

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 140 (1989)

**Heft:** 11

**Artikel:** Entwicklungsstand und Einsatzmöglichkeiten technischer Hilfsmittel für die lokale Lawinenwarnung

**Autor:** Gubler, Hansueli

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-764271>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# **Entwicklungsstand und Einsatzmöglichkeiten technischer Hilfsmittel für die lokale Lawinenwarnung**

Von *Hansueli Gubler*

Oxf.: 116.12:423.5

(Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, CH-7260 Weissfluhjoch Davos)

## **Einleitung**

Die Beurteilung der Lawinengefahr beinhaltet verschiedene Zeitmassstäbe: Langfristige Gefahrenanalyse begründet auf Geländeform und Klima, kurzfristige Warnung aufgrund einer Beurteilung der aktuellen Lawinengefahr oft ergänzt mit einer Lawinenprognose sowie Alarmierung während einer bereits abfliessenden Lawine (1). Im vorliegenden Beitrag wird auf heute bekannte Methoden und Messtechniken hingewiesen, auf die sich lokale oder allenfalls regionale, kurzfristige Warnungen abstützen können. Ein ausführlicher Bericht (2) kann vom Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung bezogen werden. Jede Voraussage oder Warnung basiert auf Messungen und Beobachtungen von für die Beurteilung der Lawinengefahr wesentlich erscheinenden Parametern. Diese Mess- und Beobachtungsgrössen können auf verschiedene Weise ausgewertet werden: Wird durch Messungen bereits eine abfliessende Lawine festgestellt, so bleibt nur eine unverzügliche automatische Alarmierung beispielsweise durch Lichtsignalanlagen oder Sirenen. Die Art der Verwendung der Mess- und Beobachtungsdaten für die kurzfristige Lawinenwarnung ist abhängig von der gewählten Auswertemethode: Interpretation der Daten aufgrund von Erfahrungsregeln (traditionelle Methode), Ergänzung des Parametersatzes durch Berechnung abgeleiteter Grössen aufgrund bekannter physikalischer Gesetze, statistische Methoden zur Bestimmung des Gefahrenpotentials, automatische Suche nach ähnlichen Situationen in der Vergangenheit aufgrund des aktuellen Datensatzes (NXD) (3) sowie deterministische Berechnung der aktuellen Lawinengefahr. In den meisten Fällen wird eine Kombination mehrerer dieser Methoden gewählt, um den Verantwortlichen möglichst viele, sich ergänzende Informationen zur Verfügung zu stellen. Alle aufgeführten Hilfsmittel sind noch in Entwicklung und verbesserungsfähig. Auch die traditionelle Methode, die sich wesentlich auf Erfahrungsregeln abstützt, kann durch eine exaktere und detailliertere Formulierung der Regeln,

wie dies beispielsweise für deren Erfassung in einem Expertensystem notwendig ist, verbessert werden. Damit diese Informationen innerhalb nützlicher Frist gesichtet, gewichtet und für die Entscheidungsfindung benützt werden können, ist ihrer Auswahl und Darstellung hohes Gewicht beizumessen.

### **Welche Parameter sollen gemessen werden ?**

Die Lawinenbildung hängt von sehr vielen, zum grossen Teil nicht detailliert in ihren örtlichen und zeitlichen Verteilungen messbaren Einflussgrössen ab. Diese Einflussgrössen können folgendermassen gruppiert werden: aktuelles Wetter und Witterungsablauf seit Beginn des Aufbaues der Schneedecke, Topographie, Exposition sowie Bodenrauhigkeit und Bodenbedeckung, physikalische Eigenschaften des Schnees, Zeitpunkt und Grösse bereits früher aus dem gleichen Anrissgebiet abgegangener Lawinen. Regionale und landesweite Lawinenbulletins stützen sich grösstenteils auf Schneedaten aus horizontalen Messfeldern in mittleren Höhenlagen und wo immer möglich in Kammlagen gemessenen Windfeldern sowie Augenbeobachtungen der momentanen Lawinenaktivität. Die Netzdichten sind von der Grössenordnung 1 Station/100 km<sup>2</sup> (4). Die Aussagen beschränken sich auf die Angabe von generellen Gefahrenpotentialen in Abhängigkeit von Höhe und Exposition. Für die lokale Lawinenwarnung ist aber eine detailliertere Voraussage der Abgangszeit und der Grösse der Lawinen aus bestimmten Einzugsgebieten wünschbar. Selbst bei genauer Kenntnis der physikalischen Prozesse ist eine solche Aussage jedoch aufgrund der begrenzten Genauigkeit der Messungen obiger Einflussgrössen nur beschränkt möglich. Für die meisten Parameter können nur Häufigkeitsverteilungen oder Wahrscheinlichkeiten angegeben werden. Damit kann bestenfalls auch nur eine Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Lawinen während einer bestimmten Zeitperiode angegeben werden. Die Aussagen werden um so treffsicherer, je genauer und feinmaschiger die Einflussgrössen bestimmt werden können und je direkter der Zusammenhang zwischen den gemessenen Grössen und den Prozessen der Lawinenbildung ist. Unter diesem Gesichtspunkt können obige Einflussgrössen nach steigender Aussagekraft folgendermassen geordnet werden: Topographie, Exposition, Bodenbedeckung, wie sie einer geographischen Karte entnommen werden können; Kleinrelief, Bodenbedeckung, Geometrie eines allfälligen Baumbestandes; meteorologische Daten, wie sie durch die Wetterdienste gemessen werden; Niederschlag, Wind, Temperatur, Strahlung im Bereich der Anrissgebiete gemessen; Schneeverfrachtung, Verteilung der Schneeakkumulation und Schneeschichtung im Anrissgebiet; Aufnahme von morphologischen- und Temperatur-Profilen; Messung von Festigkeitsprofilen; Messungen der Verteilung von Spannungen und Deformationen in der Schneedecke; Messung der Stabilitätsverteilungen

