



01 Trockene Schneebrettlawine (Foto: R. Pajarola).

## 26 „Spannungen in der Schneedecke“ – Auslösewahrscheinlichkeit von Schneebrettlawinen

Autor:innen Ingrid Reiweger, Jürg Schweizer

Akute Lawinengefahr wird von Schneesportlerin und Schneesportlerinnen im freien Skiraum gelegentlich mit der Phrase „die Schneedecke steht unter Spannung“ beschrieben. Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, dass die Auslösewahrscheinlichkeit für trockene Schneebrettlawinen (Abbildung 01) groß ist. Ein Bewusstsein für das Risiko, selber eine Lawine auszulösen, ist auf jeden Fall begrüßenswert. Ein genaues Prozessverständnis hilft zusätzlich, das Risiko besser einschätzen zu können und auch dementsprechende, risikosenkende Verhaltensmaßnahmen zu wählen. Deshalb betrachten wir hier „Spannungen in der Schneedecke“ noch einmal genauer und stellen sie auch der Sichtweise „Auslösewahrscheinlichkeit von Schneebrettlawinen“ gegenüber.

### Mechanische Spannungen

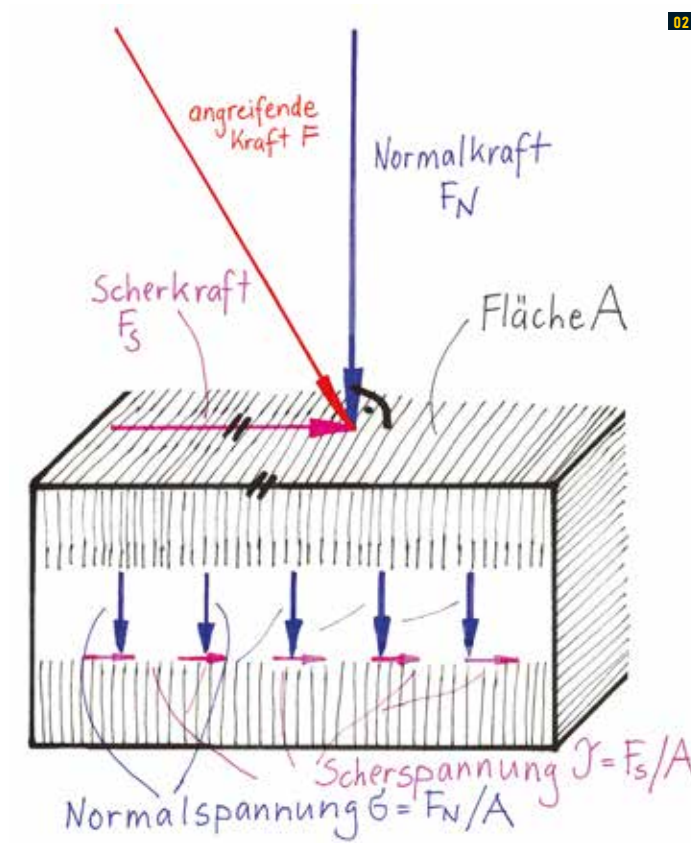
Die mechanische Spannung ist definiert als Kraft pro Fläche. Dabei ist die Normalspannung  $\sigma$  definiert als die Kraft  $F_N$ , die normal auf eine Fläche  $A$  wirkt:  $\sigma = F_N/A$ . Ist hier die Kraft  $F_N$  von der Fläche  $A$  weggerichtet, spricht man von Zugspannung, ist  $F_N$  auf Fläche  $A$  zugerichtet, spricht man von Druckspannung. Die Scherspannung  $\tau$  ist wie-

der die Kraft  $F_S$ , die auf die Fläche  $A$  wirkt, jedoch diesmal mit Wirkungsrichtung parallel zur Fläche  $A$ :  $\tau = F_S/A$ .

