

Quantitative Reduktionsmethode (QRM)

Eine datenbasierte Methode zur Berechnung des Lawinenrisikos für Wintersportler

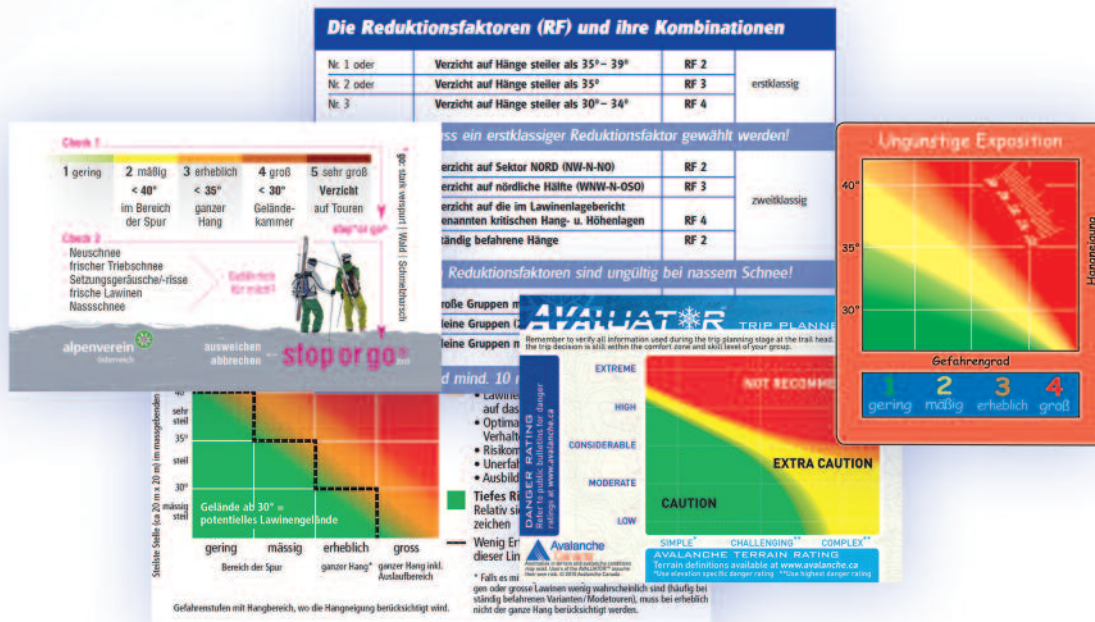


Stephan, Riki und Josef müssen sich am Gleirschtaler Brandjoch/Karwendelentscheiden. Foto: argonaut.pro

Der Inhalt des Lawinenlageberichtes kann nicht auf einen Einzelhang projiziert werden: zu regional die Information, zu unsicher die Prognose und zu gross die kleinräumliche Variabilität. Skitouren guru (vgl. bergundsteigen #96) hat sich darüber hinweggesetzt und die Gefahrenstufe sowie die Daten zur Kernzone auf die einzelnen Unfallorte sowie auf jeden einzelnen Punkt von begangenen Skitouren projiziert. Was herausgekommen ist, hat das Potenzial, frischen Wind in die strategische Lawinenkunde zu bringen.



Abb. 1 Verschiedene Reduktionsmethoden.



V von Günter Schmuldach

Reduktionsmethoden stützen sich in der Regel auf Unfallstatistik. Da die Unfallzahlen aber nicht in Relation zu Begehungszahlen gesetzt werden, ist das wissenschaftliche Fundament der bekannten Reduktionsmethoden dünn. Im Folgenden wird deshalb die Quantitative Reduktionsmethode (QRM) vorgestellt, die sich auf zwei grosse Datensätze stützt: Einerseits 1.469 Lawinenunfälle der Jahre 2001-2017 und andererseits ein grosser Datensatz von GPS-Tracks real durchgeführter Skitourern. Die QRM zeigt ein Bild, das grundsätzlich den Erwartungen entspricht. Das Risiko steigt jedoch von grün über orange zu rot weitaus stärker an, als bisher angenommen. Die QRM ist komplex und damit vor allem für die Anwendung durch den Computer geeignet. Seit dem November 2018 stützt sich der Algorithmus von www.skitouren guru.ch vollständig auf die neue QRM.

e Einleitung

In den 90er-Jahren hat Werner Munter¹ die ersten sogenannten Reduktionsmethoden entwickelt (vgl. *bergundsteigen 4/07*): die Elementare Reduktionsmethode (ERM) und die Professionelle Reduktionsmethode (PRM). Ziel war es, mit Hilfe systematisch verfügbarer Information schnell und unkompliziert eine Risikoabschätzung durchführen zu können. Zu Beginn des neuen Jahrtausends erschie-

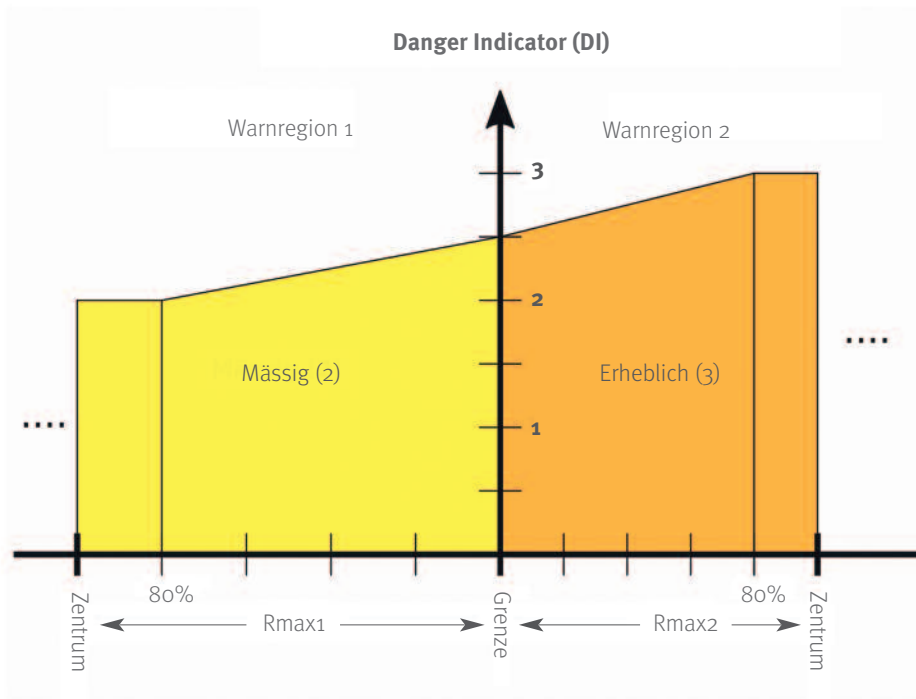
nen verschiedene länderspezifische Reduktionsmethoden (Abb. 1): Grafische Reduktionsmethode² (Schweiz), stop or go³ (Österreich), SnowCard⁴ (Deutschland) und Avaluator⁵ (Kanada). Allen diesen Methoden ist gemeinsam, dass sie aus dem Gelände (Hangneigung) und den Schneesverhältnissen (Gefahrenstufe aus dem Lawinenlagebericht) ein „Risiko“ ableiten. Dieses wird typischerweise mit den Farben grün (tiefes „Risiko“), orange (erhöhtes „Risiko“) und rot (hohes „Risiko“) wiedergegeben.

Reduktionsmethoden wurden und werden von teils polemischen Diskussionen begleitet. In der Regel wird darauf hingewiesen, dass die Gefahrenstufe nur für grosse Regionen gültig, unsicher und deshalb nicht auf den Einzelhang anwendbar sei. Dieser Einwand ist nicht von der Hand zu weisen. Es wird immer Hänge geben, die gemäss Reduktionsmethode „grün“ sind, in denen aber trotzdem eine Lawine ausgelöst werden kann (und umgekehrt). Eine Reduktionsmethode darf deshalb die eigenverantwortliche Einschätzung vor Ort nicht ersetzen und kann nicht das einzige Kriterium zum Befahren eines Hanges sein.

Reduktionsmethoden sind zwar kein Allheilmittel, aber sie sind ein guter Ausgangspunkt. Die Statistik spricht eine klare Sprache: Eine Reduktionsmethode kann Hänge mit hohen Risiken von solchen mit tiefen Risiken gut trennen. Bei der hier vorgestellten QRM können wir das erstmals quantifizieren: Es ist nämlich möglich, 50 % der Unfälle gerade mal 2 % der begangenen Strecken zuzuordnen – und das bereits zu Hause, bei der Planung in der warmen Stube. Eine Reduktionsmethode auf die einzelnen Hänge einer Tour anwenden, heisst damit nichts anderes, als bereits bei der Planung die hohen Risiken auszuschliessen.

Günter Schmuldach (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.

