

## DIE AUSWIRKUNG VON VERTIKALER UND SEITLICHER BELASTUNG AUF SCHWACHSCHICHTEN IN SCHNEEDECKENTESTS

Georg Kronthaler<sup>1\*</sup>, Manfred Steffl<sup>1</sup>, Ingrid Reiweger<sup>2</sup>, Christoph Mitterer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bavarian Avalanche Warning Service, Munich, Germany

<sup>2</sup>BOKU University of Natural Resources and Life Sciences, Institute of Mountain Risk Engineering

<sup>3</sup>Avalanche Warning Service Tyrol

### ABSTRACT:

Assessing the avalanche probability with snow stability tests is an issue for mountaineers as well as local authorities such as e.g. so-called avalanche commissions. We here present the "small block test" ("Kleiner Blocktest", KBT) which was developed by the Bavarian Avalanche Warning Service twenty years ago and has been used by them ever since. The KBT is a stability test, which identifies potential weak layers within a snowpack. It is performed by laterally tapping on a free-standing block of snow using a shovel. The present work shows the high hit rate for finding weak layers and hence assessing avalanche probability. Slope angle did not seem to influence test results. We further compared the KBT to a similar test setup but using vertical tapping. Within our experiments, fracture and thus finding of a weak layer for lateral tapping required only 10% of the total energy for vertical tapping. In accordance with literature, we found that the lateral i.e. shear strength is smaller than the vertical i.e. compressive strength by a factor of roughly two. We could further initiate only half as many fractures by vertical tapping compared to the lateral tapping used within the KBT. Also the variability of test results was higher for vertical tapping. We assume that both the lower fracture initiation rate as well as higher variability for vertical tapping was influenced by energy absorption due to deformation of the upper snow layers above the weak layer. Summarizing, we propagate and show the high practical usefulness of the KBT when assessing local avalanche probability.

KEY WORDS: Weak Layer; Small Block Test (KBT); vertical Loading (vB)

### 1. EINFÜHRUNG

Systematische und standardisierte Schneedeckenuntersuchungen sind unverzichtbar um Informationen aus der Schneedecke zu erhalten und darauf aufbauend eine mögliche Gefährdung abzuleiten. Damit Lawinenkommissionen, aber auch Skibergsteiger zu einem einheitlichen Ergebnis der Bewertung der Lawinensituation am Einzelhang kommen, wurde 1998 die „Systematische Schneedeckendiagnose“ (Kronthaler 2003) vom Lawinenwarndienst Bayern in die Ausbildung eingeführt. Der Fokus wird hierbei auf die Schwachschichten und die Art der Schneeüberlagerung gelegt. Mit definierten Eigenschaften von Schwachschicht und Schneebrett wird versucht die Gefahrensituation zu beurteilen. Der 'Kleine Blocktest' (KBT) stellt in diesem Bezug eine Methode dar, mit welcher Schwachschichten innerhalb der Schneedecke lokalisiert und deren Eigenschaften analysierbar sind. Der KBT hat Ausmaße von ca. 40 x 40 cm und wird max. 1 Meter tief gegraben. Die Belastung der Schwachschicht erfolgt von der Seite. Mehrere Untersuchungen in den letzten

Jahren zeigen, dass KBT und 'Systematische Schneedeckendiagnose' (SSD) einfach anwendbar sind und gleichzeitig eine hohe Trefferquote bei der Einschätzung eines Einzelhanges vorweisen, (Kronthaler und Mitterer, 2014). Unter anderem wurde herausgefunden, dass der Bruch der Schwachschicht beim starken Klopfen mit dem KBT auf stabile Verhältnisse schließen lässt (in früheren Arbeiten wurde stabil so definiert, dass eine Lawinenauslösung bei geringer Zusatzbelastung unwahrscheinlich ist). In der nun vorliegenden Arbeit wird versucht herauszufinden, wie groß der Belastungsunterschied ist, wenn eine Schwachschicht wie z.B. bei einem Kompressionstest (CT) vertikal (vB) oder lateral (KBT) belastet wird. Zudem wollten wir wissen, ob es sein kann, dass starkes Klopfen beim KBT als alleiniges Merkmal für stabile Verhältnisse gelten kann.

### 2. DATEN

Wir untersuchten vier Datensätze, die im Winter 2015-2016 bis 2017-2018 an jeweils vier gewählten Tagen gesammelt wurden.

