

Schnee- und Lawinenkunde

Es gibt vier primäre Faktoren, die die Lawinensituation direkt beeinflussen. Die Problematik besteht darin, daß die Faktoren immer in direktem Zusammenhang stehen und stets variieren. Sie wechseln die Größe ihrer Einwirkung ständig und sind nie für sich zu beurteilen, sondern grundsätzlich im Verbund.

Das komplexe Zusammenwirken der Faktoren stellt den Beurteilenden vor eine Aufgabe, die realistisch gesehen unlösbar ist.

Ein umfangreiches Wissen über die einzelnen Faktoren schafft die Grundlage für eine auf Faustregeln gestützte, einigermaßen zufriedenstellende Beurteilung der Lawinengefahr.

Faktoren der Lawinauslösung sind:

- die Schneeverhältnisse
- das Wetter
- das Gelände
- der Mensch

Schnee – Grundlagen

Niederschlagsarten

Schnee

In der freien Atmosphäre sind drei Bedingungen für die Entstehung von Schneekristallen erforderlich:

- Temperatur unter 0 °C (mindestens –4 °C)
- Erreichen des sogenannten Sättigungsgrades der Luft
- Anwesenheit von Kondensations- bzw. Eisbildungskernen (feinster Staub, Salzkristalle etc.)

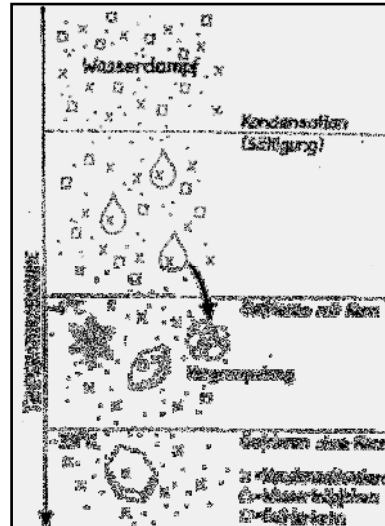
Bei entsprechendem Wasserdampfgehalt erreicht die abgekühlte Luft den Taupunkt, bei welchem der Wasserdampf kondensiert.

Wird der Gefrierpunkt durch Abkühlung unterschritten, werden die Tröpfchen mit Hilfe der Eisbildungskerne unterkühlt (ohne diese Kerne ist ein spontanes Gefrieren erst ab –39 °C möglich). Durch die Anordnung der Wassermoleküle im Kristallsystem des Eises entstehen immer wiederkehrende sechswinkelige (hexagonale) Formen. Unterschiede der Temperatur, Feuchte und Übersättigung sind dafür verantwortlich, daß es über 6000 verschiedene Erscheinungsformen gibt. Die einzelnen Kristalle sind bis zu 5 mm groß. Während des Fallens bilden die Schneekristalle bei Temperaturen um die 0 °C Schneeflocken.

Graupel

- Graupel entsteht, wenn ein Schneekristall auf dem Weg zum Boden unterkühlte Wassertröpfchen anlagert; der Schneekristall wird also mit einer Kruste aus Wassertröpfchen umgeben (siehe Abbildung).

- Graupel entsteht in Quellwolken (Cumulonimbus) hauptsächlich in den Wintermonaten, wenn Polarluft nach Süden über den wärmeren Untergrund strömt und es schon in geringer Höhe zur Vereisung kommt.
- Im Spätwinter und im Sommer kann Graupel ein Warnindiz für ein nahendes Gewitter sein.
- Graupel bildet, wenn er in ausreichender Menge fällt und bald darauf eingeschneit wird, eine hervorragende Gleitschicht für Lawinen.

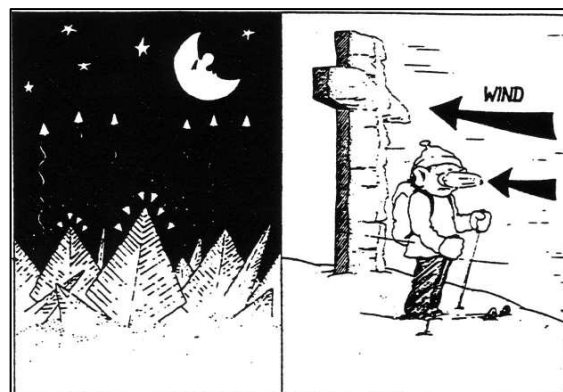


Die Schneeentstehung

Oberflächenreif

Oberflächenreif ist kein richtiger Niederschlag. er entsteht aber auch bei besonderen atmosphärischen Voraussetzungen. Luftfeuchtigkeit sublimiert an einer kalten Oberfläche; dabei entstehen flache, plattige und poröse Eiskörper.

- Oberflächenreif bildet sich in klaren, strahlungsintensiven Nächten und kann mehrere Zentimeter dick werden.
- Eingeschneiter oder durch Wind überlagerter Reif bildet eine höchst labile Gleitschicht.



Anraum

Anraum entsteht aus unterkühlten Wassertröpfchen, die bei starkem Wind an ein Hindernis herangetragen werden und dort festfrieren.

- Anraum wächst dem Wind entgegen.

Schneearten

Neuschnee

Schnee, der in seiner ursprünglichen Form noch erkennbar und nicht älter als 24 Stunden ist. Demnach fällt windverfrachteter Neuschnee nicht unter diese Rubrik.

Altschnee

Jeder Schnee, der älter als 24 Stunden ist.

Pulverschnee

Pulverschnee hat eine sehr ausgeprägte verästelte Kristallform und fällt bei niedrigen Temperaturen. Durch seinen geringen Feuchtigkeitsanteil ist er leicht, locker und läßt sich nicht ballen. Fällt er ohne Windeinwirkung, ist er in ungebundenem Zustand meist ungefährlich.

Wildschnee

Extrem lockerer, unter Kälte gefallener Neuschnee

Pappschnee

Lockerer, jedoch feuchter Schnee.

Naßschnee

Stark durchnässter Schnee, aus dem das Wasser herausrinnt.

Filzschnee

Etwas verdichteter, abgebauter, unter Umständen auch leicht feuchter Schnee.

Faulschnee

Haltloser, großkörniger Naßschnee oder durchnässter Schwimmschnee, die Skier versacken haltlos.

Windverfrachteter Schnee

Tribschnee, Preßschnee und Packschnee. Diese Begriffe werden immer wieder unterschiedlich verwendet. Günstiger wäre die Unterscheidung harter oder weicher verfrachteter Schnee.

Windharsch

Warmer, feuchter Wind bildet eine dünne, schuppige Kruste auf der Schneeoberfläche.

Harsch - Bruchharsch

Oberflächlich durchweichter, danach wieder gefrorener Schnee.

Eislamelle

Dünne Eisschicht an der Oberfläche.

Sulzschnee

Oberflächlich aufgeweichter Harsch, oft fälschlich als Firn bezeichnet.

Firn

Durch Schmelz- und Gefriervorgänge stark verdichteter Altschnee, eine Vorstufe der Entwicklung des Gletschereises.

Firnspiegel

Dünne, oberflächliche Eisschicht, die in der Sonne reflektiert.

Die Schneenumwandlung

Die Schneekristalle sind vom ersten Augenblick ihrer Entstehung bis zum Schmelzen zu Wasser einer steten und andauernden Umwandlung (Metamorphose) unterzogen, die einerseits positive und andererseits negative Auswirkungen auf die Lawinenbildung hat.

Die jeweilige Umwandlungsform ist nicht an einen bestimmten Ort in der Schneedecke gebunden. Die Aufbauende Umwandlung z.B. kann am Grund (normal), in der Mitte unter Harschschicht oder Eislamelle oder an der Oberfläche eintreten. Schneearten im gleichen Umwandlungsstadium können unterschiedliche Härtegrade aufweisen.

Schematische Darstellung der Umwandlung:					
abbauende Umwandlung	aufbauende Umwandlung		Schmelzumwandlung		
Bei den Lawinenwarndiensten dafür verwendete Symbole:					
Korngröße:		ca. bis 7 mm	ca. 2 mm	ca. 1 mm	ca. 1,5–3 mm
					2–5 mm
					1–3 mm

Es gibt vier unterschiedliche Umwandlungsprozesse:

- mechanische Umwandlung
- abbauende Umwandlung
- aufbauende Umwandlung
- Schmelzumwandlung

Mechanische Umwandlung

Die mechanische Umwandlung beginnt beim Zusammenstoßen der einzelnen Kristalle während des Schneefalls. Viele der feinen Äste und Spitzen brechen ab, die Kristalle werden kleiner. Windeinwirkung unterstützt diesen Vorgang, so daß eine regelrechte Zertrümmerung stattfindet.

Diese in der Luft schon verkleinerten Kristalle können am Boden weiterverfrachtet werden und ändern ihre mechanischen Eigenschaften. Der Tribschnee ist unplastisch und kann Spannungen in der Schneedecke nicht ausgleichen. In der Schneedecke verkleinern sich die einzelnen Kristalle durch mechanische Einwirkungen (Druck).

- Frischer Tribschnee bedeutet Schneebrettfahrer.

Abbauende Umwandlung

Die abbauende Umwandlung oder auch isotherme Metamorphose setzt unmittelbar nach der Ablagerung des Neuschnees ein. Die hexagonalen Formen werden mit der Zeit zu körnigem Altschnee abgebaut. Die Tendenz der Natur geht dahin, die feinen Spitzen, Verästelungen und Vertiefungen auszugleichen und somit die Oberfläche der Kristalle zu verkleinern, bis ein kugelig, kompakter Körper entsteht (thermodynamische Gleichgewichtsform). Die einzelnen Körper gehen eine Bindung ein und werden immer dichter, die Schneedecke setzt sich und wird immer fester.

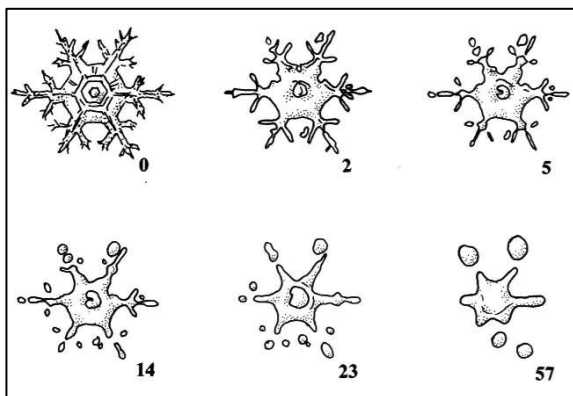
Die Zeitdauer dieses Vorgangs ist temperaturabhängig. Bei Kälte dauert er länger, bei milden Temperaturen setzt sich die Schneedecke schneller.

Die Abbauende Umwandlung ist die erwünschte Form der Umwandlung, sie wirkt sich durchwegs günstig (im Sinne des Skibergsteigers) auf die Stabilität der Schneedecke aus. Ein mächtiges, gut abgebautes Fundament bildet eine hervorragende Grundlage für den ganzen Winter.

Voraussetzung für die Abbauende Umwandlung ist ein möglichst geringer Temperaturgradient unter $0,1\text{ }^{\circ}\text{C/cm}$. Ein Frühwinter mit viel Schnee und nicht allzu extremen Kältephasen schafft in der Regel diese Voraussetzungen

Der Abbau erfolgt über drei Phasen:

- Neuschnee
- Filzschnee
- rundkörniger Altschnee (Gleichgewichtsformen).



