



Christoph Mitterer war von 2007 bis 2013 am SLF und arbeitet jetzt beim LWD in Bayern.
Die letzten fünf Jahre untersuchte er die Feuchtgebiete der Schneedecke.



Foto: Walter Steinkogler

Nassschneelawinen

Neue Fakten: Energiebilanz und Nassschneelawinen.

Die Lawinensituation im Frühjahr ist eigentlich einfach – und doch komplex zugleich. Trägt die Schneedecke, ist alles klar; die Lawinengefahr ist meist gering. Bricht man ein, kann's gefährlich werden. Die beiden Situationen können aber gefährlich nahe beieinander liegen. Literatur und Hintergrundwissen zur nassen Schneedecke bzw. zu Nassschneelawinen gibt es erstaunlich wenig. So freut es uns, dass das SLF wieder einmal aufklärt.

von Christoph Mitterer und Jürg Schweizer

Verändert sich bei der Frühjahrsabfahrt nur ein wenig die Exposition oder fährt man etwas tiefer ins Tal, bzw. ist man eine Stunde später dran, weil man doch nicht ganz so früh aus den Federn gekommen ist, und schon kann es passieren: Aus zischendem Sulz wird ekelhafter Pflotsch. Gerade rauscht man noch auf der tragenden, aufgesulzten Schmelzharschkruste und im nächsten Moment steht man eine Etage tiefer, rumpelt in die Steine und im schlimmsten Fall verwandeln sich die stabilen Firnverhältnisse in eine grollende, alles mit sich reißende Nassschneelawine.

Nassschneelawinen gehen meist spontan ab, können Siedlungsgebiete oder Verkehrswege gefährden und im Vergleich zu trockenen Lawinen sind sie statistisch gesehen weniger tödlich: Rund jedes zehnte Lawinenopfer starb in der Schweiz in den letzten 20 Jahren durch eine nasse Lawine. Betrachtet man die Todesopfer, die durch spontane Lawinen ihr Leben verloren haben, so ist jedoch jedes zweite Opfer in einer nassen Lawine gestorben. Es ist nicht gerade eine bahnbrechend neue Erkenntnis, wenn man feststellt, dass nasse Lawinen häufig mit der Erwärmung im Frühling oder während Regenfällen auftreten. Will man aber etwas mehr ins Detail gehen, wird man kaum mehr als die obige Aussage finden. Der versierte Skitourengeher hat sicher schon beobachtet, dass häufig viele nasse Lawinen in einem begrenzten Zeitraum abgehen. Gibt es in einem Winter keine ausgeprägte Starkschneefallperiode, so ist die Periode mit der größten Lawinenaktivität meist im Frühjahr aufgrund einer Häufung von Nassschneelawinen in einer Erwärmungsphase.

Die Frage ist nur: Wie sieht diese Erwärmung in so einer lawinenaktiven Periode genau aus, können wir diese erkennen und was passiert eigentlich in der Schneedecke, damit nasse Lawinen ins Tal rauschen?

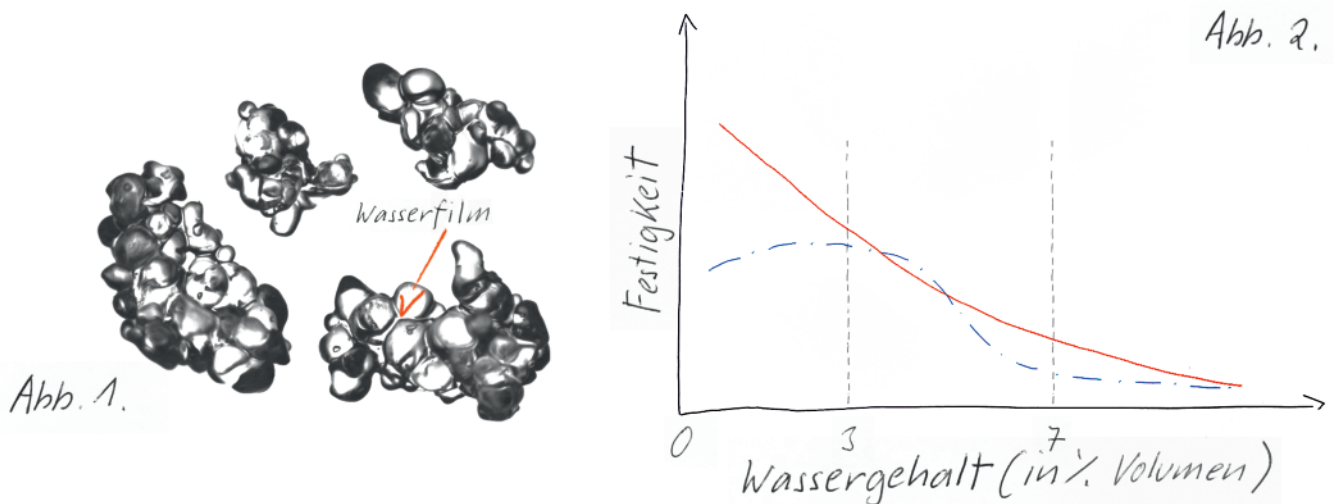
Wasser verändert die Festigkeit der Schneedecke

