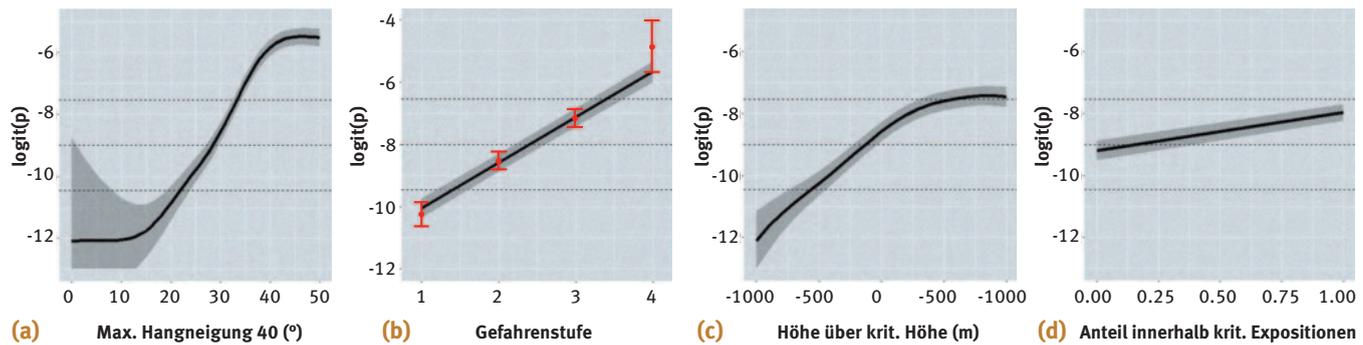


Abb. 1 Logit der Unfallwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von einzelnen Eigenschaften mit 95 % Konfidenzintervallen. Alle Diagramme haben dieselbe Y-Achse. Die horizontalen gestrichelten Linien entsprechen dem Unterschied zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gefahrenstufen. a) Abhängigkeit von maximaler Hangneigung (Maximum Slope Angle „MSA40“). b) Kontinuierliche und kategoriale (rot) Gefahrenstufe. c) Höhe über der kritischen Höhe (Delta Critical Elevation „DCE“). d) Anteil innerhalb der kritischen Expositionen (Aspect Overlapping Fraction „AOF“).

Auf der vertikalen Achse ist der Logit der Unfallwahrscheinlichkeit dargestellt ($\text{logit}(p) = \ln(p/(1-p))$). Da die Unfallwahrscheinlichkeiten klein sind, entspricht dies nahezu dem natürlichen Logarithmus der Unfallwahrscheinlichkeit. Eine Gerade in der Grafik entspricht damit in der Wirklichkeit einem exponentiellen Anstieg (oder Rückgang) der Gefahr.

Ein zweiter Datensatz wird dem LB entnommen, das am Abend zuvor um 17:00 Uhr veröffentlicht wurde:

- die Gefahrenstufe
- die Kernzone, bestehend aus einer kritischen Höhe/Exposition
- das Lawinenproblem

Ein dritter Datensatz kombiniert Informationen aus dem Gelände und dem LB:

- Delta Critical Elevation (DCE): der Höhenunterschied zwischen der Höhe des Skifahrers und der kritischen Höhe. DCE zeigt an, wie tief der Punkt in der Kernzone in Bezug auf die Höhe liegt. DCE ist innerhalb der kritischen Höhen positiv und außerhalb negativ. Ein Beispiel: Wenn die kritischen Höhe 2200 beträgt, hat ein Punkt auf 2525 Metern einen DCE von +325 Metern.
- Aspect Overlapping Fraction (AOF): der Anteil des Bereichs der Exposition im relevanten Hangbereich (RSA), der mit der kritischen Exposition übereinstimmt, wie im LB angegeben. Es werden nur Expositionen mit Neigungswinkeln $>25^\circ$ berücksichtigt. 0 bedeutet, dass alle Expositionen des relevanten Hangbereiches außerhalb der kritischen Expositionen liegen. 1 bedeutet, dass alle Expositionen des relevanten Hangbereiches innerhalb der kritischen Expositionen liegen.

