

Für Skitpurenfahrer, Bergsteiger und -wanderer

Per l'alpinista, lo sciatore e l'escursionista

Pour l'alpiniste, le skieur et le randonneur

Bildung und Eigenschaften der Schneedecke mit einem Seitenblick auf die Lawinenbildung

Die saisonale Schneedecke im winterlichen Gebirge ist ein wertvoller Wasserspeicher, schützt die Vegetation, bildet die Grundlage des Wintertourismus, birgt aber gleichzeitig auch Gefahren, gerade für den Tourismus. Als Schneedecke bezeichnet man den abgelagerten Schnee. Wiederholte Schneefälle führen zur charakteristischen Schichtung der Schneedecke, die bestimmend ist für die Lawinenbildung. Die Schneedecke ist grossen räumlichen und zeitlichen Veränderungen unterworfen. Schichtung und Variabilität sind die beiden herausragenden Eigenschaften der Schneedecke.

Schneebildung und -ablagerung

Voraussetzungen für Schneefall

Die Form der sich in der Atmosphäre bildenden Schneekristalle hängt von der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit, genauer vom Mass der Wasserdampfübersättigung ab. Die natürliche Vielfalt der Formen der zumeist sechszähligen Kristalle ist unwahrscheinlich gross.

Zu (Schnee-)Niederschlägen kommt es, wenn relativ warme, feuchte Luft sich abkühlt. Dies geschieht typischerweise bei einer Hebung der Luftmassen. Die Luft dehnt sich aufgrund des abnehmenden Druckes aus und kühlt sich ab. Da kalte Luft weniger Feuchtigkeit (Wasserdampf) enthalten kann als warme Luft, kondensiert der Wasserdampf und gefriert. Die Schneefallgrenze liegt je nach Intensität der Niederschläge etwa 300 m unterhalb der Nullgradgrenze. Die Schneefallintensität (max. ca. 10 cm pro Stunde) ist von wesentlicher Bedeutung für die Lawinenbildung. Je intensiver die Niederschläge sind, um so mehr und schneller nimmt in der Regel die Lawinengefahr zu.

Grossräumige Variabilität der Schneedecke als Folge typischer Grosswetterlagen

Die grossräumige Variabilität (10–100 km) der Schneedecke wird durch das Klima, genauer durch die typischen Grosswetterlagen bestimmt (vgl. Abb. 1a und 1b). Die Schweizer Alpen erhalten vor allem bei Nordstau (nordwest- bis nördliche Höhenströmung) und bei Südstau (süd- bis südwestliche Höhenströmung) intensiveren Niederschlag. Entsprechend sind die ersten Voralpen- und Alpenketten besonders schneereich, wie etwa die Glarner Alpen, während inneralpine Gebiete wie das Engadin, Mittelbünden oder das südliche Wallis vergleichsweise schneearme Regionen sind.

Kleinräumige Variabilität als Folge lokaler meteorologischer und topographischer Bedingungen

Die kleinräumige Variabilität (10–100 m) der Schneedecke ist eine Folge des Windes und der Geländeform. Schneeverfrachtungen wäh-