Abbauender Umwandlung

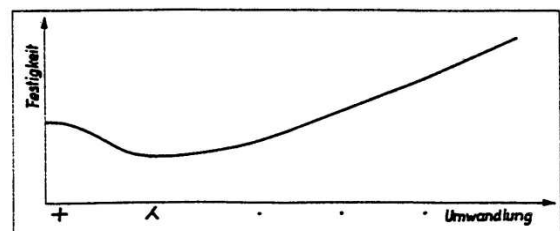
(die Zahlen geben die Dauer in Tagen an)

- Hoher Druck (viel Neuschnee) beschleunigt die Abbauende Umwandlung wesentlich weniger als hohe Temperaturen.
- Die Dauer beträgt bei z.B. $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ein bis zwei Wochen.
- Starke Verfestigung durch größere Kohäsionskräfte (Anziehung zwischen Körpern) und Sinterung. Kurzfristiger Festigkeitsverlust beim Übergang vom Neuschnee zu Filzschnee!
- Durch Wind abgebauter Schnee unterscheidet sich in seinem Verhalten wesentlich von normal durch

Setzung abgebautem Schnee mit gleich aussehender Kornform.

- Deutlich sichtbare Setzung.
- Sehr milde Temperaturen (Warmlufteinbruch) nach einem Schneefall erwirken vorübergehend eine Festigkeitsabnahme.

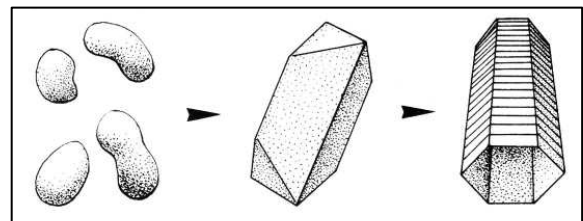
Der Übergang vom Neuschneekristall zur filzigen Form bringt übergangsweise einen Festigkeitsverlust. Die abbrechenden Verästelungen der Neuschneekristalle verringern den Zusammenhalt; neue Brücken, die den Festigkeitsverlust kompensieren könnten, sind jedoch noch nicht gebildet. In der Praxis bedeutet das für ein oder zwei Tage nach dem Neuschneefall ein erhöhtes Lawinenrisiko.



Die Abhängigkeit der Festigkeit vom Grad der Umwandlung

Aufbauende Umwandlung

Die aufbauende Umwandlung bewirkt die Neubildung von Kristallen innerhalb der Schneedecke. Außer Reifkristallen können alle Formen zu kristallinen Hohlformen aufgebaut werden. Das Endstadium dieser Umwandlung sind hohlförmige Becherkristalle, die als Schwimmschnee oder Tiefenreif bezeichnet werden. Durch die großen Körner (bis 5 mm und mehr) mit wenig Kontaktpunkten zueinander tritt eine starke Entfestigung des Schnees ein. Die Bildung dieser Becherkristalle ist ein Sublimationsvorgang. Voraussetzung dafür ist ein hoher Temperaturgradient in der Schneedecke (ab $15\text{ }^{\circ}\text{C/m}$). Je größer der Temperaturgradient ist, desto schneller erfolgt die aufbauende Umwandlung.



Aufbauende Umwandlung

Durch die Ausstrahlung der Erdwärme verdunsten die Altschneekörner in bodennahen Schichten. Der feuchtwarme Dampf steigt auf in kältere Schichten, kühlt sich in ihnen ab und gibt dadurch Feuchtigkeit ab. Diese Feuchtigkeit kristallisiert an der Unterseite eines kälteren Kristalls, das neue Korn wächst entgegen dem Temperaturgradienten.

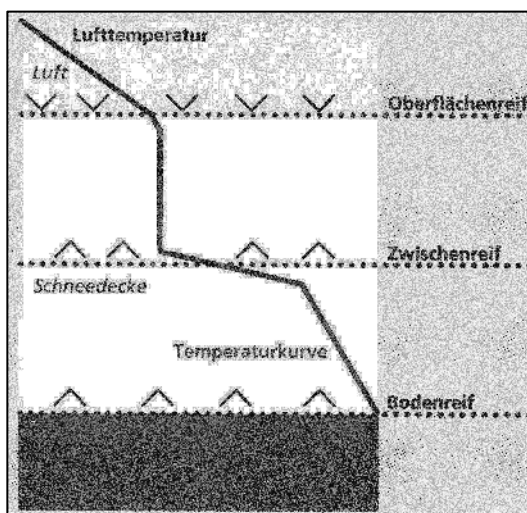
Tiefenreif kann sich ebenfalls in höher gelegenen Zwischenschichten bilden. Ausschlaggebend ist

immer die große Temperaturdifferenz und die Feuchtigkeit. Auch an der Oberfläche der Schneedecke in Schattenhängen, die lange schönem und kaltem Wetter ausgesetzt sind, bauen sich neue Kristalle auf.

Die Aufbauende Umwandlung in der Schneedecke ist bis zu einem gewissen Maß völlig normal und bietet in diesem Rahmen keinen besonderen Grund zur Beunruhigung. Wenn die Aufbauende Umwandlung jedoch im starken Umfang, wie im Schwimmschneewinter 84/85. eintritt, stellt sie eine ernstzunehmende Gefahr für den ganzen Winter dar. Schwimmschneelawinen sind in Ihrer Auslösewahrscheinlichkeit. Dimension und Reichweite schwer berechenbar.

Folgende Voraussetzungen begünstigen die Aufbauende Umwandlung:

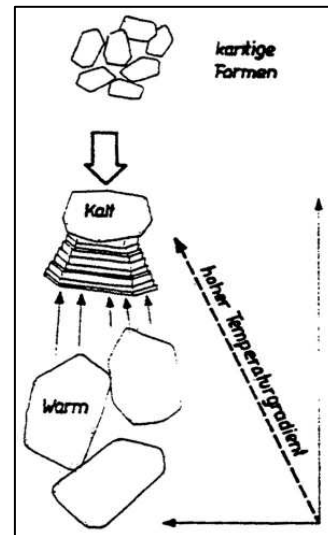
- Großer Temperaturgradient über 10 °C/m. Gradienten im Bereich von 25 °C/m und mehr bedingen einen extrem starken Aufbau (kalter Winter mit geringer Schneehöhe)
- Bodennahe Schichten (viel Zeit zum Aufbau)
- Schattenlagen
- Vegetation, gröberes Blockwerk (Moränen)
- auch an der Oberfläche kann sich der Schnee aufbauen
- Lockerer oder leicht feuchter Neuschnee entwickelt sich zu Pulverschnee
- Verhärtete Oberflächenschichten (Temperaturwechselzone) können zu einer porösen, brucharschähnlichen Schicht umgewandelt werden.



Reif kann überall in der Schneedecke entstehen

Die Aufbauende Umwandlung bildet durch verstärkten Massetransport und Umverteilung großkörnige, kantige und schlecht gebundene Kristalle. Kleine Kristalle verdampfen gänzlich.

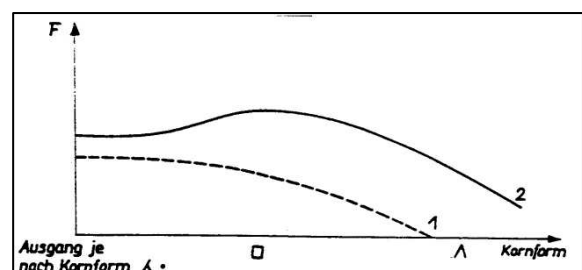
Der Wasserdampf lagert sich durch Sublimation an der Unterseite die nächst höheren kälteren Kristalle an. Am besten funktioniert die Aufbauende Umwandlung in warmen, also bodennahen Schichten (starkes Verdampfen und genügend Zeit für den Aufbau).



Sublimationsvorgang bei der Aufbauenden Umwandlung

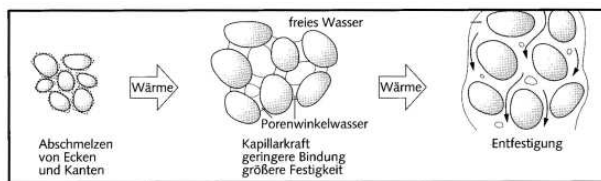
- Tiefe Temperaturen und eine dünne Schneedecke (großes Temperaturgefälle) beschleunigen die gefährliche Schwimmschneebildung.
- Je lockerer der Schnee, desto stärker die Aufbauende Umwandlung bei gleicher Temperatur.
- Sie läuft wesentlich langsamer ab, als die Abbauende Umwandlung (zwei bis vier Wochen, abhängig vom Temperaturgradienten)
- reagiert auf Störung und Erschütterung sehr empfindlich
- keine Setzung, von oben nicht zu erkennen! Schwimmschnee kann nur durch Aufgraben oder mit dem Stocktest festgestellt werden
- kann nur durch Schmelzumwandlung und Durchfrieren entschärft werden

Festigkeitsverlauf bei der Aufbauenden Umwandlung. In Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial (mächtige, verdichtete und junge Spätwinterschichten) kann eine leichte Aufbauende Umwandlung, also kantige Formen, einen Festigkeitszuwachs bedingen. Andere Ausgangsformen verlieren von vorneherein an Festigkeit. Bei fortschreitendem Aufbau (Hohlformen) findet immer eine starke Entfestigung statt.



Schmelzumwandlung

Die Schmelzumwandlung ist von der Jahreszeit unabhängig, sie ist aber im Frühjahr besonders wirksam. Warmlufteinbrüche, Sonneneinstrahlung und Regen führen zu einem Abschmelzen der Ecken und Kanten der Kristalle. Sie nehmen eine rundliche Form an, rücken näher zusammen und werden mit einer flüssigen Haut überzogen. Die Hohlräume füllen sich mit Porenwinkelwasser dadurch geht Haftung verloren, jedoch steigen die Kapillarkräfte. Bei weiterer Durchfeuchtung fließt freies Wasser ab, die Festigkeit nimmt rapide ab. Im Verlauf der Schmelzumwandlung entstehen große, runde Kristalle, die ebenfalls auf Kosten der kleineren wachsen.



Schmelzumwandlung

Durch einen mehrfachen Wechsel von Schmelzen und Wiedergefrieren entsteht grobkörniger Sulzschnee (Korndurchmesser größer als 1 mm). Ist der Schmelzvorgang sehr intensiv, setzt er sich bis tief in die Schneedecke fort. Die Kälte der Nacht dringt aber nur ca. 10-20 cm in die Schneedecke ein, so daß sich unter der harten Schicht meist haltloser und nasser Sulz, sogenannter Faulschnee, befindet. Die Schmelzumwandlung ist die in ihrer Auswirkung am leichtesten einzuschätzende Umwandlung. Ihre Wirkungsweise ist gut zu erkennen und zu beurteilen.

- Schmelzumwandlung kann in sehr kurzer Zeit stattfinden.
- Deutliche Setzung (Buckel, Rinnen, Wellen)
- Eine isotherme (0 °C) Schneedecke wird jedoch im Lauf der Zeit ganz durchfeuchtet. Sie reagiert wesentlich empfindlicher auf jede weitere Erwärmung.
- Mit zunehmender Erwärmung können sich nasse Lockerschnee- und nasse Schneebrettlawinen lösen, die oft als Bodenlawinen abgehen.
- Wird einsickerndes Schmelzwasser von einer wasserundurchlässigen Zwischenschicht aufgehalten, entsteht eine »Schmierschicht«, die das Abgleiten nasser Schneebretter begünstigt.

