

47

## **Regionale Wetterauswirkung und Prognose von Staulagen in der Schweiz**

**von H.W. Courvoisier**

551.589.1: 551.509.324.2 (494)

SZ ISSN 0080-7346

# **Regionale Wetterauswirkung und Prognose von Staulagen in der Schweiz**

**von H.W. Courvoisier**

Schweizerische Meteorologische Anstalt, Zürich

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Zusammenfassung	3
2. Einleitung	4
3. Relative Häufigkeit der Tage mit Niederschlag ( $\geq 0.5$ mm) bei West-, Nordwest- und Nordlagen	4
4. Relative Häufigkeit der Tage mit Niederschlag ( $\geq 0.5$ mm) bei Südost-, Süd- und Südwestlagen	4 - 8
5. Mittlere 5-tägige Niederschlagssummen bei Stau-Witterungslagen	9
6. Niederschlagsindex zur Prognose von Stauniederschlägen	9 - 18
7. Gütekontrolle des Niederschlagsindex	19
8. Literatur	19

### Zusammenfassung

Nach einer Uebersicht über die regionale Häufigkeit und Menge von Stauniederschlägen wird dargelegt, wie man im Falle einer gegen die Alpen gerichteten Luftströmung vorhersagen kann, ob Niederschlag in den folgenden 24 Stunden auftreten wird oder nicht. Es wurde dazu ein Niederschlagsindex aufgrund von geeigneten Prädiktoren entwickelt. Mittels einer Diskriminanzanalyse wurden Trennformeln zur Prognose der Niederschlagswahrscheinlichkeit und der Niederschlagsmenge für beide Seiten der Alpen erarbeitet. Eine Gütekontrolle zeigte günstige Resultate für die praktische Anwendung.

### Résumé

Suite à un aperçu sur la fréquence et la quantité régionale de précipitations de barrage, l'on expose la prévision de précipitations pour les prochaines 24 heures dans le cas d'un courant dirigé vers les Alpes. Pour cela un index de précipitations a été développé avec des prédicteurs appropriés. Une analyse discriminante a permis d'acquérir des formules de séparation pour la prévision d'une probabilité et d'une quantité de précipitations pour les deux côtés des Alpes. Un contrôle de qualité a donné de bons résultats pour une application pratique.

### Riassunto

Dopo una considerazione sulla frequenza e la quantità di precipitazioni da sbarramento, si spiega come si possono prevedere precipitazioni per le prossime 24 ore in caso di una corrente diretta verso le Alpi. E' stato perciò sviluppato un indice di precipitazioni sulla base di predittori appropriati. Un'analisi discriminante ha permesso di determinare delle formule di separazione per la previsione della probabilità e della quantità di precipitazioni sui due versanti delle Alpi. Un controllo della qualità ha dato buoni risultati per l'applicazione pratica.

### summary

After giving a survey of the regional frequency and amount of precipitation due to blocking, the forecast of precipitation taking place or not is expound in the case of airflow impinging on the Alps. For this purpose a precipitation index is developed on the basis of appropriate predictors. By means of a discriminant analysis, separate formulae are given to forecast the probability and the amount of precipitation for both sides of the Alps. A quality control shows favourable results for a practical application

## Einleitung

Definiert man eine Staulage als eine Wetterlage, bei welcher durch eine aufsteigende Luftströmung am Gebirge auf der Luvseite Bewölkung und Niederschlag entsteht, so erhebt sich die Frage, welcher Anteil von Lagen, bei denen die Luftströmung gegen das Gebirge gerichtet ist, einen Stau effekt erzeugt. Aus der Erfahrung und aus der Witterungsklimatologie wissen wir, dass nicht in jedem Fall ein Stau effekt auftritt. Auf der Alpennordseite der Schweiz sind nicht alle West-, Nordwest- und Nordlagen mit Staulagen gleichzusetzen, sondern es gibt neben der zyklonalen Form (mit Niederschlägen) auch die antizyklonale Form (ohne Niederschläge).

Die Zielsetzung dieser Untersuchung ist daher vor allem die Prognose, ob bei einer gegen die Alpen gerichteten Luftströmung Niederschlag auftreten wird oder nicht. Ausserdem werden die Prognosemöglichkeiten der Menge des Niederschlages gezeigt sowie die mittleren regionalen Niederschlagsmengen bei mehrtägigen Staulagen dargestellt.

Die Untersuchung gliedert sich in vier Teile: Staulagen auf der Alpennordseite und in den Alpen in den Wintermonaten und in den Sommermonaten, Staulagen auf der Alpensüdseite in den Wintermonaten und in den Sommermonaten. Winter- und Sommermonate wurden ungleich verteilt (Oktober bis April und Mai bis September), damit die Hauptgewittermonate mit durchschnittlich grösseren Regenmengen zusammengefasst werden.

### Relative Häufigkeit der Tage mit Niederschlag ( $\geq 0.5$ mm) bei West-, Nordwest- und Nordlagen

Abb. 1 zeigt die relative Häufigkeit der Tage mit Niederschlag ( $\geq 0.5$  mm) für 46 Stationen bei Wetterlagen mit einer Höhenströmung (500 hPa) aus West - Nordwest - Nordnordost /  $\geq 20$  Kt. in den Monaten Oktober bis April (112 Tage). Abb. 2 zeigt das gleiche für die Monate Mai bis September (115 Tage).

Allgemein fällt auf, dass der Prozentsatz der Tage mit Niederschlag nicht sehr hoch ist. Er erreicht im Winter höchstens 58% (Heiden) und im Sommer 51% (Glarus). Erwartungsgemäss hat der Alpennordhang höhere Werte als das Mittelland und die inneren Alpentäler. Der Stau effekt nimmt von der westlichen zur östlichen Landeshälfte zu und er ist im Winter im allgemeinen stärker als im Sommer. Die wenigen Niederschlagstage auf der Alpensüdseite treten meist bei Höhenströmungen aus West auf.

### Relative Häufigkeit der Tage mit Niederschlag ( $\geq 0.5$ mm) bei Südost-, Süd- und Südwestlagen

Abb. 3 zeigt die relative Häufigkeit der Tage mit Niederschlag ( $\geq 0.5$  mm) bei Wetterlagen mit einer Höhenströmung (500 hPa) aus Südost - Süd - Westsüdwest /  $\geq 20$  Kt. in den Monaten Oktober bis April (103 Tage). Abb. 4 zeigt das gleiche für die Monate Mai bis September (Höhenströmungsbereich Südost - Westsüdwest /  $> 15$  Kt., 106 Tage).

Im Gegensatz zu den West-, Nordwest- und Nordlagen auf der Alpennordseite ist der Prozentsatz der Tage mit Niederschlag bei Südost-, Süd- und Südwestlagen auf der Alpensüdseite wesentlich höher. Der Südstau effekt nimmt gegen das Engadin hin ab, ist aber im Oberengadin vergleichsweise beträchtlich höher als der Nordstau effekt in Nord- und Mittelbünden (im Winter 65% gegen 46%, im Sommer 72% gegen 45%). Bemerkenswert hoch sind die Werte bei Südstaulagen auf der Alpennordseite, besonders im Sommer. Selbst typische Föhngebiete wie Altdorf und Chur haben noch 41% bis 70% Tage mit Niederschlag. Zu erklären ist dies durch Wetterlagen, bei denen keine spezifischen Föhnbedingungen vorhanden sind und nur die 500 hPa-Strömung eine südliche oder südwestliche Richtung aufweist. In diesen Fällen findet nicht Absinken im Lee und Auflösung des Niederschlagsgebietes der Alpensüdseite statt, sondern die im Süden aufsteigende Luftströmung setzt sich in abgeschwächter Form auf der Nordseite fort (übergreifender Südstau).





