

42

## **Starkniederschläge in der Schweiz in Abhängigkeit vom Druck-, Temperatur- und Feuchtefeld**

**von H.W. Courvoisier**

551.577.37: 551.509.324.2 (494)

SZ ISSN 0080-7346

# **Starkniederschläge in der Schweiz in Abhängigkeit vom Druck-, Temperatur- und Feuchtefeld**

**von H.W. Courvoisier**

Schweizerische Meteorologische Anstalt, Zürich

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Zusammenfassung	3
2. Einleitung	4
3. Definition eines Starkniederschlags	4
4. Häufigkeit der Starkniederschläge	4- 8
5. Jahresgang der Starkniederschläge	8
6. Geographische Verteilung der Starkniederschläge	8-12
7. Flächenausdehnung der Starkniederschläge	12
8. Niederschlagsverteilungen nach GRUETTER	12-13
9. Unterteilung der Starkniederschläge in 4 Typen	14
10. Synoptische Analyse der Starkniederschläge Wetterlagen, bei denen Starkniederschläge auftreten	14-42
11. Starkniederschläge in Abhängigkeit von Parametern des Druck-, Temperatur- und Feuchtefeldes	42
12. Tabellen der Prädiktoren	42-51
13. Bemerkungen zu den einzelnen Prädiktoren	52-53
14. Möglichkeiten der Prognose von Starkniederschlägen	54-55
15. Literatur	56

### Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden Starkniederschläge in der Schweiz (ausgenommen Alpensüdseite) vor allem vom synoptischen Gesichtspunkt her untersucht. Es handelt sich um meist schadenverursachende Niederschläge von  $\geq 70$  mm Tagesmenge mit einer Flächenausdehnung von  $\geq 500$  km<sup>2</sup>.

Nach einer einleitenden klimatologischen Uebersicht über die Starkniederschläge in der Schweiz seit Beginn des Jahrhunderts wird für 59 Starkniederschläge deren Abhängigkeit von Parametern des Druck-, Temperatur- und Feuchtefeldes untersucht. Die daraus resultierenden Möglichkeiten für eine Prognose von Starkniederschlägen werden dargelegt.

### Résumé

Dans le présent mémoire, on a étudié les fortes précipitations tombées en Suisse (à l'exception du sud des Alpes) et cela principalement sous l'angle de la météorologie synoptique. Il s'agit en majeure partie de précipitations ayant causé des dégâts matériels. On n'a retenu que les cas où l'on avait mesuré au moins 70 mm en 24 heures et cela sur au moins 500 km<sup>2</sup>.

Ce mémoire débute par un aperçu climatologique des fortes précipitations enregistrées en Suisse depuis le début du siècle. On en retient 59 cas qui sont analysés en fonction de leurs relations avec les champs de pression, de température et d'humidité. On montre enfin les possibilités de prévoir les fortes précipitations qui en découlent.

### Riassunto

Nel presente lavoro vengono esaminate le precipitazioni intense in Svizzera (salvo quelle a Sud delle Alpi), in modo speciale dal punto di vista sinottico. Si tratta nella maggior parte dei casi di precipitazioni provocanti danni e con una quantità giornaliera superiore ai 70 mm su di un'estensione di oltre 500 km<sup>2</sup>.

Dopo un'introduzione climatologica sulle precipitazioni intense in Svizzera dall'inizio del secolo, viene analizzata per 59 casi con precipitazioni intense, la dipendenza da parametri della pressione barometrica, della temperatura e dell'umidità. Vengono poi esposte le diverse possibilità per una previsione sulle precipitazioni intense, risultati da questa analisi.

### Summary

This note analyses mainly from a synoptical point of view the occurrences of heavy precipitations in Switzerland (the part of the country south of the Alps has been excluded). Only precipitations of at least 70 mm a day and covering an area of minimum 500 km<sup>2</sup> have been considered. These precipitations have generally caused damages.

Starting with a climatological survey of the heavy precipitations in Switzerland from the beginning of this century, this work examines 59 cases of heavy precipitations and their dependence on pressure, temperature and humidity. The possibilities of forecasting heavy precipitations are assessed.

## Einleitung

Sehr starke, schadenverursachende Niederschläge bilden ein wichtiges Problem der meteorologischen Prognose. Ziel einer umfangreichen synoptischen Untersuchung von 59 Starkniederschlägen in der Schweiz ist es, dieses Problem einer Lösung näherzubringen.

Die synoptischen Entstehungsbedingungen von Starkniederschlägen wurden während vielen Jahren (1910-1964) in den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt behandelt. In einer abschliessenden Zusammenfassung stellt GRUETTER [1] fest, dass es zwar typische Wetterlagen für Starkniederschläge in der Schweiz gibt - er nennt 25 Wetterlagen - , dass jedoch bei allen diesen Wetterlagen oft nur Niederschläge geringer bis mittlerer Ergiebigkeit auftreten und dass somit diese Wetterlagen keine hinreichende Bedingung für Starkniederschläge darstellen. Es erschien daher angebracht, erneut die synoptischen Entstehungsbedingungen für Starkniederschläge eingehend zu untersuchen.

