

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 92 (2001)

**Heft:** 3

**Artikel:** Lawinensituationen von gestern für die Prognose von morgen

**Autor:** Braber, Bernhard / Meister, Roland

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-855668>

### **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:** 15.04.2026

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



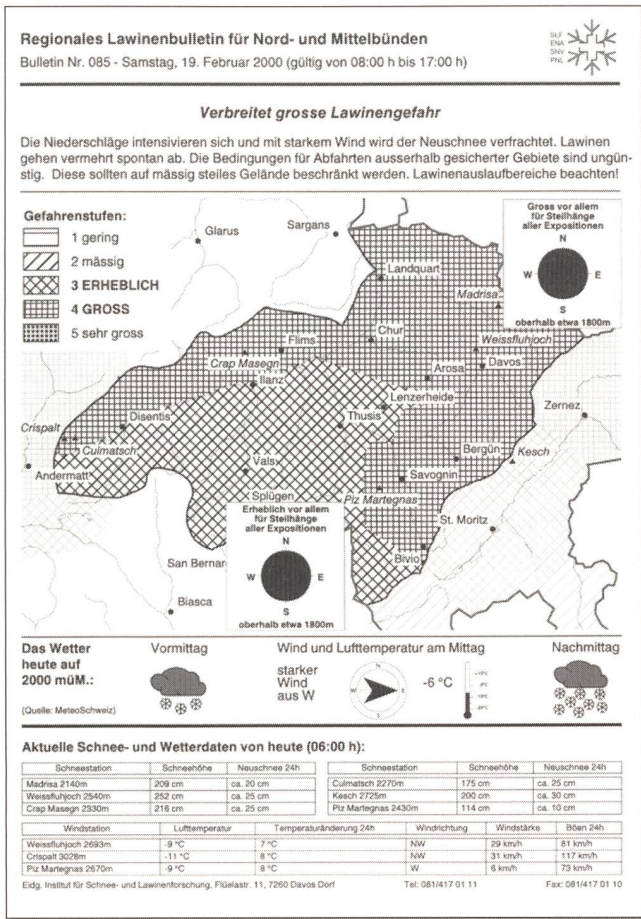


Bild 3 Beispiel eines regionalen Lawinenbulletins

lisiert, die vor allem für Variantenfahrer gedacht sind. Die zum Teil komplizierte Beschreibung der räumlichen Verteilung der Lawinengefahr ist für die breite Öffentlichkeit schlecht geeignet. Mit graphisch gut aufbereiteter Information (Bild 3) sollen deshalb Snowboarder und Skifahrer angesprochen werden. Das Projekt zielt darauf ab, die lokalen, regionalen und nationalen Warndienste mit Entscheidungshilfen in Form von Prozess- und Prognosemodellen bei ihrer schwierigen Arbeit zu unterstützen. Die enorme Datenflut macht es unmöglich, alle Informationen manuell zu verarbeiten und zu interpretieren. So können bei-

Der vorliegende Artikel mit Bildern in Farbe kann unter [www.slf.ch/lwr/sev0103.pdf](http://www.slf.ch/lwr/sev0103.pdf) eingesehen werden.

allen interessierten Kreisen einen einfachen und schnellen Zugriff auf Schnee-, Wetter- und Lawinendaten. Zusätzlich werden Anwendungsprogramme entwickelt, die Abfragen und Operationen (z.B. Darstellung von Datenreihen oder statistische Auswertungen) unterstützen und so die Kundenbedürfnisse benutzerfreundlich abdecken. Ein Teil dieser Produkte kann unter [www.slf.ch](http://www.slf.ch) rund um die Uhr abgefragt werden.

Die richtige Information rechtzeitig und am richtigen Ort kann Unfälle verhindern. Mit Hilfe von modernen Kommunikationsmedien wie zum Beispiel dem Internet, SMS oder WAP ([wap.slf.ch](http://wap.slf.ch)) sollen aktuelle Informationen über Schnee und Lawinen schnell übermittelt und auf benutzerfreundliche Weise jederzeit und überall abgerufen werden können. Mit der Info-Box (Bild 2) wurde eine weitere Dienstleistung eingeführt. Die Info-Box erlaubt Sicherungsleuten und Gemeindelawinendiensten, mittels PC und Modem die Messdaten der automatischen Messstationen rund um die Uhr abzurufen sowie weitere Informationen über die aktuelle Schnee-, Wetter- und Lawinensituation direkt vom SLF zu beziehen. Damit sind die Messnetze des SLF auch für die lokale und regionale Lawinenwarnung erschlossen.

