

Zufall und Muster

Alle  Schweizer

Die Variabilität der Schneedecke in neuem Licht

von Jürg Schweizer

Zwei Schneesportler befahren einen unberührten Tiefschneehang. Der zweite zieht seine Schwünge fünf Meter links der soeben entstandenen frischen Spur und löst beim dritten Schwung eine Schneebrettlawine aus. Ein allen bekanntes Szenario, obwohl es eigentlich recht selten ist. „Schuld“ an dieser Auslösung ist die Schneedeckenvariabilität, so die allgemeine Meinung, und verglichen wird sie oft mit dem Bild eines Minenfeldes.

Was ist Schneedeckenvariabilität?

Dieser Vergleich mit einem Minenfeld ist heute weit verbreitet und beruht auf der Annahme, dass sich die Schneedeckenstabilität von einem Meter zum anderen drastisch ändere, dass die Stabilität chaotisch verteilt sei und demnach keine Muster existieren würden. Verschiedene Forschungsarbeiten der letzten zehn Jahre haben diese Sicht der Schneedecke zu bestätigen versucht, allerdings ohne durchschlagenden Erfolg. Vielleicht wurde das Ausmaß der Variabilität in der jüngsten Vergangenheit etwas überschätzt. Noch ist es aber zu früh, um aus der Forschung klare, praktische Konsequenzen für die Beurteilung der Lawinengefahr abzuleiten, aber es zeichnen sich doch gewisse Trends ab: Einmal mehr das Denken in Mustern und darausfolgend die Frage nach dem Ausmaß der Variabilität und deren

Auswirkung auf die Lawinenbildung. Ist Variabilität gut oder schlecht? Welche Variabilität ist entscheidend für die Lawinenbildung? Die innerhalb eines Meters, die innerhalb eines Hanges oder die innerhalb einer Region?

Regionale Ähnlichkeiten

Im Winter 1994/95 wurden während drei Tagen anfangs Januar unzählige Skifahrerlawinen ausgelöst, und zwar von den Waadtländer Alpen bis zur Silvretta, und weiter nach Österreich in die Region des Arlberg. Dabei kamen 10 Schneesportler ums Leben. Offensichtlich herrschte in weiten Teilen des Alpenraumes eine kritische Situation. Was war geschehen? Nach einem schneearmen Frühwinter schneite es vier Tage lang, und zwar vor allem in den nördlichen Teilen der Schweizer Alpen. Die allermeisten Skifahrerlawinen wurden aber nicht in diesen neuschneereichen Gebieten ausgelöst, sondern wei-

ter südlich, wo es „nur“ rund 30-50 cm Neuschnee gegeben hat. Dort wurde das schwache Fundament nur mäßig überlagert, so dass die Bedingungen für eine Auslösung durch Skifahrer „ideal“ waren. Es war also weniger die Variabilität der Schwachschicht, als die Mächtigkeit der Überlagerung, d.h. die Variabilität des „Brettes“, ausschlaggebend. Betrachten wir die Schneedeckenstabilität, respektive deren Variabilität auf diesem regionalen Maßstab, so finden wir nicht selten sehr ähnliche Zustände, weil die Wetterbedingungen, die zur kritischen Situation geführt haben,

über weiten Teilen der Schweizer Alpen ähnlich waren. Dies ist im wesentlichen auch der Maßstab der Lawinenwarnung. Im beschriebenen Falle hatte die Variabilität des Brettes natürlich nicht nur die regionale Komponente, sondern für die eigentliche Lawinenauslösung war auch die Variabilität im Einzelhang wesentlich.

Verschiedene Skalen

Es können also regional und auch lokal sehr wohl ähnliche Bedingungen herrschen. Beim eingangs beschriebenen Fall der Auslösung durch den zweiten



Bei Inversionslagen bildet sich Oberflächenreif oft nur in einer bestimmten Höhenlage, nämlich im Bereich der Wolkenobergrenze.



