



Abb. 1 Lawinenabgang am 24. Feber 2008, um 12 Uhr, Lufttemperatur (2500 m ü.M.) +5° C.



# Einfluss von Erwärmung & Strahlung auf die Schneedecke

Der Postbus fährt sonntags erst um 8 Uhr. Es ist ungewöhnlich warm; die Sonne brennt auf die Südosthänge. Wir kommen langsamer voran als erwartet und sind erst zu Mittag auf dem Gipfel. Zum Glück geht die Abfahrt durch den steilen Nordnordosthang. Wie erhofft hat's noch keine Spuren – und das nach fast drei Wochen schönstem Wetter. Der Plan geht auf. Ich fahre los. Nur ganz oben im Hang hat die Sonne kräftig gewirkt, der Schnee ist leicht feucht. Beim ersten Schwung rutscht unterhalb der Schier etwas Schnee weg. Die kleine Lockerschneelawine löst den ganzen Hang darunter aus (Abb. 1) – hoppla, weg ist der Pulver.

von Jürg Schweizer und Benjamin Reuter, SLF Davos

Warum? Hier, jetzt und mir? Seit fünf Tagen ist der Lawinenlagebericht schon auf Gering. Natürlich ist da diese alte Schwachschicht, aber die ist doch längst „scheintot“. Also doch die Erwärmung? Für's erste habe ich auch keine bessere Erklärung.

„Keine bessere Erklärung“ ist oft der Grund, warum wir eine Erwärmung für eine Lawinenauslösung verantwortlich machen. Stephan Harvey hat den Wetterverlauf vor Lawinenunfällen (Neuschnee, Wind etc.) analysiert und festgestellt, dass in rund 20 % der Fälle außer der Änderung der Lufttemperatur gegenüber dem Vortag, kein Wetterereignis vorlag, welches die Instabilität hätte erklären können. Ob die Erwärmung tatsächlich der Grund war, ist meist kaum zu beweisen. Da die Temperatur während des Tages häufig ansteigt und die Strahlung zunimmt, ist dieser Faktor nämlich häufig präsent. Aber, ist er auch allein ausschlaggebend?

Eine rasche, markante Erwärmung gilt gemeinhin – neben Wind und Neuschnee – als einer der wichtigsten Faktoren, welcher die Lawinenbildung begünstigt. Diese lawinenbildenden Faktoren können in fünf Gruppen zusammengefasst werden:

- Gelände
- Neuschnee (Niederschlag)
- Wind
- Temperatur/Strahlung
- Schneedecke

Der Faktor Temperatur/Strahlung beinhaltet die Auswirkungen der Erwärmung der Schneedecke auf die Stabilität sowohl durch die Zunahme der Lufttemperatur als auch durch die Absorption von Strahlung (kurz- und langwellig). Es stellt sich also nicht einfach nur die Frage, wie die Lufttemperatur sich ändert, sondern wie die Schneedecke reagiert.

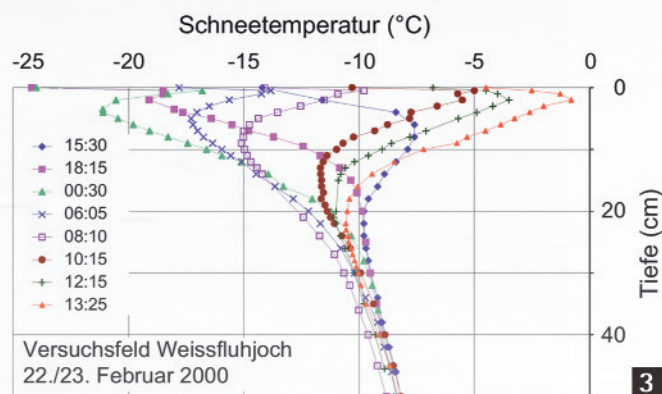
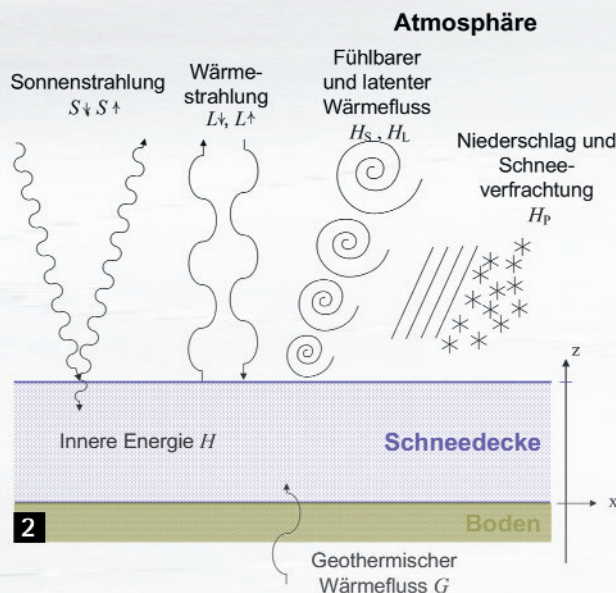
Um abschätzen zu können, ob das Wetter (also Strahlung, Niederschlag, Lufttemperatur, etc.) zu einer Abkühlung oder zu einer Erwärmung der Schneedecke führt, müssen wir die Energiebilanz betrachten. Die Erwärmung der Schneedecke, d.h. die Zunahme der Schneetemperatur, kann dann die Stabilität beeinflussen, da die mechanischen Eigenschaften des Schnees von der Temperatur abhängig sind. Generell sind schnelle Änderungen der Schneetemperatur ungünstiger in Bezug auf die Stabilität als langsame Änderungen. Im Bereich „warmer“ Schneetemperaturen (also nahe dem Schmelzpunkt) wirken sich Änderungen stärker aus als bei niedrigen Temperaturen.