Das Erstellen von Lawinenbulletins und Prognosen ist die Kerntätigkeit der Lawinenwarndienste. Das SLF erstellt in den Wintermonaten täglich um 17 Uhr *Nationale Lawinenbulletins* als Prognosen für den kommenden Tag. Um 8 Uhr werden *Regionale Lawinenbulletins* pub-

spielsweise die Bildung von Schwachschichten und Oberflächenreif oder die Verfrachtung von Schnee durch den Wind aus den Messdaten nur schwierig abgeleitet werden. Diese für die Lawinenbildung wichtigen Prozesse können aber durch physikalische Modellierung auf dem Computer nachgebildet werden. Das am SLF entwickelte Schneedeckenmodell Snowpack [2] führt diese Simulation für alle automatischen Stationen durch. Die Ergebnisse dieser Prozessmodelle zusammen mit direkten Messungen und Beobachtungen bilden die Grundlage für Prognosemodelle.

Für die lokale Lawinenprognose hat das SLF seit den achtziger Jahren Prognosemodelle entwickelt, die im Wesent-

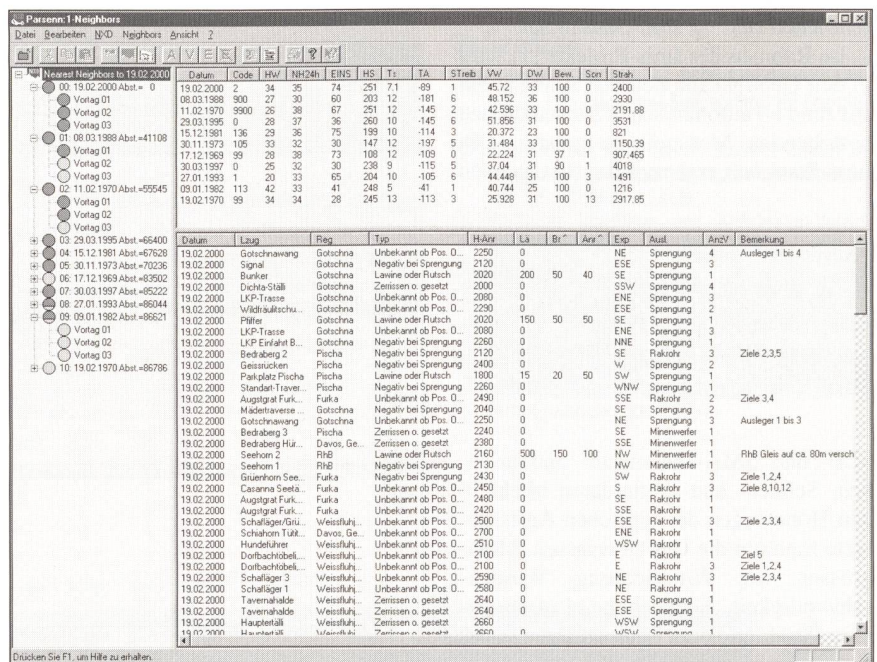


Bild 4 NXD2000 für die lokale Lawinenprognose

lichen auf dem Ansatz der «nächsten Nachbarn» beruhen: In einer Datenbank von Schnee- und Wetterdaten wird für den zu prognostizierenden Tag nach möglichst ähnlichen Tagen gesucht. Für die zehn nächsten Nachbarn wird dem Prognostiker dann die Lawinenaktivität an diesen Tagen präsentiert. Aus der Art der benötigten Zusatzbelastung für die Auslösung der Lawinen (z.B. Neuschnee oder Sprengungen) und Charakteristika der Anrissgebiete (z.B. Exposition und Höhenlage) können wichtige Erkenntnisse für die zu erwartenden Lawinen gezogen werden. Die Funktionsweise des Modells hängt in starkem Masse von einer vollständigen Aufzeichnung aller Lawinen an den beobachteten Tagen ab.

Mit dem am SLF entwickelten Programm NXD2000 (Bild 4) steht heute ein kommerziell verfügbares Prognosemodell für die lokale Lawinenprognose zur Verfügung.