Die Schmelzumwandlung hat folgende günstigen Aspekte:

- Labile Schichten oder Spannungen werden entweder sofort ausgelöst oder unwirksam gemacht.
- »Fischmäuler« in der Gleitschneedecke sind ein Zeichen für entspannte Hänge. Diese Zonen sind, wenn sie nicht völlig durchnäßt sind, lawinensicher und für die Spurwahl zu bevorzugen.
- Die Lawinentätigkeit auf Grund der Schmelzumwandlung ist kalkulierbar.

Schneegewicht und -feuchtigkeit

Das Raumgewicht der verschiedenen Schneearten geht sehr weit auseinander. Lawinenbildender Schnee bedarf eines durchschnittlichen Raumgewichts von ca. 200 kg/m³.

Schneeart	Raumgewicht
Neuschnee trocken und locker	30 – 50 kg/m ³
Neuschnee schwach gebunden	50 – 100 kg/m ³
Neuschnee stark gebunden	100 – 200 kg/m ³
Altschnee trocken	200 – 400 kg/m ³
Altschnee feucht bis naß	300 – 500 kg/m ³
Schwimmschnee	150 – 300 kg/m ³
Firn (mehrjährig)	500 – 800 kg/m ³
Eis	800 – 900 kg/m ³

Der Schneedeckenaufbau

Die Schneedecke ist als Schichtpaket mit verschiedenen Lagen zu sehen. Diese unterscheiden sich in Alter, Mächtigkeit, Härte, Kornform und Größe der Kristalle, Temperatur und Feuchtigkeit. Das Wesen der Schneedecke ist ihre Unregelmäßigkeit.

Die natürliche Schneedecke entsteht in Schichten, die sich im Verlauf des Winters in den Schneefallperioden übereinander ablagern. Zwischen den Schichten liegen Schichtgrenzen. Sie stellen nicht nur das Ende oder den Anfang einer Schicht dar, sie haben eine ganz eigene Entstehungsgeschichte und Bedeutung in der Schneedecke.

Schichtenbildung

Mit dem entsprechenden Wissen und der Erfahrung kann man am Schichtenaufbau einer Schneedecke den gesamten Witterungsverlauf eines Winters ablesen.

Folgende Faktoren wirken sich auf die Schichtenbildung aus:

- Niederschläge (Schnee, Regen)
- Wind (Verfrachtungen)
- Temperatur (Kälte, Wärme, Strahlungswetter)
- Bodenbeschaffenheit (Bewuchs, Struktur)
- andere Einflüsse (z.B. Saharastaub)
- Skifahrer (durch häufiges Befahren von Hängen)
- indirekt die Exposition (Einfluß auf die Temperatur)
- indirekt die Höhenlage (Einfluß auf die Temperatur)
- indirekt die Geländestruktur (Einfluß auf die Windeinwirkung)

Die Schichtgrenze (Kontaktfläche zwischen den Schichten) ist der Maßstab und das Kriterium, um eine bestimmte Schicht als kritische Schicht zu beurteilen. Grundsätzlich ist jeder Schichtwechsel als mögliche Gleitfläche anzusehen.

Durch den Witterungsverlauf über den gesamten Winter verändern sich die verschiedenen Schichten und damit die gesamte Charakteristik der Schneedecke durch Umwandlungsprozesse. Es kommen einerseits neue Schichten dazu, während andererseits Schichten abgebaut werden und ganz verschwinden.

Durch das komplexe Zusammenwirken der verschiedenen Einflüsse auf die Schichtenbildung und deren oft konträre Weiterentwicklung darf großflächig nie mit einer homogenen Schneedecke gerechnet werden.

Die Schneedeckenentwicklung verläuft jeden Winter anders, wobei es fast unendlich viele Kombinationsmöglichkeiten gibt. Die steuernden Gesetzmäßigkeiten sind jedoch immer die gleichen. Allerdings konnten sie zum Teil noch nicht erforscht werden. Beides trägt dazu bei, daß es immer Interpretationsungenauigkeiten geben wird.

- Schneeschichten entstehen in den Schneefallperioden oder, bei Schneeverfrachtung zwischen diesen. Die Entwicklung der Schichten unterliegen den Metamorphoseprozessen in der Schneedecke.
- Die Schichtgrenzen erhalten ihre Eigenschaften zwischen den Schneefällen (z.B. Verhärtung oder Vereisung durch Windeinfluß oder Schmelzumwandlung). Streng genommen sind die Schichtgrenzen sehr dünne eigenständige Schichten.
- Auch innerhalb einer Schneefallperiode können sich, zum Beispiel durch unterschiedlichen starken Windeinfluß oder Winddrehung, verschiedene Schichten ausbilden.
- Schneeschichten und Schichtgrenzen bestimmen die Stabilität einer Schneedecke, wobei die Schichtgrenzen meistens der bestimmende oder begrenzende Stabilitätsfaktor sind. Sie sind in der Regel die Bruchflächen (Gleitrinnen) für Lawinen.
- Der Lawinenanbruch (Scherbruch) kann ebenfalls durch sehr weiche Schichten, wie Oberflächenreif, Pulver, eingblasener Lockerschnee oder Schwimmschnee gehen. Als Sekundärwirkung eines Lawinenabganges können stabile Schichten zerschert oder abgeschürft werden, was raue Bruchflächen ergibt.
- In gleicher Exposition und Höhe weist die Schneedecke ähnliche Merkmale auf, das Erstellen eines Lawinenlageberichtes oder die Durchführung eines Schneedeckentests wäre sonst unmöglich oder sinnlos. In unterschiedlichen Lagen variiert der Aufbau erheblich. Ein südgerichteter Hang erhält im Durchschnitt die doppelte Wärmemenge als ein vergleichbarer Nordhang, der im Frühwinter unter Umständen überhaupt keine Sonne bekommt.

Trotz einer Unzahl an möglichen Varianten bilden sich immer wieder typische Schichtabfolgen und Strukturen in der Schneedecke aus.

Folgende immer wiederkehrende Schneedecken aufbauten lassen sich definieren:

- Schwaches Fundament (a)
- stabiles Fundament (b)
- schwache Zwischenschicht (c)
- labile Oberflächenschicht (d)
- insgesamt gering verfestigte Schneedecke (e)
- insgesamt stark verfestigte Schneedecke (f)

Die folgende Abbildung zeigt vier typische Schneeprofile, die so in der Realität durchaus anzutreffen sind. Die Vertikalachse gibt die Schneehöhen und die Horizontalachse die Härtegrade an. In das Profil sind die jeweiligen Kornformen eingetragen.

Erklärung zu den Profilen der Abbildung rechts:

a+e) Diese Schneedecke hat im Frühwinter eine starke aufbauende Umwandlung erfahren. das schwache Fundament bleibt den ganzen Winter über bestehen. Zusätzlich konnte sich während des restlichen Winters die Schneedecke nur gering verfestigen, keine Schicht übersteigt den Härtegrad 3. Selbst bei einer Überlagerung mit einer stabilen Schicht bleibt die Situation eines schwachen Fundamentes bestehen.

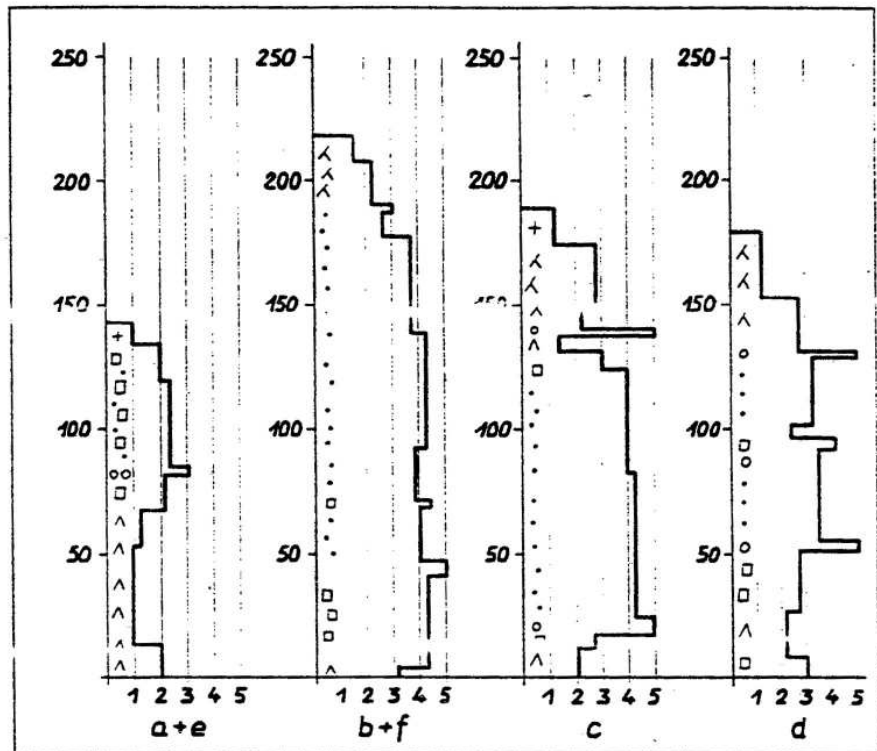
b+f) Diese Schneedecke ist in einem schneereichen Winter entstanden. Allgemein wird gesagt, daß sich Schneefälle von über 50 cm im Hochwinter schnell verdichten und nicht besonders aufgebaut werden. Im gewissem Umfang ist die Aufbauende Umwandlung am Boden normal: in dieser Schneedecke ist sie fast nicht vorhanden.

c) Lockere oder aufgebaute Oberflächenschichten, die überschneit und in die Schneedecke unverändert eingebaut werden, bilden für längere Zeit labile Zwischenschichten. Die dünne, von unten von der Aufbauenden Umwandlung angegriffene Schmelzharschschicht kann ebenfalls als Gleithorizont wirken.

d) Durch Windeinwirkung haben sich an der Oberfläche zwei Tribschneesichten unterschiedlicher Härte (zwei Härtegrade) übereinandergelegt. Der deutliche Sprung verrät hier, trotz gleicher Kornform, die Gefahrenstelle. Selbst bei gleichen Härtegraden bewirken zwei Tribschneesichten aus unterschiedlichen Windperioden eine sehr labile Situation. Die Schichtgrenze ist jedoch sehr schwer festzustellen.

Die folgenden Schichten sind als kritisch einzustufen:

- Schichtwechsel zwischen Alt- und Neuschnee
- lockere weiche Zwischenschicht (z.B. eine Reifschicht)
- Kontaktfläche zwischen Schwimmschneesicht und darüberliegender Schicht
- eingeschneite harte Schmelzharschschicht oder Eislamelle
- eingeschneiter Saharastaub



Dünne Schneedecke = weniger Gefahr?

Viele Skifahrer lassen sich von dem oft verhängnisvollen Irrtum täuschen, eine dünne Schneedecke sei weniger gefährlich: Ein schneearmer Winter schränke zwar die Talabfahrten ein, sei aber dafür sicherer.

