

Schnee und Lawinen

Vorlesung von Gerhard Karl LIEB im WS 2001/02

Inhalt

1. Einführung: Winter - Kälte - Schnee
 - 1.1. Zum Gegenstand der Vorlesung: Definitionen und Abgrenzungen
 - 1.2. Meteorologische Grundlagen
 - 1.3. Globale Verbreitung von Schnee

2. Schnee als Klimaelement und Klimafaktor
 - 2.1. Entstehung und Umwandlung des Schnees
 - 2.2. Kenngrößen der Schneeklimatologie
 - 2.3. Äußere Erscheinungsformen und Eigenschaften der Schneedecke
 - 2.4. Schneewitterung und Schneeklima

3. Die Bedeutung des Schnees im geographischen System
 - 3.1. Landschaftsgestaltung durch Schnee
 - 3.2. Schnee und Gewässer
 - 3.3. Schutz und Stress - Pflanzen und Tiere im Schnee
 - 3.4. Beziehungen zwischen Schnee und Mensch
 - 3.4.1. Wahrnehmung von Winter und Schnee im Wandel der Zeit
 - 3.4.2. Schnee als Wirtschaftsgrundlage

4. Lawinen
 - 4.1. Lawinenentstehung und -klassifikation
 - 4.2. Geschichte der Auseinandersetzung mit Lawinen
 - 4.3. Lawinenschutz
 - 4.3.1. Beurteilung von Lawinengefahr
 - 4.3.2. Permanenter Lawinenschutz
 - 4.3.3. Temporärer Lawinenschutz
 - 4.4. Hinweise auf richtiges Verhalten im Gebirge
 - 4.5. Beispiele für Lawinengebiete und -ereignisse

5. Gesamtbewertung: der Schnee - Gunst- oder Ungunstfaktor ?
 - 5.1. Schnee im Naturhaushalt
 - 5.2. Schnee in Kulturlandschaft und Wirtschaftsgeschehen
 - 5.3. Die Zukunft des Schnees im Klimawandel

1. Einführung: Winter - Kälte - Schnee

1.1. Zum Gegenstand der Vorlesung: Definitionen und Abgrenzungen

Schnee (nach Redaktion Schweizer Lexikon 1993) =

1. Art des atmosphärischen Niederschlags in fester Form.
2. Poröse und durchlässige Ansammlung von farblosen Eiskristallen oder Eisteilchen am Erdboden.

Schnee (nach Land Tirol 2000) = zwei Erscheinungsformen von festem Wasser

1. Aus der Atmosphäre fällt Schnee in verschiedenen kristallisierten Formen von Eis nieder.
2. Auf dem Boden und seiner Pflanzendecke sowie auf Bauwerken wird Schnee als poröser Stoff abgelagert. Er besteht aus der festen Phase, nämlich dem Eis in Form von Schneekristallen oder -körnern, und den dazwischen liegenden, zusammenhängenden Poren. Diese sind mit Luft (gasförmige Phase, z.B. Pulver) oder mit Wasser (flüssige Phase, z.B. Sulz) gefüllt.... Da die Ablagerung mit Unterbrechungen in mehreren Schneefallperioden eines Winters erfolgt, ist der liegende Schnee schichtweise aufgebaut.

Lawine (nach Redaktion Schweizer Lexikon 1993) = am Hang rasch abgleitendes oder abstürzendes Material, allgemein sind damit Schneelawinen gemeint, seltener Eis-, Schutt- oder Steinlawinen. Schneelawinen lösen sich auf steilen, v.a. waldfreien Hängen (ca. 25-50°) aus, wenn die mechanischen Spannungen in der Schneedecke größer als die entsprechenden Festigkeiten sind, entweder durch Zunahme der Spannungen (Neuschneefall) oder durch Abnahme der Festigkeit (Metamorphose).

Lawine (nach Land Tirol 2000) = Schneemassen, die bei raschem Absturz auf steilen Hängen, in Gräben u.ä.

- infolge der Bewegungsenergie oder
- der von ihnen verursachten Luftdruckwelle
- oder durch ihre Ablagerungen

Gefahren oder Schäden verursachen können.....

Als Lawine bezeichnet man den gesamten Bewegungsvorgang, beginnend mit dem

- Anbruch des Schnees im Anbruchgebiet.
- Durch das vorgegebene Gelände bestimmt, bewegt sich der Schnee in der Sturzbahn zu Tal.
- Erst wenn die Sturzbahn auf längerer Strecke ausreichend flach wird, spricht man von der Auslaufstrecke der Lawine. Hier verringert sich die Bewegung bis zum Stillstand (Ablagerungsgebiet des Lawinenschnees).

Die Lehrziele der Vorlesung können in folgender Form definiert werden:

- Vertrautwerden mit Grundbegriffen der Schnee- und Lawinenkunde
- Gewinnen von Einsichten in die Bedeutung des Schnees für Naturhaushalt und Kulturlandschaft.

Inhaltlich geht es dabei - entsprechend dem Inhaltsverzeichnis - um eine die Grenzen der geographischen Teildisziplinen gezielt überschreitende Betrachtung eines wichtigen Faktors im geographischen System mit dem Bestreben, zu einer Gesamtbewertung aus verschiedenen Blickwinkeln zu kommen. Dabei treten drei Aspekte bewusst in den Hintergrund:

- Technische, organisatorische und juristische Aspekte und Rahmenbedingungen des Katastrophenschutzes bilden ebenso wenig einen Schwerpunkt wie
- die geophysikalischen Eigenschaften von Schnee, weiters ist
- der Kompetenzerwerb zum richtigen Verhalten im winterlichen Gebirge kein Lehrziel.

1.2. Meteorologische Grundlagen

Schnee als Niederschlagsform entsteht in höheren, kalten Luftschichten, wenn sehr kleine, unterkühlte Wassertröpfchen gefrieren oder sich Wasserdampf direkt um Kondensationskerne anlagert und gefriert. Schnee als Ablagerung auf der Erde ist das Produkt des Schneeniederschlags, wobei die Einzelteilchen auf dem Erdboden (bzw. schon auf dem Weg dorthin) große Umwandlungen mitmachen (nach Redaktion Schweizer Lexikon 1993). Damit sind die Rahmenbedingungen der Bildung und Erhaltung von Schnee angesprochen, nämlich ein bestimmtes Temperaturniveau, dessen Auftreten sich durch eine hohe zeitliche und räumliche Veränderlichkeit auszeichnet. Es ist geknüpft an die Phänomene Kälte bzw. Winter.

Auftreten und Intensität von Kälte werden in erster Linie über das Strahlungsgeschehen gesteuert, wobei die Erwärmung bzw. Abkühlung der Luft vom Untergrund ausgeht. Wichtigste Einflussgrößen dabei sind

- der Einfallswinkel der Sonnenstrahlung
- die Jahreszeiten
- die Strahlungsbilanz
- die Advektion von Luftmassen.

Der Begriff Jahreszeiten kann rein astronomisch (Winter: 21.12.-21.3.) oder auch meteorologisch gefasst werden, wobei thermische und hygrische Jahreszeiten unterschieden werden. Im vorliegenden Kontext sind eigentlich nur die thermischen Jahreszeiten von Interesse, also das Auftreten eines Winters als "kalte Jahreszeit": Kalt wird der Winter

- durch den verringerten Einfallswinkel der Sonnenstrahlen,
- durch die geringere Tageslänge,
- ev. weiters durch den Einfluss bestimmter Zirkulationselemente und
- ev. durch den Einfluss der Schneedecke selbst (Rückkoppelung/Selbstverstärkung).

Beim Winter in unserem landläufigen Sinn - mit Schneefall und Ausbildung einer Schneedecke - handelt es sich somit um ein ektropisches Phänomen.

Die bisherigen Überlegungen laufen auf eine Erscheinung hinaus, die dem planetarischen Formenwandel unterliegt. Es spielt aber natürlich auch der hypsometrische Formenwandel eine Rolle:

- die Temperatur nimmt mit der Höhe ab, Kälte (und somit potentielles Schneeklima) verstärken sich also, je weiter man ins Gebirge hinauf steigt.
- Auch in den Tropen gilt dies. In großen Höhen spielen hier auch - entgegen der obigen Aussage - hygrische Jahreszeiten eine Rolle, und zwar in der Form, dass Schneefall und Schneedecke an die Regenzeit gebunden sind.

Schnee als relevantes Element des geographischen Systems findet sich also bevorzugt in folgenden Gebieten der Erde

- wo es ausreichend Kälte und Feuchte ganzjährig gibt
- wo es ausreichend Kälte und Feuchte zumindest jahreszeitlich gibt
- in den Hochgebirgen der Erde.

Für Lawinen tritt dazu noch das Relief als entscheidender, nicht klimatischer Faktor (vgl. Kap.4.1).

1.3. Globale Verbreitung von Schnee

In globaler Perspektive können Schnee und Eis in das Sphärenmodell eingebunden werden: sie stellen dabei - neben der Geo- (Litho-, Pedo-), Atmo-, Bio- und Hydro- die Kryosphäre dar, wobei diese im weiteren Sinn Wasser in jeglicher fester Form, im engeren Sinn jedoch nur Eis bedeutet (SCHÖNWIESE 1994) - in einem solchen Fall im Gegensatz zur Chionosphäre (Schneedecke; bei BLÜTHGEN & WEISCHET 1980, 313, auffallend großzügig als "Schneefallbereich" aufgefasst !).

Die Bedeutung der Chionosphäre ist einerseits nach ihrer horizontalen Verbreitung und andererseits nach der darin gebundenen Wassermenge zu beurteilen.

- a) Verbreitung des Schneefalls: Die Äquatorialgrenze des Schneefalls in der Ebene dürfte im Mittel nahe dem 35. Breitengrad liegen. Die klassische Darstellung hierfür ist eine Karte bei BLÜTHGEN & WEISCHET 1980, 296, die jedoch nur verbal beschrieben und nicht statistisch ausgewertet wird (z.B. weites Vordringen der Schneefallgrenze äquatorwärts an den Ostseiten der Kontinente wegen des dort häufigen Vordringens von Kaltluft bei Troglagen der Tiefdruckgebiete). Nach SCHUMSKII (zitiert nach WILHELM 1975, 19) soll auf 80 % der Festlandsflächen (das wären 118 Millionen km²) Schneeniederschlag möglich sein.
- b) Verbreitung der Schneedecke: Exaktere Aussagen sind für die Schneedecke (also die Chionosphäre im engeren Sinn) möglich, wenn es auch hierbei sehr große Differenzen zwischen den unterschiedlichen Quellen gibt. Die Bildung von Schneedecken ist natürlich nur auf dem Land und auf Meer(und See-)eisflächen möglich und erfasst nach HOINKES 1968 global - wenn auch nur jeweils für kurze Zeit - eine Fläche von im Mittel 72 Millionen km² ohne Meereis, unter dessen Einschluss sogar von 126 Millionen km², was einem Flächenanteil von knapp 25 % der gesamten Erdoberfläche entspricht (Gesamtfläche der Erde: 510 Millionen km², davon 71 % Meer, 29 % Land). 30-50 % der Festlandsoberfläche tragen je nach Jahreszeit eine Schneedecke (WILHELM 1975, 8), auf 35 Millionen km² Festland (23 % des Festlandes) liegt eine solche länger als 4 Monate (HOINKES 1968, 280). Dabei treten starke Gegensätze zwischen der Nord- und der Südhalbkugel (schneebedecktes Festlandareal auf der Nordhalbkugel um 2 Größenordnungen größer als auf der Südhalbkugel) sowie zwischen Winter- und Sommerhalbjahr auf (jeweils wieder Unterschiede um eine Größenordnung).
- c) Gebundene Wassermenge: Trotz der vergleichsweise hohen Flächenanteile der Chionosphäre ist deren Volumen in globaler Perspektive sehr bescheiden. Das Volumen der Chionosphäre wird wiederum sehr unterschiedlich eingeschätzt, z.B. mit 2000 km³ bei SCHÖNWIESE 1994 oder mit einer "Masse von etwa 10.000 km³ Wasser zeitweise in der Schneedecke gebunden" bei HOINKES 1968. Dies würde einer Schichtdicke von nur knapp 20 mm bei gleichmäßiger Verteilung auf die gesamte Erdoberfläche entsprechen, womit die Chionosphäre nur einen marginalen Faktor im globalen Wasserkreislauf darstellt (zum Vergleich: der mittlere Niederschlag auf der gesamten Erde beträgt jährlich 496.000 km³ oder ca. 900 mm, d.h. etwa das 50-fache der Chionosphäre). Von den globalen Süßwasserreserven (ca. 35 Millionen km³) entfallen demnach nur 0,03 % auf die Chionosphäre. Der Anteil des Schnees am globalen Niederschlag wird nach WILHELM 1975 auf 10-20 % geschätzt, was im Vergleich mit den anderen Werten hoch erscheint.

2. Schnee als Klimaelement und Klimafaktor

2.1. Entstehung und Umwandlung des Schnees

Wasser kommt in der Geo- und Atmosphäre in allen drei Aggregatzuständen vor, die Phasenübergänge spielen eine große Rolle für das atmosphärische Geschehen und haben eigene Namen: Verdunstung, Kondensation, Sublimation, Gefrieren, Schmelzung. Entscheidend für die Entstehung von Schnee ist die Beziehung zwischen Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Bei der Abkühlung von Luft kommt es zur Unterschreitung des Taupunktes, in dessen Folge zur Kondensation und schließlich zum Niederschlag.

Schnee ist eine Art des atmosphärischen Niederschlags, worin unterschieden wird zwischen

- der Kondensation an Gegenständen (Tau, Reif, Raureif, Nebelniederschlag) und
- den aus Wolken fallenden Niederschlägen (Niesel, Regen, Schnee, Graupeln, Hagel, Eisregen).

Die Niederschlagsbildung in den Wolken kann auf zwei Arten erfolgen, wobei für den Schnee nur die zweite in Frage kommt:

- Koagulation: Zusammenwachsen von Wassertröpfchen (leichter, kleintropfiger Regen und Niesel), weniger wichtig als
- Sublimationswachstum: Niederschlagsbildung über die Eisphase erst ab Höhen mit Temperaturen unter -12°C , weil erst ab dieser Temperatur die Bildung von Eisparkeln (an Gefrier- und Sublimationskernen) stattfinden kann (erst bei $-35^{\circ}/-40^{\circ}\text{C}$ tritt anstelle unterkühlter Wassertröpfchen nur die feste Phase auf). Diese Eiskeime lagern durch *Sublimation* Wassermoleküle oder durch *Akkreszenz* unterkühlte Wassertröpfchen an, wobei dieser (von den thermischen und dynamischen Verhältnissen innerhalb der Wolke abhängige) Aufzehrungsprozess letztlich darüber entscheidet, welche Niederschlagsart am Boden zu beobachten ist.

Beim Phasenübergang zum festen Zustand werden die Wassermoleküle in Kristallgitter eingebaut, die einem hexagonalen Kristallsystem folgen. Die Formen der dabei entstehenden Schneekristalle sind außerordentlich mannigfaltig (6000 verschiedene Formen sind in einem Atlas der Schneekristalle dokumentiert) und von den atmosphärischen Bedingungen, im Besonderen von der Temperatur, abhängig (Tab.1).

Tab.1: Formen der Schneekristalle in Abhängigkeit von der Temperatur (nach BLÜTHGEN & WEISCHET 1980, 269)

Form der Kristalle	Temperaturbereich
Nadeln, amorphe Gebilde	-4 bis -8°C
Säulen, Platten, Prismen	-8 bis -12°C
Sterne (6-strahlige Dendriten oder Plättchen)	-12 bis -18°C
Bereifte Kügelchen (Griesel), unvollständige kleine Sterne und Plättchen	-18 bis -26°C

Die Formen der Schneekristalle zeigen aber nicht nur Beziehungen zur Temperatur in der Wolke, sondern auch zum Feuchtigkeitsangebot und zur Verweildauer in der Atmosphäre (die mehrere Stunden betragen kann). Um aus einzelnen Schneekristallen Schneeflocken ("verhakte bzw. verkittete Skelettformen") entstehen zu lassen, bedarf es neben der Turbulenz auch einer elektrischen Affinität der Einzelgebilde. Ihre Größe ist stark temperaturabhängig (je wärmer, desto größer - maximal in bodennahen Luftschichten wenige cm), und die

Schneeflocken zeigen als komplexe Gebilde an, dass die Schneekristalle bereits auf ihrem Weg durch die unterhalb ihres Bildungsstockwerkes gelegenen Luftschichten starke Veränderungen erfahren (BLÜTHGEN & WEISCHET 1980, 268 ff.). Solche Veränderungen können z.B. sein (Land Tirol 2000, 46):

- Schmelzen (>Regen)
- weiteres Wachstum
- Vergraupelung
- Zerbrechen
- Verbindung zu Schneeflocken.

Die Ablagerung des Schnees im Gefolge des Schneefalls, der durchaus auch bei Temperaturen über 0°C auftreten kann (nach LLIBOUTRY, zit. bei WILHELM 1975, 9, beträgt der Schneeanteil am Niederschlag bei +2°C noch 30 %), bildet Neuschnee, wobei dieser einen besonders hohen Luftgehalt besitzt (Porenvolumen von bis zu 97 %, Lawinenhandbuch 2000, 48). Von Bedeutung ist, dass Menge, innerer Aufbau und Oberfläche der Neuschneedecke stark vom Wind beeinflusst werden (z.B. besitzt windgepresster Schnee eine wesentlich erhöhte Dichte).

In der Folge unterliegt der Neuschnee einer Metamorphose (= Umwandlung des liegenden Schnees mit Bildung neuer Kristallformen und Korngrößen, wobei der Begriff aus der Geologie entlehnt ist, was insofern berechtigt erscheint, als Eis physikalisch vielfach wie ein Gestein reagiert). Entscheidende Prozesse dabei sind der Wasserdampf- und Energietransport, die wichtigsten Veränderungen in der Schneedecke betreffen deren Eigenschaften

- Dichte
- Porenvolumen
- Gefüge (Anordnung der Teilchen)
- Verformbarkeit
- Spannungen.

Es werden 3 Arten der Metamorphose unterschieden, wobei in der Natur das im Folgenden nach dem Lawinenhandbuch 2000, 49 ff., wiedergegebene Ablaufschema nicht in dieser Reihenfolge funktionieren muss.