Um NXD2000 auch für die regionale Lawinenprognose zu verwenden, müssten zuverlässige Lawinenbeobachtungen flächendeckend für einen Zeitraum von mindestens zehn Jahren zur Verfügung stehen. Das regionale Modell könnte dann durch Integration der lokalen Berechnungen entstehen. Diese Daten stehen am SLF aber nicht in ausreichender Dichte und Qualität zur Verfügung, weil die Qualität der Lawinenbeobachtungen im Messnetz des SLF sehr stark schwankt. Deshalb musste eine andere Zielgrösse für das regionale Prognosemodell gefunden werden.

### Modellberechnungen

Das statistische Modell für die regionale Lawinenprognose [3] basiert ebenfalls auf der Methode der «nächsten Nachbarn», daher der Name NXD-REG (NXD für Next X-Days und REG für re-

Variable		Beschreibung	Gewicht	
V <sub>1</sub>	HN	Neuschneehöhe	W <sub>1</sub>	5
V <sub>2</sub>	HS	Schneehöhe	W <sub>2</sub>	1
V <sub>3</sub>	WI	Wetter und Intensität	W <sub>3</sub>	1
V <sub>4</sub>	EE	Ostwindkomponente	W <sub>4</sub>	3
V <sub>5</sub>	NN	Nordwindkomponente	W <sub>5</sub>	3
V <sub>6</sub>	TA	Lufttemperatur	W <sub>6</sub>	2
V <sub>7</sub>	TS	Schneetemperatur	W <sub>7</sub>	2
V <sub>8</sub>	SF	Code der Schneeoberfläche	W <sub>8</sub>	1
V <sub>9</sub>	PS	Einsinktiefe der Rammsonde	W <sub>9</sub>	2
V <sub>10</sub>	HND	Dichte des Neuschnees	W <sub>10</sub>	2
V <sub>11</sub>	HN_SUM3D	3-Tages-Neuschneesumme	W <sub>11</sub>	2
V <sub>12</sub>	TA_DIF1D	Differenz der Lufttemperatur	W <sub>12</sub>	3

Tabelle I Variablen und Gewichtung für die Distanzberechnung

Grenze zwischen den Gefahrenstufen			
gering – mässig	mässig – erheblich	erheblich – gross	gross – sehr gross
1,61	2,22	3,17	3,81

Tabelle II Entscheidungsgrenzen für die Berechnung der Gefahrenstufen

gional). Das Modell vergleicht die aktuellen Daten mit solchen der Vergangenheit. Die aktuellen Daten stammen von ungefähr 60 Vergleichsstationen des SLF-eigenen Beobachternetzes. Bild 5 zeigt die Lage der Vergleichsstationen (Stand November 1999). 25% der Stationen können nicht für das Modell verwendet werden, weil entweder die Messreihe zu kurz (kürzer als zehn Jahre) ist oder weil der Messstandort sich deutlich verschoben hat.

An jeder dieser Stationen werden Schneehöhe, Neuschneehöhe, Wasserwert des Neuschnees, Windrichtung und Geschwindigkeit, Luft- und Schneetemperatur, Eindringtiefe der Rammsonde, ein Code für das Wetter und die Intensität sowie eine Beschreibung der Schneeoberfläche (mittels eines Codes) zwischen 7 Uhr und 8 Uhr gemessen und anschliessend an das SLF übermittelt. Bild

6 zeigt die Messdaten für die Vergleichsstation Weissfluhjoch (5WJ) bei Davos für den Winter 1996/97. Die Codes für Wetter und Intensität werden für die Distanzberechnung zum Parameter WI zusammengefasst:  $WI = 10 * W + I$ . Der Code für die Schneeoberfläche wird direkt verwendet. Die Dichte des Neuschnees wird als Quotient von Neuschneemenge und Wasserwert bestimmt. Für die Berücksichtigung der Vortage werden die Differenz der Lufttemperatur (TA\_DIF1D) und die 3-Tages-Summe der Neuschneemenge (HN\_SUM3D) als abgeleitete Grössen berücksichtigt. Diese Daten wurden für die Winter 1987/88 bis 1996/97 in einem eigenen Datawarehouse unabhängig von der operationellen Schnee- und Lawinendatenbank abgelegt.