An jedem Untersuchungstag waren Schwachschichten (kantige Kristalle > 1 mm) in der Schneedecke vorhanden. Die mittlere Tiefe lag bei ca. 31 cm, das Minimum lag bei 16 cm, das Maximum bei 56 cm. Die Anzahl der gewerteten Testblöcke lag bei 91. Dabei entfielen auf den KBT

---

\* Corresponding author address:

Kronthaler G. Bavarian Avalanche Warning Service, Heßstraße 128, 80797 Munich  
tel: +49 171 -3308054;  
email: georg.kronthaler@lfu.bayern.de

47 Blöcke, beim vB 44 Blöcke. (der Grund, dass beim vB 3 Blöcke weniger erfasst wurden, liegt daran, dass bei 3 Versuchen nicht eindeutig festgestellt werden konnte ob ein Bruch erzeugt wurde oder nicht).

Folgende Daten wurden erfasst:

Im Gelände:

- Höhe des Snowboards vor Test, nach Test
- Art der Bruchfläche (glatt, rau, gestuft, oder kein Bruch)
- Anzahl der Schläge aus vordefinierter Höhe
- Neigung im Testgelände
- Kornart
- Korngröße
- Härte des Snowboards vor dem Test
- Dicke der Schwachschicht



Abb. 1: Testmethode vB oben links, KBT (Pendel) oben rechts. Unten: Die Testrichtung war immer von rechts nach links, begonnen wurde mit vertikalem Belasten.

### 3. METHODEN

Um den unterschiedlichen Energieeintrag bei vertikaler und seitlicher Belastung von Testblöcken feststellen zu können, wurde mit einer Führungsstange und einem Fallgewicht von einer Masse mit 1kg jeweils ein Testblock vertikal bzw. mit einem Pendel seitlich belastet (Abb.1 oben).

Fallgewicht, Fallhöhe und Anzahl der Schläge dienen als Berechnungsgrundlage um die Energie zu bestimmen die zum Bruch in der Schwachschicht führte (Tab. 1).

#### 3.1 Vorgehensweise

##### Arbeitsschritt 1: Vorbereitung Testblöcke

Es wurden an jedem Testtag zwischen 20 und 30 Blöcke, die in einer Reihe angeordnet waren und unmittelbar neben einander standen, ausgegraben und auf eine Fläche (horizontale Fläche) von 0,3 m \* 0,3 m geschnitten (Abb. 1 unten). Die Blockhöhe lag bei ca. 1 Meter. Jeder einzelne Test wurde anschließend an einem unberührten Testblock durchgeführt.

##### Arbeitsschritt 2: Vertikales Belasten (vB)

Dieser Test wurde mit einer oben aufliegenden Platte, verbunden mit einer vertikalen Platte (Hangabtrieb), einer senkrechten Führungsstange und einem Fallgewicht von ca. 10 N (Masse 1 kg) ausgeführt.

##### Arbeitsschritt 3: seitliches Belasten (KBT)

Der KBT wurde mit einer seitlich anliegenden Platte, einer Pendelvorrichtung und einem Pendelgewicht von ca. 10 N (Masse 1 kg) ausgeführt.

Tab. 1: Energie, Fallhöhe und Winkel des Pendels (R 300mm)

Energie (Nm)	Fallhöhe (m)	Winkel (Grad°)
0.5	0.05	34
1	0.1	48
1.5	0.15	60
2	0.2	71
2.5	0.25	80
3	0.3	90
3.5	0.35	100
4	0.4	110
4.5	0.45	120
5	0.5	132
5.5	0.55	146
6	0.6	180

#### 3.2 Versuchsdurchführung

Begonnen wurde bei allen Belastungstests (je nach Tagessituation) aus einer Höhe von 0,05 oder 0,1 m. Erfolgte nach 10 Schlägen kein Bruch, wurde die Fallhöhe schrittweise erhöht. Falls kein Bruch ausgelöst werden konnte, wurden die Anzahl der Schläge vermerkt und der Versuch mit der Bezeichnung „Kein Bruch“ bewertet. Im Anschluss wurde der getestete Block zerstört und der danebenstehende unberührte Block getestet.

### 3.3 Definition Gesamtenergie

Die Gesamtenergie ist die Summe der Energieeinträge der einzelnen Schläge bis zum Bruch der Schwachschicht. Bei seitlicher Belastung (KBT) erfolgt der Energieeintrag durch ein Pendel, bei vertikaler Belastung (vB) durch ein Fallgewicht.

Berechnungsformel Gesamt- und Auslöseenergie:  
Energie (Nm) = Gewicht (N) x Höhendifferenz (m)

### 3.4 Definition Auslöseenergie

Die durch den letzten Schlag eingetragene Energie die zum Bruch führte, wurde als Auslöseenergie definiert. Es kann jedoch keine Aussage getroffen werden, ob und welche Vorschädigungen der Schwachschicht vor dem letzten Schlag vorhanden waren.

