

# Analyse und Darstellung der mittleren monatlichen Schneehöhen in der Schweiz

Autor(en): **Auer, Mirco / Meister, Roland / Stoffel, Andreas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **96 (2004)**

Heft 7-8

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-939575>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Analyse und Darstellung der mittleren monatlichen Schneehöhen in der Schweiz

■ Mirco Auer, Roland Meister, Andreas Stoffel, Rolf Weingartner

## Zusammenfassung

Im vorliegenden Artikel wird eine Berechnungsmethode beschrieben, mit welcher die typischen Muster der Schneeverteilung im schweizerischen Alpenraum kartografisch dargestellt werden können. Schneehöhenkarten dienen als Grundlage für die Lawinenwarnung; sie sind aber auch für touristische Aussagen bezüglich Schneesicherheit, für hydrologische Abflussmodellierungen und für Klimadarstellungen wichtig.

Als Ausgangspunkt für die Erfassung der räumlichen Muster dienten die langjährigen Messungen in den Stationsnetzen des Eidg. Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) und der MeteoSchweiz. Die Berechnungen basieren auf insgesamt 173 Stationen und umfassen die 20-jährige Periode 1983–2002. Bei der Regionalisierung der Schneehöhen werden sowohl die generelle Höhenabhängigkeit der Schneehöhe als auch die regionalen Abweichungen von diesem gesamtschweizerisch gültigen Zusammenhang berücksichtigt. Entstanden sind reliefbezogene mittlere monatliche Schneehöhenkarten. Der ausgearbeitete Modellansatz eignet sich auch für die Regionalisierung anderer wichtiger Schneeparameter, etwa für Neuschneesummen oder Gesamtwas-serwerte.

## 1. Einleitung

Grosse Gebiete der Schweiz liegen während Monaten unter einer festen Schneedecke. Die Mächtigkeit dieser Schneedecke hängt von vielen Faktoren ab und ist lokal wie regional sehr unterschiedlich.

An verschiedenen Einzelpunkten wird die Schneedecke gemessen und untersucht, sei es zu wirtschaftlichen, wissenschaftlichen oder touristischen Zwecken. Anhand dieser punktuellen Messungen können flächendeckende Aussagen gemacht werden, welche Abschätzungen der Schneehöhen an Stellen ohne Messungen ermöglichen.

Verschiedene Autoren haben sich schon mit diesem Thema beschäftigt: Witmer (1984) entwickelte eine Methode zur flächendeckenden Kartierung von Schneehöhen

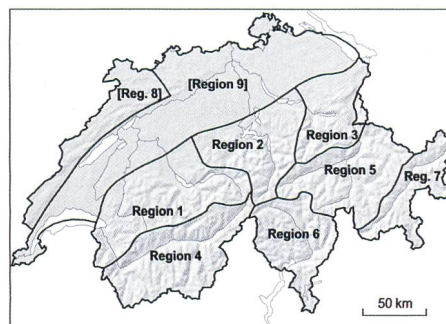
unter Berücksichtigung von reliefbedingten Einflüssen. Seine Schneehöhenkarten berechnete er auf der Basis eines linearen Zusammenhangs zwischen Schneehöhe und Höhe über Meer innerhalb jeder der sieben alpin geprägten SLF-Regionen (Bild 1).

Zudem entwickelte Witmer auf der Basis von Detailmessungen für die Gegend von Saanenmöser so genannte Hangneigungs- und Expositions-faktoren. Als Grundlage für die Kartierung diente ein Rastergeländemodell (RIMINI, 250 m). Jeder an einem Rasterpunkt aus dem linearen Zusammenhang «Schneehöhe – Gebiets-höhe» errechnete Wert wurde je nach seiner Exposition und Hangneigung mit einem Faktor korrigiert. Witmer veröffentlichte Karten für das Saanenland für die Monate Dezember bis März. Für seine Berechnungen verwendete er Medianwerte. Auch im «Klimaatlas der Schweiz» veröffentlichte Witmer (1987) mit derselben Methode entwickelte Karten («Schneehöhen im schweizerischen Voralpen- und Alpenraum»). Die Schneehöhen wurden nur für Gebiete unterhalb einer Höhe von 2500 m ausgewiesen. Kartiert wurde das Gebiet südlich einer Linie St. Gallen–Bern–Fribourg–Vevey. Die Karten wurden jeweils für die Monate Dezember bis März berechnet. Die Kartierung basiert auf den Medianwerten von 160 Messstationen für den Zeitraum von 1961 bis 1980.

Kirchhofer (2000) publizierte im «Klimaatlas der Schweiz» ebenfalls Schneehöhenkarten. Den Karten liegt eine einfache lineare Abhängigkeit zwischen Schneehöhe und Höhe über Meer zugrunde. Die Inputdaten bildeten mittlere monatliche Schneehöhen für die Monate Dezember bis März von 1961 bis 1990.

Am SLF wird während der Wintermonate wöchentlich und auch bei markanten Veränderungen eine Schneehöhenkarte im Internet publiziert (Bild 2). Die Schneehöhe wird nicht im Relief dargestellt, sondern für eine bestimmte Bezugshöhe berechnet (Schneehöhe auf 1000 m, 1500 m und 2000 m). Dabei wird versucht, die Güte des Modells regional zu optimieren, indem an den Messstationen die Differenz zwischen dem effektiv gemessenen Wert und dem modellierten Wert bestimmt und dann das Modell entsprechend «korrigiert» wird.

Alle diese Methoden berechnen die Abhängigkeit der Schneehöhe von der Ge-



**Bild 1.** Das Gebiet der Schweiz wurde vom Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) zur differenzierten Analyse der Lawinensituation in sieben (neun) verschiedenen Klimaregionen (sog. SLF-Regionen) eingeteilt (aus: SLF, 1992).

biets-höhe innerhalb der einzelnen SLF-Regionen. Deshalb soll hier kurz auf diese Regionen eingetreten werden:

Schon zu Beginn der regelmässigen Messungen im Netz des Eidg. Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) wurden die Messstationen nach groben Klimaregionen gegliedert (SLF, 1952). Es sind dies die Regionen 1 bis 7, welche den Alpenraum abdecken (siehe Bild 1). Im Zuge der Regionalisierungsarbeiten von Witmer (1984) wurden zusätzlich noch die Regionen 8 (Jura) und 9 (Mittelland) ausgeschieden. Die Regionen 1 bis 3 werden oft zusammengefasst; sie ergeben den «Alpen-nordhang». Die Region 6 wird vielfach als «zentraler Alpensüdhang» bezeichnet.

