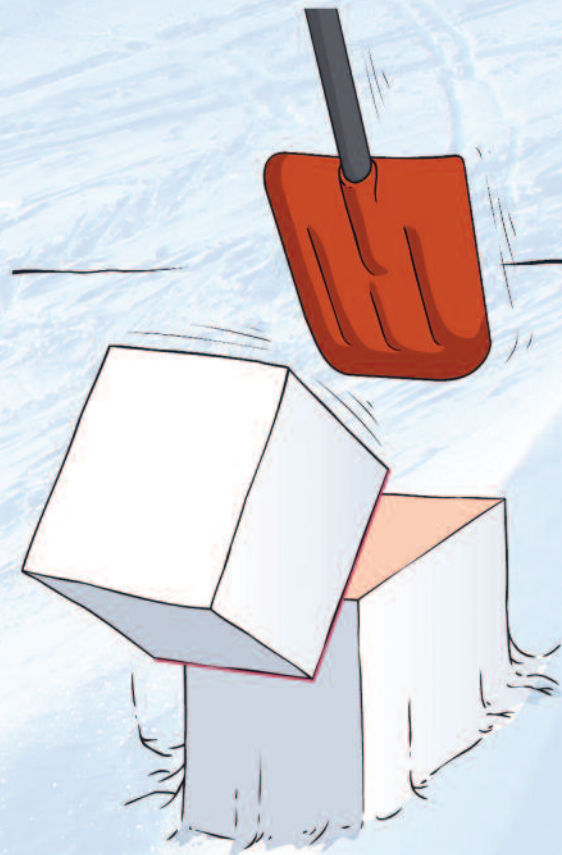


Auswirkung von vertikaler und seitlicher Belastung auf Schwach- schichten bei Schnee- deckentests

Abb. 1 Kleiner Blocktest (KBT)



Einleitung

Systematische und standardisierte Schneedeckenuntersuchungen sind unverzichtbar, um Informationen aus der Schneedecke zu erhalten und darauf aufbauend eine mögliche Gefährdung abzuleiten. Damit Lawenkommissionen, aber auch Skibergsteiger zu einem einheitlichen Ergebnis der Bewertung der Lawinensituation am Einzelhang kommen, wurde 1996 die „Systematische Schneedeckendiagnose“ (SSD) von Georg Kronthaler entwickelt und zwei Jahre später gemeinsam mit Dr. Bernhard Zenke, ehemaliger Leiter der Lawinenwarnzentrale Bayern, in die Ausbildung für Lawenkommissionen eingeführt.

Mit Hilfe des „Kleinen Blocktests“ (KBT) werden Schwachschichten durch seitliches Belasten von oben nach unten mit einer Lawinenschaufel gesucht (Abb.1). Anhand einer systematischen Abfrage festgelegter Eigenschaften von Schwachschicht und Schneebrett wird anschließend die Gefahrensituation beurteilt.

Mehrere Untersuchungen in den letzten Jahren (siehe Literaturhinweis) zeigen, dass KBT und SSD einfach anwendbar sind und gleichzeitig eine hohe Trefferquote bei der Einschätzung eines Einzelhangs vorweisen. Unter anderem wurde herausgefunden, dass der Bruch der Schwachschicht bei starkem Klopfen mit dem KBT auf sta-



Abb. 2 Die Testhänge wurden so ausgewählt, dass an jedem Untersuchungstag für die jeweilige Testreihe dieselben Bedingungen (Exposition und Steilheit) vorherrschten.



bile Verhältnisse schließen lässt (in früheren Arbeiten wurde stabil so definiert, dass eine Lawinenauslösung bei geringer Zusatzbelastung unwahrscheinlich ist).