### 3.5 Berechnungsannahmen für Kraft und Spannung

Um Vergleiche mit wissenschaftlichen Veröffentlichungen ziehen zu können ist es erforderlich Spannungen z.B. für Druck und Scherung in den Schwachschichten zu ermitteln. Mit unserem Test ist die eingebrachte Energie bestimmt, bei welcher die Auslösung erfolgt (Auslöseenergie). Wir können aber nicht unterscheiden wieviel Energie ins Schneebrett, in die Schwachschicht, in den Unterteil des Testblocks und in das Testgerät fließt. Wir gehen davon aus, dass bei unserer Untersuchung beim KBT die absorbierte Energie (= Energie die nicht direkt zum Bruch der Schwachschicht führt) weniger in den Schnee als in die Ausrüstung fließt (z.B. Gestell für Drehpunkt Pendel), beim vB dagegen eher in das Schneebrett. Aus diesem Grund wurde zusätzlich ein „imaginärer“ Dämpfungsweg in unseren Überlegungen berücksichtigt.

Erst mittels dieses Dämpfungsweges kann Kraft und Spannung in der Schwachschicht ausreichend genau berechnet bzw. abgeschätzt werden.

Zusätzlich haben wir die Kraft (Schlaghärte) über den Bruch von Zündhölzern (Abb. 2) erprobt und den Dämpfungsweg zum Teil über den Bruchweg von Zündhölzern, sowie über beobachtete Bewegungen von Testblock und Ausrüstung festgelegt. Neben statischen und dynamischen Tests haben wir Bruchkraft und Bruchspannung der Zündhölzer berechnet und eine sehr gute Übereinstimmung gefunden.

Des Weiteren wurde von Hand (Faustschlag) eine gefühlsmäßige Überprüfung vorgenommen.

Der „imaginäre“ Dämpfungsweg wurde mit 0,025 m festgelegt. Abschätzungen mit Werten zur kritischen Auslöseenergie scheinen die Festlegung zu bestätigen. Die Werte zu Auslösekräften und Auslösespannungen unterliegen großen Schwankungen, liegen aber in einem plausiblen Bereich.

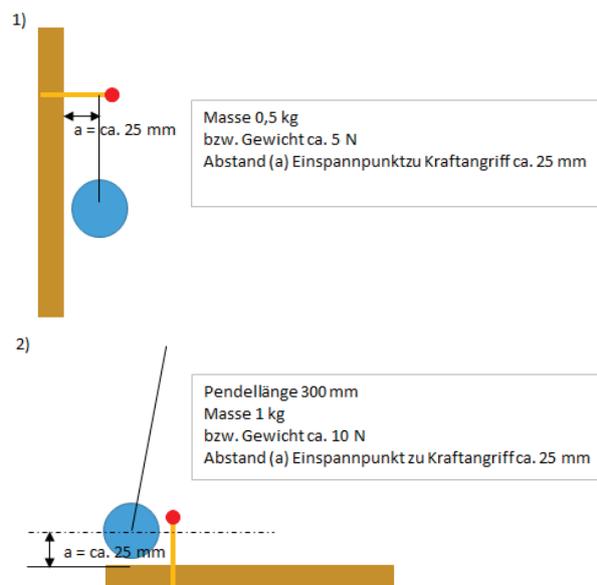


Abb. 2: Testanordnung Zündholz statisch Bild 1 und dynamisch Bild 2: Beim statischen Test brach das Zündholz mit einer Belastung von ca. 5 N bei einem Abstand Einspannpunkt zu Kraftangriff von ca. 24 - 26 mm. Beim dynamischen Test und einem Abstand zu Kraftangriff von ca. 24 - 26 mm erfolgte der Bruch bei 4 - 5 N.

## 4. ERGEBNISSE

### 4.1 Auslöseenergie

Werden alle Ergebnisse der Untersuchungstage herangezogen, liegt der Mittelwert der Auslöseenergie beim KBT bei ca. 1,3 Nm, beim vB bei ca. 2,9 Nm (Tab. 2). Die Standardabweichung für Auslöseenergie ist beim KBT 0,7 Nm, beim vB 1, 3 Nm (Abb.3). Der Median liegt bei der Auslöseenergie vom KBT bei 1,0 Nm beim vB bei 3,9 Nm. Das Verhältnis bei der Auslöseenergie zwischen Druck und Scherung liegt bei ca. 2,2.

Tab. 2: Mittelwert, Minimum- und Maximumwert der Auslöseenergie und der Gesamtenergie von KBT und vB.