- a) Abbauende Metamorphose: Der Abbau der komplizierten Schneekristalle beginnt gleich nach der Ablagerung mit der Tendenz zur Bildung kugeligter Formen. NEUSCHNEE wird zu FILZIGEM SCHNEE (abgebrochene Äste, gerundete Ecken) und schließlich zu RUNDKÖRNIGEM SCHNEE. Dabei werden der Porenraum und das Gesamtvolumen verringert, *Setzung* und *Verfestigung* der Schneedecke sind die Folge. Dieser Vorgang findet im negativen Temperaturbereich statt (und dauert z.B. bei -5°C Schneetemperatur 1-2 Wochen), verläuft aber umso schneller, je höher die Temperatur ist. Die Vorgänge selbst finden bei geringen Temperaturgradienten statt und werden durch den Eigendruck der Schneedecke verstärkt.
- b) Aufbauende Metamorphose: Bildung neuer Kristallformen in tieferen Schichten, und zwar Aufbau von prisma-, quader-, pyramiden- und säulenförmigen, jedenfalls KANTIGEN VOLLFORMEN. In weiterer Folge bilden sich BECHERKRISTALLE, die in einer Schicht von *Schwimmschnee* oder *Tiefenreif* angereichert sind. Diese sind mit 5 mm und mehr sehr groß und besitzen wenig Kontakt untereinander, also großen Porenraum, was eine starke *Entfestigung* der Schneedecke an dieser Schicht bewirkt. Der Vorgang ist langsamer als die abbauende Metamorphose (2-4 Wochen für die Bildung von Becherkristallen) und bewirkt *keine* Setzung, ist also oberflächlich nicht wahrnehmbar. Gefördert wird der Prozess durch große, lange Zeit unveränderte Temperaturgradienten

(z.B. hoch gelegene Schatthänge), aber etwa auch durch Zwergsträucher (Speicherung relativ warmer Luft zwischen den Blättern von *Rhododendron ferrugineum*).

- c) Schmelzmetamorphose: Bei 0°C in der Schneedecke beginnen die Körner an den Ecken anzuschmelzen, Ansammlung von Wasser im Porenraum und zunehmende Ausbildung von RUNDEN SCHMELZFORMEN sind die Folge. Kapillareffekte im Porenwasser ziehen die Körner näher aneinander, wodurch die Dichte steigt und der Schnee sich setzt. Nach dieser anfänglichen Verfestigung kommt es bei weiterem Schmelzen zur Füllung der Poren mit freiem Wasser, das in "Strömungskanälen" abfließt, die Schneeoberfläche wellig werden lässt und Festigkeitsverlust hervorruft (*Faulschnee*), im Extremfall bildet sich sogar ein Wasserfilm am Untergrund. Das *Wiedergefrieren* des Wassers formt größere Aggregate von Schneekörnern ("Knollen") und verstärkt bei vollständigem Zusammenfrieren wieder die Festigkeit. Die Metamorphose schreitet vom *Altschnee* über *Firn* (älter als ein Jahr) zu *Gletschereis* fort.

2.2. Kenngrößen der Schneeklimatologie

Dieses Kapitel widmet sich dem Schnee als Klimaelement, befasst sich also mit der Messung, der statistischen Erfassung und teilweise der Interpretation der Schneeverhältnisse.

Die Messung des Schnees erfolgt auf folgende Weise (WAKONIGG o.J.):

- In den herkömmlichen *Niederschlagsmessgeräten* (Ombrometer, Ombrographen, Totalisatoren) muss der Schnee behutsam geschmolzen werden (z.B. durch Beheizen des Gerätes). Hauptproblem ist dabei jedoch die Windverfrachtung des Schnees über die Messgeräte hinweg.
- Die Neuschneehöhe wird auf dem *Schneetisch* einmal täglich gemessen, der Tisch wird anschließend abgekehrt.
- Die Gesamtschneehöhe wird am festen *Schneepegel* auf ebenem Untergrund abgelesen, was auch elektronisch geschehen kann.
- Ergänzt werden diese Angaben durch bloße *Beobachtungen* an den Stationen: so wird z.B. eine Schneedecke als Zustand definiert, bei dem wenigstens 50 % der horizontalen Umgebung mit wenigstens 1 cm Schnee bedeckt sind.

Die statistische Erfassung der Schneeverhältnisse erfolgt in der Klimatologie mit den im Folgenden beschriebenen mehr oder weniger gebräuchlichen Daten. Die Beispiele (Graz/Uni 369 m, Schöckl 1432 m, Admont 615 m, Hollhaus/Tauplitzalm 1609 m) beziehen sich auf die Periode 1950/51 bis 1969/70 und stammen aus WAKONIGG 1978.

Angaben zum Schneefall

1. *Zahl der Tage mit Schneefall* (egal ob Schnee liegen bleibt oder nicht): Graz 28, Schöckl 53, Admont 63
2. *Datum des ersten Schneefalls* (im Herbst)
3. *Datum des letzten Schneefalls* (im Frühjahr, ungebräuchlich)
4. *Anteil des Schnees am Gesamtniederschlag* (in % oder auch als *nivometrischer Koeffizient* als Dezimalzahl (100 %=1) angegeben, Berechnung als Schneefallmenge in mm Wasser durch Gesamtniederschlag; vgl. WILHELM 1975, 20 ff.: Bsp. Schweiz in 1000 m Höhe 27 %, 2000 m 60 %, 3000 m 90 %; besonders ausführlich LAUSCHER 1976).

Angaben zur Schneedecke

1. *Zahl der Tage mit Neuschnee* (Zahl der Tage, an denen um 7 h mind. 1 cm Neuschnee gegenüber dem Vortrag gemessen wird): Graz 20, Schöckl 43, Admont 50, Hollhaus 90

2. *Beginn der Schneedecke* (Datumsangabe der ersten, unbeständigen (temporären) Schneebedeckung, muss nicht mit Datum des ersten Schneefalls zusammenfallen): Graz 4.12., Schöckl 27.10., Admont 10.11., Hollhaus 7.10. (Tab.2.)
3. *Beginn der Winterdecke* (Datumsangabe des Beginns der beständigen Winterschneedecke, in den Niederungen der längsten durchgehenden Schneebedeckung): Graz: 6.1., Schöckl 16.12., Admont 12.12., Hollhaus 9.11.
4. *Ende der Winterdecke*: Graz 18.2., Schöckl 24.3., Admont 19.3., Hollhaus 1.6.
5. *Ende der Schneedecke*: Graz 14.3., Schöckl 24.4., Admont 21.4., Hollhaus 9.6. (Tab.2)
6. *Zahl der Tage mit Schneedecke* (auch *Schneedeckendauer*, sie ist kleiner als die Zahl der Tage zw. Beginn und Ende der Schneedecke, die als *Schneedeckenzeit* bezeichnet wird): Graz 60, Schöckl 126, Admont 116, Hollhaus 218 (Tab.2)
7. *Zahl der Tage mit Winterdecke*: Graz 44, Schöckl 97, Admont 98, Hollhaus 205
8. *Erhaltungsquotient der Schneedecke* (Schneedeckendauer durch Schneedeckenzeit, Werte unter 0,6 deuten äußerst unbeständige Schneebedeckung an): Graz 0,59, Schöckl 0,70, Admont 0,71, Hollhaus 0,89 (stattdessen ist auch die Angabe der Differenz zwischen Schneedeckendauer und Schneedeckenzeit möglich, aber noch weniger üblich)
9. *Summe der Neuschneehöhen* (nicht als reale Schneehöhe zu beobachten): Graz 69 cm, Schöckl 247 cm, Admont 261 cm, Hollhaus 899 cm (Tab.2)
10. *Mittlere maximale Schneehöhe* (gebräuchlich und recht anschaulich): Graz 25 cm, Schöckl 92 cm, Admont 63 cm, Hollhaus 278 cm (Tab.2)
11. *Datum der maximalen Schneehöhe* (verschiebt sich mit zunehmender Höhe ins Frühjahr)
12. *Schneedeckenwahrscheinlichkeit* (meist für bestimmte Daten, z.B. den Monatsersten, angegeben = Anteil der Tage mit Schneedecke in % an allen Tagen dieses Datums, auch Angabe des Eintrittsdatums bestimmter Schneedeckenwahrscheinlichkeiten möglich)
13. *Mittlere Schneehöhe* (meist für bestimmte Daten angegeben, auch unter Einschluss der Tage ohne Schnee zu diesem Datum - lässt man diese weg, so spricht man von mittlerer Schneedeckenhöhe)

Tab.2: Mittelwerte ausgewählter Schneedeckendaten für bestimmte Seehöhen in Österreich (1901-1950, Quelle: STEINHAUSER 1974, 10)

Seehöhe	Tage mit Schneedecke	Beginn der Schneedecke	Ende der Schneedecke	Summe Neuschneehöhen	Mittl max. Schneehöhe
200 m	38	12.12.	3.3.	60 cm	23 cm
500 m	71	23.11.	22.3.	140 cm	41 cm
1000 m	121	5.11.	16.4.	320 cm	84 cm
1500 m	161	22.10.	5.5.	485 cm	129 cm
2000 m	216	2.10.	4.6.	850 cm	233 cm

Die hypsometrische Differenzierung der Schneebeziehungen spiegelt sich auch in der Betrachtungsmöglichkeit von Erscheinungsformen des Schnees als Höhengrenzen wider:

- Die *Schneefallgrenze* ist die Niveauläche (Seehöhe), bis zu der herab der Niederschlag den Boden als Schnee erreicht (meist um 300 m tiefer als 0°C-Grenze).
- Die *temporäre Schneelinie* (auch Schneegrenze) gibt die Höhenlage der Untergrenze der aktuellen Schneebedeckung an (egal, ob es sich um Neu- oder Altschnee handelt).
- Der Begriff *Schneegrenze* als Höhengrenze ist vielschichtig und prinzipiell - ebenso wie die Begriffe Altschneelinie, Firnlinie und Gleichgewichtslinie - auf Gletscher bezogen, im vorliegenden Rahmen also nicht näher zu behandeln. Dem liegt die Überlegung zu Grunde, dass dort, wo sich wegen der örtlichen klimatischen Bedingungen über längere Zeiträume hinweg Schnee ganzjährig halten kann, dieser über Metamorphose zu Gletschereis wird.

2.3. Äußere Erscheinungsformen und Eigenschaften der Schneedecke

Unter äußerer Erscheinungsform wird hier einerseits der **Zustand der Schneeoberfläche** und andererseits deren Formung verstanden. Der Zustand ist abhängig vom Material der Oberflächenschicht und kann beispielsweise in folgender Form typisiert werden:

- trocken (Neuschnee bei tiefen Temperaturen; bei großer Kälte und Windstille wird der extrem lockere "Wildschnee" abgelagert)
- feucht/nass (meist Altschnee, z.B. der grobkörnige, leicht feuchte, durch wiederholtes Auftauen und Wiedergefrieren der Oberflächenschichten entstehende "Sulzschnee")
- weich (Definitionsmöglichkeit: Fußgänger sinkt mehr als 20 cm ein)
- hart (differenzierbar danach, ob Fußgänger einbricht oder nicht; der "Bruchharsch" z.B. besitzt eine unter dem Einfluss von Schmelzung, Strahlung und Wind verdichtete Oberflächenkruste, die unter Gewicht einbricht; oft wird der "Schmelzharsch", der durch großflächige Strahlungsreflexion einer dünnen Eisschicht an der Oberfläche den "Firnspiegel" hervorruft, als gesonderter Typ ausgewiesen)

Die **Oberfläche der Schneedecke** kann glatt sein, besitzt meist aber doch ein ausgeprägtes Mikorelief. Dieses kommt durch den Einfluss des Windes (Aufbau- und Abbauförmern) oder der Schmelzung (Ablations-, also Abbauförmern) zu Stande:

1. Aufbauformen durch Wind

- Wechten = überhängende Schneemassen an Graten oder Steilabfällen von Plateaurändern (z.B. Hochschwab-Gipfelwechte als dominantes Landschaftselement). Im Luv der Hänge kommt es mit Verdichtung der Stromlinien zu gesteigerter Transportleistung; hinter dem Grat führt Stromlinien-Divergenz zur Ablagerung im Lee, wo es unterhalb der Wechtenkolkes zur Bildung einer "Gegenböschung", das ist erhöhte Schneemächtigkeit im Oberhang, kommen kann (WILHELM 1975, 57.ff., dort auch viele weitere Details).
- Rippeln, Dünen, Schneebarchane: Schneerippeln bilden wellenförmige Oberflächen mit wenigen mm Höhe und einigen cm Breite in körnigem, kaltem Schnee, der sich ähnlich wie Sand verhält. Auch die Schneedünen und -barchane entwickeln sich ähnlich wie ihre "Namensvetter" im Sand, bleiben in den Dimensionen aber hinter jenen deutlich zurück.

2. Abbauförmern durch Wind

- Windkolke: Driftschneeakkumulation vor und hinter Hindernissen tritt kombiniert mit schmalen Zonen geringer Schneehöhe nahe bei den Hindernissen selbst auf. Die Bildung ist an einen bestimmten Bereich von Windgeschwindigkeiten gebunden.
- Schuppenschnee, Windgangln, Sastrugi: Hohe Windgeschwindigkeiten verursachen eine starke Deflation der Schneedecke und die Herauspräparierung von widerstandsfähigeren Schichten. Die Längsrichtung der dabei entstehenden Vollformen ist streng parallel zur Windrichtung orientiert (Dimensionen im dm- bis m-Bereich).

3. Abschmelzformen

- Formen der bedeckten Ablation: die Bildung von Hohl- oder Vollformen ist abhängig von der Mächtigkeit des bedeckenden Substrates (wie an Gletschern, Typus Ablationskegel, Gletschertisch, Kryokonitlöcher)
- Formen der freien Ablation: hierzu gehören beispielsweise Wabenschnee (Oberfläche des Schnees von "Schmelzschalen" im cm- bis dm-Bereich gegliedert, ähnlich die bei 2.1. erwähnten "Strömungskanäle" in Folge der Schmelzmetamorphose) und der besonders berühmte *Büßerschnee* (nieve de los penitentes). Dabei handelt es sich um pyramiden- oder zackenförmige Ablationsformen, die oft regelmäßig angeordnet und etwa parallel zum Einfallswinkel der Sonne geneigt sind. Sie entstehen durch selektive Schmelzung und treten bei starker Sonneneinstrahlung und hoher Beteiligung der Verdunstung besonders

in subtropischen und tropischen Gebirgen sehr signifikant in Erscheinung, fehlen aber auch z.B. in den Alpen nicht (Größenordnung: Alpen dm, Tropen: m).

Außer der schon in Kap.2.2. behandelten klimatologischen Messgröße Schneehöhe können die **Eigenschaften der Schneedecke** nach den folgenden Parametern beschrieben werden (vornehmlich nach Land Tirol 2001):

1. Albedo

Eine der wichtigsten Eigenschaften der Schneedecke ist das Reflexionsvermögen, das stark von der Beschaffenheit der Schneeoberfläche abhängt. Beispielswerte sind:

trockener Neuschnee	85-95 %
trockener Altschnee	70-80 %
nasser Altschnee	50-80 %
verschmutzter Schnee	unter 50 %
Gletschereis	30-40 %

Hierbei spielt auch die Farbe des Schnees eine große Rolle, denn Schnee ist keineswegs immer weiß: rötliche Färbung ("roter" oder "Blutschnee") entsteht durch Massenentwicklung von Algen (z.B. *Scotiella nivalis*), eher bräunlich-gelbliche durch Verfrachtung von Wüstenstaub und grau-schwarze schließlich durch Anreicherung von Staub- und Rußteilchen an der Schneeoberfläche durch Anwehung oder Abschmelzung.

2. Schichtung

Winterliche Schneedecken bestehen aus einzelnen Schichten, die die unterschiedlichen Schneefallperioden widerspiegeln und jeweils durch verschiedene Prozesse bestimmte Eigenschaften aufgeprägt bekommen (z.B. Schmelz- oder Windharschbildung an der Oberfläche, Schwimmschneebildung durch aufbauende Metamorphose in tieferen Schichten). Die zur Geländeoberfläche parallelen Schichtgrenzflächen können als Hauptbruchflächen für die Lawinenentstehung eine große Rolle spielen. Der Schichtaufbau wird durch Schneeprofile (siehe unten) erfasst.

3. Schneeart

Wie schon mehrfach angedeutet, gibt es eine Fülle von Schneearten und auch eine Fülle von allerdings meist unscharfer Bezeichnungen dafür. Beispiele sind:

- Lockerschnee: Schnee geringer Dichte, meist frisch gefallen (hierzu Wildschnee, Pulverschnee und der schon feucht-filzige Pappschnee).
- Neuschnee: Schnee, der noch die ursprüngliche Kristallform erkennen lässt, in dem also noch keine oder kaum abbauende Metamorphose stattgefunden hat (setzt diese ein, wird daraus Altschnee).
- windverfrachteter Schnee: verfestigende Wirkung erzeugt Brettschnee sowie typische Oberflächenformen (siehe oben).
- Harsch: Oberflächenkrusten (siehe oben), differenziert nach Wind-, Schmelz- und Bruchharsch. Beim Anschmelzen von Schmelzharsch entsteht Sulzschnee, der von Schifahrern fälschlich Firn genannt wird.
- Faulschnee: besteht aus grobkörnigen, runden Schmelzformen, die auf Grund von Durchtränkung ihren Zusammenhalt verlieren und geringe Festigkeit verursachen.
- Firn: Schnee, der älter als ein Jahr und sehr dicht, aber noch luft- und wasserdurchlässig ist.
- Lawinenschnee: bei der Ablagerung von Lawinen stark verfestigter Schnee mit sehr hoher Dichte.

4. Temperatur und Temperaturprofil

Die Temperatur des Schnees hat wichtige Rückwirkungen auf die Metamorphose, die mechanischen Eigenschaften und damit auch auf die Lawinengefährdung. Entscheidende Einflussgröße dabei ist der Temperaturgradient, der z.B. im Hochwinter mit Temperaturen nahe 0°C am Schneeuntergrund und solchen im stark negativen Bereich an der Oberfläche sehr groß, im Frühjahr mit Isothermie der gesamten Schneedecke hingegen 0. Die Messung der Basistemperatur der Winterschneedecke (BTS) wird für die Permafrost-Kartierung verwendet.

5. Schneedichte und Porenanteil

Schnee besteht aus Eispartikeln und dem mit Luft gefüllten Porenraum. Die Poren haben entscheidenden Einfluss auf die Dichte des Schnees, die mit abnehmendem Porenraum zunimmt. Die Dichte wird bestimmt aus der Masse einer Schneeprobe (in g, kg) durch das Volumen der Schneeprobe (in cm³, m³). Der in der Regel hohe Luftgehalt des Schnees ist die Ursache für die ausgeprägte Isolationswirkung der Schneedecke. Aus der Schneedichte kann das spezifische Gewicht ("Wichte") als wichtiger Indikator für die in der Schneedecke herrschenden Spannungen und Kräfte bestimmt werden.

6. Wasserwert

Hierbei handelt es sich um die Angabe der Wasserhöhe in mm, die sich beim Schmelzen der Schneedecke auf einer Fläche von 1 m² ergeben würde. Es ist also ein Maß für die Masse des Schnees.