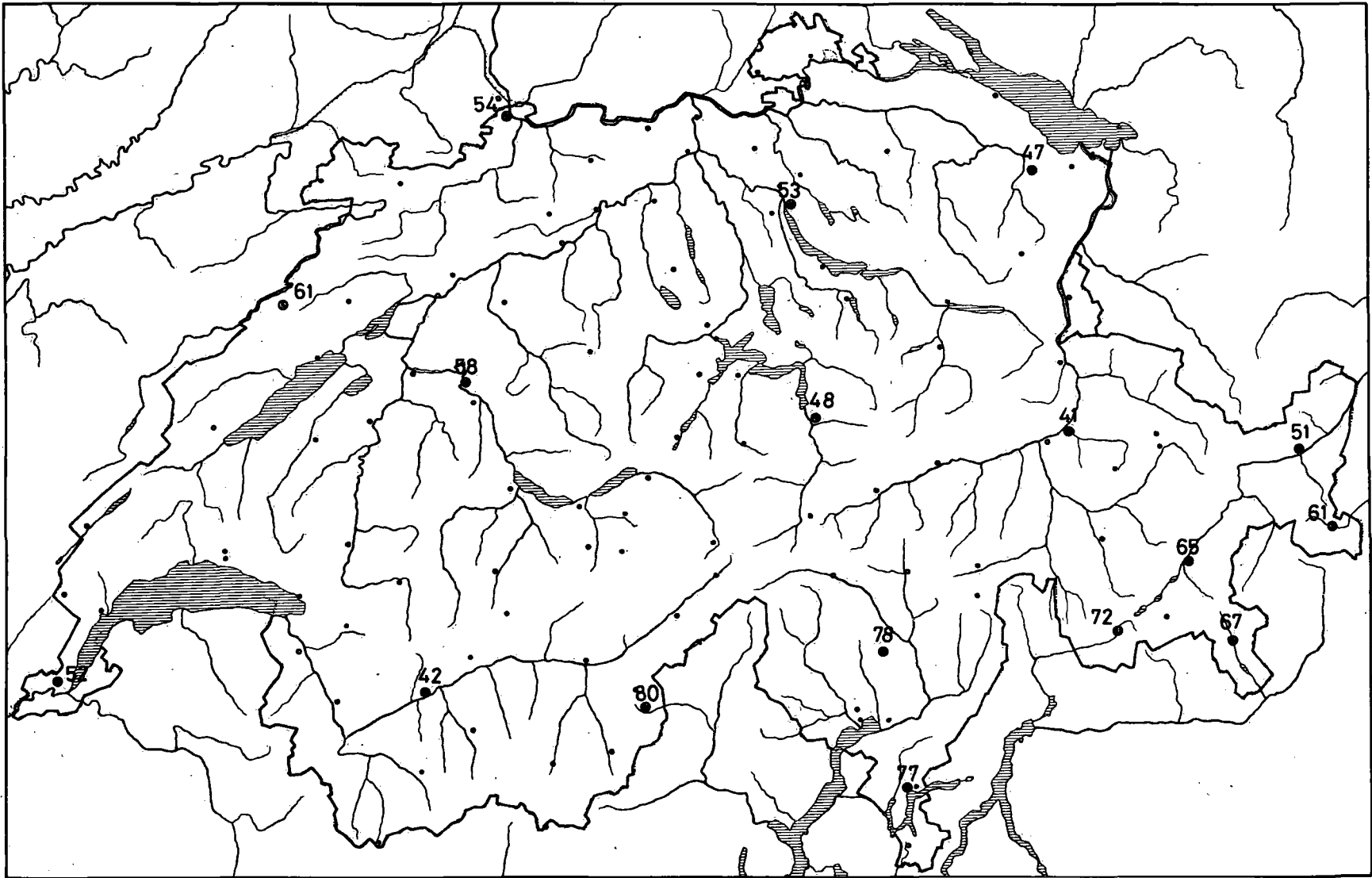


Abb. 3 Relative Häufigkeit der Tage mit Niederschlag  $\geq 0.5\text{mm}$  (Prozentwerte) bei Wetterlagen mit einer Höhenströmung aus SE - S-WSW/  $\geq 20$  Kt. (Okt.-März) (die Werte auf der Alpensüdseite und im Engadin sind aus mehreren Stationen gemittelt)



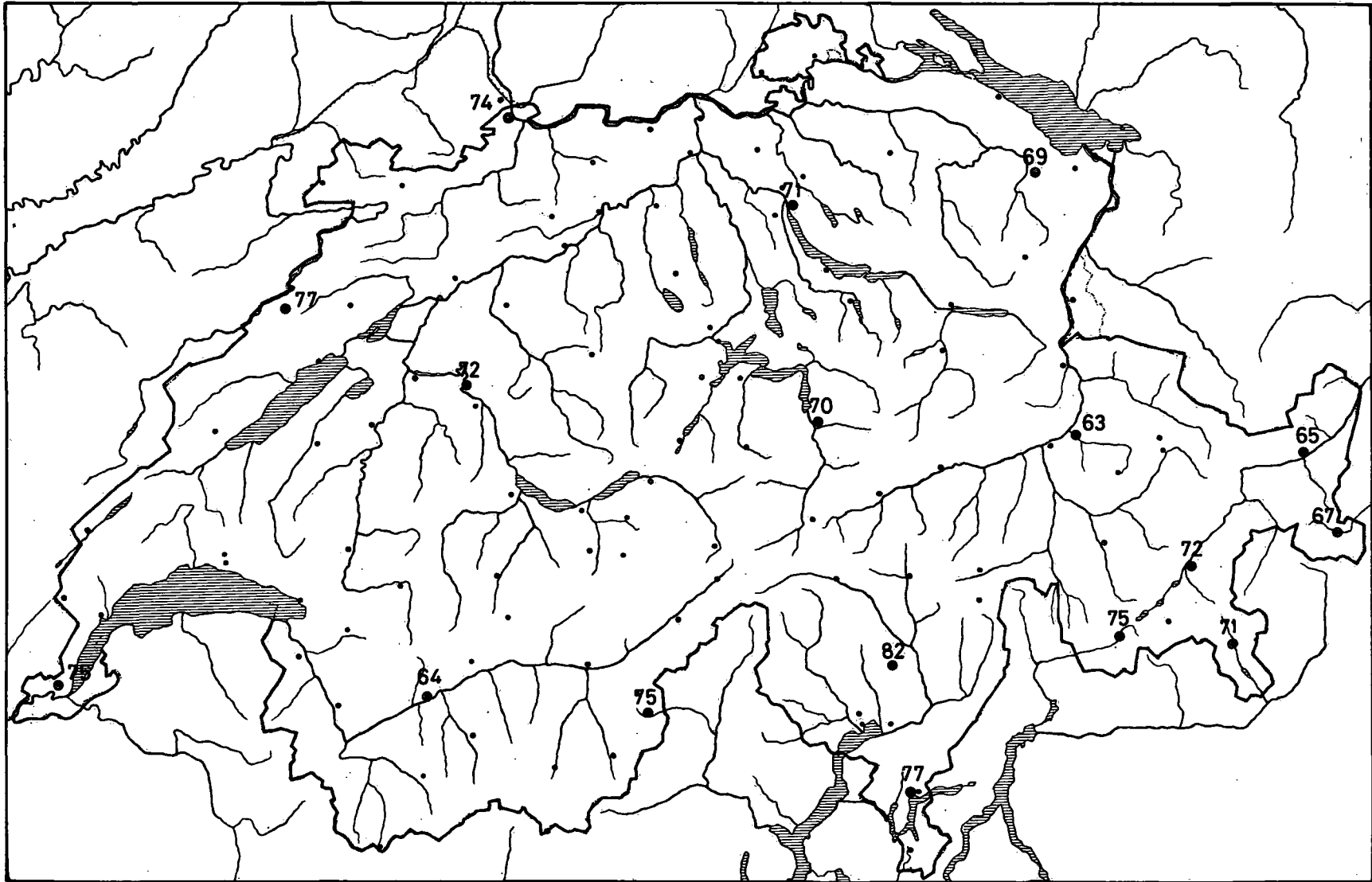


Abb. 4 Relative Häufigkeit der Tage mit Niederschlag  $\geq 0.5\text{mm}$  (Prozentwerte) bei Wetterlagen mit einer Höhenströmung aus SE - S - WSW/  $>15$  Kt. (Mai-Sept.) (die Werte auf der Alpensüdseite und im Engadin sind aus mehreren Stationen gemittelt)

### Mittlere 5-tägige Niederschlagssummen bei Stau-Witterungslagen

Tab. 1 zeigt die Niederschlagssummen und den Schneehöhenzuwachs der einzelnen Stationen, die Abb. 5 und 6 stellen in Nord-Süd-Querschnitten den Vergleich der Niederschlagssummen bei Nord- und Südstaulagen dar. Der grösste Unterschied besteht zwischen den Nord- und Südstaulagen im Sommer (Abb. 6). Der hohen 5-tägigen Niederschlagssumme von 246 mm in Camedo (Centovalli) steht eine solche von nur 49 mm im Mittel von Adelboden, Engelberg und Braunwald gegenüber. Die höchste 5-Tage-Summe beträgt in Camedo 474 mm, am Alpennordhang dagegen wurde als höchste Summe nur 139 mm in Braunwald gemessen (vgl. (1), Abb. 3). Die Erklärung für die in Abb. 6 sichtbaren sehr grossen Mengenunterschiede dürfte folgende sein: auf der Alpennordseite können zwar beim Beginn einer Stau-Witterungslage im Frontalbereich Tropikluft/Polarluft Gewitter auftreten, im weiteren Verlauf der Witterungslage, bei Advektion aus höheren Breiten des Atlantiks, sind sie jedoch selten. Auf der Alpensüdseite dagegen wird während der ganzen Südstau-Witterungslage ständig feuchtwarme Mittelmeerluft gegen die Alpen geführt, häufig verbunden mit langandauernden Gewittern. Im Zusammenhang damit ist die Wolkenobergrenze bei Nordstaulagen durchschnittlich weniger hoch als bei Südstaulagen (im Norden weniger Cb-Wolken als im Süden) bzw. die Schichtdicke der Niederschlag produzierenden Wolken ist auf der Nordseite im Mittel weniger gross als auf der Südseite.