Gesamtenergie (Nm)						Auslöseenergie (Nm)					
KBT			vB			KBT			vB		
min	mittel	max	min	mittel	max	min	mittel	max	min	mittel	max
0.98	4.9	31.39	4.91	53.1	141.26	0.49	1.3	2.94	0.98	2.9	4.91

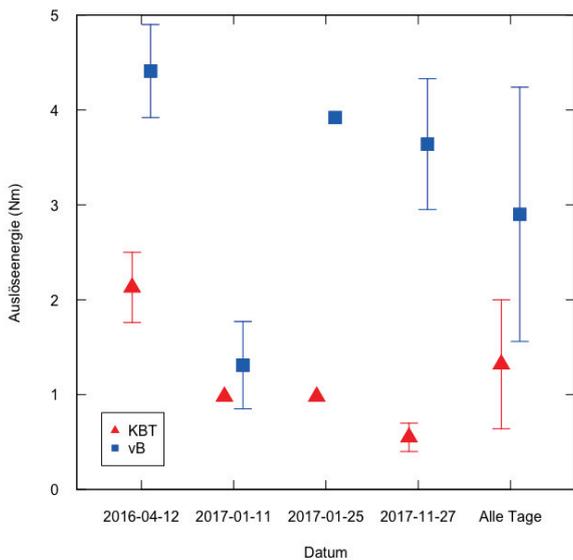


Abb.:3: Auslöseenergie (letzter Schlag vor Bruch) in Nm von KBT und vB.(Mittelwerte und Standardabweichung)

#### 4.2 Gesamtenergie

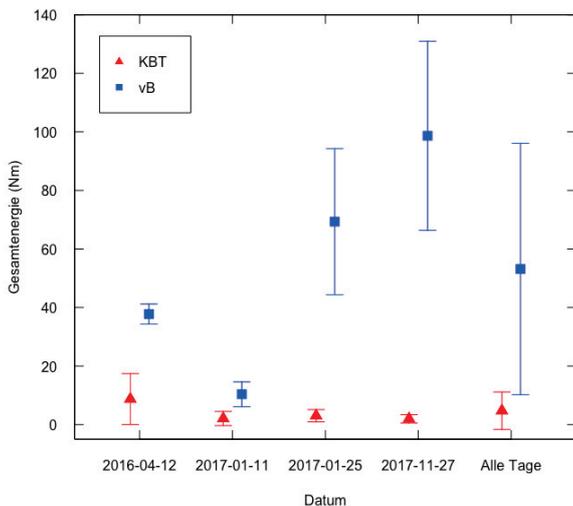


Abb.:4: Gesamtenergie (alle Schläge bis zum Bruch) in Nm von KBT und vB (Mittelwerte und Standardabweichung).

Der Mittelwert aller Tage der Gesamtenergie bis zum Bruch der Schwachschicht betrug beim KBT ca. 4,9 Nm, beim vB ca. 53 Nm. Die Standardabweichung beträgt beim KBT 6,4 Nm, beim vB 43 Nm.

Der Median liegt bei der Gesamtenergie beim KBT 2,0 Nm, beim vB bei 37,3 Nm. Beim vB ist der Energieaufwand zum Bruch ca. 11-fach höher gegenüber dem KBT. Berücksichtigt man bei der Auswertung von vB auch jene Tests, bei denen kein Bruch erzeugt wurde, erhält man einen

Mittelwert der Gesamtenergie von 131,6 Nm, Die Standardabweichung beträgt dann 239,4 Nm (Abb.4).

#### 4.3 Schlagenergie KBT

Die Schlagenergie beim KBT ist jener Energieeintrag, mit der ein Schneeblock mit Hilfe einer Schaufel von der Seite her belastet wird. Es wird unterschieden zwischen leichtem, mäßigem und starkem Klopfen.

Leichtes Klopfen entspricht einer Energie vom max. 1 Nm, mäßiges Klopfen einer Energie vom max. 2 Nm, sowie starkes Klopfen einer Energie bis ca. 3 Nm und mehr (Abb. 5).