7. Wassergehalt

Auf 0°C temperierter Schnee enthält in den Poren freies Wasser in flüssiger Form. Dieser Wassergehalt (nicht zu verwechseln mit dem Wasserwert !) beeinflusst die Verformbarkeit und Festigkeit, wobei dem Wasser zwischen den Eispartikeln die Funktion eines Schmiermittels zukommt (d.h. mit steigendem Wassergehalt - er kann bis zu 25 % (nach dem Lexikon Schnee und Eis nur 15 %) der Schneemasse erreichen - nimmt die Verformbarkeit zu und die Festigkeit ab).

8. Verformbarkeit

Wie jeder Körper ist Schnee bei Beanspruchung durch Kräfte verformbar. Wichtige Größe dabei ist die Spannung (= Kraft pro Fläche), wobei je nach der Art bzw. Richtung der Krafteinwirkung zwischen Zug-, Druck- und Schub- oder Scherspannungen sowie den daraus resultierenden Formveränderungen Dehnung, Stauchung und Scherung bzw. Verschiebung unterschieden wird (vgl. Graphik aus dem Lawinenhandbuch 2000, 65). Die wichtigsten, durch Verformung bedingten Bewegungsvorgänge in der Schneedecke sind Setzung, Kriechen und Gleiten. Von Bedeutung für die Schneefestigkeit ist weiters die Geschwindigkeit der Formveränderung ("Deformationsrate").

Die Materialeigenschaften bestimmen die Verformbarkeit, also gleichsam die Empfindlichkeit gegenüber angreifenden Spannungen, wobei der Schnee eine besonders große Bandbreite in Abhängigkeit von den folgenden Hauptfaktoren besitzt:

- Schneart
- Dichte
- Temperatur
- Belastungsgeschichte.

9. Festigkeit und Bruchverhalten

Schnee kann auf Spannungen durch Formveränderungen ohne (z.B. Schneesetzung und Schneekriechen, siehe oben) und mit Bruch reagieren. Letzteres passiert, wenn die äußeren

Belastungen nicht mehr durch innere Widerstände ausgeglichen werden können. Diese wiederum beruhen z.B. auf Kohäsion und Reibung zwischen den Partikeln (Zug-, Druck- und Scherfestigkeit).

- Bei Erreichen der Zugfestigkeit kommt es zum Bruch durch Aufreißen der Schneedecke.
- Bei Erreichen der Druckfestigkeit bricht das Gefüge zusammen (= irreversibles Zusammendrücken des Schnees), z.B. tiefe Schispur.
- Bei Erreichen der Scherfestigkeit werden durch Scherspannungen in hangparallelen Ebenen meist Schichtgrenzen zu Scher- oder Gleitflächen von Lawinen.

10. Chemische Eigenschaften

Hierbei sind vielfältige Analysen und Aussagen möglich, sie spielen aber im Konnex der Lawinen keine Rolle. Beispielsweise unterscheiden sich Sommer- und Winterschnee in nivalen Klimaten durch den Deuterium-Gehalt (schweres Isotop des Wasserstoffs) oder der Schnee kann als Archiv von Luftverunreinigungen verwendet werden (vielfach auf Gletschern durchgeführt).

Die **Schneedecke als Klimafaktor** äußert sich im Wesentlichen in 3 Wirkungsbereichen:

- Die Schneedecke hat auf Grund ihres hohen Luftgehaltes eine hervorragende Isolationswirkung und schützt den Untergrund vor dem Eindringen großer Kälte.
- Die Schneedecke beeinflusst besonders mit ihrer hohen Albedo die Strahlungsbilanz schneebedeckter Gebiete.
- Die Schneedecke wirkt auf den Wärmehaushalt einerseits durch die Albedo und andererseits durch Wärmeentzug aus dem Boden bei der Schmelzung ein.

Die standardisierte Untersuchung der Eigenschaften der Schneedecke erfolgt im **Schneeprofil** mit dem Zweck, Aussagen in Hinblick auf die Lawinengefährdung daraus abzuleiten. Bei der Erstellung von Schneeprofilen wird folgendermaßen verfahren:

1. Rammprofil: Feststellung des Rammwiderstandes R als Ausdruck der Schneehärte mit einer speziellen Rammsonde.
2. Temperaturprofil: Nach Ausheben des Schneeschachtes entlang des Rammprofiles wird die Temperatur T mit Einstechfühler in dm-Abständen über das gesamte Profil hin gemessen.
3. Schichtprofil: Dieses besteht einerseits aus einer visuellen Feststellung der Schichtgrenzen an der glatt geschnittenen Schattenwand des Schneeschachtes und andererseits aus der Betrachtung der folgenden Parameter:
 - Kornform F: visuelle Bestimmung mittels Lupe in jeder Schicht
 - Korngröße D: Bestimmung auf einem Metallplättchen mit mm-Raster (Lupe)
 - Feuchtigkeit W: visuelle Abschätzung und Zuordnung zu 5 Klassen
 - Härte K: manueller Test und Zuordnung zu 6 Klassen
 - Dichte ρ (G) bzw. Wasserwert HW: Ausstechen von Schneeproben mit genormtem Zylinder und Abwiegen mit Federwaage.

2.4. Schneewitterung und Schneeklima

In diesem Kapitel soll der Schnee in knapper Form in Bezug zur Klimasynopsis (Wetter, Witterung und Klima) betrachtet werden.

Schneefall tritt dort, wo er von den großklimatischen Rahmenbedingungen her überhaupt möglich ist, mit deutlicher Bindung an bestimmte Wetterlagen auf. Dabei kommt es darauf an, dass die steuernden Druckgebilde Luft mit ausreichender Feuchtigkeit und genügend tiefem Temperaturniveau an das betreffende Gebiet heranführen. Bei entsprechend langer

Andauer bestimmter Wetterlagen mit Advektion entsprechender Luftmassen kann es zu Starkschneefällen und/oder besonders starker Windverfrachtung von Schnee mit entsprechend hoher Lawinendisposition kommen. Für Österreich gilt beispielsweise:

- Westlagen: Schwerpunkt der Schneefälle in Vorarlberg und westl. Nordtirol
- Nordwestlagen: Schwerpunkt der Schneefälle im gesamten Nordstaugebiet
- Süd- bis Südwestlagen: Schwerpunkt der Schneefälle in den Südalpen
- Tiefdruckentwicklung südl. der Alpen: Schwerpunkt der Schneefälle im SE-Alpenraum.

Der Begriff Schneeklima ist kein stehender Fachausdruck, sondern kann ganz allgemein für Klimate Anwendung finden, in denen Schnee vorkommt bzw. eine nennenswerte Rolle als Klimatelement und -faktor spielt, was jedenfalls für die gemäßigten Breiten und die Gebiete polwärts davon sowie für die meisten Hochgebirgsklimate gilt. In verschiedenen Klimaklassifikationen tauchen Wortverbindungen mit Schnee auf (z.B. "Schnee-Waldklima" für D bei Köppen-Geiger, je nach Version auch "Schneeklima", welche Bezeichnung jedoch meist für E verwendet wird), um die große ökologische Bedeutung von Schnee für diese Gebiete zum Ausdruck zu bringen. Ein "nivales Klima" zeichnet sich dadurch aus, dass der größte Teil der Niederschläge als Schnee fällt und die flächenhaft liegende Schneedecke in der wärmeren Periode nicht vollständig abschmilzt (LESER et al. 1984).

Bei entsprechenden Wetterlagen stellen sich typische Erscheinungsformen des Wetters bzw. der Witterung ein, z.B.:

- Schneefall (Schneegestöber, Schneeregen ...) bei windarmen Lagen.
- Eine besonders typische Erscheinung gerade im Hochgebirge ist die Windverfrachtung von Schnee (Winddrift, Tribschnee), wobei die Kristalle durch Rollen, Hüpfen, Abheben und Aufschlagen zertrümmert und auf 10-20 % der ursprünglichen Größe zerkleinert werden. Die Ablagerung erfolgt in dichter, geschichteter Packung ("Brettschnee"). Unter *Schneefegen* versteht man den Windtransport von Tribschnee über der Schneedecke bis in eine Höhe von 1-1,5 m, unter *Schneetreiben* hochreichenden Windtransport mit Beeinträchtigung der Sicht. *Schneefahren* sind Tribschneestrahlen oder -wolken, die durch Aufwirbeln von Schnee meist über Gratentopfen entstehen und vom Tal aus die Höhenwindverhältnisse erkennen lassen (vornehmlich nach Lexikon Schnee und Lawinen). Besonders gefürchtete Schneestürme sind die nordamerikanischen *Blizzards*.
- Bei dichter Bewölkung und geschlossener Schneedecke (mit oder ohne Schneefall) kann durch wechselweise Reflexion des sichtbaren Lichts an Schneedecke und Wolken jegliche Geländeplastik und damit jedes Raumgefühl verloren gehen. Ein solches Whiteout bewirkt ein Gefühl völliger Orientierungs- und Hilflosigkeit (EICHLER 1984).
- Flimmerschnee entsteht bei Temperaturen unter -12°C durch Sublimation von Wasserdampf (die in der Luft schwebenden winzigen Eiskristalle rufen eigenartige Lichtbrechungs- und Streueffekte, so genannte "Lichtsäulen", hervor).
- Eine Besonderheit des Stadtklimas ist der so genannte Industrieschneefall. Hierbei handelt es sich um ein lokal eng begrenztes stadtklimatisches Phänomen, das sich bei bestimmten Bedingungen - kräftige freie Inversionen mit geringer Mischungsschichthöhe und hohe Luftfeuchte - im Nahbereich von Emittenten mit hohem Wasserdampf- und Aerosolausstoß einstellt. In Graz kommt Industrieschneefall in den westlichen Bezirken an durchschnittlich 4-5 Tagen pro Jahr (zwischen November und Jänner) vor und kann zum Aufbau von beachtlichen Schneedecken führen (bisheriges Max. der Gesamtschneehöhe: 11 cm). Beobachtete Rahmenbedingungen in Graz sind z.B. eine Lufttemperatur am Boden von unter -4°C , eine Hochnebelobergrenze nahe 700 m und Vorherrschen bodennaher Winde aus dem Sektor S bis SE. Das Phänomen gilt als noch unzureichend untersucht, wobei - verglichen mit "normalen" Schneefällen - vor Allem die

"Verschiebung des Gefrierkernspektrums zu höheren Temperaturen hin" auffällig ist (PILGER & PODESSER 2000).

3. Die Bedeutung des Schnees im geographischen System

3.1. Landschaftsgestaltung durch Schnee

Schnee spielt nur in geneigtem Gelände eine nennenswerte Rolle als geomorphologisches Agens. Für den Prozess der Landschaftsgestaltung durch Schnee wird ganz allgemein der übergeordnete Begriff Nivation verwendet. Er beruht im Wesentlichen auf zwei unterschiedlichen Wirkungen:

- Die Schneedecke ist auf Grund ihrer Zähigkeit fähig, eine sehr langsame, stetige Abwärtsbewegung (die immer auch von Schneesetzung begleitet ist) auszuführen. Dieser Vorgang wird *Schneekriechen* genannt, wobei die Geschwindigkeit an der Oberfläche am größten und am Untergrund null ist, d.h. er besitzt für die Formung keine Relevanz. Meist tritt jedoch zugleich *Schneegleiten* auf, das ist die Bewegung der gesamten Schneedecke auf steilen, meist grasbewachsenen Hängen auf Grund der Schmierwirkung einer dünnen Wasserschicht zwischen Untergrund und Schneedecke (Schneegleiten äußert sich oft durch Aufreißen der Schneedecke im Oberhangbereich = Bildung von "Schneemäulern"). Dieser Vorgang bewirkt nun den über rauen Oberflächen sehr effizienten *Schneeschorf*, der - wie alle Prozesse des Massenschurfs - zum Ablösen von Fest- und Lockergesteinen aus ihrem ursprünglichen Verband und praktisch zu einer schichtweisen Abhobelung der Oberfläche führt (STAHR & HARTMANN 1999, 174 f.).
- Vor Allem unterhalb von weit in den Sommer hinein liegenden bleibenden oder gar perennierenden Schneefeldern stellt sich ein hohes Angebot von *Schmelzwasser* ein. Dieses kann einerseits über Durchtränkung des Bodens - etwa in Form des schmelzwasserinduzierten Bodenfließens (STAHR & HARTMANN 1999, 173) - oder andererseits einfach durch erosive Prozesse formenbildend werden.

Zu unterscheiden ist noch zwischen kontinuierlich und spontan ablaufenden Prozessen (unter den letzteren sind natürlich die Lawinen zu verstehen), die zur Entstehung der folgenden Geländeformen führen:

- *Nivationsnischen/Karoide* entstehen bevorzugt in der "Schneefleckenlandschaft" der subnivalen Stufe (also bei Existenz lang andauernder bzw. perennierender Schneefelder) durch kombinierte Wirkung von Schneeschorf am Untergrund und Solifluktion im durchnässten Substrat unterhalb des Schneefeldes. Selbverstärkungseffekt durch Vergrößerung der Nischen. Bei Zusammenwachsen benachbarter Nischenböden können Nivations- oder Kryplanationsterrassen entstehen (STAHR & HARTMANN 1999, 173 f.).
- *Schneeschorfflächen/Blaiken* sind vom Schneeschorf ihrer Vegetationsdecke beraubte Stellen an schneereichen Hängen. Der Begriff Blaiken wird meist für größere Formen dieser Art verwendet und steht auch für die potenzielle Funktion dieser Areale als "Nährgebiete" für Massenbewegungen wie z.B. Muren.
- *Lawinengräben* (Lawinentobel, Lahngänge) entstehen durch Ausweitung schon vorhandener erosiver Rinnen durch Lawinenschurf.

In dieser knappen Zusammenfassung sind nur die Hauptprozesse, nicht jedoch Nebeneffekte (wie z.B. das Abgleiten von Substrat aus dem Oberhang über Schneefelder oder der Schwarz-Weiß-Effekt an deren Rand) berücksichtigt. Wichtig ist schließlich darauf hinzuweisen, dass alle Nivationsprozesse durch die großflächige Rodung des Bergwaldes im Gebirge stark gefördert werden. Vor Allem die Intensivierung des Schneeschorfs ist sehr signifikant: die

betreffenden Flächen wurden früher durch arbeitsintensive Pflegemaßnahmen laufend saniert; die in letzten Jahrzehnten auf Grund wirtschaftlicher Zwänge erfolgte Extensivierung der Almwirtschaft hat vielfach die Bildung von Blaiken verstärkt.

3.2. Schnee und Gewässer

Der Wasserhaushalt besteht aus den Haupt-Teilprozessen Niederschlag, Verdunstung und Abfluss (einfachste Form: $N = V + A$). Bei genauerer Betrachtung schalten sich jedoch zwischen Niederschlag und Abfluss Nebenprozesse ein, die eine Verzögerung des Abflusses bewirken. Es sind dies die Speicherung oder *Rücklage* (R), die kurz- (Interzeption), mittel- (Grundwasser) oder langfristig (Gletscher) erfolgen kann, und der *Aufbrauch* (B), wenn die R als "Spende" in den Abfluss eingebunden wird.

Die wichtigste Funktion des Schnees im Wasserkreislauf ist die einer temporären Rücklage, welche durch die Abschmelzung im Frühsommer in vielen subtropischen Winterregengebieten die landwirtschaftliche Nutzung erst im großen Stil ermöglicht (bes. typisches Beispiel: "fruchtbarer Halbmond" im Vorderen Orient, vgl. ENDLICHER 1991, 98 f.). Ein kürzerfristig regional wirksamer Nebeneffekt ist dabei die Tatsache, dass die Schneedecke selbst Schmelz- und Regenwasser zu speichern vermag (vgl. den Wassergehalt der Schneedecke in Kap.2.3.). Natürlich geht das Schmelzwasser - also der Verbrauch der Rücklage Schneedecke - nicht unbedingt direkt in den Abfluss, sondern stellt über die Versickerung auch einen wichtigen Faktor der Grundwasserneubildung dar, wie man z.B. an den Jahresgängen der Grundwasserstände im Leibnitzer Feld (FANK 1999) gut sehen kann.

Der Einfluss der Schneeschmelze äußert sich hydrologisch am auffälligsten im Jahresgang der Wasserführung von Flüssen nach Monatsmitteln (Abflussregime). Die von der Schneeschmelze besonders klar geprägten Abflussregime sind

- das *nivale* Regime (mit einem klar hervortretenden Max. auf Grund der Schneeschmelze, wobei dieses im Tiefland schmaler als im Bergland ist, weil die Schneeschmelze sich in den Höhenstufen des Gebirges über einen längeren Zeitraum erstreckt)
- das *nivopluviale* Regime (welches bei Doppelgipfeligkeit des Jahresgang das Haupt-Max. während der Schneeschmelze besitzt) und
- das *pluvionivale* Regime (bei welchem der Niederschlag für das Hauptmaximum verantwortlich ist).

Vor Allem in der borealen Zone sind die nivalen Flussregime von großer Bedeutung, wobei z.B. im nördl. Skandinavien 1/3 des Jahresniederschlags, der in der Schneedecke über ein halbes Jahr gespeichert liegt, in nur 2-3 Wochen abfließt und dabei auch zu einem stoßweisen Eintrag atmosphärischer Schadstoffe in die Gewässer führt ("Säureschub", VENZKE 1989).

3.3. Schutz und Stress - Pflanzen und Tiere im Schnee

Dass der Winter bzw. das Hochgebirge spezielle Anforderungen an die darin ausharrenden Lebewesen (viele Tiere können sich ja mit Flucht behelfen) stellen, versteht sich von selbst. Diese das winterliche (Über-)Leben prägenden Stressfaktoren wurden von HALFPENNY & OZANNE 1989 in ihrer gemeinsamen Wirkung (auf die evolutionären Winter-Anpassungen der Lebewesen) zum "SCREW-Faktor" zusammengefasst:

- Schnee (snow S)
- Kälte (cold C)
- Strahlung (radiation R)

- Energiehaushalt (energy E)
- Wind (wind W)

Es liegt aber eine gewisse Schwierigkeit darin, hierbei die spezifische Rolle des Schnees - etwa in Abgrenzung von der Bedeutung des Stressfaktors Kälte - bzw. der Lawinen herauszuarbeiten. Auch geht aus dem Titel - und manchen der bisherigen Überlegungen - schon hervor, dass Schnee und Lawinen auch positive Wirkungen für Lebewesen besitzen.

Pflanzen

Schneedecke als Belastung

Die Schneedecke wirkt auf den Untergrund in Form der *Schneelast* (natürlich auch für Gebäude relevant!), die zum *Schneebruch*, also dem Abbrechen von Ästen an Bäumen durch daran hängen gebliebenen Schnee (meist Nassschnee) führen kann. Aus dem borealen Nadelwald Kanadas werden regelrechte "Schneebruchlichtungen" beschrieben, worin in der Sukzession die gut der Schneelast angepassten Birken als erste hochkommen (VENZKE 1989, 20). Auch die Spitzkronigkeit z.B. von Fichten gilt als Anpassung gegenüber der Schneebruchgefahr. Auf der Südhemisphäre sind im dortigen hochmaritimen Klima Schneelasten auch für die Ausbildung der Waldgrenze wichtig, z.B. tritt *Nothofagus pumilio* ab einer gewissen Höhe nur mehr busch- und nicht mehr baumförmig auf (GRABHERR 1997).

