

Zufall oder Muster?

## Schneedecken-variabilität

Die Schneedecke ist eine je nach Situation unterschiedliche Mischung von ursächlichen und zufälligen Elementen. Je nach zu definierender Betrachtungsebene lassen sich in der Schneedeckenvariabilität gewisse Muster erkennen. Die Variabilität kann sich dabei günstig oder ungünstig auf die Lawinengefahr auswirken.

Zwei Schneesportler befahren nacheinander einen unberührten Tiefschneehang. Der zweite, der seine Schwünge fünf Meter links der soeben entstandenen frischen Spur zieht, löst beim dritten Schwung eine Schneebrettawine aus. Obwohl selten, ist dieses Szenario uns allen bekannt. «Schuld» an dieser Auslösung, so die allgemeine Meinung, ist die Schneedeckenvariabilität.

Der heute weit verbreitete Vergleich der Schneedeckenstabilität mit einem Minenfeld basiert auf der Annahme, dass sich diese von einem Meter zum andern drastisch ändert, die Stabilität chaotisch verteilt ist und demnach keine Muster existieren. Somit wäre eine Lawinenauflösung reiner Zufall. Verschiedene Forschungsarbeiten der letzten zehn Jahre haben diese Sicht der Schneedecke zu bestätigen versucht, allerdings ohne durchschlagenden Erfolg. Noch ist es zu früh, um aus den Forschungsergebnissen klare Konsequenzen für die Beurteilung der Lawinengefahr abzuleiten. Auf Grund gewisser Trends stellt sich 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?



Der Wind hat eine hohe Variabilität verursacht. Nur wenige Hangteile scheinen im Hinblick auf den nächsten Schneefall noch homogen genug für einen Lawinenanriß.

### Regionale Ähnlichkeiten

Im Winter 1994/95 wurden Anfang Januar während dreier Tagen unzählige Skifahrerlawinen ausgelöst, und zwar von den Waadtländer Alpen bis zur Silvretta und in die Region des Arlbergs. Dabei kamen 10 Schneesportler ums Leben. Offensichtlich herrschte in weiten Teilen des Alpenraums eine kritische Situation. Was war geschehen? Nach einem schneearmen Frühwinter schneite es vier Tage lang, vor allem in den nördlichen Teilen der Schweizer Alpen. Die meisten Skifahrerlawinen wurden aber nicht in diesen neuschneereichen Gebieten ausgelöst, sondern weiter südlich, wo es «nur» rund 30–50 cm Neuschnee gegeben hatte. Dort wurde das schwache Fundament nur mässig überlagert, sodass 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 beziehungsweise ihre Variabilität auf diesem regionalen Massstab, so finden wir häufig vergleichbare Zustände, Muster also, weil die Wetterbedingungen, die zur kritischen Situation führten, über weite Teile der Schweizer Alpen ähnlich sind. Auf Grund solcher Muster ist es überhaupt möglich, die regionale Lawinengefahrstufe zu prognostizieren.

### Variabilität auf verschiedenen Grössenskalen

Es können also regional und auch lokal sehr wohl ähnliche Bedingungen herr-



Foto: Jürg Schweizer

schen. Beim eingangs beschriebenen Fall der Auslösung durch den zweiten Skifahrer geht es aber um die Frage von Unterschieden in ähnlichen Hängen, innerhalb eines Hanges und im Bereich der Spur. 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



Durchscheinendes Profil mit Oberflächenreif. Die verschie-

denen Schichten scheinen zum grössten Teil durchgehend zu sein.



(vgl. Tabelle). Auf all diesen Grössenskalen 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: Steil-

#### Tabelle Variabilität auf verschiedenen Grössenskalen

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

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

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.

heit, Exposition, Geländeform, Hanglage. Beim Gelände sind wir uns bereits gewohnt, in Mustern zu denken. Je steiler umso 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. Entscheidend, dass eine Initialbruchfläche entstehen kann, dürfte die Variabilität innerhalb eines Meters sein. Ist die Schneeeoberfläche 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 vermögen. Grosse Variabilität innerhalb eines Meters ist also gut, d.h., sie ist stabilisierend. Es kann im Kleinen durchaus sehr viele schwache Stellen haben, die aber auf Grund der hohen Variabilität nicht zusammenwachsen können.