Im Winter sind die Unterschiede zwischen Nord- und Südstaulagen nicht so gross (Abb. 5). Lässt man die Stationen Camedo, Locarno und Lugano weg, sind die Kurven sogar recht ähnlich (spiegelbildlich): auf der Luvseite etwa 100-110 mm, auf der Leeseite etwa 20-30 mm. Locarno und Lugano übertreffen nur den Mittelwert von Adelboden, Engelberg und Braunwald. Braunwald allein hat mit 159 mm einen höheren Wert als Locarno (132 mm) und Lugano (124 mm) und kommt nahe an den Wert von Camedo (165 mm) heran (Tab. 1).

Die Streuungen der Werte sind allgemein gross. Das bedeutet, dass die Aussagekraft der Mittelwerte für den Einzelfall überwiegend gering ist. Nur die Niederschlagswerte für die Alpensüdseite im Winter sind in allen zehn Fällen hoch (mindestens 87 mm in Locarno-Monti), d.h. hier sind auch im Einzelfall (Prognose) stärkere Niederschläge zu erwarten. Für den Schneehöhenzuwachs gilt dies noch einigermaßen für die Station San Bernardino (1628 m), für die tiefen Lagen und für Gebiete, die weniger stauanfällig sind (Engadin) hingegen nicht. In Lugano und Locarno brachten vier, in Samedan und Scuol eine der zehn Lagen keinen Schneehöhenzuwachs. Für die Prognose der Schneehöhe besteht natürlich das zweifache Problem, nämlich sowohl die Niederschlagsmenge als auch die Schneefallgrenze richtig einzuschätzen. Bei den Nordstaulagen wirkt sich der Wärmegehalt der Luft ebenfalls so aus, dass diese Witterungslagen nicht immer einen Schneehöhenzuwachs bringen, vor allem in Lagen unter 1500 m (Adelboden und Engelberg hatten bei einer der zehn Lagen keinen Schneehöhenzuwachs).

### Niederschlagsindex zur Prognose von Stauniederschlägen

Wie kann man zum voraus erkennen, ob bei einer Wetterlage mit Anströmrichtung gegen die Alpen Niederschlag auftritt oder nicht? Die witterungsklimatologischen Prozentwerte genügen hierzu auf der Alpennordseite und in den Alpen nicht (s. Abb. 1 und 2). Auf der Alpensüdseite sind die Prozentsätze an sich recht hoch (s. Abb. 3 und 4), sie können aber noch verbessert werden.

Wie ist nun der Niederschlagsindex für die Prognose von Stauniederschlägen aufgebaut? Es kommen dafür folgende Parameter in Frage: statische Stabilität, absolute und relative Feuchtigkeit und Anströmgeschwindigkeit im Wolkeniveau. Es hatte Ganter 1970 (unveröffentlichter Bericht) einen Niederschlagsindex vorgeschlagen, der ähnlich den Gewitterindices aufgebaut ist, jedoch auch für nichtkonvektive Niederschläge angewendet werden könnte. Er wird hier in etwas abgeänderter Form als erster Prädiktor ( $P_1$ ) für Niederschläge auf der Alpennordseite und in den Alpen bei Anströmrichtungen (500 hPa) aus West - Nordwest - Nordnordost verwendet. Er beinhaltet die statische Stabilität zwischen 850 und 500 hPa, in Verbindung mit den Taupunktdifferenzen in 850, 700 und 500 hPa und lautet:

$$P_1 = T_{850} - T_{500} - \frac{D_{850} + D_{700} + D_{500}}{3}$$

T = Temperatur  
D = Taupunktdifferenz

Tab. 1

Mittlere 5-tägige Niederschlagssummen bei Stau-Witterungslagen

## 1) Nordstaulagen

## a) Wintermonate (Nov.-März)

Kalenderdaten der 5-tägigen Nordstaulagen:

1) 05.11.-09.11.79	5) 13.01.-17.01.83	9) 25.12.-29.12.86
2) 02.01.-06.01.81	6) 13.01.-17.01.84	10) 27.02.-03.03.87
3) 15.01.-19.01.81	7) 05.02.-09.02.84	
4) 05.01.-09.01.82	8) 11.01.-15.01.86	

5-Tage-Mittel der Strömung im 500 hPa - Niveau bei den 10 Nordstaulagen: WNW - NNW / 43 - 65 Kt.

## b) Sommermonate (Mai-Sept.)

Kalenderdaten der 5-tägigen Nordstaulagen:

1) 14.07.-18.07.70	5) 01.07.-05.07.80	9) 08.09.-12.09.84
2) 30.05.-03.06.76	6) 12.06.-16.06.82	10) 01.08.-05.08.87
3) 10.05.-14.05.78	7) 21.06.-25.06.84	
4) 10.08.-14.08.79	8) 01.07.-05.07.84	

5-Tage-Mittel der Strömung im 500 hPa - Niveau bei den 10 Nordstaulagen: WNW - NW / 35 - 43 Kt.

Station	mittlere 5-tägige Niederschlagssumme und Schwankungs- breite (10 Fälle)	mittlerer 5-tägiger Schneehöhenzuwachs und Schwankungs- breite (10 Fälle)	mittlere 5-tägige Niederschlagssumme und Schwankungs- breite (10 Fälle)
	Winter (Nov.-März)	Winter (Nov.-März)	Sommer (Mai-Sept.)
1) Adelboden (1355 m)	81 mm (31 - 145 mm)	34 cm ( 0 - 75 cm)	28 mm ( 1.3 - 55 mm)
2) Engelberg (1018 m)	69 mm (30 - 125 mm)	22 cm ( 0 - 58 cm)	40 mm (19 - 80 mm)
3) Braunwald (1190 m)	159 mm (80 - 292 mm)	49 cm ( 7 - 95 cm)	78 mm (24 - 139 mm)
4) Montana (1495 m)	87 mm (41 - 189 mm)	47 cm ( 0 - 102 cm)	12 mm ( 1.4 - 30 mm)
5) Ulrichen (1345 m) (teilw. Reckingen)	93 mm (39 - 164 mm)	-----	17 mm ( 5 - 35 mm)
6) Saas Almagell (1680 m)	35 mm ( 7 - 69 mm)	13 cm ( 0 - 40 cm)	3.3 mm ( 0 - 15 mm)
7) Disentis (1180 m)	66 mm (17 - 119 mm)	37 cm ( 8 - 86 cm)	19 mm ( 9 - 42 mm)
8) Davos (1590 m)	67 mm (22 - 107 mm)	50 cm (21 - 98 cm)	29 mm ( 6 - 81 mm)

(Tab. 1)

9) Scuol (1295 m)	41 mm (5 - 85 mm)	29 cm (2 - 67 cm)	10 mm (0.9 - 42 mm)
10) Samedan (1705 m)	17 mm (0.7 - 40 mm)	20 cm (0 - 52 cm)	8.0 mm (0.1 - 40 mm)
11) San Bernardino (1628 m)	25 mm (1.4 - 55 mm)	19 cm (0 - 55 cm)	8.3 mm (0.9 - 23 mm)
12) Olivone ( 905 m)	30 mm (4 - 63 mm)	13 cm (0 - 29 cm)	6.0 mm (0.1 - 17 mm)
13) Camedo ( 570 m)	6.6 mm (0 - 14.8 mm)	_____	2.6 mm (0 - 13.7 mm)
14) Locarno-Monti ( 379 m)	5.1 mm (0 - 19.6 mm)	_____	3.8 mm (0 - 15.5 mm)
15) Lugano ( 276 m)	2.0 mm (0 - 17.0 mm)	_____	3.6 mm (0 - 10.7 mm)

## 2) Südstaulagen

## a) Wintermonate (Dez.-Apr.)

Kalenderdaten der 5-tägigen Südstaulagen:

1) 03.04.-07.04.75	5) 23.02.-27.02.78	9) 13.01.-17.01.85
2) 10.01.-14.01.77	6) 15.03.-19.03.79	10) 28.01.-01.02.86
3) 20.02.-24.02.77	7) 28.12.81-1.1.82	
4) 11.01.-15.01.78	8) 17.12.-21.12.83	

5-Tage-Mittel der Strömung im 500 hPa - Niveau bei den 10 Südstaulagen: SE - SW / 35 - 53 Kt.