Skala	Bereich
Region	10 ... 100 km
Lokal, Geländekammer	1 km
Einzelhang	10 ... 100 m
Spur	1 ... 10 m
Schaufel	0.1 ... 1 m
Schneekristall	0.1 mm ... 1 cm

Die Variabilität kann sich innerhalb unterschiedlich großer Flächen differenzieren bzw. ähneln. Von der mehrere Kilometer umfassenden Region bis in den Millimeterbereich eines Schneekristalls kann man sechs unterschiedliche Größenskalen annehmen.

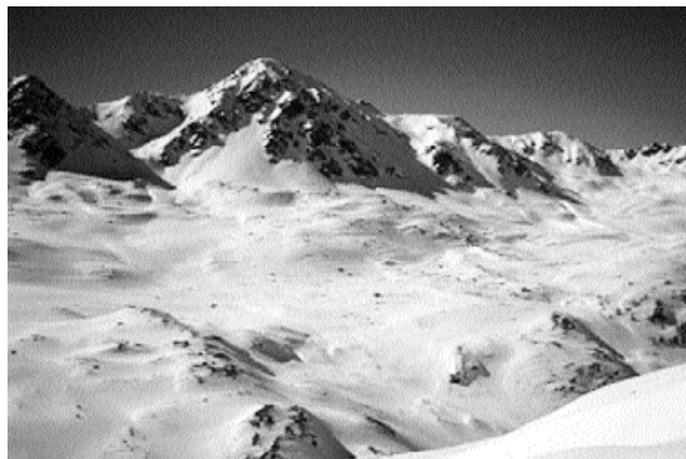
Schifahrer ist die Skala allerdings kleiner. Es geht um die Frage, ob sich ähnliche Hänge unterscheiden, und ob innerhalb eines Hanges, im Bereich der Spur, Unterschiede bestehen. Schließlich gibt es noch die sehr kleinräumige Variabilität innerhalb eines Meters, und falls wir uns auf die Struktur der schwachen Schichten konzentrieren, die Skala des Schneekristalls. Wir können grob also sechs verschiedene Skalen unterscheiden.

Auf all diesen Skalen kann die Schneedecke Unterschiede aufweisen, wobei die verschiedensten Parameter variieren können, von der Schneehöhe, über die Oberflächenbeschaffenheit zur Art und Ausbreitung von schwachen Schichten. Die wichtigste und weitgehendst unveränderliche Größe ist natürlich das Gelände: Steilheit, Exposition, Geländeform,

Hanglage. Beim Gelände sind wir bereits gewohnt in Mustern zu denken. Je steiler um so kritischer, je schattiger umso heikler.

Bruchbildung ...

Wie kommt die Variabilität auf diesen Skalen zu Stande und welche dieser Skalen ist nun relevant für die Lawinenbildung? Beginnen wir mit der zweiten Frage: Entscheidend für die Lawinenauslösung ist die Bruchbildung und -ausbreitung, für die gewisse Bedingungen erfüllt sein müssen. So muss u.a. der Initialbruch eine bestimmte Größe haben, damit es zur Bruchausbreitung und damit zum Lawinenabgang kommt. Man nimmt heute an, dass diese Größe im Bereich von 10 cm bis 10 m liegt, wobei bei schnellen Belastungen wie sie durch Schneesportler verursacht werden, die



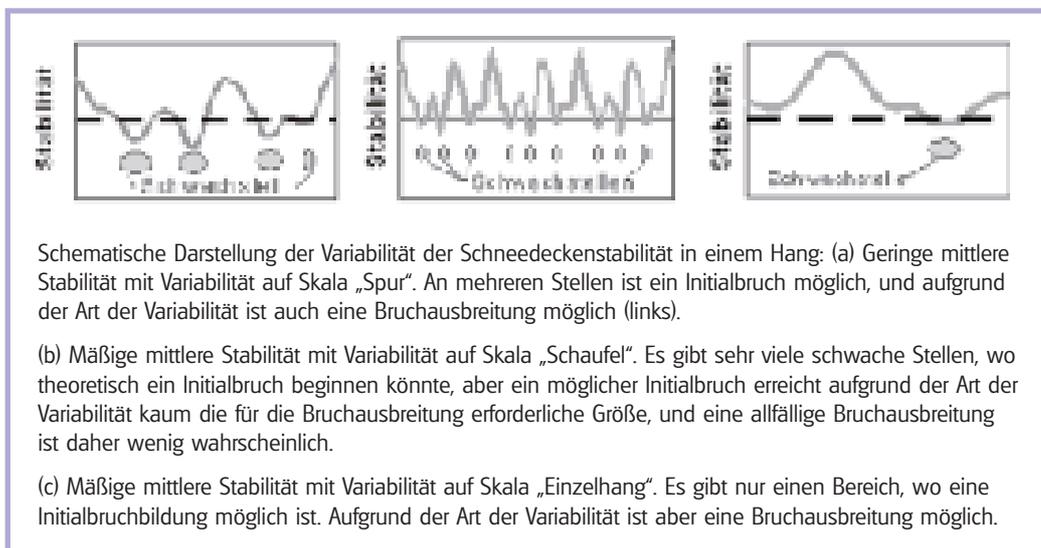
Auf der lokalen Skala (Geländekammer, Tal) sind es vor allem großräumigere Windeffekte oder verbreiteter Firnspiegel, die als Muster leicht zu erkennen sind.