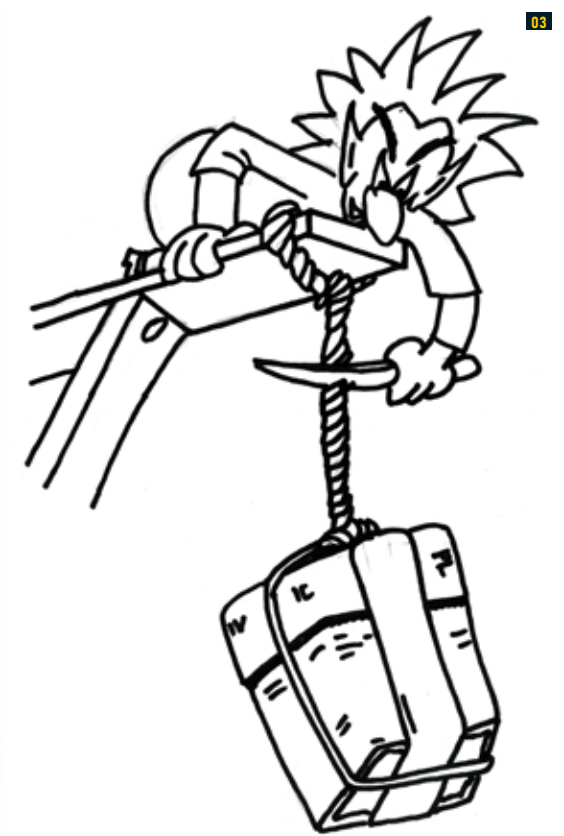
Jede auf einen Körper angreifende Kraft kann in die Komponenten Normalkraft und Scherkraft aufgeteilt werden, und somit kann auch jede Spannung (Kraft pro Fläche) als Summe von Normalspannung und Scherspannung beschrieben werden (Abbildung 02).

### Wirkungen von Spannungen

Spannungen führen zu Dehnungen, d.h. zu Formänderungen des Körpers. Im elastischen Fall sind diese Dehnungen auch reversibel, und die Spannung  $\sigma$  ist direkt proportional zur Dehnung  $\epsilon$  mit dem Elastizitätsmodell  $E$  als Proportionalitätskonstante:  $\sigma = E \cdot \epsilon$ . Elastizität ist also die Eigenschaft eines Körpers, unter Belastung seine Form zu verändern, und beim Wegfallen der Belastung in seine ursprüngliche Form zurückzukehren. So kann elastische Energie (reversible (umkehrbare) Formänderungsenergie) gespeichert werden, die durch Wegnahme der Spannung (Kraft pro Fläche) als Bewegungsenergie wieder freigesetzt wird. Beispiele hierfür wären die gespeicherte Energie



02 Angreifende Kraft, Zerlegung in die Komponenten Normalkraft und Scherkraft, Visualisierung von Normalspannung und Scherspannung. | 03 Durchschneiden eines unter Spannung stehenden Seils. |



in der zusammengedrückten Feder eines Pogo-Sticks oder die gespeicherte Energie in dem gespannten Gummiband einer Steinschleuder. Wie äußert es sich nun, wenn ein Körper unter Spannung steht, also in dem Körper Kräfte auf die inneren Bindungen wirken? Innere Spannungen können am besten dargestellt werden, indem man einen Körper an der betreffenden Stelle durchschneidet. Da das tatsächliche Durchschneiden von Körpern und Werkstücken nicht immer durchführbar und praktisch ist, werden in der Mechanik oft gedankliche Schnitte verwendet. So ist beispielsweise in Abbildung 03 ein Seil dargestellt, welches im Begriff ist, durchgeschnitten zu werden. Wir können uns gut vorstellen, dass das Seil unter Spannung steht, da am unteren Ende eine Masse hängt, die dank der Schwerkraft von der Erde angezogen wird. Sobald das Seil fertig durchgeschnitten ist, wird der untere Teil mit der Masse daran aufgrund der Gravitationskraft in die Tiefe stürzen. Das obere Seilende wurde gedehnt, sobald es freigeschnitten ist, wird die elastische Dehnungsenergie frei, und das Seilende wird nach oben zurückschnalzen. Es wirkt an der Schnittfläche das 3. Newtonsche Axiom: Kraft = Gegenkraft. Im unzerschnittenen Zustand äußern sich diese Kräfte als innere Spannungen, direkt nach dem Schnitt führen die Kräfte zu Be-

wegungen der nun getrennten Körper: die Bewegung des unteren Seilendes nach unten und die Gegenbewegung des oberen Seilendes nach oben.