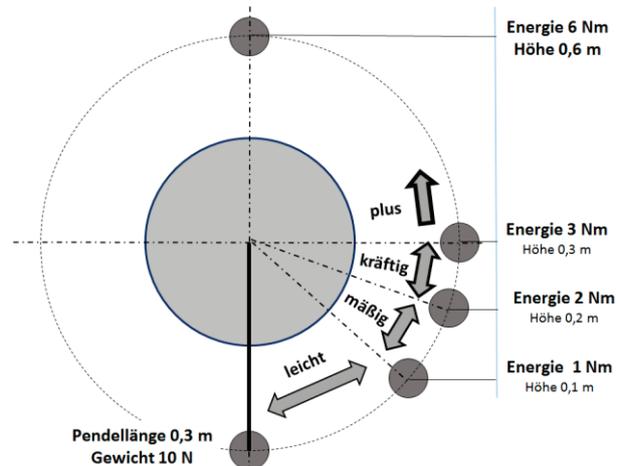


Abb.:5: Energieeintrag durch seitliches Belasten mit dem Pendel

Reiweger (Persönliche Kommunikation, 2016) konnte in einem internen Test feststellen, dass beim Klopfen (ähnlich CT) auf eine Messplatte aus dem Handgelenk, Spannungen von ca. 400 Pa und aus dem Ellbogen ca. 2000 Pa auftraten. In unserer Untersuchung stellten wir fest, dass 400 Pa einer Testhöhe von ca. 0,09 m, 2000 Pa ca. 0,45 m entsprechen.

#### 4.4 Anzahl von Brüchen in Schwachschichten

Während beim KBT, bei allen 47 Versuchen ein Bruch in der Schwachschicht erzeugt wurde, konnten dagegen beim vB nur bei 24 von 44 Testblöcken ein Bruch erzeugt werden.

#### 4.5 Anzahl der Schläge bis zum Bruch

Tabelle 3: Anzahl der Schläge die bis zum Bruch bzw. zu keinem Bruch geführt haben.

	Alle Schläge	Anzahl Schläge mit Bruch	Anzahl Schläge kein Bruch	Ø Schläge pro Testblock Alle Werte	Ø Schläge pro Testblock mit Bruch
KBT	170	170	0	0	7
vB	1500	676	824	63	28

#### 4.6 Verdichtung des Bretts beim vertikalen Belasten

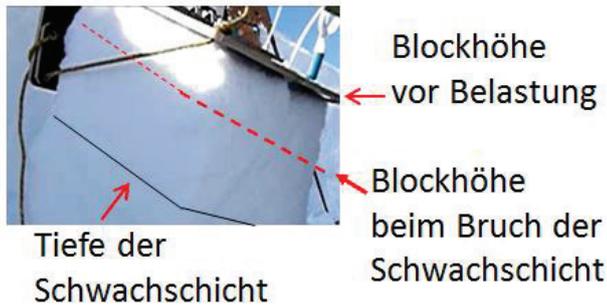


Abb. 6: Schneebrettverdichtung beim vB.

Während beim seitlichen Belasten mit dem KBT eine kaum erkennbare seitliche Verdichtung des Blockes erfolgte war die durchschnittliche Verdichtung beim vertikalen Belasten bei ca. 12 cm (~38%). Die durchschnittliche Höhe des Schneebretts lag vor dem Belasten bei ca. 31cm nach dem Belasten bei 19 cm. Die maximale Dicke des Schneebretts war 56 cm, die minimale Dicke 16 cm. Die größte Verdichtung lag bei 27 cm, die geringste Verdichtung bei 1 cm (Abb. 6).

### 5. DISKUSSION

#### 5.1 KBT vs. vertikales Belasten

Die in den Wintern 2015-2016 bis 2017-2018 gewonnenen Daten zeigen, dass beim seitlichen Belasten einer Schwachschicht (KBT), je nach Schneeart und Situation, ein ca. 2 bis 20-facher geringerer Energieaufwand (Gesamtenergie) benötigt wurde um einen Bruch in einer Schwachschicht zu erzeugen gegenüber einer vertikalen Belastung (vB). Dies lässt den Schluss zu, dass Schwachschichten auf Scherbelastung bei geringeren Energieeintrag versagen als bei Druckbelastung. Das bedeutet, dass das bei seitlichen Energieeintrag Schwachschichten viel feinfühlicher reagieren. Belegt werden kann das auch dadurch, dass beim vB nur bei 24 von 44 Blöcken, Brüche in einer Schwachschicht erzeugt werden konnten, während beim seitlichen Belasten (KBT) bei allen getesteten (n=47) Blöcken die Schwachschicht versagt hat.

Dazu gibt es mehrere Überlegungen.

a) Ein Grund ist, dass beim vertikalen Belasten (vB) mehr oder weniger viel Schnee, über der Schwachschicht liegt. Die Folge ist, dass dieser Bereich, besonders bei weichem Schnee, sehr viel Energie aufnehmen kann (Energieabsorption), bevor das Brett durch fortwährendes Klopfen härter wird und schlussendlich in der Lage ist, genügend Kraft auf eine Schwachschicht weiterzugeben. Beim seitlichen Klopfen ist diese Absorption wesentlich geringer und die Kraft wirkt näher und direkter an der Schwachschicht.

b) Neben der direkteren Belastung von der Seite auf die Schwachschicht, gewinnt beim KBT die Hebelbelastung, vor allem bei Schnee mit größerer Dichte, mit zunehmender Tiefe der Schwachschicht an Bedeutung. Gleichzeitig verliert allerdings die Schlaghärte an Aussagekraft.