Größe eher im unteren Bereich liegt (10 cm - 1 m). Der Initialbruch beginnt im Kleinen, sozusagen auf der Stufe der Schneekristalle. An einer schwächeren Stelle innerhalb einer Schwachschicht wachsen kleine geschädigte Bereiche zu einer Initialbruchfläche zusammen, oder ein Schneesportler verursacht eine lokale Schädigung. Entscheidend dafür, dass eine Initialbruchfläche entstehen kann, dürfte demnach die Variabilität innerhalb eines Meters sein. Ist die Schneeoberfläche vor einem Schneefall auf kleiner Fläche (Maßstab: 0.1 - 1 m) sehr unterschiedlich, wird es wohl gar keine genügend großen Initialbruchflächen geben, die eine Bruchausbreitung über den ganzen Hang zu treiben vermö-

gen. Große Variabilität innerhalb eines Meters ist also gut, d.h. stabilisierend. Es kann zwar durchaus im Kleinen sehr viele schwache Stellen haben, aber diese können aufgrund der hohen Variabilität nicht zusammenwachsen.

... und Bruchausbreitung

Stellen wir uns nun vor, dass sich die Schneedeckeneigenschaften in einem Hang alle paar Meter ändern beziehungsweise für einige Meter gleich sind. Dann kann es durchaus sein, dass sich innerhalb einer zusammenhängenden schwachen Schicht oder an einer Schichtgrenze eine genügend große Initialbruchfläche bildet, so dass die Bedingungen für die Bruchausbreitung gegeben sind und der Bruch sich auch ausbreiten kann. Es braucht also einen größeren Bereich - mehrere Meter - mit ähnlichen Eigenschaften. Falls die Variabilität auf der Skala des Einzelhanges sehr groß ist, dann gibt es, abhängig von der mittleren Stabilität, viele Orte oder Flächen, wo eine Initialbruchbildung ihren Anfang nehmen kann. Daneben gibt es aber auch sehr feste Bereiche innerhalb des Hanges, so dass die Bruchausbreitung unterbrochen wird, und es nicht zum Abgleiten des Schneebrettes kommt. Wenn die Variabilität gering ist, dann wird bei geringerer mittlerer Stabi-





Spuren: Wenn ein Hang bekanntlich stark verfahren ist, mehr als auf dem Bild, dann verhindert die künstlich verursachte Variabilität meist einen Lawinenanriss nach einem nächsten Schneefall.

lität sowohl der Initialbruch als auch die Bruchausbreitung begünstigt. Bei höherer mittlerer Stabilität ist der Initialbruch weniger wahrscheinlich, aber wenn er sich bildet, dann können große Schneebrettlawinen entstehen, weil die Bruchausbreitung nicht durch große Variabilitäten beziehungsweise feste Bereiche wesentlich behindert wird.