Eine mächtige Altschneedecke ist in der Regel besser verfestigt als eine geringe und bildet ein sicheres Fundament. Dünnere Schneedecken sind temperaturempfindlich und bieten bei Strahlungswetter die besten Bedingungen für die Schwimmschneebildung. Aufgrund dieser Faktoren ereignen sich in schneearmen Wintern im Verhältnis wesentlich mehr Lawinenunfälle als in schneereichen.

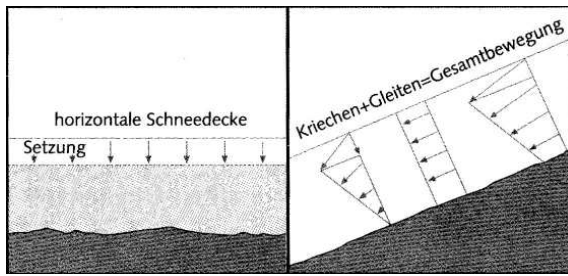
Bewegungen der Schneedecke

Durch Umwandlungsprozesse ist die Schneedecke immer in Bewegung.

In einer geeigneten Schneedecke gibt es drei Bewegungsformen:

- Setzen
- Kriechen
- Gleiten

In der Ebene spielt ein normales **Setzen** die größte Rolle. Durch die ungleichen Schichten treten vertikale Druckspannungen auf, die jedoch den Skifahrer nur primär berühren (Wumm- Geräusche bei Strukturbrüchen als Alarmzeichen).

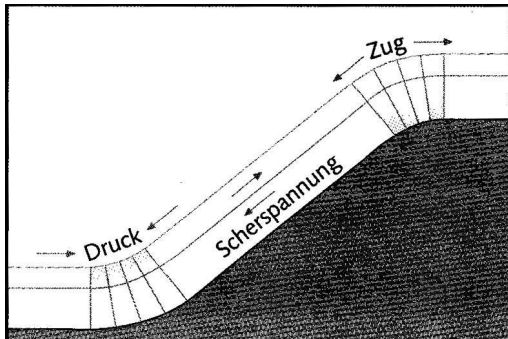


Auf geneigten Flächen sind die Verhältnisse und Vorgänge sehr viel komplizierter. Beim Zusammenwirken von lotrechter und hangparalleler Bewegung der Schneedecke spricht man vom **Kriechen**. Dabei kriechen die oberen Schichten schneller als die bodennahen, wobei zusätzliche Spannungen erzeugt werden. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung ist abhängig von der Hangneigung und der Schneebeschaffenheit. Rutscht dabei die gesamte Schneedecke auf glattem, oft nassem Untergrund ab (gut zu erkennen an bergschrund-artigen »Fischmäulern«), spricht man vom **Gleiten**.

Nehmen die Geschwindigkeiten zu, entstehen Zugkräfte (Zugzone), nehmen sie ab, entstehen Druckkräfte (Druckzone). Zwischen diesen Bereichen liegt die neutrale Zone.

Spannungen in der Schneedecke

Die Folge dieser Bewegungen sind unterschiedlich verteilte Druck-, Scher- und Zugspannungen in der Schneedecke.



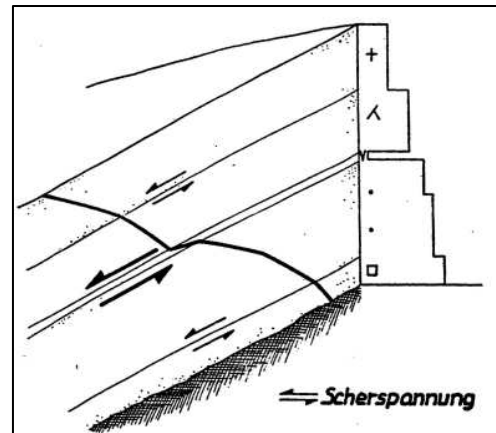
Das Setzen oder Kriechen, als dessen Resultierende, verläuft nicht in allen Schneeschichten gleich, dies hängt im Wesentlichen von der Verformungsfähigkeit der jeweiligen Schicht ab.

Es kommt an den Schichtgrenzen und schwachen Schichten zu Bewegungssprüngen und somit zu großen Spannungen.

- Die Spannung ist um so größer, je ausgeprägter der Härtesprung an der Schichtgrenze ist.
- Je dünner die schwache Zwischenschicht ist, desto kritischer wirkt sich die Scherspannung in ihr aus.
- Unterschiedliche, parallel zur Schichtung gerichtete Kräfte ergeben Scherspannungen.

Es gibt noch eine Reihe anderer natürlicher Gründe, die eine Veränderung der Zug-, Druck- und Scherspannungsverhältnisse bewirken und beim Erreichen der Festigkeit zum Bruch führen können:

- Veränderung der Schneehöhe, hauptsächlich durch Verfrachtung
- Gewichtszuwachs durch Schneefall oder auch Regen und Luftfeuchtigkeit
- Auftreten einer schwachen Zwischenschicht
- Setzen und Kriechen der trockenen Schneedecke erzeugt die größten Spannungen (»gespannte Fallen«).
- Je steiler der Hang, desto größer die Spannungen.
- Je größer die Vorspannung einer Schneedecke ist, desto kleiner kann die Zusatzspannung zur Auslösung sein.



Entstehung von Scherspannungen

Der Irrgarten der Spannungsverhältnisse wird noch unübersichtlicher, wenn wir uns die vielfältigen Geländeformen mit den zusätzlich wirksamen Faktoren (Bodenbeschaffenheit und Bewuchs) vor Augen führen. Es gibt kaum eine neutrale (spannungsfreie) Zone in der Schneedecke.

Stabilität der Schneedecke

Der Skitourengeher fragt sich, bevor er in einen steilen Hang einfährt: hält er oder hält er nicht? Er will wissen wie stabil dieser Hang ist. Das Problem dieses Skitourengehers ist, daß sich zwischen sicher und gefährlich eine große Grauzone befindet und sich diese lebenswichtige Frage relativ ungenau beantworten läßt.

Stabilität resultiert aus dem Verhältnis der Festigkeit zur Spannung.

$$\text{Stabilität} = \frac{\text{Festigkeit}}{\text{Spannung}}$$

- Ist der Faktor größer als 1, hat die Schneedecke eine gewisse Festigkeitsreserve
- ist der Faktor = 1, befindet sich die Schneedecke im labilen Gleichgewicht
- ist der Faktor kleiner als 1, müßte die Schneedecke eigentlich brechen.

Diese Stabilitätsbewertungen gelten immer nur für einen sehr kleinen Raum und können für einen ganzen Hang keinesfalls in dieser Form angewendet werden, da benachbarte Regionen Kräfte übernehmen oder weitergeben können. So können besonders instabile Stellen (Taschen, Orte geringster Stabilität) ihr Eigengewicht nicht an den Boden, sondern über Zusatzspannungen an die unmittelbare Umgebung übertragen.

Zwei unterschiedliche, voneinander unabhängige Festigkeiten sind für die Stabilität verantwortlich:

- Die primäre Festigkeit, Basisfestigkeit oder Haftreibung zwischen den Schichten (basale Scherfestigkeit) ist völlig unabhängig von der Härte der Schicht.
- Die sekundäre Festigkeit oder Randfestigkeit setzt sich aus Zug-, Druck- und seitlicher (lateral) Scherfestigkeit zusammen. Sie ist im Gegensatz zur basalen Festigkeit abhängig von der Härte der betreffenden Schichten (harte Schichten: hohe Festigkeiten, weiche Schichten: niedrige Festigkeiten).

Die in wechselnder Größenordnung und Zeitdauer zusammenspielenden Faktoren bewirken ein Mikroklima, das uns in der Beurteilung an die Grenzen der Vorhersehbarkeit stoßen läßt.

- Die basale Festigkeit (genügend Haftreibung an der Schichtverbindung) garantiert ein stabiles Gleichgewicht.
- Die Randfestigkeiten allein ergeben nur ein labiles Gleichgewicht.
- Ein Hang ist entspannt und im stabilen Gleichgewicht, wenn die Basisfestigkeit ausreicht, um auf allen Teilflächen das darüberliegende Eigengewicht der Schneedecke zu tragen.
- Ein Hang im labilen Gleichgewicht birgt die Gefahr einer Schneebrettauslösung, wenn größere Teilflächen so instabil sind, daß sie ihr Eigengewicht nicht tragen können.

Durch das Variieren der Schneedeckenstabilität ist mit drei von der Größenordnung her unterschiedlichen Abweichungen zu rechnen:

- lokale Abweichungen vom regionalen Durchschnitt
- Abweichungen innerhalb gleichartiger Hanglagen
- Abweichungen innerhalb eines Hanges

In jeder Schneedecke gibt es schwache und feste Teilflächen, nur die Anzahl und die Verteilung sind je nach Gefahrengrad verschieden. Man muß davon ausgehen, daß in einem allgemein stabilen Hang Teilflächen der Instabilität, sogenannte »Taschen« oder »Hot Spots«, eingelagert sind. Diese instabilen Flächen tragen ihr Eigengewicht nicht, werden aber durch die bestehenden Randfestigkeiten von den stabileren Teilflächen im labilen Gleichgewicht gehalten. Aufgrund der Messungen an

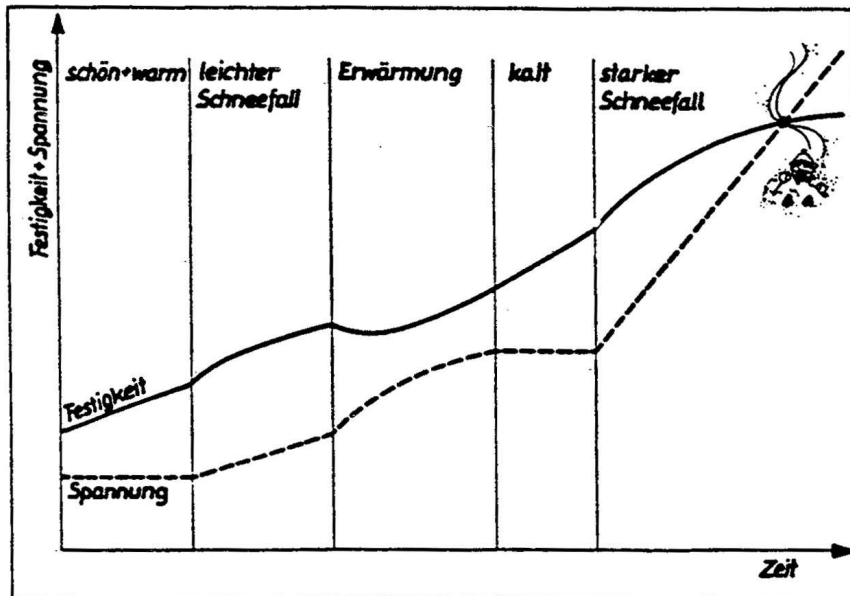
Schneebrettanrissen mit den verschiedensten Werten auf sehr engem Raum kann man sich in einem Hang die Stabilitätsverteilung vorstellen: Gleich einer Wetterkarte mit isobaren Gebieten verbinden isostabile Linien die Teilflächen mit gleicher Stabilität. Je nach Witterungseinfluß und Geländestruktur kann sich dieses Bild zu einem chaotischen Irrgarten entwickeln.