innerhalb der Anrissgebiete; Messung von Rissbildungen in der Schneedecke; Feststellung der Ausbreitung von Primärrissen von Initialbruchstellen; Beobachtung des Lawinenabganges. Topographie, Exposition, Kleinrelief, Bodenbedeckung usw. sind als unveränderliche Grössen vorgegeben. Der Verlauf aller übrigen Grössen kann grundsätzlich durch direkte Messungen oder indirekte Bestimmung aus Messgrössen zumindest punktuell erfasst werden. Diese Aussage beinhaltet vier Problemkreise: 1. Welche Grössen sollen in erster Linie gemessen und bestimmt werden? 2. Welche Grössen sollen wo bestimmt werden? 3. Inwiefern ist eine Punktmessung für die Anrissflächen repräsentativ? 4. Welche Parameter können mit den vorhandenen technischen Hilfsmitteln tatsächlich gemessen oder aufgrund unseres physikalischen Verständnisses der Mechanismen der Schneedeckenentwicklung und des Lawinenanbruches bestimmt werden? Wir haben weiter oben gesehen, dass die Genauigkeit der Voraussage steigt, je direkter unsere Messgrössen die aktuelle Stabilität der Schneedecke und deren Entwicklung beschreiben. Jeder Modellierungsschritt, der zwischen der Messgrösse und der uns interessierenden Stabilität zu einer bestimmten aktuellen oder zukünftigen Zeit steht, erhöht die Unsicherheit der Aussage. Für die lokale Alarmierung von einer bereits angebrochenen Lawine sind in den letzten Jahren im In- und Ausland verschiedene Messtechniken entwickelt und erprobt worden: mechanische Lawinendruckmessungen, seismische Messungen zur Registrierung der Bodenerschütterungen verursacht durch abgehende Lawinen, Kraft- und Erschütterungsmessungen an über Lawinenrutschen gespannten Kabeln, Radarmessungen zur Bestimmung von Lawinengeschwindigkeiten und Fliesshöhen. In den meisten Fällen werden Lichtsignalanlagen und Sirenen zur Sperrung unmittelbar gefährdeter Strassenabschnitte automatisch in Betrieb gesetzt. Für die lokale Lawinenwarnung, die vor allem vor Grosslawinenabgängen aus vorgegebenen Anrisszonen, die Strassen, Gebäude, Anlagen, Skipisten usw. gefährden, warnen soll, ist es besonders wichtig, dass repräsentative Messwerte mit grosser Aussagekraft aus den gefährdeten Anrissgebieten vorliegen. Die aussagekräftigsten Parameter sind: Schneeakkumulationsrate und Windeinfluss, Teilentladungen in den Anrissgebieten, Setzung sowie Grobschichtung vor allem bezüglich schwacher Zwischenschichten. Örtlich stark variierende (geländeabhängige) Grössen sollten innerhalb der möglichen Anrisszonen bestimmt werden. Der Bestimmung repräsentativer Standorte ist grösste Beachtung zu schenken. Der Schneedeckenaufbau kann beispielsweise in einer Anrisszone wesentlich verschieden von demjenigen in ihrer unmittelbaren Umgebung verlaufen, da die verbleibende Totalschneehöhe durch bereits abgegangene Lawinen wesentlich reduziert sein kann. Andererseits ist eine Windmessung, die im Ablagerungsgebiet des verfrachteten Schnees (Anrissgebiet) installiert wird, zur Abschätzung der Schneeverfrachtung in oder aus einem Anrissgebiet wenig aussagekräftig. Eine solche Messung hat an der Stelle des voll entwickelten Schneeteilchenflusses, also an windexponierter Stelle leeseitig der Schneepartikelauflahme- und -abgabe-Fläche zu erfolgen. Andere

Parameter, wie Strahlung, Luftfeuchte usw., lassen sich auch für grössere Distanzen mit der erforderlichen Genauigkeit extrapolieren. Zur Beurteilung der Hanglawinengefahr sind zusätzlich zu den Messungen in horizontalen Messfeldern repräsentative Messungen im Bereich typischer Hanglawinen unter Berücksichtigung der verschiedenen Expositionen und Höhenlagen sehr hilfreich. Die bereits oben aufgeführten Messungen sollten hier durch Schneetemperaturprofil- und in tieferen Lagen Bodentemperaturmessungen sowie die Registrierung meteorologischer Parameter ergänzt werden.

### **Möglichkeiten der automatischen Datenerfassung**

In den meisten Fällen erweist es sich als notwendig, manuelle Beobachtungen und Messungen durch automatische Datenerfassungsstationen (Datenlogger) zu ergänzen. Diese Stationen übermitteln kontinuierlich oder auf Abruf Messwerte an eine zentrale Auswertestelle. Dort werden die Daten automatisch aufbereitet und kontrolliert, für verschiedene Auswertungen und Darstellungen vorbereitet und ergänzt sowie in einer Datenbank abgespeichert.

