

Analyse von Wetterlagen, die in den letzten 100 Jahren zu besonders gefährlichen Lawinensituationen führten

Patrick Hächler, SMA Zürich

Aufgrund der Aufzeichnungen des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (EISLF) wurden die schwersten Lawinenkatastrophen seit 1880 ausgewählt. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Exposition von Alpennord- und -südseite wurde festgestellt, dass in allen Fällen eine praktisch stationäre Tiefdruckzone bestimmend war. Frontale Wellen, die mit starken Höhenwinden gegen die Alpen geführt wurden, zeichneten sich durch besonders intensive Schneefälle aus. Staugradienten erscheinen ebenfalls wichtig, wenn auch dabei keine absoluten Höchstwerte auftraten. Für die neuesten Fälle wurden auch die Höhenwetterkarten zur Diagnose herangezogen. Hier fand sich in allen Fällen ein gut ausgeprägter Strahlstrom, der auf starke frontale Vorgänge hinweist. Schliesslich werden die Möglichkeiten der modernen Vorhersage diskutiert. Es zeigt sich, dass aufgrund numerischer Modelle vernünftige Prognosen auf einige Tage hinaus gemacht werden können.

Analysis of the weather situations leading to severe and extraordinary avalanche situations

Based on the records of the Swiss Federal Institute of Snow and Avalanche Research (SFISAR) some of the most severe and disastrous avalanche situations for about 100 years were selected. Northerly and southerly exposed regions are described separately. It was found in nearly all cases that a quasistationary trough has led to such situations. Frontal developments, led by strong winds towards the Alps have intensified much the quantities of snowfall, specially at the windward slopes. The barrage gradients seem to be important, but there were no extremely high values found. For the recent cases upper air information is also considered. Usually there was a well defined jet found, indicating active frontal mechanisms. Finally the possibilities of modern methods are discussed. It is shown that numerical modeling gives quite reliable indications for several days.

1 Einleitung

In der Vergangenheit führten meteorologische Vorgänge mehrfach zu verheerenden Lawinensituationen (Winterberichte, 1936–86). Es drängte sich daher auf, die synoptischen Randbedingungen in diesen Fällen etwas genauer zu studieren. Ein besseres Verständnis davon ermöglicht es, künftig die Prognose von Lawinensituationen etwas präziser fassen zu können. Das Bedürfnis hierzu seitens vieler Benutzer von Lawineninformation ist gut ausgewiesen.

2 Zusammenstellung der Fälle

Als Basis diente eine Liste schwerer Lawinensituationen vom EISLF (P. Föhn, 1975). Einzelne Fälle wurden dabei ausgelassen, da es sich rasch zeigte, dass die meteorologischen Randbedingungen weniger wichtig waren als Stabilität und Aufbau der Schneedecke. Umgekehrt wurden die Fälle von 1984

und 1986 dazugefügt. Als Hauptkriterium wurde – neben den Auswirkungen der Lawinen – die über mehrere Tage akkumulierte Neuschneemenge verwendet. Es ergaben sich somit 19 Fälle (Tabelle 1), die problemlos in zwei Gruppen unterteilt werden können: nordwestliche Winde, die im wesentlichen die Nordalpen behelligten, und andererseits südliche Winde, welche in den Südalpen zu Lawinen führten.

Die Abkürzungen für die Gebiete verstehen sich wie folgt: N = Alpennordseite, S = Alpensüdseite, V = Kanton Wallis, G = Kanton Graubünden. Für die Windrichtungen wurde die übliche Unterteilung des Vollkreises in Sechzehntel gewählt. Die Beurteilung der Zyklonalität wurde subjektiv vorgenommen, wobei die Abkürzungen folgendes bedeuten: c = zyklonal (Gegenuhrzeigersinn), i = indifferent (gestreckt). a = antizyklonal wurde bei der Beurteilung des Bodenwindfeldes nicht gefunden. Die letzte Kolonne gibt einen Hinweis über das Vorhandensein eines Jets (starker Höhenwind); (j) bedeutet dabei, dass ein Jet vermutet wird. Bis weit in die fünfziger Jahre hinein wurden keine regelmässigen Höhenwindbestimmungen vorgenommen, aufgrund des Bodenwindfeldes und der Temperaturverteilung können aber zuverlässige Schätzungen gemacht werden.