Dringt Wasser in die Schneedecke ein, verändern sich die Form und Größe der Schneekristalle (Nassschneemetamorphose). Je nach Wassergehalt passiert diese Metamorphose unterschiedlich rasch. Meist wachsen die Kristalle und die Struktur der Eiskörner

Abb. 1 Teile aus einer nassen Schmelzharschküste unter dem Mikroskop. Die Kristalle werden zunehmend runder. Das Schmelzwasser haftet gut sichtbar zwischen den einzelnen Kristallen.

Abb. 2 Generell nimmt die Festigkeit mit steigendem Wassergehalt ab. Durch Kapillarkräfte kann der Schnee allerdings bei sehr geringem Wassergehalt (unter 3 % des Volumens) an Festigkeit gewinnen. Zwischen 3 % und 7 % Volumen Wasser ist die Festigkeitsabnahme am stärksten.

Abb. 3 Der obere Balken zeigt die Anteile von Eis (hellblau), Wasser (blau) und Luft in einem Kubikmeter typischen Frühlingschnees bei stabilen Verhältnissen. Verdoppelt sich der Volumenanteil Wasser (Balken unten), so nimmt die Festigkeit drastisch ab; die Wassermenge ist aber immer noch gering, verglichen mit den Anteilen Eis und Luft.



wird größer (Abb. 1). Das verändert die Bindungen der einzelnen Kristalle untereinander und damit auch die mechanischen Eigenschaften der Schneedecke.

Generell gilt, dass eindringendes Wasser die Festigkeit reduziert (Abb. 2). Bei ganz geringen Mengen Wasser allerdings, kann die Festigkeit durch die Kapillarkraft steigen. Der Schnee pappt zusammen und ist perfekt für zB ausgedehnte Schneeballschlachten oder den Bau eines schönen Schneemannes. Sobald aber etwas mehr Wasser in die Schneedecke kommt, wird die Festigkeit rasch reduziert. In Wirklichkeit ist „etwas mehr Wasser“ nur eine geringe Wassermenge; der Unterschied von stabil zu instabil ist gering. Man stelle sich einen Kubikmeter typischen Frühlingschnee mit einer Dichte von 350 kg/m³ vor. Dieses Schneevolumen besteht bei guter Festigkeit aus 38 % Eis und zu maximal 3 % aus Wasser (das sind 30 Liter); bei ungünstigen Verhältnissen erhöht sich das Wasservolumen auf 7 %, was lediglich 40 Liter Wasser mehr entspricht (Abb. 3). Das Wasser verdoppelt sich zwar, aber verglichen zum Eis- oder Luftvolumen ist das nur eine geringe Änderung.

Kleine Unterschiede entscheiden also, ob der nasse Schnee stabil ist oder nicht. Schichten aus kantigen Kristallen werden zB schon bei wenig Wasser stark geschwächt. Dies ganz besonders, wenn in einer 0 °C isothermen Schneedecke das Wasser zum ersten Mal durch den Schnee sickert. Bei fortschreitender Schmelze ist der Festigkeitsverlust nicht mehr so dramatisch und es ist meist auch ein größerer Wassergehalt nötig. Gefriert eine feuchte oder nasse Schneesicht, so bildet sie eine stabile Schmelzharschküste. Mit fortschreitender Durchfeuchtung kommt es zu einer Verdichtung der Schneestruktur. Ein erneuter Wassereintrag

wirkt sich nicht mehr so stark aus – und mit der Zeit wird die Schneedecke immer gleichmäßiger, die Schichtgrenzen verschwinden; das Schmelzwasser fließt einfach ab und die Schneedecke schmilzt dahin.