Abb. 2 Horizontale Interpolation der Gefahrenstufe im Übergangsbereich von zwei Warnregionen mit unterschiedlicher Gefahrenstufe.



Ob der Grundsatzdiskussion gerieten andere Probleme der Reduktionsmethoden in den Hintergrund:

Die bisherigen Reduktionsmethoden berücksichtigen zwar Unfall-, nicht aber Begehungszahlen. Dass das Weglassen von Begehungszahlen problematisch ist, zeigt sich in folgendem Beispiel: Beim Bergwandern werden viel mehr tödliche Unfälle verzeichnet als beim Base-Jumping. Ist Bergwandern deshalb risikoreicher als Base-Jumping? Von Risiko können wir erst sprechen, wenn wir Unfallzahlen in Bezug zu Begehungszahlen setzen. Die bisherige Reduktionsmethoden stehen hier also auf einem schwachen wissenschaftlichen Fundament und sind nicht in der Lage, Risiken zu quantifizieren.

Indem die klassischen Reduktionsmethoden auf die Hangneigung fokussieren, schöpfen sie das Potential von heutzutage verfügbaren Höhenmodellen nicht aus. Eine Ausnahme ist der Avaluator (Kanada), denn dieser setzt dank ATES (Avalanche Terrain Exposure Scale) auf elf unterscheidbare Geländekriterien.

Die meisten Reduktionsmethoden weisen Sprünge auf, die nicht dem kontinuierlichen Verlauf der Lawinengefahr entsprechen. Ein Beispiel gibt die Grafische Reduktionsmethode: Während bei „mässig“ die steilste Hangneigung in der Umgebung der Spur herbeigezogen werden muss, muss sie bei „erheblich“ im „ganzen Hang“ gesucht werden.

Bei aller Kritik an den Reduktionsmethoden müssen wir ihnen eine Stärke zubilligen: Reduktionsmethoden basieren ausschliesslich auf Informationen, die systematisch zur Verfügung stehen: Dem Lawi-

nenlagebericht und dem Gelände. Damit können Reduktionsmethoden immer angewandt werden, auch in der Phase 1 (Planung zu Hause). Damit ist auch schon gesagt, was Reduktionsmethoden nicht können: Sie können Informationen, die in der Phase 2 (vor Ort) und in der Phase 3 (Einzelhang) anfallen, nicht ohne Weiteres integrieren. Die Frage ist deshalb nicht, ob Reduktionsmethoden Teufelszeug oder Allheilmittel sind, sondern wo und wann man sie anwendet.

Wenn wir schon eine Reduktionsmethode anwenden, dann sollte diese optimal mit den zur Verfügung stehenden Informationen umgehen. Im Folgenden wird die Quantitative Reduktionsmethode (QRM) vorgestellt, die die aufgeführten Probleme adressiert.

S Schneeverhältnisse und Gelände

Bevor die eigentliche Reduktionsmethode vorgestellt werden kann, ist es notwendig zu spezifizieren, wie genau mit den zwei Achsen „Schneeverhältnisse“ und „Gelände“ umgegangen wird.

Schneeverhältnisse

Reduktionsmethoden stützen sich in der Regel auf die Gefahrenstufe, um die Schneeverhältnisse zu beschreiben. Wenn eine Skitour durch zwei Warnregionen mit unterschiedlicher Gefahrenstufe führt, dann ergibt sich im Grenzbereich ein uner-

Abb. 3 Kernzone aus dem Lawinenlagebericht, d.h. die besonders betroffenen Höhen und Expositionen.



Abb. 4 Überlappung von Hangexpositionen-Intervall (rot) mit kritischen Expositionen (schwarz).



wünschter Sprung. Deshalb wird im Folgenden jedem Punkt, der genau auf der Grenzlinie zwischen zwei Warnregionen liegt, die gemittelte Gefahrenstufe der zwei angrenzenden Warnregionen zugewiesen. Am Übergang von einem Gebiet mit „mässig“ (2) zu einem Gebiet mit „erheblich“ (3) also der Wert 2.5. Von fast der Mitte der Warnregion aus bis zur Grenzlinie wird die Gefahr linear interpoliert (Abb. 2).

Moderne Lawinenlageberichte kommunizieren neben der Gefahrenstufe meist auch Informationen zur Kernzone. Die Kernzone (Abb. 3) bezeichnet besonders betroffene Höhenstufen und Expositionen.

In der Skitourenpraxis hat es sich eingebürgert, die Gefahrenstufe ausserhalb der Kernzone um eine Stufe tiefer anzunehmen. Diese Faustregel wird als Einstufenregel bezeichnet. Manche Lawinenwarndienste (z.B. in Österreich) gehen einen Schritt weiter, indem für verschiedene Höhenlagen unterschiedliche Gefahrenstufen kommuniziert werden. In einer Arbeit von Schweizer et al.⁶ zur Schneedeckenstabilität konnte die Grössenordnung der Einstufenregel bestätigt werden. Durch die Einstufenregel ergeben sich wiederum unerwünschte Sprünge bei spezifischen Höhenstufen bzw. an Punkten, wo sich die Exposition abrupt verändert. Um sie zu vermeiden, kommen kontinuierliche Übergangsbereiche zur Anwendung:

■ Höhenstufe: In vertikaler Richtung wird mit einem Übergangsbereich von ± 100 Höhenmeter gearbeitet. Angenommen eine Warnregion spezifiziert „erheblich“ ab 2.200 m, dann wird angenommen, dass oberhalb von 2.300 m eine erhebliche Gefahrenstufe (3) und unterhalb von 2.100 m eine mässige (2) Gefahrenstufe herrscht. Dazwischen nimmt die Gefahr linear ab.

■ Exposition: Ein Punkt mag zwar eine exakt berechenbare Exposition aufweisen, in Wirklichkeit gehört ein Punkt jedoch immer zu einem Hang, der ein ganzes Intervall von Expositionen aufweist. Wir berechnen hier, welcher Anteil (in %) der Hangexpositionen mit der Kernzone überlappt. Im Beispiel der Abb. 4 ergibt sich eine Überlappung von ca. 33 %, d.h die Einstufenregel kommt zu 66 % zur Anwendung.

Mit Hilfe der beschriebenen Übergangsfunktionen wird es nun möglich, jedem Punkt im Gelände einen sogenannten Danger-Indicator (DI) zuzuweisen. Dieser liegt im Intervall [1-4], wobei 1 der Gefahrenstufe „gering“ und 4 der Gefahrenstufe „gross“ entspricht. In Wirklichkeit ist die Berechnung komplizierter, denn ein Punkt kann im Einzugsbereich von bis zu zehn Warnregionen liegen, wobei jede dieser Warnregionen eine unterschiedliche Gefahrenstufe und Kernzone aufweist.

Wichtig zum Verständnis ist einzig die Tatsache, dass durch die Einführung eines kontinuierlichen DI die Information zur Kernzone eingearbeitet wird und zudem Sprünge vermieden werden.

Gelände

Die Hangneigung ist der wichtigste Geländeparameter, um zu bestimmen, wie sehr das Gelände für Lawinenauslösungen geeignet ist. Seit Jahrzehnten ist jedoch auch bekannt, dass es weitere relevante Geländeparameter gibt. Die hier vorgestellte Methodologie verabschiedet sich von der Beschränkung auf die Hangneigung und baut auf eine umfassende Geländeanalyse. Diese orientiert sich konzeptionell an der in Kanada eingeführten Avalanche Terrain



Abb. 5 Benutzte Skala zur Beschreibung des Geländes. Der in vier Klassen unterteilte Terrain-Indicator (TI) gibt an, wie „geeignet“ das Gelände an einem spezifischen Punkt für Lawinenauslösungen ist.

Klasse	Terrain-Indicator (TI)	Farbe	Bedeutung
Klasse 3	0.75 - 1.00	Rot	Sehr typisches Lawinengelände
Klasse 2	0.50 - 0.75	Blau	Typisches Lawinengelände
Klasse 1	0.25 - 0.50	Grün	Untypisches Lawinengelände
Klasse 0	0.00 - 0.25	Transp.	Kein Lawinengelände

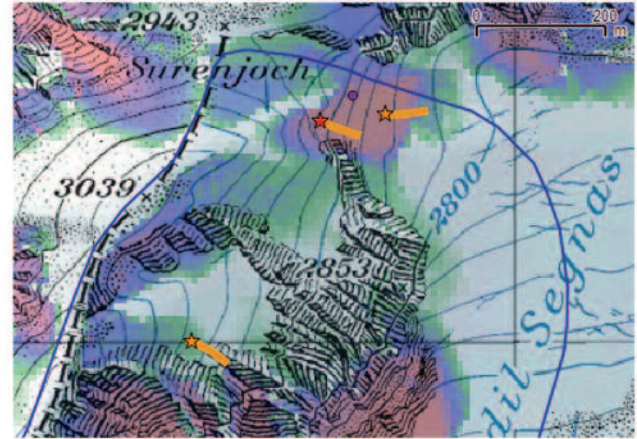
Exposure Scale (ATES, vgl. bergundsteigen 4/13)⁷, unterscheidet sich aber auch in wesentlichen Punkten. Neben der Hangneigung werden weitere Geländeparameter berücksichtigt: Hanggrösse, Plankurvatur (Rücken - offener Hang - Rinne), Maximalkurvatur (Umbrüche im Gelände) sowie Bewaldung. Der Fokus liegt auf durch Menschen ausgelöste Lawinen. Spontanlawinen sowie technische Schwierigkeiten werden im Unterschied zu ATES nicht berücksichtigt. Die Geländeanalyse macht es möglich, über jeden Punkt im Gelände eine Aussage darüber zu machen, wie sehr der Punkt für Lawinenauslösungen „geeignet“ ist. Konkret wird jedem Punkt im Gelände ein Terrain-Indicator (TI) des Intervalls [0-1] zugewiesen. Dieses Intervall ist in vier Klassen unterteilt (Abb. 5).