Nicht höchstmögliche Präzision, sondern Wartungsfreiheit und hohe Verfügbarkeit der Messdaten sind im Zusammenhang mit der Erstellung täglicher Warnungen notwendig! Spezifikationen und Ausbaustand müssen ohne weiteres den einzelnen Standorten angepasst werden können.

Die möglichen Standortspezifikationen können sehr unterschiedlich sein:

- Standorte in Lawinenanrisszonen und deren unmittelbaren Umgebung mit erschwertem Zugang. Bestimmung von Schneedeckenaufbau, Schneeakkumulationsrate, Stabilität, Registrierung von Lawinenabgängen.
- Grat- und Gipfelstationen ohne Erschliessung, oft mit erschwertem Zugang, vor allem für Windmessungen.
- Talstationen mit horizontalen Messfeldern, eventuell ergänzt mit der Möglichkeit zusätzlicher manueller Dateneingabe (Niederschlagsmessungen, meteorologische Parameter, Eingabe von Schneeprofilaten).

Der Erschliessungsgrad der Messstationen kann sehr unterschiedlich sein. Nur in wenigen Fällen sind Stromanschluss, Telefonanschluss sowie lokale Wartung gewährleistet. In bestimmten Fällen ist ein lokaler, direkter Datenzugriff für Betreiber von touristischen Anlagen oder den lokalen Strassenunterhaltungsdienst wünschenswert.

Durch die Verschiedenheit der Standortspezifikationen ergeben sich unterschiedliche Bedingungen für die einsetzbaren Sensoren (zum Beispiel elektrische Heizung von Sensoren nur im Falle eines Netzanschlusses möglich), für die Datenübermittlung (Funk, Telefon, 2-Draht-Leitung usw.), aber auch für



den mechanischen Stationsaufbau (Windlast, Schnee- und Lawinendruck, Vereisung, Blitzschutz usw.).

In den folgenden Abschnitten sind die wesentlichsten Kriterien und technischen Möglichkeiten für zukunftssträchtige, anschaffungs- und betriebskostengünstige Felddatenerfassungssysteme kurz zusammengefasst. Ein ausführlicher Beschrieb ist in der bereits erwähnten Publikation (2) zu finden.

### **Installationen am Messstandort**

In vielen Fällen bildet ein auf Schnee- und Windlasten dimensionierter Mast als Träger von meteorologischen Instrumenten, Solarzellen sowie der Funkantenne die Basis des Messsystems. Hier sind in den meisten Fällen auch der Datenlogger, Übermittlungsgeräte und Batterie in speziellen Gehäusen untergebracht. Aus Blitzschutz- und Kostengründen sollen die Anlagen möglichst kompakt ausgeführt werden, lange Zuleitungen sind wenn immer möglich zu vermeiden oder mit zusätzlichem Blitzschutz zu versehen. Es ist oft günstiger und betriebssicherer, die Messwerte von Sensoren, die einige hundert Meter voneinander entfernt installiert sind, mit unabhängigen Datenloggern zu erfassen und weiterzuleiten (zum Beispiel Wind, Schneetemperatur und Schneehöhe, Profilaradar, meteorologische Instrumente), als die Messstandorte mit aufwendigen Kabelgräben und Blitzschutzeinrichtungen untereinander zu verbinden.

### **Sensoren und Datenübermittlung**

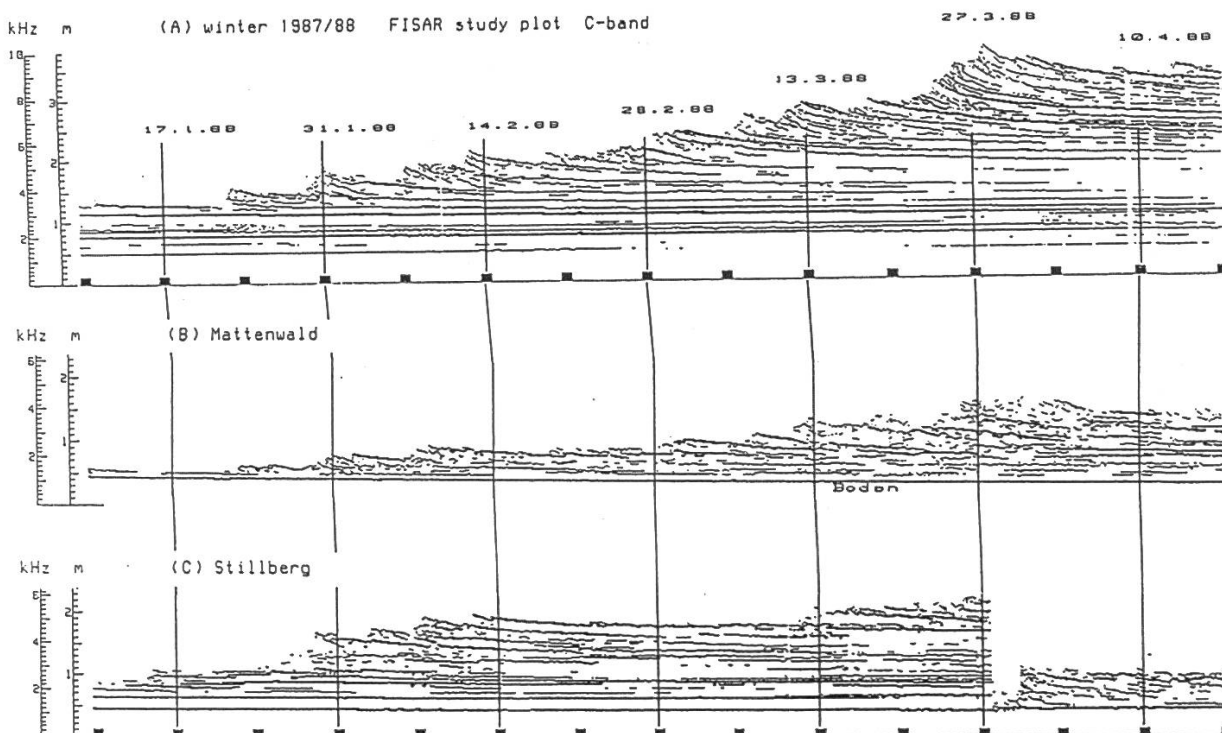
Die hochalpine Schnee- und Lawinenmesstechnik verfügt heute noch nicht über Standardsensoren für alle gewünschten Messparameter. Zukünftige Entwicklungen, die die Aussagekraft der Messungen entscheidend verbessern könnten, müssen eingeplant werden (5–7).