Tabelle 1 Die ausgewählten Lawinensituationen

Table 1 Selected severe avalanche situations

Datum	betroffenes Gebiet	Hauptwindrichtung	Zyklonalität	Jet
25.–30.3. 1888	S	SW	c	(j)
5.– 9.2. 1892	N, G	NW	i	(j)
10.–16.12. 1916	S, V, G	SW	c	
17.–22.4. 1917	N, V, G	NNW	i	(j)
21.–28.12. 1919	N, G	WNW	i	(j)
19.–24.12. 1923	N, V, G	NW	i	(j)
26.–28.12. 1923	N, V, G	NW	c	
17.–21.2. 1931	S, V, G	S	c	
26.2.–1.3. 1931	N	WNV	i	(j)
1.– 5.2. 1935	N, G	WNW	i	(j)
6.– 9.3. 1945	N	NW	i	
15.–21.1. 1951	N, V, G	WNW	i	(i)
4.– 6.2. 1951	S, V, G	SW	c	
10.–13.2. 1951	S, V, G	S	c	
9.–12.1. 1954	N	NW	i	(j)
24.–27.1. 1968	N, G	NW	i	j
3.– 6.4. 1975	S, V, G	SW	c	j
6.– 9.2. 1984	N, V, G	NW	i	j
22.–25.4. 1986	S, V, G	SW	c	j

S = Alpensüdseite
 N = Alpennordseite
 V = Wallis
 G = Graubünden

c = zyklonale Strömung
 i = indifferente/gestreckte Strömung
 j = Jet (Strahlstrom) vorhanden
 (j) = Jet vermutet

Eine Zusammenfassung dieser Daten zeigt, dass im Norden eindeutig mehr Fälle auftreten als im Süden: 12 gegenüber 7. Im weiteren kommt man zur Feststellung, dass Nord und Süd nie gleichzeitig beeinträchtigt werden.

Im Mittel dauerte eine prekäre Situation über 4,9 Tage an, wobei der Unterschied zwischen Nord und Süd nicht signifikant ist. Da auch der Median zwischen 4 und 5 liegt, kann man sagen, dass eine schwere Lawinensituation typischerweise 4–5 Tage dauert.

Bestimmt man die Wiederkehrdauer eines solchen Ereignisses, so kommt man für die ganze Schweiz auf 5 Jahre, für eine einzelne Subregion sind es etwa 10 Jahre.

Die Verteilung über das Winterhalbjahr ist für Nord und Süd nicht völlig gleich (Tabelle 2).

Tabelle 2 Verteilung der Fälle nach Monaten in Nord und Süd

Table 2 Seasonal distribution of cases in north and south

	Dez.	Jan.	Feb.	März	April	Summe
Norden	3	3	4	1	1	12
Süden	1	0	3	1	2	7
Summe	4	3	7	2	3	19

In den nördlichen Gebieten erscheint das Maximum recht genau auf Mitte Winter, also Januar–Februar. Im Süden fällt es vielmehr auf den Frühlingsbeginn.

Eine mögliche Erklärung ist etwa die folgende: im Norden finden wir ein eindeutiges Maximum für Schneefall in den mittleren Lagen sowie den höchsten Index der Zonalität der grossräumigen Strömung in den Monaten Januar und Februar, somit günstige Voraussetzungen für Starkschneefälle.

Im Süden haben wir ein erstes Maximum an Staulagen im Herbst, aber dann liegt die Schneefallgrenze noch hoch. Im Winter sind diese Lagen selten, um dann im Frühjahr wieder stark zuzunehmen. Jetzt liegt auch die Schneefallgrenze genügend tief, da die dazu bestimmenden Meerestemperaturen ihr Jahresminimum haben.

3 Synoptische Analyse, Nordseite

Es wurden diverse meteorologische Parameter analysiert, die einen Beitrag zum Verständnis der Lawinensituationen liefern können (Wetterberichte, 1888–1986). Die Werte wurden so normiert, dass ein Vergleich möglich wird (Tabelle 3) und damit allgemeine Aussagen abgeleitet werden können.

