

## Schneekunde

Wilfried Ertl, Lawinenwarndienst Kärnten

### Zusammenfassung

Die Schneekunde hat zum Ziel, die Entstehung des Schnees, der Eiskörner und Kristalle zu erläutern, sowie Eiskörner und Eisbindungen in der Schneecharakteristik zu beschreiben. Im Gelände beschränkt sich die Charakterisierung auf das Erkennen und Beschreiben der Kornformen. Dieses Skriptum soll den Zusammenhang zwischen Beschreibung und Entstehung der verschiedenen Formen verdeutlichen.

### \* Schnee

ist zwei Erscheinungsformen von festem Wasser.

⇒ *Niederschlag*

in verschiedenen kristallisierten Formen von Eis der aus der Atmosphäre fällt.

⇒ *Ablagerung*

als poröser Stoff am Boden und seiner Pflanzendecke und auf Bauwerken.

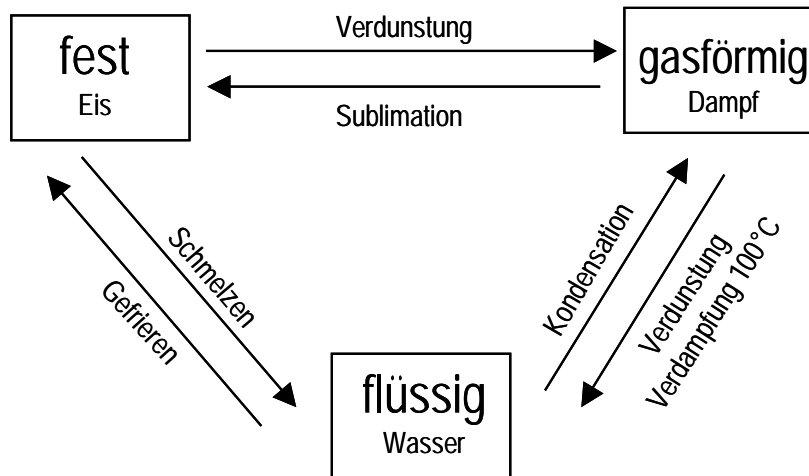
Die Ablagerung besteht aus der

- *festen Phase*  
dem Eis in Form von Schneekristallen oder –körnern und den dazwischenliegenden Poren, welche mit Luft, der
- *gasförmigen Phase* gefüllt sind. Aber sie könne auch Wasser als
- *flüssige Phase* enthalten

### \* Entstehung von Schnee

Die Schneebildungsvorgänge sind in enger Verbindung mit den Aggregatzuständen von Wasser.





Dabei spielen die Vorgänge in Zusammenhang mit der Luftfeuchtigkeit eine wesentliche Rolle. In der Luft befindet sich unsichtbarer Wasserdampf. Je höher die Lufttemperatur ist, desto mehr Wasserdampf kann von der Luft aufgenommen werden. Die Menge des Wasserdampfes in der Luft wird als *Dampfdruck* bezeichnet. Wenn die Luft gesättigt ist, kann kein weiterer Wasserdampf mehr aufgenommen werden. (*Sättigung*). Der Sättigungsdruck hängt dabei im Wesentlichen von drei Größen ab:

⇒ *Temperatur*

mit steigender Temperatur wird der Sättigungsdruck größer

⇒ *Art der Grenzfläche zwischen zwei Stoffen*

z.B. sind die Moleküle im Eis an einer Eis-Luftgrenzfläche stärker gebunden als etwa im Wasser an einer Wasser-Luftgrenzfläche. Daher ist der Sättigungsdruck über Eis geringer als über Wasser

⇒ *Krümmung der Grenzflächen*

Über konvexen Grenzflächen ist der Sättigungsdruck höher als über ebenen und hier ist er höher als über konkaven Flächen.