Heute operationell messbare Parameter:

Wind, Windrichtung:	Bereich 1–60 m/s, Genauigkeit 5–10%, Enteisung durch elektrische, eventuell katalytische Gasheizung oder chemisch mit Alkohol.
Lufttemperatur unbelüftet:	Genauigkeit $\pm 1$ °C
Luftfeuchte unbelüftet:	$\pm 5\%$
Globalstrahlung:	$\pm 5\%$
Albedo:	$\pm 5\%$
Temperaturprofil in der Schneedecke:	$\pm 0,3$ °C
Schneehöhe:	$\pm 30$ mm

Parameter, die bei entsprechender Entwicklung innerhalb von ein bis zwei Jahren operationell messbar wären:

- Schneeoberflächentemperatur, Lufttemperatur und Luftfeuchte zur Bestimmung der Bedingungen zur Oberflächenreifbildung (seit fünf Jahren in Erprobung).
- Schneeverfrachtungsmessungen (erprobte Sensoren vorhanden).
- Mikrowellen-Schneedeckenprofil für trockene und leicht feuchte Schneedecke, vergleiche *Abbildung 1*. Entsprechende Geräte sind seit sieben Jahren in Erprobung und Einsatz.
- Gleitmessungen (operationell in der Forschung).
- Seismik zur Registrierung von Lawinenabgängen (mehrjährige Erfahrung vorhanden).
- Messungen von Infraschall-Emissionen der Schneedecke in Anrissgebieten zur Registrierung von Initialbrüchen und damit eines Stabilitätsindexes.
- Manuelle lokale, numerische und beschränkt alphanumerische interaktive Dateneingabe über lokale Tastaturen.



*Abbildung 1.* Graphische Darstellung (Bitmap) von Mikrowellen-Schneeprofilen. Die Markierungen auf der Zeitachse haben einen Abstand von sieben Tagen. Neben der Frequenzachse ist auch eine ungefähre hangsenkrechte Höhenskala eingezeichnet. A. Profil gemessen im Versuchsfeld EISLF auf Weissfluhjoch, B. entsprechendes Profil in der Lawinenanrisszone Mattenwald, C. entsprechendes Profil in einer Lawinenanrisszone der Versuchsfäche Stillberg. Ein Lawinenabgang in der Nacht vom 27. zum 28. März 1988 ist deutlich zu erkennen. Die Gleitfläche befand sich in Bodennähe. Schon wenige Tage später wurde neuer Schnee in Form einer durch die Mulde wachsenden Wächte eingeblasen.

Mehrere der oben angeführten Sensoren wurden während der letzten zehn Jahre am SLF, zum Teil in Zusammenarbeit mit ausländischen Instituten, entwickelt und erprobt. Die Entwicklung galt in erster Linie Instrumenten für die Forschung. Zum Teil wurden Ideen und Spezifikationen von Instrumentenherstellern übernommen (Schneehöhenmesser, Schneeverfrachtungsmessung, Enteisung von Windmessern). Für andere Instrumente ist noch eine beschränkte Entwicklungsarbeit für eine Kleinserienproduktion notwendig (Mikrowellenschneeprofil, seismische und Infraschallmessungen). Eine dritte Kategorie von Sensoren kann mit kleinen Anpassungen direkt nachgebaut werden (Schneetemperaturprofil, Oberflächentemperaturbestimmung).

### *Datenerfassung*

Der eigentliche Datenlogger sollte als kompakte, nach Möglichkeit gekapselte Einheit konstruiert sein und den Anschluss beliebiger Sensoren analog sowie digital erlauben. Der Logger muss in einer applikationsnahen, durch einen leistungsfähigen Editor unterstützten Hochsprache programmierbar sein. Sehr wichtig sind gut ausgebaute automatische und manuelle Überwachungsmöglichkeiten der Loggerfunktionen, einerseits durch eine elektronische Selbstüberprüfung und die automatische Erstellung von Fehlerprotokollen, andererseits durch eine Echtzeitdarstellung des Mess- und Rechenablaufes über die Kommunikationsverbindung. Für die Zwischenspeicherung der Ausgangsdaten sollte ein Speicher für 20 000 bis 30 000 Werte vorhanden sein. Neben verschiedenen Modems für die Datenübermittlung sollen auch lokale Drucker, Terminals, Anzeigen usw. direkt an den Logger anschliessbar sein. Der Betriebstemperaturbereich muss mindestens  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  betragen, und das Gerät muss für Batteriebetrieb mit sehr kleinem Stromverbrauch ausgelegt sein.