Mit diesen Eigenschaften bauen wir ein statistisches Modell, das versucht vorherzusagen, ob ein Punkt ein Unfallpunkt oder ein unfallfreier Begehungspunkt ist. Für eine detaillierte Beschreibung dieses Modells verweisen wir auf eine Open-Access-Publikation.⁶ Es ist nicht möglich, mit absoluter Sicherheit vorherzusagen, ob ein Punkt ein Unfall- oder Begehungspunkt ist. Es ist nur möglich, eine Wahrscheinlichkeit zu berechnen, eine Zahl zwischen 0 und 1, die angibt, ob es sehr (un)wahrscheinlich ist, dass ein Punkt im Datensatz ein Unfallpunkt ist. Für alle Eigenschaften haben wir geprüft, ob sie einen signifikanten Einfluss auf die Unfallwahrscheinlichkeit haben. Wenn eine Eigenschaft signifikant ist, haben wir bestimmt, wie die Wahrscheinlichkeit von dieser Eigenschaft abhängt. Die Analyse ergab ein Modell mit vier signifikanten Eigenschaften:

■ Der maximale Neigungswinkel (Maximum Slope Angle „MSA40“) war diejenige Eigenschaft, die den Einfluss des Geländes auf die Unfallwahrscheinlichkeit am besten beschrieb. Die Beziehung zwischen der Unfallwahrscheinlichkeit und MSA40 ist in Abbildung 1a dargestellt. Es gibt einen starken Anstieg mit dem Neigungswinkel, insbesondere zwischen 30° und 40° . Über 40° bleibt die Wahrscheinlichkeit konstant hoch.

■ Gefahrenstufe. Der Anstieg der Unfallwahrscheinlichkeit zwischen zwei Gefahrenstufen beträgt den Faktor 4,3 ($\pm 0,4$), wie in Abbildung 1b gezeigt. Dies ist das Doppelte dessen, was in der PRM angenommen wird.

■ Delta Critical Elevation (DCE). Die Beziehung zwischen der Unfallwahrscheinlichkeit und DCE ist in Abbildung 1c dargestellt. Die Unfallwahrscheinlichkeit steigt bis etwa 500 Meter über der CE und flacht dann ab. Angenommen ein Lawinenwarndienst warnt vor Höhen oberhalb von 2000 m und wir steigen von 1000 m auf 2500 m an, dann steigt die Unfallwahrscheinlichkeit um das Äquivalent von fast drei Gefahrenstufen. Dies ist ein viel stärkerer Effekt der Höhe, als es die sogenannte Ein-Stufen-Regel annimmt.

■ Aspect Overlapping Fraction (AOF). Der Effekt von AOF ist etwas kleiner als das Äquivalent einer Gefahrenstufe, wie in Abbildung 1d gezeigt.

Viele andere Eigenschaften wurden getestet, hatten jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Unfallwahrscheinlichkeit. Die Kurvature und Walddichte hatten keinen signifikanten Einfluss. Das Lawinenproblem war nicht signifikant. Dies weist daraufhin, dass vor allem das quantitative Ausmaß der Gefahrenstufe relevant ist und nicht die ihr zu Grunde liegende Ursache.

Das statistische Modell gibt uns Aufschluss über die relative Wahrscheinlichkeit zwischen verschiedenen Bedingungen oder Kombinationen von Neigung, Gefahrenstufe, Höhe und Exposition. Um dieses Modell in eine nützliche strategische Methode umzuwandeln, müssen wir einige Grenzen für die Unfallwahrscheinlichkeit für tiefes, erhöhtes und hohes Risiko setzen. Diese Grenzen sind so gesetzt, dass 60 % der Unfälle an der Grenze zwischen erhöhtem und



Jochen Köhler ist Professor für konstruktiven Ingenieurbau mit Schwerpunkt Risiko und Zuverlässigkeit an der Technisch-naturwissenschaftlichen Universität Norwegens (NTNU) in Trondheim. Er ist fasziniert von der Anwendung seiner wissenschaftlichen Erkenntnisse in der eigenen privaten Tourenplanung.