Der *Taupunkt* wird durch Abkühlung einer ungesättigten Luftmasse bis zur *Kondensation* erreicht. Auch die *Unterkühlung* spielt eine wichtige Rolle, denn Wasserdampf kann unter dem *Taupunkt* abgekühlt werden ohne dass es zur Kondensation kommt. Kondensation findet erst dann statt, wenn ein *Kondensationskern* vorhanden ist. Wassertröpfchen gefrieren beim Unterschreiten des Gefrierpunktes  $0^{\circ}\text{C}$  nicht von selbst, sondern werden weiter unterkühlt. Erst bei  $-39^{\circ}\text{C}$  würden diese spontan gefrieren.

Für die Entstehung von Schnee sind daher im wesentlichen folgende drei Bedingungen verantwortlich

- ⇒ *Temperatur unter 0°C*
- ⇒ *entsprechende Luftfeuchtigkeitsverhältnisse*
- ⇒ *Kondensationskerne*

### \* Schneekristalle

Beim Übergang zur Festen Phase von Wasser, werden Wassermoleküle in Kristallgitter eingebaut. Regelmäßige Formen welche bei Eis sechswinkelig sind und hexagonal genannt werden. Obwohl nur ein Kristallsystem vorliegt gibt es mehr als 6000 Kristallformen. Zur Vereinheitlichung der Bezeichnung wurde ein Klassifikationssystem für Niederschlag und abgelagerten Neuschnee eingeführt. Folgende Kristallformen werden daher unterschieden und haben eine wesentliche Bedeutung im Bezug auf Gefüge und Festigkeit.

- ⇒ Säulen
- ⇒ Nadeln
- ⇒ Plättchen
- ⇒ Sterne, Dendriten
- ⇒ Unregelmäßige Kristalle
- ⇒ Graupeln
- ⇒ Hagel
- ⇒ Eiskügelchen

Die Bildung von Schneekristallen in der Atmosphäre findet in Wolken statt. Durch unterkühlte Wassertröpfchen, Wasserdampf und kleinste Eiskristalle. Schneekristalle entstehen dabei durch

- ⇒ *Sublimation*

Von den unterkühlten Wassertröpfchen werden wegen des höheren Dampfdruckes, Wassermoleküle abgegeben, welche sich an den Eiskeimen durch Sublimation anlagern. Diese wachsen dann entlang einer Kristallachse zu Plättchen oder Sternen.

- ⇒ *Gefrieren*

Unterkühlte Wassertröpfchen stoßen mit Eiskristallen zusammen und frieren an diesen fest

Bei Erreichen einer kritischen Größe fallen dies aus den Wolken können wieder auftreiben und verändern sich während ihres Fallens ständig.

**\* Schneeflocken**

Bestehen aus mehreren ineinander verhakten oder aneinander gefrorenen Kristallen und können Zentimetergröße erreichen.

**\* Reif und Rauheif**

Stellt eine weitere feste Form des abgelagerten Niederschlages dar. Reif schlägt sich an der kalten Boden oder Schneeoberfläche oder an festen Körpern nieder, wenn durch Abkühlung der Lufttemperatur der Reifpunkt unterschritten wird und Wasserdampf aus der übersättigten Luft zu Eis sublimiert. Er ist durch flächige, plattenförmige oder federartige Kristalle gekennzeichnet.

⇒ *Oberflächenreif*

auf der Schneeoberfläche

⇒ *Rauheif*

auf Gegenständen besonders durch Windeinwirkung

**\* Schneefall**

Schneeflocken oder Schneekristalle sinken in der Luft zu Boden (Schneefall) wo sie sich ablagern. Dabei kann er Luftschichten mit über 0°C durchfallen ohne dass es schmilzt, da der Wärmeentzug nicht ausreicht. Daher kann die Schneefallgrenze unter der Nullgradgrenze liegen.

**\* Schneewandlung (Schneemetamorphose)**

Folgende physikalische Gesetze sind für die Umwandlung von Schnee verantwortlich

⇒ *Das Bestreben der Eiskristalle*, die Form mit der kleinstmöglichen Oberfläche (Kugel) einzunehmen.

Moleküle sind nur in einer Richtung stärker verankert (Kristall – Luft) und daher leichter beweglich als im inneren des Kristalles.