Aus diesen Daten soll jeden Tag für die ganze Schweiz eine Einschätzung der Lawinengefahr in Form der seit 1993 in Europa eingesetzten fünfteiligen Lawinengefahrenskala<sup>2</sup> berechnet werden (Bild 3, Tab. II). Dazu wurde parallel zu den Messdaten auch ein Datawarehouse für die Gefahreneinschätzungen des SLF-Lawinenwarndienstes erstellt. Für die gleichen Winter wurden die Nationalen Lawinenbulletins, die damals eine Einschätzung der aktuellen Situation und keine Prognose waren, mit einem Geographischen Informationssystem erfasst und im Anschluss daran auf die einzelnen Stationen abgebildet. Für diese Erfassung wurde die Schweiz in knapp über 100 zwischen 50 und mehrere 100 km<sup>2</sup> grosse Teilgebiete zerlegt. Jedes dieser Teilge-

<sup>2</sup> Gefahrenstufen: 1 = gering; 2 = mässig; 3 = erheblich; 4 = gross; 5 = sehr gross

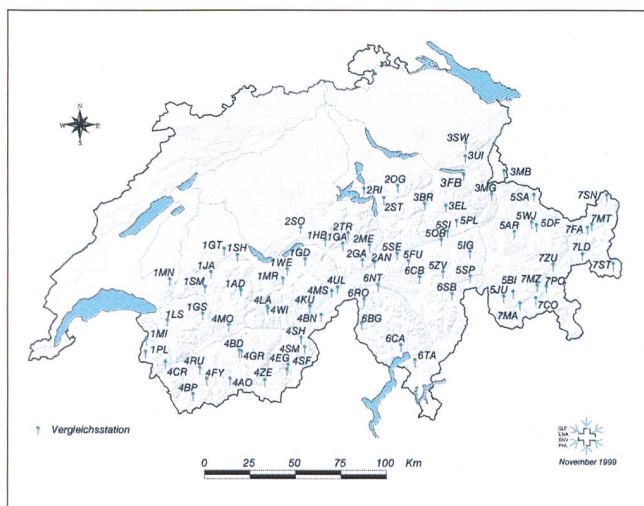


Bild 5 Das SLF-Messnetz mit den Vergleichsstationen

biere wird bezüglich der Lawinengefahr als homogen betrachtet. Diese Einteilung wird jetzt auch für die Erstellung der aktuellen Karten zum Lawinenbulletin ([www.slf.ch](http://www.slf.ch)) verwendet. In Bild 6 ist die Gefahrenstufe (Hazard Level) in jeder Spalte am unteren Ende dargestellt.

Für die Schneehöhe (HS) sind neben dem aktuellen Wert auch Maximum, Minimum und Mittelwert dargestellt.

**Gesamtarchitektur des Modells**

Die Berechnung der Lawinengefahr wird in zwei Schritten durchgeführt: Zuerst wird für jede Station eine lokale «nächste Nachbarn»-Berechnung durchgeführt. Aus den ähnlichsten Tagen wird für jede Station eine gemittelte Gefahrenstufe (Gefahrenwert) und eine Gefahrenstufe berechnet. Im zweiten Schritt werden zwischen den Stationen die Gefahrenwerte räumlich interpoliert und für die einzelnen Teilgebiete zusammengefasst.

**NXD-VG zur Berechnung der lokalen «nächsten Nachbarn»**

Auf Grund der guten Ergebnisse im Bereich der lokalen Lawinenprognose (NXD2000) wurde ein ähnlicher Ansatz auch für die regionalen Modelle adaptiert. Die ähnlichsten Nachbarn werden mit Hilfe einer gewichteten euklidischen Distanzmetrik gemäss der folgenden Gleichung berechnet:

$$dist^{t,u} = \text{Summe } (w_j (v_j^t - v_j^u)^2)$$

wobei gilt:

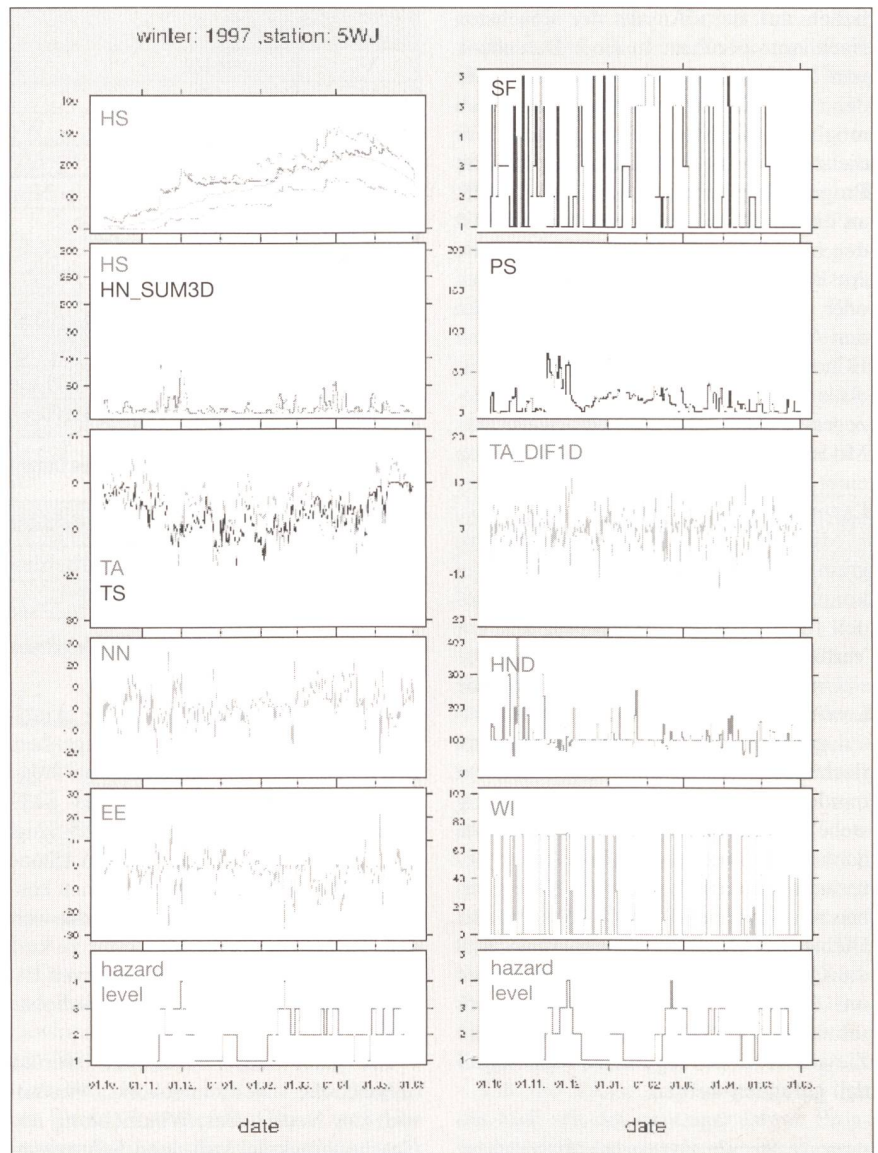
$dist^{t,u}$  = Distanz zwischen dem Tag  $t$  und dem Tag  $u$

$w_j$  = Gewicht der Variablen  $j$

$v_j^t$  = Wert der Variablen  $j$  am Tag  $t$

Summe () = Summe über alle Variablen

Die Gewichte für die einzelnen Variablen können Tabelle I entnommen werden. Die Optimierung dieser Gewichte erfolgte auf empirischem Weg. Für die ähnlichsten zehn Tage wird die Einschätzung der Lawinengefahr an dieser Station ermittelt. Der Gefahrenwert wird anschliessend als Mittelwert dieser zehn Einschätzungen berechnet. Für die Berechnung der Gefahrenstufen aus den Gefahrenwerten werden vier Entscheidungsgrenzen (Tabelle II) verwendet.



**Bild 6** Messdaten der Station Weissfluhjoch (5WJ) für den Winter 1996/97

HS = Schneehöhe, HN = Neuschneehöhe; TA = Lufttemperatur; TS = Schneetemperatur; PS = Eindringtiefe der Rammsonde; SF = Beschreibung der Schneeoberfläche; WI = Code für das Wetter und die Intensität, wobei  $WI = 10(W+)$ ; HND = Dichte des Neuschnees; TA\_DIF1D = Differenz der Lufttemperatur; HN\_SUM3D = 3-Tages-Summe der Neuschneemenge; NN = Windkomponente Nordrichtung; EE = Windkomponente Ostrichtung; hazard level = Gefahrenstufe

Die Ermittlung dieser Entscheidungsgrenzen erfolgte aus der Randbedingung, dass das Modell die gleiche Verteilung der Gefahrenstufen liefern soll wie die Einschätzung der Lawinenwarner. Mit Hilfe eines Kreuzvalidierungsexperiments (Details dazu im Abschnitt Evaluation)

konnte die Verteilung der Gefahrenwerte an einer Station geschätzt werden. Die Quantile<sup>3</sup> der empirischen Verteilung der Gefahrenstufen lieferten dann die benötigten Quantile aus der Verteilung. Als Resultat dieser lokalen Berechnung stehen für jede Station ein Gefahrenwert und eine Gefahrenstufe zur Verfügung.