Alle Stationsdaten des SLF sind nach diesem Muster strukturiert. Dadurch ergibt sich ein wesentlicher Vorteil bei der klimatologischen Darstellung und Analyse der Messgrössen.

Im Zuge einer genauen Analyse der langjährigen Messreihen hat Laternser (2002a) eine neue Gebietseinteilung ausgearbeitet. Er schlägt im Wesentlichen 18 Cluster vor, die er anhand der Schneehöhenmuster im Höhenbereich von 1000 bis 2500 m bestimmt hat.

Gegenwärtig ist noch die alte Gebietseinteilung in SLF-Regionen im Gebrauch. Dabei sind für die textliche Ausarbeitung der Lawinenbulletins weitere häufig verwendete Begriffe dazugekommen. Man spricht dort etwa vom Alpenhauptkamm, der vom Gebiet des Grosse St. Bernhards über

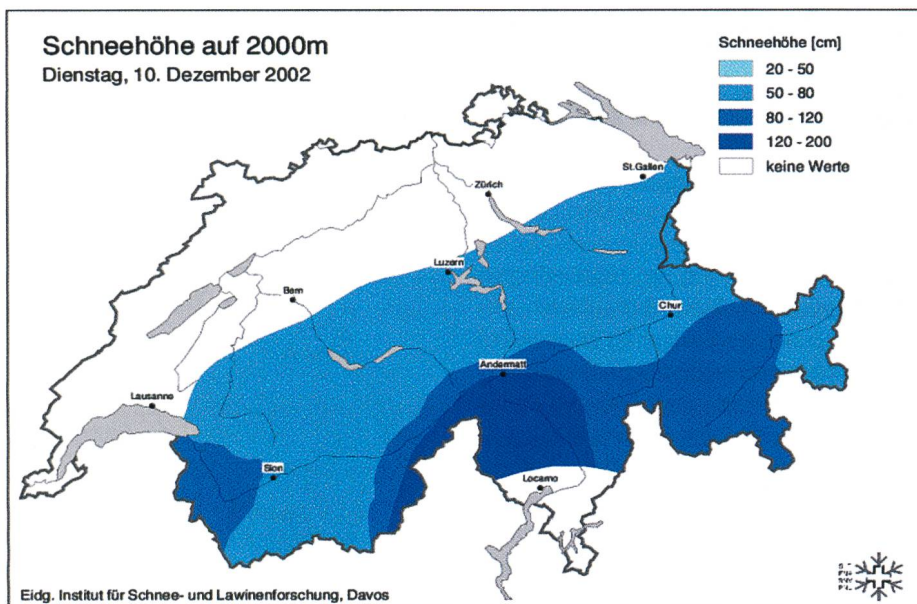


Bild 2. Beispiel einer vom SLF produzierten Schneehöhenkarte ([www.slf.ch](http://www.slf.ch)).

die südlichen Walliser Alpen, das Gotthardgebiet, das Bergell, das Berninagebiet bis zum Ofenpass reicht. Für die seit einigen Jahren publizierten regionalen Lawinenbulletins wurden weitere Kleinregionen ausgetrennt.

Bei den SLF-Regionen bleiben Inhomogenitäten innerhalb der einzelnen Regionen unberücksichtigt; auch kleinräumig können grosse Unterschiede bezüglich der Schneehöhen auftreten. Im Weiteren impliziert das von den SLF-Regionen ausgehende Verfahren, dass an den Grenzen der SLF-Regionen Unstetigkeiten auftreten, was sicherlich nicht der Realität entspricht.

Nicht zuletzt wegen diesen vielfältigen Gebietseinteilungen wurde beim vorliegenden Ansatz versucht, ein von den Regionen unabhängiges Vorgehen zu wählen. Dies ist mit dem Ansatz über Grundwert und Ausgleichswert weitgehend gelungen, und zwar unter gleich gewichtetem Einbezug aller Messstationen.

## 2. Messnetze der Schneehöhen

Die Schneehöhen werden in der Schweiz einerseits durch das SLF, andererseits durch die MeteoSchweiz gemessen. Das SLF betreut drei verschiedene Messnetze: das Netz der Vergleichsstationen (VG), das Messstellennetz (MS) sowie das Interkantonale Mess- und Informationssystem (IMIS). Der MeteoSchweiz unterliegen die Konventionellen Klimastationen (KKS), das Automatische Messnetz (ANETZ) und das Automatische Ergänzungnetz (ENET). Die Messnetze des SLF dienen als Grundlage der Lawinenforschung und -warnung. Aus diesem Grund liegen die Stationen mehrheitlich in alpinen Regionen, in denen im Winterhalbjahr oft sehr viel Schnee liegt. Dank der meteorologischen

und klimatologischen Ausrichtung der Messnetze der MeteoSchweiz liegen deren Stationen in allen Regionen der Schweiz; insbesondere ergänzen sie die alpinen Schneehöheninformationen der SLF-Netze mit Daten aus dem Mittelland und dem Jura (Bild 3).

### 2.1 Vergleichsstationen (VG)

Das Netz der Vergleichsstationen bildet die Grundlage für die Herausgabe des Lawinenbulletins. Die Mitarbeiter übermitteln die Ergebnisse unmittelbar im Anschluss an ihre täglich ausgeführten morgendlichen Beobachtungen über das Internet direkt an die SLF-Datenbank. Dies ermöglicht ein stetiges Verfolgen der Schneedeckenentwicklung in der ganzen Schweiz. Neben der Gesamtschneehöhe und der täglichen Neuschneemenge werden auch Informationen zur Witterung, zu den Eigenschaften des Schnees sowie zur Lawinensituation erhoben und weitergegeben.