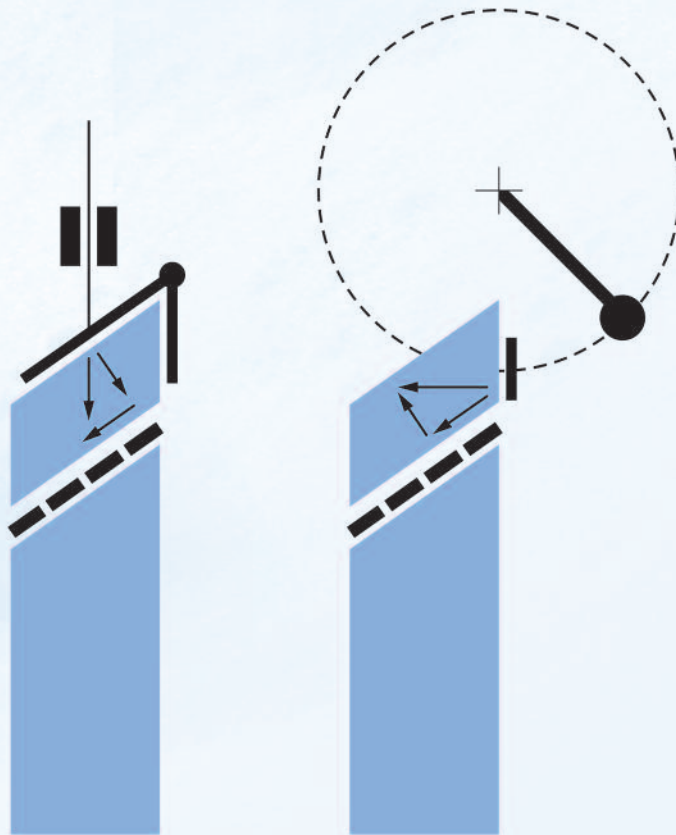
In dieser auf dem ISSW 2018 in Innsbruck präsentierten Arbeit wurde zum einen versucht herauszufinden, wie groß der Belastungsunterschied ist, wenn eine Schwachschicht vertikal (vB) oder lateral (KBT) ausgelöst wird. Zum anderen, ob das Testverfahren des seitlichen Belastens beim KBT eine Bedeutung auf die hohe Trefferquote (insbesondere, wenn die Schneedecke als stabil bewertet wurde) ausübt. Darüber hinaus wollten wir wissen, ob es sein kann, dass starkes Klopfen beim KBT als alleiniges Merkmal für stabile Verhältnisse gelten kann.



Testaufbau

An einer Reihe von Tagen wurden im Gelände mehrere Testblöcke in einem kleinen Hang ausgegraben (Abb.2). Mittels eines Gewichtes von 10 N (Masse ca. 1 kg) und verschiedenen Fallhöhen von 0,05 m bis 0,5 m wurden die Testblöcke (0,3 x 0,3 m) vertikal und seitlich belastet, wobei die unterschiedlichen Tests in unmittelbarer Nachbarschaft vorgenommen wurden.

Abb. 3 Testmethode vertikales Belasten (links) und seitliches Belasten (rechts). Reinzeichnung: Lisa Manneh



Bei vertikaler Belastung wurde das Gewicht durch eine Stange mit Höhenmarkierungen senkrecht geführt, jeweils 10 Schläge mit einer bestimmten Fallhöhe ausgeführt und dann die nächste Höhe gewählt, bis ein Bruch der Schwachschicht erreicht wurde. Der Energieeintrag erfolgte auf eine Platte (0,3 x 0,3 m, in Hangneigung aufliegend), welche mit einer bergseitigen Platte (senkrecht) so verbunden war, dass auch der Hangabtrieb aus der Schlagenergie auf den Testblock übertragen wurde.

Bei seitlicher Belastung wurde das Gewicht durch ein Pendel (Länge 0,3 m) geführt. Auf einer Skala um den Drehpunkt konnte die jeweilige Fallhöhe abgelesen werden. Bergseitig war eine senkrecht angeordnete Platte (0,3 x 0,15 m), welche die Energie seitlich auf den Testblock einleitete (Abb.3).

Erfasst bzw. errechnet wurden Gesamtenergie, Auslöseenergie, Höhe Schneebrett vor und nach Belastung, Struktur der Bruchfläche (glatt, rau, stufig), Korngrößen in der Schwachschicht und die Hangneigung. An vier Testtagen wurden in zwei verschiedenen Gebieten insgesamt 94 Testblöcke belastet, davon konnten 91 Testblöcke ausgewertet werden.

Hinweis: Gesamtenergie bedeutet addierte Höhe aller Schläge multipliziert mit dem Gewicht. Als Auslöseenergie bewerteten wir den letzten Schlag, der zum Bruch der Schwachschicht führte, d.h. Schlaghöhe multipliziert mit dem Gewicht.

Manfred Steffl hat Maschinenbau studiert, war 40 Jahren aktiv bei der bayerischen Bergwacht und ist als Rentner ehrenamtlich für den bayerischen Lawinenwarndienst als Nachmittagsbeobachter tätig.

Abb.4 Auslöseenergie (letzter Schlag vor Bruch) in Nm von KBT und vB (Mittelwerte und Standardabweichung).