## b) Sommermonate (Mai-Sept.)

Kalenderdaten der 5-tägigen Südstaulagen:

1) 19.09.-23.09.81	5) 01.06.-05.06.84	9) 12.06.-16.06.87
2) 23.09.-27.09.82	6) 27.07.-31.07.85	10) 16.07.-20.07.87
3) 12.05.-16.05.83	7) 14.09.-18.09.86	
4) 02.05.-06.05.84	8) 07.06.-11.06.87	

5-Tage-Mittel der Strömung im 500 hPa - Niveau bei den 10 Südstaulagen: SSW - SW / 35 - 51 Kt.

(Tab. 1)

Station	mittlere 5-tägige Niederschlagssumme und Schwankungs- breite (10 Fälle)	mittlerer 5-tägiger Schneehöhenzuwachs und Schwankungs- breite (10 Fälle)	mittlere 5-tägige Niederschlagssumme und Schwankungs- breite (10 Fälle)
	Winter (Dez.-Apr.)	Winter (Dez.-Apr.)	Sommer (Mai-Sept.)
1) Lugano ( 276 m)	124 mm (81 - 182 mm)	24 cm (0 - 74 cm)	97 mm (14 - 142 mm)
2) Locarno-Monti ( 379 m)	132 mm (87 - 183 mm)	30 cm (0 - 81 cm)	174 mm (24 - 442 mm)
3) Camedo ( 570 m)	165 mm (85 - 259 mm)	-----	246 mm 246 mm
4) Olivone ( 905 m)	108 mm (76 - 149 mm)	67 cm (28 - 106 cm)	136 mm (18 - 306 mm)
5) San Bernardino (1628 m)	106 mm (71 - 175 mm)	85 cm (45 - 116 cm)	142 mm (24 - 295 mm)
6) Samedan (1705 m)	41 mm (16 - 66 mm)	44 cm (0 - 88 cm)	42 mm (11 - 94 mm)
7) Scuol (1295 m)	29 mm ( 4 - 52 mm)	19 cm (0 - 35 cm)	34 mm ( 7 - 84 mm)
8) Davos (1590 m)	20 mm (0.4- 38 mm)	11 cm (0 - 29 cm)	33 mm ( 7 - 72 mm)
9) Disentis (1180 m)	48 mm (10 - 128 mm)	36 cm (0 - 139 cm)	74 mm ( 7 - 177 mm)
10) Saas Almagell (1680 m)	46 mm (12 - 103 mm)	39 cm (0 - 127 cm)	31 mm ( 6 - 69 mm)
11) Ulrichen (1345 m) (teilw. Reckingen)	57 mm (13 - 125 mm)	35 cm (0 - 80 cm)	43 mm (11 - 108 mm)
12) Montana (1495 m)	19 mm (3.5 - 39 mm)	8.5 cm (0 - 21 cm)	19 mm ( 6 - 34 mm)
13) Braunwald (1190 m)	28 mm (0.3 - 107 mm)	-----	50 mm (2.6 - 120 mm)
14) Engelberg (1018 m)	22 mm (3.8 - 62 mm)	7.5 cm (0 - 27 cm)	34 mm (3.1 - 83 mm)
15) Adelboden (1355 m)	22 mm ( 0 - 37 mm)	-----	23 mm (12 - 49 mm)

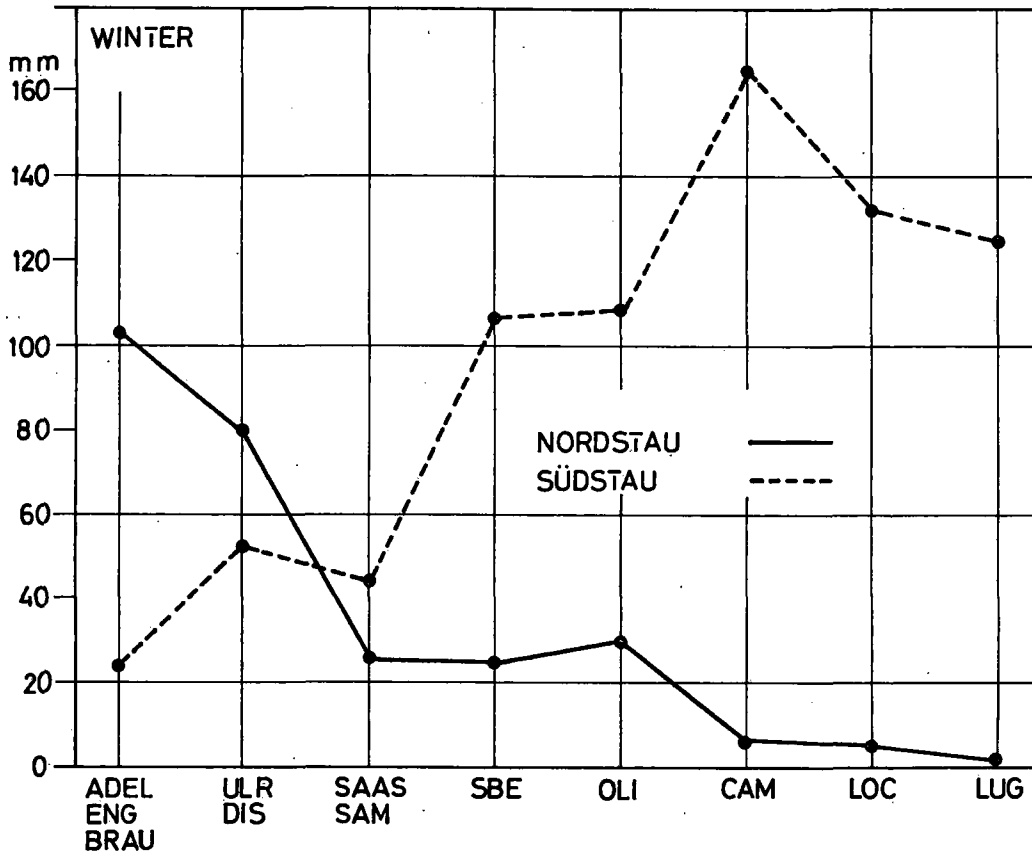


Abb. 5 Mittlere 5-tägige Niederschlagssummen bei Stau-Witterungslagen im Winter. (—) Nordstaulagen, (-----) Südstaulagen. Stationen s. Tab. 1

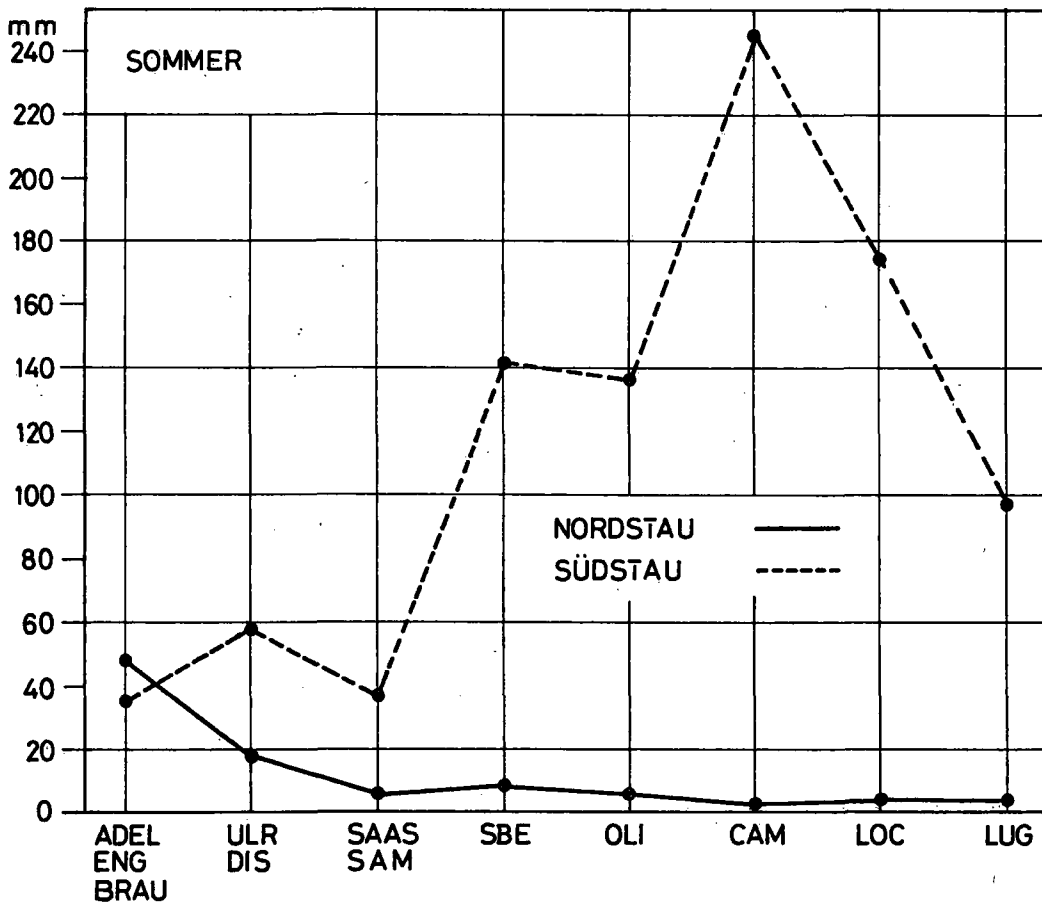


Abb. 6 Mittlere 5-tägige Niederschlagssummen bei Stau-Witterungslagen im Sommer (—) Nordstaulagen, (-----) Südstaulagen. Stationen s. Tab. 1