An konvexen Stellen ist die Energie größer als an konkaven

⇒ *Die Wasserdampfdruckverhältnisse*

wegen der schwachen Bindung der Moleküle in der Kristalloberflächenschicht kommt es leicht zum Verdunsten von Wassermolekülen. Durch den höheren Dampfdruck an Spitzen von Kristallen werden dort vermehrt Wassermoleküle abgegeben.

⇒ *Der Wasserdampftransport*

auf Grund des Dampfdruckgradienten findet ein Dampftransport statt. (Diffusion)

⇒ *Die Energiebilanz*

Die freie Oberflächenenergie der gefallenen Schneekristalle und der vom Boden zuströmenden Wärmeenergie sind im wesentlichen der Antrieb für die Wasserdampfdiffusion

Bei den Metamorphose-Vorgängen werden im wesentlichen drei Arten unterschieden

⇒ *Abbauende Umwandlung*

⇒ *Aufbauende Umwandlung*

⇒ Schmelzumwandlung

**\* Abbauende Schneelumwandlung**

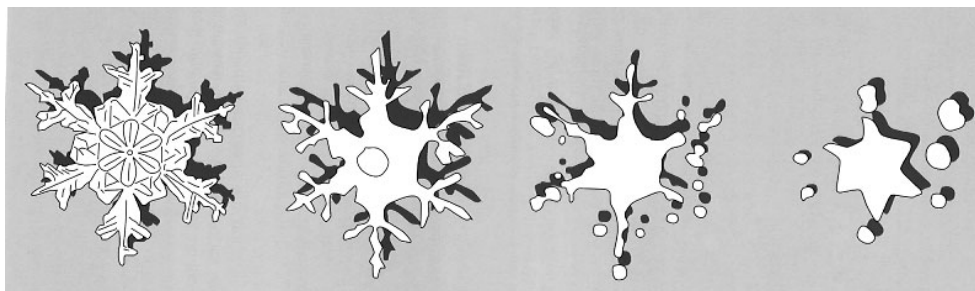
Sie setzt unmittelbar nach der Ablagerung des Neuschnees ein. Schneekristalle werden abgebaut.

- ⇒ Verästelungen werden eingezogen
- ⇒ Spitzen und Vertiefungen gleichen sich aus
- ⇒ Ästchen brechen ab

da die Schneekristalle ihre Oberfläche und Größe verkleinern, im Bestreben die Kugelform zu erreichen.

- ⇒ Neuschnee wandelt sich dabei zunächst in
- ⇒ Filzigen Schnee mit abgebrochenen Ästen und gerundeten Ecken und dann in
- ⇒ Rundkörnigen Schnee um

Mit der abbauenden Umwandlung wird der Porenraum zwischen den Körnern verkleinert, damit nimmt das Volumen ab, eine Setzung tritt ein und damit eine Verfestigung des Neuschnees. Abbauende Umwandlung findet bei einem geringeren Temperaturgradienten als  $15^{\circ}\text{C}/\text{m}$  aber unter  $0^{\circ}\text{C}$  statt. Bei  $-5^{\circ}\text{C}$  dauert die abbauende Umwandlung zwischen einer und zwei Wochen. Bei höheren Temperaturen oder größerem Druck wird die abbauende Umwandlung beschleunigt.