Gefahrenstufe	Konventionelle Einschätzung der Lawinengefahr					korrekt %
	1	2	3	4	5	
Modell						
1	332	223	47			55,15
2	265	437	146	2		51,41
3	27	128	169	18		49,42
4			21	18	1	45,00
5						0
korrekt %	53,21	55,46	44,13	47,37	0	52,13

**Tabelle III** Kontingenztabelle des Kreuzvalidierungsexperiments für die Station Weissfluhjoch (5WJ)

**Regionale Interpolation**

Um Aussagen für den ganzen schweizerischen Alpenraum machen zu können, interpoliert das Computermodell mittels IDW (Inverse Distance Weighted) die

<sup>3</sup> Prozentsatz einer Verteilung. Bsp.: Der Medianwert ist ein Quantil von 50%.

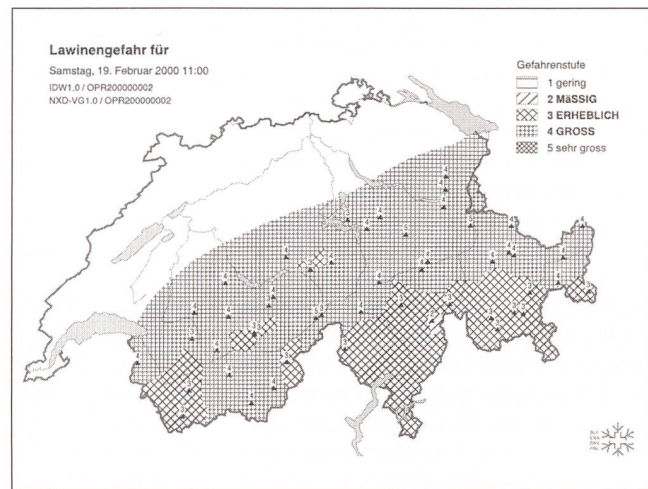
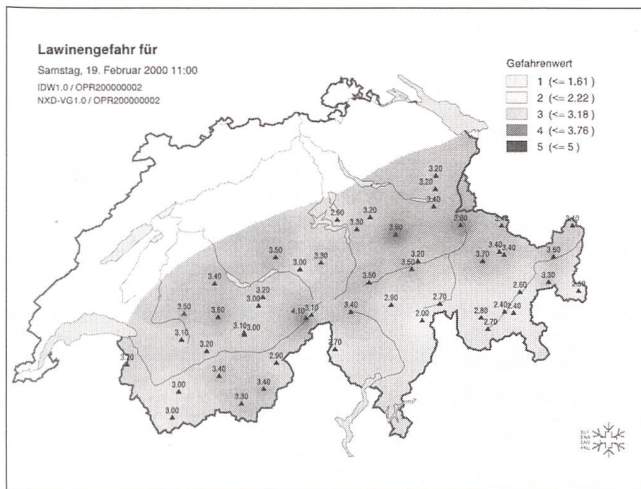


Bild 7 Interpolation der Gefahrenwerte mit IDW

Bild 8 Berechnete Gefahrenstufen für jede Station und jedes Teilgebiet

Resultate der 60 Messstationen. Die Schweiz wird dazu in ein Gitternetz mit 1 km Seitenlänge zerlegt, und es wird für jeden Punkt ein Gefahrenwert berechnet. Bild 7 zeigt ein Beispiel dieser Berechnung für den 19. Februar 2000. In der Legende werden auch die Entscheidungsgrenzen gezeigt.

Im nächsten Schritt wird für jede der über 100 Teilflächen eine eigene Gefahrenstufe angegeben. Dazu wird ein mittlerer Gefahrenwert aus den Pixeln jedes Teilgebiets ermittelt und die Entscheidungsgrenzen aus Tabelle II für die Bestimmung der Gefahrenstufe herangezogen. Ausserdem können mehrere Teilflächen zusammenschlossen werden und bilden so regionale Einheiten.

In Bild 8 ist das Gesamtergebnat der Berechnung der Gefahrenstufen für den 19. Februar 2000 dargestellt. Analog zu den Gefahrenstufen werden auch Schätzungen der Exposition und der Höhenlage aus den ähnlichsten Tagen berechnet und anschliessend räumlich interpoliert.