Abb. 2 Die Energiebilanz der Schneedecke.

Abb. 3 Schwankungen der Schneetemperatur in den obersten 50 cm der Schneedecke vom 22. Februar 2000 nachmittags bis am 23. Februar 2000 mittags.

Abb. 4 Verformbarkeit von Schnee in Abhängigkeit der Temperatur.



## Energiebilanz

Die verschiedenen Komponenten, welche die Energiebilanz einer Schneedecke beeinflussen, sind in Abb. 2 dargestellt. Es sind dies im Wesentlichen die kurzwellige (Sonnen-)Strahlung und die langwellige (Wärme-)Strahlung. Doch auch turbulente Wärme-flüsse, die wir nur sehr schwer abschätzen können, tragen zur Energiebilanz bei. Ist die Temperatur der Luft höher als die der Schneeoberfläche, kann bei ausreichendem Wind eine Erwärmung stattfinden (sensibler Wärmestrom). Findet ein Phasenübergang an der Schneeoberfläche statt, wird also zB aus Schnee Wasserdampf, verlässt die Schneedecke an Energie (latenter Wärmefluss). Daneben können auch Schneefall, Regen oder Schneeverfrachtung Energieänderungen (und in diesem Falle auch Massenänderungen) erfolgen. Regnet es, wird die Schneedecke nicht nur schwerer, sondern auch wärmer.

Die meisten Komponenten führen zu einer Energiezufuhr oder einem -verlust an oder zumindest nahe der Schneeoberfläche. Von dort aus wird die Temperatur tieferer Schichten „gesteuert“, nämlich durch die Wärmeleitung. Bekanntlich ist Schnee ein guter Isolator, d.h. die Wärmeleitung ist schwach und langsam. Nur der Teil der kurzwelligen (Sonnen-)Strahlung, der nicht reflektiert wird (der größte Teil wird reflektiert), dringt in die obersten Schichten der Schneedecke ein und wird dort absorbiert, d.h. in Wärme umgewandelt. Entsprechend ändert sich die Temperatur der oberflächennahen Schneeschichten im Verlaufe eines Tages (Abb. 3). Diese Änderungen erfolgen rasch und unmittelbar, da die Energie in den obersten Schichten der

Schneedecke und nicht an der Oberfläche absorbiert wird. Änderungen der Lufttemperatur, zB eine starke Erwärmung, haben einen vergleichsweise geringen und verzögerten Einfluss auf die Schneetemperatur: Der Einfluss ist nur dann ausgeprägt – aber immer noch verzögert – wenn gleichzeitig ein mindestens mäßig starker Wind weht (zB bei Föhn).

## Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften des Schnees sind stark temperaturabhängig. Die Steifigkeit nimmt um so mehr ab, je näher die Schneetemperatur sich dem Schmelzpunkt nähert (Abb. 4), d.h. der Schnee verformt sich stärker unter seinem Eigengewicht. Entsprechend werden sich die mechanischen Eigenschaften der oberflächennahen Schichten, d.h. die obersten Schichten des Schneebrettes, ändern.