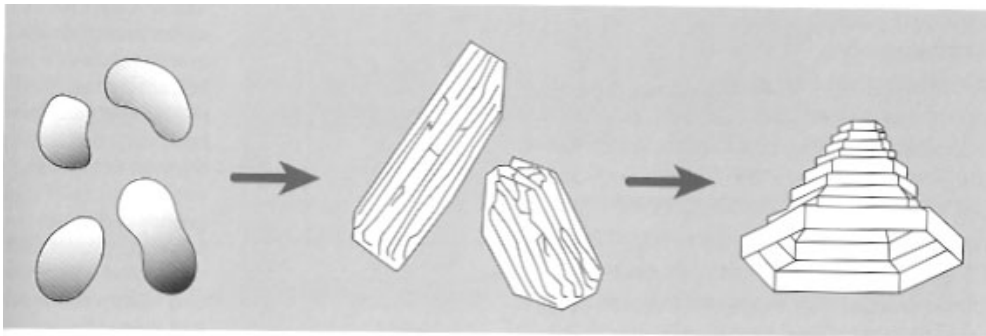


### \* Aufbauende Schneenumwandlung

Von aufbauender Umwandlung spricht man, wenn bei der Veränderung der Schneekörner neue Kristallformen entstehen. Es kommt zum Aufbau und Vergrößerung von prismatischen, quaderartigen, pyramiden- oder säulenförmigen Schneekörnern. Kantige Formen bilden bei fortschreitender Umwandlung *Becherkristalle* oder den sogenannten *Schwimmschnee*.

Bei der Entstehung größerer Körner haben diese weniger Kontaktpunkte zueinander und es entsteht ein größerer Porenraum. Dadurch tritt eine starke *Entfestigung* der Schneedecke ein. Die aufbauende Umwandlung läuft im Vergleich zur abbauenden Umwandlung langsamer ab. Sie dauert zwei bis vier Wochen bis zum Aufbau von *Becherkristallen* und es tritt keine Setzung der Schneedecke ein.

Voraussetzung für das Einsetzen der aufbauenden Umwandlung ist ein Temperaturgradient der größer als  $15^{\circ}\text{C}/\text{m}$  ist. Dadurch erfolgt beim Wasserdampftransport vom den wärmeren bodennahen Bereichen zu den kälteren Bereichen im Bereich der Schneedeckenoberfläche.



### \* Schmelzumwandlung

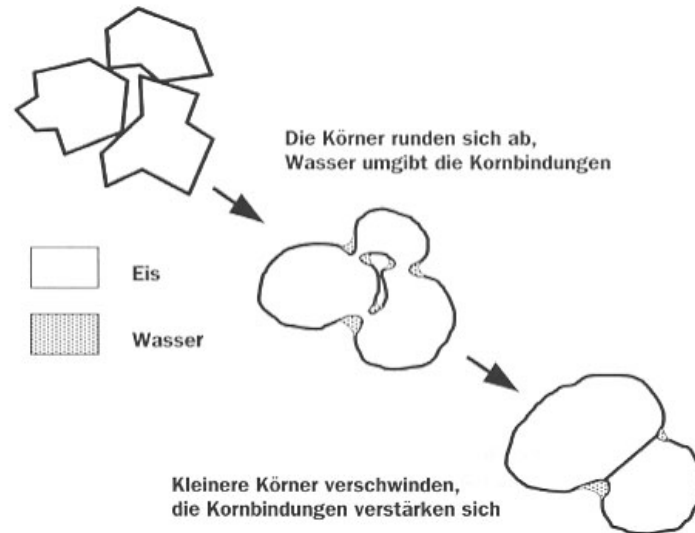
Im Schnee mit  $0^{\circ}\text{C}$  beginnen die Körner an ihren Kanten und Ecken zu schmelzen. Sie beginnen sich zu runden mit dem Bestreben die Kugelform zu erlangen. Porenräume nehmen ab wodurch die Dichte steigt. Eine merkliche Setzung des Schnees setzt ein und solange der Korndurchmesser klein ist und die Feuchtigkeit gering tritt eine *Verfestigung* ein.

Bei weiterem Schmelzen füllen sich die Poren mit freiem Wasser, welches nicht mehr festgehalten werden kann. Es tritt nun ein *Festigkeitsverlust* ein.

Bei Wiedergefrieren des Wassers erreicht die Schneedecke wieder eine *sehr hohe Festigkeit*.

Bei ständiger Veränderung der obersten Schneesicht weist der entstandene gefrorene *Harsch* eine hohe Festigkeit auf während der aufgeweichte *Sulzschnee* eine geringere, abnehmende Festigkeit besitzt. Beim Einsickern von *Schmelzwasser* in kalte Zonen können auch in tieferen Schichten *Eislamellen* entstehen.