Die ersten Daten wurden schon während des Zweiten Weltkriegs erhoben. Die längsten Messreihen decken daher mittlerweile mehr als 50 Jahre ab. Heute werden rund 80 Vergleichsstationen unterhalten. Aufgrund der langen Messreihen sind die Daten auch sehr wertvoll für die Forschung (z.B. für klimatologische Studien).

### 2.2 Messstellen (MS)

Das Messstellennetz dient als Ergänzung zum Messnetz der Vergleichsstationen. Erfasst werden nur die tägliche Neuschneemenge und die Gesamtschneehöhe. Je nach Station werden die Daten täglich per Internet übermittelt oder auf einem dafür vorgesehenen Formular eingetragen und alle 14 Tage per Post an das SLF gesandt. Im Winter 2000/01 waren 35 Messstellen in Betrieb.

### 2.3 Interkantonales Mess- und Informationssystem (IMIS)

Die Vergleichsstationen bzw. Messstellen decken Höhenlagen oberhalb von 2000 m nur spärlich ab. Da aber die Kenntnis der Schneeverhältnisse oberhalb von 2000 m insbesondere für die Lawinenwarnung sehr wichtig ist, wurde im Rahmen des Projektes «Interkantonales Mess- und Informationssystem für die Lawinenwarnung» (IMIS) seit 1996 im gesamten Schweizer Alpenraum ein Messnetz von automatischen Stationen, welche mehrheitlich oberhalb von 2000 m liegen, aufgebaut. Dieses Messnetz wurde vom SLF errichtet und betrieben. Die Stationen sind Eigentum der Kantone.

Eine Standardstation setzt sich aus einer Windstation, einer oder mehrerer Schneestationen und einer Relaisstation zusammen. Für die Windstation wird zur Messung des ungestörten globalen Windfeldes ein exponierter Standort an einer Gipfel- oder Kammlage gewählt. Neben Windrichtung und -geschwindigkeit werden dort auch Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit gemessen. Die Schneestationen befinden sich im Gegensatz dazu auf einem windgeschützten Flachfeld. An einer möglichst horizontalen und ungestörten Schneedecke werden die Schneehöhe, die Luft- und Schneeoberflächentemperatur, mehrere Schneetemperaturen und die Bodentemperatur sowie die Windrichtung und -geschwindigkeit, die relative Luftfeuchtigkeit und die kurzweilige Strahlung gemessen. Die Messungen erfolgen halbstündlich und werden per Funk an die Relaisstation übertragen. Die Energieversorgung erfolgt über eine Solarspeisung (SLF, 2002).

Die Daten werden zentral am SLF in Davos erfasst und archiviert, jedoch weder korrigiert noch interpoliert.

### 2.4 Konventionelle Klimastationen (KKS)

An den Standorten der konventionellen Klimastationen der MeteoSchweiz werden die wichtigsten meteorologischen und klimatologischen Grössen dreimal pro Tag gemessen. Zum Morgen- und zum Abendtermin werden auch die Schneehöhenparameter (Gesamtschneehöhe, Neuschneehöhe) bestimmt. Im Jahr 2001 waren 26 konventionelle Klimastationen in Betrieb.

### 2.5 Automatisches Messnetz (ANETZ)

Das automatische Messnetz wurde Ende der 1970er- und Anfang der 80er-Jahre von der MeteoSchweiz aufgebaut. Es umfasst 72 Stationen, an denen bis zu 22 verschiedene Messgrössen erhoben werden. Auf den

ANETZ-Stationen werden prinzipiell keine Schneedaten erhoben. Die meisten sind allerdings auch als KKS ausgelegt; die Schneemessung erfolgt demnach täglich auf konventionelle Art aufgrund von Pegelmessungen durch den Beobachter. 2001 wurden die Schneedaten an 67 ANETZ-Stationen erhoben.

## 2.6 Automatisches Ergänzungsnetz (ENET)

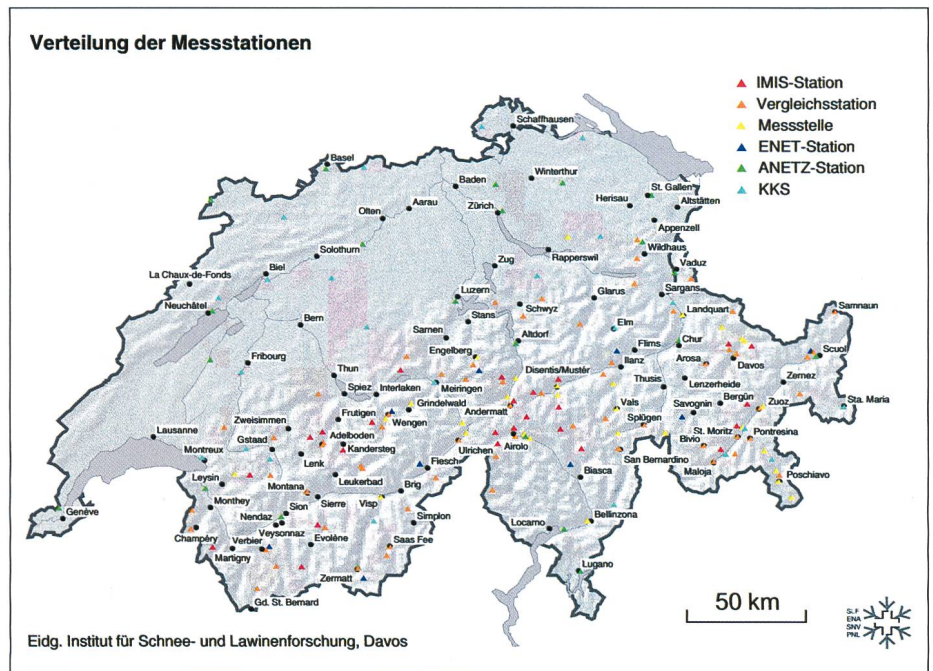
In Zusammenarbeit mit dem SLF wurde von der MeteoSchweiz das ENET entwickelt; es entspricht den Bedürfnissen der Lawinenwarnung. Das Messnetz umfasst 44 Stationen, an denen primär die Windverhältnisse gemessen werden. Zusätzlich werden an 11 Standorten im Gebirge vor allem für das SLF Schnee- und Temperaturdaten erhoben. Die Schneehöhe wird an diesen Stationen stündlich ermittelt.