Zu jedem Fall wurden die Luftmassen bestimmt. Das sind jeweils zwei, da wir uns ja stets mitten in der Frontalzone befinden. T bedeutet dabei subtro-

pisch, also milde Meeresluft, P steht für polar, kühle Meeresluft, A bedeutet arktisch, also sehr kalte Luft mit teils maritimen, teils kontinentalen Eigenschaften. Eindeutig kontinentale Bedingungen findet man nicht, dabei wäre nämlich die Feuchtigkeit so gering, dass keine grösseren Niederschläge mehr auftreten. Im weiteren wird die geographische Länge der Luftmassengrenze auf 47 Nord angegeben, sie liegt durchwegs zwischen der Schweiz und dem Nullmeridian. Der Staugradient gibt an, um wie viele hPa (mbar) der Luftdruck im Norden höher lag als im Süden (auf Meereshöhe reduziert). Wenn im Norden deutlich kältere Luft liegt als im Süden, so kann dieser Unterschied auf Kammhöhe verschwinden, in einem Fall wird er gar negativ. Dies bedeutet dann südwestliche Winde auf dieser Höhe. Im Falle 1923/2 herrschten stark zyklonale Bedingungen, aber die Niederschlagsverteilung lässt auf nordwestliche Höhenwinde schliessen.

Verfolgt man die synoptische Entwicklung mit der Zeit, so findet man zwei Klassen: entweder drehen die Winde gegen Westen zurück, so dass eine antizyklonale Entlastung eintritt, oder aber kalte und trockene Luft dringt aus Nordosten ein.

Zuletzt wird noch das Mittel des geostrophischen Windes über den ganzen Zeitraum angegeben. Dieser bezieht sich auf die Bodenwetterkarte, und es soll damit möglich werden, zukünftige ähnliche Lagen dank den computer-gerechneten Strömungskarten frühzeitig zu erkennen.

Tabelle 3 Synoptische Gegebenheiten, Norden

Table 3 Synoptic conditions, north

Jahr	Luftmasse		Luftmassengrenze, östliche Länge (in Grad)	Luftdruckunterschied Nord-Süd (in hPa)	zeitliche Entwicklung der Höhenwinde	Ende der Lawinensituation	geostrophischer Wind* Richtung/ Stärke (Grad/ Knoten)
	West	Ost					
1892	T	P	8	5,5	WNW-NW	Hoch	310/33
1917	P	A	2	4,8	WNW-NNW	Hoch	340/28
1919	T	P	6	1,9	NW-W	W (Hoch)	290/38
1923/1	P	A	4	6,1	N-NW	W (Hoch)	320/23
1923/2	T	P	6	-3,1	W-N	Hoch	210/33
1931/2	P	A	3	1,7	W-NW	Hoch	260/36
1935	T	P	5	6,2	NW	kaltes Tief	300/25
1945	P	A	2	8,3	NW-NW	Hoch	340/24
1951/1	T	P	2	4,2	WNW	Hoch	310/30
1954	P	A	9	7,4	NW-W	Hoch (W)	320/35
1968	T	P	0	3,5	NW-W	Hoch (W)	330/30
1984	T	P	1	0,6	WNW-N	Hoch	310/42
∅			4	3,9			300/31

T = subtropisch P = polar A = arktisch (sehr kalt)

* = Wind der freien Atmosphäre, aber auf Bodennähe reduziert. Entspricht der massgebenden Advektion.

Diese Wetterlage kann gut verallgemeinert werden, sie zeichnet sich aus durch eine lebhafte Frontentätigkeit mit einer Zugbahn England–Alpen (Bild 1).