Schneedecke als Standortfaktor

Die Schneedecke (und ihre Differenzierung nach Dauer und Mächtigkeit) beeinflusst die Standortbedingungen von Pflanzen ganz wesentlich durch folgende Hauptfaktoren:

- *Bodentemperatur*: Auf der einen Seite nutzen "Schneeschilder" die Isolationswirkung der Schneedecke als *Frostschutz*, z.B. besteht die Krautschicht nemoraler Wälder fast durchwegs aus frostempfindlichen Arten (GRABHERR 1997, 54 ff.). Auf der anderen Seite stellt die *Verzögerung der Bodenerwärmung* bei langer Schneedeckendauer einen Ungunsthfaktor dar.
- *Verkürzung der Vegetationsperiode*: Die Schneedeckendauer als Wuchsfaktor beeinflusst Artenverteilung, Deckungsgrad und Wuchsformen in Pflanzengesellschaften, die ihrerseits Rückschlüsse auf die Schneeverhältnisse ermöglichen (vgl. dazu das Standortmosaik der alpinen Stufe). Langschneeflächen mit später *Ausaperung* werden von *chionophilen Pflanzen* besiedelt. Hohe Schneemengen und daraus resultierende späte Ausaperung wirken auch auf die Höhenlage und den Verlauf der Waldgrenze ein. Dabei spielen u.a. den Bäumen Nährstoffe entziehenden Schneepilze (*Herpotrichia*) eine Rolle.
- *Wasserversorgung*: Von besonderer Bedeutung ist der Feuchteschub auf Grund der Schneeschmelze, der z.B. für die Frühlingsphemeren der trockenen Mittelbreiten die Lebensgrundlage darstellt. Auch fördert die *Schneesmelze* über die Durchfeuchtung der Streu Zersetzungs Vorgänge bzw. kann die abschmelzende Schneedecke selbst zum Lebensraum werden, etwa für die Rote Schneeealge *Clamydomonas nivalis* (GRABHERR 1997). Ein nur mittelbar mit dem Schnee in Verbindung stehender ökologischer Stressfaktor ist die Gefahr von Frostrocknis an Windkanten.
- *Mechanische Beanspruchung*: Dieser Stressfaktor beruht auf der oben beschriebenen Schneelast und auf Kriech- und Gleitbewegungen (bis hin zum Lawinenabgang) in der Schneedecke.

Schneewitterung als Stressfaktor

Wichtigster Faktor hierbei ist - neben Starkschneefällen mit Schneebruchgefahr - das (mit der im Hochgebirge und in polaren Räumen allgegenwärtigen Windverfrachtung kombinierte) *Schneegebläse* (Eiskorngebläse) die über die Schneedecke aufragenden Pflanzenteile

mechanisch, worauf die Pflanzen mit dichten Verzweigungen unter dem Niveau der Schneedecke reagieren (hierzu: Wipfeltischformen der Bäume des Waldgrenz-Ökotons).

Lawinenbahnen als besondere Standorttypen

In schneereichen Hochgebirgen wie den Alpen erscheint die subalpine und vielfach auch die montane Waldstufe streifenförmig aufgelöst, weil Lawinenbahnen (-gasse, -tobel ...) waldfreie Schneisen schaffen, in denen eine charakteristische Zonierung zu beobachten ist:

- Außenbereich: bruchempfindliche Nadelhölzer
- Randbereich: Strauchbuchen, Grünerlen (!), ev. Latschen
- Innenbereich: Hochstaudenfluren und "lawinare Urwiesen".

Wichtig ist die Feststellung, dass nicht die mechanische Beanspruchung durch die stürzenden Schneemassen der alleinige Standortfaktor der Lawinenbahnen ist. Frühes Schneefreiwerden der Oberhänge, gute Durchfeuchtung der Mittel- und Unterhänge sowie eine sehr gute Nährstoffversorgung (die Lawinen bringen Boden- und Streumaterial mit !) führen insgesamt zu beachtlichen Produktionsleistungen, die sich ihrerseits in einem üppigen, blütenreichen Vegetationsaspekt widerspiegeln.

Tiere

Schneedecke als Lebensraum

Schneehühner (und vielfach auch Schneehasen) lieben tief verschneite Hänge schattseitiger Lagen, damit sie sich leichter in den lockeren Pulverschnee eingraben oder einschneien lassen können, wodurch sie "vom *Iglu-Effekt* der wärmeisolierenden Schneeschichten" profitieren (WINDING et al. 2000, 170).

Eine ähnliche Anpassungsform begegnet uns bei Schneemäusen (in der Borealis bei Rötelmäusen und Lemmingen), die ausgedehnte *Gangsysteme unter der Schneedecke* (bis zu 3m/m²) anlegen, wo die Temperaturen stets nahe 0° bleiben und die Tiere auch vor den hungrigen Beutegreifern an der Oberfläche geschützt sind. Andererseits haben sich aber Hermeline und Mauswiesel ebenfalls auf diese "subchionen" Lebensräume spezialisiert, in denen die Tiere mit obendrein praktisch in Dunkelheit leben (z.B. wurden in kaum 2 dm Schneetiefe nur mehr 10% der oberflächlichen Globalstrahlung gemessen).

Weißes Gefieder (Schneehuhn) bzw. *Fell* (Schneehase) ist vor Allem Kälteschutz (hohle Härchen haben bessere Isolationswirkung !), zugleich aber natürlich auch eine Tarnfarbe gegenüber Adlern und Füchsen als natürlichen Feinden.

Fortbewegung auf dem Schnee

Die Schneedecke behindert generell das Fortkommen auf Grund ihrer meist geringen Festigkeit, wobei Harschkrusten dem Wild auch Verletzungen an den Läufen zufügen können (ein nach BLÜTHGEN & WEISCHET 1980, 272, für die Rentierhaltung wichtiger Faktor). Lokal ist aber doch auch damit zu rechnen, dass sonst schwer begehbares Gebiete wie z.B. Blockhalden oder Latschenflächen bei Schneebedeckung leichter überquert werden können. Viele Tiere besitzen an den Läufen "*Schneeschuhe*", Schneehase und Luchs z.B. verbreiterte, dicht befellte "Plüschpfoten", der Schneehase zusätzlich noch spreizbare Zehen. Gämsen hingegen haben an den Läufen kurze, spitz zulaufende Haare, an denen Schnee nicht festfrieren kann.

Nahrungssuche im Schnee

Die Schneedecke verdeckt Nahrung für Tiere. Aus diesem Grund suchen z.B. Gämsen und Steinböcke bevorzugt *apere Stellen*, die es im Form der Windkanten oberhalb der Waldgrenze reichlich gibt. Dies erspart auch unnötige Energievergeudung zum mühsamen Ausgraben der Nahrung. Diese Möglichkeit existiert in den Waldgebieten, in denen die Schneedecke recht gleichmäßig mächtig ist, nicht. Dieser Nachteil wird vielfach dadurch wettgemacht, dass die

Tiere auf der Schneedecke an *höher* an den Gehölzen treibende Knospen herankommen, welche obendrein durch die Schneelast noch herabgebogen werden. Hierher gehört natürlich auch die schon erwähnte Winteraktivität der Schneemäuse in selbst gegrabenen Gängen unter der Schneedecke.

Viele Tiere behelfen sich auch mit der Anlage von *Nahrungsdepots* bzw. sind spezialisiert auf besondere winterliche Nahrungsquellen (z.B. zieht der Fichtenkreuzschnabel im hochwinterlichen Nadelwald seine Jungen groß, weil da das beste Angebot an frischen Fichtensamen herrscht).

Auch Lawinen spielen hierbei eine Rolle: zum Einen bieten sie an den Oberhängen *frühes Schneefreiwerden* von potenziellen Äsungsflächen, zum Anderen stellen sie in Form von *Lawinenoefern* eine Nahrungsquelle etwa für Steinadler, Bartgeier, Kolkraben und Füchse bereit. Hierbei wirkt der Lawinenschnee auch als *Kühlschrank*: für die Bartgeier apert die toten Gämsen im Frühjahr gerade rechtzeitig aus, damit sie ihre Jungen damit füttern können (WINDING et al. 2000).

3.4. Beziehungen zwischen Schnee und Mensch

3.4.1. Wahrnehmung von Winter und Schnee im Wandel der Zeit

Dem Winter wird traditionell ein negatives Image in vergangener Zeit zugeschrieben und dabei der Schneedecke gerne die makabre Bezeichnung "Leichtentuch der Erde" (z.B. SCHMITT 1984, 11) zuerkannt. Es ist tatsächlich davon auszugehen, dass der Winter in der vorindustriellen Phase viele *Unannehmlichkeiten* mit sich brachte, die im Wesentlichen in zwei Faktoren begründet liegen.

- Der Winter als Zeit hohen Energiebedarfs bei gleichzeitig eingeschränkt verfügbaren Nahrungsressourcen war eine Zeit, deren Überbrückung spezifischer Vorkehrungen bedurfte. Kurze Tageslänge und Dunkelheit mochten ebenfalls belastend gewirkt haben. Im Brauchtum ist vielfach dieser Aspekt noch zu sehen (Austreiben des Winters u.ä.).
- Die Schneedecke bedeutete vor Allem im Gebirge über das Gefahrenpotenzial der Lawinen einen Ungunstoffaktor.

Dennoch muss wohl bezweifelt werden, dass die Wahrnehmung des Winters nur eine negative war. Vielmehr scheint es ebenso wie beim alten Bild der Hochgebirge als "montes horribiles" (BÄTZING 1997) so zu sein, dass das negative Image ein weitgehend von Unkenntnis getragenes städtisches Wahrnehmungsmuster darstellt, während im ländlichen Raum eine viel unkompliziertere, gleichsam natürliche, wenn auch wohl nicht wirklich ästhetische Wahrnehmung vorherrschte. Schließlich brachte der Winter und dabei besonders der Schnee auch *Vorteile*.

- Der Winter war auch die Zeit der Ruhe und Erholung nach einem anstrengenden Arbeitssommer. Ein Leben im Einklang mit astronomischen Bedingungen umfasst auch eine klare Rhythmik von Aktivität und Ruhe (Tag/Nacht, Sommer/Winter), ganz im Gegensatz zum modernen Zeitbegriff. Auch bot der Winter als Zeit geringeren Arbeitsaufwandes am Hof die Möglichkeit, handwerkliche Produkte herzustellen und/oder im Hausiererhandel zusätzliche Einnahmequellen - häufig auf der Basis der Direktvermarktung eigener Produkte - zu erschließen, was beispielsweise in vielen Tiroler Tälern nachweisbar ist.
- Die Schneedecke bringt vor allem als Transport-Gleitmedium auch im Alltagsleben große Vorteile, die die borealen Völker schon seit jeher als "materiellen Kulturbesitz" nutzten (wobei z.B. der Schlitten in den verschiedenen Teilen der Borealis offenbar unabhängig voneinander entwickelt wurde, VENZKE 1989, 21). Günstige winterliche

Transportmöglichkeiten spielten etwa eine Rolle bei der Pelztierjagd (wobei freilich auch nur die Winterfelle der Tiere interessant waren), in der Forstwirtschaft sowie in der traditionellen alpinen Landwirtschaft (winterlicher Heutransport).

Überspitzt könnte man sogar postulieren, dass heute in einer auf das Funktionieren von Hochleistungstransport- und -kommunikationssystemen ungleich stärker angewiesenen Gesellschaft der *Behinderungs-* oder *Schadensaspekt* (Schneeverwehungen, Schneeglätte, Schneebruch) stärker in den Vordergrund rückt als in der Vergangenheit (nach einer Notiz im "Geo Spezial" Kanada von 1998 gibt z.B. die Stadt Montreal jährlich 60 Millionen \$ für die Schneeräumung aus). Weitere umfangreiche Hinweise hierzu, besonders etwa zum Streusalzbedarf und zur Wintersperre von Straßen, finden sich, wenn auch mit altem Datenmaterial, in WILHELM 1975, 114 ff.). Hinzu kommt, dass es auch schon sehr früh Hinweise auf lustvolle Betätigungen im Winter gibt, z.B. thematisiert die holländische Landschaftsmalerei des 17. Jhdt. verstärkt Wintermotive (kalte und schneereiche Winter der "Kleinen Eiszeit") und zeigt dabei Menschen aller sozialen Schichten beim vergnüglichen Eislaufen auf den zugefrorenen Wasserläufen (Ausstellung in Berlin 2001). Es ist also sicherlich unzutreffend, den Winter und den Schnee als in der Vergangenheit *nur* negativ besetzt zu erachten.

Dennoch erfolgte eine Ästhetisierung des Winters in größerem Stil, wie man sie auch in der Kunstgeschichte nachvollziehen könnte, erst im 19. Jh. und die Nutzung des Schnees für Freizeit Zwecke auch um einige Jahrzehnte zeitverzögert gegenüber den Anfängen des Sommertourismus. Hierbei kann man die gerne zitierte Anekdote (z.B. bei SCHNEIDER & MANGOLD 1989) vom Beginn des Winter-Fremdenverkehrs in St. Moritz als Beispiel nehmen: 1864 wettete der St. Moritzer Hotelier J. BADRUTT, der damals schon die fehlende Wintersaison beklagte, mit englischen Sommergästen, dass er - wenn sie nur im Winter in sein Hotel kämen - ihnen die Rückreise bezahlen würde, falls sie nicht das Klima des Engadins angenehmer als das in ihrer Heimat empfinden würden. Die 4 Engländer kamen zu Weihnachten, fuhren erst im Frühjahr (auf eigene Kosten) heim und hatten den Winterfremdenverkehr begründet. Neben diesem Aspekt der "Winterkuren" (die später wegen günstiger Temperaturen und vermehrter Strahlung auch medizinisch eine Rolle spielen sollten, GRÜNDLER 1992) wurde aber vor allem der Sport immer bedeutender, wie am Bsp. des Schilaufs im Folgenden gezeigt wird.

Der **Ski** als Fortbewegungsmittel ist in Skandinavien seit prähistorischer Zeit belegt, etwa durch Felszeichnungen. Seine Verwendung war auch dem griech. Geographen Strabo (63 v. - 26 n. Chr.) bekannt und setzte sich spätestens im 16. Jh. vollends durch, als etwa der winterliche Postdienst Norwegens auf Ski umgestellt (1525) und in historischen Quellen auch schon Wettläufe genannt wurden (ÖAV o.J.). Im 16. Jh. kennt man aus den Alpen nur die Verwendung von Schneereifen (Schweiz), ab dem 17. Jh. auch von brettartigen Vorläufern von Schiern, die auch ein Gleiten auf der Schneeoberfläche ermöglichten. Besonders interessant ist dabei die Schilderung der Verwendung von Schiern (ebenfalls mit klarem Hervortreten der lustvollen Komponente) an der Bloska planota (Slowenien) in der Landeskunde von VALVASOR 1689 (zitiert nach ÖAV o.J.). Diese bodenständigen Vorläufer hatten aber keine Bedeutung für die spätere Ausbreitung des Skisports.

Als deren "Initialzündung" gilt das Erscheinen der 2 Bände "Auf Schneeschuhen durch Grönland" von NANSEN 1891: die deutsche Ausgabe avancierte zu einem regelrechten Kultbuch mit nachhaltiger Wirkung. Mit einem Schlag kam der Skilauf in Mode, und an mehreren Stellen der Alpen entwickelten sich - in der Anfangsphase offenbar unabhängig voneinander an mehreren Orten und jeweils von Einzelpersonen getragen - Initiativen zur

Förderung bzw. auch zur eigenständigen Adaptierung der "norwegischen" Technik und Ausrüstung auf den alpinen Bedarf. Eines der frühen "Zentren" des Skilaufs (nicht unbedingt das früheste) war Mürzzuschlag, wo sich vor allem der Hotelier T. SCHRUF und der Grazer M. KLEINOSCHEG als Pioniere hervortaten und etwa 1891 das Stuhleck (1782 m) als einer der ersten Alpengipfel mit Schiern erstiegen (möglicherweise war es der 2. Berg nach dem Heimgarten, 1790 m, in den Bayrischen Alpen, der nach SCHMITT 1985 a schon 1890 erstiegen worden sein soll). Bezeichnend für die Mürzzuschlager Entwicklung waren jedenfalls die folgenden Aspekte:

- Einerseits wurde ein Hotelier, der unter der mangelnden bis *fehlenden Winterauslastung* seines Betriebes litt, und andererseits ein Städter aktiv, denn der frühe Schisport war ähnlich wie der Alpinismus ein stark vom *städtischen Bürgertum* getragenes Phänomen.
- Weiters ist typisch, dass als erstes ein Berggipfel erstiegen wurde, womit einerseits die Bindung des frühen Schisports an den *Alpinismus* gezeigt wird (das Winterbergsteigen in den Ostalpen war spätestens seit der 1. Winterersteigung des Dachsteins durch F. SIMONY im Jahr 1847 recht gut etabliert) und andererseits eine betont *sportliche Komponente* durch das Bestreben, möglichst lange Abfahrten zu bewältigen, zum Ausdruck kommt.
- Schon 1893 wurde in Mürzzuschlag das erste internationale *Skirennen* und 1904 mit den "Nordischen Spielen" eine erster Image bildende Großveranstaltung abgehalten (GRÜNDLER 1992). Der Skilauf war in seiner Entwicklung schon früh von Wettkämpfen geprägt, die als mediale Großereignisse viel zu seiner Verbreitung beitrugen.
- 1892 wurde der Wiener Skiklub und 1893 der Verband Steir. Skiläufer gegründet, wobei wiederum charakteristisch ist, dass die Kristallisationspunkte der frühen Skigeschichte in den Alpen nicht im Hochgebirge i.e.S., sondern in Ostösterreich bzw. überhaupt in den Städten lagen. Auch der *organisierte Skilauf* im Rahmen von Vereinen ist ein typischer Wesenzug der Frühzeit (vergleichbar auch dem Alpinismus).