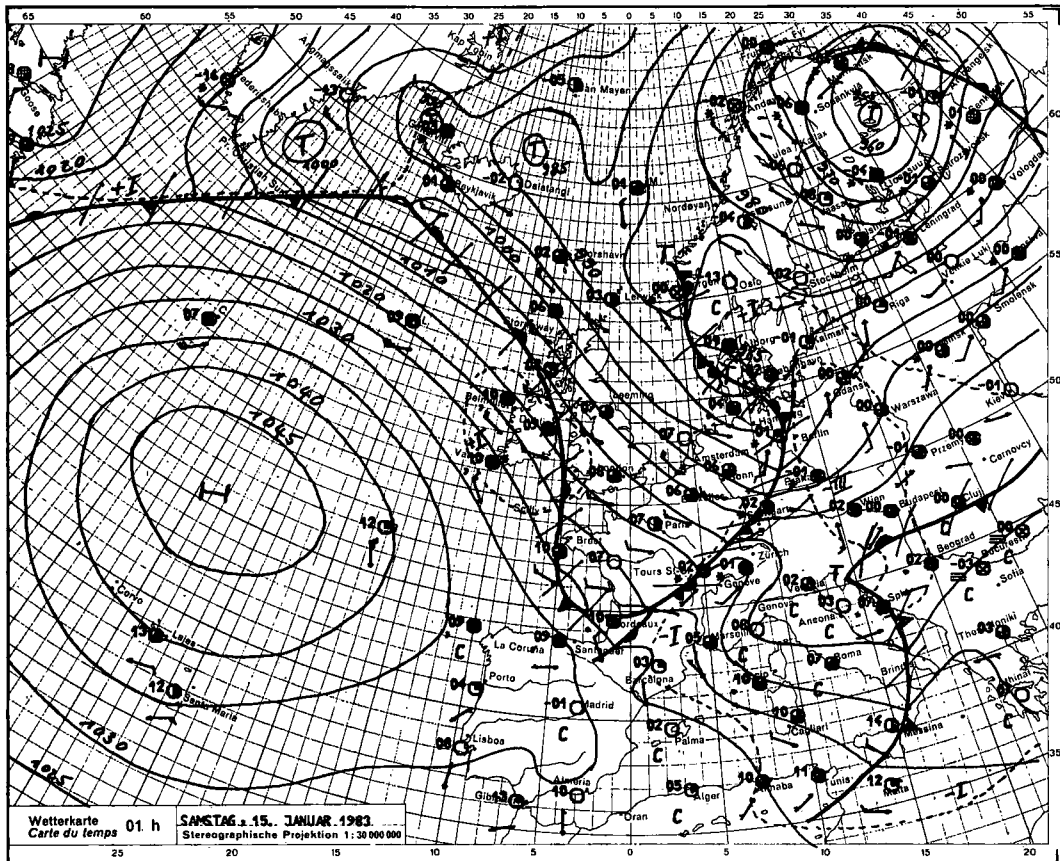


Abb. 7a Nordweststaulage, Bodenkarte 15.1.1983

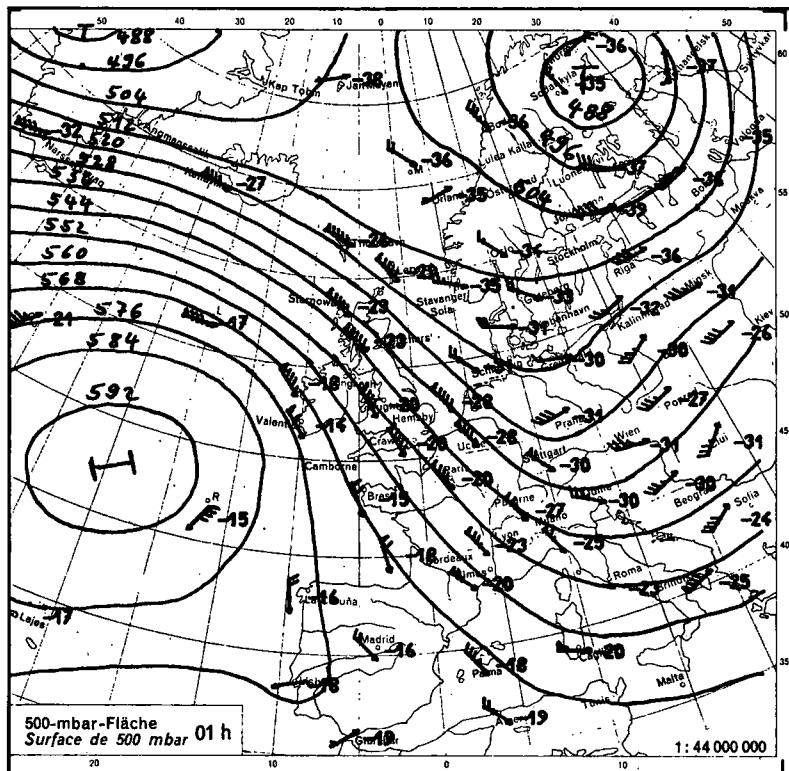


Abb. 7b Nordweststaulage, Höhenkarte 15.1.1983

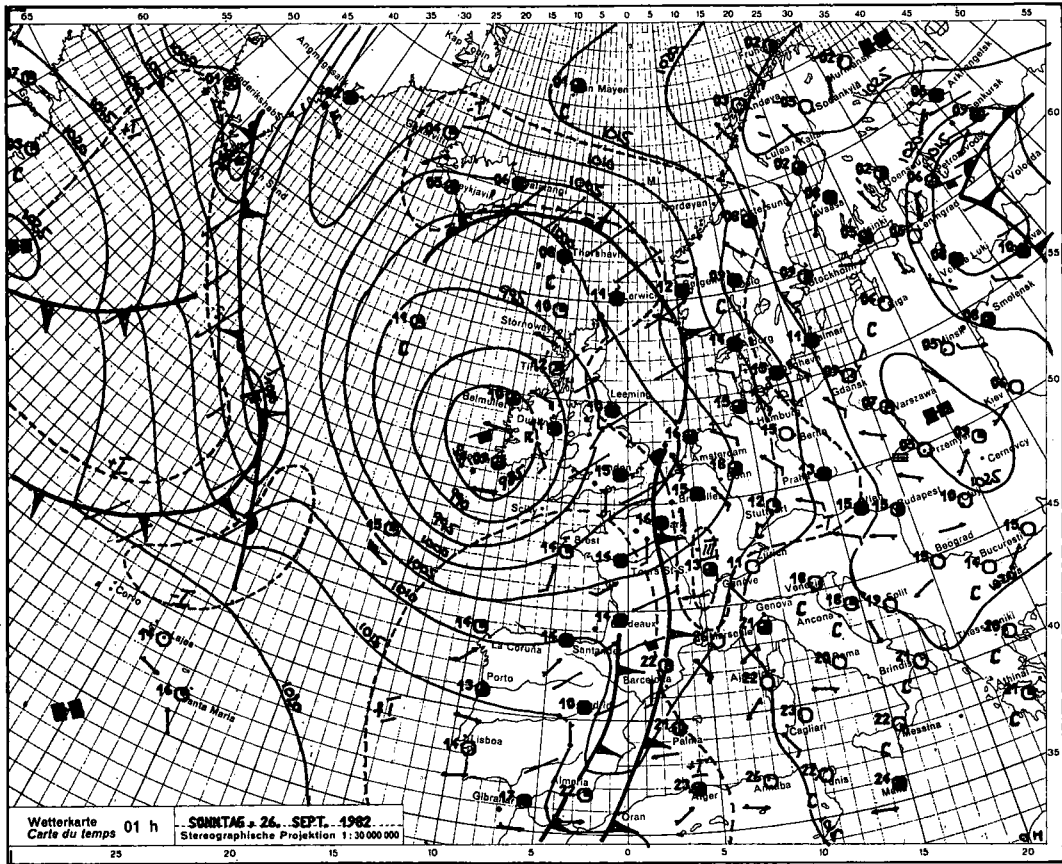


Abb. 8a Südstaulage, Bodenkarte 26.9.1982

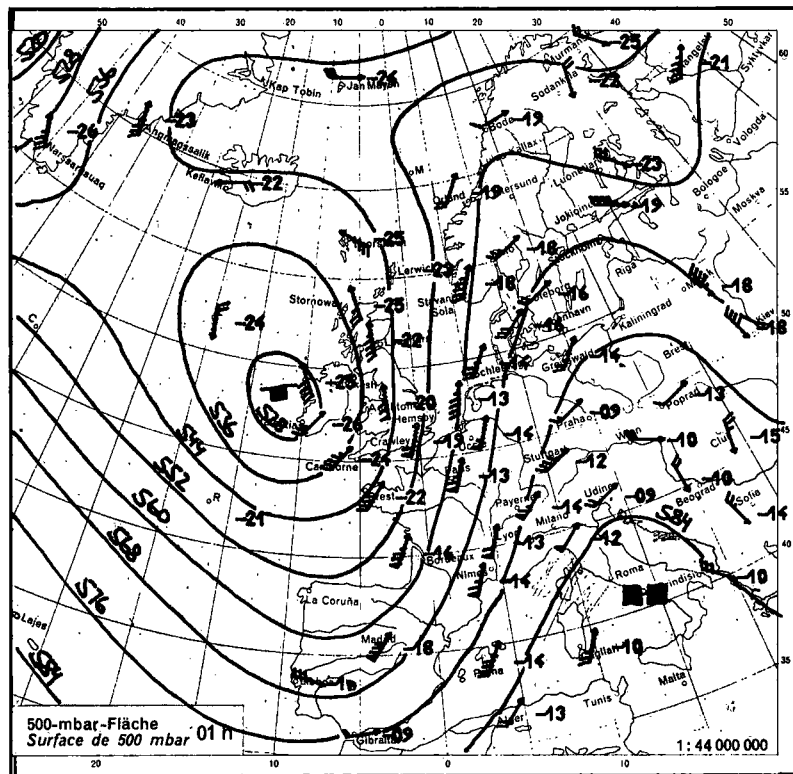


Abb. 8b Südstaulage, Höhenkarte 26.9.1982



Im weiteren wird ein zweiter Prädiktor ( $P_2$ ) verwendet, der bereits mehrmals in der Literatur beschrieben wurde (2, 3): es ist dies der Wasserdampfdruck. Er beinhaltet das Produkt aus Mischungsverhältnis und Windgeschwindigkeit in 850, 700 und 500 hPa. Der Wasserdampfdruck ist ein Mass für den Nachschub von Wasserdampf, der für die Niederschlagsproduktion während mehrerer Stunden oder des ganzen Tages benötigt wird; dieser Nachschub nimmt mit zunehmender Windgeschwindigkeit zu. Ausserdem verstärkt sich der orographische Hebungseffekt mit zunehmender Windgeschwindigkeit. Der zweite Prädiktor lautet:

$$P_2 = \frac{(m \cdot f)_{850} + (m \cdot f)_{700} + (m \cdot f)_{500}}{3}$$

m = Mischungsverhältnis (g/kg)  
f = Windgeschwindigkeit (Kt.)

Der erste Prädiktor  $P_1$  stellt hauptsächlich die konvektive Komponente, der zweite Prädiktor  $P_2$  die advective Komponente des Niederschlages dar. Für Südostlagen auf der Alpensüdseite werden ebenfalls die Prädiktoren  $P_1$  und  $P_2$  verwendet.

Der Niederschlagsindex besteht nun aus einer Kombination der beiden Prädiktoren  $P_1$  und  $P_2$ . Dies führt zu einem besseren Resultat bezüglich der Niederschlagsprognose als die Verwendung der Prädiktoren  $P_1$  und  $P_2$  einzeln.

Die statistische Grundlage bilden für das Winter- und Sommerhalbjahr je etwa 100 Fälle mit einer Windrichtung in 500 hPa aus West über Nordwest bis Nordnordost. Niederschlagsdaten wurden von folgenden 41 Stationen der Alpennordseite und der Alpen der Schweiz verwendet:

Le Sentier	Biel	Glarus
La Chaux-de-Fonds	Huttwil	Sargans
Genève-Cointrin	Aarau	Appenzell
Lausanne	Luzern	Sion-Aérodrome
Neuchâtel	Adelboden	Leukerbad
Yverdon	Interlaken	Zermatt
Fribourg	Engelberg	Fiesch
Montreux-Clarens	Altdorf	Plantahof-Landquart
Monthey	Zürich	Davos
Gsteig	Rapperswil	Disentis
Basel	Schaffhausen	Splügen-Dorf
Mormont	Güttingen	St. Moritz
Kilchberg (BL)	Heiden	Scuol
Bern	Einsiedeln	

Für die Alpensüdseite wurden ebenfalls für den Winter und den Sommer je etwa 100 Fälle mit einer Windrichtung in 500 hPa aus Südost über Süd bis Westsüdwest und Niederschlagsdaten von folgenden 25 Stationen der Alpensüdseite (Tessin und Misox) verwendet:

Airolo	Bellinzona	Brissago
Piotta	Locarno-Magadino	Coldrerio