### Spannungen und Schnitte innerhalb der Schneedecke

Was passiert jetzt eigentlich in der Schneedecke, wenn wir das Schneebrett, also die oberen, halbwegs gebundenen Schneesichten anschneiden? Wie wir aus Erfahrung vom Spuren, Schneeprofil- oder Schneehöhlengraben wissen, passiert in den allermeisten Fällen gar nichts (Abb. 04). Die Schneedecke zeigt sich meist herzlich unbeeindruckt von unseren Zerstörungen. Das heißt somit, dass ein alleiniges Anschneiden des Schneebretts nicht ausreicht, um eine Lawine auszulösen, das Brett also durch sein Eigengewicht nicht dermaßen unter Spannung steht, dass das alleinige Lösen der internen Bindungen innerhalb des Bretts zu einem Lawinenabgang führt. Es spielt bei der Bildung einer Schneebrettlawine nämlich noch ein anderer Prozess eine wesentliche Rolle: die Bruchausbreitung innerhalb der Schwachschicht unter dem Schneebrett. Nur wenn es keine Scherfestigkeit zwischen dem Schneebrett und dem Untergrund gäbe, würde ein Anschneiden des Brettes zu einer Lawine führen. Da Schneekörner sich jedoch sofort miteinander verbinden, sobald sie in



04 Auch tiefe künstliche Einschnitte in die Schneedecke wie Gräben und Löcher lassen die Schneedecke darunter nicht automatisch abrutschen, selbst wenn das Gelände steil genug dafür wäre (Foto: Gruber, D.). | 05 Bruchmechanismen bei der Entstehung einer trockenen Schneebrettlawine. Entscheidend sind sowohl die Bruchbildung als auch die Bruchausbreitung (aus Harvey et al., 2023). |

Kontakt kommen (das kennen wir beispielsweise vom Schneeball-Formen oder Schneemann-Bauen), ist ein Verlust der Scherfestigkeit zwischen unterschiedlichen Schneeschnitten nur unmittelbar nach Bruchprozessen der Fall.

**Bildung von Schneebrettlawinen**

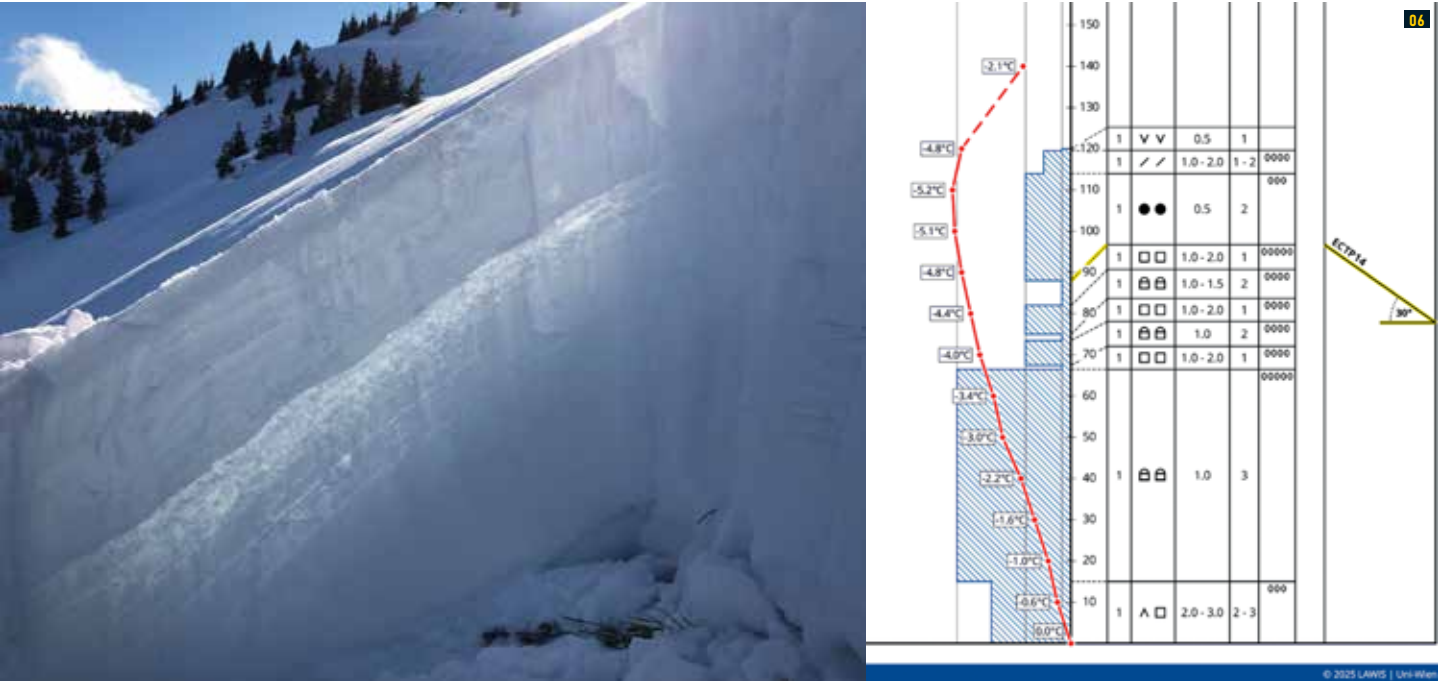
Sneebrettlawinen (Abbildung 01) entstehen durch die Bildung und Ausbreitung eines Bruches innerhalb einer flächig verbreiteten Schwachschicht unter einer hinreichend kohäsiven (zusammenhängenden) Schneeschnicht – dem Schneebrett. Dieser Bruch muss sich seitwärts, hangauf- und/oder hangabwärts ausbreiten können. Erst als Folge dieser Bruchausbreitung entstehen die obere Anrisskante sowie die seitlichen Flanken des Schneebretts (Abbildung 05). Sofern der Hang steil genug ist, um die Reibung zwischen der nun lose liegenden, oberen Schicht und der darunterliegenden Schneeschnicht zu überwinden, also ca. 30° oder steiler, gleitet das Schneebrett als Lawine ins Tal.