Die genauen Details, wie für einen Punkt im Gelände TI berechnet wird, sind in Schmundlach & Köhler (2016)⁸ beschrieben. Wichtig zum Verständnis ist, dass der TI nicht einfach nur eine Funktion der Geländeeigenschaften am Punkt ist, sondern immer auch die Geländeeigenschaften desjenigen Hanges berücksichtigt, zu dem der Punkt gehört. Aus den Geländeeigenschaften auf diesem zugeordneten Hangbereich ergibt sich der TI am fraglichen Punkt.

U Unfalldichte

Das SLF erfasst seit Jahrzehnten Informationen zu Lawinnenniederhängen. Im Fokus stehen Schadenlawinen mit Sachschäden oder mit Personenbezug. Seit dem Winter 2000/2001 werden alle erfassten Schadenlawinen in den sogenannten Winterberichten⁹ veröffentlicht.

Abb. 6 Falltrajektorien (orange Linien) von drei Unfällen auf einer TI-Karte. Da nach einem Lawinenabgang mit Personenbeteiligung zwar der Anriss-, aber meist nicht der Auslösepunkt bekannt ist, wird eine 60 m lange Bahn berechnet. Basiskarte ©Swisstopo

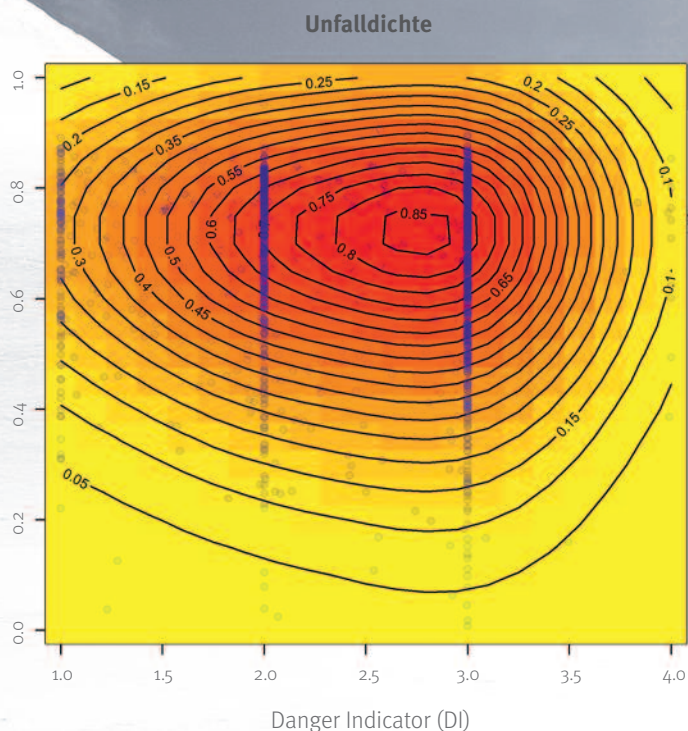


Von diesen 3.143 Lawinereignissen weisen 1.876 einen Personenbezug auf. Gemäss einer Auswertung von Techel & Schweizer¹⁰ wurden von den Lawinereignissen mit Personenbezug der letzten 20 Jahre ca. 95 % durch Personen ausgelöst. Diese beeindruckende Zahl zeigt auf, wie wichtig der Fokus auf durch Personen ausgelöste Lawinen und nicht auf Spontanlawinen ist. In der vorliegenden Arbeit werden alle Ereignisse ausgeschlossen, dessen Anrisspunkt mit „unsicher“ (?) oder „ungenau“ (*) gekennzeichnet ist. Zudem muss das Ereignis zu einem Zeitpunkt stattgefunden haben, für den auch ein Vorabend-Lawinenlagebericht vorliegt. Von den 1.876 Unfalereignissen können schlussendlich 1.469 Ereignisse verwendet werden. Meistens ist der Auslösepunkt einer Lawine unbekannt. Der Anrisspunkt wird vom SLF jedoch systematisch erfasst. Diese Stelle ist nicht immer charakteristisch für die ganze Anrissfläche. Aus diesem Grund wird eine 60 m lange Falltrajektorie (Bahn eines Wassertropfens, siehe Abb. 6) berechnet. Die Länge von 60 m entspricht der durchschnittlichen Länge des Lawinenanrisses typischer Skifahrerlawinen.

Im Folgenden kann nun der Durchschnittswert aller Terrain-Indicator (TI) auf dieser Falltrajektorie berechnet werden. Dieses Vorgehen wurde anhand von 120 Lawinen mit bekanntem Auslösepunkt überprüft. Nach derselben Prozedur kann der durchschnittliche Danger-Indicator (DI) auf der Falltrajektorie berechnet werden. Im Gegensatz zum TI unterscheiden sich die DI entlang der Falltrajektorie jedoch nicht wesentlich.

Die bekannten Lawinenunfälle können im nächsten Schritt auf einem Streudiagramm als transparent-blaue Punkte dargestellt werden (siehe Abb. 7). Eine derartige Darstellung ist aber wenig aussagekräftig, denn viele der Punkte fallen übereinander. Aufschlussrei-

Abb. 7 Unfallhäufigkeit nach Danger-Indicator (horizontale Achse) und Terrain-Indicator (vertikale Achse). Der Terrain-Indicator drückt aus, wie „geeignet“ das Gelände für Lawinenauslösungen ist. Der Danger-Indicator entspricht der Gefahrenstufe. Je röter der Bereich, desto mehr Unfälle ereigneten sich bei den betreffenden Bedingungen. Die blauen Punkte zeigen die einzelnen Unfälle.



cher ist eine zweidimensionale Dichtefunktion. Diese zeigt, bei welchen Bedingungen am meisten Unfälle geschehen sind (rote Farbe in Abb. 7).

Wie erwartet finden die meisten Unfälle bei der Gefahrenstufe „mässig“ (2) und „erheblich“ (3) statt. Die meisten Unfälle ereignen sich in typischem Lawinengelände (TI=0.75). Interessanterweise finden nur wenige Lawinenunfälle bei der Gefahrenstufe gross (4) bzw. in ausgesprochen typischem Lawinengelände (TI=1.00) statt. Erstaunlich ist dies nur auf den ersten Blick. Das folgende Kapitel wird aufzeigen, dass dieses Gelände kaum je betreten wird. Wenig „Verkehrsaufkommen“ bedeutet auch wenige Unfälle.

b Begehungsdichte

Aus dem vorangegangenen Kapitel geht deutlich hervor, dass die Unfallzahlen in Relation zum Verkehrsaufkommen gesetzt werden müssen. Das Begehungsverhalten von Wintersportlern war bisher aber weitgehend unbekannt. Techel & Winkler¹¹ haben die online Toureneinträge auf Gipfelbuch und Camp2Camp untersucht. Da hier aber Gipfelziel-Rapporte untersucht wurden, konnten nur Aussagen zur im betreffenden Gebiet herrschenden Gefahrenstufe, nicht aber zum betretenen Gelände gemacht werden.