Chiggiogna/Faido	Frasco	Scudellate
Olivone	Vira	Monte Brè
Biasca	Cevio	Lugano
San Bernardino	Bosco-Gurin	Crana-Torricella
Mesocco	Mosogno	Ponte Tresa
Braggio	Camedo	
Grono	Locarno-Monti	

Für die Bestimmung der Parameter des Niederschlagsindex wurden Radiosondendaten von Stationen in Alpennähe und stromaufwärts aufgrund der 700 hPa-Verlagerung verwendet.

Als statistisches Verfahren für die Niederschlagsprognose eignet sich am besten eine Diskriminanzanalyse der Prädiktoren. Der Niederschlagsindex wird als Trennformel dargestellt, die in optimaler Weise die Fälle mit Niederschlag und diejenigen ohne Niederschlag unterscheidet. Da der zweite Prädiktor die Windgeschwindigkeit enthält und diese klimatologisch lognormal verteilt ist, wurde in der Trennformel und in der graphischen Darstellung (Abb. 9)  $\log P_2$  verwendet.

Die Trennformeln für den Niederschlagsindex lauten:

1. für die Alpennordseite und die Alpen (West- bis Nordlagen):

- a) Wintermonate (Oktober bis April):

$$I = P_1 + 16.78 \cdot \log P_2 - 44.7 \quad (P_1, P_2: \text{Prädiktoren, s. oben})$$

- b) Sommermonate (Mai bis September):

$$I = P_1 + 12.11 \cdot \log P_2 - 39.4$$

2. für die Alpensüdseite (Südost- bis Südwestlagen):

ganzes Jahr:

$$I = P_1 + 39.51 \cdot \log P_2 - 85.8$$

Dabei bedeuten negative Werte von I für die 24-stündige Prognose (06 - 06 UTC): kein wesentlicher Niederschlag (Gebietsmittel  $\leq 0.4$  mm); positive Werte von I bedeuten Niederschlag (Gebietsmittel  $\geq 0.5$  mm).

Beim Niederschlagsindex muss folgende Einschränkung gemacht werden: an Hitzetagen mit einer 850 hPa-Temperatur von  $\geq 16^\circ$  kann er in der ganzen Schweiz nicht verwendet werden. Die Niederschlagsbereitschaft ist an solchen Tagen stark vermindert, andererseits aber nicht so klein, dass man prinzipiell keinen Regen voraussagen könnte (Grund vermutlich hohe Wolkenbasis, Verdunstung der Regentropfen in den unteren Schichten).

Zusätzlich zur Trennung kein Niederschlag/Niederschlag ist noch eine weitere Trennung von zwei Gruppen möglich (Abb. 9), nämlich zwischen einer Gruppe 2, in welcher nur Niederschläge von einer Menge  $< 15$  mm/Tag (Gebietsmittel der Alpennordseite und der Alpen) vorkommen und einer Gruppe 3, in welcher auch Niederschlagsmengen von  $\geq 15$  mm/Tag vorkommen können; und zwar beträgt in der Gruppe 3 der Anteil von Tagen mit Niederschlag  $\geq 15$  mm 25% der Gesamtzahl von Niederschlagstagen. Für die Gruppe 2 lässt sich damit die quantitative Prognose stellen, dass die Niederschlagsmenge im Gebietsmittel sehr wahrscheinlich unter 15 mm/Tag sein wird.