SLABS Risikobeurteilung als Funktion von MSA₄₀, DCE, DL und AOF

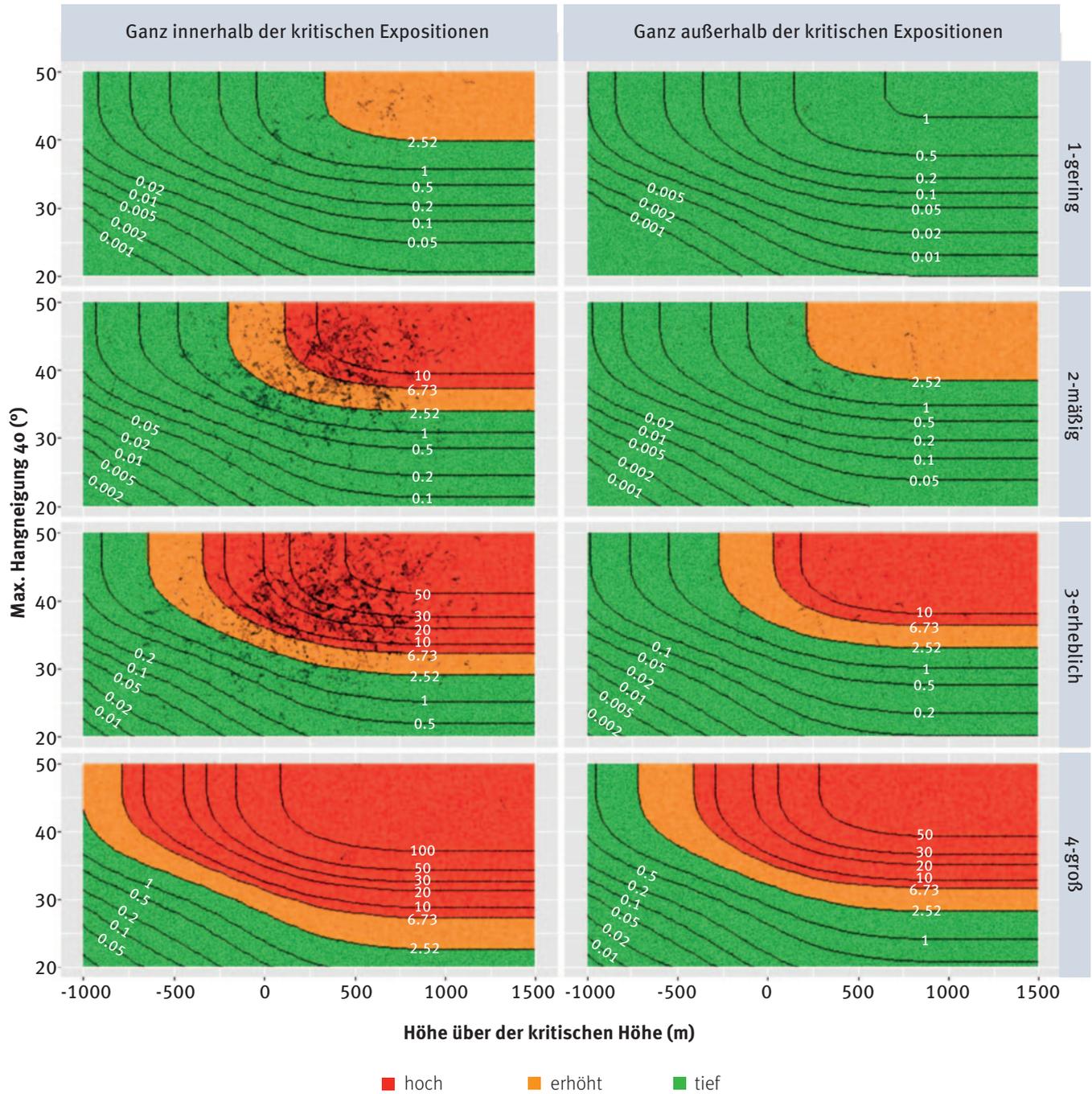


Abb. 2 Die SLABS-Risikobewertung in Abhängigkeit von der maximalen Hangneigung (40°) und der Höhe für Kombinationen aus Gefahrenstufe (1-gering bis 4-groß) und Exposition (relevanter Hang ganz innerhalb oder außerhalb der kritischen Expositionen). Die schwarzen Punkte sind die Unfälle.