Die wesentlichen Forderungen an ein effizient arbeitendes Datenerfassungssystem sind:

- Messdaten werden bereits am Messstandort Plausibilitätstests unterzogen.
- Datenreduktion am Messstandort mittels statistischer Funktionen.
- Möglichkeit der Integration von Überwachungs- und Betriebsprogrammen für Sensoren (zum Beispiel Enteisung).
- Speicherung aller Daten in physikalischen Einheiten.
- Messintervalle für die verschiedenen Sensoren aufgrund von Entscheidungen im lokalen Messprogramm oder durch Zentrale veränderbar.



## Datenübertragung

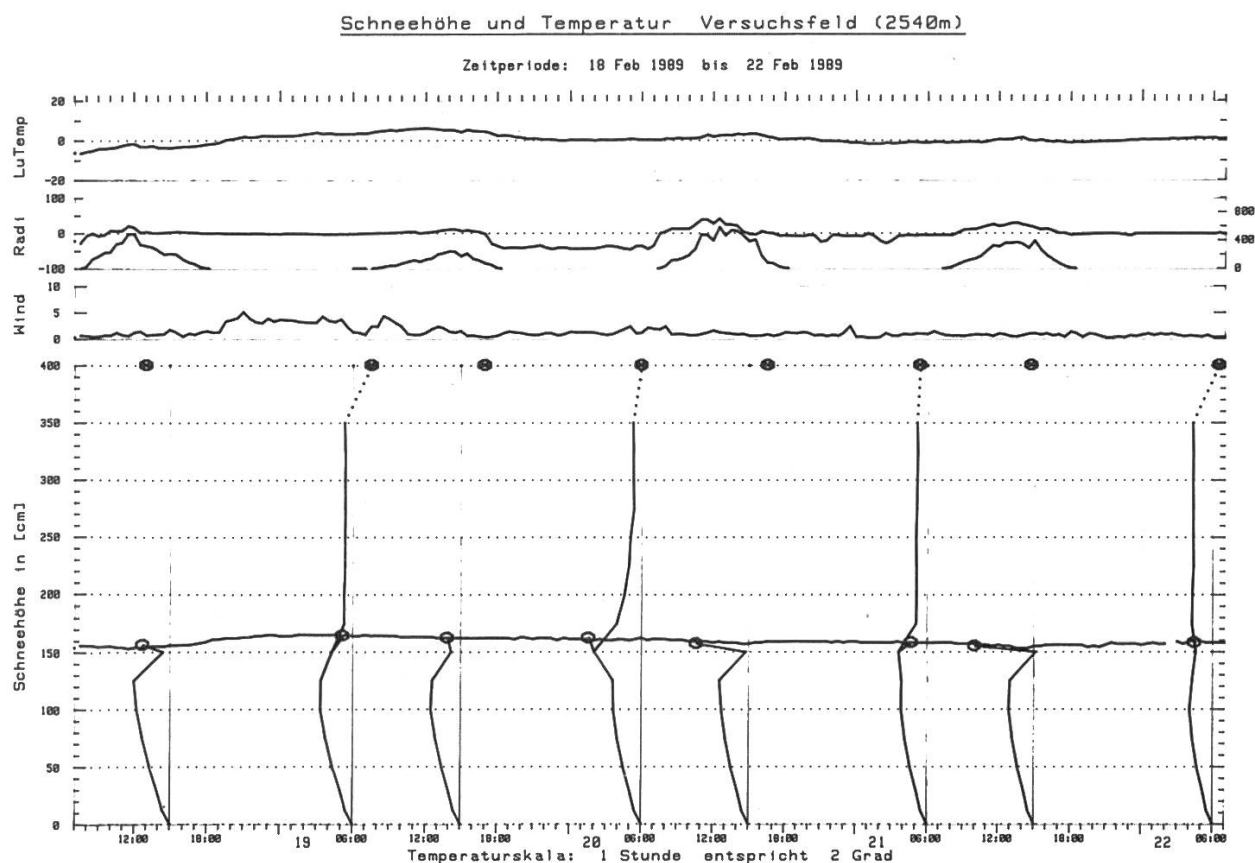
Die Art der Datenübertragung von den Messstellen zu den lokalen und zentralen Auswertestellen wie Funk, Telefon, Drahtverbindung soll auf die übrigen Funktionen der Datenerfassung keinen Einfluss haben. Die folgenden Bedingungen sollen mindestens erfüllt sein: völlige Transparenz der Kommunikationsverbindung, Datensicherung, kurze Übertragungszeiten sowie Möglichkeit der Alarmaussendung.

### Erfahrungen am SLF

Zurzeit werden am SLF Daten von sechs Standorten in der Region Davos mit einem kleinen automatischen Netz von Datenerfassungsstationen kontinuierlich nach Weissfluhjoch übertragen, abgespeichert und sowohl in Listen als auch graphisch dargestellt. Beispiele sind in den *Abbildungen 2* und *3* gegeben.