Wie kommt das Wasser in die Schneedecke?

Um abschätzen zu können, wie stark und wann ein Festigkeitsverlust in der feuchten Schneedecke stattfindet, muss man wissen, wie und wann Wasser in die Schneedecke kommt. Flüssiges Wasser kann auf zwei verschiedene Arten in die Schneedecke gelangen: Durch Schneeschmelze an der Oberfläche oder Regen. Für die Frage, wann Schmelzwasser vorhanden ist, wird gerne die Lufttemperatur zu Rate gezogen. Klettert die Lufttemperatur markant über 0 °C, wird Schnee geschmolzen und die Gefahr für nasse Lawinen steigt. Diese einfache Faustregel funktioniert zwar häufig recht gut, nicht selten beobachtet man aber Situationen, bei denen die Lufttemperatur hoch ist, sich aber keine nasse Lawine zeigt. Oder umgekehrt: Es ist eigentlich gar nicht so warm und trotzdem gibt's viele Nassschneelawinen. Diese Widersprüche lassen sich einfach lösen, wenn wir die Energiebilanz zwischen der Schneedecke und der Atmosphäre betrachten: Die Energiebilanz bestimmt nämlich, ob Schnee an der Oberfläche geschmolzen wird oder nicht. Und die Energiebilanz ist wesentlich mehr als nur die Lufttemperatur, sie ist hauptsächlich die Summe der folgenden Energieflüsse (Abb. 4):

■ **Sonnenstrahlung** (kurzwellige Einstrahlung/Globalstrahlung): Der größte Teil der Sonneneinstrahlung wird reflektiert. Je nach Schneeart werden nur 10–40 % der Sonneneinstrahlung von der Schneedecke absorbiert, d.h. dringen in die obersten Schichten