Tabelle 1: Fläche unter der Kurve (Area Under Curve) für die vier strategischen Methoden.

Methode	GRM	PRM	QRM	SLABS
AUC	0.873	0.858	0.926	0.943



Günther Schmudlach, Dipl.-Elektroingenieur (ETH), ist Software-Entwickler im GIS-Bereich. Seine Leidenschaft für Berge, Schnee, Karten und Computer hat zur Entwicklung der Planungsplattform www.skitouren guru.ch geführt.

hohem Risiko erkannt werden und 80 % an der Grenze zwischen tiefem und erhöhtem Risiko. Das Ergebnis ist in Abbildung 2 dargestellt. Auf den ersten Blick sieht diese Abbildung aus wie die GRM, aber hier ist die horizontale Achse die Höhe über der kritischen Höhe (DCE). Wenn man den roten Bereich meidet, beträgt die Präventionsrate (True Positive Rate) 60 %. Wenn man den roten und den orangefarbenen Bereich meidet, steigt die Präventionsrate auf 80 %. Die schwarzen Linien sind Bedingungen mit gleichem Risiko. Die schwarzen Punkte sind Unfälle. Die meisten schwarzen Punkte befinden sich im roten Bereich, aber es gibt auch einige im orangefarbenen und grünen Bereich. Dies zeigt, dass es nicht möglich ist, mit absoluter Sicherheit vorherzusagen, ob es zu einem Unfall kommen wird. Selbst wenn eine Kombination aus Neigung, Gefahrenstufe, Höhe und Exposition im roten Bereich liegt, ist die Wahrscheinlichkeit einer Lawine immer noch ziemlich klein. Die gefährlichsten Bedingungen haben eine Unfallwahrscheinlichkeit, die etwa hundertmal höher ist als das durchschnittliche Risiko. Dies bedeutet, dass das absolute Risiko, in der Datenbank des SLF zu enden, etwa bei 1/10.000 pro 100 Meter beträgt.⁷ Obwohl wir zwischen einem breiten Spektrum von Wahrscheinlichkeiten unterscheiden können, von tausendmal kleiner als das Durchschnittsrisiko bis hundertmal größer als das Durchschnittsrisiko, ist das Risiko an den gefährlichsten Stellen, die wir identifizieren können, immer noch so klein, dass eine Befahrung häufiger gut ausgehen würde als schlecht. Genau das macht Lawinen zu einer so tückischen Gefahr. Man kann viele sehr steile Hänge unter gefährlichen Bedingungen befahren, ohne einen Unfall zu verursachen. Dies gibt ein falsches Gefühl der Sicherheit in Bezug auf die eigene Fähigkeit, das Risiko korrekt einzuschätzen. Deshalb wird Lawinengelände als ein schwieriges Lernumfeld (wicked learning environment) bezeichnet. Man erhält sehr selten „negatives Feedback“, wenn man die Grenze überschreitet. Es ist nicht wie beim Sportklettern, wo man eine Bewegung üben und viele Male fallen kann, bis man Erfolg hat.