Zusammenfassend heißt das, dass akute Lawinengefahr in Bezug auf Schneebrettlawinen dann gegeben ist, wenn eine geeignete Schwachschicht-Schneebrett-Kombination in der Schneedecke vorhanden ist (Abbildung 06), sodass sich ein Bruch bilden und vor allem auch ausbreiten kann. Für trockene Schneebrettlawinen braucht es also eine möglichst schwache, flächig verbreitete Schwachschicht meist aus großen, kantigen Kristallen, in der sich der Bruch bilden und auch ausbreiten kann. Weiters braucht es darüber für die Bruchausbreitung ein zusammenhängendes, elastisches Schneebrett mit ebenfalls flächiger Ausdehnung für die Bruchausbreitung. Die Elastizität des Brettes ist wichtig, da die elastische Energie des Brettes für die Bruchausbreitung benötigt

wird. Durch die Bruchausbreitung und den damit verbundenen Verlust der Scherfestigkeit zwischen Schneebrett und Untergrund nimmt die Zugspannung im Schneebrett zu, und es kommt zum Zugbruch am oberen Ende des Schneebretts. Obwohl die obere Anrisskante häufig das ist, was wir bei einem bereits abgegangenen Schneebrett zuerst sehen, sind für die Auslösung andere Bruchprozesse am wichtigsten, nämlich die Bruchbildung innerhalb einer schwachen Schneeschnicht unterhalb eines gebundenen Schneebretts sowie die Bruchausbreitung hangparallel, als Scherbruch, in ebendieser Schwachschicht-Schneebrett-Kombination.

**Was bedeutet das für die Praxis?**

Das Risiko, bei einem Lawinenabgang zu Schaden zu kommen, setzt sich zusammen aus der Auslösewahrscheinlichkeit einer Lawine mal den möglichen Konsequenzen minus den getroffenen, risikomindernden Maßnahmen. Im Sinne einer ganzheitlichen Risikobetrachtung ist es daher wichtig, neben der Auslösewahrscheinlichkeit einer Lawine ebenso mögliche Konsequenzen abzuschätzen und Maßnahmen zu treffen. Für Schneesportler und Schneesportlerinnen heißt das, dass sie gut daran tun, sich nicht nur zu überlegen, wie wahrscheinlich ist eine Lawinenauslösung, sondern auch welche Folgen hätte ein möglicher Lawinenabgang, also: Wie groß ist der Hang, wie viel Schnee kommt, was ist unter mir? Gibt es am Hangfuß Geländefallen oder besteht Absturzgefahr, sind die Konsequenzen und damit auch das Risiko schnell einmal groß. Schließlich, kann das Risiko nun mit geeigneten Verhaltensmaßnahmen noch maßgeblich verringert werden? Wird das Risiko damit akzeptabel?