**Oberflächlich sehr geringe Rauigkeit beziehungsweise Variabilität: »günstig« für Lawinenbildung**

**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.**

### ... 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, sodass 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 Einzelhangs 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, sodass die Bruchausbreitung unterbrochen werden kann und es nicht zum Abgleiten des Schneebrettes kommt.

### Schwache Schichten oder Schichtgrenzen

Die noch grösseren Skalen, lokal und regional, sind für den Lawinenbildungsprozess im Einzelnen nicht entscheidend. Wesentlich auf dieser Skala ist, ob schwache Schichten oder Schichtgrenzen überhaupt vorhanden sind. Falls ja sind deren Festigkeit und die Art der Überlagerung entscheidend. Die Härte und Mächtigkeit des überlagernden Schneebrettes sind also ebenso wichtig wie die Eigenschaften der Schwachschicht. Hier stellt sich die Frage nach Mustern in Bezug auf Exposition und Höhenlage. Ist

z.B. 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 jene 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 allerdings kantige Formen. Diese entstehen vornehmlich an der Schneeeoberfläche während trockenen, kalten Perioden und treten daher in der Regel weit verbreitet auf.

### Wie entsteht Variabilität?

Wie entsteht aber 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 Schneeeoberfläche auf Grund von bestimmten meteorologischen Bedingungen – eine Kruste beispielsweise findet sich nur auf Sonnenhängen, Oberflächenreif bildet sich nur in einer bestimmten Höhenlage. Das Ausmass der Variabilität ist somit auf der regionalen und lokalen Skala weitestgehend ursächlich – deterministisch – bestimmt, vorgegeben durch das Gelände. Nach oder auch schon während der Bildung der schwachen Schichten 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 ist damit 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. So kommt es, dass Auslösungen nicht selten an eher schneearmen Stellen erfolgen, wo die Überlagerung gering ist, beispielsweise 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 beziehungsweise die Eigenschaften des Brettes sind meist einfacher abzuschätzen als die Eigenschaften bzw. das Vorkommen einer bestimmten Schwachschicht – da kann sogar Herumstochern nützlich sein.

### Ursächliche und zufällige Komponenten

Damit wird klar, dass Variabilität sowohl eine ursächliche als auch eine zufällige

Komponente enthält. Je nach Betrachtungsebene wird die Mischung der beiden Komponenten unterschiedlich sein. Zudem wird nicht jede zur Instabilität neigende Schneedecke im gleichen Masse aus zufälligen und ursächlichen Elementen zusammengesetzt sein. Je nach Art der Schwachschicht dürfte auf Grund der Entstehungsart diese Mischung unterschiedlich sein.

### Muster erkennen

Diese Beispiele zeigen, dass es wesentlich ist, sich über den Massstab der Variabilität klar zu werden, allfällige Muster zu erkennen und Variabilität auch als stabilisierend wahrzunehmen. Es gilt, die Sinne für Muster zu schärfen, d.h., Variabilität zu erkennen und abzuschätzen, ob die Art der Variabilität für die Lawinenbildung entscheidend ist. Je nach Art der Schwachschicht und deren Muster wird die Auslösewahrscheinlichkeit – und damit das Risiko – unterschiedlich sein. Es gilt, mit der Variabilität zu leben, nicht fatalistisch, sondern aktiv den Mustern der Instabilität nachzuspüren und sich entsprechend zu verhalten.

### Grenzen der Erkennbarkeit

Nützlich ist vor allem, sich vor einem Schneefall die für die Lawinenbildung wesentlichen Muster auf der Schnee-

oberfläche 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 –, desto eher sind zusätzliche Vorsichtsmassnahmen angezeigt. Natürlich ist das Verhalten auf Grund 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 noch immer gelten, dass genauer Ort und Zeitpunkt eines Lawinenabgangs nicht voraussehbar sind. Die Schneedecke ist nämlich eine – und zwar je nach Situation unterschiedliche – Mischung von ursächlichen und zufälligen Elementen und damit in ihrer Gesamtheit nicht vollkommen erkennbar. □

Jürg Schweizer, SLF Davos

**Windwirbel:** Der Wind verursacht zu einem grossen Teil die stochastische – zufällige – Komponente der Schneedeckenvariabilität.



Fotos: Jürg Schweizer



**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.**