V Vergleich von SLABS mit anderen strategischen Methoden

In diesem Abschnitt vergleichen wir die GRM, PRM, QRM und SLABS-Methode. Jede Methode wird auf alle Unfall- und Begehungspunkte des Datensatzes angewendet, um eine Risikobewertung abzugeben (z. B. die Kategorien tief, erhöht oder hoch für die GRM, das Restrisiko der PRM oder die Unfallwahrscheinlichkeit von SLABS). Dann überprüfen wir für jede Kategorie oder jeden Wert, wie viele Unfälle korrekt erkannt und wie viele Begehungspunkte fälschlicherweise als Unfall markiert wurden. Die entsprechenden Anteile der Unfälle und Begehungspunkte werden berechnet, indem sie durch die Gesamtzahl der Punkte (Unfallpunkte und Begehungspunkte) geteilt werden. Diese beiden Anteile ergeben die sogenannte True Positive Rate (TPR) und die False Positive Rate (FPR). Die TPR ist die Unfallpräventionsrate, die wir früher zur Festlegung der Grenzen zwischen tiefem, erhöhtem und hohem Risiko verwendet haben. Die FPR ist der Anteil des Geländes, der vermieden werden muss, um eine gewünschte Präventionsrate zu erreichen, obwohl nichts passiert ist. Sie ist ein Maß für die Einschränkung der Bewegungsfreiheit. Ein Diagramm der TPR gegen die FPR wird als Receiver Operating Characteristic (ROC)⁸ bezeichnet.

Abbildung 3 zeigt die ROC für die GRM, die PRM, die QRM und die SLABS-Methode für alle Punkte. Angenommen wir sind bereit, auf 9 % der Begehungspunkte (alle Punkte der GPS-Sammlung, wo keine Unfälle stattgefunden haben, also „Nicht-Unfallpunkte“) zu verzichten, erlaubt die SLABS-Methode damit 80 % der Unfälle zu vermeiden. Wir sehen anhand der ROC, dass die Unfallpräventionsrate (TPR) stark davon abhängt, welchen Preis (FPR) wir bereit sind zu bezahlen. Wenn sich herkömmliche Reduktionsmethoden in puncto Unfallpräventionsrate unterscheiden, dann hängt dies auch damit zusammen, dass sie einen unterschiedlich hohen Verzicht erfordern. Wir möchten eine ROC haben, die eine hohe Unfallpräventionsrate (TPR) für einen kleinen Verzicht (FPR) bietet. Daher sollte die Kurve so lange wie möglich steil aus der unteren linken Ecke herausragen. Dies bedeutet, dass die Fläche unter der ROC so groß wie möglich sein sollte. Diese Area Under Curve (AUC) ist ein häufig verwendeter Qualitätsindikator. Ein Modell mit einer AUC von 1 unterscheidet perfekt zwischen Unfällen und Nicht-Unfällen, während ein Modell mit einer AUC von 0,5 nicht besser ist als der Zufall. Dies wird das Kriterium zum Vergleich der Methoden sein. Tabelle 1 gibt die AUC für alle Punkte an. Die PRM schneidet am schlechtesten ab, die GRM hat eine etwas bessere AUC, die QRM schneidet bereits viel besser ab, die SLABS-Methode weist die höchste AUC auf. Das bedeutet, dass die SLABS-Methode für eine gegebene Unfallpräventionsrate die Bewegungsfreiheit weniger einschränkt als die QRM und viel weniger als die PRM oder die GRM. SLABS bietet den besten Kompromiss zwischen Unfallpräventionsrate und Bewegungsfreiheit.