Abb. 1a

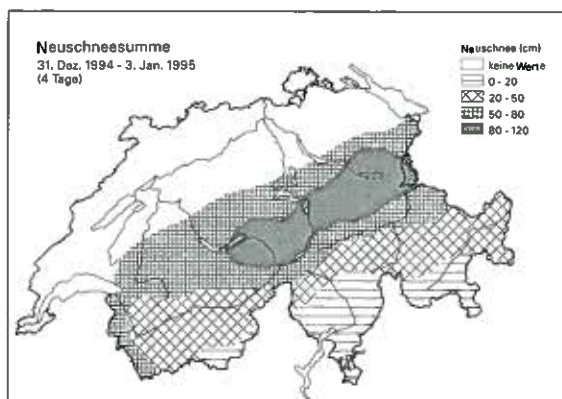


Abb. 1b

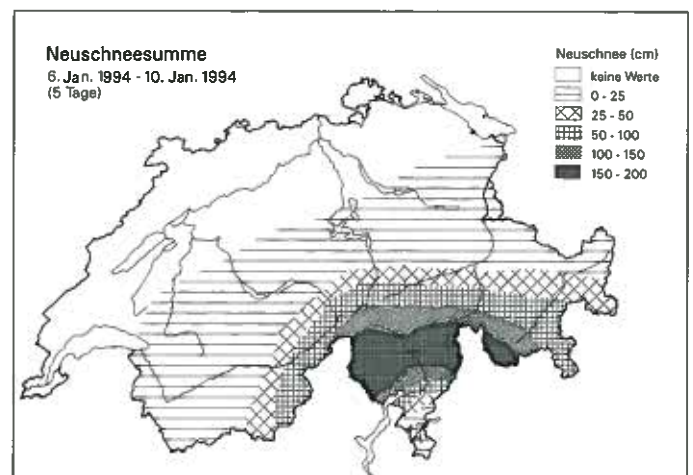


Abb. 1a und 1b
Typische Verteilung der
Neuschneemengen nach

einer Schneefallperiode:
Nordstaulage (links), Süd-
staulage (rechts)

Abb. 2
Augenfällige Wirkung der Schneeverfrachtung: Luv und Lee (Windschatten)



Foto: Jörg Schweizer

rend, aber auch nach Schneefällen führen im Gelände zu stark unterschiedlichen Schneehöhen. Daneben ist insbesondere für den Schneedeckenabbau auch die Exposition (Sonneneinstrahlung) von Bedeutung.

Die langzeitliche Variabilität

Die langzeitliche (jährliche) Variabilität der Schneedecke, bedingt durch die Zufälligkeiten der Witterung resp. des Klimas, führt dazu, dass ausgesprochen schneearme resp. schneereiche Winter resp. Frühwinter sich folgen können (vgl. Abb. 3). Die Variation der Schneehöhe ist beträchtlich und beträgt ohne weiteres $\pm 50\%$ des langjährigen Mittelwertes zu einer bestimmten Winterzeit an einem bestimmten Ort (vgl. Abb. 4).

Voraussetzungen zur Entstehung einer «lawinenanfälligen» Schneedecke

Die meteorologischen Bedingungen während der Schneeablagerung sind u. a. massgebend für die Lawinenbildung. Insbesondere sind Temperatur und Windstärke während des Schneefalles von wesentlicher Bedeutung. Eine frisch abgelagerte, lockere Neuschneesicht besteht anfänglich zu rund 90 % aus Luft (typische Dichte: 100 kg/m^3). Eine mächtige, kalte Neuschneesicht ist meistens instabil und gleitet häufig während oder kurz nach einer grösseren Schneefallperiode ab (spontane Lawi-

nen). Mit der Zeit setzt sich der Schnee unter dem Einfluss des Eigengewichtes, des Gewichtes allenfalls darüberliegender Schneeschichten und der Schneenumwandlung; die Schneedecke nimmt zu. Zerstört der Wind die feinen, zerbrechlichen Schneekristalle schon vor oder während der Ablagerung, so führt dies zu einer sehr dichten Packung der Kristalle. Eine derart abgelagerte Schneeschicht ist gebunden, brettig, stellt aber an sich noch keine Gefahr dar. Entscheidend ist, wie die brettige Schicht mit den darunterliegenden Schichten verbunden ist und/oder ob sich allenfalls in der Altschneedecke

darunter eine dünne Schicht geringer Festigkeit befindet. Je grösser die Härteunterschiede zwischen den einzelnen Schichten sind, um so lawinenanfälliger ist in der Regel die Schneedecke; besonders ungünstig ist ein Übergang von einer harten zu einer weichen Schicht.

Gefährlicher Oberflächenreif

Eine besondere Form der Eisbildung ist der Oberflächenreif (vgl. Abb. 5a-c). Kühlt sich die bodennahe Luftschicht derart ab, dass es darin zu einer Wasserdampfübersättigung

Abb. 3
Mittlere Schneehöhe in den letzten 50 Jahren jeweils Anfang Dezember auf Weissfluhjoch, 2540 m ü. M. Das gleitende Mittel zeigt keinen Trend.