Dazu ein Hinweis: Da sich beim KBT bei größerem Hebel die Krafteinwirkung von Scherung eher auf Druck und Zug ändert, sollte bei der Beurteilung der Gefahrensituation anhand des KBT zusätzlich beachtet werden, ob der Block nach dem Bruch kippt oder ob er abgleitet. Kippt der Block kann die Gefahrensituation als deutlich günstiger eingeschätzt werden, als wenn der Block abgleitet.

c) Eine weitere Ursache liegt im Unterschied zwischen Scherspannung und Druckspannung. Laut Reiweger et al. (2015) liegt dieses Verhältnis im Bereich zwischen 2,0 und 2,4. In unserer Arbeit liegt das Verhältnis bei 2,2. Deshalb sollte die Auswirkung auf die Schwachschicht, bei gleichem Krafteintrag (vB, KBT) beim seitlichen Klopfen deutlich stärker wirken.

#### 5.2 Dämpfungsweg (Energieeintrag)

Die Berechnungen der vorliegenden Untersuchung resultieren auf einem Dämpfungsweg von 0,025 m. Der erforderliche Energieeintrag (Gesamtenergie) wird im Gelände in erster Linie von der Härte (Dichte) (Abb. 7) des Schneebrettes, von der Schneebretthöhe sowie von der Festigkeit der Schwachschicht abhängen.

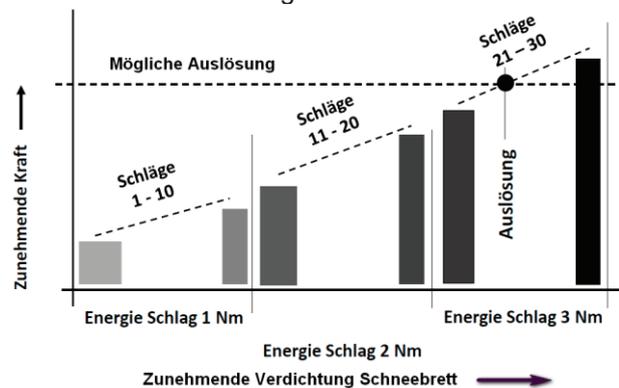


Abb. 7: Bei gleichem Energieeintrag innerhalb der Schlagsektoren (1-10, 11-20, 21-30), verändert sich mit zunehmender Schneedichte die Kraft-Weg-Kurve. Anzahl der Schläge lässt eher eine Aussage zur Beschaffenheit des Schneebretts, die Kraft zur Auslösung eher eine Aussage zur Festigkeit der Schwachschicht zu.

Während beim KBT auch mit zunehmender Tiefe die Energieabsorption relativ geringen Einfluss hat, wird beim vB mit zunehmender Dicke des Schneebretts diese vor allem beim weichen Schnee immer größer. Bei hartem Schnee wird die Kraft beim vB zwar besser nach unten weiter gegeben (Testblock von Umgebung getrennt), jedoch bedeutet in der Praxis eine harte zusammenhängende Schneedecke, dass die

Kräfte des Skifahrers mehr auf die Fläche als in die Tiefe wirken (Schweizer 1998).

Die Folgen der „Energieabsorption“ sind: Je tiefer Schwachschichten in einer Schneedecke sich befinden, desto schwieriger wird es diese durch Belasten von oben zu stören, bzw. wird es mit zunehmender Tiefe der Schwachschicht immer schwieriger, einzuschätzen, welche Energie im Schneebrett absorbiert und welche Energie bzw. Kraft schlussendlich benötigt wird, um die Schwachschicht zu stören

Dieses Problem ist beim KBT deutlich geringer, da durch das seitliche Belasten weniger Energieverlust zu berücksichtigen ist. Dies lässt eine weitere Interpretationsmöglichkeit zu, nämlich, dass, vor allem beim vB, die Anzahl der Schläge eher Aussagen zur Beschaffenheit des Schneebrettes (Dicke und Dichte) zulassen und die Schlagenergie (Kraft beim Schlag) eher eine Aussage zur Festigkeit der Schwachschicht