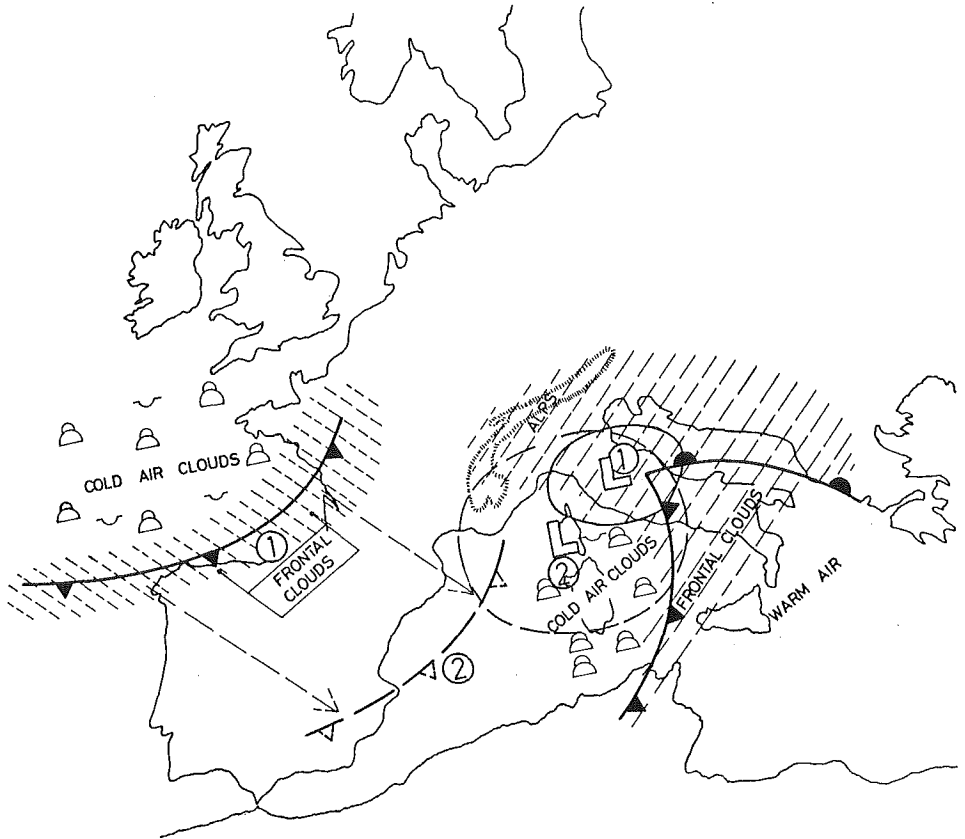


Bild 1 Serie von typischen Frontenpositionen bei Nordwestlagen. L = Tief und H = Hoch sind praktisch stationär.

Fig. 1 Typical frontal positions in a northwesterly situation. L = low pressure and H = high pressure are nearly stable.

4 Synoptische Analyse, Südseite

Es wurden praktisch dieselben meteorologischen Größen wie für die Nordseite ermittelt (Tabelle 4).

Bei den beteiligten Luftmassen findet man hier nur die beiden Haupttypen P und T. Ihre geographische Abgrenzung musste allerdings anders erfolgen als im Norden: hier scheint das Nordwärtsvorstossen der wärmeren Luft-

Tabelle 4 Synoptische Gegebenheiten, Süden

Table 4 Synoptic conditions, south

Jahr	Luftmasse		Luftmassengrenze, nördliche Breite (in Grad)	Luftdruckunterschied Süd-Nord (in hPa)	zeitliche Entwicklung der Höhenwinde	Ende der Lawinensituation	geostrophischer Wind Richtung/ Stärke (Grad/ Knoten)
	Nord	Süd					
1888	P	T	44	3,6	SW-W	West	230/26
1916	P	T	42	1,7	SW-NW	Hoch	240/16
1931/1	P	T	41	-0,9	SW-SE	Nordost	180/17
1951/2	P	T	43	5,0	SW-E	Hoch	170/15
1951/3	P	T	44	4,3	S-E	Hoch	170/20
1975	P	T	45	-0,3	SW-SE	Hoch	190/20
1986	P	T	44	2,2	SW-E	Hoch	200/12
Ø	P	T	43	2,2	SW-SE		200/18

P = polar T = subtropisch

masse von Bedeutung zu sein, so dass es angezeigt erschien, die maximale geographische Breite der Warmfront anzugeben. Diese liegt in der Regel südlich der Alpen, was oft eine fast isotherme Schichtung zwischen dem Boden und etwa 2000 Meter Höhe bewirkt.