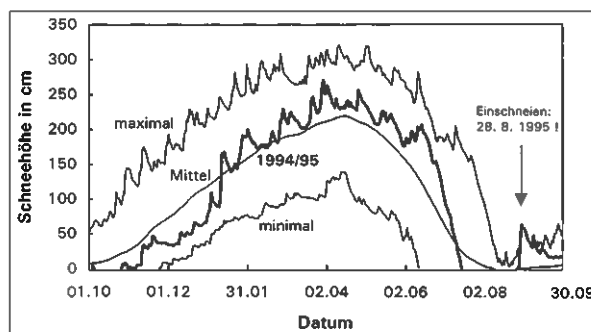
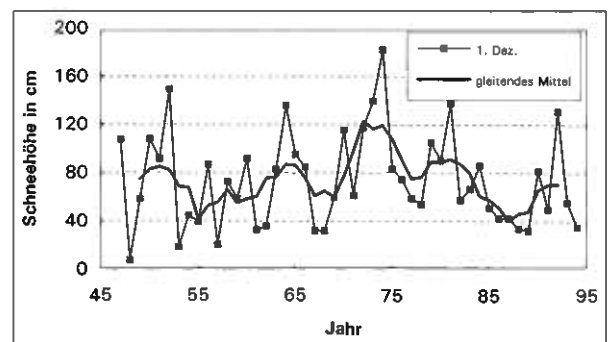


Abb. 4
Verlauf der mittleren, maximalen und minimalen Schneehöhen während eines Jahres auf dem Weissfluhjoch, 2540 m ü. M. Zum Vergleich der Schneehöhenverlauf im hydrologischen Jahr 1994/95 mit dem rekordverdächtigen erneuten Einschneien am 28. August 1995.

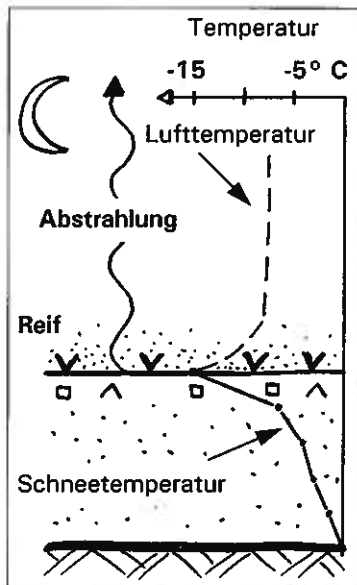


Abb. 5a-c
Oberflächenreif: Bildung (links) in klarer Nacht, keine Bildung (Mitte) bei bedecktem Himmel, grosser Reifkristall (rechts)

Abb. 5a

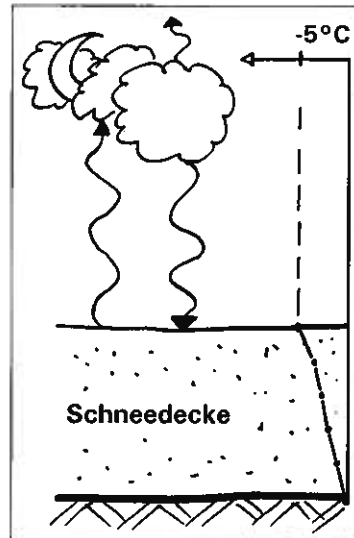


Abb. 5b



Abb. 5c

kommt, so wird die überschüssige Feuchtigkeit auf der Schneeoberfläche deponiert; es wachsen die typischen fächerförmigen Kristalle. Derartige Bedingungen sind vor allem in klaren Nächten gegeben, wenn die langwellige Abstrahlung die Schneeoberfläche stark abkühlt. Wenn Oberflächenreif eingeschneit wird, bildet er eine ideale zerbrechliche, schwache Schicht und ist daher besonders gefährlich (vgl. Abb. 8). Die Bildung von Oberflächenreif ist abhängig von den mikrometeorologischen Bedingungen (Wind!), so dass sie räumlich stark variieren kann. Einmal abgelagerter Reif kann zudem durch Sonneneinstrahlung und Wind wieder zerstört werden. Die örtliche Verteilung von Reifschichten ist dementsprechend variabel.