Die ersten Daten stammen aus dem Jahr 1993. Die Daten werden zwar alle zehn Minuten erfasst, jedoch nur einmal pro Stunde übermittelt. Aufgrund der Erfahrungen, welche mit den ENET-Stationen gesammelt wurden, ist das IMIS-Messnetz aufgebaut worden.

## 3. Datenqualität und Repräsentativität der Messstandorte

Die Schneehöhen an den Vergleichsstationen (VG), an den Messstellen (MS) und an den konventionellen Klimastationen (KKS) werden von Beobachterinnen und Beobachtern gemessen, d.h., die Schneehöhe wird an einem Pegel abgelesen. Seit dem Winter 1936/37 werden diese Messungen in den Winterberichten des SLF publiziert. Beobachterwechsel oder allfällige Standortwechsel eines Messfeldes sind genau dokumentiert (siehe Laternser, 2002b). Aus diesen Gründen kann von zuverlässigen Daten ausgegangen werden. Seit 1999 werden die Daten nicht mehr in den Winterberichten veröffentlicht und müssen deshalb einzeln korrigiert werden (Auer, 2003).

Die IMIS- und ENET-Stationen messen die Schneehöhe automatisch mittels Ultraschalltechnologie. Die Messgenauigkeit wird mit 2–3 cm angegeben (SLF, 1999). Die Daten werden nicht kontrolliert bzw. interpoliert. Alle Messreihen mussten deshalb kontrolliert werden (Auer, 2003). Es zeigte sich, dass die IMIS- und ENET-Stationen frühestens ab dem Winter 1997 über zuverlässige Daten verfügen. Fehlende Daten wurden folgendermassen interpoliert: Mit Hilfe der Annalen der MeteoSchweiz konnte die Witterung während des Datenausfalls rekonstruiert werden; anschliessend wurden die feh-



**Bild 3. Datengrundlage zur Erstellung von Karten der mittleren monatlichen Schneehöhen.**

lenden Werte auf der Grundlage von Nachbarstationen ergänzt.

Das Ziel einer optimalen Messnetzplanung muss es sein, Stationen grundsätzlich so anzulegen, dass sie für ein möglichst grosses Gebiet repräsentativ sind (Witmer, 1984). Da die Daten der Vergleichsstationen und Messstellen von den Beobachtern täglich erhoben werden, liegen diese Stationen vielerorts in der Nähe von Siedlungen. Siedlungen meiden seit jeher schneereiche Standorte im Gelände. Von daher kann man von einem systematischen Messfehler sprechen (Fliri, 1975). Dank der Erschliessung von hoch gelegenen schneereichen Gebieten als Folge des Wintertourismus und der Errichtung von automatischen Stationen im Hochgebirge ist dieser Effekt jedoch zusehends abgeschwächt worden.

Wohl grösser ist die Problematik der Standortwahl selbst: Die sowohl gross- wie auch kleinräumige Exposition zur Sonne und zum Wind, die Lage im Querprofil eines Tales, die allgemeine Hangneigung der Umgebung, die Nähe von Waldrändern und Gebäuden beeinflussen die Schneehöhe stark (Fliri, 1975).

Die Mitarbeiter des Lawinenwarnendienstes am SLF, welche den Standort eines Messfeldes im Gelände kennen, sich im Winter täglich mit den Messdaten beschäftigen und mit den Beobachtern in engem Kontakt sind, können die einzelnen Messstationen beurteilen. Bei gewissen Stationen sind die Schneehöhen generell eher zu hoch, weil das Messfeld beispielsweise im Lee liegt und der Wind zusätzlich Schnee akkumuliert. Andere Messfelder liegen an Geländeübergängen,

wo der Schnee laufend durch den Wind weggetragen wird; die Messwerte liegen hier dementsprechend eher zu tief.

## 4. Messperiode

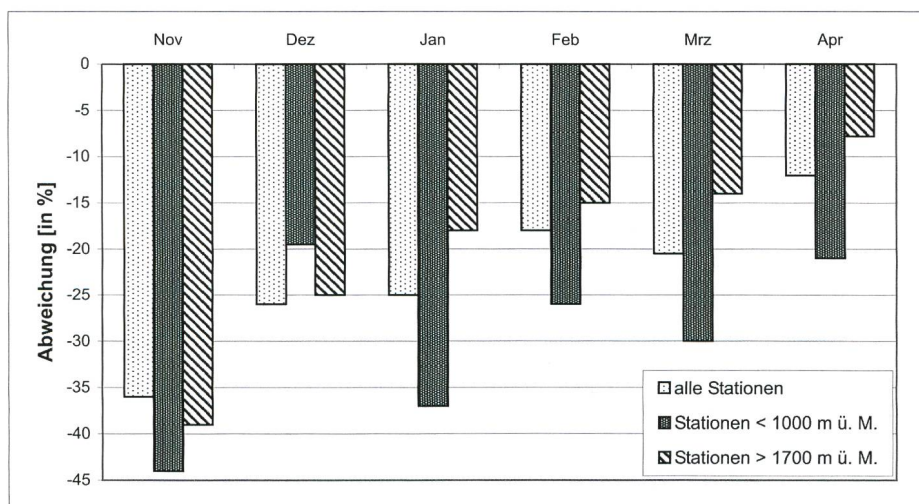
Für die erforderliche Länge von Schneebeobachtungsreihen gibt es keine allgemein gültigen Regeln. Witmer (1984) verwendete für seine Schneehöhenkarten eine 20-jährige Reihe. Die Schneehöhenkarten von Kirchhofer (2000) im «Klimaatlas der Schweiz» basieren auf einer 30-jährigen Datenreihe.