ROC für verschieden probabilistische Methoden

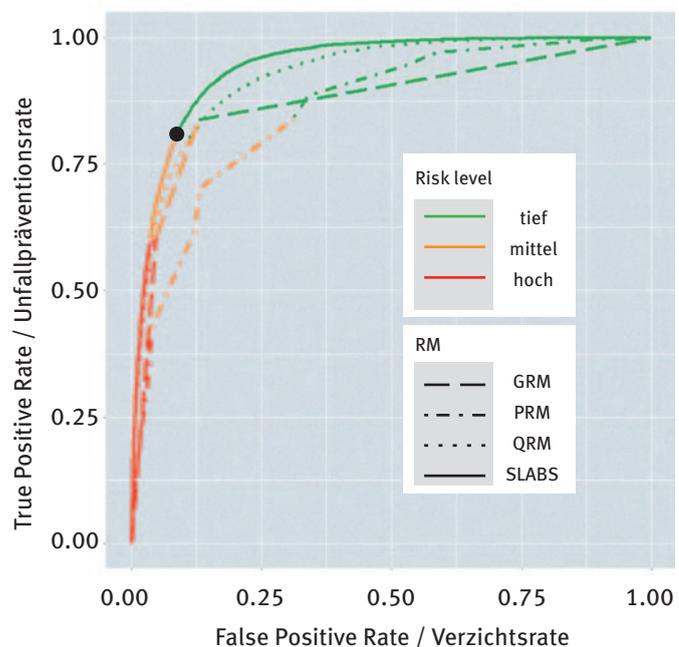


Abb. 3 ROC für die GRM, PRM, QRM und SLABS. Mit der SLABS-Methode würden bei einem Verzicht auf 9 % der Begehungspunkte (alle Punkte der GPS-Sammlung, wo keine Unfälle stattgefunden haben) 80 % der Unfälle vermieden werden (schwarzer Punkt).



Kurt Winkler ist promovierter Bauingenieur, Bergführer und Autor der Schweizer Lehrbücher „Bergsport Sommer“ und „Bergsport Winter“. Er arbeitet als Lawinenwarner beim SLF.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Um die Risikobewertung der SLABS-Methode zu interpretieren, ist es wichtig zu betonen, dass sie nur Informationen berücksichtigen kann, die während der Entwicklung der Methode zur Verfügung standen. Es gibt wichtige Faktoren, die das Lawinenrisiko beeinflussen, die aber nicht im Datensatz enthalten sind. Wahrscheinlich ist der wichtigste Faktor die Befahrungsgeschichte des Hangs (Faktor „viel befahren“). Ein häufiger und kürzlich befahrener Hang ist sicherer als ein unberührter Hang. Leider stehen keine zeitnahen Daten zur Befahrungshistorie zur Verfügung. Die Risikobewertung gilt für einen durchschnittlich frequentierten Hang. Wir können jedoch nicht spezifizieren, was das genau heißt. Auch Informationen über Gefahrensignale (Wumm-Geräusche, Risse oder Lawinenabgänge) sind nicht verfügbar. Lokale Variationen der Schneedecke, die die Lawinenprognose nicht vorhersagen kann (z. B. lokale Trieb-schneesammlungen), beeinflussen die Schneedeckenstabilität. Sichere Geländemerkmale wie Grate, dichte Wälder sowie künstliche Bauten können das Risiko verringern. Kurz gesagt, es gibt immer noch wichtige Eigenschaften, die das Risiko beeinflussen, die wir aber nicht kennen. Angesichts dieser Unsicherheit können wir uns in die „analytische Lawinenkunde“ einarbeiten und diese zusätzlich anwenden und/oder eine große Sicherheitsmarge einhalten. Wir haben gezeigt, dass die SLABS-Methode anderen strategischen Methoden überlegen ist. Unsere Analyse zeigt jedoch auch, dass insbesondere die GRM (und ähnliche Methoden) dem Optimum bereits nahekommen. Was SLABS bietet, ist eine objektive Referenz, die auf einer großen Anzahl von Unfall- und Begehungsdaten basiert. Verlassen wir uns nur auf unsere Intuition, dann kann unser Urteil durch persönliche Vorlieben verzerrt sein. Ian McCammon beschrieb diese heuristischen Fallen mit dem Akronym FACETS.⁹ Der Zugang zu einer objektiven Bewertung durch ein statistisches Modell kann dazu beitragen, solche Fallen zu vermeiden. Ein gewichtiger Vorteil der vorgestellten Methode besteht auch darin, dass ein Computer (z.B. www.skitourenuru.com) innert weniger Sekunden eine große Anzahl von Routen transparent und reproduzierbar bewerten kann.