<i>Station</i>	<i>Messparameter</i>	<i>Übertragungsart</i>
Stillberg Anrissgebiet	Wind, Lufttemperatur, relative Feuchte, Profilradar	Funk
Stillberg Hüttiboden	Schneehöhe, Wasseräquivalent (Druckkissen)	Modemverbindung über Wahltelefon
Mattenwald bewaldetes Anrissgebiet	Wind, Lufttemperatur, relative Feuchte, kurzwellige Globalstrahlung, akustische Emission, Profilradar	Funk
Mattenwald Flachfeldstation	Wind (mit Enteisung), Lufttemperatur, relative Feuchte, kurzwellige Globalstrahlung, Index der Oberflächentemperatur, 2 Schneehöhen und 2 Temperaturprofile (Freifeld und Wald)	Funk
Versuchsfeld SLF	Wind, Lufttemperatur, relative Feuchte, kurz- und langwellige Globalstrahlung, Albedo, Strahlungsbilanz, Temperaturprofil, Profilradar	Modemübertragung über Zweileiter- verbindung
Weissfluhjoch SLF	Test von Windmessern und Schneehöhenmesser, Datenübergabe auch an Netz der SMA	RS232 nach eigener Zentrale und an ASTA-Station der SMA

Das Grundmessintervall beträgt für alle Stationen 1 – 5 s (Wind, Strahlung, Temperatur). Die Datenabspeicherung (Mittelwerte, Maxima, Minima, statistische Grössen) erfolgt alle 30 Minuten. Als Netzzentrale und Überwachungs-



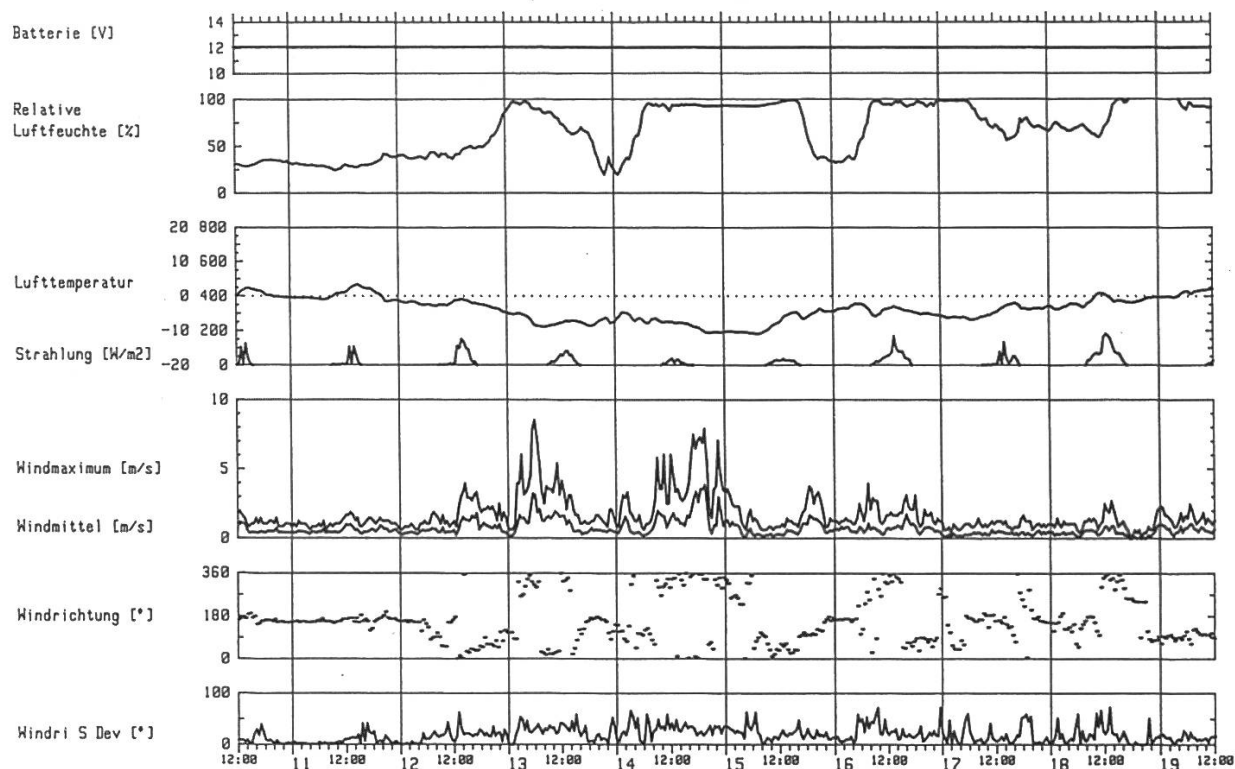
*Abbildung 2.* Entwicklung des Temperaturprofils im Versuchsfeld Weissfluhjoch. Die oberflächen-nahen Tagesschwankungen, aber auch die geringe Eindringtiefe dieser kurzzeitigen Schwankungen sind deutlich zu erkennen. Die gezeigte Darstellung setzt sich zusammen aus Schneehöhenmessung, Temperaturprofilmessung, Lufttemperaturmessung und Schneeoberflächentemperaturbestimmung aus langwelliger Abstrahlungsmessung. In den zusätzlichen Darstellungen sind Lufttemperatur, kurzwellige Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit aufgetragen.