Regionale Gemeinsamkeiten

Die noch größeren Skalen, lokal und regional, sind für den Lawinenbildungsprozess im Einzelnen nicht entscheidend, sondern wesentlich auf dieser Skala ist, ob schwache Schichten oder Schichtgrenzen überhaupt vorhanden sind. Falls ja, ist entscheidend wie fest und wie sie überlagert sind (Mächtigkeit und Härte des Brettes). Die Frage ist also: Gibt es Muster in Bezug auf Exposition und Höhenlage? Ist zum Beispiel Oberflächenreif nur in einer bestimmten Höhenlage vorhanden, da nur im Bereich der Nebelobergrenze die Bedingungen für die Bildung günstig waren, oder ist er nur noch auf den Windschattenhängen (z.B. auf den Südosthängen) präsent, weil er in den anderen Expositionen zerstört wurde? Oberflächenreif dürfte diejenige Schwachschicht sein, die am meisten Variabilität zeigt, da die fragilen Kristalle leicht etwa durch Wind

zerstört werden können. Die Kornformen, die am häufigsten in Bruchschichten von Skifahrerlawinen gefunden werden, sind kantige Formen. Diese entstehen vornehmlich an der Schneeoberfläche während trockenen, kalten Perioden und treten meist weit verbreitet auf.

Wie entsteht Variabilität?

Damit sind wir wieder bei der Eingangsfrage angelangt, nämlich: Wie entsteht Variabilität? Wiederum gilt es die schwache Schicht und die Überlagerung, das Brett, im Auge zu behalten. Die Bildung von schwachen Schichten geschieht primär an der Schneeoberfläche aufgrund von bestimmten meteorologischen Bedingungen. Eine Kruste z.B., findet sich nur auf Sonnenhängen, oder Oberflächenreif bildet sich nur in einer bestimmten Höhenlage. Das Ausmaß der Variabilität wäre somit auf der regionalen und lokalen Skala ursächlich (deterministisch) bestimmt, gegeben durch das Gelände. Nach der Bildung, oder auch schon während derselben ist es vor allem der Wind, der zu kleinräumigeren Unterschieden führt, also auf der Skala von wenigen Metern bis zu wenigen Zentimetern. Vor allem starker turbulenter Wind kann chaotische Muster verursachen. Die Variabilität auf dieser Skala wäre damit



Grosse Variabilität durch den Wind auf der Skala „Schaufel“ – lawinenhemmend im Hinblick auf den nächsten Schneefall.

vor allem zufällig (stochastisch) durch die Windeinwirkung bestimmt. Nicht selten sind dann allerdings die Unterschiede so groß beziehungsweise kleinräumig, dass sie bereits wieder stabilisierend wirken.

Variabilität des Schneebrettes

Aber nicht nur die schwachen Schichten variieren. Der Wind führt auch dazu, dass eine Schwäche in der Schneedecke nicht überall gleich dick überlagert ist. Ein bekanntes Muster ist daher, dass Auslösungen nicht selten an eher schneearmen Stellen erfolgen, wo die Überlage-

rung gering ist, z.B. beim Übergang von einer Mulde zu einem Rücken. Diese Situation tritt vor allem im Frühwinter oder beim Übergang vom Früh- zum Hochwinter auf. Diese Überlagerung respektive die Eigenschaften des Brettes sind meist einfacher abzuschätzen als die Eigenschaften bzw. das Vorkommen einer bestimmten Schwachschicht – da kann sogar herumstochern nützlich sein.

Deterministisch oder stochastisch?

Damit wird klar, dass Variabilität sowohl eine deterministische (ursächliche) als auch eine sto-



Selten ist Variabilität in der Skala „Spur“ so gut sichtbar. Ein geringer Schneefall kombiniert mit Wind hat dazu geführt, dass die Oberfläche derart gemustert ist.



Dünen sorgen für Variabilität auf der Skala „Spur“.



Während der Rücken im Vordergrund abgeblasen oder zumindest sehr rau und variabel ist, sehen die meisten Hänge sehr homogen aus. Nicht zuletzt deshalb ist der Aufstieg über Rücken sicherer als durch Mulden. Auf den Rücken können sich nämlich meist keine zusammenhängenden Schwachschichten bilden.