Weitere wichtige Zeitmarken der Skigeschichte waren 1893 das Erscheinen der ersten Ski-Zeitschrift (in München), 1894 die 1. Ski-Ersteigung eines 3000ers durch W. v. ARLT (SCHMITT 1985 a, Rauriser Sonnblick, 3106 m) und 1896 die Publikation des 1. Ski-Lehrbuches (durch den frühen Technik-Pionier M. ZDARSKY aus Lilienfeld, SCHMITT 1985 b). Ab etwa 1900 wurden verstärkt Skikurse in allen Skigebietern angeboten, und um etwa 1910 entstanden die ersten Aufstiegshilfen, die zumindest teilweise allerdings eher für Rodelfahrer konzipiert gewesen zu sein scheinen (1908 am Bödele bei Dornbirn nach LICHTENBERGER 1997, 182; 1910 am Semmering nach einem Vortrag von JÜLG 1999 in Graz). Als im 1. Weltkrieg wegen der Lage wichtiger Frontlinien im Hochgebirge der Skilauf stark forciert wurde, führte dies dazu, dass über die Soldaten als Multiplikatoren unbeabsichtigt ein weiterer Grundstein für die Entwicklung des Schisport zum Massensport gelegt wurde.

3.4.2. Schnee als Wirtschaftsgrundlage

Der Skisport ist global gesehen wohl die wichtigste, bei Weitem aber nicht die einzige Möglichkeit, wie mit Winter und Schnee Geld zu verdienen ist. Neben den anderen Formen des Wintersports - die meisten von diesen, besonders die jüngeren Trendsportarten, sind dem Skilauf ja sehr eng verwandt - ist der Vollständigkeit halber auch darauf zu verweisen, dass in der Zeit vor der Erfindung leistungsfähiger Kühlschränke Schnee und Eis als Handelswaren eine Rolle spielten. In natürlichen Hohlformen oder künstlichen Schneegruben oder -häusern wurden in vielen subtropischen Hochgebirgen Schnee und Eis gesammelt und in der warmen Jahreszeit gehandelt, von Triest z.B. ging Eis aus den Schachthöhlen des Trnovski gozd auch in den Export (PASCHINGER 1958). Indirekte Einflüsse auf die Wirtschaft nehmen natürlich

auch die Wirkungen des Schnees auf die Gewässer, und ebenso stellt der Lawinenschutz einen regional wichtigen Wirtschaftsfaktor dar.

Aspekte der Bedeutung des Skisports für die Wirtschaft:

- Die Zahl der Skifahrer wird für ganz Europa auf 25 Millionen geschätzt (KUREHA 1995), allein in Österreich sollen es an die 2,5 Millionen sein (WOLF in einem Vortrag in Johnsbach 2001), nach einer Notiz in der Kleinen Zeitung vom 3.12.2001 sollen sogar 800.000 Österreicherinnen und Österreicher Langlauf betreiben.
- Die flächenhafte Ausbreitung des Wintersports in den Alpen ging mit einer zunehmenden Dominanz der Skisports einher und hatte als wichtige Grundlage die Entwicklung mechanischer Aufstiegshilfen. In der Zwischenkriegszeit entstanden alpenweit ca. 30-35 Seilbahnen (die ersten in Österreich waren 1926 die Rax- und Zugspitzbahn) und ab den 30er-Jahren die ersten Schlepplifte. Die Take-off-Phase der Nachkriegszeit äußert sich im bekannten Erschließungsboom (mit den ebenso gut bekannten ökologischen Problemen), wobei "heute" in den Alpen etwa 12.000-13.500 Aufstiegshilfen (davon 85-90 % Skilifte) existieren, was ca. 60 % des Weltbestandes entspricht (BÄTZING 1997). In Österreich verzehnfachte sich die Zahl der Aufstiegshilfen allein zwischen 1955 (ca. 350) und 1985 (ca. 3500, JÜLG - Vortrag 1999).
- Dies war gekoppelt mit einer dramatischen Zunahme der Übernachtungszahlen im Winter (in Österreich zwischen 1950 und 1980 von 3 auf 40 Millionen, JÜLG - Vortrag 1999) bei gleichzeitig starker Umwandlung der Fremdenverkehrsorte und Verlagerung der Schwerpunkte von E- nach W-Österreich. Dabei erwies sich im Zuge eines generellen Anstiegs des Tourismusvolumens die Wintersaison eigentlich von Anfang an als die dynamischere (sie startete ja auf niedrigerem Niveau als die Sommersaison) und begann in vielen Alpengebieten ab den 60er-Jahren nach der Zahl der Gäste und Übernachtungen die Sommersaison zu überflügeln, gesamtösterreichisch ist dies jedoch noch nicht eingetreten, vgl. dazu Tab.3.

Tab.3: Winter- und Sommerübernachtungen im Fremdenverkehrsjahr 1999/2000 in Österreich
(Quelle: Wirtschaftskammer 2001)

Gebiet	Zahl Übernachtg. Winter 99/00	Veränderung zum Vorjahr	Zahl Übernachtg. Sommer 00	Veränderung zum Vorjahr
Tirol	22,3 Mio.	+ 3,0 %	17,4 Mio.	-2,8 %
Salzburg	11,8 Mio.	+ 1,1 %	9,1 Mio.	-4,4 %
Österreich	53,4 Mio.	+ 2,5 %	59,6 Mio.	-2,5 %

- Die Einnahmen aus dem Wintertourismus sind höher als die aus dem Sommertourismus, was sowohl für die Gäste vor Ort als auch für die zur Ausübung des Sports notwendige Ausrüstung gilt. Deshalb konnte einnahmenseitig die Wintersaison gesamtösterreichisch schon früh mit der Sommersaison gleichziehen (LICHTENBERGER 1997, 188).
- Vom Wintertourismus profitieren auch zahlreiche, an sich nicht touristische Bereiche der Wirtschaft, besonders Gewerbe und Industrie. So ist Österreich "nebenbei" mit einer Produktion von 2,9 Millionen Paar Alpinski im Jahr 2000 (Kleine Zeitung 20.10.2001) zum führenden Ski-Hersteller der Erde geworden, wenn auch offensichtlich der französische Konzern Rossignol Weltmarktleader zu sein scheint (1,3 Millionen Paar Ski, Kurier 5.12.2001). Weiters haben sich zahlreiche auf z.T. sehr enge Nischen spezialisierte Betriebe vom kleinen Lawinensuchgerät-Hersteller bis zum mit Produktions-, Vertriebs- und Servicestandorten in 45 Staaten vertretenen Seilbahn-Produzenten Doppelmayr fixe Plätze am Weltmarkt erarbeitet. Das zuletzt genannte Unternehmen wurde 1892 in Wolfurt gegründet und wird gerne als Paradebeispiel österreichischen Wirtschaftserfolges

mit weltweit ca. 1100 Mitarbeitern und einem Umsatz von 3,6 Milliarden S im Jahr 2000 zitiert (Doppelmayer 2001).

Abschließend einige illustrative Daten zur auf Schnee bezogenen *touristischen Infrastruktur* (aus Wirtschaftskammer 2001): mit Stand 2000 gab es in Österreich 3157 Seilbahnen und Lifte (abnehmende Tendenz), 500 Skischulen, 11.000 Skilehrer, 22.000 km Skipisten und "Tourenabfahrten", 16.000 km Langlaufloipen (vgl. 50.000 km markierte Wanderwege).

4. Lawinen

4.1. Lawinenentstehung und -klassifikation

Die Begriffsdefinition wurde schon in Kap. 1 gegeben, zu ergänzen wäre noch, dass der Begriff eigentlich 3 ganz verschiedene Sachverhalte meinen kann, nämlich den *Vorgang*, die abgelagerte *Schneemasse* und auch das *Gebiet* häufigen Auftretens. Ob es zur Bildung von Lawinen im Sinne des Vorganges überhaupt kommen kann bzw. wie stark dieser ausfällt, wird von einer ganzen Reihe von **Rahmenbedingungen** bestimmt, die den Hauptfaktoren *Schnee*, *Witterung* und *Gelände* zugeordnet werden können (vornehmlich nach Land Tirol 2000).

- Die Mächtigkeit der Schneedecke ist besonders für die Entstehung von Schadlawinen ein wichtiger Faktor, der auch mit den anderen Faktoren in Wechselwirkung steht (z.B. größere Wahrscheinlichkeit der Ausbildung interner Gleitflächen durch das Anwachsen der Schneedecke im Laufe vieler winterlicher Schneefallereignisse). Ganz kleine Schneerutsche ohne Schadwirkung sind aber auch schon bei wenigen cm Schneehöhe möglich.
- Von zentraler Bedeutung sind die Eigenschaften der Schneedecke, wie sie in Kap.2.3. ausführlich dargelegt wurden und durch Schneeprofile zu untersuchen sind. Die wichtigsten Größen sind wohl der Schichtaufbau, der Wassergehalt und die Festigkeit (Rammwiderstand !). Besonders gefährlich sind Schwimmschneeschichten !
- Starker Schneefall vergrößert die Mächtigkeit der Schneedecke und gilt als häufigste Ursache von Katastrophenlawinen, wenn die Setzung und somit Verfestigung des Schnees nicht mit der Vergrößerung des Eigengewichts der Schneedecke Schritt halten kann, was zur Überschreitung der Zug-, Scher- und/oder Druckfestigkeit führen kann.
- Vielfach gleichzeitig ablaufende intensive Schneeverfrachtung durch den Wind, den "Baumeister der Lawinen", wurde als entscheidender Faktor der Schnee Verteilung im Hochgebirge schon besprochen. Selbst wenn einmal Schneefall ohne nennenswerte Windwirkung erfolgte, wird der gleichmäßig verteilte Schnee bald wieder durch Deflation von den Voll- in die Hohlformen umgelagert. Leehänge besitzen also immer größere die Mächtigkeit der Schneedecke und damit höhere Lawinengefahr.
- Die Temperaturverhältnisse können in höchst unterschiedlicher Weise wirken. Z.B. kommt es bei sehr tiefen Temperaturen an der Schneeoberfläche und großen Gradienten bevorzugt zur aufbauenden Metamorphose und somit zur Schwimmschneebildung, bei mäßig niederen Temperaturen mit nur langsamer abbauender Metamorphose zu langer Konservierung von Zuständen (z.B. hoher Lawinengefahr nach starken Schneefällen), oder bei hohen Temperaturen zur Durchtränkung der Schneedecke und dadurch zur Überwindung der inneren Reibung der Schneekörner.
- Die Strahlung wirkt vor Allem auf die Metamorphose des Schnees ein, wobei in sonnseitigen Lagen eine Tendenz zur Schmelz-, in schattseitigen Lagen zur aufbauenden Metamorphose gegeben ist. Im Frühjahr ist auch eine gewisse Tagesperiodizität der

Lawinentätigkeit zu bemerken, wobei durch Gefrierprozesse nachts eine Stabilisierung der Schneedecke hervorgerufen wird.

- Die Exposition ist ein besonders schwierig einzuschätzender Faktor, da nicht nur die Strahlungsverhältnisse, sondern auch die Windverfrachtung darin vereint werden. So erfolgt auf Grund höheren Strahlungsgenusses im Hochwinter eine raschere Schneesetzung und damit Stabilisierung auf Sonnhängen, während auf Nordhängen Lawinengefahr tendenziell länger erhalten bleibt (etwa auch durch sich anreichernden Oberflächenreif, der bei erneutem Einschneien zu Tiefenreif wird). Demgegenüber entfestigt sich im Spätwinter die Schneedecke auf Südhängen schneller, wodurch die Neigung zu Nassschneelawinen erhöht wird (Tagesgang der Lawinengefahr von E über S nach W). Die Windwirkung macht die jeweiligen Leelagen schneereicher und damit gefährlicher (siehe oben).
- Die Geländeform wirkt in vielfältiger Weise als stabile Größe auf die anderen, variablen Faktoren ein. Einfache Zuordnungen sind kaum möglich, als grobe Regel könnte gelten, dass reich gegliederte und gestufte Hänge sowie generell Vollformen lawinenärmer sind als glatte Flanken und Hohlformen. Die Geländerauigkeit, z.B. durch Blockwerk, stabilisiert die Schneedecke nur so lange, bis die Oberfläche vollständig zugeschnitten ist.
- Die Hangneigung spielt insofern eine Rolle, als Lawinen als gravitatives Phänomen nicht in flachem Gelände ihr Anbruchgebiet haben können. Andererseits ist sehr steiles Gelände der Lawinenbildung ungünstig, weil hier nicht so viel Schnee akkumulieren kann. Diese "Regeln" gelten nicht für die Sturzbahnen von Lawinen, die kleinräumige Verflachungen ebenso wie kleine Steilstufen überstreichen können. Außerdem sind natürlich die Lawinen-Auslaufbereiche flach. Normalerweise wird die Spannweite der zur Lawinenbildung geeigneten Neigungen mit 20-60° angegeben, besonders häufig ist die Klasse 30-45/50° betroffen.
- In vielen einschlägigen Übersichten wird die Reliefenergie übersehen. Es macht aber selbstverständlich einen Unterschied, ob ein Hang entsprechender Neigung 10 m oder 1000 m hoch ist. Entscheidend wird dieser Faktor als Fallhöhe bei der Schadwirkung von Lawinen, die damit auch zu einem hochgebirgsspezifischen Phänomen werden.
- Die Vegetationsbedeckung kann sowohl Lawinen begünstigen als auch verhindern. Der Wald gilt als stabilisierender Faktor, was jedoch kaum für lockere subalpine Bestände gilt. Dichter mehrstufiger Wald stützt nicht nur mit den Stämmen die Schneedecke ab, sondern ist auch auf Grund der gleichmäßigeren Schneeablagerung (über das Kronendach abgehobenes Windfeld !) und deren Verringerung durch Interzeption (bzw. rascher Verfestigung des von den Bäumen abrutschenden Schnees) lawinensicherer. Gebüschformationen wirken nur stabilisierend, solange sie nicht zugeschnitten werden oder zwischen ihrem Geäst kalte Luft speichern und dadurch zur Schwimmschneebildung beisteuern. Grasgesellschaften können rau (z.B. Nardetum) oder auch sehr glatt sein (hoch gelegene Mahdwiesen) - letztere bilden natürlich bevorzugte Gleitbahnen.
- Eventuell vorhandene Lawinenverbauungen setzen die Lawinengefahr markant herab, sie werden in Kap.6.3. genauer besprochen.

Lässt eine bestimmte Kombination dieser Faktoren zu, dass eine Lawine ausgelöst wird - man könnte hierbei von Lawinendisposition sprechen -, so ist zwischen der *Selbstausslösung* (spontane, objektive (weil der Mensch nur Objekt ist)), z.B. durch starken Neuschneezuwachs, und der *Fremdausslösung* (künstliche, subjektive (weil der Mensch als Subjekt wirkt)), z.B. durch Befahren eines Hanges mit entsprechender Disposition, zu unterscheiden. Im ersten Fall handelt es sich um Zunahme der Spannungen oder um Abnahme der Festigkeit (z.B. durch Metamorphose), im zweiten Fall immer um Spannungszunahme.

Die **Lawinenklassifikation** versucht Ordnung in die Vielfalt der Erscheinungsformen von Lawinen zu bringen, wobei man die der Unterscheidung zu Grunde liegenden Kriterien zweckmäßigerweise den unterschiedlichen Zonen der Lawinen zuordnet. Die Gliederung orientiert sich an MUNTER 1997 und Land Tirol 2000, die Texte sind, wenn nicht anders angegeben, an das Schweizer Lexikon 1993 angelehnt.

A. Abbruchgebiet

- Die gebräuchlichste Klassifizierung erfolgt nach der Form des Anrisses: Ist dieser punktförmig, so spricht von *Lockerschneelawinen*. Ursache ist - bei gering kohäsivem Schnee als Voraussetzung - ein oft durch Anstoß von außen in Bewegung geratendes Schneeteilchen, das hangabwärts weitere Schneeteilchen in Bewegung setzt und im Laufe der Bewegung an Tiefe und Breite gewinnt. Ist der Anriss (meist in Form einer senkrecht zum Hang stehenden Anrissstirn) linienförmig, so entsteht durch gleichzeitiges Abgleiten eines flächigen Schneepaketes eine *Schneebrettlawine*. Der Initialbruch beginnt meist in einer kleinen Fläche oder an einem Punkt, wo die auftretenden Kräfte die Schneefestigkeit erreichen bzw. übersteigen, und pflanzt sich rasch nach den Seiten hin fort. Als Gleitfläche fungieren Schwächezonen (z.B. Schwimmschnee) oder Schichtgrenzen. Die Auslösung kann auch von unten her erfolgen (im Gegensatz zur Lockerschneelawine), wobei Superschwachzonen ("hot spots", "weak spots") eine große Rolle spielen können (MEIBL 2001).
- Nach der Lage der Gleitfläche unterscheidet man *Oberlawinen*, wenn die Anriss-Gleitfläche sich innerhalb der Schneedecke befindet, und *Bodenlawinen*, wenn die Bodenoberfläche als Gleitfläche fungiert (die Bezeichnung Grundlawine ist fast identisch damit, wird aber meist nur für schwere Nassschneelawinen im Frühjahr verwendet, die auch einen bedeutenden Massenschurf am Untergrund bewirken).
- Die Feuchtigkeit des abgleitenden Schnees führt zur Differenzierung in *Trocken-* und *Nassschneelawinen*. Die zuletzt genannten fließen meist langsamer und haben daher eine kürzere Auslaufstrecke, üben aber wegen ihrer größeren Dichte besonders große Drucke auf Hindernisse aus.
- Die Art des Materials wird in der vorliegenden Darstellung nur der Vollständigkeit halber erwähnt: *Schnee-* und *Eislawinen*.

B. Sturzbahn

- Rein formal kann nach der Form der Sturzbahn eine Unterscheidung von flächig nieder gehenden *Flächenlawinen* und in Gräben oder Rinnen kanalisierten *Runsenlawinen* getroffen werden.
- Von größerer Bedeutung ist das Kriterium Form der Bewegung: Hierbei sind die am Boden sich fließend oder gleitend bewegenden *Fließlawinen* von den als Schneewolke durch die Luft stiebenden *Staublawinen* auseinander zu halten. Letztere sind besonders für feinkörnigen, trockenen Schnee charakteristisch, erreichen große Geschwindigkeiten (bis zu 300 km/h), passen sich nur wenig den Geländebedingungen an und können mit ihren Luftdruckwellen auch außerhalb der Ablagerungsgebiete Schäden verursachen. Die Verbindung beider Bewegungsformen wird *gemischte Bewegung* genannt und ist bei Trockenschneelawinen "praktisch immer" gegeben (MEIBL 2001, 45).
- Nach dem Kriterium Länge der Lawinenbahn gibt es *Tallawinen*, die das unterhalb des Anbruchgebietes gelegene Tal erreichen und *Hanglawinen*, die schon am Hangfuß zum Stillstand kommen.
- In engem Konnex damit kann auch nach der Art des Schadens differenziert werden in Katastrophen- oder *Schad(en)lawinen*, wenn Gebäude, Verkehrswege oder Waldflächen geschädigt oder zerstört werden, und Touristen- oder *Skifahrerlawinen*, wenn Personen im "freien Skiraum" verletzt oder getötet werden.