Der Stauereffekt ist offensichtlich geringer als in der ersten Gruppe. Dies steht auch im Einklang mit den geringeren geostrophischen Winden. In der Regel ist aber die zyklonale Krümmung der Strömung von entscheidender Bedeutung. Damit werden die geringeren Anströmgeschwindigkeiten sicherlich kompensiert. Die Niederschlagsintensitäten erweisen sich denn auch als eher höher als in den Vergleichsfällen der Nordseite.

Die häufigste Wetterentwicklung ist offenbar die, dass zunächst südwestliche Winde den Niederschlag starten lassen. Im Zusammenhang mit der Verlagerung eines Mittelmeertiefs von den Pyrenäen gegen Sardinien und später Süditalien drehen die Winde über Süd nach Südost, und schliesslich setzen sich dann mit östlichen Winden trockenere Luftmassen durch.

5 Analyse der Höhenströmung

In nur vier Fällen konnte eine solche Untersuchung durchgeführt werden, da bis und mit 1954 keine Höhenwetterkarten publiziert wurden. Im modernen Prognosedienst sind aber diese Informationen eine wesentliche Grundlage der Wetterbeurteilung. Es kommt dazu, dass besonders für Prognosen, die über den ersten Folgetag hinausgehen, praktisch ausschliesslich numerische Produkte verwendet werden, wobei Höhenströmungskarten auf 500 hPa (etwa 5500 Meter) nach wie vor die entscheidende Rolle spielen.

Diese Untersuchung bestätigte, was bei der Durchsicht der älteren Fälle bereits vermutet wurde: bei Starkniederschlägen sowohl nördlich wie südlich der Alpen herrschen in der Regel starke Höhenwinde. An der Tropopause erreichen diese stets Jetstärke, also Geschwindigkeiten von mehr als 60 kt.

Die Zusammenstellung (Tabelle 5) zeigt deutlich, dass die Strömungslagen für Süd und Nord problemlos unterschieden werden können: nordwestliche Ausrichtung bringt den Nordalpen, südwestliche den Südalpen Starkniederschlag.

Tabelle 5 Eigenschaften des Höhenwindfeldes bei den 4 jüngsten Fällen

Table 5 Upper wind features in 4 recent cases

Jahr	Trogachse (Grad Länge)	Jetachse auf 47 Nord (Grad Länge)	geostrophischer Wind Richtung/Stärke (Grad/Knoten)
1968	18 Ost	9 Ost	340/50
1984	15 Ost	7 Ost	310/60
1975	1 West	14 Ost	230/45
1986	7 West	5 Ost	220/50

Trogachse = Zone tiefsten Druckes auf der Höhenwetterkarte

Jetachse = Zone maximaler Winde

Die Trogachse bezeichnet die Zone tiefsten Drucks im Höhenfeld, sie verläuft meist Nord-Süd, so dass ihre Lage mit der Angabe ihrer geographischen Länge definiert ist. Die Jetachse ist die Zone der stärksten Winde in der Höhe. Da diese Achse parallel zur Windrichtung liegt, ist auf 47° Breite Bezug genommen, so dass wiederum eine Längenangabe zur Festlegung genügt.

Die Windstärken liegen deutlich höher als im Bodenwindfeld. Im Norden sind die Werte zwar höher als im Süden, hingegen ist die Windzunahme vom Boden zu 500 hPa im Süden grösser. Fasst man diese Windzunahme mit der Höhe als Integral über die vorhandenen Temperaturdifferenzen auf, so erkennt man, dass offenbar die frontalen Gegensätze im Süden eher grösser sind als im Norden.

Die beiden Untergruppen zeigen eine recht grosse Symmetrie. In beiden Fällen finden wir gut ausgebildete Höhenträge, das eine Mal westlich, das andere Mal östlich der Alpen. Zudem muss es sich um quasistationäre, also sehr langsame Tröge handeln, da sonst nicht über 4–5 Tage eine mittlere Windstärke von 50 kt zustande kommt.

6 Moderne Methoden

Es soll hier darum gehen, in welchem Ausmass heute solche Lawinensituationen anhand meteorologischer Daten diagnostiziert und prognostiziert werden können.