Die sogenannten Hot Spots benötigen einen bestimmten Grad der Störanfälligkeit, eine kritische Größe zur Auslösung. Dadurch kann ein Hang mehrere »unterkritische« Hot Spots enthalten und noch stabil sein. Dies kann erklären, warum manche Schneebretter mit Verzögerung oder erst nach der x-ten Gruppe abgehen, nämlich dann, wenn unterkritische Hot Spots zusammenwachsen. Wumm-Geräusche sind hörbare Zeichen dafür, daß zwischen zwei Schichten die Luft ausgepreßt wird. Die anschließende Druckwelle kann solide Schichten in stabilen Teilflächen durchschneiden und kritische oder überkritische Hot Spots entstehen lassen.

Gefährliche Spannungen bleiben Gott sei Dank nicht unverändert bestehen und lauern den ganzen Winter auf den Skifahrer, der da kommen wird.

- Spannungen bauen sich durch Setzungs- und Verfestigungsprozesse (Sinterung) allmählich temperaturbedingt ab, oder lösen sich bei weiterer Zunahme durch Bruch von alleine.
- Die Schneedecke bildet in Richtung der Beanspruchung hohe Festigkeiten aus, soweit genügend Zeit dazu vorhanden ist (z.B. können Wächten viel einfacher von unten als von oben abgesprengt werden).
- Das Begehen vorhandener Aufstiegsspuren bietet, soweit sich die Umfeldbedingungen nicht negativ verändert haben und das Entstehen der Spuren nicht zu lange zurückliegt und sie mit der gleichen Belastung begangen werden, eine gewisse Sicherheit. Es bleibt jedoch ein Restrisiko, da die genannten Bedingungen nicht immer bekannt sind.
- Während der Abfahrt kann die Spur nie ganz exakt eingehalten werden, eine Belastung eines unberührten Schneedeckenabschnittes ist also wahrscheinlich!
- Die Schneedecke muß sich an Zusatzspannungen anpassen und reagiert darauf mit einer vorübergehenden Stabilitätsverringerung, bevor sie an Festigkeit wieder zunimmt. Wenn sich Spannung und Festigkeit sozusagen überschneiden, kommt es zum Bruch.

Ruckartige Belastungen wirken stärker auf die Schneedecke ein als ruhige, gleichmäßige Belastungen. Interessant ist, daß ein Skifahrer im Vergleich zu einer Pistenraupe immerhin den halben Druck auf die Schneedecke überträgt.



Spannung und Zusatzspannung

In obenstehender Grafik wird das Verhältnis von Festigkeit und Spannungen unter der Einwirkung äußerer Einflüsse dargestellt. Zusatzspannungen führen die Kurven zueinander, verfestigende Einflüsse lassen sie auseinanderlaufen. Die Begegnung der Kurven zeigt den Lawinenanbruch an (z.B. Zusatzspannung Skifahrer).

Wettergeschehen und Lawinengefahr

Die Witterungseinflüsse tragen einen wesentlichen Faktor zur Lawinsituation bei. Sie wirken sich direkt und andauernd entweder positiv oder negativ auf die Lawinenbildung aus.

Die wichtigsten Wetterfaktoren in diesem Zusammenhang sind:

- Neuschnee
- Wind
- Temperatur

Neuschnee

Die Intensität bzw. Stärke der Niederschläge (Neuschneemenge pro Zeiteinheit) entscheidet primär über den Grad der Lawinengefahr. Sekundär ist dabei die Gesamtschneehöhe oder die gefallene Neuschneemenge einer Niederschlagsperiode. Bei hoher Niederschlagsintensität hält die Verfestigung des Neuschnees nicht Schritt mit der zunehmenden Eigenlast der Schneedecke, und es kommt früher oder später zur Entladung der überlasteten Hänge. Intensiver Schneefall, d.h. ergiebiger Niederschlag, ergibt über längere Zeit gemittelt 3–5 cm in der Stunde.

Kritische Neuschneemengen:

- 10–20 cm bei ungünstigen Bedingungen
- 20–30 cm bei mittleren Bedingungen
- 30–50 cm bei günstigen Bedingungen

- Geringe Neuschneemengen (10–15 cm) können in Verbindung mit stürmischen Winden, ungünstiger Oberflächenbeschaffenheit und tiefer Temperatur zu erheblicher lokaler Schneebrettgefahr führen.
- Andererseits ist es möglich, daß sich nach einem Großschneefall (150–200 cm innerhalb einer Woche) nur erhebliche allgemeine Gefahr ergibt, wenn die Schneefälle regelmäßig verteilt sind, in den Niederschlagspausen mäßige Erwärmung stattfindet und kein Wind Einfluß nimmt.
- Der gefahrenträchtigste Tag

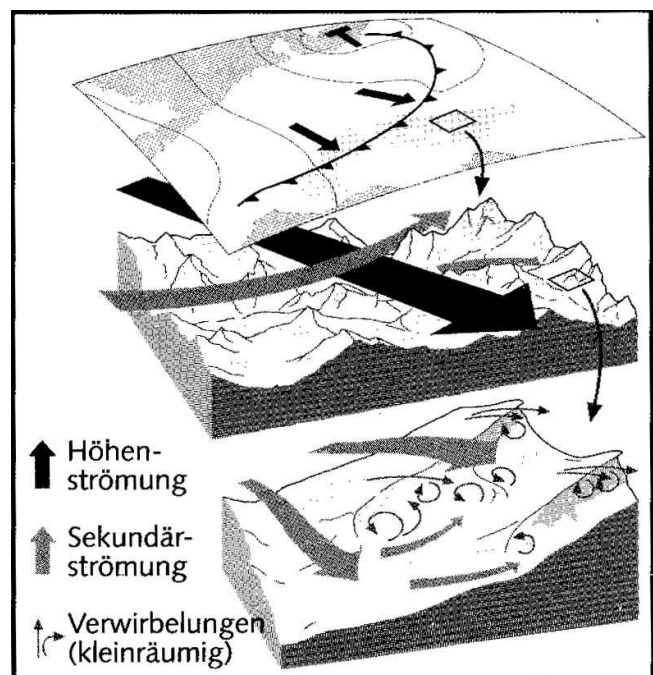
ist der erste schöne Tag nach einer Niederschlagsperiode. Hänge über 30° Neigung sollten gemieden werden!

Wind

Der Wind wird mit Recht als Baumeister der Lawinen bezeichnet. Die Schneeverteilung im Gelände ist, auf Grund der Schneeverfrachtung, weitgehend durch ihn beeinflusst. So muß in sehr vielen Fällen der Wind als der entscheidende Faktor bei der Beurteilung der Lawinengefahr berücksichtigt werden.

Windrichtung

- Um die Windrichtung beurteilen zu können, muß zwischen Höhen- und Bodenwinden unterschieden werden:
- Höhenwinde sind am Zug der hohen Wolken erkennbar. Sie zeigen die allgemeine Höhenströmung an.

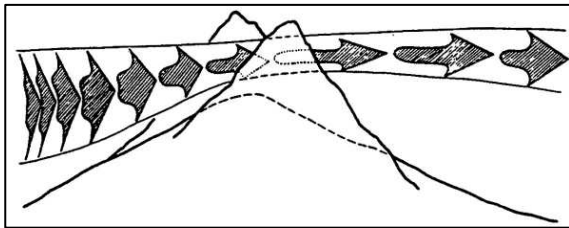


- Bodenwinde werden vom Gebirgsrelief und von der Geländestruktur entscheidend beeinflusst. Sie werden oft von der Hauptströmung in Nebenströmungen aufgeteilt und gelände-bedingt abgelenkt. Sie können quer oder entgegengesetzt zur Hauptströmung wehen und verursachen Schneeverfrachtungen.

Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit ist abhängig von verschiedenen Faktoren:

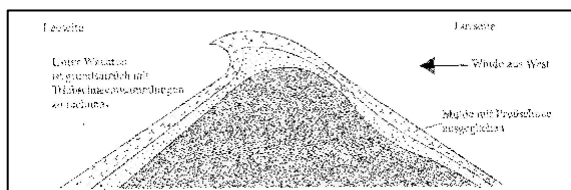
- Vom Druckunterschied und der Position der Hoch- und Tiefdruckgebiete sind hauptsächlich die Höhenwinde beeinflusst.
- Von der Geländestruktur werden die Bodenwinde beeinflusst. Strukturbedingt können die unterschiedlichsten Verhältnisse entstehen. Einschnitte (Scharten, Pässe, Jöcher) fördern den Düseneffekt: hier können stürmische Böen mit heftigen Turbulenzen auftreten, während hinter Kämmen absolute Windstille herrschen kann. Steht dem Wind ein Hindernis entgegen, entstehen Luv (Windseite) und Lee (Windschattenseite). Diese Faktoren sind dafür verantwortlich, daß die Strömung im Gebirge überwiegend verwirbelt verläuft.



Doppelter Düseneffekt durch Verengung

Schneeverfrachtung

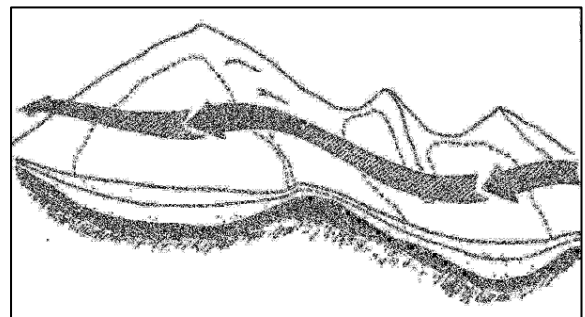
- Der Wind nimmt vor einem Hindernis im Luv, von der Schneeoberfläche oder, bei Schneefall, aus der Atmosphäre Schnee auf.
- Am Hindernis (z.B. ein Grat oder auch eine Hangversteilung) wird die Kraft des Windes gebrochen, es entstehen Verwirbelungen. Dadurch verringert sich seine Schleppkraft. Hinter dem Hindernis im Lee lagert sich der mitgeführte Schnee als Triebsschnee oder Packschnee (weiches Schneebrett) ab.
- Im Luv angestauter, sehr harter Schnee wird Preßschnee (hartes Schneebrett) genannt.



- Die Reichweite der Verfrachtung hängt von der Windgeschwindigkeit ab, sie kann ohne weiteres mehrere hundert Meter betragen.
- Eine spürbare Verfrachtung beginnt, bei lockerem Schnee, ab einer Windgeschwindigkeit von

15 km/h. Bei weiterem Ansteigen der Geschwindigkeit werden Kristalle auch aus einer verfestigten Schneeoberfläche herausgerissen. Stürmischer Wind wirkt wie ein Sandstrahlgebläse und fräst aus der Schneedecke Erosionsformen (z.B. Windgangeln) heraus.

- Die Verfrachtungsmenge steigt mit der Windgeschwindigkeit in der dritten Potenz. Das bedeutet die Verachtfachung der Schneemenge bei Windverdoppelung; bei einer Windverdreifachung gar das Siebenundzwanzigfache.
- Doppelter Düseneffekt durch Verengung und Kammlage des Winddurchschlupfes
- Schneeverfrachtung bewirkt den sogenannten Hangausgleich, Erhöhungen werden abgetragen und Vertiefungen aufgefüllt. Tatsache ist, daß der Skibergsteiger Vertiefungen im Gelände (z.B. Mulden und Rinnen) nicht mehr so gut erkennen kann. Dadurch entsteht grundsätzlich ein Unsicherheitsfaktor. In schneearmen Wintern ist man teilweise gezwungen, sich in diesen Gefahrenzonen zu bewegen.



