

# Snow and avalanche climatology of Switzerland

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Latenser, Martin Christian

**Publication date:**

2002

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004304153>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 14493

# **SNOW AND AVALANCHE CLIMATOLOGY OF SWITZERLAND**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by  
MARTIN CHRISTIAN LATERNSER  
dipl. Natw. ETH  
born July 19, 1966  
citizen of Zurich (ZH)

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Albert Waldvogel, examiner  
Prof. Dr. Heinz Wanner, co-examiner  
Dr. Martin Schneebeli, co-examiner

2002

# Abstract

Throughout the European Alps snow is a resource of great commercial value (winter tourism, temporary reservoir for drinking water, irrigation and hydro-electricity). At the same time snow bears considerable hazards such as heavy loads on constructions, road closures and avalanches. Thus, adequate monitoring of snowfall and snow depth is an important social task. The two observational networks of the Swiss Meteorological Institute (SMA) and the Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research (SLF) contribute since decades to an increasingly successful "snow management".

The goal of this work is to examine the large amount of snow and avalanche data, which accumulated during the last half century from the operational SMA- and SLF-observer stations, to filter useful data and analyse the valuable long-term series. Additionally, the scientific basis is established for an extensive evaluation and reorganisation of the SLF observer station network. Three issues seem particularly important: 1) to preserve high-quality long-term stations for climate monitoring, 2) to maintain an evenly distributed number of stations divided into climatologically comprehensible regions and 3) to cooperate Alpine-wide allowing for cross-border data exchange.

For the first time nationwide long-term trends (1931 – 1999) of various snow parameters are presented. The results are of high relevance in the current climate change debate and well fit northern hemisphere snow trends found in the literature: a general increase — with interruptions — until the early 1980s followed by a statistically significant decrease towards the end of the century. Changes are amplified at low elevations. However, data processing clearly demonstrated that for monitoring subtle climatic changes, superimposed by large regional, altitudinal and annual variations, a sufficiently dense network of continuous snow stations resulting in homogeneous long-term series is necessary.

In order to determine the optimal station coverage, a probabilistic model based on the spatial extent and frequency of heavy snowfall events was developed. For local avalanche warning, for example, it is crucial to know whether or not we will miss small-scale heavy snowfall peaks in unmonitored country. Results show that ideal

networks should have a triangular spacing of about 15 km to obtain a spatially continuous snowfall capture probability of at least 80%. Spacings of 20 km result in only 50% guaranteed capture probability, which means at least half of all local snowfall peaks in areas of maximum distance between stations are missed and thus avalanche forecasts will locally underestimate the situation in at least half of all cases. Serious deficiencies in the Swiss operational snow observation network exist in the south/south-east and all along the national border, pointing up the necessity of cross-border data exchange.

Traditionally, the Swiss Alps are divided into seven snow-climatological regions, defined by major hydrological divides or district boundaries. However, spatial grouping of snow stations by cluster analysis revealed that these regions are only partially comprehensible from the climatological point of view and a new division is suggested. Good reasons for a change are manifold, since most applications dealing with the spatial interpolation of snow data revert to snow regions, be it for the calculation of regional altitude gradients or for the estimation of snow conditions for avalanche warning. Using inaccurate divisions obviously affects the result in a bad way. Differences between the new and old divisions are most obvious in the interior areas (Valais, Grisons), where the main snow-climate divide cuts right across some traditional regions.

Avalanche observations serve as an important basis for operational avalanche warning and are the main parameter to carry out an objective verification of the avalanche bulletin in retrospect. Thus, the determination of avalanche activity is a vital tool for successful risk management. However, it is very difficult to obtain objective and reliable avalanche data. A methodological approach to prepare and transform 50-year long series of inconsistent avalanche observations is shown, before temporal trend and spatial distribution of avalanche activity are discussed and compared with the Destructive Avalanches Database. Using different statistical descriptors, no change in avalanche activity could be detected, but a large year-to-year variability is typical. Finally, suggestions are given for the improvement of the ongoing avalanche observation programme in order to achieve an overall consistent and reliable data set in future. Intensified research developing man- and weather-independent systems recording avalanche activity is urgently recommended.

# Kurzfassung

Im gesamten europäischen Alpenraum ist Schnee eine Ressource mit hoher Wertschöpfung (Wintertourismus, Speicher für Trinkwasser, Bewässerung und Wasserkraft). Zugleich birgt Schnee aber auch ein grosses Gefahrenpotenzial, zum Beispiel infolge hoher Schneelasten für Bauwerke, Strassenblockaden oder Lawinen. Deshalb ist die Überwachung von Neuschneefällen und der Gesamtschneehöhe eine bedeutende gesellschaftliche Aufgabe. Die beiden Beobachtungsnetze der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) und des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) tragen seit Jahrzehnten zu einer zunehmend erfolgreicherer "Schneebewirtschaftung" bei.