6.1 Automatisches Messnetz (ANETZ)

Das ANETZ gibt ausgezeichnete Hinweise zur laufenden Beurteilung der Wetterlage. Mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung ist Aufschluss erhältlich über die Niederschlagsintensität und somit Schneeakkumulation, über die Temperaturentwicklung und dadurch die Schneefallgrenze, aber auch über den Wind, welcher beachtliche Schneemengen verfrachten kann. Prognostisch ist allerdings das ANETZ nur für sehr kurzfristige Aussagen brauchbar.

6.2 Radar

Die beiden Radarstationen Albis und La Dolé (J. Joss, 1982) liefern in Ergänzung zum ANETZ sehr nützliche Informationen über die aktuelle Niederschlagstätigkeit. Im Falle von Lawinenlagen muss dieser Nutzen allerdings eingeschränkt werden: Für die Alpensüdseite ist zur Zeit gar keine Radarinformation vorhanden, und im Norden sind grössere Teile der Alpen wegen davorliegenden Bergen vom Radar aus gar nicht sichtbar. Die Radarechos müssen also von der Alpennordseite aus in die Alpen hinein extrapoliert werden, was natürlich mit Fehlern verbunden ist.

6.3 Satellitenbilder

Direkte Information über Niederschlagstätigkeit ist über die Satelliten nicht erhältlich. So korrelieren beispielsweise Wolkenoberflächentemperaturen äusserst schlecht mit der Niederschlagstätigkeit. Es gibt jedoch mehrere Wege, um zu indirekter Information zu gelangen. So kann versucht werden, aufgrund der Satellitenbilder Aufschluss über die Entwicklung von Wettersystemen zu erhalten.

Im Falle nordwestlicher Strömungslagen folgen sich oft wärmere und kältere Luftmassen. Warmlufteinschübe sind durch ihr vorauslaufendes hohes Wolkenfeld vielfach erkennbar, bevor die eigentliche Entwicklung im Bodewetter wirksam wird. Andererseits geben aber solche Warmlufteinschübe meistens Anlass zu besonders starken Niederschlägen.

Für die Alpensüdseite ist es von Bedeutung, in welcher Position sich das Tief befindet, und ob es sich allenfalls noch verstärkt. Anstoss zur Vertiefung gibt in der Regel zusätzlich aus Nordwesten einflussende Kaltluft. Diese verstärkt den Drehimpuls und leitet mit Verzögerung verstärkte Niederschlagstätigkeit am Alpensüdhang aus. Auf dem Satellitenbild lassen sich solche Kaltluftvorstösse durch ihre charakteristische Bewölkung etwa über der Biskaya erkennen (Bild 2).