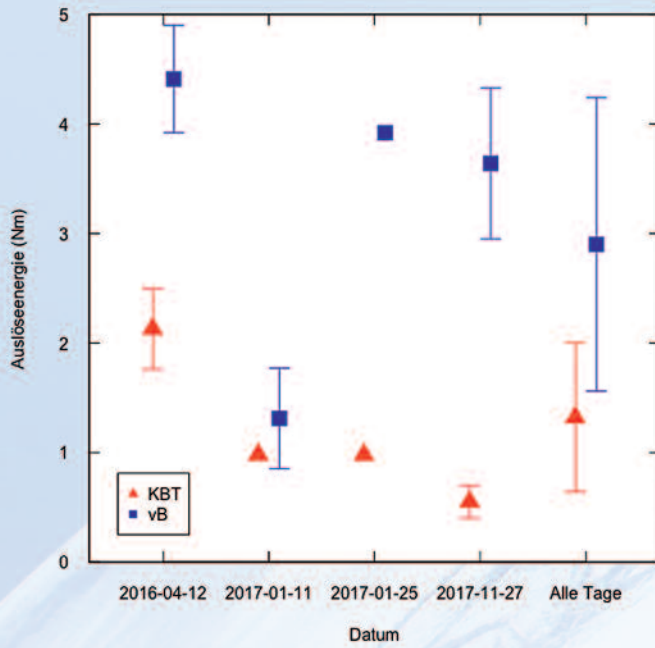
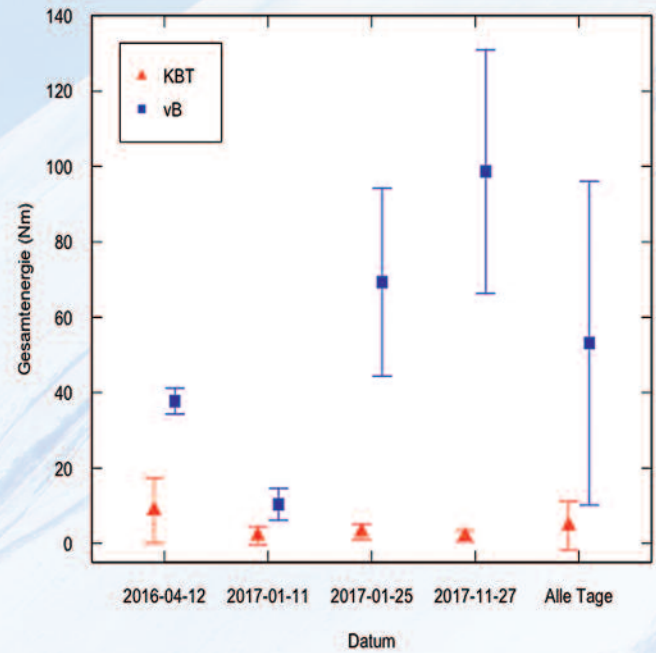


Abb.5 Gesamtenergie (alle Schläge bis zum Bruch) in Nm von KBT und vB (Mittelwerte und Standardabweichung).



e Ergebnisse

- Bei der Auslöseenergie (Abb. 4) liegt der Mittelwert aller Tage für vertikale Belastung (vB) bei ca. 2,9 Nm, mit seitlicher Belastung (KBT) bei ca. 1,3 Nm, d.h. Faktor ca. 2,2.
- Bei der Gesamtenergie (Abb. 5) liegt der Mittelwert aller Tage für vertikale Belastung (vB) bei ca. 53 Nm, mit seitlicher Belastung (KBT) bei ca. 5 Nm, d.h. Faktor > 10.
- Bei seitlicher Belastung (KBT) konnte bei allen 47 Testblöcken die Schwachschicht ermittelt und ausgelöst werden.
- Bei vertikaler Belastung (vB) waren 3 Testblöcke nicht auszuwerten, von den restlichen 44 Tests wurde bei 24 Blöcken, also bei ca. 55 % die Schwachschicht ermittelt und ausgelöst.
- Ein Einfluss der Hangneigung auf die Testergebnisse konnte nicht gefunden werden. Ein möglicher Grund dafür könnte die „schnelle Belastung“ aufgrund des Energieeintrages sein.
- Die Schlagenergie beim KBT, die beim seitlichen Belasten des Schneeblocks mit Hilfe einer Schaufel auftritt, entspricht beim leichten Klopfen einer Energie von max. 1 Nm, beim mäßigen Klopfen von max. 2 Nm sowie beim starken Klopfen einer Energie bis ca. 3 Nm und mehr (Abb. 6).
- Die Streuung der Auslöseenergie sowie der Gesamtenergie schwankten bei beiden Testmethoden zum einen tageweise, aber

auch innerhalb eines Testhanges (Abb. 4 u. 5). Insgesamt war jedoch die Streuung beim KBT, vor allem bei der Gesamtenergie, im Mittel ca. 7-fach geringer gegenüber vertikalen Belastungstests.