Energiebilanz einer Schneedecke

Zwischen der Atmosphäre, der Schneedecke und dem Boden, und damit auch innerhalb der Schneedecke, findet ein ständiger Energieaustausch statt. Zwischen der Atmosphäre und der Schneedecke ist der Wärmeaustausch am intensivsten, und zwar vor allem in der Form von Strahlung, latenter Wärme (Schmelzen, Gefrieren), fühlbarer Wärme und Niederschlag (vgl. Abb. 6). Typische Eigenschaften der Schneedecke sind

in diesem Zusammenhang der hohe Wert der Albedo (70 bis 90 % der einfallenden kurzwelligen Strahlung wird auf der Schneeoberfläche reflektiert), die starke langwellige Abstrahlung und die geringe Wärmeleitfähigkeit des Schnees. Letztere führt dazu, dass die Schneedecke den Boden und die Vegetation vor der Winterkälte schützt.

Oberhalb rund 2500 m ü. M., insbesondere in Schattenlagen, ist der Boden in der Regel gefroren (Permafrost); die Temperatur am Boden ist leicht negativ. Dies ist allerdings für den Schneedeckenaufbau, insbesondere im Früh- und Hochwinter für die Art der herrschenden Schneeeumwandlung, im Hinblick auf die Beurteilung der Lawinengefahr weitgehend bedeutungslos.

Der Wärmetransport in der Schneedecke ist generell langsam. Änderungen der Lufttemperatur wirken somit verzögert und abgeschwächt in der Schneedecke und haben, besonders im Hochwinter, einen eher geringen Einfluss auf die Lawinenbildung. Hingegen wirkt die einfallende kurzwellige Strahlung rasch; der Einfluss ist aber auf die obersten rund 10 bis max. 20 cm der Schneedecke beschränkt. Dass Strahlung und Lufttemperatur trotzdem einen Einfluss auf die Lawinenbildung haben, ist unbestritten. Eine allseits befriedigende Erklärung fehlt aber bis heute.

Schneeeumwandlung

Voraussetzungen und Auswirkungen

Die Schneeeumwandlung ist eine direkte Folge des ständigen Energieaustausches im System Atmosphäre – Schneedecke – Boden. Unterschiedliche Temperaturen und Kristallgrößen innerhalb der Schneedecke und dadurch bedingte Unterschiede der Feuchtigkeit der Luft, die sich im Porenraum der Schneedecke befindet, steuern den Prozess der Umwandlung, die sog. Metamorphose. Die ständige Umwandlung des abgelagerten Schnees ist für die Lawinenbildung von erheblicher Bedeutung; es können sich nach der Schneeeumwandlung in der Schneedecke Schwachschichten bilden, vor allem direkt unterhalb der Schneeoberfläche oder unterhalb von Krusten. Die Umwandlung kann also zu zeitlichen Änderungen der Festigkeit einzelner Schneesichten führen. Wie erwähnt, sind es die meteorologischen Bedingungen (Temperatur, Wind, Strahlung, Niederschlag usw.), die die Temperaturverteilung in der Schneedecke beeinflussen. Da gewisse Grössen wie z. B. die Strah-

Abb. 6
Energie- und Massenflüsse
«rund um» die Schneedecke

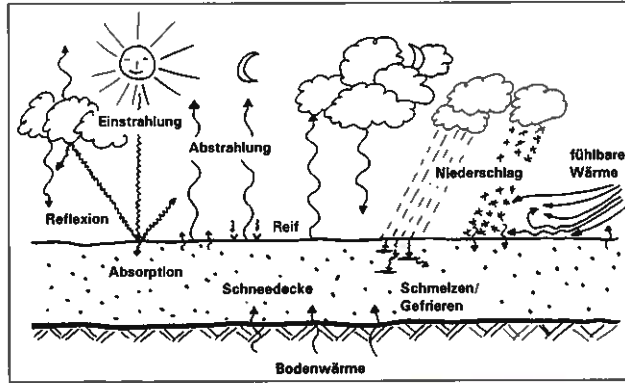


Abb. 8
Eingeschneiter Oberflächenreif. Anrissprofil (Schneebrettlawine Totalhorn Nord, durch Skifahrerin ausgelöst): Gleitfläche (oder Schwachschicht) ist eingeschneiter Oberflächenreif.