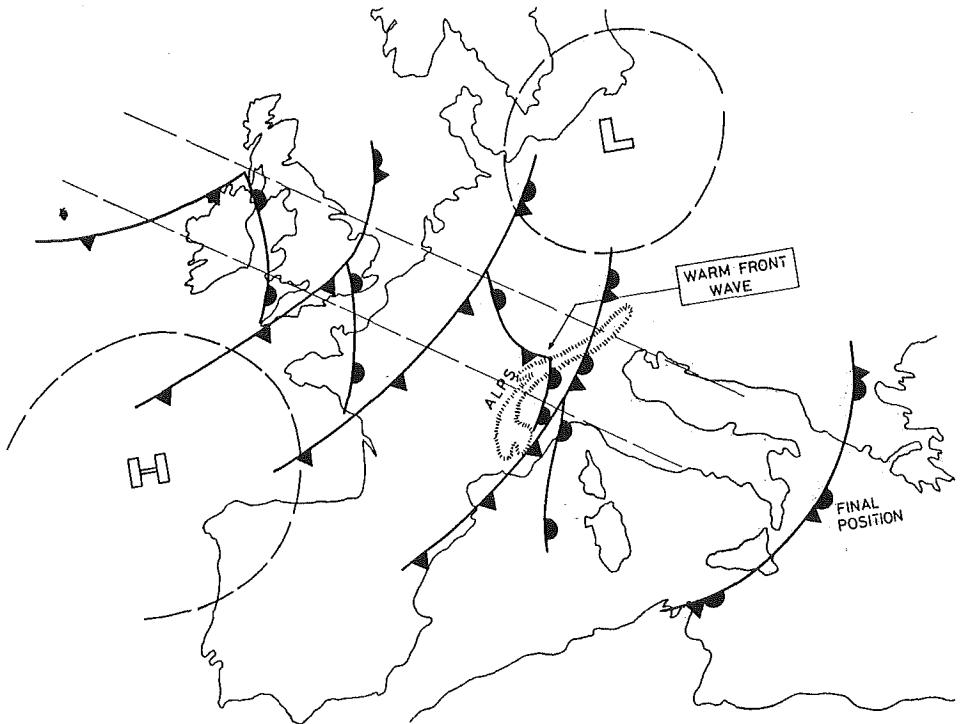


Bild 2 Sekundäre Kaltadvektion gegen das westliche Mittelmeer und in der Folge Vertiefung des Tiefs über Italien.

Fig. 2 Deepening of a Mediterranean low by secondary cold air advection.

6.4 Numerische Modellierung

An der SMA werden, wie bereits angetönt, als Hilfsmittel zur Prognosen-erstellung vor allem Strömungskarten auf verschiedenen Höhen verwendet. So lassen sich beispielsweise 500 hPa-Karten ähnlich wie Schichtdickenkarten 500/1000 hPa interpretieren, ergeben somit Aufschluss über Frontenlagen und -verlagerungen. Dies ermöglicht Vorhersagen bis auf 5 Tage hinaus, wobei die Qualität mit der Zeit leicht sinkt.

Das Hauptproblem besteht nun also darin, möglichst gute Niederschlagsprognosen von diesen Modellen abzuleiten. Bis vor kurzem waren dazu nur wenige objektive Unterlagen verfügbar, ihre Menge und Qualität nimmt nun aber rasch zu.

Im Sinne einer Fallanalyse wurden für den Fall von 1986 zwei verschiedene Methoden einander gegenübergestellt: statistische Prognosen, die von den Vorhersagekarten des europäischen Mittelfristzentrums (ECMWF) abgeleitet wurden und quantitative Regenprognosen vom Deutschen Wetterdienst (DWD).

Zunächst werden die Prognosen des DWD den effektiv gemessenen Niederschlagsmengen gegenübergestellt. Das Bezugsgebiet ist etwa die Nordhälfte des Kantons Tessin plus unmittelbar angrenzende Gebiete, vertreten durch die dort vorhandenen automatischen Stationen (Tabelle 6).

Tabelle 6 Berechnete und gemessene Flächenniederschläge

Table 6 Calculated and measured mean precipitation amounts

Tag der Gültigkeit	April 22	23	24	25
Ausgangstag 20	8	–	–	–
21	30	3	–	–
22	45	8	12	–
23	–	35	6	10
24	–	–	35	16
25	–	–	–	30
gemessener Wert in mm	48	55	41	41

Für den Prognostentag +1 erscheinen die berechneten Werte als recht gut, gelten doch in diesem Bereich Abweichungen von 30% noch als durchaus genügend. Praktisch alle anderen Werte sind allerdings kaum mehr brauchbar. Mittelfristige Aussagen sind also auf dieser Basis vorläufig unmöglich.

Die andere Methode besteht darin, aufgrund der Strömungslage Wahrscheinlichkeiten für drei verschiedene Niederschlagsklassen zu ermitteln: weniger als 1 mm pro Tag, 1–10 und über 10 mm Regen pro Tag. Die nachfolgende Zusammenstellung (Tabelle 7) gibt die Wahrscheinlichkeiten für mehr als 10 mm zu den beiden Stationen Magadino und Gütsch, die Werte wurden aufgrund der Prognosekarten des ECMWF gerechnet.

Tabelle 7 Wahrscheinlichkeiten für mehr als 10 mm für Magadino/Gütsch

Table 7 Probabilities for more than 10 mm in Magadino/Gütsch

Tag der Gültigkeit	22	23	24	25
Ausgangstag 15	29/00	–	–	–
16	47/02	49/17	–	–
17	75/05	86/21	61/25	–
18	83/17	84/47	65/44	60/35
(April 86) 19	87/16	83/23	69/05	81/05
20	89/14	86/14	79/04	83/06
21	85/19	90/07	80/05	75/02
22	–	87/10	71/02	76/01
23	–	–	80/03	86/01
24	–	–	–	79/02
Kontrolle	+/-	+/-	+/+	+/-