06 Wir sehen eine ideale Schichtung für die Auslösung von trockenen Schneebrettlawinen: eine Schwachschicht (hell) unter einem zusammenhängenden Brett (dunkel), hier gut sichtbar bei einem durchscheinenden Schneeprofil. Unter der dicksten (hellsten) Schwachschicht sind auch zwei viel dünnere Schwachschichten sichtbar. Auch sehr dünne Schwachschichten sind für die Schneebrettauslösung relevant, allerdings bei der Schneedeckenuntersuchung schwieriger zu finden, dafür sind die Schneedeckentests gut geeignet. (Foto: Siebenbrunner, A.). |

Für die Auslösewahrscheinlichkeit von Schneebrettlawinen sind vor allem potenzielle Schneebrett-Schwachschicht-Kombination relevant. Sowohl der Schneedeckenaufbau als auch die möglichen Gefahrenstellen sind in den Lawinenlageberichten der Lawinenwarndienste auf regionaler Ebene grob beschrieben. In gewissen Situationen können interessierte und erfahrene Schneesportler und Schneesportlerinnen an geeigneten, sicheren Standorten selbst Schneedeckentests wie z.B. einen Compression Test, Rutschblocktest oder Extended Column Test durchzuführen, um zumindest punktuell eine Einsicht für den Schneedeckenaufbau und die dazugehörige Stabilität zu bekommen. Für die Lawinenauslösung sind neben dem Vorhandensein einer Schwachschicht vor allem die Eigenschaften der darüberliegenden Schichten, also des Schneebretts wichtig. Ein elastisches Brett kann sich reversibel verformen, Spannungen, welche aufgrund der Schwerkraft immer existieren, in der Form von elastische Energie aufnehmen und speichern und diese Energie für die Bruchausbreitung wieder abgeben. Hier eignet sich gebundener, filziger bis rundkörniger Schnee sowie Tribschnee. Kantig aufgebaute Schichten und sehr nasse Schichten sind hingegen wenig elastisch und stellen kein gutes Schneebrett dar, das die Bruchausbreitung unterstützt. Zusammenfassend ist also die Fähigkeit des Schneebretts, elastische Energie aufzunehmen und zu speichern, für die Bruchausbreitung wichtig. Damit sich ein Bruch in der Schneedecke je-

doch überhaupt erst bilden und ausbreiten kann, sind das Vorhandensein einer Schwachschicht sowie einer darüberliegenden, gebundenen Schneeschnicht entscheidend. Spannungen gibt es in der Schneedecke immer, denn die Schwerkraft wirkt ja immer. Mit der eingangs erwähnten Phrase: „die Schneedecke steht unter Spannung“ wird wohl zum Ausdruck gebracht, dass das Schneebrett die Eigenschaft hat, die Bruchausbreitung bestens zu unterstützen. Wie meist, ist also etwas dran, an einer eingängigen Phrase, auch wenn sie auf den ersten Blick unphysikalisch erscheint.

**Literatur**

- Harvey, S., Rhyner, H. U., and Schweizer, J.: Lawinen – Verstehen, beurteilen und risikobasiert entscheiden, Bruckmann Verlag GmbH, München, 319 pp., 2023.
- Wikipedia. [de.wikipedia.org/wiki/Mechanische\\_Spannung](https://de.wikipedia.org/wiki/Mechanische_Spannung).

**Ingrid Reiweger**

ingrid.reiweger@boku.ac.at  
Institut für Alpine Naturgefahren, Department für Landschaft, Wasser und Infrastruktur, Universität für Bodenkultur Wien, Österreich

**Jürg Schweizer**

WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos, Schweiz