Da hier flächenhafte Aussagen gemacht werden sollen, ist es von grosser Bedeutung, eine möglichst grosse Stationsdichte zu erhalten. Ausserdem sollten die Stationen aktuell in Betrieb sein. Deshalb wurde für die vorliegende Untersuchung die 20-jährige Messperiode von 1983 bis 2002 gewählt. Angesichts des sich wandelnden Klimas sind aber auch solche 20-jährigen Messreihen nicht unproblematisch.

Obwohl die ENET- bzw. IMIS-Stationen erst seit Mitte der 1990er-Jahre Daten liefern, wurden sie ebenfalls in die Berechnungen einbezogen, um auch in höheren Lagen eine grösstmögliche Anzahl von Stationen zur Verfügung zu haben. Die Daten dieser Stationen wurden mit Hilfe von VG-Stationen auf die 20-jährige Periode umgerechnet.

### 4.1 Klimatologische Einordnung der Messperiode

Die Messperiode von 1983 bis 2002 lässt sich klimatologisch im Vergleich mit der vorangehenden 40-jährigen Periode von 1943 bis 1982 folgendermassen einordnen (siehe Auer, 2003):



**Bild 4. Mittlere Abweichungen der mittleren monatlichen Schneehöhen der Messperiode 1983–2002 von der Messperiode 1943–1982 (in %). Inputdaten sind 18 Vergleichsstationen (VG) und Messstellen (MS) mit langen Messreihen, welche über das ganze Gebiet der Schweiz verteilt sind.**

- Die durchschnittlichen Schneehöhen haben seit Mitte der 1980er-Jahre abgenommen.
- Die mittleren monatlichen Schneehöhen sind in allen Wintermonaten kleiner geworden. Die durchschnittlichen Abnahmen werden aber von November bis April immer kleiner.
- Die Abnahme der Schneehöhe ist im Allgemeinen in den tief liegenden Gebieten (Gebiete <1700 m) stärker ausgefallen als in den höher gelegenen Gebieten, wie Bild 4 veranschaulicht.
- Die kritische Höhenlage, unterhalb welcher statistisch nachweislich ein Trend hin zu geringeren Schneehöhen besteht, ist regional unterschiedlich. Sie liegt zwischen 1300 und 1700 m.
- In der Region 4 (Wallis) ist auch in höheren Lagen eine signifikante Abnahme der Schneehöhen zu beobachten.

Bei der Interpretation der Schneehöhenkarten müssen diese Punkte miteinbezogen werden. Trotz der in einigen Regionen festgestellten Inhomogenitäten wurde für die Berechnung der Schneehöhenkarten der monatliche Mittelwert 1983–2002 gewählt. Er beschreibt insgesamt einen schneearmen Zeitraum. Insbesondere im Mittelland, in den Tälern und in den Voralpen lag während der Messperiode 1983–2002 im Durchschnitt weniger Schnee als in den Jahrzehnten davor. Im Hochgebirge sind die Veränderungen weniger gross.

## 5. Regionalisierungsansatz

Für die Regionalisierung der Schneedaten wurde ein Ansatz verwendet, der sowohl den dominanten Einfluss der Höhe ü.M. auf die Schneehöhe als auch die lokalen und regionalen Besonderheiten berücksichtigt. Der

Regionalisierungsansatz umfasst im Wesentlichen zwei Teilschritte:

- 1) Für die Ausprägung der Schneehöhe ist in erster Linie die Höhenlage eines Standortes ausschlaggebend. Dieser Zusammenhang wird mit zwei gesamtschweizerisch gültigen, nach der Gebietshöhe differenzierten linearen Funktionen  $G(h)$  beschrieben, welche als Ergebnis eine Abschätzung des so genannten Grundwertes ( $G$ ) der Schneehöhe ergeben.
- 2) Mit einem regional abgeglichenen Ausgleichswert ( $A$ ) werden die Abweichungen vom gesamtschweizerischen Modell erfasst.

Somit ergibt sich das folgende Regionalisierungsmodell:

$$HS_j = G(h_j) + A_j \quad (1)$$

mit:

$HS$ : Schneehöhe [cm]

$G$ : Grundwert [cm]

$A$ : Ausgleichswert [cm]

$h$ : Höhe des Rasterpunktes [m ü. M.]

$j$ : Rasterpunkt, für den die Schneehöhe geschätzt werden soll

### 5.1 Der Grundwert

Der Grundwert beschreibt den Zusammenhang zwischen Schneehöhe und der Höhe über Meer. Mit zwei nach Höhenstufen unterteilten linearen Funktionen kann dieser Zusammenhang beschrieben werden (Bild 5), wobei für jeden Monat (November bis April) spezifische lineare Funktionen ( $G(h)$ ) vorliegen. Der Schnittpunkt der beiden Funktionen liegt bei 1300 m. Wie die Bestimmtheitsmasse verdeutlichen, können mit der unabhängigen Grösse «Höhe ü.M.» etwa 50 bis 70% der Gesamtvarianz der Schneehöhe er-

klärt werden. Bei alleiniger Verwendung des Modells  $G(h)$  zur Schätzung der Schneehöhe ist demnach mit grösseren Fehlern zu rechnen. Mit diesem Modell können jedoch bereits erste Karten erstellt werden, welche den generellen Zusammenhang zwischen Schneehöhe und Höhe ü. M. aufzeigen.

### 5.2 Der Ausgleichswert

Um auch die regional-klimatischen Bedingungen zu erfassen, wird ein so genannter Ausgleichswert berechnet, welcher bei der Abschätzung der Schneehöhe zum Grundwert addiert wird (Formel 1).

Im Ausgleichswert werden die regionalen Abweichungen vom Grundwert berücksichtigt. Dazu werden an drei Messstationen, die dem Rasterpunkt, für welchen die Schneehöhe abgeschätzt werden soll, benachbart sind, die Abweichungen zwischen Messwert und Grundwert bestimmt. Diese Abweichungen werden dann distanzgewichtet auf den Rasterpunkt übertragen. Somit ergibt sich für den Ausgleichswert ( $A_j$ ) folgende Formel:

$$A_j = \frac{h_j}{\sum_{i=1}^3 \left( \frac{1}{d_{ji}} \right)} * \sum_{i=1}^3 \left[ \frac{1}{d_{ji}} \frac{(HS_i - G(h_i))}{h_i} \right] \quad (2)$$

mit:

$h_j$ : Höhe des Rasterpunktes [m ü. M.]