Um zu verstehen, wo und wann wie viele Wintersportler unterwegs sind, sammelt www.skitouren guru.ch seit etlichen Jahren im Feld aufgenommene GPS-Tracks von Skitouren. Dank einem regen Feed-

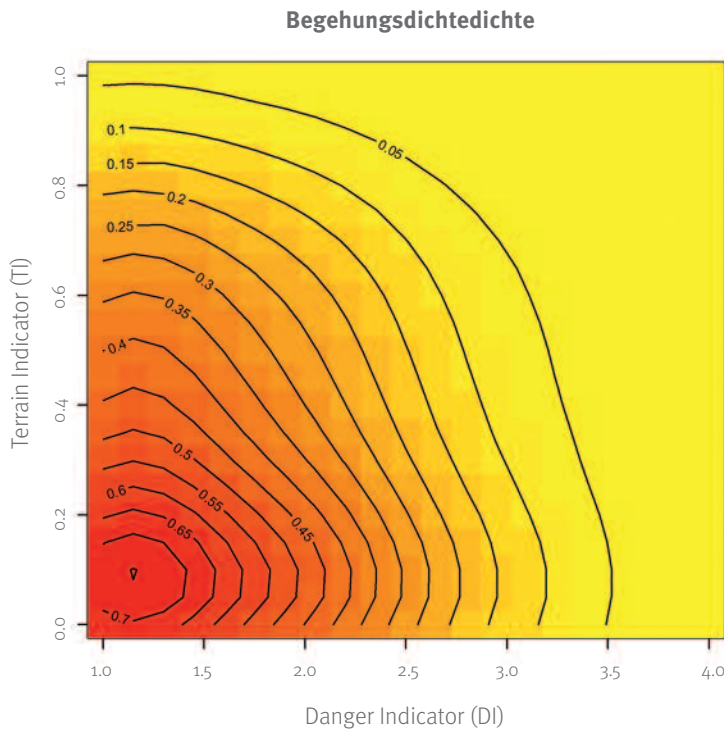
back von Usern und einer engen Zusammenarbeit mit www.gipfelbuch.ch ist bereits eine ansehnliche Sammlung an GPS-Tracks zusammengeworfen. Deine GPS-Tracks sind sehr wertvoll. Skitouren-guru bittet alle Wintersportler, ihre Sammlungen an GPS-Tracks zur Verfügung zu stellen (siehe skitouren guru.ch/index.php/about).

Bevor die sehr heterogenen Daten verwendet werden können, müssen die GPS-Tracks in einem aufwendigen Konvertierungs-, Filter- und Korrekturprozess verarbeitet werden:

- Zunächst werden alle gültigen GPS-Tracks von Skitouren eingelesen.
- Alle GPS-Tracks, denen sich kein Vorabend-Lawinenlagebericht zuordnen lässt, werden eliminiert.
- Handelsübliche GPS-Geräte (Smartphone oder dedizierte GPS-Geräte) erzeugen gelegentlich Ausreisser. Ein speziell entwickelter Filter erkennt solche Ausreisser und eliminiert diese. Dort, wo dies nicht möglich ist, werden die GPS-Tracks in Teilstücke zerlegt.
- Im letzten Schritt werden alle GPS-Tracks mit dem Strassen- und Wegnetz von OpenStreetMap verglichen. Wenn ein GPS-Track zu mehr als 70 % entlang eines Weges bzw. einer Strasse verläuft, dann wird der GPS-Track nicht verwendet.

Zum Schluss bleiben Liniensegmente der totalen Länge von 47530 km zurück. Zum Vergleich: Der Erdumfang beträgt 40.000 km. Bei diesen Liniensegmenten kann mit hoher Wahrscheinlichkeit davon

Abb. 8 Begehungshäufigkeit nach Danger-Indicator (horizontale Achse) und Terrain-Indicator (vertikale Achse). Der Terrain-Indicator drückt aus, wie „geeignet“ das Gelände für Lawinenauslösungen ist. Der Danger-Indicator entspricht der Gefahrenstufe. Je röter ein Bereich, desto mehr Wintersportler waren bei den betreffenden Bedingungen unterwegs (unten links).



ausgegangen werden, dass es sich tatsächlich um Skitouren handelt. Wenn nun diese Linien in 10 m lange Segmente aufgeteilt werden und für jedes Segment das Paar TI/DI bestimmt wird, kann ähnlich wie bei den Unfällen die Begehungsdichte berechnet werden (siehe Abb. 8). Je röter ein Bereich, desto mehr Skitouren finden bei den entsprechenden Bedingungen statt. Wie zu erwarten sind Wintersportler meistens bei tiefer Gefahrenstufe (DI=1-2) und in wenig ausgeprägtem Lawinengelände (TI=0-0.4) unterwegs. Ersteres hängt unter anderem mit der Einstufenregel zusammen. Zweiteres ist daraufhin zurückzuführen, dass auch anspruchsvolle Skitouren oft durch eher „gemächliches“ Gelände führen.

Inwieweit bilden die aufgenommenen GPS-Tracks das wirkliche Geschehen im alpinen Wintergelände ab? Aus Winkler & Techel¹² geht hervor, dass im Jahre 2013 in der Schweiz ca. 1.5 Millionen Skitourstage unternommen wurden. Damit entsprechen die auswertbaren 47530 km GPS-Tracks bei einer durchschnittlichen Tourenlänge von 10.4 km gerade mal 0.3 % der jährlich zurückgelegten Kilometer. Die Heatmap (siehe Abb. 9) legt die Vermutung nahe, dass der GPS-Datensatz einen räumlichen Bias aufweist. Es gibt also Skitourengebiete, die unterrepräsentiert sind (z.B. Voralpen) und andere Skitourengebiete, die überrepräsentiert sind (z.B. Alpenhauptkamm). Solange keine regionalen Auswertungen vorgenommen werden, wirkt sich dies aber nicht negativ aus.

Damit die Begehungsdichte zuverlässige Werte widerspiegelt, müssen lediglich die Eigenschaften des betretenen Geländes in Abhängigkeit von der Gefahrenstufe repräsentativ abgebildet sein. Da die Geländeneigung der zentrale Geländeparameter für die vorgestellte Methodologie ist, wurde dessen Häufigkeit mit verschiedenen Datensätzen verglichen (siehe Abb. 10).

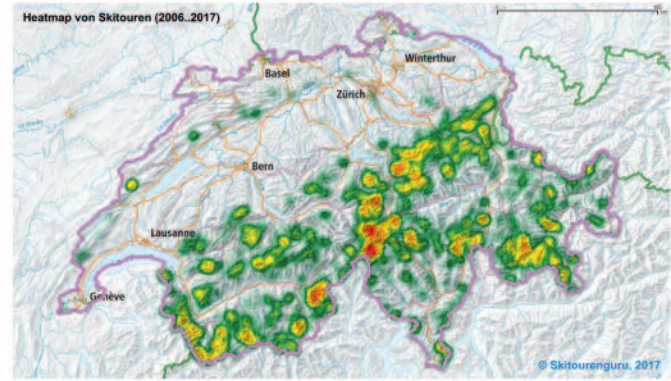


Abb. 9 Heatmap von Skitouren in der Schweiz. Je röter ein Bereich, desto mehr Skitouren wurden dort verzeichnet.

Basiskarte ©Swisstopo

Klick-gewichtete Routensammlung von Skitouren guru (grüne Kurve)

Auf Skitouren guru werden mit Abstand am meisten Routen im tiefen Risikosegment angeklickt. Solche Routen führen im Durchschnitt durch flacheres Gelände. Kommt hinzu, dass die Routen auf Skitouren guru sehr sorgfältig auf dem Masstab 1:10.000 digitalisiert wurden. Weil das Publikum in Wirklichkeit nicht immer der Ideallinie folgt, hat dieser Datensatz mutmasslich einen Bias hin zu flachem Gelände.

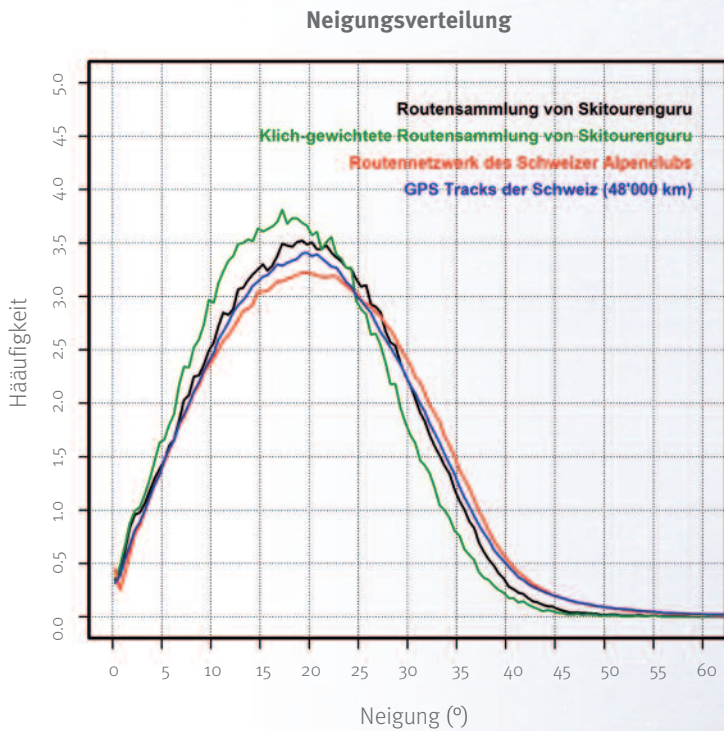
Skitourenkarten SAC (rote Kurve)

Diese Routen wurden auf der 1:50.000er-Karte digitalisiert. Sie führen deshalb passagenweise durch extrem steiles Gelände, das in der Realität jeweils umgangen wird. Zudem werden die anspruchsvollen Routen weniger häufig begangen als flachere Touren. Der Datensatz hat aus den genannten Gründen mutmasslich einen Bias hin zu steilem Gelände.