C. Ablagerungsgebiet

- Nach der Oberflächenrauigkeit kann in grobe o. feine Ablagerungen gegliedert werden.
- Nach dem Wassergehalt sind trockene von nassen Ablagerungen unterscheidbar.
- Nach dem Vorhandensein von Fremdmaterial (besonders für Grundlawinen typisch) werden reine und gemischte Ablagerungen (Bodenmaterial, Steine, Holz) differenziert.

4.2. Geschichte der Auseinandersetzung mit Lawinen

Die Kenntnis von Lawinen scheint ziemlich gleich alt wie die Kenntnis des Hochgebirges zu sein, z.B. sind Lawinen im Kaukasus bei Strabo (63 v.-26 n.Chr.) erwähnt. Das Wort Lawine taucht in der enzyklopädischen Literatur der Wende Antike/Frühmittelalters offenbar das erste Mal auf und ist vom Lateinischen *labi* = herabgleiten (bzw. *labes* = Fall, Sturz) abzuleiten (Isidoros, Wende 6./7. Jh.; Land Tirol 2000, 9). Die Bezeichnung Lawine kommt dann über das alpenromanische „*Lavina*“ auch ins bajuwarische „*Lahn*“ und ins alemannische „*Leui*“, „*Laue*“, in der Schriftsprache setzt sich aber schon früh - etwa in mittelalterlichen Urkunden - die Form „*Lawine*“ in der heutigen Bedeutung durch. Bezeichnungen für Lawinen in anderen Sprachen sind: *avalanche* (frz., engl.), *valanga* (ital.) und *lavina* oder *plaz* (von *plaziti se* = kriechen, slow.). Die hohe Bedeutung, welche Lawinen für den alpinen Lebensraum hatten (und haben), erkennt man auch aus der Tatsache, dass regelmäßig wiederkehrende Lawinen durchwegs eigene Namen tragen und vielfach auch in der örtlichen Sagen- und Legendenwelt eine Rolle spielen - bis hin zu früheren Bittprozessionen zur Abwendung von Unheil durch die Lawine.

Von wenigen Ausnahmen abgesehen (FLAIG 1955 zitiert ein Beispiel aus der Gegend von Guarda/Unterengadin, wo das Abgehen einer bestimmten Runsenlawine für die Einheimischen als Frühlingsbote und Signal für den Beginn der Feldarbeit galt), ist die Wahrnehmung von Lawinen durchwegs die von *Katastrophenereignissen* bzw. deren Folgen oder Prävention. Beispiele für historisch fassbare Ereignisse sind (hauptsächlich nach Land Tirol 2000):

- 1128/29: ältester, genau belegter Bericht über ein Lawinenunglück am Gr. St. Bernhard
- 1385: ein Lawinenunglück am Arlberg ist Anlass für die Gründung des Hospizes St. Christoph durch Heinrich Findelkind
- 1517: die Darstellung in der Biographie des Kaisers Maximilian, wie dieser mit einer Lawine in Kontakt kommt, gilt als älteste Bildquelle einer Lawine.
- 1689: Lawinenkatastrophe im Montafon mit angeblich 120 Todesopfern
- 1820: erster touristischer Lawinenunfall bei einer Ersteigung des Montblanc
- 1828: erster touristischer Lawinenunfall in Österreich beim Erstersteigungsversuch des Großvenedigers durch Erzherzog Johann
- 1916: eines der finstersten Kapitel in der Geschichte der Lawinen sind die Todesopfer an der Dolomitenfront – allein als Folge eines Schneefallereignisses im Dezember starben 6000 österreichische Soldaten!
- 1951: ein besonders schlimmer Lawinenwinter mit 135 Toten in Österreich (auch Innsbrucker Stadtteile Mühlau und Hötting betroffen !)
- 1954: „Wiederholung“ der Situation von 1951 mit anderen regionalen Schwerpunkten (Vorarlberg, bes. Blons !), 143 Tote in Österreich
- 1999: Ereignisse von Galtür und Valzur mit 38 Toten.

Es waren vor allem die Katastrophen (z.B. 1951 und 1954 in Österreich), die eine gezielte Beschäftigung mit Lawinen und Lawinenschutz bzw. später auch eine wissenschaftliche Auseinandersetzung bedingten. Beispiele wichtiger Zeitmarken auf diesem Weg sind:

- 1379: Erklärung eines Waldstückes zum Bannwald durch die Gemeinde Andermatt am Gotthard (SCHNEIDER & MANGOLD 1989)
- 1613: erste nachweisbare Lawinenschutzmauer in Galtür errichtet
- 1706: der Schweizer Naturforscher Scheuchzer befasst sich schon recht systematisch mit Lawinen und geht auch auf Schutz- und Rettungsmaßnahmen ein
- 1773: in Walchers „Nachrichten von den Eisbergen in Tirol“ werden schon „Grund- und Staublähnen“ unterschieden
- 1849: Stuben am Arlberg erhält eine Lawinenschutzmauer
- 1854: an der Reschenstraße wird die erste Lawinengalerie errichtet
- 1880-84: mit der Erbauung der Arlberg-Bahn liegt erstmals ein österreichischer Hauptverkehrsträger in einem extrem lawinengefährdeten Gebiet und induziert die systematische Befassung mit Lawinenschutz (Kap.4.5).

Die **Lawinenforschung** als mehr oder weniger eigenständige Wissenschaft etabliert sich im Wesentlichen seit der 2. Hälfte des 19. Jh., also parallel zur Entwicklung bzw. zum Aufschwung vieler anderer naturwissenschaftlicher Disziplinen (z.B. Gletscherkunde, Meteorologie).

- Österreich: Die Notwendigkeit umfangreicher Lawinenverbauungen an der Arlberg-Westrampe ist der Anfang der österreichischen Lawinenforschung, die zu Beginn hauptsächlich vom 1884 gegründeten Forsttechnischen Dienst der *Wildbach- und Lawinenverbauung* getragen wird (1. Großprojekt: Verbauung der Raxlawine bei Hirschwang 1897/98). Nach dem 2. Weltkrieg errichtet die Sektion Innsbruck der Wildbach- und Lawinenverbauung Forschungsstellen erst in der Wattener Lizum und dann in Obergurgl, welche letztere 1963 in die *Forstliche Bundesversuchsanstalt* (FBVA, Inst. f. Wildbach- und Lawinenverbauung) eingegliedert wird. Ein gleichnamiges Institut besteht auch an der *Univ. f. Bodenkultur* in Wien, wobei dzt. das Inst. f. Lawinen- und Wildbachforschung der FBVA in Innsbruck führend zu sein scheint.
- Schweiz: Hier wurde nach mehrjährigen Vorarbeiten 1943 das *Eidgenössische Inst. f. Schnee- und Lawinenforschung* (SLF) auf dem Weißfluhjoch bei Davos (Graubünden) mit dem Ziel, theoretische und praktische Grundlagen des Lawinenschutzes multidisziplinär zu erforschen, gegründet. Das Institut bietet auch Dienstleistungen wie die Erstellung der Lawinenwarnung oder gutachterliche Tätigkeiten (inkl. Gefahrenzonenplanung) sowie Ausbildungskurse an und ist die wohl renommierteste einschlägige Einrichtung auf der gesamten Erde (Schweizer Lexikon 1993).

4.3. Lawinenschutz

4.3.1. Beurteilung von Lawinengefahr

Wie in 4.2. gezeigt wurde, ist der Schutz vor Lawinen nicht nur ein uraltes Bedürfnis, sondern im Hochgebirge auch geradezu lebensnotwendig. In der modernen Lawinenkunde unterscheidet man in der Regel zwei Grundtypen, den permanenten (dauerhaft wirksame Maßnahmen) und den temporären Lawinenschutz (Darstellung in Kap. 4.3.2. und 4.3.3. im Wesentlichen nach Land Tirol 2000). Dabei ist bezüglich der Beurteilung des Gefahrenmomentes zu unterscheiden zwischen den mehr oder weniger regelmäßig wiederkehrenden Lawinen, die sich in der Landschaft klar in Form von Lawinenbahnen manifestieren und deren Kenntnis im Normalfall altes Kulturgut ist (Namen !), und zwischen

der Lawinengefahr zu einem bestimmten Ort und Zeitpunkt. Während im ersten Fall die Beurteilung einfach ist und - falls bauliche Objekte gefährdet sind - permanenter Schutz zur Anwendung kommen muss, wird im zweiten Fall die Sache hochkompliziert, muss man doch die Fülle der in Kap.4.1 diskutierten Faktoren gemeinsam betrachten und letztlich zu Entscheidungen kommen, sei es etwa als Einzelner im freien Schiraum (Kap. 4.4) oder als Lawinenkommission für das gesicherte Gelände (Kap. 4.3.3).

4.3.2. Permanenter Lawinenschutz

a) Technische Maßnahmen: Hierbei handelt es sich um Bauwerke, die den Anbruch von Lawinen verhindern oder ihre Wirkung einschränken sollen, wobei diese Bauten je nach ihrer Lage (Anbruchgebiet, Lawinenbahn, Auslauf) unterschiedliche Form haben. Der permanente Lawinenschutz ist in Österreich Aufgabe des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinenverbauung.

- *Stützverbauung:* Abstützung der Schneedecke dadurch, dass den Kriech- und Gleitbewegungen in ihr eine annähernd senkrechte zum Hang stehende Stützfläche entgegengestellt wird. Die in der Schneedecke oberhalb der Hindernisse entstehenden Druckspannungen vermindern die dort vorhandenen Scher- und Zugspannungen. Erfolgt dennoch ein Anbruch, kann nicht die gesamte Schneedecke mitgerissen werden und die Bauten üben auch eine Bremswirkung aus. Die älteste Bauweise ist die von *Erd- und Mauerterrassen* (heute nicht mehr gebräuchlich), in den betreffenden Gebiete herrschen heute *Schneerechen* (ein spezieller Typ davon ist der „Arlbergrechen“), *Schneenetze* (aus Drahtseilen) und vor allem *Schneebrücken* (aus Stahl) vor. Eine wichtige technische Aufgabe ist dabei die Übertragung der auftretenden Kräfte über entsprechend gestaltete Fundierungen in den Untergrund. Verbauungen dieser Art bedeuten einen sicheren und über ein Jahrhundert bewährten, aber auch sehr teuren Schutz.
- *Verwehungsbauten:* diese bezwecken die Beeinflussung der Schneeverfrachtung durch Winddrift. *Schneezäune* bewirken eine Ablagerung des Schnees in deren Lee, bei idealer Positionierung noch an Stellen oberhalb potenzieller Anbruchgebiete. *Winddüsen* und *Kolktafeln* verhindern die Bildung von Wechten, indem durch windbeschleunigende Wirkung der Schnee gezwungen wird, sich weiter entfernt abzulagern.
- *Ablenk- und Bremsverbaue:* sind in Sturzbahnen und Auslaufbereichen von Lawinen sinnvoll. Hierbei ist eine besonders große Vielfalt an Bauten in Gebrauch, z.B. das *Ebenhöh* (mit spezieller Dachkonstruktion des Gebäudes), *Ablenkdämme* und *Spaltkeile* (Ableiten von Teilen der Lawine), *Lawinengalerie* (zum Schutz von Verkehrswegen), *Bremskegel*, *-keile* oder *-höcker* („schachbrettartig angeordnete Bremshindernisse“ in geeigneten Flachstrecken des Lawinenauslaufs) oder *Auffangdämme* (zwingen den Fließanteil zur vorzeitigen Ablagerung). Als Baumaterial kann oft vor Ort gewinnbares Gestein verwendet werden, Stahlbeton ist natürlich besser.

b) Forstliche Maßnahmen: Vor allem in jenen Lawinen-Anbruchgebieten, die ursprünglich bewaldet und zur Gewinnung von zusätzlichen Weide- oder Mahdflächen gerodet worden waren, ist die *Wiederaufforstung* eine sehr effiziente Schutzmaßnahme. Dabei eignen sich die waldgrenzbildenden Holzarten besonders gut, in den Frühphasen ist aber der Schutz der Jungbäume gegen die Gleitschneewirkung, etwa durch Schneebrücken, notwendig, wobei 20-50 Jahre als *Zeitdauer* angegeben werden, bis der junge Bestand selbst die Schneedecke ausreichend abstützen kann. Bei den so neu geschaffenen und schon vorhandenen Wäldern spielt deren Pflege eine wichtige Rolle, zu achten ist besonders auf den Wildbestand und die Beweidung, die in den *Schutz-* oder *Bannwäldern* eine ausreichende Bestandesverjüngung ermöglichen müssen (Interessenskonflikt mit Jagd und Landwirtschaft).

c) Raumplanerische Maßnahmen: das wichtigste Instrument hierbei ist die auf flächenhafter Erhebung der Lawinen („*Lawinenkataster*“) beruhende Erstellung von *Gefahrenzonenplänen*, die eine wichtige Grundlage der Raumplanung bzw. Flächenwidmung im Gebirge darstellen, in Österreich seit 1969 existieren und inzwischen für (fast ?) alle relevanten Gemeinden vorliegen. Den Abgrenzungen, die für den Bürgermeister als Bau- und Sicherheitsbehörde (etwa bei Evakuierungen) eine wichtige Entscheidungsgrundlage darstellen (aber nicht rechtsverbindlich sind !), wird im Allgemeinen ein 150-jährliches Ereignis zu Grunde gelegt:

- *Rote Zone*: Gefährdung so hoch, dass Bauverbot besteht.
- *Gelbe Zone*: Gefährdung so hoch, dass Nutzung für Siedlungs- und Verkehrszwecke beeinträchtigt ist und Baugenehmigungen nur unter bestimmten Auflagen erteilt werden.

In der Schweiz ist die Zonierung etwas anders (detaillierter, siehe Schweizer Lexikon 1993, 51 f.), folgt aber ähnlichen Prinzipien und hat als Kernaussage ebenfalls eine Rote Zone mit Bauverbot.

d) Aufklärung und Information: In manchen Quellen (z.B. BM f. Land- und Forstwirtsch. 1989) wohl zu Recht als gesondertes Element des permanenten Lawinenschutzes geführt.

4.3.3. Temporärer Lawinenschutz

Der temporäre Lawinenschutz beinhaltet kurzfristige und auf bestimmte Situationen (Zeit, Ort, aktuelle Lawinengefahr) abgestimmte Maßnahmen, welche die permanenten ergänzen bzw. (dort, „wo volkswirtschaftliche Überlegungen einen permanenten Schutz nicht sinnvoll erscheinen lassen“) ersetzen.

a) Warnung: *Lawinenwarndienste* wurden 1953-1975 in allen österreichischen Bundesländern (außer W, B, N - dort ist er aber im Aufbau) eingerichtet (in der Schweiz ist zentral das SLF dafür zuständig). Ihre Aufgabe ist es vor allem, auf Grund umfangreicher Informationen (Lawinenbeobachtung, automatische Wetterstationen, Wetterprognosen, Untersuchungen im Gelände u.a. Quellen) einen täglichen *Lawinenlagebericht* zu erstellen und zu publizieren (Rundfunk, Telefon, Internet u.a.). Darin finden sich Informationen über die *Gefahrenstufen* (besonders wichtig und medial wirksam !), Wettertendenz, Aufbau der Schneedecke und Verhältnisse im gesicherten Gelände (Pisten, Verkehrswege) sowie im „freien Schirraum“. Grundsätzlich gilt Eigenverantwortlichkeit der Betroffenen im Umgang mit der Beurteilung der „Warnung“ durch den Lawinenlagebericht, nur im erschlossenen Schirraum ist ab Gefahrenstufe 4 die *Lawinenwarnleuchte* einzuschalten.

b) Sperre: Wenn Lawinengefahr für öffentlich angebotene Verkehrsflächen (Straßen, Wege, Pisten, Loipen u.a.) auftritt, müssen diese gesperrt werden. Verantwortlich hierfür ist der Bürgermeister, dem eine *Lawinenkommission* aus freiwillig tätigen „Fachleuten“ vor Ort beratend zur Seite steht. Lawinenkommissionen werden üblicherweise auch zu Rate gezogen, wenn für die Sperre andere Instanzen (z.B. Bezirkshauptmannschaften für Bundes- und Landesstraßen) zuständig sind.

c) Evakuierung: erfolgt ebenfalls durch den Bürgermeister bzw. die Lawinenkommission auf Grundlage der Gefahrenzonenpläne und muss besonders gut vorbereitet sein. Im davon betroffenen ländlichen Raum funktioniert Evakuierung kaum je vollständig, weil immer zumindest eine Person am Hof zurückbleiben muss, um das Vieh zu versorgen.

d) Künstliche Lawinenauslösung: nützt Instabilität der Schneedecke, also Lawinengefahr aus, um den Lawinenabgang zum gewünschten Zeitpunkt zu erzeugen oder die Schneedecke an

Lawinhängen „portionsweise“ abzubauen (wobei die richtige Wahl von Zeit, Ort und Methode natürlich schwierig ist). Sehr viele verschiedene Methoden möglich, in Österreich haben sich die *Lawinsprengbahnen* als praktikabelste (auch bei Schlechtwetter sowie nachts möglich) und wirkungsvollste durchgesetzt. „Es gibt zwei Möglichkeiten, dem weißen Tod ein Schnippchen zu schlagen: man stehe den Lawinen, wenn sie herunterkommen, nicht im Wege - oder man hole sie herunter, wenn nichts im Wege steht“ (SÜLBERG 1986, 82).

4.4. Hinweise auf richtiges Verhalten im Gebirge

Es ist seit den 90er-Jahren des 20. Jh. üblich geworden, den Umgang mit der nun einmal fast überall und fast jederzeit vorhandenen Lawinengefahr im freien Skiraum mit Hilfe bestimmter Methoden oder gar "Formeln" zu erleichtern. Der bekannteste dieser Zugänge ist der meist einfach "3x3-Methode" genannte nach MUNTER 1997, der aus zwei Teilen besteht, die miteinander kombiniert eingesetzt werden sollten.

- *Reduktionsmethode (Risikoformel)*: hierbei wird das Restrisiko aus dem Gefahrenpotenzial gebrochen durch Reduktionsfaktoren (die das Gefahrenpotenzial verringern) errechnet. Das Gefahrenpotenzial beruht auf dem im Lawinenlagebericht bekannt gegebenen Wert nach der europäischen Lawinengefahrenskala, wobei den Werten 1-5 ein exponentieller Anstieg des Gefahrenpotenzials zugeordnet wird. Die Reduktionsfaktoren ergeben sich aus dem Verzicht auf bestimmte Neigungsklassen und Expositionen ("Verzichts-faktoren") und aus der Tatsache, ob Hänge ständig befahren werden, sowie der Größe und dem Verhalten der Gruppe (z.B. Einhalten von Entlastungsabständen von 15 m) ("Verhaltensfaktoren"). Ist der errechnete Wert kleiner oder gleich 1, dann gibt es grünes Licht für die Tour unter der Einschränkung, dass die Lawinengefahrenstufe 3 nicht überschritten wird und nur trockene Schneebrettlawinen zu erwarten sind.
- *Formel 3x3*: Hierbei wird die konsequente Anwendung der Risikoformel auf den 3 Entscheidungsebenen regional (Tourenplanung zu Hause), lokal (im Gebiet) und zonal (vor dem Einzelhang), jeweils beurteilt nach den 3 Kriterien Verhältnisse (Lawinenlagebericht, Witterung ...), Gelände (Hangneigung, Exposition ...) und Mensch (Ausrüstung, Erfahrung, Gruppengröße ...), gefordert. Wenn man in allen 3 Entscheidungsebenen nach der Risikoformel einen Wert kleiner oder gleich 1 erhält, also zu einer Ja-Entscheidung gelangt, so hat man das Menschenmögliche getan.