Es zeigt sich, dass die Prognosen ab dem 17. April für Magadino gut waren, für Gütsch sieht das Resultat schlechter aus: das Modell lässt durchwegs weniger als 10 mm erwarten und verpasst somit den Fall vom 24. April, wo effek-

tiv mehr gemessen wurde. Sicher ist die Statistik am Alpenkamm auch etwas wackliger als in einem eindeutig exponierten Gebiet, wie dies bei Magadino zutrifft. Diese statistische Methode liefert somit auf längere Sicht hinaus brauchbare, aber nicht eindeutige Hinweise für die Prognose.

7 Diskussion und Folgerungen

In der Schweiz kommt es durchschnittlich alle 5 Jahre zu Situationen mit Grosslawinen. In allen diesen Fällen waren gleichzeitig Starkschneefälle registrierbar, und diese kamen durch sehr langsam laufende Tiefdrucksysteme zustande. So bewirken Höhenträge über Westeuropa Lawinen in den Südalpen, Tröge über Osteuropa in den Nordalpen. Dabei finden wir in der ganzen Troposphäre starke, gegen die Alpen gerichtet Winde, die über mehrere Tage andauern. Es wurde in dieser Arbeit aber nicht untersucht, wie oft solche Wetterlagen auftreten und wie oft also trotz geeigneter Witterung nur wenige oder kleine Lawinen auftreten. Dies hängt ja damit zusammen, wie die Schneedecke aufgebaut ist. Es kann somit auch bei bester Kenntnis der kommenden Wetterentwicklung noch nicht eindeutig auf das Auftreten von Grosslawinen geschlossen werden.

Wie kann man sich die Windrichtungen erklären, die zu den erwähnten Lawinensituationen führten? (also 300° für den Norden, 200° für den Süden.) Eine heuristische Erklärung basiert darauf, dass die Auswirkungen dann am stärksten sind, wenn sich hohe Feuchtigkeit und eine möglichst senkrecht gegen die Alpen gerichtete Strömung optimal kombinieren. Die feuchtesten Trajektorien kommen für die Nordseite aus etwa 250° , für die Südseite aus etwa 210° . Da die Alpen etwa auf 250° orientiert sind, sind die besten Windrichtungen für Stau 340° bzw. 160° . Die Optima liegen in erster Näherung in der Mitte der beiden Richtungen, und so erhält man für den Norden 295° , für den Süden 185° . Diese beiden Werte liegen recht nahe bei den beobachteten Richtungen.

Es zeigt sich also, dass die Voraussetzungen für die Prognose von Lawinensituationen im wesentlichen gegeben sind. Die Computer-Vorhersagekarten werden laufend verbessert, und im Bereich der quantitativen Niederschlagsvorhersage sind ebenfalls Fortschritte zu erwarten. Die an sich subjektive Interpretation der Vorhersagekarten wird dadurch zunehmend durch objektive Unterlagen verbessert. Es kann daher in Zukunft vermehrt gewagt werden, auch auf mehrere Tage hinaus Lawinenprognosen in nützlicher Form herauszugeben.

8 Literatur

Calonder, G. P. (1986): Ursachen, Wahrscheinlichkeit und Intensität von Lawinenkatastrophen in den Schweizer Alpen, Diplomarbeit Universität Zürich.

- Föhn, P.: Analyse der Beziehungen zwischen Witterung, Schneedeckenaufbau und Grosslawinen am Beispiel der Katastrophenlawinen vom April 1975, Winterbericht Nr. 39, SFISAR.
- Joss, J. (1982): Capabilities of measuring rainfall with RADAR over a river basin – experience with the Swiss radars, Hydr. Res. Basins, Proceedings, p. 143–152.
- Prohaska, F. (1940): Wetterlagen bei Grossschneefällen in Graubünden, Verhandlungen der SNG, Locarno, p. 123.
- Wetterberichte der MCA/MZA/SMA, 1888–1986.
- Winterberichte des EISLF, Weissfluhjoch, Davos, 1936–86.
- Zingg, T. (1966): Relation between weather situation, snow metamorphism and avalanche activity, Commun. IFENA (24), p. 9–12.