i Interpretation

Große Energieunterschiede zwischen vB und KBT

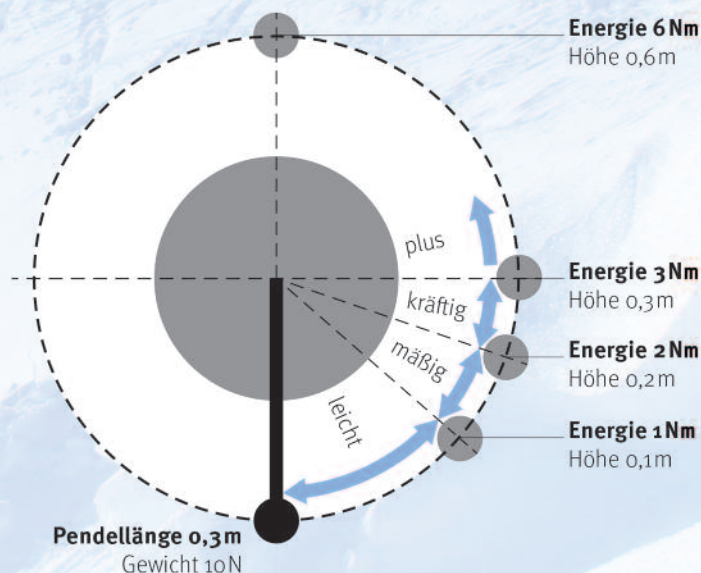
Der Grund der großen Energieunterschiede liegt darin, dass bei vertikaler Belastung erst das Schneebrett verdichtet werden muss, bevor die Schwachschicht ausgelöst wird (Abb. 7). Außerdem ist die Festigkeit der Schwachschichten bei Druck höher als bei Scherbelastung. Bei seitlicher Belastung wird der Einfluss durch das Schneebrett erheblich reduziert und damit ist wesentlich weniger Energie bis zum Bruch der Schwachschicht erforderlich. Die Schwachschicht bleibt besser erhalten. Dadurch lässt sich die Auslösung der Schwachschicht bei seitlicher Belastung wesentlich besser bewerten.

Größere Streuung beim vB

Die große Streuung der Energiewerte beim vB könnte darin liegen, dass im Vergleich zum KBT, aufgrund des größeren Verdichtungsweiges, eine deutlich geringere Energie auf die Schwachschicht wirkt.

Abb.6 Durch den Energieeintrag, der durch seitliches Belasten mit dem Pendel ermittelt wurde, können die Schlaghärten leichtes, mäßiges und starkes Klopfen quantifiziert werden.

Reinzeichnung: Lisa Manneh



Das sieht man auch daran, dass beim vB deutlich mehr Schläge (Ø 28 Schläge) bis zum Bruch benötigt werden als beim KBT (Ø 7 Schläge).

Wir schließen daraus, dass bei der Einzelhangbeurteilung, je nach Situation, beim vB insgesamt mehr Tests erforderlich sind als beim seitlichen Belasten. Es wird allerdings vermutet, dass bei kritischen Schwachschichten bzw. je gefährlicher eine Situation ist, die Streuung beim KBT und vB insgesamt geringer wird.

Unabhängig von der Testmethode zeigen die Daten jedoch eindrücklich, dass ein einzelner Test, vor allem bei „stabileren Verhältnissen“, nicht ausreicht, um einen Hang ausreichend zu beurteilen. Es wird daher empfohlen, Eigenschaften von Schneebrett und Schwachschicht einfließen zu lassen wie z.B. mittels „Systematischer Schneedeckendiagnose“ oder „Nietentest“.

KBT findet Schwachschichten zuverlässiger

Dass beim vB nur bei ca. 55 % der Testblöcke, beim KBT jedoch bei allen Testblöcken ein Bruch in der Schwachschicht erzeugt werden konnte, dürfte mit der vertikalen Belastung und der hohen Energieaufnahme des Schneebretts zusammenhängen. Man kann sich deshalb gut vorstellen, wie schwierig es ist, einzelne Testergebnisse, die mittels vB gefunden werden, auf die Fläche zu übertragen. Dieses Problem ist beim KBT deutlich geringer.