### 5.3 Hangneigung spielt bei Schneedeckentests untergeordnete Rolle

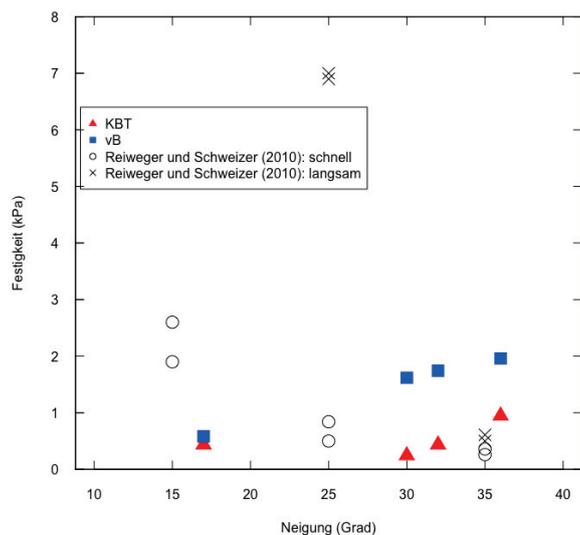


Abb. 8: Festigkeiten der Schwachschicht für seitliche (KBT) und vertikales Belasten (vB) im Vergleich mit den Ergebnissen aus Laborexperimenten mit eigeschnitten Oberflächenreif Reiweger und Schweizer, (2010). Feldversuche wurde immer schnell belastet (>3 Pa s<sup>-1</sup>) Laborversuche wurden schnell und langsam belastet.

In einer Arbeit von Reiweger und Schweizer, 2010 (Abb. 8) wird der Einfluss der Steilheit auf die Festigkeit bei unterschiedlicher Belastungsgeschwindigkeit dargestellt. Wenn wir die ermittelten Spannungen (Basis = Auslöseenergie) in dieser Grafik eintragen, können wir feststellen, dass es sich

a) bei den Schneedeckentests von den Werten her um eine schnelle Belastung handelt und

b) dass, vor allem beim seitlichen Belasten mit dem KBT, die Steilheit keinen Einfluss auf das Testergebnis zu haben scheint.

### 5.4 Variabilität der Schneedecke

In der vorliegenden Untersuchung stellten wir fest, dass die Energiewerte zum Bruch einer Schwachschicht tageweise stark schwankten. Auch selbst innerhalb eines Testtages / Testhanges war die Streuung der Auslöseenergie sowie der Gesamtenergie, beim KBT und vor allem beim vB relativ groß (Abb. 3 und 4). Der Grund warum die Streuung insbesondere der Gesamtenergie beim KBT (je nach Tag) zwischen 2 und 23-fach (Mittelwert ca. 7-fach) geringer war, könnte darin liegen, dass die Kraft beim KBT bei gleichem Energieeintrag, aufgrund des geringeren Dämpfungsweges, größer ist. Dadurch werden schlussendlich auch weniger Schläge bis zum Bruch benötigt. Wir schließen daraus, dass unter Umständen bei vB mehr Tests zur Beurteilung eines Einzelhanges erforderlich sind.

Es wird allerdings vermutet, dass bei kritischen Schwachschichten bzw. je gefährlicher eine Gefahrensituation, die Streuung beim KBT und vB insgesamt geringer sein 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 der Schwachschicht einfließen zu lassen wie z.B. „Nietentest“ oder mittels „Systematischer Schneedeckendiagnose“.

### 5.5 Starkes Klopfen: Stabile Schneedecke?

In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass bei starkem Klopfen von der Seite, ein Energieeintrag von ca. 3 Nm auf die Schwachschicht einwirkt. Wird das errechnete Verhältnis zwischen Druck- und Scherung von ca. 2 eingerechnet, wäre bei bei vertikaler Belastung zur Auslösung ungefähr der doppelte Energieeintrag erforderlich (Nach Reiweger, Persönliche Kommunikation, 2016, wäre mäßiges bis starkes seitliches Klopfen in etwa vergleichbar mit einem CT- oder ECT Test „Schlag aus Schulter“). Es wird daher vermutet, dass so hohe Werte (Scherkraft bzw. Scherspannung) nur dann zustande kommen, wenn die jeweiligen Schichten relativ gut miteinander verbunden sind, bzw. viele Verbindungsbrücken gebildet wurden. Deshalb nehmen wir an, wenn bei der Einzelhangbeurteilung starkes Klopfen benötigt wird um einen Bruch zu erzeugen, es für einen einzelnen Skifahrer kaum möglich ist einen Initialbruch innerhalb der Schwachschicht zu erzeugen.

Während „starkes seitliches Klopfen“ als alleiniges Merkmal daher die Aussage zulässt, dass eine Selbstaumlösung oder eine Lawinenauslösung bei geringer Zusatzbelastung unwahrscheinlich ist (für eine qualifizierte Aussage ist jedoch ein Test zu wenig), deutet „Bruch beim leichten Klopfen“ zwar eher auf eine gefährliche Situation hin, aber eine aussagekräftige Einschätzung des Einzelhanges ist nur in Kombination mit verschiedenen Eigenschaften von Schneebrett und Schwachschicht sowie Lage der Schwachschicht (Tiefe) möglich.