Foto: Jürg Schweizer, SLF Davos

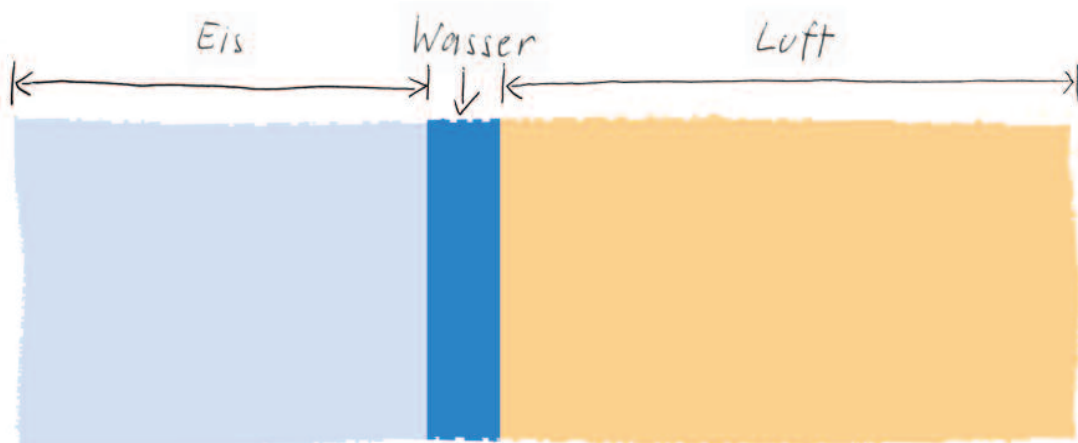
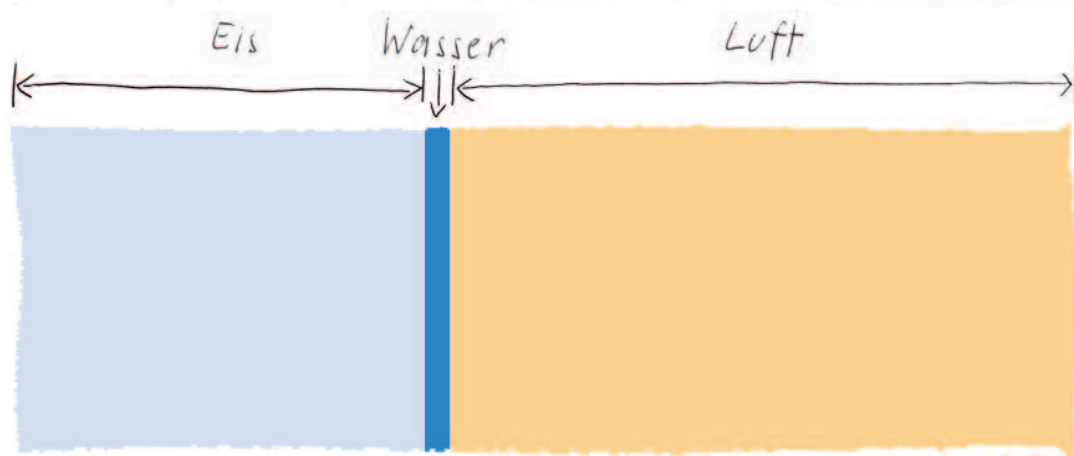
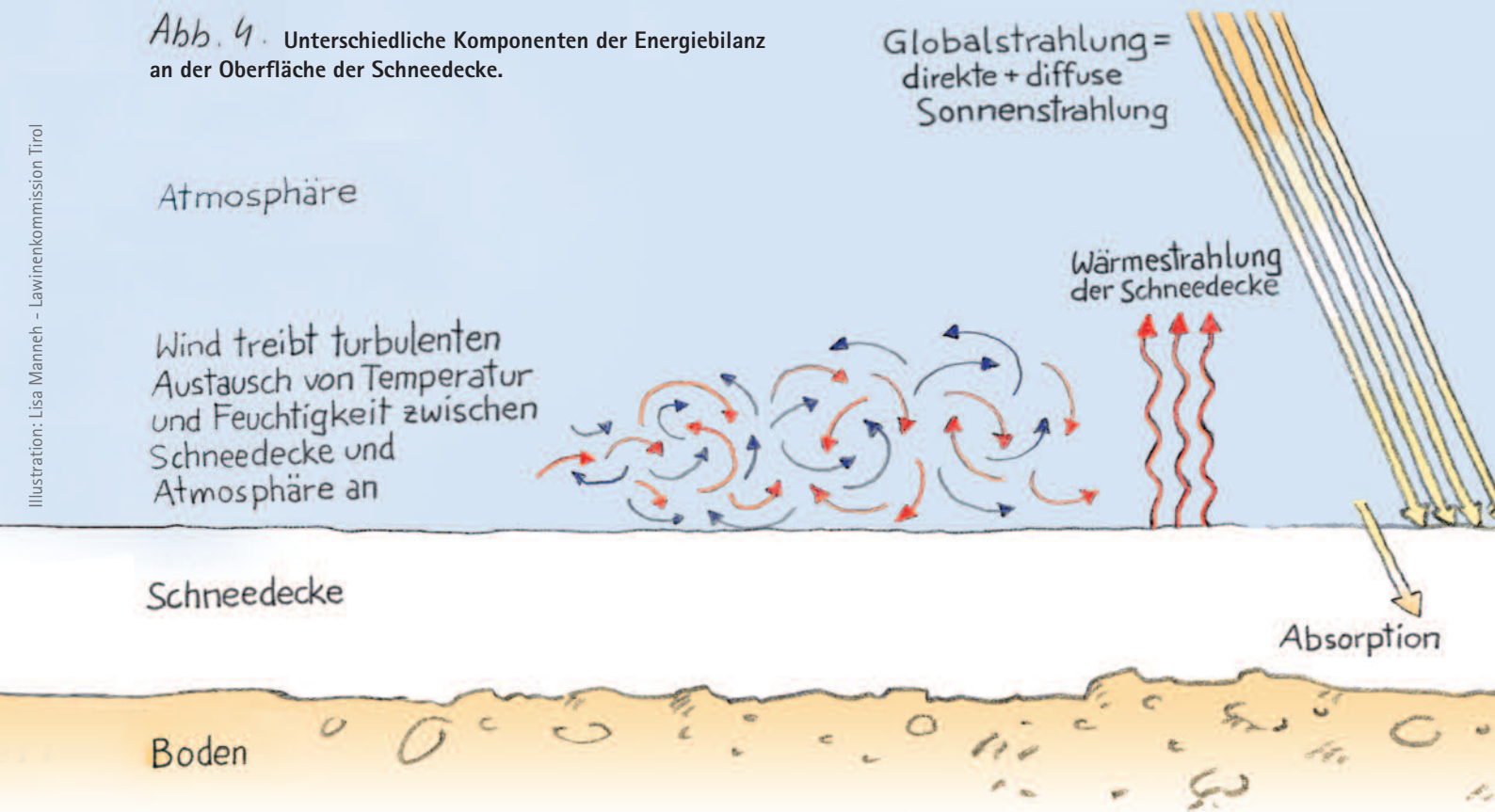