**Evaluation**

Sowohl für die praktische Anwendung als auch für die Weiterentwicklung von statistischen Modellen ist eine gründliche Evaluation und Validierung von grosser Bedeutung. Einerseits soll ermittelt werden, wann und wo es grosse Abweichungen zwischen dem Modell und der konventionellen Einschätzung gibt, und andererseits sollen diese Situationen charakterisiert werden, um Indizien für nicht berücksichtigte Effekte oder neue nützliche Inputgrössen zu erhalten.

Für zwei Stationen im Raum Davos (5DF, 5WJ) wurden alle Situationen der historischen Datenbank nachgerechnet. Dazu wurde jeweils ein Winter aus dem Datensatz eliminiert und durch die übrigen neun Winter prognostiziert. Diese

Vorgehensweise nennt man Kreuzvalidierung. Anschliessend wurde die Abweichung zwischen Modell und Bulletin gebildet, wie sie Bild 9 zeigt. Die dicke Linie zeigt eine Mittelung der täglichen Abweichungen über einen Zeitraum von ungefähr einer Woche. Damit können Situationen ermittelt werden, bei denen das Modell über längere Zeit Fehleinschätzungen liefert. Bild 9 zeigt ein typisches Beispiel: In dieser Periode spielte die Stabilität der Schneedecke für die Einschätzung der Lawinengefahr eine grosse Rolle. Die Schneedecke war unterdurchschnittlich stabil, was dem Modell nicht als Information zur Verfügung stand. Erst nach einem Schneesturm Ende Februar mit mehr als 2 m Neuschnee normalisierten sich die Verhältnisse, und das Modell erzielte wieder bessere Resultate.

Tabelle III zeigt das vollständige Resultat des Kreuzvalidierungsexperiments für die Station Weissfluhjoch. An 52% der Tage hätte das Modell die gleiche Gefahrenstufe wie im Nationalen Lawinenbulletin genannt prognostiziert. In 96% der Fälle wäre der Fehler innerhalb einer Gefahrenstufe gewesen. Verglichen mit dem einfachsten statistischen Modell (Prognose der häufigsten Gefahrenstufe mässig) schneidet das Modell um ca. 10% besser ab.

Zwanzig ausgewählte Situationen aus der historischen Datenbank wurden mit dem Modell nachgerechnet. Die Situationen wurden als typisch für verschiedene Wintersituationen ausgewählt oder repräsentierten Extremereignisse wie die Periode im Februar 1999. Die Analyse dieser Situationen zeigt, dass das Modell die

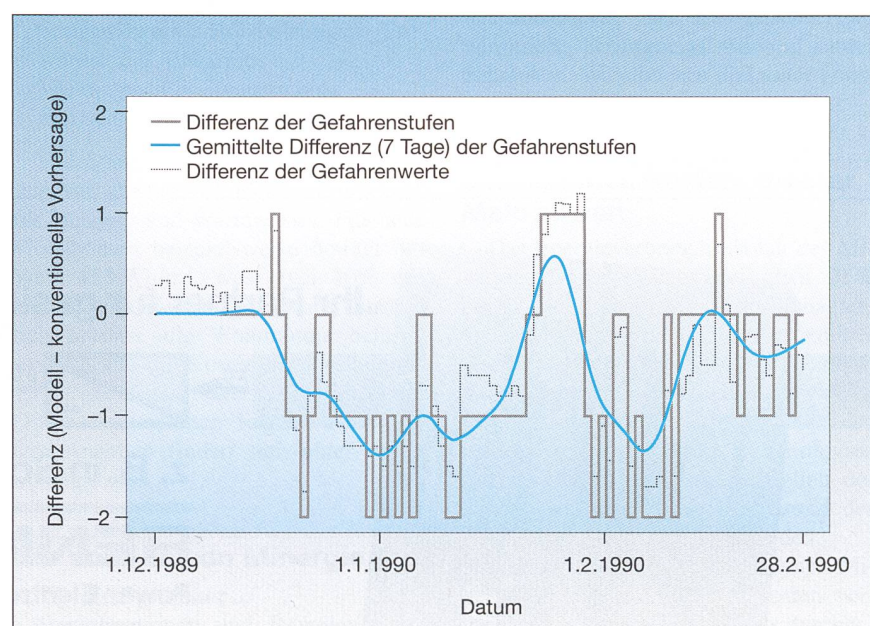


Bild 9 Vergleich der Kreuzvalidierung für die Station 5WJ mit dem Nationalen Lawinenbulletin in einer ausgewählten Periode (1.12.1989-28.2.1990)

Gefahrenstufe «sehr gross» nur in sehr wenigen Fällen richtig prognostiziert. Ein Blick in die historische Datenbank zeigt, dass diese Situationen auch dort sehr selten sind und deshalb auch schlecht prognostiziert werden. Andere Situationen stimmen hingegen gut überein.