## Definition eines Starkniederschlages

Hauptkriterien eines Starkniederschlages sollen sein: Niederschläge von aussergewöhnlicher Ergiebigkeit und Niederschläge, die im allgemeinen schadenverursachend sind. Es kommen prinzipiell mehrere Schwellenwerte der Tagesniederschlagsmenge in Betracht. Wäre z.B. die 100 mm - Grenze geeignet? Zu dieser Grenze ist zu sagen, dass 100 mm auf der Alpennordseite und im Alpengebiet der Schweiz so selten überschritten werden, dass synoptisch-statistische Aussagen nicht möglich sind. Würde man die 50 mm - Grenze wählen, so wären die Kriterien des Aussergewöhnlichen und des Schadenverursachens für den Alpennordhang nicht erfüllt. Es wurde daher als Kompromiss zwischen diesen beiden Grenzen der Schwellenwert von 70 mm gewählt.

Ausserdem wurde eine Mindestfläche von  $500 \text{ km}^2$ , über die sich der Starkniederschlag erstrecken muss, gesetzt. Vom synoptischen Standpunkt aus wäre es nicht sinnvoll, auch die lokalen Starkniederschläge zu verwenden, da diese z.B. im Sommer bei jeder flachen Druckverteilung und leichter Labilität oder zu jeder Jahreszeit, durch lokal-orographische Effekte verursacht, auftreten können. Die Verwendung der lokalen Starkniederschläge würde die Möglichkeit einer Prognosemethode von vornherein stark erschweren. Die Mindestfläche von  $500 \text{ km}^2$  kann eine zusammenhängende Fläche oder die Summe von getrennten Einzelflächen sein.

## Häufigkeit der Starkniederschläge

Tab.1 zeigt alle Starkniederschläge ( $\geq 70 \text{ mm/Tag}$ , Fläche  $\geq 500 \text{ km}^2$ ), die im Zeitraum 1901 - 1979 auf der Alpennordseite, im Wallis und in Graubünden (ohne südliche Täler) aufgetreten sind. In der ersten Jahreshälfte 1980 sind keine weiteren Starkniederschläge dazugekommen.

Die Gesamtzahl der Starkniederschläge 1901 - Jun 1980 beträgt 131 Fälle (= 1.65 Fälle pro Jahr). In der ersten Hälfte dieser Zeit (1901 - Sep 1940) traten 63 Fälle, in der zweiten Hälfte (Okt 1940 - Jun 1980) 68 Fälle auf.

Die Häufigkeiten in den einzelnen Jahrzehnten waren:

1901 - 1910 : 16 Fälle	1941 - 1950 : 10 Fälle
1911 - 1920 : 13 "	1951 - 1960 : 19 "
1921 - 1930 : 21 "	1961 - 1970 : 16 "
1931 - 1940 : 14 "	Jul 1970 - Jun 1980 : 23 "
	(6 Monate übergreifend)

Tab. 1

Starkniederschläge ( $\geq 70$  mm/Tag) auf der Alpennordseite, im Wallis und in Graubünden (ohne südliche Täler) 1901 - 1979 (Flussgebiete Rhein, Rhone, Inn)