Abb. 3.

Abb. 4. Unterschiedliche Komponenten der Energiebilanz an der Oberfläche der Schneedecke.



der Schneedecke ein und werden dort in Wärme umgewandelt; der große Rest wird wie erwähnt reflektiert. Uns interessiert nur der Teil, der von der Schneedecke absorbiert wird.

■ **Wärmestrahlung** (langwellige Ab- und Gegenstrahlung): Wie jede Oberfläche strahlt auch die Schneeoberfläche kontinuierlich Wärme ab. Bei klarem Himmel geht diese Wärmestrahlung in die Atmosphäre hinaus und die Schneeoberfläche kühlt ab. Bei bedecktem Himmel strahlt die Schneeoberfläche ebenfalls Wärme ab, aber jetzt strahlen die Wolken ihrerseits Wärme in Richtung Erde zurück. Damit heben sich bei bedecktem Himmel die ausgehende und einfallende Wärmestrahlung fast auf, und die Schneeoberfläche kühlt nicht bzw. nicht so stark ab.

■ **Warme Luft**, die über die Schneeoberfläche strömt, erwärmt die Schneeoberfläche (fühlbarer Wärmefluss/turbulenter Wärmeaustausch): Der fühlbare Wärmefluss ist schwierig abzuschätzen. Er ist besonders stark, wenn es windet und der Unterschied zwischen Luft- und Oberflächentemperatur groß ist (zB bei Föhn). Umgekehrt wird der Schneedecke Wärme entzogen, wenn die Luft kälter ist als die Schneeoberfläche.

■ **Schmelzen von Wasser braucht Energie**. Schmilzt also Schnee an der Oberfläche, so wird der Schneedecke Energie entzogen (latenter Wärmefluss/turbulenter Austausch von Feuchte). Dasselbe geschieht, wenn Schnee sublimiert, also direkt verdunstet, ohne vorher zu flüssigem Wasser geworden zu sein. Umgekehrt wird beim Gefrieren des Wassers Energie frei und die Schneeoberfläche bleibt dadurch länger 0 °C warm.

Obwohl Schnee die kurzwellige Strahlung z. T. sehr gut reflektiert, bleibt die Sonne der stärkste Energielieferant für die Schneedecke, gefolgt vom fühlbaren Wärmefluss. Die langwellige Abstrahlung ist für den stärksten Energieverlust der Schneedecke

verantwortlich. Halten sich die verschiedenen Terme der Energiebilanz die Waage, bleibt die Temperatur der Schneedecke konstant. Kommt die Bilanz aus dem Gleichgewicht, so schlägt sich das direkt in einer Veränderung der Oberflächentemperatur nieder. Mit anderen Worten, die Oberflächentemperatur ist das Sprachrohr, wie die Schneedecke auf einen Energieeintrag bzw. -verlust reagiert: Bei Verlust sinkt die Schneetemperatur, bei Energieeintrag steigt die Schneetemperatur. Ob jetzt Schnee geschmolzen wird, hängt von beidem, Schneetemperatur und vorhandenem Energieeintrag ab. Liegt die Temperatur des Schnees unter 0 °C, geht die Energie zunächst in die Erwärmung der Schneedecke, bis sie 0 °C erreicht. Erst dann setzen Schmelzprozesse ein. Kombiniert man also eine Information über den Energieeintrag (zB Lufttemperatur oder Strahlung) mit einer Information über den Zustand der Schneedecke (zB Schneeoberflächentemperatur), kann man gezieltere Aussagen über den Zeitpunkt, wann Wasser in der Schneedecke auftritt, machen. Da meist keine Berechnung der Energiebilanz verfügbar ist, wird oft auf Wetterdaten zurückgegriffen. Für einsetzende Schmelzprozesse spricht die Kombination folgender Größen:

■ **Hohe maximale/minimale Lufttemperatur** bzw. der tägliche Mittelwert der Lufttemperatur sinkt über drei Tage nicht unter 0 °C,

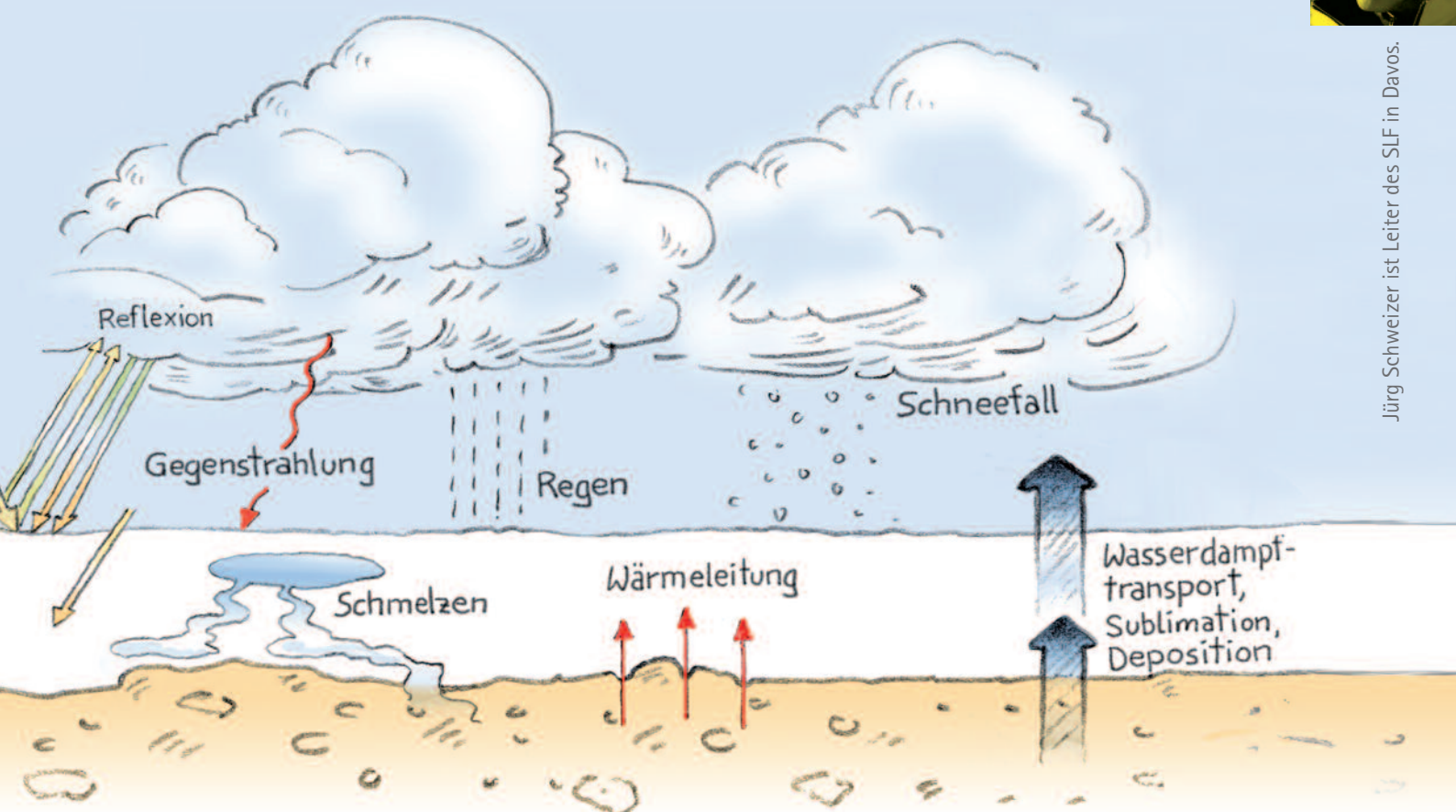
■ **Schmelze an der Schneeoberfläche**, d.h. die Schneeoberflächentemperatur ist für mehrere Stunden bei 0 °C und

■ **ein hohes Tagesmaximum der kurzwelligen Strahlung** (Globalstrahlung).