Für die Trennung der Gruppen 2 und 3 lässt sich ebenfalls eine Trennformel berechnen. Sie lautet (für das ganze Jahr):

$$I' = P_1 + 42.00 \cdot \log P_2 - 101.2$$

Dabei bedeuten negative Werte von I' für die 24-stündige Prognose: Niederschlag von einer Menge von 0.5-14.9 mm/Tag im Gebietsmittel; positive Werte von I' bedeuten: Niederschlag jeder Menge. Indexwerte im Bereich 3 sind eine notwendige Bedingung für Niederschlagsmengen über 15 mm, eine hinreichende Bedingung sind sie jedoch nicht.

Auch für die Alpensüdseite ist noch eine weitere Trennung bezüglich der Niederschlagsmenge möglich. Hier erwies sich wegen der klimatologisch grösseren Niederschlagsmengen ein Schwellenwert von 40 mm als günstig. In der Gruppe 2 können nahezu nur Niederschläge von einer Menge  $< 40$  mm/Tag vor (Gebietsmittel der Alpensüdseite), in der Gruppe 3 können auch Niederschlagsmengen von  $\geq 40$  mm/Tag vorkommen; und zwar beträgt in der Gruppe 3 der Anteil von Tagen mit Niederschlägen  $\geq 40$  mm 40% der Gesamtzahl von Niederschlagstagen. Für die Gruppe 2 lässt sich damit voraussagen, dass die Niederschlagsmenge im Gebietsmittel sehr wahrscheinlich unter 40 mm/Tag sein wird.

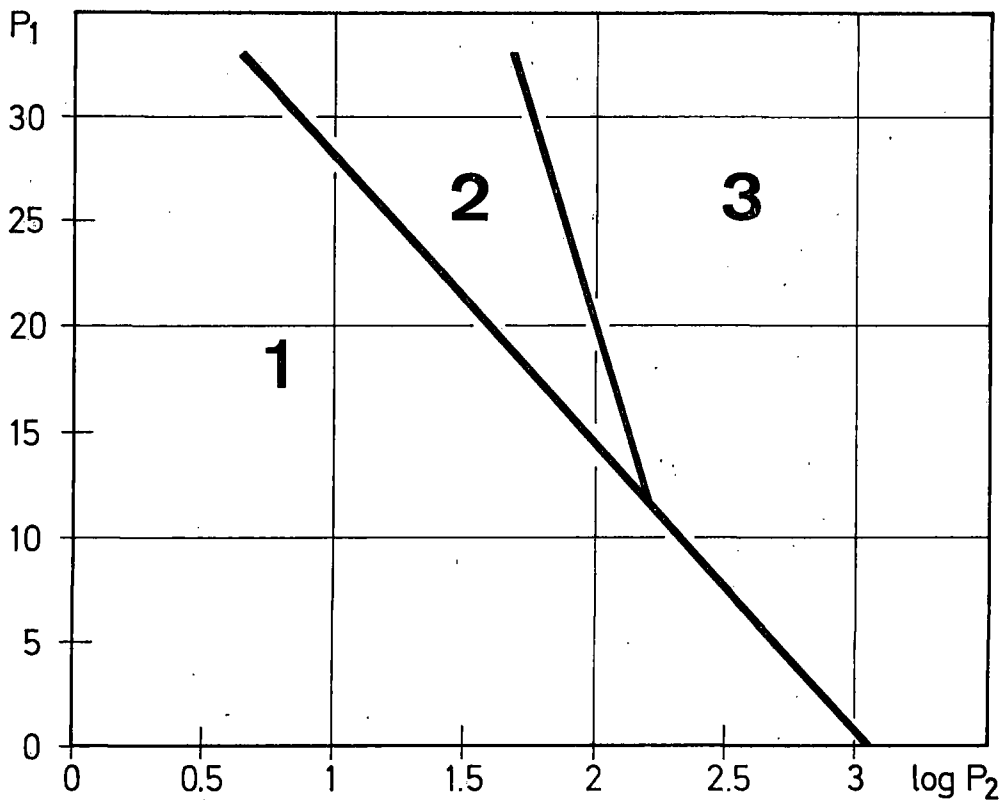


Abb. 9 Trennung von 3 Niederschlagsgruppen (Alpennordseite und Alpen, Winter):  
 Gruppe 1 kein Niederschlag ( $\leq 0.4$ mm/Tag),  
 Gruppe 2 Niederschlag (0.5 - 14.9mm/Tag),  
 Gruppe 3 Niederschlag jeder Menge

Die Trennformel für die Alpensüdseite (Trennung Gruppe 2/Gruppe 3, ganzes Jahr) lautet:

$$I' = P_1 + 25.36 \cdot \log P_2 - 70$$

Dabei bedeuten negative Werte von  $I'$  für die 24-stündige Prognose: Niederschlag von einer Menge von 0.5-39.9 mm/Tag im Gebietsmittel; positive Werte von  $I'$  bedeuten: Niederschlag jeder Menge. Auch für die Alpensüdseite gilt: Indexwerte im Bereich 3 sind eine notwendige, jedoch keine hinreichende Bedingung für Niederschlagsmengen über 40 mm.

Im weiteren wurde für die Alpensüdseite folgende notwendige Bedingung für sehr grosse Niederschlagsmengen ( $\geq 100$  mm/Tag) gefunden: Niederschlagsmengen über 100 mm/Tag im Gebietsmittel treten nahezu nur bei Werten des Prädiktors  $P_2$  von  $\geq 150$  auf. Da  $P_2$  den Wasserdampffluss darstellt, bedeutet dies, dass für sehr grosse Niederschlagsmengen ein hoher Wasserdampfgehalt, zusammen mit einer hohen Anströmgeschwindigkeit, besonders auch in den Niveaus 850 und 700 hPa erforderlich ist. Prognostisch bedeutet dies: bei Werten des Prädiktors  $P_2$  von  $< 150$  ( $\log P_2 < 2,176$ ) wird die Niederschlagsmenge im Gebietsmittel sehr wahrscheinlich unter 100 mm/Tag sein.

Gütekontrolle des Niederschlagsindex

Das Grundlagenmaterial der Untersuchung über Nord- und Südtaulagen (Stichproben) wurde daraufhin geprüft, welche Trefferraten bei einer praktischen Anwendung zu erwarten wären. Dabei wurden die Stichproben durch Tests mit unabhängigem Datenmaterial ergänzt.

Trefferraten aufgrund von je ca. 100 Fällen Stichproben und Tests:

Trennung kein Niederschlag/Niederschlag (Gruppen 1/2; Schwellenwert 0.5 mm):

Alpennordseite und Alpen	Winter	Stichprobe	80%	Test	80%
	Sommer	Stichprobe	83%	Test	82%
Alpensüdseite	Winter	Stichprobe	85%	Test	87%
	Sommer	Stichprobe	84%	Test	83%

Ferner wurden Versuchsprognosen mit dem Niederschlagsindex während eines Jahres (Okt. 86 - Sept. 87) erstellt und kontrolliert und diese mit anderen Niederschlagsprognosen (Deutscher Wetterdienst, Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage) verglichen.

Trefferraten aufgrund von 183 Prognosen für die Alpennordseite und die Alpen und von 51 Prognosen für die Alpsüdseite:

Trennung kein Niederschlag/Niederschlag (Gruppen 1/2; Schwellenwert 0.5 mm):

	Niederschlagsindex	DWD	EZMW
Alpennordseite und Alpen	76%	78%	76%
Alpensüdseite	90%	86%	88%

Die quantitative Prognose in der Gruppe 2 (Aussage Niederschlagsmenge <15 mm auf der Alpennordseite und in den Alpen und <40 mm auf der Alpsüdseite) trat in 100% der 80 Fälle (Alpennordseite und Alpen) und in 96% der 28 Fälle (Alpensüdseite) ein.

Für die Computerberechnungen möchte ich Herrn H. Bantle, für die Anfertigung der Abbildungen Herrn U. Reichmuth und Frau I. Baumberger bestens danken.