Schneeverfrachtungen bilden grundsätzlich spannungsreiche Schneesichten. Dafür gibt es zwei Gründe:

- Unterschiedliche Schneehöhen erzeugen unterschiedlich große Setzungenbewegungen
- Verfrachteter Schnee verdichtet sich auf das zwei- bis vierfache. Die Kristallgröße verringert sich bis auf 1/10 der ursprünglichen Größe. Es entsteht eine dicht gepackte, spannungsreiche, jedoch spröde Schneesicht; ein äußerst lawinenaktiver Schnee.

Folgende typische Geländeformen und Schneestrukturen deuten auf eine potentielle Gefahrenstelle durch Windeinwirkung hin:

- Gipfelhänge und kammnahes Gelände allgemein;
- freie, ungegliederte Hänge;
- Hangrippe;
- Erosionsgraben, Rinne und Mulde
- Geländestufe, -schulter (Trogtal) oder Hangversteilung
- Versteilung oder Hangkante an einer Talverengung (Düseneffekt);
- Moränengelände besonders an der Innenseite;
- steiles Gletscherzungenende (Bergwinde).

Resumé Wind und Schnee:

Die meisten potentiellen Schneebretter entstehen durch Windeinwirkung während oder kurz nach einem Schneefall; sie entsprechen »gespannten Fallen«. Tribschnee lagert sich hauptsächlich auf der Windschattenseite (Lee) von Hindernissen ab. Dies bedeutet jedoch nicht, daß auf der Windseite nicht mit Tribschnee zu rechnen ist. Gerade am Auslauf von Geländevertiefungen (Steilstufen, Felswänden, Mulden und Rinnen) sind gefährliche Ablagerungen zu beachten.

Auch bei schönem Wetter, oft bei Windstille in tieferen Lagen, können Höhenwinde in höheren Regionen beträchtliche Schneemengen verfrachten.

Die Windstärke, die Menge der lockeren Schneeeauflage (nicht nur Neuschnee) und die Geländestruktur ist ausschlaggebend für die Mächtigkeit der Tribschneeeablagerungen.

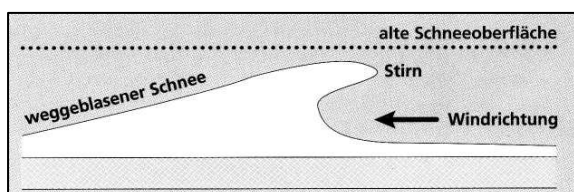
Faustregel zum Abschätzen der Mächtigkeit:

- doppelte Neuschneemenge bei mäßigem Wind
- dreifache Neuschneemenge bei starkem Wind

Durch die von der Geländestruktur vielfach abgeleiteten Bodenwinde ist in allen Expositionen mit Tribschneeeablagerungen zu rechnen.

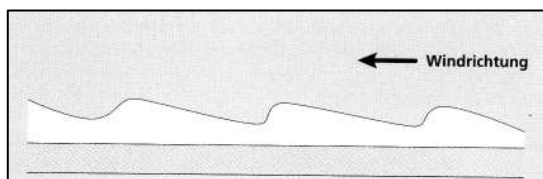
Zeichen für Tribschneeegefahr:

- Schneefahnen an Gipfeln, Graten und Rippen sind sichere Zeichen von Schneeeverfrachtung.
- Wächten krönen Ablagerungen auf der Windschattenseite.
- Windgangeln oder Zastrugis sind vom Wind ausgefräste Formen auf der Schneeoberfläche mit der Stirnseite gegen die Windrichtung.



Windgangeln (Zastrugis)

- Eine wellige Schneeoberfläche entsteht, wenn der Wind im rechten Winkel zu den Wellen geblasen hat.



Wellen oder Dünen im Querschnitt

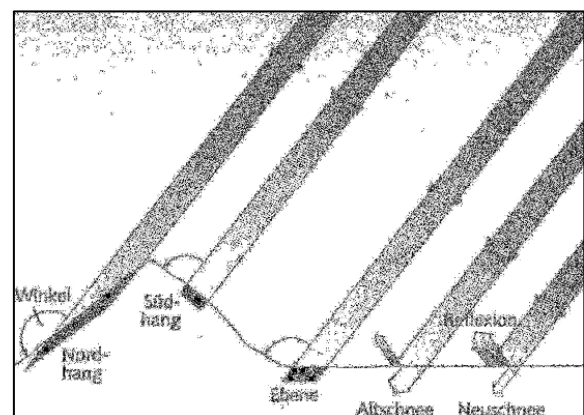
Wer die Windzeichen zu sehen und die Wirkungsweise verstehen gelernt hat, ist ein gutes Stück auf dem Weg zum sicheren Skibergsteigen vorangekommen.

Temperatur

Die Schneebeschaffenheit und somit die Lawinensituation werden in hohem Maße von den komplexen Wechselwirkungen der Temperatur beeinflusst. Die Auswirkungen eines steten Energieaustausches mit verschiedensten Einwirkungen auf die einzelnen Schichten lassen sich kaum beurteilen und ergeben prognostisch unlösbares Puzzle.

Einflüsse auf die Schneetemperatur:

- **Strahlung** Die auftreffende *Sonneneinstrahlung* wird zum Teil von der Schneeoberfläche reflektiert. Die Reflexion ist abhängig von der Schneebeschaffenheit; der Rest der Strahlung dringt je nach Größe der Schneekristalle bis zu 30 cm in die obersten Schneeschichten ein. Neben der Sonnenstrahlung ist auch die *Wärmestrahlung* von Bedeutung: Die Schneeoberfläche gibt Wärme an die Luft ab und kühlt sich dadurch ab. Als *Globalstrahlung* wird die direkte Einstrahlung plus die indirekte Strahlung aus dem Weltraum bezeichnet. Die indirekte Strahlung wirkt sich auch auf Schattenhänge aus. Die Auswirkung der Globalstrahlung auf die Schneedecke (im Hochwinter in Hängen von 30° bis 40° Neigung) zeigt in den unterschiedlichen Hangexpositionen bei unterschiedlicher Dauer die gleiche Wirkung.
- **Wärmeaustausch:** Ein stetiger Wärmeaustausch findet zwischen der Schneedecke und der Atmosphäre statt. Je nach Temperaturverteilung kann Wärme vom Schnee an die Luft oder umgekehrt abgegeben werden. Der Wind spielt dabei eine entscheidende Rolle.
- **Dampfaustausch:** Der Austausch der Feuchtigkeit zwischen Schnee und Luft erfolgt in den Phasen gasförmig, flüssig und fest.
- **Massenaustausch:** Die Temperatur der Schneedecke wird durch Niederschläge beeinflusst.
- **Bodenwärme:** Auch sie hat Auswirkungen auf die Schneedecke.

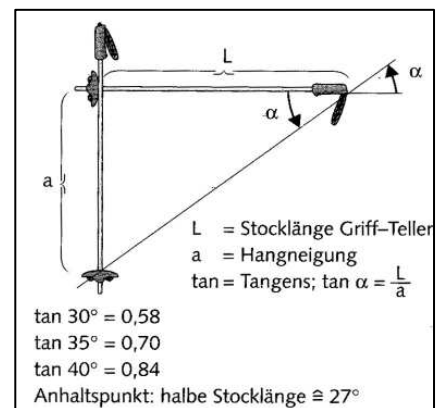


Strahlung und Reflexion

Beurteilbare Wirkungen der Temperatur:

- Schnelle und massive Erwärmung erhöht die Gefahr kurzfristig.
 - Langsame und stetige Erwärmung bewirkt eine kontinuierliche Setzung und Entspannung der Schneedecke.
 - Tiefe Temperaturen konservieren Gefahren, da sich Spannungen nicht abbauen können.
 - Abkühlung verfestigt feuchte und durchnässte Schneedecken.
 - Andauerndes Strahlungswetter (Schönwetter bei niedrigen Temperaturen) fördert die Reif- und Schwimmschneebildung.
 - Der Gefahrengrad im Frühjahr verläuft meist parallel zum Sonnenstand. Die Temperaturschwankungen über den Tagesverlauf wirken sich je nach Schneebeschaffenheit nur 10–30 cm tief auf die oberen Schichten aus.
 - Im Normalfall nimmt die Temperatur mit zunehmender Höhe gleichmäßig ab. Der vertikale Temperaturgradient schwankt zwischen 0,4 °C pro 100 m bei sehr feuchter und 1 °C bei sehr trockener Luft. Für die Beurteilung kann ein Durchschnittswert von 0,65 °C auf 100 m angenommen werden.
 - Bei einer Inversionslage (oben warm, unten kalt) verläuft der Temperaturgradient umgekehrt.
 - Die Schneefallgrenze liegt im Durchschnitt ca. 300 m unter der Null-Grad-Grenze. Wenn es in einer Höhe von 1000 m bei einer Lufttemperatur von 1,5 °C gerade noch schneit, liegt die Null-Grad-Grenze auf etwa 1300 m.
- Die meisten Schneebrettlawinen entstehen bei einer Hangneigung von mindestens 30°. Bei ungünstigen Bedingungen (labiler Schneedeckenaufbau, Witterung) kann dieser Wert auf 25° absinken.
 - Grundsätzlich müssen Neigungen von 30–45° als kritisch eingestuft und dementsprechend beurteilt werden.
 - Hänge ab 45–50° sind meist zu steil für die Bildung von Schneebrettlawinen. In steilerem Gelände entlädt sich der Neuschnee bereits während des Schneefalls.
 - Bei Windeinwirkung können sich jedoch auch in so steilem Gelände Preßschneeanisammlungen halten.

Das Erkennen der kritischen Hangneigung ist eine elementare Voraussetzung für die vorausschauende Tourenplanung und für ein sicherheitsbewußtes Bewegen im Gelände. Bei der Tourenplanung kann die Steilheit aus der Karte anhand des Abstands der Höhenschichtlinien ermittelt werden.

**Das Gelände**

Das Gelände ist mit all seinen Formen und Strukturen einerseits als lawinenfördernder Faktor einzustufen, andererseits ist das Geländere Relief des Gebirges der einzige Faktor, der beurteilbar ist.

Geländeneigung

Die Geländeneigung ist für eine Lawinenauslösung ausschlaggebend. Voraussetzung für eine Schneebrettlawine ist die entsprechende Steilheit in der Anrißzone.

Skifahrer und Lawinen bewegen sich in der gleichen Hangneigung. Um eine Konfrontation zu vermeiden, müßte der Skifahrer (oder die Lawine) in ein anderes Gelände ausweichen. Jedoch ist das Skifahren oberhalb 50 Grad Steilheit nur wenigen Spezialisten vorbehalten und unterhalb der 25 Grad Steilheit nicht so interessant.

Im Gelände sollte man sich im Schätzen der Hangsteilheit üben; die erreichbare Genauigkeit ist erstaunlich. Als Hilfsmittel dienen Neigungsmesser und die Skistockmethode (als Anhaltspunkt gilt: halbe Stocklänge entspricht 27°).