station dient ein PC mit vom Datenlogger-Hersteller gelieferten Standardprogrammen. Die Daten werden in regelmässigen Intervallen automatisch in das Institutsrechnernetzwerk übertragen, formatiert und in einer einfachen Datenbank abgelegt. Die Messdaten wie auch abgeleitete Grössen können mit allen Netzwerkrechnern graphisch oder als Listen für beliebig wählbare Zeitintervalle dargestellt werden. Die *Abbildungen 1 bis 3* zeigen einige Darstellungsbeispiele. In unserem Fall werden die Daten für Modellrechnungen (Modellierung des Schneedeckenaufbaus), für Waldlawinenuntersuchungen sowie für Sensortests verwendet.

Der Energiekonsum einer Station mit Radar und Funkübermittlung liegt bei etwa 60 bis 80 Ah bei 12 V pro Winter (acht Monate). Die Stromversorgung erfolgt durch eine 12-V-100-Ah-Batterie, zum Teil unterstützt durch Solarzellen. Die Materialkosten für die anschlussfertigen Teile einer Minimalkonfiguration, bestehend aus Datenlogger, Funk, Mast, Lufttemperatur-, Feuchte-, Wind-, Schneehöhen- und Schneetemperaturmessung, betragen maximal Fr. 30 000.—.

### Meteo-Station Mattenwald (1980m)

Zeitperiode: 10 Feb 1989 bis 19 Feb 1989



### Meteo-Station Mattenwald-Freifeld (2060m)

Zeitperiode: 10 Feb 1989 bis 19 Feb 1989

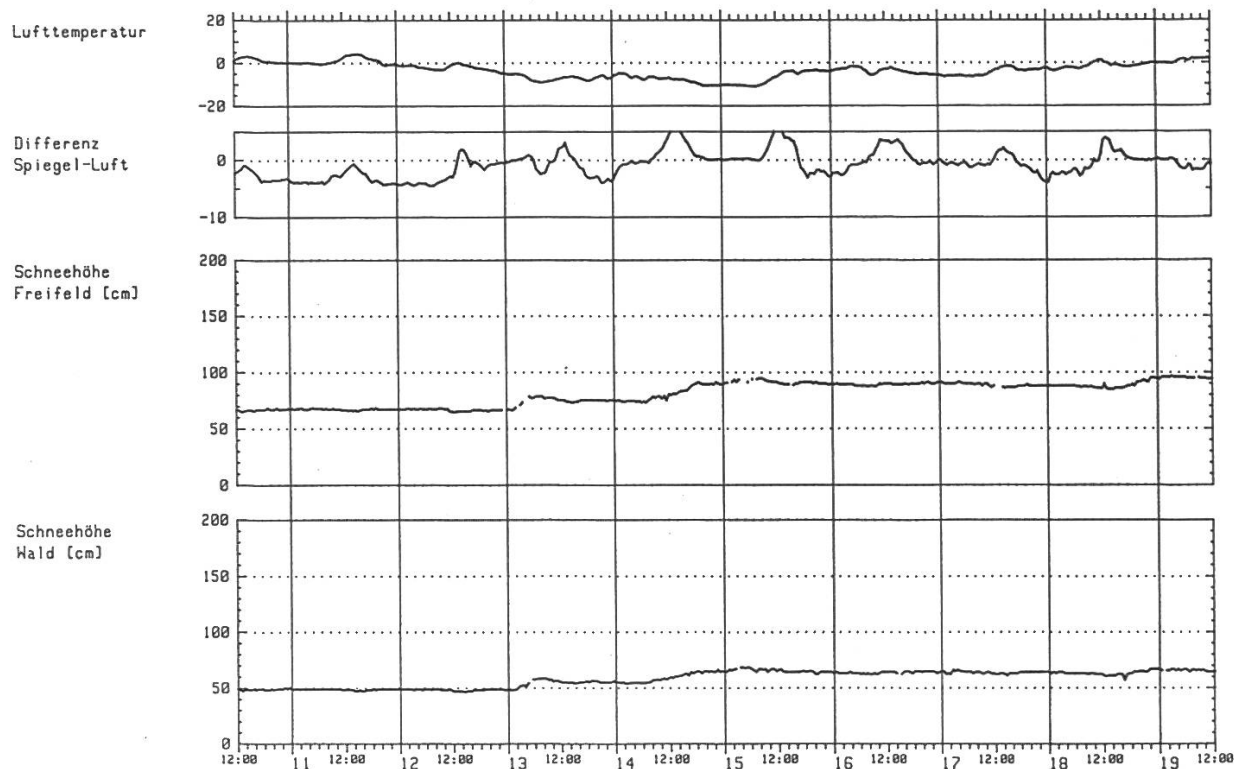


Abbildung 3. Messung von meteorologischen Parametern in einer bewaldeten Lawinenanrisszone im Mattenwald Davos sowie von Schneehöhen und der Schneeoberflächentemperatur der nahegelegenen Flachfeldstation.