Abb. 7
Wind bearbeitet den Schnee und hinterlässt seine Spuren.



Foto: Jörg Schweizer

Foto: Jörg Schweizer

lung expositionsabhängig sind, ist auch die Schneenumwandlung und damit allgemein der Schneedecken- aufbau stark ortsabhängig.

In der trockenen Schneedecke unterscheidet man die abbauende Umwandlung und die aufbauende

Umwandlung; in der nassen Schneedecke spricht man von der Schmelz- umwandlung.

Aufbauende und abbauende Umwandlung in der trockenen Schneedecke

In der trockenen Schneedecke ist generell gesehen die Intensität der Umwandlung, d. h. die Wachstumsge-

windigkeit der Schneekristalle in einer Schneeschicht, um so grösser, je grösser der Temperaturgradient (Temperaturunterschied pro Längeneinheit), je höher die Temperatur und je geringer die Dichte der Schneeschicht ist. Somit wird eine lockere, wenig mächtige Schneedecke bei anhaltend tiefen Temperaturen stark umgewandelt (z. B. in einem Schattenhang bei schönem, kaltem Frühwinterwetter). Im Detail sind, wie in der Atmosphäre, das Mass der Wasserdampf- übersättigung (kleiner oder gleich 5%) und die Temperatur für die Kristallform verantwortlich.

Oberhalb eines kritischen Wertes der Übersättigung (1 bis 2%) entstehen kantige, sechseckige Formen; unterhalb des kritischen Wertes der Übersättigung bilden sich bei hohen Temperaturen (wärmer als -10°C) runde Formen, bei tiefen Temperaturen kantige Formen. Vereinfacht kann



Foto: Jörg Schweizer

Abb. 9
Starker, beständiger Wind kann in relativ kurzer Zeit grosse Schneemengen verfrachten.

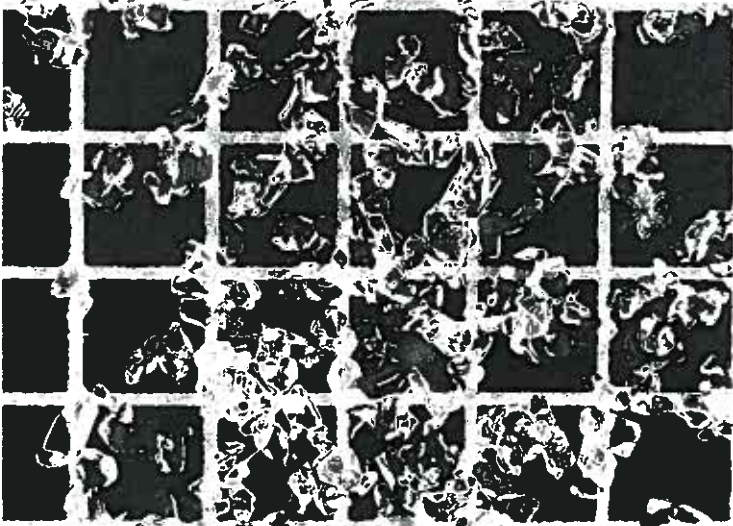


Abb. 10a-c
Typische Kornformen auf 2 mm Raster: kleine, runde Körner, z.T. leicht kantig (Abb. 10a), stark aufgebaute, kantige Formen mit den charakteristischen Streifen, Ansatz zu Becherkristallen (Abb. 10b) und grosse Schmelzformen (Abb. 10c)