GPS-Tracks (blaue Kurve)

Es ist bekannt, dass gut mit der Materie vertraute Personen eher an Umfragen teilnehmen. Damit wäre es denkbar, dass auch die GPS-Tracks vermehrt von gut ausgebildeten Wintersportlern stammen. Techel & Winkler¹³ haben jedoch gezeigt, dass die auf Berg-Plattformen publizierten Gipfelziel-Rapporte nicht unbedingt einen Bias hin zu schwierigen Touren aufweisen. Die Abb. 10 zeigt ein Neigungshistogramm der genannten Datensätze. Zunächst fällt auf, dass die Neignungsverteilung bei allen Datensätzen recht ähnlich ist. Typischerweise ist die Skitouren-Community bei einer Neigung von 7 bis 32° unterwegs. Der Peak liegt bei ca. 18°. Zudem zeigt sich, dass die

Abb. 10 Häufigkeit von Hangneigungen spezifischer Routen-Datensätze.



GPS-Tracks genau zwischen dem Routensatz von Skitouren guru (Bias hin zu flachem Gelände) und SAC (Bias hin zu steilem Gelände) liegt. Ein starker Bias kann deshalb ausgeschlossen werden.

a Ableitung der Quantitativen Reduktionsmethode

Nun ist alles bereit, um die Unfalldichte in Bezug zur Begehungsdichte zu setzen. Dazu wird die Unfalldichte durch die Begehungsdichte dividiert:

$$\text{Relatives Risiko} = 0.0678 \cdot \text{Unfalldichte} / \text{Begehungsdichte}$$

Der Normierungsfaktor (0.0678) bewirkt, dass das durchschnittliche Risiko beim relativen Risiko 1 zu liegen kommt (siehe blaue, durchgezogene Linie auf der Abb. 11). Die Normierung hat zur Folge, dass genau gleich viele Unfälle stattfinden würden, wenn Skitouren gänger in Zukunft nur Bedingungen aufsuchen würden, für die das relative Risiko 1 gilt. Die Abb. 11 zeigt somit das resultierende relative Risiko in Abhängigkeit von DI und TI. Auf diese Weise erhalten wir die Quantitative Reduktionsmethode (QRM). Auf den ersten Blick gleicht sie den bisherigen Reduktionsmethoden: Je höher die Gefahrenstufe und je typischer das Gelände für Lawinen, desto höher ist das Lawinenrisiko. Die QRM liefert als einzige Methode aber auch quantitative Risiken. Ganz offensichtlich ist der Anstieg von grün über orange zu rot viel stärker, als bisherige Methoden vermuten liessen.

- ¹ Munter, W., 1997: 3x3 Lawinen. Entscheiden in kritischen Situationen. Pohl & Schellhammer, Garmisch-Partenkirchen. pp. 120-129.
- ² Harvey, S., Rhyner, H., Dürr, L., Schweizer, J., Henny, H. M., Nigg, P., 2018: Achtung Lawinen! Kern-Ausbildungsteam Lawinenprävention Schneesport, Switzerland.
- ³ Larcher, M., 2002: Stop or Go. Entscheiden und Handeln abseits gesicherter Pisten. bergundsteigen 4/2002.
- ⁴ Engler, M., 2001: SnowCard & Faktorencheck. bergundsteigen, 4/2001.
- ⁵ Haegeli, P., McCammon, I., Jamieson, B., Israelson, C. Statham, G., 2006: The Avaluator. A Canadian rule-based avalanche decision support tool for amateur recreationists. Proceedings of the International Snow Science Workshop, Telluride. pp. 254-263.
- ⁶ Schweizer, J., Kronholm, K., Wiesinger, T., 2003: Verification of regional snowpack stability and avalanche danger. Cold Regions Science and Technology, Vol. 37, pp. 278.
- ⁷ Statham, G., McMahon, B., Tomm, I., 2006: The Avalanche Terrain Exposure Scale. Proceedings of the International Snow Science Workshop, Telluride, pp. 491-497.
- ⁸ Schrudlach, G., Köhler, J., 2016: Method for an automatized avalanche terrain classification. Proceedings of the International Snow Science Workshop, Breckenridge.
- ⁹ SLF, 2002-2017: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen. Unfallberichte. SLF, Davos / WSL, Birmensdorf
- ¹⁰ Techel, F., Schweizer, J., 2017: Lawinenunfälle Schweizer Alpen. bergundsteigen, 1/2017.
- ¹¹ SLF, 2002-2017: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen. Unfallberichte. SLF, Davos / WSL, Birmensdorf
- ¹² Winkler, K., Techel, F.: Wie männlich ist der Lawinentod? DAV Panorama 6/2017.
- ¹³ Techel, F., Zweifel, B., Winkler, K., 2015: Analysis of avalanche risk factors in back-country terrain based on usage frequency and accident data in Switzerland. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., Vol. 15, pp. 1985-1987.
- ¹⁴ McCammon, I., Haegeli, P., 2007. An evaluation of rule-based decision tools for travel in avalanche terrain, Cold Regions Science and Technology, 47, 193-206.
- ¹⁵ Landrø, M., Pfuhl, G., 2018: Analysis of decision-making frameworks for avalanche terrain. Proceedings of the International Snow Science Workshop, Innsbruck.
- ¹⁶ Schrudlach, G., Winkler, K., Köhler, J., 2018: Quantitative risk reduction method (QRM), a data-driven avalanche risk estimator. Proceedings of the International Snow Science Workshop, Innsbruck.



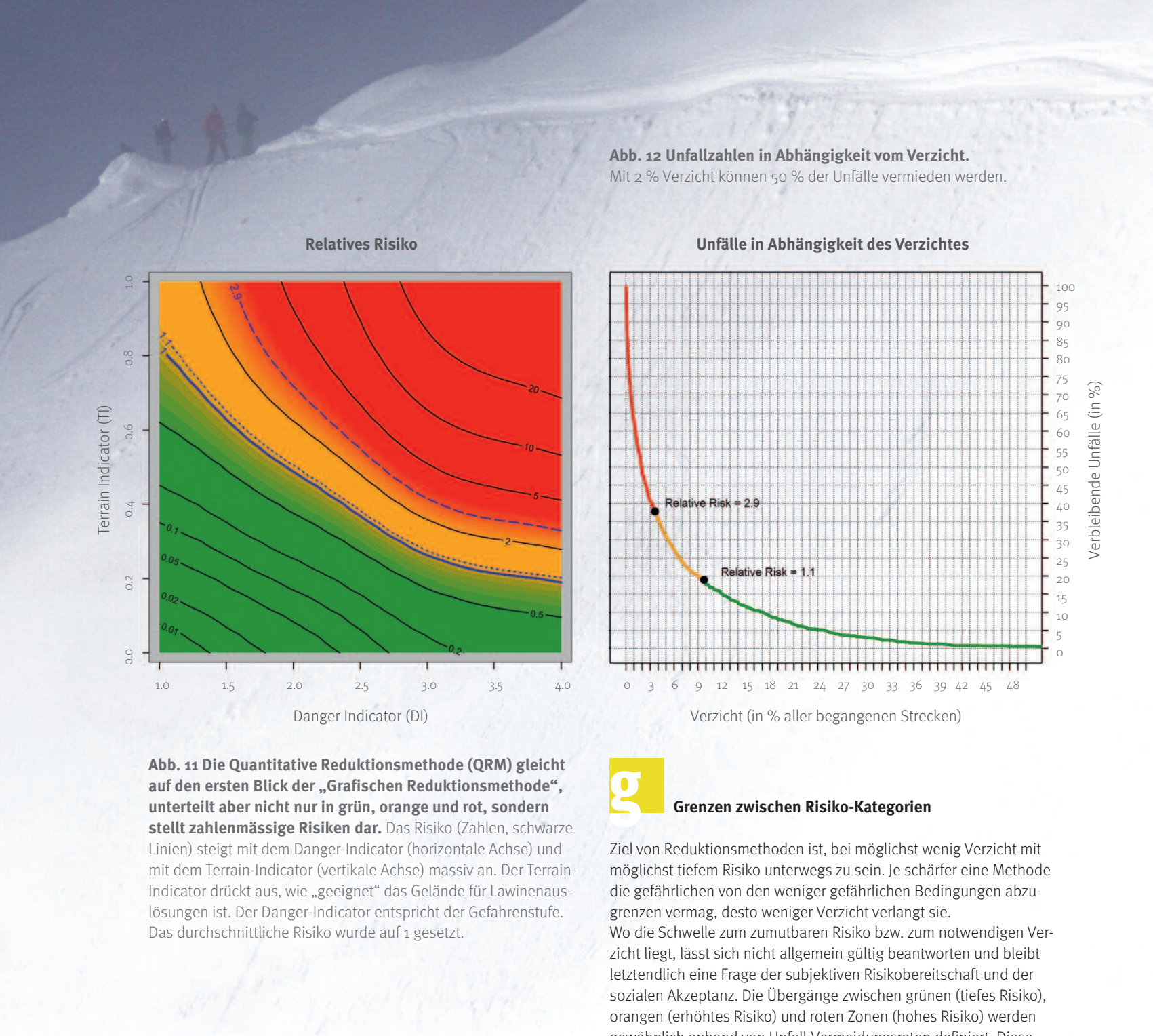


Abb. 12 Unfallzahlen in Abhängigkeit vom Verzicht.
Mit 2 % Verzicht können 50 % der Unfälle vermieden werden.