## Schlussbemerkungen

Die am SLF seit sieben Jahren im Einsatz stehenden Datenlogger haben sich durch hohen Bedienungskomfort und grosse Betriebssicherheit ausgezeichnet und sich im Feldeinsatz sehr gut bewährt. Es scheint uns heute bei guter Planung möglich, kostengünstige, betriebssichere und leicht vernetzbare Datenerfassungssysteme aufzubauen, die lokale Entscheidungsgremien bei ihrer verantwortungsvollen Arbeit wesentlich unterstützen können. Alle diese technischen Einrichtungen und Analysehilfen können die Entscheidungsfindung erleichtern, aber niemals ersetzen. Nur gut ausgebildete und organisierte Lawinenwarndienste können diese technischen Hilfen auch erfolgreich einsetzen.

Wir hoffen, dass diese Anregungen mithelfen werden, zukunftssträchtige und entwicklungsfähige Systeme zu evaluieren und einzurichten. Das SLF ist gerne bereit, seine Erfahrungen an interessierte Stellen weiterzugeben.

## Résumé

### Développement et possibilités d'usage de moyens techniques pour la mise en garde locale contre les avalanches

L'appréciation du danger d'avalanche comprend diverses échelles de temps: l'analyse du danger à long terme est fondée sur la forme du terrain et le climat, l'avertissement à court terme sur une appréciation du danger actuel complétée souvent par une prévision, ainsi que l'alarme lors de l'écoulement d'une avalanche (1). Le présent article est consacré aux méthodes et techniques de mesure actuelles sur lesquelles peuvent s'appuyer des avertissements à court terme dans un cadre local, voire régional. Un rapport exhaustif (2) peut être obtenu auprès de l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches.

Les mesures et observations peuvent être exploitées de diverses manières: si on constate par des mesures qu'une avalanche est déjà en mouvement, on ne peut que déclencher immédiatement une alarme automatique, par exemple par des signaux lumineux ou des sirènes. Le genre d'utilisation des données mesurées ou observées en vue d'avertissement à court terme dépend de la méthode d'évaluation choisie: l'interprétation des données selon des règles fondées sur l'expérience (méthode traditionnelle), l'extension de l'ensemble des paramètres par le calcul de grandeurs dérivées selon des lois physiques connues, les méthodes statistiques pour déterminer le potentiel du danger, la recherche automatique de situations passées semblables fondée sur la série des données à disposition (NXD) (3), ainsi que le calcul déterministe du danger actuel.

Pour la mise en garde locale, surtout contre les grosses avalanches partant de zones données et menaçant des routes, des bâtiments, des installations, des pistes de ski, etc., il est très important de disposer de mesures représentatives et significatives prises dans les zones de départ. Les paramètres significatifs sont le taux d'accumulation de la neige et l'influence du vent, le déchargement partiel des zones de départ, le tassement ainsi que la stratification grossière, surtout quant aux couches faibles intermédiaires. Les grandeurs

fortement variables (dépendant du terrain) devraient être déterminées dans l'ensemble des zones possibles de départ.

Dans la plupart des cas, il est nécessaire de compléter les observations et les mesures manuelles par des stations automatiques de prise de données («datalogger»). Celles-ci transmettent les mesures à une station centrale d'exploitation, de façon continue ou bien à la demande. Les données sont ensuite élaborées automatiquement et contrôlées, préparées pour diverses évaluations et représentations et complétées, ainsi que stockées dans une banque.

Le présent article indique brièvement les critères essentiels et les possibilités techniques de systèmes de prise de données dans le terrain, valables pour l'avenir et avantageux quant à leur acquisition et leur exploitation.

#### *Literatur*

- (1) Gubler, H., Buser, O., Föhn, P., Salm, B.: Different methods for the assessment of avalanche danger. *Cold Regions Science and Technology* 10 (1985), p. 199–218.
- (2) Gubler, H.: Entwicklungsstand und Einsatzmöglichkeiten technischer Hilfsmittel für die lokale Lawinenwarnung. Mitteilung Nr. 46 des Eidg. Instituts für Schnee- und Lawinenforschung.
- (3) Buser, O., Good, W.: Konventionelle und numerische Lawinenprognose. Erhältlich vom Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung.
- (4) Föhn, P.: Datenerfassung und Auswerteverfahren für die Lawinenwarnung. *Bau Intern* 1/2 (1984), p. 13–18.
- (5) Gubler, H.: Remote instrumentation for avalanche warning systems and snow cover monitoring. *Proc. Inc. Snow Science Workshop, Aspen/CO*, 24.–27. Oktober 1984, p. 137–142.
- (6) Gubler, H., Hiller, M., Klausegger, G.: Elektronische Instrumente für Feldmessungen in der Schnee- und Lawinenforschung. Winterbericht Nr. 46 (1981/82), EISLF/Davos (1983), p. 128–134.
- (7) Gubler, H., Schmidt R. A., Meister, R.: Comparison of snow drifting measurements at an alpine ridge crest. *Cold Regions Science and Technol.* 9 (1984), p. 131–141.
- (8) Gubler, H.: Remote on line snow cover profiling in avalanche release zones using microwave radar. *Proc. ISSW, Whistler* 1988.

#### *Verdankungen*

Die beschriebenen Geräte- und Programmentwicklungen sowie der Aufbau des kleinen Versuchszettes innerhalb weniger Monate wären ohne die tatkräftige Mitarbeit von M. Hiller, G. Klausegger und P. Weilenmann nicht möglich gewesen. Diesen Mitarbeitern möchte ich hiermit für ihre fachkundigen Arbeiten danken.