Abb. 10a

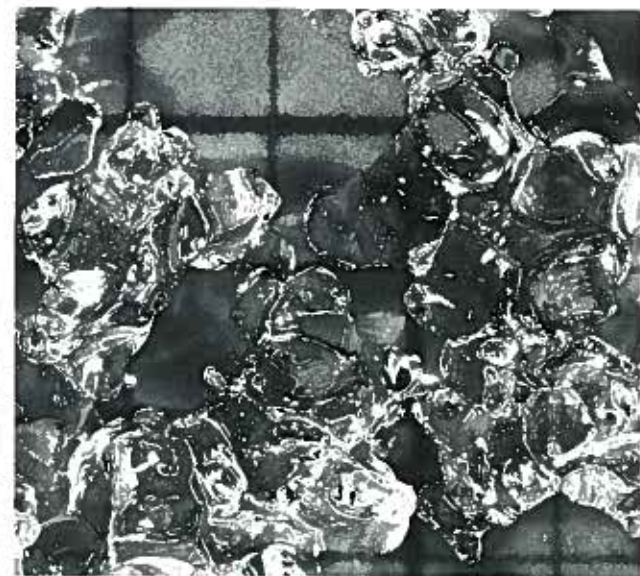


Abb. 10b

Tab. 1
Schneeformen und -umwandlungen:
Ursprung und Eigenschaften (typische Werte!)

Form	Neuschnee	Filz	klein, rund	kantig	Becher	Schmelzkörner
Symbol	+	/	●	□	^	○
typische Grösse in mm	0,5 ... 2	1	0,25 ... 0,5	1 ... 3	2 ... 5	2 ... 4
Umwandlung		abbauend		aufbauend		Schmelzumwandlung
Temperaturgradient in °C/m		<5	<5	5 ... 15	>15	
Härte oder «Festigkeit»	-	+	++	-	--	++ oder --

man in guter Näherung die abbauende Umwandlung (runde Formen) kleinen Temperaturgradienten (0 bis 5 °C/m) und die aufbauende Umwandlung grossen Temperaturgradienten (grösser als 5 °C/m) zuordnen (vgl. Abb. 11 und 12 und Tab. 1, die einen Überblick über Schneeformen und -umwandlungen geben, und Abb. 10a–c, die drei typische Kornformen zeigen).

Entstehung möglicher Schwachschichten (Gleitschichten)

Krusten innerhalb der Schneedecke bilden eine Dampfsperre, so dass bei entsprechend grossem Temperaturgradienten unterhalb von

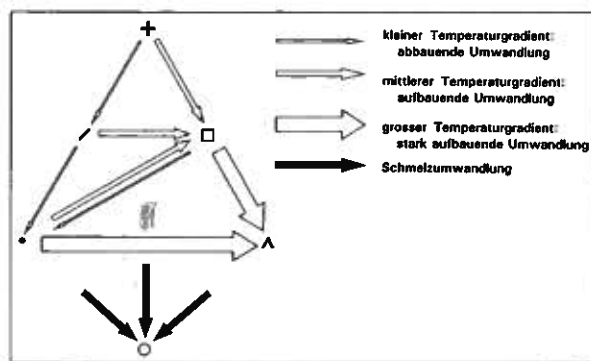


Abb. 11

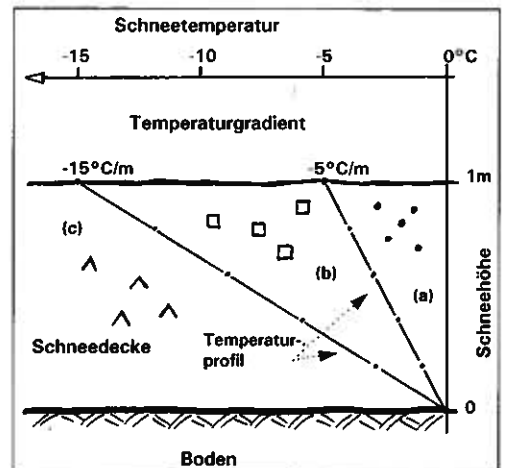


Abb. 12
 Temperaturunterschiede in der Schneedecke steuern u. a. die Schneelumwandlung: (a) kleiner Temperaturgradient: klein, rund (●), (b) grosser Temperaturgradient: kantig (□), (c) sehr grosser Temperaturgradient: Becher (^).