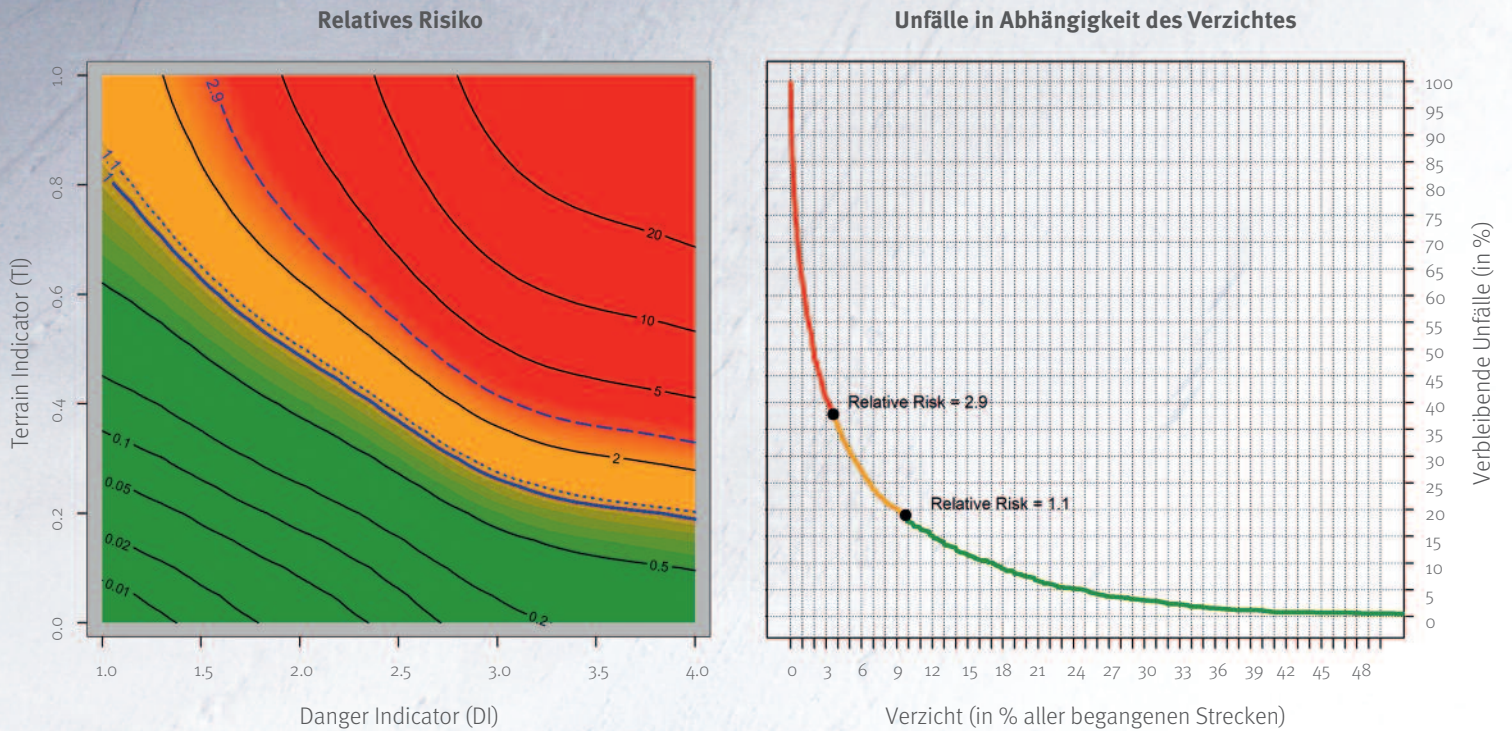


Abb. 11 Die Quantitative Reduktionsmethode (QRM) gleicht auf den ersten Blick der „Grafischen Reduktionsmethode“, unterteilt aber nicht nur in grün, orange und rot, sondern stellt zahlenmässige Risiken dar. Das Risiko (Zahlen, schwarze Linien) steigt mit dem Danger-Indicator (horizontale Achse) und mit dem Terrain-Indicator (vertikale Achse) massiv an. Der Terrain-Indicator drückt aus, wie „geeignet“ das Gelände für Lawinenauslösungen ist. Der Danger-Indicator entspricht der Gefahrenstufe. Das durchschnittliche Risiko wurde auf 1 gesetzt.



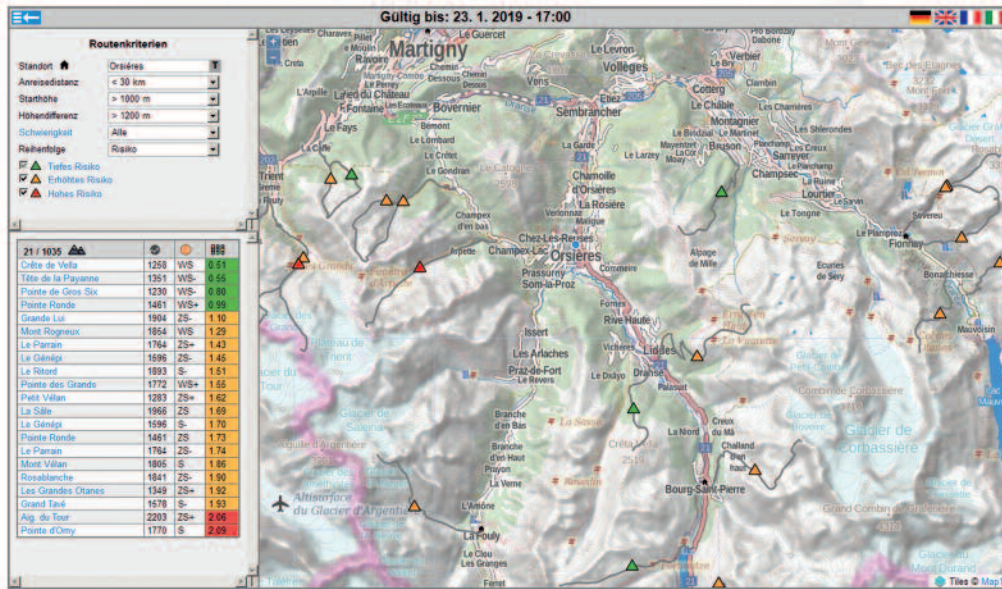
Grenzen zwischen Risiko-Kategorien

Ziel von Reduktionsmethoden ist, bei möglichst wenig Verzicht mit möglichst tiefem Risiko unterwegs zu sein. Je schärfer eine Methode die gefährlichen von den weniger gefährlichen Bedingungen abzugrenzen vermag, desto weniger Verzicht verlangt sie. Wo die Schwelle zum zumutbaren Risiko bzw. zum notwendigen Verzicht liegt, lässt sich nicht allgemein gültig beantworten und bleibt letztendlich eine Frage der subjektiven Risikobereitschaft und der sozialen Akzeptanz. Die Übergänge zwischen grünen (tiefes Risiko), orangen (erhöhtes Risiko) und roten Zonen (hohes Risiko) werden gewöhnlich anhand von Unfall-Vermeidungsraten definiert. Diese Vermeidungsraten sind willkürliche Grössen, die in einem offenen Prozess diskutiert werden müssen. Eine Arbeit von McCammon & Hägeli¹⁴ zeigt, dass die Unfall-Vermeidungsraten bei klassischen Reduktionsmethoden zwischen 50 % und 90 % liegen.