$d_{ji}$ : Distanz zwischen  $j$ -tem Rasterpunkt und  $i$ -ter Messstation [km]

$HS_i$ : effektiv gemessene Schneehöhe an der Messstation [cm]

$G(h_i)$ : modellierte Schneehöhe an der Messstation; Grundwert [cm]

$h_i$ : Höhe der Messstation [m ü. M.]

$j$ :  $j$ -ter Rasterpunkt

$i$ :  $i$ -te Messstation

Zur Berechnung des Ausgleichswertes ( $A$ ) an einem Punkt, für welchen die Schneehöhe bestimmt werden soll, wird demnach konkret wie folgt vorgegangen:

- Ermittlung der drei dem Rasterpunkt am nächsten gelegenen Messstationen mit der Höhe  $h_i$  (m ü. M.).
- Anwendung der gesamtschweizerischen Höhe-Schneehöhe-Beziehung zur Bestimmung von  $G(h_i)$  an diesen Messstellen.
- Berechnung der Differenz zwischen dem Messwert ( $HS_i$ ) und dem Modellwert  $G(h_i)$ .
- Übertragung dieser Differenz auf den Rasterpunkt in Funktion der Distanz ( $d_{ji}$ ) zwischen Messstation und Rasterpunkt.

Da im Ausgleichswert die regionalen Abweichungen vom gesamtschweizerischen Modell erfasst werden, gibt eine Kartierung dieser Abweichungen somit auch Hinweise auf klimatisch bedingte Unterschiede in der Schneehöhe (siehe Kapitel 7).

Mit diesem Regionalisierungsansatz lassen sich auch andere Parameter als die Schneehöhe abschätzen, wie z.B. die Neuschneehöhe, die Neuschneesumme innerhalb einer gewissen Zeitspanne, die maximale Schneehöhe oder der Gesamtwasserwert der Schneedecke.

## 6. Schneehöhenkarten

Mit dem eben dargestellten Regionalisierungsansatz (siehe Formel 1) können nun Schneehöhenkarten für die ganze Schweiz erzeugt werden. Dazu wird ein digitales Höhenmodell benötigt. Im vorliegenden Fall wurde eine Maschenweite von 1 km (DHM 1000) verwendet.

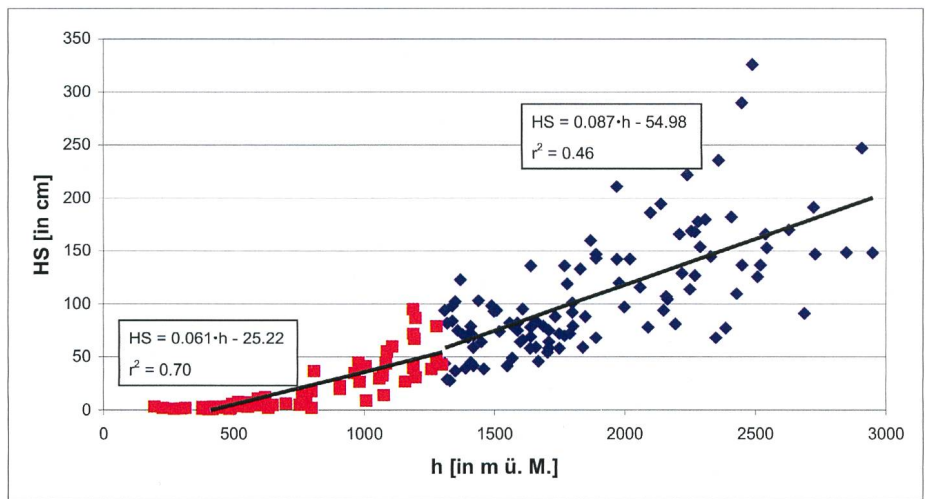
Der Modellansatz basiert auf Monatsmittelwerten von 173 Stationen der Periode 1983 bis 2002 (Bild 3).

Auch für Höhenlagen oberhalb von 3000 m wurden Schneehöhen abgeschätzt, obwohl die höchsten Messstationen auf knapp 3000 m ü.M. liegen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass der Gradient des Höhenbereichs 1300 m bis 3000 m übernommen werden kann, was sicherlich nicht unproblematisch ist, wie beispielsweise die Untersuchungen von Schädler und Weingartner (2002) gezeigt haben.

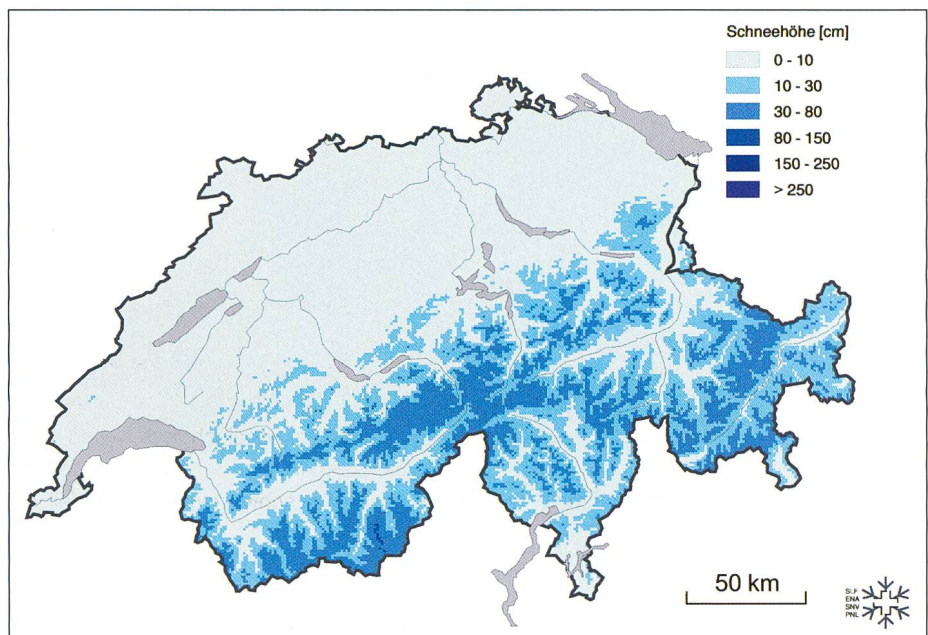
In den Bildern 6 bis 8 sind stark verkleinerte Schneehöhenkarten der Monate November, Januar und März dargestellt; sie sollen die Entwicklung der mittleren Schneehöhen im Laufe des Winters dokumentieren:

- *November* (Bild 6): Die mittlere Schneehöhe beträgt auch in den hochalpinen Regionen kaum mehr als 50 cm. Gebiete unterhalb 1000 m weisen keine feste Schneedecke auf. Die räumliche Variabilität der Schneehöhe ist gering.
- *Januar* (Bild 7): Ein besonders schneereiches Band zieht sich vom Nordtessin über die Gotthard- und Grimselregion und die Glarneralpen gegen den Alpstein. Weitere Gebiete mit überdurchschnittlichen Schneehöhen liegen im Chablais, im Saastal sowie im Prättigau. Auch in den Voralpen und im Jura findet man in diesem Monat eine feste Schneedecke.
- *März* (Bild 8): Im Mittelland, den Voralpen und im Jura apert die Schneedecke bereits aus. Hingegen nehmen die Schneehöhen in Höhenlagen über 1300 m weiter zu. Die Verteilung der schneereichen bzw. der schnee-armen Gebiete ist ähnlich wie im Januar.

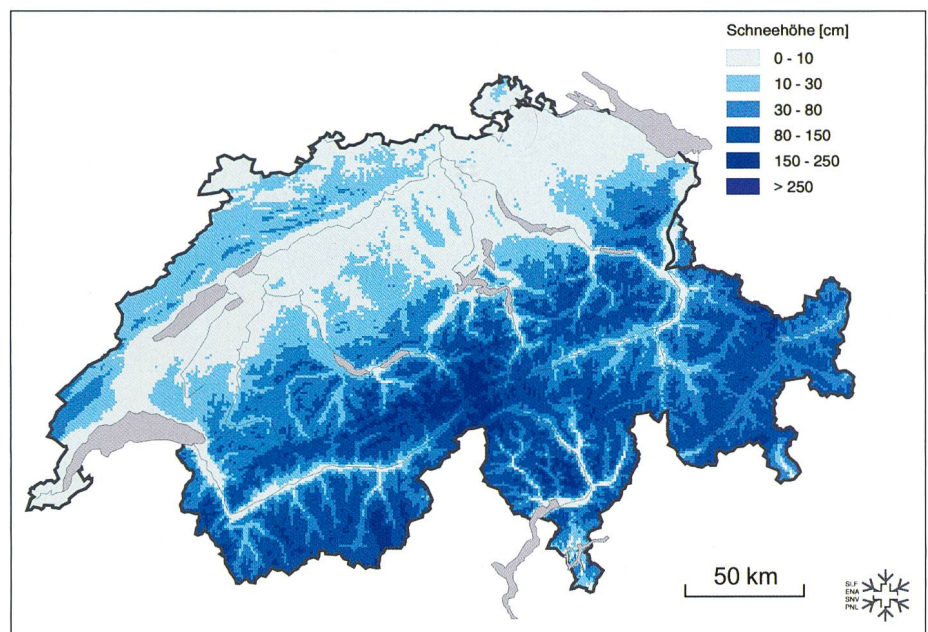
Die räumlichen Muster der Schneehöhenkarten zeigen eine gute Übereinstimmung zu den SIA-Normen 160 (Schneelasten; SIA, 1989) und zur Niederschlagskarte des europäischen Alpenraums (Schwarb et al., 2000), welche auf völlig anderen Regionalisierungsansätzen beruhen.



**Bild 5. Abhängigkeit der mittleren Schneehöhe HS im Februar von der Höhe h; zwei Höhenbereiche (< 1300 m ü. M.; ≥ 1300 m ü. M.) mit unterschiedlichen linearen Beziehungen.**



**Bild 6. Mittlere Schneehöhen 1983–2002 im November.**



**Bild 7. Mittlere Schneehöhen 1983–2002 im Januar.**

## 7. Differenzierung für klimatologische Aussagen

Eine Kartierung des Ausgleichswertes (Formel 2) erlaubt es, die regionalklimatologischen Unterschiede in der Schneehöhenverteilung zu erkennen. In Bild 9 findet sich dazu ein Beispiel für den Monat März. Es lassen sich Gebiete erkennen, die im Vergleich zum gesamt-schweizerischen Mittel, also zum Grundwert  $G(h)$ , überdurchschnittliche (positive Abweichungen in blauer Farbe) oder unterdurchschnittliche (negative Abweichungen in roter Farbe) Schneehöhen aufweisen. Das räumliche Verteilungsmuster im März gleicht jenem der anderen Wintermonate.

Wie Bild 9 zeigt, erstreckt sich ein auffallend schneereicher Bogen vom Tessin über

die Gotthard- und Grimselregion, das Goms, die Zentralschweiz, die Glarner Alpen gegen das Toggenburg und den Alpstein. Weitere schneereiche Gebiete sind das Prättigau inkl. der Landschaft Davos, das Chablais im Unterwallis, das Saanenland sowie die Berner Voralpen. Regionen, deren Schneehöhen unter dem Schweizer Mittel liegen, sind die Bündner Südtäler, das Engadin, Mittelbünden und das Bündner Oberland, die Jungfrau- und die Aletschregion sowie das Wallis südlich der Rhone.

Dank

Die Autoren danken Bernhard Wehren für die Schlussredaktion des Textes.