Deutlich unterschiedliche Muster unterhalb und oberhalb der Waldgrenze, wo der Wind stark gewirkt hat. In einer derartigen Situation kann die Gefahrenstufe mit der Höhenlage sozusagen schlagartig ändern, d.h. um einen Gefahrengrad zunehmen

chastische (zufällige) Komponente enthält. Wie die beiden Komponenten wirken, hängt wesentlich von der Skala ab, auf welcher die Variabilität betrachtet wird. Zudem wird nicht jede zur Instabilität neigende Schneedecke im gleichen Maße aus zufälligen und ursächlichen Elementen zusammengesetzt sein. Je nach Art der Schwachschicht (z. B. Oberflächenreif oder kantige Kristalle ober- oder unterhalb einer Kruste) dürfte aufgrund der Entstehungsart diese Mischung unterschiedlich sein.

Muster erkennen - Verhalten anpassen

Diese Beispiele haben gezeigt, dass es wesentlich ist, sich über den Maßstab der Variabilität klar zu werden, allfällige Muster zu erkennen, und Variabilität auch als stabilisierend wahrzunehmen. Was aber sind die Konsequenzen? Aufgrund des heutigen Wissensstandes scheint klar, dass die Schneedeckenstabilität meist nicht derart chaotisch ist, dass Schneedeckenuntersuchungen nur zufällige Resultate liefern. Voraussetzung ist die gezielte Wahl der Untersuchungsstelle in Hinblick auf mögliche Schwächen innerhalb der Schneedecke. Das heisst, dass Schneedeckenuntersuchungen als eines von vielen Mitteln bei der Beurteilung der Lawinengefahr nicht aufgrund der Variabilität grundsätzlich verworfen werden können.

Andererseits gilt es, die Sinne für Muster zu schärfen, d.h. Variabilität zu erkennen und abzuschätzen, ob die Art der Variabilität entscheidend für die Lawinenbildung ist. Aus heutiger Sicht am kritischsten scheinen Situationen mittlerer Stabilität mit mäßiger bis grosser Variabilität, d.h. typischerweise Situationen bei „mäßiger“

Gefahrenstufe. Die Forschung wird in nächster Zukunft versuchen herauszufinden, ob bestimmte Arten von Schwachschichten bestimmte Muster auf bestimmten Skalen aufweisen. Je nach Art der Schwachschicht und deren Muster wird die Auslösewahrscheinlichkeit und damit das Risiko aber unterschiedlich, und dementsprechend empfiehlt es sich, das Verhalten anzupassen. Es gilt also mit der Variabilität zu leben, eher nicht fatalistisch, sondern aktiv den Mustern der Instabilität nachzuspüren und sich entsprechend im Gelände anzupassen.

Nützlich ist vor allem, sich vor einem Schneefall die für die Lawinenbildung wesentlichen Muster auf der Schneeoberfläche zu merken, da diese nach dem Einschneien die Lawinenbildung häufig wesentlich beeinflussen. Allerdings setzt die u.U. schwierige Erkennbarkeit der Variabilität diesem Vorgehen auch klare Grenzen. Je geringer die Muster und je unberechenbarer die Variabilität – weil kaum erkennbar – umso eher sind zusätzliche Vorsichtsmaßnahmen angezeigt. Natürlich ist das Verhalten aufgrund der zusätzlich erkannten aktuellen Muster stets mit den allgemeinen statistischen Mustern, die etwa der Reduktionsmethode zu Grunde liegen, abzugleichen. Auch wenn die Ursachen und Konsequenzen der Variabilität einmal besser erforscht sind, wird dann wohl noch gelten, dass der genaue Ort und Zeitpunkt eines Lawinenabganges nicht voraussehbar sind. Die Schneedecke ist nämlich eine – und zwar je nach Situation unterschiedliche – Mischung von deterministischen und stochastischen Elementen, und damit in ihrer Gesamtheit nicht vollkommen erkennbar.

Jürg Schweizer, 42, verdient seine Brötchen beim Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) in Davos. Treue „Berg&Steigen“ Leser kennen ihn spätestens seit der Ausgabe 4/01 (Berg)önlichkeiten).



Sein Hauptdiskussionspartner zum Thema Variabilität ist Kalle Kronholm, 30, der am SLF seine Doktorarbeit schreibt, und ein Projekt zur Variabilität der Schneedeckenstabilität auf der Skala Hang betreut.