Die Methode hat den Vorteil, die wohl wichtigsten Parameter zu beinhalten, ist aber - vollständig durchgezogen - doch recht kompliziert und beruht auf in der Natur natürlich nicht in dieser Form vorhandenen mathematischen Beziehungen, darf also nicht als "Sicherheitsgarantie" missverstanden werden. Diskussionen wurden und werden auch um einzelne Parameter der Formel geführt.

Die Überlegungen von HOFFMANN 2000 bauen auf dem Erkenntnis, dass jede sichere Skitour zum einen aus der Kompetenz, relevante Informationen einzuschätzen und adäquat zu beurteilen, und zum anderen aus psychologisch-gruppenspezifischen Komponenten erwächst, auf der Formel 3x3 auf und konkretisieren sie in Form der Übersicht in Tab.4.

Tab.4: Raster zur Entscheidungsfindung bei Skitouren (nach HOFFMANN 2000)

	Verhältnisse	Gelände	Mensch
Tourenplanung	Beurteilung: Lawinenlagebericht, Wetterprognose	Beurteilung: Karte, Führer	Beurteilung: Teilnehmer - Erfahrg., Ausrüstg. u. körperl.- psych. Verfassg.
Routenwahl	Überprüfung: Schneeverhältnisse, Windverfrachtung, aktuelles Wetter	Überprüfung: Qualität vorhandener Spuren	Überprüfung: Ausrüstung und VS- Kontrolle
Einzelhang	Überprüfung: Triebsschnee, Sicht, Alarmzeichen (z.B. Wumm-Geräusche)	Überprüfung: Blick zum Oberhang	Überprüfung: Müdigkeit, Disziplin, Vorsichtsmaßnahmen (z.B. Abstände)

Anmerkungen: Nur stichwortartige, stark vereinfachte Darstellung. "Überprüfung" bedeutet, dass die jeweils oberhalb getätigte Beurteilung an der tatsächlichen Situation überprüft werden muss (zentrale Frage: stimmt die Planung mit der Realität überein).

Ebenfalls von MUNTER 1997 beeinflusst, aber doch sehr eigenständig ist die Methode "Stop or Go" (LARCHER 2001), welche sich in eine zweistufige Entscheidungsstrategie und eine Reihe von Standardmaßnahmen gliedert.

- Die *Entscheidungsstrategie* beinhaltet den "Check 1" (Verzicht auf bestimmte Hangneigungen je nach Gefahrenstufe) und den "Check 2" (Wahrnehmen von Gefahrenzeichen: Neuschnee/Triebsschnee/Lawinen/Durchfeuchtung/Setzungsgeräusche).
- Die *Standardmaßnahmen* umfassen im Bereich der Planung das Einholen des Lawinenlageberichts, das Kartenstudium und eine angemessene Notfallausrüstung, beim Aufstieg den VS-Check und das Einhalten von Entlastungsabständen im Steilgelände sowie bei der Abfahrt das Einhalten eines Normabstandes von 50 m, das Einzelfahren im Steilgelände und die Befolgung klarer Anweisungen durch den Gruppenleiter.

Ein wichtiger Aspekt des richtigen Verhaltens im freien Skiraum ist neben einer entsprechenden Ausbildung auch die *Ausrüstung*, die im Idealfall folgende Bestandteile umfassen sollte:

- Verschüttetensuchgerät (VS-Gerät)
- Lawinenschaufel
- Lawinensonde
- Lawinen-Airbag (Rettungsballon)

Mein persönlicher Zugang beruht stark auf dem Verzicht. Dabei geht es mir nicht so sehr um den sonst propagierten Verzicht auf bestimmte Hänge bei bestimmten Gefahrenstufen, sondern viel weiter reichend um ein neues, ganzheitliches Verständnis von Skitouren. Ich glaube, es sollte generell die sportliche Komponente mehr in den Hintergrund rücken - das "Erlebnis" also nicht nur aus Steilheit und Höhe unverspurter Pulverschneehänge definiert werden können -, sondern wieder mehr aus dem Naturerlebnis, das auf einer sonst gering geschätzten "Waldtour" gleich groß sein kann als auf einer auch unter "sicheren" Verhältnissen gefährlichen Hochgebirgstour. Dieser Zugang birgt auch den Vorteil in sich, dass durch bewussteres Erleben der winterlichen Natur vielleicht auch die Bereitschaft steigt, behutsamer mit dieser umzugehen, als wenn sie primär als "Sportgerät" aufgefasst wird.

4.5. Beispiele für Lawinengebiete und -ereignisse

Beispielgebiete könnten in geradezu unbegrenzter Zahl aus den Alpen beigebracht werden, allein in Österreich gefährden 1023 Lawinen Siedlungen, 664 Bundesstraßen und 141 Bahnstrecken (BM f. land- und Forstwirtsch. 1989), wobei der räumliche Schwerpunkt klar in Vorarlberg und Westtirol liegt (neben den Gelände- und Klimabedingungen spielt hierfür auch die Entwaldung eine große Rolle). Die hier vorgenommene Auswahl ist mehr oder weniger willkürlich und orientierte sich an besonders signifikanter Gefährdung von Verkehrswegen oder Bauwerken.

- *Hieflau/Gesäuse*: 1872 wurde mit der Eröffnung der Kronprinz-Rudolfs-Bahn erstmals ein leistungsfähiger Verkehrsweg durch das Gesäuse geschaffen. Besonders der Abschnitt beim Bahnhof Hieflau ist durch Lawinen aus dem Haindl-, Speern- und Scheibenbauernkar an der SE-Flanke des Tamischbachturmes stark gefährdet. Schon 1878 wurde die Strecke erstmals so verschüttet, dass sie für Wochen unpassierbar war, weitere Katastrophen ereigneten sich 1892, 1907, 1923, 1924 (6 Tote), 1944, 1954, 1967, 1986 und zuletzt am 22.1.2000. Nach dem Ereignis von 1924 wurden auf dem Mitterriegel eine Lawinen-Beobachtungsstation und in späterer Folge Bremsverbauungen errichtet (vor allem nach ERNEST 1968 und HEITZMANN 1989). Derzeit wird eine 300 m lange Schutzgalerie für die Straße und die Bahnstrecke westl. des Bahnhofes geplant.
- *Nordkette bei Innsbruck*: An der S-Seite der Nordkette (Karwendel) wurde bis in die Zwischenkriegszeit durch gezielte Brandrodung die almwirtschaftlich nutzbare Fläche vergrößert und dadurch die Frequenz von Schadlawinen verstärkt. Das schlimmste Ereignis war die Arzleralm-Lawine, die 1935 bis nahe zum Mühlauer Dorfplatz vordrang und deren letzte Reste erst im Sept. abschmolzen. Die seit 1880 noch (durch Rodung und Lawinenschäden) um 30% verringerte Waldfläche nimmt seit den 50er-Jahren durch gezielte Maßnahmen (Lawinenverbauungen, Aufforstung, Waldpflegemaßnahmen, Bannwalderklärungen - vielfach auf Basis von Ankauf der betroffenen Flächen durch die Stadt Innsbruck - und restriktive Bauland-Ausweisung, etwa auf der Hungerburg) wieder zu, das Gebiet gilt heute als saniert. (Quelle: HEUBERGER 1975).
- *Arlberg/Bahn und Straße*: Die Trassierung der Arlbergbahn brachte - besonders an ihrer Westrampe im Klostertal - erstmals einen der Hauptverkehrsverbindungen Österreichs in ganz massiver Weise mit Lawinen in Kontakt: die Bahnstrecke (mit dem 10,2 km langen Scheiteltunnel als "Herzstück") wurde 1884 eröffnet und musste, da die offenen Strecken ursprünglich durch 55 Lawinen (und 52 Wildbäche) bedroht waren, ab 1885 durch umfangreiche Hangverbauungen, nachträgliche Einbauten von Galerien und Verlegung von 3,3 km Strecke in Tunnels (1893-1914) gesichert werden. Dennoch stürzten in den ersten 100 Jahren des Bestehens der Bahn 1700 Lawinen auf die Trasse. Die Passstraße wird seit 1936/37 auch im Winter offen gehalten; an den durchschnittlich 16 Tagen pro Jahr mit Lawinensperre erfolgte Autoverladung im Eisenbahntunnel. Auch nach Eröffnung des Straßentunnels 1978 konnte noch keine hundertprozentige Wintersicherheit dieser Straßenverbindung (und damit der Anbindung Vorarlbergs an "Restösterreich") erreicht werden. (Quelle: PETROVITSCH 1988).

Wie in Kap. 4.2 gezeigt, ließen sich auch für Lawinenereignisse unzählige, mehr oder weniger dramatische Beispiele anführen. Die Wahl wurde hier aus Aktualitätsgründen und wegen der besonders starken Resonanz in internationalen Medien getroffen.

Das Ereignis von Galtür (23.2.1999)

Es handelte sich um ein außerordentliches, weit über 150-jährliches Ereignis, das aus einer Verkettung unglücklicher Umstände zur Katastrophe wurde und dort Zerstörungen anrichtete

bzw. Menschenleben kostete, wo dies - der Pfarrchronik zu Folge - noch nie zuvor der Fall gewesen war (Quelle: Exkursionsinformationen vor Ort, Video).

- *Witterung*: Dem Lawinenabgang ging eine Periode mit mehreren lang andauernden, zyklonalen NW-Lagen voraus (27.-31.1., 5.-12.2., 17.-25.2.), die einen außerordentlich starken Neuschneezuwachs (nordalpin bis zu 8 m, in Galtür 2,47 m allein von 17.-25.2.) verursachten. Zusätzlich bedingten ständig anhaltende NW-Stürme eine außerordentlich intensive Windverfrachtung und zwischen den ohnehin auch recht kalten zyklonalen Perioden einströmende kontinentale Kaltluft eine nur sehr schwache Schneesetzung.
- *Gelände*: Abbruch der trockenen Schneebrettlawine vom Grat W des Grieskogls, wobei auch das mit Triebsschnee ziemlich aufgefüllte Karoid des Inn. Grieskoglalpele (Namen nach der Alpenvereinskarte 28/2) erfasst wurde. Am ausgedehnten und wenig gegliederten Troghang darunter spaltete sich die Lawine in 2 Äste auf, wobei der östl. durch die Weiße Rifa kaum Schäden, der westl. über die Äußere Wasserleite (durch sekundäre Schneeaufnahme und Kanalisierung) aber die großen Zerstörungen verursachte.
- *Dynamik*: Über umfangreiche, modellierungsgestützte Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass 170.000 t Schnee abbrachen, diese Menge aber nicht für die Schäden gereicht hätte - erst durch die erwähnte Schneeaufnahme wurden 300.000 t Gesamtmasse erreicht, die in Form einer 100 m hohen „Schneewelle“ mit 300 km/h Spitzen-Geschwindigkeit zu Tal donnerten, wobei das Ereignis nur 50 sec. dauerte. Als perfekte Gleitbahn fungierte dabei eine vor Beginn der NW-Wetterperiode beim letzten Tauwetter gebildete Schmelzharsch-Schicht. Die Zerstörungen wurden vom Staubanteil der Lawine bewirkt - der Fließanteil erreichte das Dorf nicht -, wobei offenbar auch das turbulenzbedingte Schweben schwerer Partikel oberhalb des Fließanteiles („Saltationsschicht“) die Schäden an den Gebäuden (mit ?) verursachte.
- *Schäden*: 31 Tote (davon 25 Gäste), zahlreiche Verletzte, Zerstörung von 6 Wohngebäuden außerhalb der gelben Zone, Beschädigung zahlreicher weiterer, Sachschaden 72,5 Mio. S (5,3 Mio. Euro). Einen Tag später zerstörte eine Runsenlawine (aus 2 Karen im NE der Friedrichshafener Hütte) den nahen Weiler Untervalzur, wobei 7 Menschen getötet und 6 Wohngebäude zerstört wurden.
- *Maßnahmen*: Während der Weiler Untervalzur aufgelassen und die zerstörten Gebäude im benachbarten Obervalzur neu errichtet wurden, ist in Galtür alles an Ort und Stelle wieder erstanden, so dass bereits im Herbst 2000 am Gebäudebestand nichts mehr vom Ereignis zu erahnen war. Der Ort wird aber im betroffenen Bereich durch eine 18 m hohe Lawinenschutzmauer gesichert, die ortsseitig eine Reihe von Funktionen erhält (Tiefgarage, Zivilschutzzentrum, interaktive Forschungs- und Lehrstätte zum Leben im Hochgebirge „Alpinarium“). Im Anbruchgebiet der Lawine wurden umfangreiche Stützverbauungen (Gesamtlänge 11 km) angebracht und eine automatische Wetterstation errichtet sowie in der Sturzbahn Hochlagenaufforstung gestartet.

5. Gesamtbewertung: der Schnee - Gunst- oder Ungunstfaktor ?

5.1. Schnee im Naturhaushalt

Schnee erweist sich klar als *Gunstfaktor* z.B. in den folgenden Bereichen:

- Schutzfunktion der isolierenden Schneedecke gegenüber tiefen Temperaturen und Wind für Tiere und Pflanzen (Kap.3.3)
- Wasserspeicherfunktion der Schneedecke und ihre Auswirkungen auf den Abfluss und die Grundwasserneubildung (Kap. 3.2)
- Lawinen haben viele positive Wirkungen wie das Freilegen von Flächen (Verlängerung der Vegetationszeit, Äsungflächen), die gute Durchfeuchtung von Unterhängen, die

Verteilung von Bodenmaterial und Streu oder die Lawinenopfer als Nahrungsquelle für Karnivoren (Kap. 3.3)

Schnee kann als *Ungunstoffaktor* etwa auf Grund folgender Aspekte aufgefasst werden:

- Verkürzung der Vegetationsperiode durch lange Schneedeckendauer (Kap. 2.2 und 3.3)
- Mechanische Schäden durch das Eiskorngebläse an der Schneeoberfläche, durch Beanspruchung von Pflanzen und Bodenoberfläche im Gefolge besonders des Gleitens der Schneedecke am Untergrund (Kap. 3.1 und 3.3)
- Gefährdung von pflanzlichem und tierischem Leben durch Lawinen (Kap. 3.3)

Im Naturhaushalt spielt die Chionosphäre insgesamt eine große Rolle und prägt die davon beeinflussten Lebensformen und Ökosysteme stark. Besonders deutlich wird dies in der spezifischen Naturraumausstattung schneereicher Hochgebirge (z.B. Aussetzen des Waldes in Lawinenbahnen, Standortmosaik der alpinen Stufe, vgl. Kap. 3.3).

5.2. Schnee in Kulturlandschaft und Wirtschaftsgeschehen

Schnee als *Gunstoffaktor* in Zusammenhang mit menschlichen Aktivitäten erwächst in historischer Perspektive aus bestimmten Verkehrsbedürfnissen, die bei Vorhandensein einer Schneedecke besser befriedigt werden konnten und früh zur Entwicklung entsprechender Hilfsmittel führten (Transport von Holz oder Heu auf Schlitten, Zugänglichkeit versumpfter Landschaften der borealen Zone, vgl. Kap. 3.4.1). Gegenwärtig spielt natürlich der Wintersport bzw. Wintertourismus die entscheidende Rolle, wozu auch in Kap. 3.4.2 schon die wichtigsten Aussagen getätigt wurden:

- Schisport als "Nationalsport" z.B. Österreichs
- Seilbahnwesen
- Zunehmende Bedeutung des Winterfremdenverkehrs
- Massive Auswirkungen auf Gewerbe und Freizeitindustrie.

Ergänzend könnten noch eine Reihe weiterer illustrierender Angaben beigebracht werden, etwa die Anfang Jänner 2002 im Zuge eines guten Starts der Wintersaison kolportierten Tages-Besucherzahlen in wichtigen steirischen Schigebieten (Kreischberg 4000, Semmering 3000-4000 verkaufte Karten, Kleine Zeitung 6.1.2002) oder der Grundstückspreis von 100.000 ATS (ca. 7.300 Euro) pro m² im Zentrum von Ischgl (was etwa den Verhältnissen der Frankfurter City entsprechen soll (STÖTTER, Exkursion 2000).

Schnee erscheint aus anthropozentrischer Perspektive somit eigentlich nur in Form von Verkehrsbehinderungen bei Schneefällen (besonders durch daraus resultierende Staukosten) und vor allem in Form von Schadlawinen als *Ungunstoffaktor*. Hierbei sind vor allem die Kosten des Lawinenschutzes relativ gut fassbar, dürfen an sich aber nicht als Ungunstoffaktor im engeren Sinn interpretiert werden, da die anfallenden, von der öffentlichen Hand getragenen Kosten ja zum überwiegenden Teil in die betreffenden Regionen fließen und dort zur Arbeitsplatzsicherung beitragen. Beispielsdaten sind:

- Die Gesamtkosten für den Schutz vor Lawinen sollen in Österreich bis zum Jahr 2000 schon 130 Milliarden ATS (knapp 10 Milliarden Euro) betragen haben (mündl. Mitt. STÖTTER).
- Alpenweit sollen die Ausgaben für Lawinenverbauungen jährlich 550 Mio. ATS (40 Mio. Euro) betragen (nach Medienberichten).
- Allein für den Schutz des Siedlungsraumes in Österreich wurden bis 1989 2,3 Milliarden ATS (170 Mio. Euro) ausgegeben, 52 % davon in Tirol und 34 % in Vorarlberg. Der noch

ausständige Bedarf wurde damals auf 8,6 Milliarden ATS (630 Mio. Euro) geschätzt (BM f. Land- und Forstwirtschaft 1989).

- In der Gemeinde Neustift im Stubaital (Tirol) wurden allein zwischen 1981 und 2001 84,9 Mio. ATS (6,2 Mio. Euro) in Lawinenverbauungen investiert. Die Kosten für die Wildbachverbauungen betragen im gleichen Zeitraum 260,6 Mio. ATS (18,9 Mio. Euro). (schriftl. Mitt. STÖTTER)
- In der Gemeinde Pontresina (Oberengadin, Schweiz) kostet ein derzeit laufendes Einzelprojekt eines (!) Lawinenschutzdammes (bis 2003) 7,5 Mio. SFr. (örtl. Prospekt).