Literatur

- (1) COURVOISIER, H.W. 1981 : Starkniederschläge in der Schweiz in Abhängigkeit vom Druck-, Temperatur- und Feuchtefeld. Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Nr. 42
- (2) BOSSOLASCO, M. 1971 : Ueber die Wetterlagen, die in den italienischen Alpen starke und ausgedehnte Niederschläge hervorrufen. Annalen der Meteorologie (Neue Folge); Nr. 5  
DAGNINO, I. und  
FLOCCHINI, G.
- (3) HAVLIK, D. 1975 : Ein Beitrag zum Jahresgang der vertikalen Niederschlagsverteilung in den Alpen. Rivista italiana di Geofisica I, Verhandlungen ITAM St. Vincent

Adresse des Verfassers: Dr. H.W. Courvoisier  
Schweizerische Meteorologische Anstalt  
Postfach  
CH-8044 Zürich

- Nr. 1a Uttinger H., Die Niederschlagsstunden in Zürich.  
22 Seiten, 1962
- Nr. 1b Ambrosetti Fl., Die Niederschlagsstunden in Locarno-Monti.  
12 Seiten, 1965
- Nr. 2 Thams J.C., unter Mitarbeit von A. Aufdermaur, P. Schmid und E. Zenone.  
Die Ergebnisse des Grossversuches III zur Bekämpfung des Hagels im  
Tessin in den Jahren 1957-1963.  
32 Seiten, 1966 (vergriffen)
- Nr. 3 Grütter M., Die bemerkenswertesten Niederschläge der Jahre  
1948-1964 in der Schweiz.  
20 Seiten, 1966
- Nr. 4 Schram K. und Thams J.C., [Redaktion], 9. Internationale Tagung für Alpine  
Meteorologie in Brig und Zermatt, 14.-17. September 1966.  
366 Seiten, 1967
- Nr. 5 Ambrosetti Fl. und Thams J.C., Die direkte Sonnenstrahlung auf die Flächen eines  
nach Süden orientierten Würfels ohne Grundfläche in Locarno-Monti.  
16 Seiten, 1967
- Nr. 6 Schram K. und Thams J.C., Der Tagesgang der Abkühlungs- und  
Aufwärmungsgrösse in Locarno-Monti.  
20 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 7 Ambrosetti Fl., Schram K. und Thams J.C., Die Intensität der direkten  
Sonnenstrahlung in verschiedenen Spektralbereichen in  
Locarno-Monti.  
13 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 8 Uttinger H., Die Zahl der Tage mit Windspitzen von mindestens  
20 Metern pro Sekunde in Zürich (1934-1967).  
22 Seiten, 1968
- Nr. 9 Mäder F., Untersuchung über die Windverhältnisse in Bodennähe  
bei verschiedenen Wetterlagen.  
42 Seiten, 1968
- Nr. 10 Schram K., Die Windverhältnisse in der bodennahen Luftschicht  
an einem Hang von etwa 25 Grad Neigung.  
13 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 11 Schüepp M., Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955 bis 1967.  
44 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 12 Ackermann P., Die neue Radiosondenstation Payerne  
der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt.  
36 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 13 Junod A., Contribution à la méthodologie granulométrique  
des aérosols amicroscopiques.  
70 Seiten, 1969
- Nr. 14 Joss J., Schram K., Thams J.C., Waldvogel A., Untersuchungen zur quantitativen  
Bestimmung von Niederschlagsmengen mittels Radar.  
37 Seiten, 1969 (vergriffen)
- Nr. 15 Courvoisier H.W., Die quantitative Niederschlagsprognose winterlicher  
zyklonaler Witterungslagen auf der Alpennordseite der Schweiz.  
15 Seiten, 1970 (vergriffen)

- Nr. 16 Schram Karin und Thams J.C., Die kurzweilige Globalstrahlung und die diffuse Himmelsstrahlung auf dem Flugplatz Zürich-Kloten. 18 Seiten, 1970
- Nr. 17 Kasser P., Schram Karin und Thams J.C., Die Strahlungsverhältnisse im Gebiet der Baye de Montreux. 46 Seiten, 1970
- Nr. 18 Gutermann Th., Vergleichende Untersuchungen zur Föhnhäufigkeit im Rheintal zwischen Chur und Bodensee. 68 Seiten, 1970
- Nr. 19 Ginsburg Theo, Die statistische Auswertung von langjährigen Temperaturreihen. 42 Seiten, 1970
- Nr. 20 Primault B., Du risque de gel et de sa prévision. 20 Seiten, 1971
- Nr. 21 Piaget A., Utilisation de l'ozone atmosphérique comme traceur des échanges entre la troposphère et la stratosphère. 72 Seiten, 1971
- Nr. 22 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen Zentralalpen und Voralpen. 24 Seiten, 1971
- Nr. 23 Kirchhofer W., Abgrenzung von Wetterlagen im zentralen Alpenraum. 72 Seiten, 1971
- Nr. 24 Primault B., Le climat, élément du plan d'aménagement. Das Klima, eine der Grundlagen der Landesplanung. The climate as an element of the land management. 28 Seiten und eine Karte, 1971
- Nr. 25 Fröhlich C. und Wierzejewski, Die verschiedenen Messverfahren zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit dem Kompensationspyheliometer und die Entwicklung eines verbesserten Modells. 36 Seiten, 1972
- Nr. 26 Bouët M., Le foehn du Valais. 12 Seiten, 1972
- Nr. 27 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen Zentralalpen und Voralpen 32 Seiten, 1972
- Nr. 28 Catzeflis J., Primault B., Strehler H., Analyse de la pluviosité dans le Valais central. 15 Seiten, 1972
- Nr. 29 Courvoisier H.W., Die Niederschlagswirksamkeit markanter, hochreichender Kaltlufteinbrüche im Sommer in der Schweiz. 11 Seiten, 1973
- Nr. 30 Sevrük B., Erfahrungen mit Totalisatoren mit schiefen, geneigten und bodenebenen Auffangflächen im Einzugsgebiet der Baye de Montreux. Einfluss der Temperatur auf die Messung des Niederschlages mit Totalisator. 44 Seiten, 1973
- Nr. 31 Strehler H., Beziehung zwischen Witterung und Zuckerrübenmerkmalen im Spätsommer. 20 Seiten, 1975
- Nr. 32 Courvoisier H.W., Katalog objektiv-statistischer Wetterprognosen für die Alpensüdseite und das Oberengadin. 24 Seiten, 1975
- Nr. 33 Primault B., Essais d'évaluation climatologique du risque de gel. 28 Seiten, 1975

- Nr. 34 Kirchhofer W., Stationsbezogene Wetterlagenklassifikation  
50 Seiten, 1976
- Nr. 35 Piaget A., L'évolution orageuse au nord des Alpes  
et la tornade du Jura vaudois du 26 août 1971  
114 Seiten, 1976
- Nr. 36 Bouët M., Contribution à l'étude de la variation diurne  
de pression en Suisse romande  
23 Seiten, 1976
- Nr. 37 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen  
Zentralalpen und Voralpen  
60 Seiten, 1976
- Nr. 38 Primault B., Diagrammes psychrométriques  
Quiby J., différenciés en altitude  
36 Seiten, 1977
- Nr. 39 Courvoisier H.W., Katalog objektiv-statistischer Wetterprognosen  
für die Alpennordseite, das Wallis sowie  
Nord- und Mittelbünden  
58 Seiten, 1978
- Nr. 40 Gutermann Th., 15. Internationale Tagung für alpine Meteorologie,  
Mäder F., Grindelwald 19.-23. September 1978, 332 Seiten, 1978  
(Redaktion) Tagungsbericht 1. Teil
- Nr. 41 Gutermann Th., 15. Internationale Tagung für alpine Meteorologie,  
Mäder F., Grindelwald 19.-23. September 1978, 1979  
(Redaktion) Tagungsbericht 2. Teil
- Nr. 42 Courvoisier H.W., Starkniederschläge in der Schweiz in Abhängigkeit  
vom Druck-, Temperatur- und Feuchtefeld  
59 Seiten, 1981
- Nr. 43 Urfer Charlotte, Mittlere Temperatur- und Windverteilung im  
Dischmatal bei Davos bei typischen sommerlichen  
Witterungslagen  
32 Seiten, 1981
- Nr. 44 J.-D. Altherr, Prévision objective des hauteurs de précipitations  
M. Dupanloup, et de l'ensoleillement relatif au moyen de l'analyse  
Y. Ganter, discriminante  
E. Junet, 43 Seiten, 1982
- Nr. 45 Courvoisier H.W., Abgeschlossene Höhentiefs und ihre Wetter-  
auswirkungen in der Schweiz  
44 Seiten, 1984
- Nr. 46 Perret R., Une classification des situations météorologiques  
à l'usage de la prévision  
127 Seiten, 1987
- Nr. 47 Courvoisier H.W., Regionale Wetterauswirkung und Prognose von Staulagen in der Schweiz  
22 Seiten, 1988