Als *Firn* wird der durch ständiges Gefrieren und Schmelzen verfestigte zumindest ein Jahr alte Schnee bezeichnet. Wenn diese Änderung über mehrere Jahre dauert geht dieser bei entsprechenden Bedingungen in Gletschereis über.



### \* Schneearten

Wie bereits oben erwähnt kennen wir verschiedene Schneearten, für welche es aber keine genauen Kriterien gibt und so haben sich nur einige Bezeichnungen eingebürgert

⇒ *Lockerschnee*

Schnee geringer Dichte

- Wildschnee (Windstille, extrem locker)
- Pulverschnee (trocken, locker, ursprünglichen Kristalle noch erkennbar)

⇒ *Neuschnee*

Schnee in dem die ursprünglichen Kristallformen noch erkennbar sind. Meteorologisch wird unter Neuschnee der innerhalb der letzten 24 Stunden gefallene Schnee bezeichnet.

⇒ *Windverfrachteter Neuschnee*

Durch den Wind tritt eine wesentliche Veränderung des Schnees ein. Bei entsprechender Verfestigung entsteht Brettschnee, gebundener, feinkörniger Schnee

⇒ *Harsch*

Bei Harsch tritt eine Oberflächenveränderung der Schneedecke infolge von Witterungseinflüssen wie Wärmezufuhr durch Einstrahlung und anschließendem Wiedergefrieren. = Schmelzharsch. Wenn Schmelzharsch schmilzt entsteht Sulzschnee.

Bei Windeinwirkung entsteht Windharsch und wenn durch starken Temperaturwechseln der Oberfläche eine gering tragfähige Kruste entsteht, spricht man von Bruchharsch.

⇒ *Faulschnee*

Grobkörnige, runde Schmelzformen welche durch Wärmeeinwirkung oder Regen ihre Bindung verlieren

⇒ *Firn*

Schmelzumgewandelter mindestens einjähriger Schnee

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

Raumgewichte von Schnee kg/m<sup>3</sup>

\* **Schnee-Eigenschaften**

Als Schneeeigenschaften können wir folgende Eigenschaften unterscheiden

⇒ *Dichte*

Schnee besteht aus der festen Phase = Eis und der gasförmigen Phase = Luft. Das Gewicht des Schnees ergibt sich praktisch nur aus der Masse des Eises und die Poren spielen dabei keine Rolle. Betrachtet man die Masse je Volumseinheit = Dichte, spielen die Poren eine sehr wichtige Rolle. Je mehr Porenanteil desto geringer die Dichte.

⇒ *Wichte*

auch spezifisches Gewicht genannt, verursacht das Gewicht einer Schneeschicht und aus dem Gewicht entstehen Spannungen in der Schneedecke.

⇒ *Wasserwert*

ist die Menge von flüssigem Wasser, bezogen auf 1m<sup>2</sup> Grundfläche, welche beim Schmelzen des Schnees oder einer Schneeschicht entstehen würde. Entspricht also der Masse des Schnees, bezogen auf die Fläche.

⇒ *Wassergehalt*

Schnee von 0°C Temperatur enthält freies, fließendes Wasser, welches bis zu 25% der Schneemasse ausmachen kann. Er hat Bedeutung für die Verformbarkeit und Festigkeit von Schnee. (Wasser wirkt wie Schmiermittel)