- Bei ökonomischem und kraftsparendem Aufstieg stellt man bei ca. 30° auf Spitzkehren um.
- Felsdurchsetzte Hänge sind immer steiler als 40°.
- Moränen sind um die 40° steil.
- In Couloirs und Rinnen sind die Seitenwände wesentlich steiler als die Achse, die man auf der Karte bestimmen kann.
- Bei der Neigungsbestimmung aus der Karte können S-förmige Geländestrukturen falsche Werte ergeben (auf kurze Distanzen kann nur der Durchschnittswert ermittelt werden, im Gelände können die Passagen erheblich steiler sein).

Steilheit	unter 30°	bis 35°	bis 40°	bis 45°	bis 50°	über 50°
Unfälle	2,5%	13,5%	34%	34%	13,5%	2,5%

- Durch die Schneedecke ragende Felsen und Steine können in der Schneedecke wie die Löcher eines perforierten Kalenders wirken und eine mögliche Abrißlinie vorgeben.
- Glatter und regelmäßiger Untergrund wie Bergwiesen (langes Gras mehr als Stoppelwiese), Gletscherschliffe und Felsplatten gelten als ideale Gleitfläche.

Vegetation

Die Vegetation als lawinenhemmender Faktor wird in den meisten Fällen vom Skifahrer überschätzt. In der Regel ist es so, daß auf den Hängen, wo die Vegetation Sicherheit bietet, der Bewuchs so dicht steht bzw. so hinderlich ist, daß man nicht mehr Ski fahren kann.

- Den besten Lawinenschutz bietet dichter Hochwald mit genügend Jungbäumen. Er kann (fast) als lawinensicher gelten. Der Schnee wird teilweise auf den Bäumen abgelagert und somit die Bildung einer homogenen Schwachschichtbildung verhindert. Herabfallender Schnee löst lediglich kleine Rutsche aus.
- Die Stämme eines lichten Lärchen- und Laubwaldes wirken wie herausragende Felsen und haben keinerlei Schutzwirkung.
- Tiefwurzelnde Baumarten, die kleineren Lawinen trotzen (wie ebenfalls die Lärche) täuschen durch ihre Stabilität eine erhöhte Sicherheit vor.
- Strauchvegetation ist in den Abrißzonen nur hemmend, wenn sie nicht zugeschnitten ist. Zudem fördert sie, bedingt durch die vielen Hohlräume, die Schwimmschneebildung.
- Waldlichtungen und Waldschneisen bieten keinen Schutz. Gerade Schneisen müssen als typische Lawinenbahnen (oft steile Flanken und großes Einzugsgebiet) bezeichnet werden.

Faktor Mensch

Der Mensch wurde bislang nicht als lawinenbildender Faktor bezeichnet und sträflich vernachlässigt. Beim Versuch, seine Gedankengänge und sein Verhalten im Gebirge unter psychologischen Aspekten aufzuarbeiten, gerät man sicherlich schneller in einen Irrgarten als beim Beurteilen aller anderen Faktoren, die die Lawinenbildung beeinflussen.

Gerade er ist aber der ausschlaggebende Faktor in der Lawinenkunde. Er geht freiwillig, bewußt oder unbewußt, ein immer vorhandenes Risiko ein. Er bewegt sich mit mehr oder weniger umfangreichem Wissen, Können und entsprechender Erfahrung im winterlichen Hochgebirge. Er fühlt sich stark in der Gemeinschaft der Gruppe und erhöht seine Risikobereitschaft. Er meint, alles zu wissen, glaubt die Lawinengefahr beurteilen zu können und gaukelt doch nur in einer Grauzone.

Wer im winterlichen Hochgebirge die allgegenwärtige Lawinengefahr selbständig abschätzen, beurteilen und folgerichtige Entscheidungen treffen will, um das Risiko zu minimieren, muß über vielfältige Kenntnisse und Fähigkeiten verfügen:

- Wissen über Wetter- und Schneekunde
- selbständiges und eigenverantwortliches Denken
- scharfe Beobachtungsgabe
- gutes Gedächtnis und schlüssiges analogisches Denken für den Vergleich mit früheren, ähnlichen Situationen
- ganzheitlich-vernetztes Denken, um komplexe und dynamische Vorgänge zu durchschauen
- kritische Selbsteinschätzung
- schnelle Entscheidungsfähigkeit in kritischen Situationen
- gute Führungseigenschaften
- taktische Fähigkeiten
- gute Orientierungsfähigkeit
- ausreichende Kondition und praktisches Können
- als wertvollste Eigenschaften langjährige alpine Erfahrung und Intuition

Die alpine Erfahrung muß man sich erarbeiten, sie kommt nicht von selbst durch das Unterwegssein. Nur wer über lange Jahre selbständig und eigenverantwortlich auf Tour war, bewußt alle positiven und negativen Einflüsse gespürt, aufgenommen und diese selbstkritisch verarbeitet hat, besitzt diese überaus wertvolle Erfahrung.

Die alpine Erfahrung ist die Voraussetzung, um sich in bestimmten Situationen auf die Intuition verlassen zu können.

Die Intuition ist die Fähigkeit, bei unvollständigen und widersprüchlichen Informationen richtig zu entscheiden. Intuition ist die Essenz von selbstkritisch erarbeiteter Erfahrung, gespeicherten Gefühlen und noch erhaltenem Urinstinkt. Wer über die dementsprechende Erfahrung verfügt, sollte seine Intuition nicht verdrängen, vor allem dann nicht, wenn damit früher schon positive Entscheidungen erzielt wurden.

Defensive Haltung vor überzogener Risikobereitschaft ist ein wichtiger Schlüssel zur Verminderung des Lawinenrisikos. Die Gruppendynamik führt bei größeren Gruppen (vornehmlich beim Variantenski fahren) oft zu einer höheren und unverantwortbaren Risikobereitschaft.

In folgenden Situationen werden oft hohe Risiken eingegangen:

- nach früheren Mißerfolgen
- bei Wettbewerbsdenken
- unter autoritärer Führung, wenn den Beteiligten kein Mitspracherecht eingeräumt wird
- wenn »Spezialisten« unterwegs sind

Spezielle Lawinenkunde

Lawinenarten

Es wird grob zwischen zwei Lawinenarten unterschieden. Die Schneebrettlawine ist als die für den Skifahrer gefährlichste Lawine zu bezeichnen und wird auch meist von ihm ausgelöst. Sie hat einen breiten linearen Anriß.

Die Lockerschneelawine entsteht in der Regel durch Selbstauslösung und hat einen punktförmigen Anriß an der Schneeoberfläche.

Schneebrettauslösung

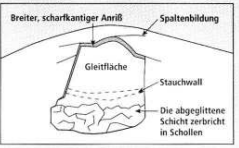
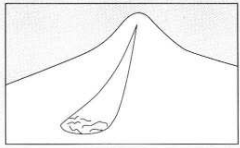
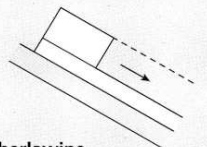
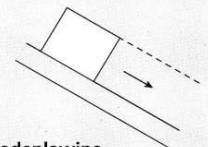

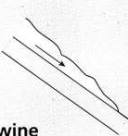
Arten der Auslösung

Als Skifahrer unterscheiden wir zwischen zwei verschiedenen Arten der Schneebrettauslösung. Die spontane Auslösung hat natürliche Ursachen, sie geschieht ohne Einwirkung des Menschen. Sie wird als Selbstauslösung bezeichnet.

Die provozierte Auslösung kann sich unbeabsichtigt oder vorsätzlich vollziehen.

Die unbeabsichtigte Auslösung dürfte hierbei die Regel sein. Unerwartet und plötzlich wird der Skifahrer überrascht, wenn er durch sein Gewicht Zusatzspannungen erzeugt und somit die Schneedecke überbeansprucht, so daß es zum Bruch kommt. Die vorsätzliche Auslösung durch Skifahrer ist die Ausnahme. Überaus erfahrene Skibergsteiger können in bestimmten Situationen innerhalb eines kalkulierbaren Risikos versuchen, gewollt ein Schneebrett auszulösen (z.B. vor dem Einfahren in räumlich eng begrenzte Geländepassagen wie Rinnen, Couloirs usw.), um dieses Gelände dann sicher befahren zu können.

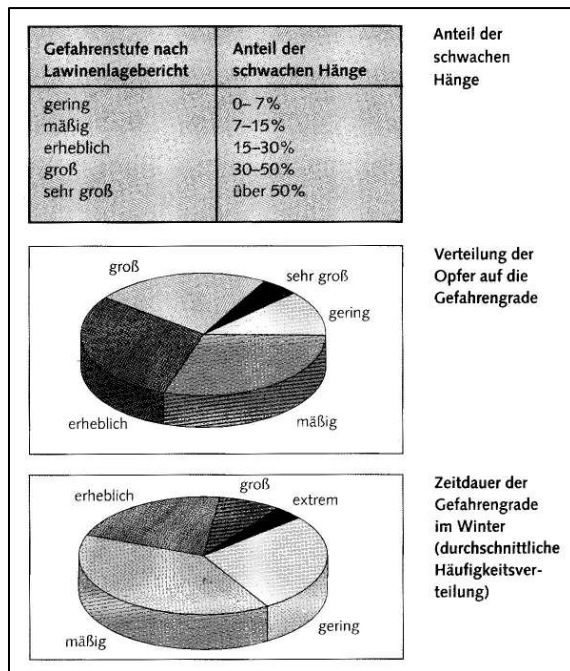
- Bei der Fernauslösung befindet sich der Auslösepunkt weit außerhalb der Abrißzone. Das ist typisch bei großer lokaler Schneebrettfahrer.
- Bei der Nahauslösung befindet sich der Auslösepunkt nahe der Abrißzone.

Lawinenklassifikation und Begriffsbestimmung		
Äußeres Merkmal	Unterscheidung und Namensgebung	
Form des Anrisses	linienförmig, scharfkantig, senkrecht zur Gleitfläche 	punktförmig 
	❖ Schneebrettlawine	❖ Lockerschneelawine
Lage der Gleitfläche	innerhalb der Schneedecke 	auf dem Boden 
	❖ Oberlawine	❖ Bodenlawine
Form der Bewegung	vorwiegend stiebend 	vorwiegend fließend 
	❖ Staublawine	❖ Fließlawine
Feuchtigkeit des abgleitenden Schnees	trocken ❖ Trockenschneelawine	naß ❖ Naßschneelawine
Form der Bahn (Querprofil)	flächige Bahn ❖ Flächenlawine	runsenförmige Bahn ❖ Runsenslawine
Länge der Bahn	vom Berg ins Tal ❖ Tallawine	am Hangfuß zum Stillstand kommend ❖ Hanglawine
Art des Schadens	Heimstätte, Hab und Gut, Verkehr, Wald ❖ Katastrophen- oder Schadenlawine	Skifahrer und Bergsteiger im freien Skigelände ❖ Touristen- oder Skifahrerlawine
Art des anbrechenden Materials	Schnee ❖ Schneelawine	(Gletscher-) Eis ❖ Eislawine (Gletscherabbruch)

Zwischen der Schneebrettauslösung (Störung) und dem eigentlichen Lawinenabgang kann eine gewisse Zeit verstreichen (oft einige Minuten); verzögerte Auslösung.