Starkes Klopfen mit dem KBT: Stabile Schneedecke?

Starkes Klopfen bedeutet einen Energieeintrag von ca. 3 Nm, welcher beim KBT relativ direkt auf die Schwachschicht wirkt. Es wird daher vermutet, dass so hohe Energiewerte nur dann zustande kommen, wenn die jeweiligen Schichten relativ gut miteinander verbunden sind. Deshalb nehmen wir an, dass ein Initialbruch durch einen einzelnen Skifahrer kaum möglich ist.

Z Zusammenfassung

- ▮ Zum Bruch einer Schwachschicht muss bei vertikaler Belastung deutlich mehr Energie aufgewendet werden als bei seitlicher.
- ▮ Daneben stellten wir fest, dass bei vB nur etwas mehr als die Hälfte von Schwachschichten gegenüber dem KBT gefunden wurden. Auch die Streuung der Stabilitätswerte ist beim vB deutlich größer. Daraus schließen wir, dass man mit dem KBT zuverlässigere Aussagen über die Qualität sowie die Eigenschaften von Schwachschichten treffen kann.
- ▮ Die Hangneigung spielt beim KBT offensichtlich nur eine untergeordnete Rolle. Ein weiterer Vorteil beim KBT ist deshalb, dass die Schwachschicht auch im flachen Gelände einfach ermittelt werden kann.

■ In der Praxis belasten wir den Testblock oft seitlich (einfachere Handhabung). Die Ergebnisse von seitlicher und bergseitiger Belastung sind absolut vergleichbar.

■ Trotz der guten Testergebnisse des KBT sind einzelne Schneedeckentests vor allem dann zu wenig, wenn es darum geht einen Einzelhang als befahrbar zu bewerten. Zusätzlich zu einem zweiten oder mehreren Tests empfehlen wir, ähnlich der „Systematischen Schneedeckendiagnose“ oder dem „Nietentest“, Eigenschaften von Schwachschichten sowie des Schnees heranzuziehen.

Danksagung

Ich bedanke mich bei Georg Kronthaler, mit dem ich gemeinsam die Tests im Gelände und die Auswertungen durchgeführt habe, sowie bei Ingrid Reiwegger und Christoph Mitterer für die fachliche Unterstützung.

Literatur

Reiweger, I., Schweizer, J. (2010). Failure of a layer of buried surface hoar – Geophysical research letters Vol. 37, L24501, doi:10.1029/2010GL045433,
Reiweger, I., Gaume, J., Schweizer, J. (2015). A new mixed-mode failure criterion for weak snowpack layers, Geophysical research letters, 42, 1427–1432 doi. doi:10.1002/2014GL062780,
Schweizer, J., Camponovo P., Fierc, C., Föhn P. (1995). Skier triggered slab avalanche release – some practical implications. Proceedings,

International Symposium: Science and mountain – The contribution of scientific research to snow, ice and avalanche safety, ANENA, Chamonix, May 30–June 3, 1995, 309-315
Schweizer, J. 1998. Schneebrettauslösung durch Skifahrer, Die Alpen, Jahrgang 74, S 11-18
Kronthaler, G., (2003). Systematische Schneedeckendiagnose. Sicherheit im Bergland S. 106-116.
Kronthaler, G., Zenke, B. (2006). Systematische Schneedeckendiagnose. berg und steigen(4), S. 56-64.
Kronthaler, G., Mitterer, CH. (2014). The systematic snow cover analysis: A practical tool for interpreting and assessing slope stability. Proceedings, International Snow Science Workshop, (S. 772-775). Banff, Canada.
Kronthaler, G., Feistl, T. (2016). Weak layer properties to assess avalanche release probabilities on single slopes. Proceedings, International Snow Science Workshop, (S. 1336-1339). Breckenridge, USA.
Schweizer, J., McCammon, I. (2002). A field method for identifying structural weaknesses in the snowpack. Proceedings, International Snow Science Workshop, (S. 477-481) Pentiction, Canada.
Winkler, K., Techel, F. (2009). Stabilitätstests im Vergleich. Berg und Steigen(4), S. 66-73.
Sigrist, Ch., et alund, (2006) Measurement of Fracture Mechanical Properties of Snow and Application to Dry Snow Slab Avalanche Release. Diss. ETH No. 16736, Swiss Federal Institute of Technology Zürich