Seit 18. Februar 2000 steht das Modell dem Lawinenwarndienst des SLF täglich zur Verfügung. Durch Koppelung an die Wetterprognose von Meteo Schweiz kann auch eine Prognose für den nächsten Tag berechnet werden. Die bis jetzt gemachten Erfahrungen passen gut zu den Erkenntnissen aus dem Kreuzvalidierungsexperiment. In vielen Situationen liefert das Modell ähnliche Ergebnisse wie die Lawinenprognostiker. In aussergewöhnlichen Situationen oder wenn die Schneedeckenstabilität eine hervorragende Rolle spielt liefert das Modell unterdurchschnittliche Ergebnisse, und die Lawinenprognostiker müssen auf andere Daten zur Entscheidungsfindung zurückgreifen.

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Entwicklung von statistischen und regelbasierten Prognosemodellen ist ein wesentlicher Beitrag zur Erhöhung der räumlichen und zeitlichen Auflösung der Lawinenprognose. NXD-REG ist ein erster Schritt der Entwicklung von operationellen Modellen zur Unterstützung der Lawinenprognostiker am SLF. Das Modell basiert auf der Methode der «nächsten

Nachbarn» und ermittelt neben der Einschätzung der Lawinengefahr für den aktuellen Tag auch eine Prognose für den Folgetag. Das vorgestellte Modell stimmt in ca. 52% der Fälle mit der konventionellen Einschätzung der Lawinengefahr überein.

In Zukunft sollen weitere Inputgrössen wie etwa die aktuelle Schneedeckenstabilität oder die Messungen der automatischen Imis-Stationen zu einer weiteren Verbesserung der Prognosequalität führen. Daneben sollen aber auch hybride prozessorientierte regelbasierte Expertensysteme entwickelt werden, die die Vorgehensweise der Lawinenprognostiker möglichst exakt nachempfinden.

Das vorliegende Modell wurde mittels finanzieller Unterstützung des ETH-Rates und des Schweizerischen Nationalfonds entwickelt.

### Referenzen

- [1] M. Zimmerli und T. Russi: Interkantonales Mess- und Informationssystem Imis: Neue Wege in der Lawinenwarnung. Bündner Wald 2(1998).
- [2] M. Lehning, P. Bartelt, B. Brown, T. Russi, U. Stöckli und M. Zimmerli: Snowpack Model Calculations for Avalanche Warning Based upon a New Network of Weather and Snow Stations. Cold Regions Science and Technology 30(1999), pp. 145-157.
- [3] B. Bräber: A Nearest Neighbour Model for Regional Avalanche Forecasting. Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Workshop on Statistical Modelling, Graz (1999), pp. 118-125.

## La situation des avalanches d'hier pour les pronostics de demain

En février 2000, le premier modèle statistique sur ordinateur calculant le risque d'avalanches pour un pays entier a été mis en service à l'Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches (SLF) à Davos. Le modèle développé par les scientifiques du SLF en collaboration avec l'institut de systèmes informatiques de l'EPF de Zurich est basé sur la méthode du «voisin le plus proche». Il compare les données actuelles d'enneigement et conditions météorologiques de 60 stations réparties sur toute la région alpine suisse à celles des années antérieures. Pour les données les plus semblables, le modèle détermine la situation d'alors et calcule de cette manière une valeur actuelle de risque d'avalanches. Les risques ainsi calculés ne sont pas directement à la disposition du public mais représentent un élément important d'analyse de la situation des avalanches et servent aux pronostiqueurs de l'Institut de base supplémentaire dans l'établissement du bulletin d'avalanches quotidien.



Ihr Partner für gesicherte Stromversorgung



z. B. in Schaltanlagen

**BENNING**

Power Electronics GmbH

Industriestrasse 6, CH-8305 Dietlikon  
Tel. 01 805 75 75, Fax 01 805 75 80  
<http://www.benning.ch>