### 5.6 Bessere Erkennbarkeit bei Bruch



Abb. 9: Der Bruch einer Schwachschicht bei seitlicher Belastung ist durch die Verschiebung des Schneebretts leicht zu erkennen.

Während es beim vB vor allem im flacheren Gelände (<30) häufig sehr schwierig ist überhaupt zu erkennen, ob eine Schwachschicht gebrochen ist oder nicht, kennt man dieses Problem bei seitlicher Belastung nicht. Hier ist aufgrund des seitlichen Verschiebens des Blockes (nach dem Versagen der Schwachschicht) ein Bruch in vielen Fällen wesentlich einfacher zu erkennen als bei Tests mit einer senkrechten Belastung (Abb. 9). Dies lässt schlussendlich auch eine zuverlässigere Bewertung einer Gefährdungssituation zu.

### 5.7 Vertikale oder seitliche Belastung des Testblocks aus Sicht des Skifahrers

Der Skifahrer belastet die Schwachschicht nur im Ebenen vertikal. Mit zunehmender Steilheit ändert sich die Belastung, vor allem bei der Schrägfahrt und beim Schwung, zunehmend von eher vertikal zu eher lateral. Würde man einen Hang z.B. einmal mit vB und einmal mit dem KBT testen, so erhält

man zwei unterschiedliche Bewertungen. Während beim vB auf Grund der größeren Energieabsorption die Situation harmloser darstellt wird, reagiert der KBT konservativer und stellt dieselbe Situation gefährlicher dar.

### 5.8 Anzahl der Schläge bis zum Bruch

Die Anzahl der Schläge (Tab.: 3) bis ein Bruch in der Schwachschicht erzeugt werden konnte, ist deshalb interessant, weil dadurch ein Bezug zum Zeitaufwand eines Tests hergestellt werden kann. Während beim KBT in Durchschnitt 7 Schläge bis zum Bruch notwendig waren, benötigte man beim seitlichen Belasten im Durchschnitt ca. 28 Schläge, erfolgte kein Bruch in der Schwachschicht sogar durchschnittlich 34 Schläge.

### 5.9 Sonstige Beobachtungen

Dass der KBT feinfühlig und mehr Schwachschichten erkennt als wenn der Block der vertikal belastet wird wurde hier schon ausreichend beschrieben. Bei den Untersuchungen konnten aber noch zwei weitere interessante Aspekte beobachtet werden. In einigen Fällen in denen es nicht zum Bruch gekommen ist, wurden vorhandene Schwachschichten beim vertikalen Belasten (vB) neutralisiert. Das heißt: Die Schichten unterhalb und oberhalb der Schwachschicht haben sich durch das Klopfen miteinander verbunden. Dieser Vorgang konnte vor allem dann beobachtet werden, wenn die Schneetemperatur nahe bei null Grad lag und die Schwachschicht relativ nahe an der Oberfläche war.

Am zweiten Testtag stellten wir außerdem fest, dass während mit dem KBT meist gestufte Brüche erzeugt wurden, die Brüche beim vB meist glatt waren. Hier nehmen wir an, dass erst durch das Verfestigen des Schneebretts diese glatten Bruchflächen erzeugt wurden (dadurch erklären wir uns, dass an diesem Tag nur geringe Energieunterschiede zwischen KBT und vB festgestellt wurden (Abb. 3 und 4)).

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Wir haben gezeigt, dass zum Bruch einer Schwachschicht bei vertikaler Belastung eines Testblockes deutlich mehr Energie aufgebracht werden muss, als wenn dieser von der Seite belastet wird. Daneben stellten wir fest, dass beim vB nur knapp mehr als die Hälfte von Schwachschichten gegenüber dem KBT gefunden wurden. Auch die Streuung der Stabilitätswerte ist bei vB deutlich größer. Daraus schließen wir, dass man mit dem KBT zuverlässigere Aussagen über die Qualität sowie der Eigenschaften von Schwachschichten treffen kann. 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 dem „Nietentest“ oder der „Systematischen Schneedeckendiagnose“ Eigenschaften von Schwachschichten sowie des Schneebretts heranzuziehen.

## 7. DANKSAGUNG

Hans Konetschny, Thomas Feistl und Florian Nill, für die fachliche Unterstützung. Bei der bayerischen Zugspitzbahn AG und der Unterbergbahn Kössen für die kostenlose Transportmöglichkeit.

## 8. 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: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) Penticton, 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