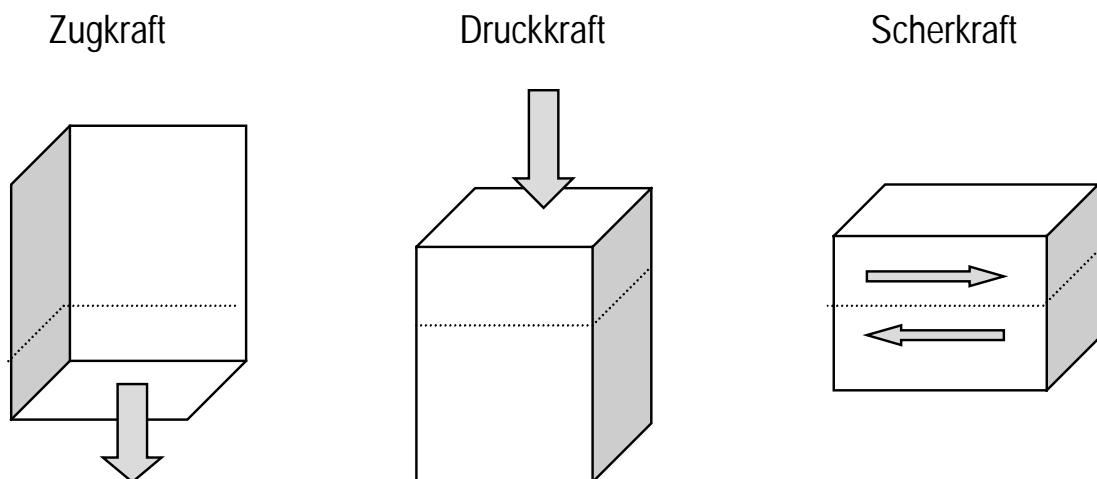
⇒ *Formänderung und Verformbarkeit*

Durch einwirkende Kräfte erleidet jeder Stoff, Formänderungen welche im Wesentlichen abhängig sind von

- Größe und Art der Krafteinwirkung
- Größe der durch die Kraft beanspruchten Fläche und andere Abmessungen des Körpers
- Materialeigenschaften
- Geschwindigkeit der Kraftaufbringung

und für das Auftreten von Spannungszuständen in der Schneedecke verantwortlich sind.

Unter Spannung versteht man vereinfacht die auf eine Fläche verteilt wirkende Kraft.



Die in der Schneedecke vorhandenen Druck-, Scher- und Zugspannungen können durch zusätzlich einwirkende Kräfte rasch erhöht werden.

Schnee hat eine Vielfalt und Kombination von besonderen Eigenschaften und entzieht sich damit einer exakten physikalischen Behandlung

⇒ *Festigkeit und Bruchverhalten*

Schnee besitzt den Charakter einer zähen Flüssigkeit, weist aber auch eine wichtige Eigenschaft fester Stoffe auf, nämlich die Festigkeit. Er ist fähig Belastungen aufzunehmen, aber wie alle festen Stoffe auch, nur begrenzt. Diese Grenze nennt man Festigkeit.

*Festigkeit ist gleich der maximal aufnehmbaren Spannung (N/m<sup>2</sup>)*

Kohäsion ist der Zusammenhalt der Schneekörner z.B. durch Versinterung der Kornbrücken.

Reibung zwischen den Schneekörnern und ihr Verzahnungswiderstand. (Sand)

- *Zugfestigkeit*
- *Druckfestigkeit*
- *Scherfestigkeit*

⇒ *Verformungen der Schneedecke*

- *Setzung der horizontalen Schneedecke*  
darunter wird die Abnahme der Schneehöhe auf Grund ihres Eigengewichtes, aber auch durch die abbauende - und Schmelzumwandlung. Je wärmer es ist desto schneller setzt sich die Schneedecke.
- *Kriechen*  
die Verformung der Schneedecke erfolgt hangabwärts, wenn die unterste Schicht der Schneedecke am Boden haften bleibt.
- *Gleiten*  
nennt man die Bewegung der gesamten Schneedecke

⇒ *Kräfte und Spannungen in der Schneedecke*

- *Vertikale Schneelasten*  
Eigengewicht der Schneedecke welches aus ihrem Wassergehalt resultiert.
- *Spannungen*  
in der horizontalen Schneedecke gibt es keine Scherspannungen in Waagrechtlicher Richtung.

⇒ *Stabilität der Schneedecke*

ist das Verhältnis der an einem Ort vorhanden Festigkeit zur dort wirkenden Spannung. Stabilität ist gegeben wenn die dort herrschende Spannung gleich groß ist wie die Festigkeit.