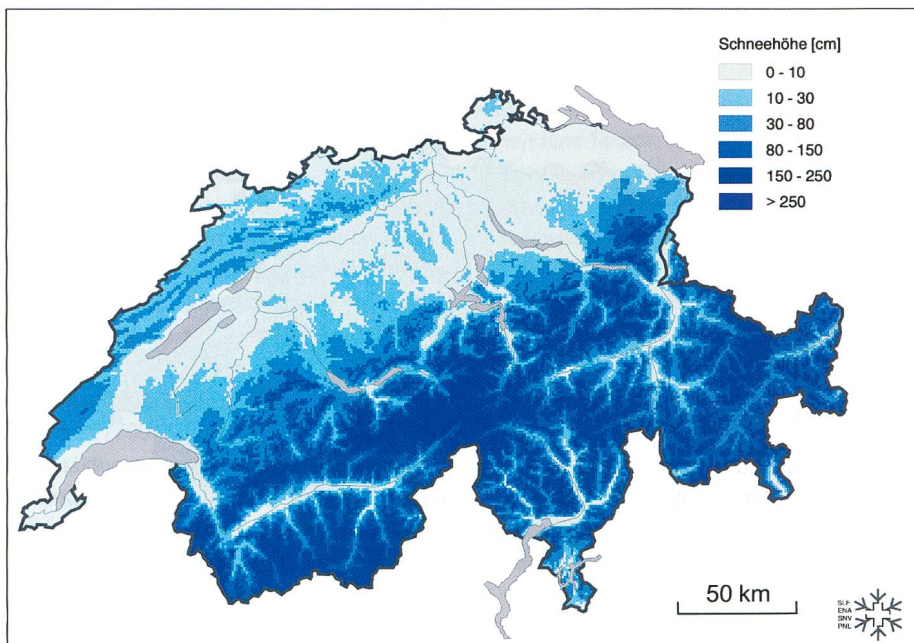


Bild 8. Mittlere Schneehöhen 1983–2002 im März.

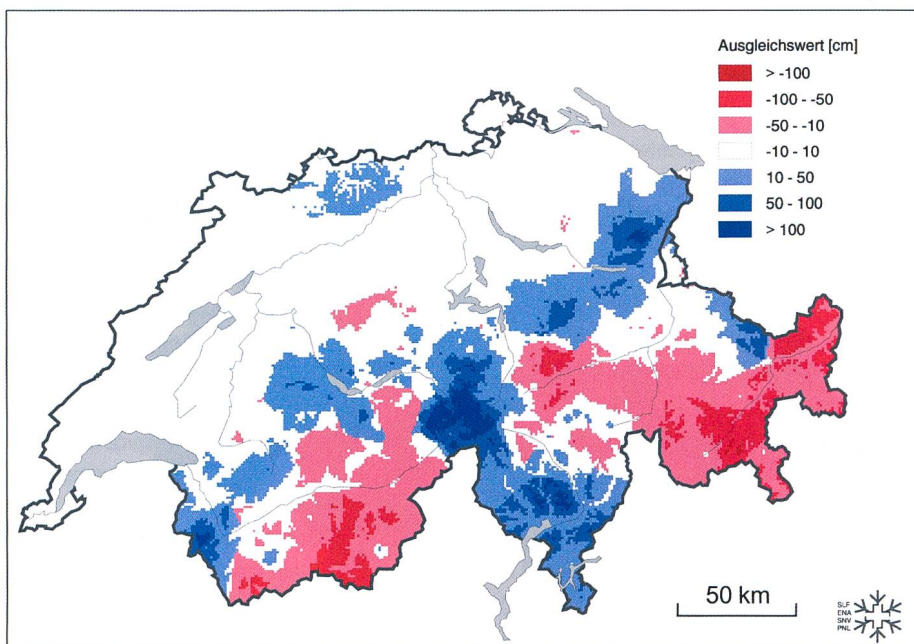


Bild 9. Regionale Verteilung des Ausgleichswertes (A) im März (1983–2002). Blau: positive Abweichungen vom Mittelwert. Rot: negative Abweichungen vom Mittelwert.

## Literatur

Auer M. (2003): Regionalisierung von Schneeparametern. Diplomarbeit, Geografisches Institut der Universität Bern, Bern.

Fliri F. (1975): Das Klima der Alpen im Raume von Tirol. Monografien zur Landeskunde Tirols. Wagner, Innsbruck/München.

Kirchhofer W. (2000): Klima atlas der Schweiz. Schweizerische Meteorologische Anstalt, Verlag des Bundesamtes für Landestopografie, Bern.

Latenser M. (2002a): Snow and avalanche climatology of Switzerland. Diss. ETH No. 14493, Zürich.

Latenser M. (2002b): Langjährige SLF-, SMA- und RHB-Schneedatenreihen: Übersicht und Grundlagen für die Messnetz-Evaluation. Inter-ner Bericht Nr. 746, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.

Schädler B., Weingartner R. (2002): Ein detaillierter hydrologischer Blick auf die Wasserressourcen der Schweiz – Niederschlagskartierung im Gebirge als Herausforderung. In: Wasser, Energie, Luft, 94 (7/8): 189–197, Baden.

Schwarb M. et al. (2000): Mittlere jährliche Niederschlagshöhen im europäischen Alpenraum 1971–1990. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 2.6., Bern.

SIA (1989): SIA-Norm 160: Einwirkung auf Tragwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SLF (1952): Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen, Winter 1950/51. Winterbericht Nr. 15, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.

SLF (1992): Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen, Winter 1990/91. Winterbericht Nr. 55, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.

SLF (1999): Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen, Winter 1996/97. Winterbericht Nr. 61, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.

SLF (2002): Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen, Winter 1997/98. Winterbericht Nr. 62, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.

Witmer U. (1984): Eine Methode zur flächendeckenden Kartierung von Schneehöhen unter Berücksichtigung von reliefbedingten Einflüssen. Geographica Bernensia G21, Bern.

Witmer U. (1987): Schneehöhen im schweizerischen Voralpen- und Alpenraum. In: Klima atlas der Schweiz, Bern.

Anschrift der Verfasser

Prof. Dr. Rolf Weingartner, Mirco Auer, Geografisches Institut der Universität Bern, CH-3012 Bern  
wein@gjub.unibe.ch

Andreas Stoffel, Roland Meister, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, CH-7260 Davos  
meister@slf.ch