## Einfluss auf die Stabilität

Für die Stabilität sind die Eigenschaften der Schwachschicht und die des darüber liegenden Schneebrettes ausschlaggebend. Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Schnees ist eine Änderung der Stabilität aufgrund einer Abnahme der Festigkeit der Schwachschicht unwahrscheinlich. Abb. 3 zeigt, dass sich die Schneetemperaturen, die wir als Summe aller Effekte ansehen können, während eines Tages höchstens bis zu einer Tiefe von 30 cm ändern. Eine Schwachschicht, sofern sie sich tiefer als ca. 30 cm befindet, wäre also nicht betroffen. Die Änderung



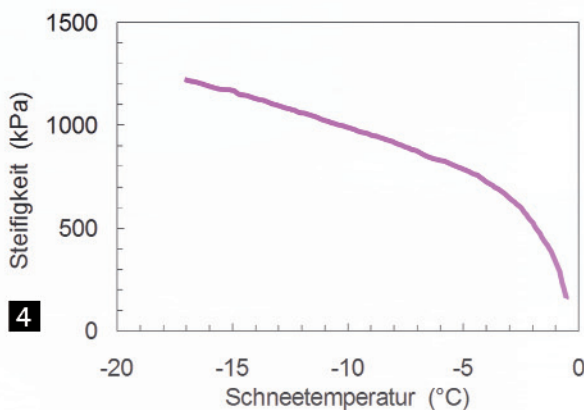
#### Literatur

Fierz, C., 2011. Temperature profile of snowpack. In: V.P. Singh, P. Singh and U.K. Haritashya (Editors), Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers. Springer Netherlands, pp. 1151-1154.

King, J.C., Pomeroy, J.W., Gray, D.M., Fierz, C., Föhn, P.M.B., Harding, R.J., Jordan, R.E., Martin, E. and Plüss, C., 2008. Snow-atmosphere energy and mass balance. In: R.L. Armstrong and E. Brun (Editors), Snow and Climate: Physical Processes, Surface Energy Exchange and Modeling. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., pp. 70-124.

Schweizer, J. and Camponovo, C., 2002. The temperature dependence of the effective elastic shear modulus of snow. Cold Reg. Sci. Technol., 35(1): 55-64.

Schweizer, J. and Jamieson, B., 2010. On surface warming and snow instability, International Snow Science Workshop ISSW, Lake Tahoe CA, U.S.A., 17-22 October 2010, pp. 619-622.



der Stabilität kann also nur die Folge der zunehmenden Verformung der oberflächennahen Schichten sein. Es ändert sich also nicht die Schwachschicht, sondern das darüber liegende Schneebrett.

Die Änderung der Eigenschaften des Schneebrettes hat in Bezug auf die Lawinauslösung Auswirkungen auf die Initialisierung eines Bruches, aber auch auf die Ausbreitung eines Bruches:

■ Die Wahrscheinlichkeit eines Bruches nimmt zu, da sich durch die zunehmende Verformung des Schneebrettes in der Schwachschicht höhere Scherraten ergeben.

■ Im Falle der Auslösung durch Schneesportler begünstigt die Erwärmung der oberflächennahen Schichten die Übertragung der Belastung in die Tiefe. In einer erwärmten Schneedecke können wir also Brüche auch in tieferen Schichten erzeugen.

■ Schließlich begünstigt die Veränderung der Eigenschaften des Schneebrettes auch die Bruchausbreitung. Mit zunehmender Verformung des Schneebrettes steht mehr Deformationsenergie für die Bruchausbreitung zur Verfügung. Die für eine spontane Bruchausbreitung kritische Bruchlänge nimmt mit zunehmender Erwärmung des Schneebrettes ab.

#### Zusammenfassung

Der Einfluss von Temperatur und Strahlung auf die Schneebrettauslösung ist subtil, d.h. die Effekte sind in der Regel klein – die Auswirkungen werden wohl oft überschätzt.

Nur wenn es eine Schwachschicht gibt, die auch sonst auslösbar

ist, kann die Erwärmung der oberflächennahen Schichten der Schneedecke zur Instabilität führen. Ohne diese Vorbedingung wird eine Erwärmung kaum eine markant ungünstige Folge auf die Stabilität haben.

Eine Änderung der Stabilität steht immer im Zusammenhang mit der Änderung der mechanischen Eigenschaften der oberflächennahen Schichten und ist nicht die Folge einer Schwächung der Schwachschicht. Die leichtere Verformung der oberflächennahen Schichten führt nämlich zu

■ einer Erhöhung der Verformungsrate in der Schwachschicht  
■ einer Erhöhung der für das Bruchwachstum zur Verfügung stehenden Energie

■ einer Erhöhung der Belastung eines Schneesportlers in der Tiefe der Schwachschicht

Da vor allem schnelle Änderungen zu Instabilität führen, kann besonders der Einfluss der Strahlung zur Instabilität führen. Der Einfluss einer starken Zunahme der Lufttemperatur ist in der Regel sekundär.

Auch wenn die Erwärmung nicht selten die einzige plausible Erklärung für einen Lawinenabgang ist, lässt sich das von der Theorie her also nicht genügend untermauern – zumindest nicht mit dem jetzigen Kenntnisstand. Vielleicht müssen wir anerkennen, dass wir, auch im Nachhinein, nicht jede Lawinauslösung erklären können.

Fotos: Der Schweizer