Eine Aufrechnung der Kosten von Gunst- und Ungunsteffekten ist wohl nicht wirklich befriedigend möglich und möglicherweise auch noch gar nicht umfassend versucht worden. Dennoch zeigt die Entwicklung des Alpenraumes insgesamt klar, dass die positiven Effekte bei Weitem überwiegen müssen. Dies gilt freilich nur wirtschaftlich, denn die negativen Auswirkungen des Winter-Massentourismus auf die alpinen Ökosysteme sind schwerwiegend, wenn auch weithin nur im lokalen Betrachtungsmaßstab, weil die Gesamtanteile an den Alpenländern noch gering sind (Werte nach EGGERS 1993):

- Ende 1990 besaß Tirol eine Gesamtfläche von 86 km² Schipisten, das sind 0,68 % der Landesfläche (1980 waren es aber erst 0,55 % gewesen, davon 2/3 mit Geländekorrekturen).
- Weitere %-Angaben für die Zeit um 1990: Südtirol 0,43 %, bayerischer Alpenraum 0,6-0,9 %, Schweiz "etwas mehr als 1 % des schweizerischen Berggebietes".

5.3. Die Zukunft des Schnees im Klimawandel

Längerfristige Trendanalysen von Schneeparametern (z.B. MOHNL 1994) lassen nur schwache oder gar keine signifikanten Trends erkennen, die obendrein kaum wirklich für größere Regionen repräsentativ sind. Die Häufung schneearmer Winter um 1990 liegt dabei durchaus innerhalb "der Grenzen der natürlichen statistischen Schwankungen". Diese schwachen Signale hängen u.a. damit zusammen, dass der Schnee als Klimaelement nur schwer erfassbar ist (Kap. 2.2) und beispielsweise schon geringe bauliche Veränderungen im Nahbereich der Messstelle klimatische Trends vortäuschen können. Außerdem reagiert der Parameter Schnee sehr sensibel auf Temperatur- und Niederschlagsveränderungen, wobei keine einfachen Beziehungen erwartet werden können: z. B. können höhere Temperaturen auf Grund des damit verbundenen erhöhten Feuchtigkeitsgehalts der Luft auch höhere Niederschläge in fester Form verursachen. Dennoch lassen die global ansteigenden Temperaturen keinen Zweifel daran, dass es auch Rückwirkungen auf die Chionosphäre gibt, wenn auch diese nicht auf den einfachen Nenner "früher schneereich - heute und in Zukunft schneearm" gebracht werden können.

Wenn heute die Schigebiete als Antwort auf eine offenbar zunehmend schwindende Schneesicherheit *künstliche Beschneigung* mehr oder weniger flächendeckend eingeführt haben - schon um 1990 waren 250 Anlagen alpenweit in Betrieb (EGGERS 1993) -, so ist dies mindestens ebenso wie Veränderungen im Winterklima auf gestiegene Ansprüche der Konsumenten zurückzuführen. Man möchte heute eben den Urlaub zum geplanten Zeitpunkt genauso genießen, wie man ihn gebucht hat, und wenn der Anbieter den Schnee eben nicht zur Verfügung stellen kann, dann wird in ein Konkurrenzgebiet ausgewichen (vgl. dazu die Überlegungen von BÄTZING 2000). So sind die Beschneigungsanlagen eigentlich mehr zur wirtschaftlichen denn zur klimatischen Notwendigkeit geworden. Ihre ökologischen Einflüsse wurden vielfach diskutiert (z.B. EGGERS 1993, SCHATZ 1993), werden heute überwiegend

aber als relativ geringfügig eingeschätzt, zumindest wenn man sie mit den Eingriffen für den Schipistenbau vergleicht und die oft angespannte Situation der Wasserversorgung ausblendet.

Eine besonders kritische Frage in Zusammenhang mit der Klimaänderung ist die nach der potenziellen Häufung von Lawinenkatastrophen in der Zukunft. Auch hierbei sind widersprüchliche Szenarien erstellt worden. Während etwa MAIER o.J. davon ausgeht, dass bei weiter ansteigenden Temperaturen und Niederschlägen im Alpenraum die Lawinenaktivität in höheren Lagen (über 1500 m) zunehmen wird, zitierte STÖTTER bei seinem Vortrag am 25.10.2001 in Graz eine Schweizer Studie, der zu Folge die Lawinentätigkeit zukünftig konstant bleiben dürfte, weil die erwartete Zunahme der Starkniederschläge durch die gleichzeitig ansteigende Schneefallgrenze gleichsam kompensiert würde. Alle Fachleute scheinen sich jedoch darin einig zu sein, dass die Zukunft sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus Umweltschutzgründen nicht einfach in einer Erweiterung der Lawinenverbauungen liegen kann, sondern ein umfassendes Gefahrenmanagement aufgebaut werden soll.

Literatur

Lawinenwarndienst Steiermark: <http://www.zamg.ac.at/markt/graz/lawinen/start.html>

Lawinensituation Tirol und Österreich: <http://www.lawine.at>

- ALFORD, D., 1974: Snow. - In: IVES, J.D., & BARRY, R.G. (Hrsg.), Arctic and Alpine Environments. Methuen, London, 85-110.
- AUER, I., & BÖHM, R., 1998: Schneepegel- und Totalisatorenmessungen im Sonnblickgebiet. - 94.-95. Jber. d. Sonnblick-Vereines (1996-97), 42-87.
- AUER, I., BÖHM, R., & MOHNL, H., 1992: Die hochalpinen Klimaschwankungen der letzten 105 Jahre beschrieben durch Zeitreihenanalysen der auf dem Sonnblick gemessenen Klimaelemente. - 86.-89. Jber. d. Sonnblick-Vereines (1990-91), 3-36.
- BÄTZING, W., 1997: Kleines Alpen-Lexikon. Umwelt-Wirtschaft-Kultur. - Beck'sche Reihe 1205, München, 320 S.
- BÄTZING, W., 2000: Der Lawinenwinter 1999 in den Alpen - Ursachen und Konsequenzen eines Jahrhundertereignisses. - www.geographie.uni-erlangen.de/wbaetzing/lit/102.pdf (Stand Dez. 2001)
- BAUER, H., 1993: Lawinen. - ÖAV-Lehrschrift. Rother München, 6. Aufl., 136 S.
- BEYER, L., 1985: Schülerexkursion in die Ötztaler Alpen. Das Beispiel Pitztal für Schüler der Sekundarstufe I. - Geographie und Schule 37, 8-17.
- BEYER, L., 1988: Umwertung eines Raumes an der Höhengrenze der Ökumene. - Praxis Geographie 18/10, 14-20.
- BLÜTHGEN, J., & WEISCHET, W., 1980: Allgemeine Klimageographie. - Lehrbuch der Allgemeinen Geographie, Bd.2. Walter de Gruyter, Berlin, New York, 3. Aufl., 887 S.
- Doppelmayr Seilbahnen GmbH, 2001: Firmenportrait www.doppelmayr.com (Stand Nov. 2001).
- DUFOUR, F., GRUBER, U., & AMMANN, W. J., 2001: Auf den Spuren von Katastrophenlawinen. Lawinenversuche im Vallée de la Sionne 1999. - Die Alpen 2/2001, 9-15.
- EGGERS, R., 1993: Skisport und Ökologie. - Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport. Verlag Hofmann, Schorndorf, 138 S.
- EICHLER, H., 1984: Geographisches Hand- und Lesebuch für modernes Reisen. - Touristbuch Hannover, 335 S.
- ENDLICHER, W., 1991: Klima, Wasserhaushalt, Vegetation. Grundlagen der Physischen Geographie II. - Wissenschaftl. Buchgesellschaft Darmstadt, 187 S.
- ERHARD, A., 2000: Galtür - Vergangenheitsbewältigung und Zukunftsorientierung eines Tiroler Dorfes. - GW-Unterricht 78, 49-57.
- ERNEST, A., 1968: Der Lawinenbeobachtungsdienst der Österreichischen Bundesbahnen. - Nachrichtenblatt der Generaldirektion der Österr. Bundesbahnen, Wien, 1968/2, 33-38.
- ERNEST, A., 1981: Wetter, Schnee und Lawinen. Lawinengefahr, Einflüsse, Beurteilung, Verhalten. - Stocker Verlag Graz, Stuttgart, 183 S. -
- FANK, J., 1999: Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). - Beiträge zur Hydrogeologie 49/50, 101-388.
- GEYER, P., & POHL, W., 1998: Skibergsteigen. Variantenfahren. - Alpin-Lehrplan, Bd. 4. BLV München, Wien, Zürich, 181 S.
- GRABHERR, G., 1997: Farbatlas Ökosysteme der Erde. - Eugen Ulmer, Stuttgart, 364 S.
- GRÜNDLER, K., 1992: Die Eroberung des Winters. Die Anfänge von Wintersport und Wintertourismus im Semmeringgebiet. - In: KOS, W. (Hrsg.), Die Eroberung der Landschaft. Semmering - Rax - Schneeberg. Katalog zur NÖ Landesausstellung, Schloss Gloggnitz 1992. Falter Verlag, Wien, 578-586.

- HALFPENNY, J.C., & OZANNE, R.D., 1989: Winter - an ecological handbook. - Johnson Books, Boulder/Colorado, 273 S.
- HAMMER, N., 1987: Das Mikroklima in Schneehöhlen. - 82.-83. Jber. d. Sonnblick-Vereines (1984/85), 45-57.
- HEITZMANN, W., 1989: Gesäuse. Streifzüge durch die Ennstaler und Eisenerzer Alpen. - Landesverlag, Linz, 191 S.
- HEUBERGER, H., 1975: Innsbrucker Nordkette. Forstprobleme und Lawinenschutz, Trinkwasserversorgung, Höttinger Breccie. - In: Tirol, ein geographischer Exkursionsführer. Innsbrucker Geogr. Stud. 2, 43-65.
- HIEBELER, T. 1977: Lexikon der Alpen. - Bertelsmann Lexikon-Verlag, Gütersloh, 432 S.
- HOFFMANN, W., 2000: Lawinengefahr. Risiken erkennen - Entscheidungen treffen. - BLV, München, 111 S.
- HOINKES, H., 1968: Wir leben in einer Eiszeit. - In: MURAWSKI, H. (Hrsg.), Vom Erdkern bis zur Magnetosphäre. Umschau Verlag, Frankfurt/Main, 275-288.
- KELLERMANN, W., 1983: Lawinen. - In: ALBRECHT, V., JAENEKE, M., SOMMERHOFF, G., Wetter - Lawinen. Alpin-Lehrplan, Bd. 9, BLV München, 2. Aufl., 120-198.
- KÖLBEL, H., 1984: Die Schnee-Ausaperung im Gurgler Tal (Ötztal/Tirol). Ihre Erfassung, Darstellung und ökologische Aussage. - Salzburger Geogr. Arb. 12, 214 S.
- KUREHA, M., 1995: Wintersportgebiete in Österreich und Japan. - Innsbrucker Geogr. Stud. 24, 188 S.
- KURZEDER, T., FEIST, H., REIMANN, P., & OSTER, P., 2000: Powder Guide. Lawinen - risiko.check für freerider. - Tyrolia Innsbruck, Wien, 155 S.
- Land Tirol (Hrsg.), 2000: Lawinenhandbuch. - Tyrolia-Verlag, Innsbruck, Wien, 7.Auflage, 260 S.
- LARCHER, M., 2001: Stop or go. Entscheidungsstrategie für Tourengerher. - Mitteilungen des Österr. Alpenvereines 56 (126)/1, 25-29.
- LAUSCHER, F., 1969: Ein Diagramm zur klimatischen Abschätzung größter Schneehöhen. - Wetter und Leben 21, 117-124.
- LAUSCHER, F., 1976: Methoden zur Weltklimatologie der Hydrometeore. Der Anteil des festen Niederschlags am Gesamtniederschlag. - Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser.B, 24, 129-176.
- LEHMKUHL, F., 1989: Geomorphologische Höhenstufen in den Alpen unter besonderer Berücksichtigung des nivalen Formenschatzes. - Göttinger Geogr. Abh. 88, 113 S.
- LESER, H., HAAS, H.-D., MOSIMANN, T., & PAESLER, R., 1984: Diercke Wörterbuch der Allgemeinen Geographie. - 2 Bd., Dtv München, Westermann Braunschweig, je 422 S.
- LICHTENBERGER, E., 1997: Österreich. - Wissenschaftliche Länderkunden. Wissenschaftl. Buchgesellsch. Darmstadt, 387 S.
- MADER, C., 1997: Tourismusland Tirol: "Um Berge besser!?" - Praxis Geographie 27/3, 22-27.
- MAIER, A., o.J. (2000): Klimawandel und Lawinen. Risiken und Trends im Alpenraum. - Greenpeace Österreich, Wien, 29 S.
- MEIBL, G., 2001: Kleine Lawinenkunde. - GW-Unterricht 81, 41-45.
- MOHNL, H., 1994: Die Schwankungen der Neuschneehöhe und Schneedeckendauer in Österreich (Periode 1895-1992). - 90.-91. Jber. d. Sonnblick-Vereines (1992-93), 5-47.
- MUNTER, W., 1997: 3 x 3 Lawinen. Entscheiden in kritischen Situationen. - Agentur Pohl & Schellhammer, Garmisch-Partenkirchen, 220 S.
- NANSEN, F., 1891: Auf Schneeschuhen durch Grönland. - 2 Bd., Verlagsanstalt und Druckerei Aktien-Gesellschaft, Hamburg, 400 + 455 S.
- Österreichischer Alpenverein (Hrsg.), o.J.: Alpenvereinsmuseum. Katalog. - ÖAV, Innsbruck, 162 S.

- PASCHINGER, V., 1958: Firm und Gletschereis als Handelsgüter. - In: Geographische Forschungen (KINZL-Festschrift). Schlernschriften 190, 189-194.
- PETROVITSCH, H., 1988: Verkehrswege durch den Arlberg. - Berge 33 (Themenheft "Arlberg"), 67-69.
- PILGER, H., & PODESSER, A., 2000: Phänomen Industrieschnee. Stadtgebundene Schneefälle in Graz. - Regionalstelle für die Steiermark der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Graz: www.zamg.ac.at/markt/versio1.html (Update vom 31.1.2000).
- PUSSWALD, A., o.J.: Lawinenkunde. Unterrichtsbehelf. - Bundesanstalt für Leibeserziehung, Wien (Österr. Skilehrwarteausbildung), 74 S.
- RACHOY, W. (Red.), 1989: Lawinen in Österreich. Lawinengefahren und Lawinenschutz. - BM f. Land- und Forstwirtschaft, Wien, 32 S.
- Redaktion Schweizer Lexikon & Gletscherkommission der Schweizerischen Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), 1993: Gletscher, Schnee und Eis. Das Lexikon zu Glaziologie, Schnee- und Lawinenforschung in der Schweiz. - Verlag Schweizer Lexikon, Mengis u. Ziehr, Luzern, 102 S.
- SCHAFFHAUSER, H., 1990: Naturgefahrenpotential im alpinen Gelände. Lawinen. - Unpubl. Skriptum, Inst. f. Geographie d. Univ. Graz, 58 S.
- SCHATZ, H., 1993: Auswirkungen des Wintertourismus, insbesondere der Beschneiungsanlagen, auf Natur und Umwelt. - GW-Unterricht 52, 119-123.
- SCHMITT, W., 1984: Winterbergsteigen seit 1832. - Der Bergsteiger 51/1, 11-14.
- SCHMITT, W., 1985 a: Plagen und Sternstunden der Skibergsteiger. - Der Bergsteiger 52/2, 18-21.
- SCHMITT, W., 1985 b: Mathias Zdarsky. Der "Newton der Skigesetze". - Der Bergsteiger 52/2, 39-40.
- SCHNEIDER, S., 1985: Das Thema "Skipisten gefährden die Alpen" im Unterricht der Sekundarstufe I. - Geographie und Schule 37, 17-19.
- SCHNEIDER, W., & MANGOLD, G., 1984: Die Alpen. Wildnis - Almrausch - Rummelplatz. - Geo, Hamburg, 3. Auflage, 360 S.
- SCHÖNER, W., STAUDINGER, M., & PUXBAUM, H., 1996: Schadstoffkonzentrationsmessungen in der Winterschneedecke von Wurtenkees und Goldbergkees. - 92.-93. Jber. d. Sonnblick-Vereines (1994-95), 5-34.
- SCHÖNWIESE, C.-D., 1994: Klimatologie. - UTB 1793, Eugen Ulmer Stuttgart, 436 S.
- SCHULTZ, J., 1995: Die Ökozonen der Erde.- UTB 1514, Eugen Ulmer Stuttgart, 535 S.
- STAHR, A., & HARTMANN, T., 1999: Landschaftsformen und Landschaftselemente im Hochgebirge. - Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 398 S.
- Statistik Austria (Hrsg.), 2001: Tourismus: www.statistik.at/fachbereich_tourismus/txt.shtml
- STEINHAUSER, F., 1974: Die Schneeverhältnisse Österreichs und ihre ökonomische Bedeutung. - 70.-71. Jber. d. Sonnblick-Ver. (1972-1973), 3-42.
- STÜBER, E., & WINDING, N., 1991: Die Tierwelt der Hohen Tauern. Wirbeltiere. - Nationalpark Hohe Tauern, Wissenschaftliche Schriften. Carinthia, Klagenfurt, 183 S.
- SÜLBERG, H., 1986: Kanonen gegen den weißen Tod. - Merian 39/2, Themenheft „Graubünden“, 70-82.
- VENZKE, J.-F., 1989: Landschaftsgestalter Schnee. Die Bedeutung des Schnees im Naturhaushalt der borealen Landschaft. - Praxis Geographie 19/5, 18-21.
- WAKONIGG, H., 1975: Die Schneeverhältnisse des österreichischen Alpenraumes (1950-1960). - Wetter und Leben 27, 193-203.
- WAKONIGG, H., 1978: Witterung und Klima in der Steiermark. - Arb. Inst. f. Geographie d. Univ. Graz 23, 473 S.
- WAKONIGG, H., o.J: Physiogeographisches Proseminar I (Klimageographie). - Unpubl. Skriptum, Inst. f. Geographie d. Univ. Graz, 80 S.

- WEISS, R., 2002: Lawinen. Wahrscheinlichkeit und Gegenwahrscheinlichkeit. - Berg 2002, Alpenvereinsjahrbuch 126, 306-312.
- WILHELM, F., 1975: Schnee- und Gletscherkunde. - Lehrbuch der Allgemeinen Geographie. Walter de Gruyter, Berlin, New York, 434 S.
- WINDING, N., MÉSZÁROS, M., & SCHLAMBERGER, M., 2000: Die Alpen. Im Reich des Steinadlers. - Styria, Graz - Wien - Köln, 240 S.
- ZENKE, B., 1986: Beobachtungen an ausapernden Gleitsneehängen. - Der Bergsteiger 53/4, 58-59.