Krusten häufig grosse aufgebaute Formen beobachtet werden können. Eine derartige Schicht kann eine mögliche Gleitschicht sein.

Grosse Temperaturgradienten findet man auch nahe der Oberfläche, wenn sich diese stark abkühlt (vgl. Abb. 5a–c). Es können sich so u. U. in einer Nacht bei einem Temperaturgradienten von bis zu 100 °C/m in den obersten Zentimetern der Schneedecke stark aufgebaute, kantige Formen bilden. Dies ist eine weitere recht häufig beobachtete Möglichkeit der Schwachschichtbildung. Schwache Schichten als Folge der aufbauenden Umwandlung sind in der Regel weiterherum verbreitet.

Berücktigter Schwimmschnee

Schwimmschnee (oder lockere Schichten von Becherkristallen) entsteht vor allem im Vorwinter bei kalter, trockener Witterung. Er ist an und für sich nicht besonders gefährlich. Hochkritisch wird es aber häufig, wenn eine solche Schicht nach einer schönen, schneearmen Vorwinterperiode von einer mässig dicken (20 bis 50 cm) Neuschneesicht überdeckt

wird. Dann sind die Bedingungen häufig ideal, dass Skifahrer Schneebrettlawinen auslösen können. Geringe Schneehöhen bedeuten nicht geringe Schneebrettgefahr – im Gegenteil!

Ist die Schwimmschneesicht aber einmal von mächtigen (mehr als 1 m), festen Schneesichten überdeckt, so ist sie in der Regel nicht mehr besonders gefährlich. Kritisch wird es dann allenfalls nochmals im Frühjahr, wenn die festen, mächtigen Schichten durch die zunehmende Erwärmung ihre Festigkeit verlieren und unter Umständen die gesamte Schneedecke zusammenbrechen und abgleiten kann; es kommt zu grossen Grundlawinen.

Schmelzumwandlung

Durch eindringenden Regen oder generell in der nassen Schneedecke bilden sich Schmelzformen (Abb. 10c). Durch wiederholtes Anschmelzen und Gefrieren werden die Schneekörner rund und wachsen zu Kornverbänden zusammen. Die rasche Durchnässung



Abb. 10c

der Schneedecke führt generell zu einem Festigkeitsverlust. Häufig beobachtet man während und nach der ersten grösseren und langanhaltenden Erwärmung viele Nassschneelawinen. Im Gegensatz zu den trockenen Schneebrettlawinen ist eine Prognose der Nassschneelawinen aber weitaus schwieriger, da über den Prozess der Durchnässung und den damit verbundenen Festigkeitsverlust im Detail noch zu wenig bekannt ist. Solange aber die Schneedecke über Nacht oberflächlich zu einer dicken Kruste gefriert, ist sie in der Regel tragfähig. Es herrschen die für Skitouren idealen Frühjahrsverhältnisse mit Sulzschneebildung gegen Mittag. Ist es hingegen bewölkt, so dass die Schneeoberfläche nicht gefriert, oder generell am Nachmittag, so ist der Gefahr von Nassschneelawinen unbedingt die nötige Beachtung zu schenken.

Die Schneedecke lebt!

Die ständig wechselnden meteorologischen Bedingungen führen zusammen mit den Schneedeckenumwandlungen dazu, dass die Schneedecke sich vom Beginn der ersten Schneefälle bis zum Abschmelzen ständig verändert. Wer etwas über dieses faszinierende Innenleben erfahren will, kommt nicht darum herum, die Lawinenschaufel zur Hand zu nehmen: Graben, graben, graben ...

Schneedeckenuntersuchungen, vor allem kombiniert mit einem Stabilitätstest, liefern wertvolle, nicht selten gar die entscheidenden Hinweise für die selbständige lokale Beurteilung der Lawinengefahr.

Jürg Schweizer,
SLF Weissfluhjoch/Davos



Foto: Jürg Schweizer

Eine schöne Schneedecke – besser aber darüber zu gleiten als darunter zu kommen!