Referenzen

- ¹ Mersch, Jan; Behr, Wolfgang (2020): Acht Unschärfen, Ungereimtheiten & Irrtümer in der Lawinenkunde. In: bergundsteigen #113, Winter 20/21.
- ² Munter W. (2014), 3x3 Lawinen: Risikomanagement im Bergsport, 7. Auflage
- ³ Schmudlach, G. (2016). Skitourenuru. In: bergundsteigen #96, herbst 2016.
- ⁴ Schmudlach, G., Harvey, S., Dürr, L., 2018. How do experts interpret avalanche terrain from a map?, in: Proceedings, International Snow Science Workshop, Innsbruck, Austria, 2018, pp. 1674-1680.
- ⁵ Schmudlach, G., Köhler, J. (2020). Quo vadis Lawinenkunde. In: bergundsteigen #113, Winter 20/21.
- ⁶ Degraeuwe, B., Schmudlach, G., Winkler, K., Köhler, J., 2024. SLABS: An improved probabilistic method to assess the avalanche risk on backcountry ski tours. Cold Regions Science and Technology, Volume 221, 2024.
- ⁷ Die durchschnittliche Unfallwahrscheinlichkeit beträgt 1250 (Unfälle) / (57.8*103 km (Begehungspunkte) * 2000 (Untererfassung)) = 1,1 * 10⁻⁶ Unfälle pro 100 Meter.
- ⁸ <https://de.wikipedia.org/wiki/ROC-Kurve>
- ⁹ Familiarity (Vertrautheit), Acceptance (Akzeptanz), Consistency (Konsistenz), Expert halo (Expertenhalo), Tracks (Spuren), Scarcity (Knappheit) McCammon, I., 2002. Evidence of heuristic traps in recreational avalanche accidents. Tagungsband ISSW, Penticton BC, Canada, 244-251.

Skitourenuru News

Tourenplanung neu gedacht. Skitouren selber auf der Karte zeichnen und bewerten lassen.

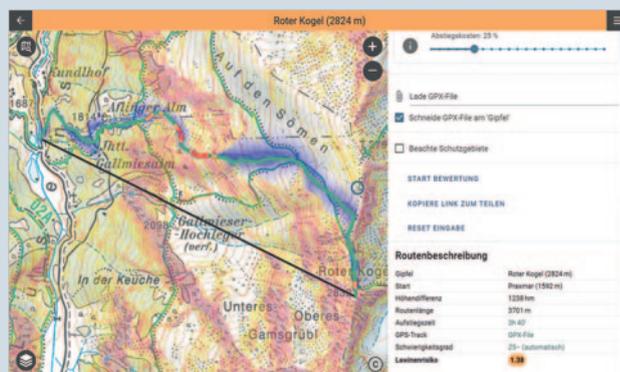
Seit November 2024 ist es auf Skitourenuru möglich im ganzen Alpenraum neue und völlig eigenständige Skitouren in der Karte einzuzichnen und ihr Lawinenrisiko für einen frei wählbaren Lawinenlagebericht zu berechnen. Falls gewünscht wird die Route in ihrem Verlauf auch automatisch angepasst. Das neue Feature kann auf unterschiedliche Art und Weise genutzt werden:

- Optimierung einer auf der Karte eingezeichneten Route
- Bewertung eines GPS-Tracks nach der Skitour
- vertiefte Auseinandersetzung mit einer der vielen Standard-Routen von Skitourenuru
- automatische Routen-Berechnung mit Start- und Endpunkt

Hinter diesem Feature steht ein Routing-Algorithmus, wie wir ihn von den Navis kennen. Dieser ist in der Lage, vollautomatisch eine Route auch im weglosen Gelände zu berechnen. Im Zuge der Ausweitung auf den ganzen Alpenraum hat Skitourenuru dieses Routing komplett überarbeitet. Dadurch konnte die Qualität der erzeugten Routen weiter verbessert werden. Das Feature erlaubt die spielerische Auseinandersetzung mit der optimalen Route und deren Varianten. Dadurch erhalten die Benutzer sowohl in der Planung als auch rückblickend ein konsistentes und unbestechliches Feedback.

Dieser Schritt wurde möglich dank der finanziellen Unterstützung der vier deutschsprachigen Alpenvereine ÖAV, DAV, AVS und SAC. Weitere Informationen findest du unter <https://www.skitourenuru.com/rating-view>

„Das neue Feature ist ein Paradigmenwechsel in der individuellen Planung von Skitouren.“ Michael Larcher



Eine Möglichkeit des neuen Features ist die automatische Routenberechnung mit Start- und Endpunkt.