Die Hauptursachen für eine Schneebrettauslösung sind:

- schnelle oder stetige Gewichtszunahme
- Festigkeitsabnahme der Schneedecke durch Erwärmung
- Spannungszunahme durch Bewegungen der trockenen Schneedecke
- plötzliche Erschütterungen
- Gewichtskonzentration auf eine kleine und labile Teilfläche
- Aufschaukeln durch Schwingungen



Natürliche Alarmzeichen

Situationen, die eine akute Gefahr mit einer labilen Schneedecke aufweisen, sind mit Erfahrung erkennbar. Bei mittleren Gefahrengraden, in denen sich gute und schlechte Anzeichen die Waage halten, ist die Beurteilung überaus schwierig. Eindeutige Beweise für die Lawinengefahr ist nur die Lawinertätigkeit selbst. Fehlt dieser Beweis, gibt es nur indirekte Signale.

Notwendig und hinreichend:

- Wumm- Geräusche (nur wahrnehmbar für den Spurenenden)
- Zischen bei dünner labiler Oberflächenschicht

Hinreichend, aber nicht notwendig (überbestimmt):

- Fernauslösungen
- Spontanlawinen
- überschreiten der kritische Neuschneemenge
- plötzliche und massive Erwärmung

Notwendig, aber nicht hinreichend (unterbestimmt):

- steilste Hangpartie über 30°
- gebundener Schnee auf Gleitfläche

Weder notwendig noch hinreichend:

- Ausbrechen des Spurkeils bei Spitzkehren
- Triebsschnee
- Schwimmschnee
- Exposition
- Geländeform

Zuverlässige Alarmzeichen sind:

- Wumm- Geräusche und Risse beim Betreten der Schneedecke
- spontane Schneeabtreter
- Fernauslösungen

Praktische Schneedeckenuntersuchungen

Es gibt verschiedene praktische Testverfahren zur Beurteilung der Schneedecke. Sie können vor Ort mit mehr oder weniger großem Zeitaufwand angewendet werden. Da alle Schneedeckenuntersuchungen Punktmessungen sind, müssen diese auch in ihrer Aussagekraft als solche gewertet werden. Jede derartige Gefahrenereinschätzung hat den Wert einer Prognose mit der entsprechenden Irrtumswahrscheinlichkeit.

Problematik der punktuellen Testmethoden:

- In einem Hang die aussagekräftigste Stelle für einen Test zu finden ist unmöglich. Dennoch muß versucht werden, eine möglichst repräsentative Stelle zu finden.
- Die Übertragbarkeit des Testergebnisses auf andere Teilflächen des Hanges muß immer angezweifelt werden.
- Die Gretchenfrage nach dem Test verdeutlicht die Problematik: Wurde eine stabile Stelle in einem labilen Hang getestet oder eine labile Stelle in einem stabilen Hang?

Schaufeltest

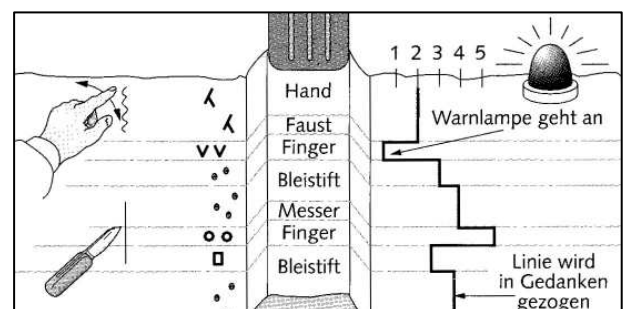
- Information: über die Kohäsion an diesem Punkt
- Aussage: Schnee gebunden oder ungebunden
- Ausrüstung: Schaufel
- Zeitbedarf: keine Minute

Ausführung:

- Mit der Schaufel wird ein Schneeblock ausgestochen.
- Zerfällt dieser Block bei leichtem Schütteln, ist der Schnee noch ungebunden.

Handprofil

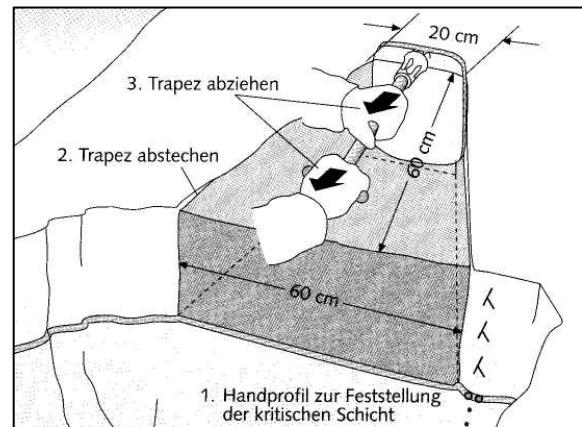
- Information: über den Schichtaufbau und die Randfestigkeiten an diesem Punkt
- Aussage: Kritische Schichten sind an diesem Ort vorhanden oder nicht vorhanden. Die Höhe der Randfestigkeiten können ausreichen oder nicht.
- Ausrüstung: Schaufel, Bleistift, Messer
- Zeitbedarf: je nach Tiefe ca. 10 Minuten



Bestimmung der Schichtenhärte beim Handprofil

Ausführung des Handprofils:

- Es wird eine repräsentative, aber sichere Stelle ausgewählt.
- Die Schneedecke wird in Schaufelbreite lotrecht aufgegraben. Die Tiefe hängt davon ab, ob Informationen nur über die oberen oder auch über tiefer gelegene Schichten benötigt werden (ist bekannt, daß die Basis der Schneedecke stabil und gut verfestigt ist, genügen die oberen Schichten).
- Die abgestochene Fläche wird geglättet, und mit einem Finger oder Pinsel werden gefühlvoll die einzelnen Schichten herausgearbeitet.
- Mit unterschiedlich großen Eindruckflächen (Faust bis Messer) werden unter leichtem Druck die Schichthärten festgestellt.



Norwegertest

Härte	Bezeichnung	gleicher Druck mit
1	sehr weich	Faust
2	weich	Hand (vier Finger)
3	mittelhart	ein Finger
4	hart	Bleistift
5	sehr hart	Messer
6	kompakt (Eis)	–

Norwegertest/Schaufeltest

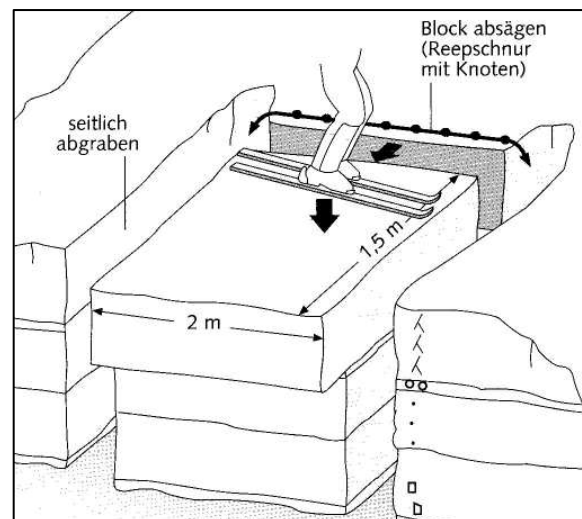
- Information: über die basale Stabilität an diesem Punkt
- Aussage: Die basale Stabilität ist an diesem Ort fest, mittel oder schwach und bestätigt das Ergebnis des Handprofils.
- Ausrüstung: Schaufel
- Zeitbedarf: ca. 10 Minuten

Ausführung:

- Über das in diesem Falle obligate Handprofil wird die kritische Schichtgrenze festgelegt, die getestet werden soll.
- Ein Trapez (60 x 60 x 20 cm) wird abgestochen, wobei die harten Schichten nicht durchstoßen oder beschädigt werden dürfen.
- Mit der abgewinkelten Schaufel wird versucht, das Trapez auf der jeweiligen Schichtgrenze abzuziehen.

Rutschblock

- Information: über basale Stabilität und Schneedeckenaufbau an diesem Punkt
- Aussage: Die basale Stabilität ist an diesem Ort fest, mittel oder schwach.
- Ausrüstung: Schaufel, Reepschnur
- Zeitbedarf: in der Gruppe ca. 20 Minuten



Rutschblocktest

Ausführung:

- Wahl einer repräsentativen, aber sicheren Stelle
- Das Testgelände muß eine Steilheit von über 30° aufweisen.
- Die Schneedecke wird auf einer Breite von Rutschblock ca. 3 m lotrecht abgegraben.
- Es kann nun ein Handprofil gemacht werden.
- Block kennzeichnen (Basis 2 m, Tiefe 1,5 m)
- Der Block wird beidseitig abgegraben.
- Mit einer Reepschnur wird der Block abgesägt.
- Die Belastung erfolgt nun in verschiedenen Abstufungen.

Belastungsstufe	Abgang bei	Stabilitätsklasse
1 spürbar	beim Sägen (ohne Zusatzlast)	schwach
2 Teilast	beim behutsamen Darauftreten mit Ski	
3 Vollast	bei voller Belastung durch Skifahrer	
4 Wippen	bei kräftigem Wippen 4 x	mittel
5 Sprung an Ort	beim Aufspringen an Ort 4 x	
6 Sprung von oben	bei Sprung von oben	
7 kompakt	bei Sprung von oben	stark

Tests am Wegesrand

Spuren ist Spüren, unter diesem Grundsatz sollte der Test am Wegesrand stehen. Beim Spuren kann der erfahrene Tourengeher, vorausgesetzt seine Sinne sind geschärft und wach, wertvolle Zeichen erkennen. Der Test am Wegesrand sollte jedem Skifahrer zur Gewohnheit werden.

Schneefeuchtigkeit, Härtewechsel, plötzliches Setzen, Wumm- Geräusche, tiefes Durchbrechen der Spur (Schwimmschnee) sowie Zustand des Spurstegs (Schnee gebunden, wenn der Steg stehen bleibt, oder noch ungebunden, wenn sich kein Steg bildet) können während der Spuranlage festgestellt werden.

Der **Spurkeil** kann Aufschlüsse über die Verbindung zwischen der obersten und der darunterliegenden Schicht geben. Wenn beim Weitergehen nach einer Spitzkehre die oberste Schicht keilförmig abrutscht, ist dies ein Zeichen für eine schlechte Verbindung. Die Mächtigkeit der obersten Schicht entscheidet, ob dieses Abrutschen als Alarmzeichen ausreicht. Bilden sich dazu fortlaufende Risse in der Schneedecke, ist dies ein sicheres Alarmzeichen.

Beim **Böschungstest** kann an exponierten Passagen eine mögliche Störanfälligkeit der obersten Schneeschicht getestet werden. An Hangkanten und markanten Geländeversteilungen wird noch im sicheren Bereich durch festes Aufstampfen oder Springen ein Abriß provoziert.

Der **Stocktest** kann Aufschluß über weichere Schichten, Hohlräume und über die allgemeine Verfestigung verschaffen. Er gibt jedoch keine Informationen zur basalen Festigkeit (Haftreibung zwischen den Schichten). In der Regel drückt man den Stock mit der Tellerseite durch die Schichten. Ist der Widerstand zu groß, kann auch gefühlvoll das Griffende benutzt werden.