Ziel dieser Arbeit ist es, die grosse Menge an Schnee- und Lawinendaten, die während des letzten halben Jahrhunderts an den SMA- und SLF-Beobachterstationen anfiel, zu sichten, nutzbringende Daten herauszuziehen und wertvolle Langzeitreihen zu analysieren. Zudem wird die wissenschaftliche Grundlage für die Evaluation und Neuorganisation des SLF-Beobachternetzwerkes erarbeitet. Dazu scheinen drei Punkte besonders wichtig: 1) Qualitativ hochstehende Langzeitreihen zur Klimaüberwachung müssen unbedingt erhalten bleiben. 2) Stationen sollen gleichmässig verteilt und in klimatologisch begründbare Regionen eingeteilt sein. 3) Der grenzübergreifende Datenaustausch im gesamten Alpenraum muss gewährleistet sein.

Erstmals werden landesweite Langzeit-Trends (1931 – 1999) verschiedener Schneeparameter dargestellt. In der heutigen Klimaänderungsdebatte sind diese Resultate von grosser Bedeutung und stimmen gut mit nordhemisphärischen Schneetrends aus der Literatur überein: ein allgemeiner Anstieg — mit Unterbrechungen — bis in die frühen 80er Jahre, gefolgt von einem statistisch signifikanten Abfall gegen Ende des Jahrhunderts. In tiefen Lagen treten Änderungen verstärkt auf. Die Datenanalyse machte deutlich, dass zur Beobachtung von schleichenden Klimaveränderungen, die zudem noch von starken regionalen, höhenbedingten und jährlichen Schwankungen überlagert sind, ein genügend dichtes Netz von kontinuierlichen, langjährigen und homogenen Datenreihen notwendig ist.

Um die optimale Stationsdichte zu bestimmen wurde ein Wahrscheinlichkeitsmodell entwickelt, das auf der räumlichen Ausdehnung und der Häufigkeit von Starkschneefällen basiert. Für die lokale Lawinenwarnung zum Beispiel ist es entscheidend zu wissen, ob kleinräumige Starkschneefallspitzen im unbeobachteten Raum erkannt werden können oder nicht. Die Resultate zeigen, dass ideale Netzwerke eine Dreiecksmaschenweite von rund 15 km aufweisen sollten, um eine flächendeckende Schneefall-Erfassungswahrscheinlichkeit von 80% zu gewährleisten. Maschenweiten von 20 km garantieren nur eine 50%ige Erfassungswahrscheinlichkeit, was bedeutet, dass in Gebieten mit maximalem Abstand zwischen den Stationen rund die Hälfte aller kleinräumigen Schneefallspitzen übersehen werden und folglich die Lawinenvorhersage die Situation in wenigstens der Hälfte aller Fälle unterschätzen wird. Gravierende Defizite im schweizerischen operationellen Schneebeobachtungs-Netzwerk existieren insbesondere im Süden/Südosten und allgemein entlang der Grenze, was die Notwendigkeit von grenzüberschreitendem Datenaustausch verdeutlicht.

Traditionellerweise sind die Schweizer Alpen in sieben schneeklimatologische Regionen eingeteilt, die durch Hauptwasserscheiden oder Kantons Grenzen definiert sind. Eine räumliche Klassierung von Schneestationen mittels Cluster-Analyse zeigt allerdings, dass diese Regionen nur teilweise klimatologisch begründbar sind. Deshalb wird eine neue Regionseinteilung vorgeschlagen, wofür es viele gute Gründe gibt. Die meisten Anwendungen, die auf der räumlichen Interpolation von Schneedaten basieren, greifen auf Schneeregionen zurück, sei es für die Berechnung von regionalen Höhengradienten oder für die Abschätzung der Schneeverhältnisse für die Lawinenwarnung. Dabei führt die Verwendung von unpräzisen Regionen offensichtlich zu Ungenauigkeiten im Resultat. Die Hauptunterschiede zwischen alter und neuer Regionseinteilung liegen vor allem in den inneralpinen Gebieten (Wallis, Graubünden), wo die Hauptschneeklimascheide quer durch die traditionellen Regionen verläuft.

Lawinenbeobachtungen liefern eine wichtige Grundlage für die operationelle Lawinenwarnung und sind der Hauptparameter für die objektive Verifikation des Lawinenbulletins im nachhinein. Deshalb ist die Bestimmung der Lawinenaktivität ein wesentliches Hilfsmittel für ein erfolgreiches Risikomanagement. Allerdings ist es sehr schwierig, objektive und zuverlässige Lawinendaten zu erhalten. Ein methodischer Ansatz wird aufgezeigt um 50jährige, uneinheitliche Lawinenbeobachtungsreihen aufzubereiten und zu transformieren, bevor die zeitliche und räumliche Verteilung der Lawinenaktivität diskutiert und mit der SLF-Schadenlawinendatenbank verglichen wird. Trotz Verwendung verschiedener statistischer Deskriptoren konnte keine grundsätzliche Veränderung der Lawinenaktivität festgestellt werden, allerdings sind

die jährlichen Schwankungen enorm. Schliesslich werden Empfehlungen zur Verbesserung des laufenden Lawinenbeobachtungsprogrammes abgegeben, um in Zukunft möglichst einheitlich erhobene und zuverlässige Daten zu erhalten. Insbesondere wird eine intensivierete Forschung empfohlen, um mensch- und witterungsunabhängige Systeme zur Erfassung der Lawinenaktivität zu entwickeln.