Die hier beschriebene QRM wurde wie folgt eingefärbt:

- Grenzlinie zwischen grün und orange: Die Unfall-Vermeidungsrate soll bei 80 % liegen. Es lässt sich ausrechnen, dass die Linie bei einem relativen Risiko von 1.1 gelegt werden muss, um dieses Ziel zu erreichen. In Abb. 11 ist dieses Risiko mit einer blau gepunkteten Kurve gekennzeichnet.
- Grenzlinie zwischen orange und rot: Die Unfall-Vermeidungsrate soll bei 60 % liegen. Es lässt sich ausrechnen, dass die Linie bei einem relativen Risiko von 2.9 gelegt werden muss, um dieses Ziel

Abb. 13 Screen-Shot vom Skitouren guru. Die Plattform erzeugt eine massgeschneiderte Liste von Routen, die ein spezifisches Risiko aufweisen und weiteren Routenkriterien entsprechen.



zu erreichen. In Abb. 11 ist dieses Risiko mit einer blau gestrichelten Kurve gekennzeichnet. Der Verzicht auf gefährliche Passagen kann zweifelsohne die Unfallzahlen senken. Jeder Verzicht hat aber auch einen Preis, denn risikoreiche Passagen bieten oft auch den grössten Skifahrer genuss oder erlauben es erst, attraktive Routen zu begehen. Die Abb. 12 visualisiert die verbleibenden Unfälle (in %) in Abhängigkeit des Verzichtes (in %). Ähnliche Grafiken hat Werner Munter bereits in den 90er-Jahren publiziert.

Bei einem Verzicht auf 2 % der gefährlichsten Passagen können bereits 50 % der Unfälle vermieden werden. Bei einem Verzicht auf 10 % der gefährlichsten Passagen verbleiben noch 18 % der Unfälle. Diese Zahlen zeigen, dass sich mit Reduktionsmethoden keine absolute Sicherheit erreichen lässt. Skitouren beinhalten unweigerlich auch ein gewisses Restrisiko. Wo die Grenze eines vernünftigen Risikos liegt, lässt sich weder aus der QRM noch aus der Kurve von Abb. 12 ableiten. Der extrem steile Anstieg der Kurve links in Abb. 12 zeigt aber, dass es zweifelsohne sinnvoll ist, auf die risikoreichsten Passagen im tiefroten Bereich zu verzichten.

a Anwendung

Bewertung von Routen

Mit den bisherigen Reduktionsmethoden ist es möglich, einzelne Schlüsselstellen zu beurteilen. Eine Studie aus Norwegen¹⁵ belegt jedoch, dass dies nur selten geschieht. Der Computer macht es nun

möglich nicht nur einzelne Stellen zu bewerten, sondern gleich den ganzen Routenverlauf. Dazu wird eine Routenlinie bzw. ein Routenkorridor in 10 m lange Segmente unterteilt und für jedes Segment anhand des aktuellen Lawinenlageberichtes und der QRM das relative Risiko bestimmt. Die Risiken über alle Segmente zusammen entsprechen dem Routenrisiko. Dieses wird in drei Kategorien eingeteilt: Tiefes Risiko (grün), erhöhtes Risiko (orange) und hohes Risiko (rot).

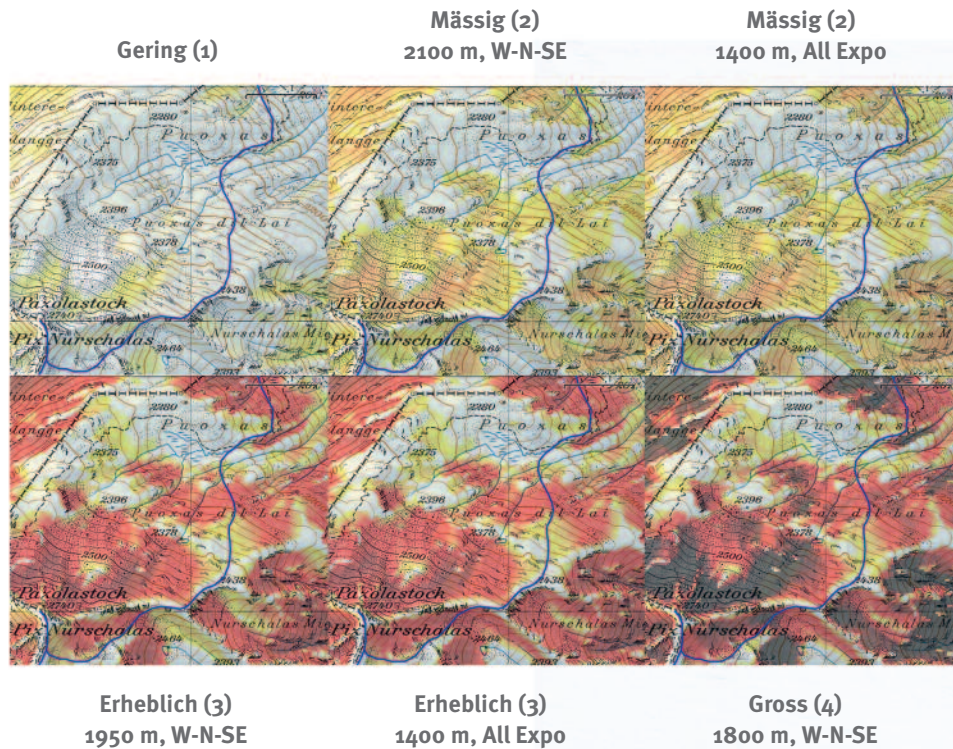
Risiko-Indikatoren beruhen nur auf einem Geländemodell und dem Lawinenlagebericht. Sie stellen das statistische Lawinenrisiko dar und geben damit einen guten Anhaltspunkt bei der Planung. Sie dürfen aber nicht das einzige Kriterium zum Befahren eines Hanges sein. Bleiben wir also bei der Empfehlung des KAT (Schweizer „Kernteam Lawinenausbildung“): Reduktionsmethode in der Planung, klassische Beurteilung unterwegs. Die Beurteilung unterwegs braucht nach wie vor viel Wissen und Erfahrung. Mit der QRM ist aber wenigstens die Planung rationaler geworden. Risiko-Indikatoren für ca. 1.000 Skitouren in der Schweiz finden sich auf www.skitouren guru.ch (Abb. 13). Ab dem Winter 2018/19 werden zudem ca. 1.000 Skitouren für die Ostalpen (Österreich, Bayern, Südtirol, Trentino) zur Verfügung gestellt.

Zweifelsfrei können Risiko-Indikatoren einen wichtigen Beitrag zur Lawinenunfallprävention leisten, indem sie das Publikum auf Routen mit „tiefem Risiko“ hinweisen.

Risikokarten

Mit Hilfe der QRM lassen sich für beispielhafte Lawinenlageberichte sogenannte Risikokarten berechnen. Die Abb. 14 zeigt sechs Risiko-

Abb. 14 Sechs QRM-Risikokarten bei sechs gängigen Lawinenlageberichten. Basiskarte ©Swisstopo



karten für die sechs Lawinenlageberichte „gering“, „typisches mässig“, „scharfes mässig“, typisches erheblich“, „scharfes erheblich“ und „typisches gross“. Auf www.skitoureguru.ch werden solche hochaufgelösten Karten für die ganze Schweiz publiziert. Es wäre auch möglich, nach jeder neuen Ausgabe des Lawinenlageberichtes eine „tagesaktuelle Risikokarte“ (realtime hazard mapping) zu berechnen. Diese Karte wäre wohl das Beste und Einfachste, um eine eigene Tour anhand der Reduktionsmethode selber zu planen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob das Publikum einer derartigen Karte mit der nötigen Distanz begegnet. Bei den Lawinenwarnungen gibt es Befürchtungen, dass solche „punktgenauen“ Karten einen starken Ankereffekt haben und dadurch die eigenständige Einzelhangbeurteilung untergraben könnten. Im Unterschied zur Bewertung einer ganzen Skitour liesse sich eine Risikokarte nämlich auch unterwegs verwenden: Glitzernder Powder. Unter mir ein attraktiver, grosser, unverfahrener Hang. Wie sieht es aus mit den Lawinen? So schlecht eigentlich nicht, aber gut halt auch nicht. Ich weiss nicht so recht. Also Handy raus, die Risikokarte gibt die Antwort. Wer in einer solchen Situation sieht, dass der Hang als relativ günstig wegkommt, wird ihn befahren. Psychologisch gesehen wirkt die günstige Beurteilung als „Anker“. Wenn der Homo-Sapiens mit der Komplexität einer Fragestellung überfordert ist, klammert er sich an jeden verfügbaren Strohalm.

Die Risikokarte stützt sich letztendlich auf den Lawinenlagebericht und das Gelände. Jetzt stehen wir jedoch im realen Wintergelände. Wir sind umgeben von Natur, die in der Regel zusätzliche Information preisgibt. Es ist deshalb zielführend diese Information in eine umfassende Risikoanalyse zu integrieren.