Die obigen Beobachtungen stammen aus Stationen, die im Flachland stehen, sind aber v.a. für Südhänge übertragbar. Allerdings muss man bedenken, dass Schmelzprozesse am Flachfeld vergli-



Jürg Schweizer ist Leiter des SLF in Davos.



chen zu Südhängen mit einer gewissen Verzögerung beginnen, d.h. wenn am Flachfeld Schmelzprozesse einsetzen, dann sind diese am Südhang schon länger und stärker zu beobachten.

Wann kommen jetzt die nassen Lawinen?

Wirklich kritisch sind die Verhältnisse oft nur kurz, und zu diesen Zeiten ist die Lawinengefahr meist akut. Besonders kritisch ist die Zeit, während die Schneedecke erstmals durchgehend feucht wird. Doch wann ist das? Über die Energiebilanz können wir berechnen, wann viel Wasser produziert wird und somit den Zeitraum für nasse Lawinen besser eingrenzen. Die kritische Phase hält an, bis das Wasser den Boden erreicht und die basalen Schichten der Schneedecke anfeuchtet. Während das Wasser zum ersten Mal komplett durch die Schneedecke durchsickert, sind folgende Phänomene wichtig:

■ Eindringendes Wasser schwächt die Schneedecke. Besonders kritisch ist die erste Anfeuchtung einer schwachen Schneedecke, weil weiche, grobkörnige, kantig aufgebaute Schichten dabei stark geschwächt werden.

■ Stau an Schichtgrenzen. Wenn Wasser durch die Schneedecke sickert, staut es sich an markanten Schichtgrenzen (zB am Übergang von kantigen aufgebauten Schichten über einem Schmelzharschdeckel) oder am Boden. Dort wird der Wassergehalt mitunter sehr hoch und die Festigkeit der Schichtgrenze nimmt kurzzeitig deutlich ab. Besonders sensibel reagieren Schneedecken auf glattem, dichtem Untergrund oder kompakten Felsplatten.

■ Fortschreitende Durchfeuchtung. Mit dem fortschreitenden Einsickern des Wassers wird ein immer größerer Teil der Schneedecke geschwächt. Damit können abgehende Lawinen immer mehr Schnee mitreißen, sie werden damit größer.

Das Ende einer Periode mit Nassschneelawinen wird eingeläutet, wenn kein zusätzliches Wasser mehr in die Schneedecke fließt (erkennbar über die Energiebilanz). Die Gefahr geht dann langsam zurück (meist nach ca. 2-3 Tagen). Eine Schneedecke, die einmal komplett durchfeuchtet ist, d.h. aus welcher freies Wasser abgelaufen ist (Zeichen: Abflussrinnen) und welche durchgehend aus Schmelzformen besteht, ist dann relativ stabil.

Zusammenfassung

Die Energiebilanz und die Temperatur der Schneedecke bestimmen, ob die Schneedecke noch erwärmt oder schon Wasser produziert wird. Kritisch für die Wasserproduktion scheint die erste Zeitperiode zu sein, während der die Lufttemperatur längere Zeit (Tage) über 0°C ist, die Sonneneinstrahlung hoch ist und zudem die Schneeoberflächentemperatur längere Zeit bei 0°C liegt. Die meisten Nassschneelawinen gehen ab, kurz nachdem die Schneedecke (in der entsprechenden Hang- und Höhenlage) 0°C isotherm wurde und folglich Wasser durch die Schneedecke bis an den Boden sickert. Die Gefahr bleibt solange kritisch, als das Wasser nicht ungehindert durch die komplette Schneedecke fließen kann. Ist die erste lawinenaktive Periode vorbei und es bleibt weiter warm, dann wird die Schneedecke immer gleichmäßiger. Das Wasser verändert kaum mehr die mechanischen Eigenschaften der nassen Schneedecke und die Nassschneelawinengefahr sinkt. Ein Blick auf den Lawinenlagebericht und eine der zahlreichen Wetterstationen gepaart mit einer Wetterprognose können uns folglich gute Hinweise geben, ob es sich morgen lohnt, früh aufzustehen ... oder ob man aus Sicherheitsgründen doch lieber in den Federn liegen bleibt – oder ob für exponierte Verkehrswege eine vorsorgliche Sperrung ins Auge zu fassen ist. ■