Letztendlich handelt es sich bei Risikokarten also um hilfreiche Tools mit einem schwer einzuschätzenden Missbrauchspotenzial. Was kann getan werden, um die Chancen einer „tagesaktuellen Risikokarte“ zu maximieren und die Risiken zu minimieren?

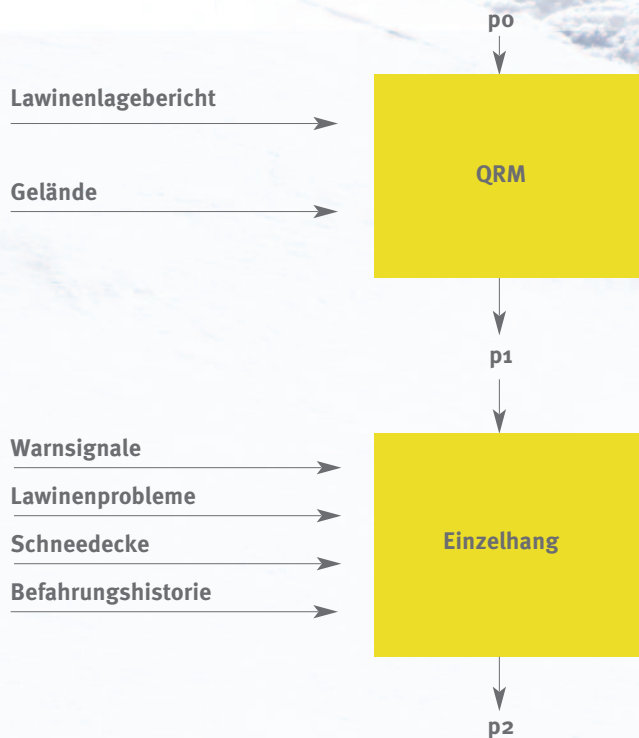


Nacheinander statt gegeneinander

Bayern München oder Borussia Dortmund? In gewissen Fällen muss man sich für das eine und damit gegen das andere entscheiden. Solche Entscheidungen bergen jedoch immer das Risiko einseitiger Meinungen. Im Spannungsfeld zwischen einer strategischen und analytischen Lawinenkunde werden mitunter extreme Positionen bezogen. Nur wäre das hier gar nicht nötig, denn die beiden Ansätze schliessen sich gegenseitig nicht aus. Vielmehr ergeben Reduktionsmethode als Teil der Planung und Einzelhangbeurteilung unterwegs erst zusammen ein ganzheitliches Gesamtwerk.

Nehmen wir an, uns wird für den nächsten Tag eine Skitour vorgeschlagen; wir erhalten jedoch keinerlei Informationen, weder zum Gelände noch zu den herrschenden Schnee- und Lawinenverhältnissen. Trotzdem müssen wir uns für ein Go/No Go entscheiden. Das Einzige, was wir in dieser Situation für unsere Sicherheit machen können, ist, das statistische Risiko einer Skitour mit demjenigen anderer Aktivitäten zu vergleichen. Vielleicht wissen wir schon, dass das Risiko, während einer Tagestour in einer Lawine zu sterben (Ereigniswahrscheinlichkeit p_0) mit ca. 1:100.000 bedeutend höher

Abb. 15 Aktualisieren von Sterbenswahrscheinlichkeiten auf Skitouren. In der Planung wird durch die QRM die Sterbenswahrscheinlichkeit p_0 auf die Sterbenswahrscheinlichkeit p_1 aktualisiert. Die letztendliche Sterbenswahrscheinlichkeit p_2 ergibt sich erst nach der klassischen Beurteilung im Einzelhang.



liegt als das Risiko bei einem Tag Autofahren. Also gehen wir lieber Auto fahren!? Nun kommt Information hinzu. Uns wird nämlich ein Lawinenlagebericht, der genaue Routenverlauf und ein Geländemodell unterbreitet. Dank QRM und Skitouren guru können wir unser Lawinenrisiko besser abschätzen. Der Risiko-Indikator gibt einen Anhaltspunkt über das Risiko von verschiedenen Skitouren. Jetzt können wir wählen zwischen Routen, die Sterbenswahrscheinlichkeiten im Bereich von 1:500 und 1:2.000.000 aufweisen. Aus der sehr allgemeinen Anfangswahrscheinlichkeit p_0 ist damit eine deutlich zutreffendere Wahrscheinlichkeit p_1 geworden.

Diesen Prozess der Aktualisierung der Wahrscheinlichkeit können wir nun für jedes neue Informationselement wiederholen, das uns zur Verfügung gestellt wird. In Abb. 15 wird dies veranschaulicht für den Einzelhang. Auch hier können wir die Anfangswahrscheinlichkeit aktualisieren, sodass wir p_2 erhalten. Wohlverstanden, es soll hier nicht suggeriert werden, man könne die Probleme mit einem Rechner lösen, sondern es geht um eine Darstellung des Grundprinzips der Risikoreduktion.

Das Gute ist, dass sich die Sicherheitsmassnahmen kumulieren. Nicht umsonst hat Werner Munter hier von verschiedenen „Filtern“ gesprochen. Wenn ein Filter versagt, haben wir noch die Chance, dass uns der nächste Filter am Leben erhält. Es gibt jedoch auch Fälle, die uns auf einen einzigen Filter zurückwerfen:

Ein Einsteiger, der mit Hilfe einer Reduktionsmethode eine risikoarme Route auswählt, im Einzelhang jedoch nicht in der Lage ist, eine angemessene Einzelhangbeurteilung durchzuführen.

Situationen, in denen die Natur geizig ist und uns die relevanten Informationen nicht preisgibt (z.B. latentes Altschneeproblem). In einem solchen Fall können auch Lawinenexperten den Einzelhang kaum zuverlässig beurteilen.

Skeptiker gegenüber der strategischen Lawinenkunde, die auf die Anwendung einer Reduktionsmethode verzichten.

Wir leben länger, wenn wir in diesen drei Fällen den einzig verbleibenden Filter defensiv anwenden und mit grossen Sicherheitsmargen arbeiten.



Fazit

Mit Hilfe einer grossen Sammlung von Lawinenunfällen und GPS-Tracks wurde eine neue Reduktionsmethode, die Quantitative Reduktionsmethode (QRM) abgeleitet. Diese zeigt, dass das Lawinenrisiko im grünen Bereich nahe bei null liegt, dann aber bei orange und rot mit der Gefahrenstufe und der Geländekomplexität exponentiell ansteigt. Tourenger sind deshalb gut beraten, diesen obersten Bereich zu meiden. Dort können sie bei wenig Verzicht viel für ihre Sicherheit tun. Wo die Grenze des zu meidenden Bereichs liegt, lässt sich nicht verbindlich festlegen und muss von jedem Tourenger selbst bestimmt werden.



Die QRM ist damit, wie jede Reduktionsmethode, eine „gesundheitsfördernde Empfehlung“. Sie stellt nach Meinung der Erfinder nicht die „Grenze des juristisch Erlaubten“ dar. Sonst könnten bei gefordertem Verzicht auf „rot“ 60 % aller Unfallopfer strafrechtlich belangt oder mit Versicherungskürzungen belegt werden. Eine solche Verwendung würde die Akzeptanz der Reduktionsmethoden in der Skitouren-Community untergraben und damit deren Präventionseffekt gefährden. Halten wir es so, wie mit anderen Empfehlungen: Es ist zweifelsohne sinnvoll, Äpfel zu essen, Treppen zu steigen und die Reduktionsmethode einzuhalten. Wer es nicht macht, lebt vielleicht in der Tat weniger lang, aber das sollte seine eigene Entscheidung sein.

Im Gegensatz zu bisherigen Reduktionsmethoden zeigt die QRM quantitative Risiken an und ist damit prädestiniert für die maschinelle Anwendung. Damit ist es möglich, Routen zu bewerten bzw. gleich das ganze Gelände hochaufgelöst einzufärben.

In den nächsten Jahren wird eine Fülle von weiteren Daten (Lawinlageberichte, Unfälle und GPS-Tracks) anfallen. Mit Hilfe dieser Daten lässt sich die QRM kontinuierlich aktualisieren und verbessern. Neue Daten werden die Entwicklung trennschärferer Reduktionsmethoden erlauben. Die eigenverantwortliche Beurteilung der Situation vor Ort und im Einzelhang werden uns Reduktionsmethoden nicht nehmen.

Die Entwickler der QRM

Günter Sch mudlach, Entwickler und Herausgeber der Website www.skitouren guru.ch, Kurt Winkler vom WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) und Jochen Köhler von der Technisch-naturwissenschaftlichen Universität Norwegen in Trondheim haben die Quantitative Reduktionsmethode (QRM) entwickelt. Sie konnten sie unter dem Titel „Quantitative risk reduction method (QRM), a data-driven avalanche risk estimator“¹⁶ 2018 am ISSW in Innsbruck erstmals einem Fachpublikum präsentieren.