Datum	Geographischer Schwerpunkt	Flächenausdehnung der Isohyete 70 mm/Tag in km <sup>2</sup> und in Prozent der Gesamtfläche (37'500 km <sup>2</sup> )	
1) 5.04.1901	Kt. Schwyz	1'050 km <sup>2</sup>	(3 %)
2) 15.06.1901	Hinterrheingebiet	1'950 "	(5 %)
3) 2.08.1901	Kt. Glarus	2'350 "	(6 %)
4) 17.05.1902	regional (ohne Schwerpunkt)	550 "	(1 %)
5) 1.05.1903	Vorderrheingebiet	1'500 "	(4 %)
6) 5.05.1905	Oberwallis	1'450 "	(4 %)
7) 19.05.1906	Toggenburg/Thurtal	3'100 "	(8 %)
8) 20.05.1906	Zürichsee	1'100 "	(3 %)
9) 7.11.1906	Vorderrheingebiet	3'550 "	(9 %)
10) 16.10.1907	Vorderrheingebiet, Urserental	1'300 "	(3 %)
11) 23.05.1908	Oberes Reusstal	5'900 "	(16 %)
12) 20.07.1908	Zürcher Oberland	600 "	(2 %)
13) 30.08.1908	Tiefencastel, Schanfigg	2'100 "	(6 %)
14) 18.01.1910	Waadtländer Jura	1'700 "	(5 %)
15) 19.01.1910	Waadtländer Jura, Kt. Glarus	5'050 "	(13 %)
16) 14.06.1910	zentraler und östlicher Alpennordhang	9'300 "	(25 %)
17) 21.09.1911	Lugnez	700 "	(2 %)
18) 6.10.1911	Lugnez/Safiental	1'300 "	(3 %)
19) 13.06.1912	Vierwaldstätterseegebiet	3'300 "	(9 %)
20) 9.01.1914	Kte. Schwyz/Glarus	7'250 "	(19 %)
21) 30.10.1914	Oberwallis	2'150 "	(6 %)
22) 31.10.1914	Hinterrheingebiet	1'200 "	(3 %)
23) 10.10.1917	Lugnez	950 "	(3 %)
24) 21.11.1917	regional (ohne Schwerpunkt)	1'050 "	(3 %)
25) 2.03.1918	Aletschgebiet	2'250 "	(6 %)
26) 17.06.1918	Kt. Uri	3'800 "	(10 %)
27) 22.12.1918	Berner Alpenkamm	3'150 "	(8 %)
28) 23.12.1919	Toggenburg	600 "	(2 %)
29) 27.07.1920	Rheintal bei Landquart/Ragaz	950 "	(3 %)
30) 3.11.1921	Kt. Glarus	950 "	(3 %)
31) 15.07.1922	Rheintal bei Reichenau-Ragaz	5'450 "	(15 %)
32) 15.08.1923	Kt. Schwyz	600 "	(2 %)
33) 24.05.1924	Broyetal/Yverdon	1'050 "	(3 %)
34) 13.08.1924	Kt. Uri, Vorderrheingebiet	3'100 "	(8 %)
35) 14.02.1925	Vorderrheingebiet	1'350 "	(4 %)
36) 15.02.1925	Urserental	2'350 "	(6 %)
37) 9.07.1925	Aegerisee	2'000 "	(5 %)
38) 11.08.1925	Kt. Uri	950 "	(3 %)
39) 15.05.1926	Vorderrheingebiet	5'100 "	(14 %)
40) 7.07.1926	Oberwallis	950 "	(3 %)
41) 31.10.1926	Vorderrhein-/Hinterrheingebiet	1'550 "	(4 %)
42) 21.11.1926	Kt. Glarus	2'100 "	(6 %)
43) 10.07.1927	Kt. Glarus	900 "	(2 %)
44) 25.09.1927	Vorderrheingebiet	1'450 "	(4 %)
45) 29.08.1928	Hinterrheingebiet	850 "	(2 %)

46)	20.10.1928	Unterer Genfersee	650 km <sup>2</sup>	(2 %)
47)	21.10.1928	Hinterrheingebiet	1'150 "	(3 %)
48)	22.10.1928	Kt. Uri	2'050 "	(5 %)
49)	27.10.1928	Urserental/Grimsel	3'050 "	(8 %)
50)	31.10.1928	Urserental/Grimsel	3'450 "	(9 %)
51)	20.05.1931	Kt. Zürich	1'900 "	(5 %)
52)	7.07.1931	Vorderrheingebiet/Kt. Glarus	3'000 "	(8 %)
53)	21.06.1933	Kte. Uri/Schwyz	4'400 "	(12 %)
54)	21.09.1933	Kt. Uri	1'250 "	(3 %)
55)	3.08.1934	Kt. Glarus	4'300 "	(11 %)
56)	9.09.1934	Kte. Schwyz/St.Gallen	2'800 "	(7 %)
57)	30.09.1935	Orbetal	2'350 "	(6 %)
58)	28.10.1935	Haslital/Susten	4'450 "	(12 %)
59)	1.12.1935	Neuenburger Jura	1'250 "	(3 %)
60)	13.08.1938	Kt. Schwyz	2'200 "	(6 %)
61)	5.08.1939	Susten/Altdorf	4'450 "	(12 %)
62)	17.11.1939	Kte. Uri/Glarus	4'600 "	(12 %)
63)	29.05.1940	Kte. Schwyz/St. Gallen	3'450 "	(9 %)
64)	14.11.1940	Broyetal/Orbe	2'050 "	(5 %)
65)	31.10.1942	Vorderrheingebiet	1'600 "	(4 %)
66)	7.11.1944	regional (ohne Schwerpunkt)	3'650 "	(10 %)
67)	29.10.1945	Urserental	4'400 "	(12 %)
68)	13.06.1946	Kt. Schwyz	1'950 "	(5 %)
69)	25.09.1947	Brig	1'500 "	(4 %)
70)	10.11.1947	Susten	2'500 "	(7 %)
71)	19.06.1948	Domleschg	4'700 "	(13 %)
72)	4.09.1948	Goms	2'100 "	(6 %)
73)	11.11.1950	Orbetal	2'950 "	(8 %)
74)	16.11.1950	regional (ohne Schwerpunkt)	1'700 "	(5 %)
75)	20.01.1951	Kt. Glarus/Davos	1'100 "	(3 %)
76)	11.02.1951	Kt. Uri	2'950 "	(8 %)
77)	8.08.1951	Hinterrheingebiet	1'050 "	(3 %)
78)	10.11.1951	Goms	1'600 "	(4 %)
79)	9.06.1953	Waadtländer/Neuenburger Jura	700 "	(2 %)
80)	25.06.1953	Kt. Zürich	3'000 "	(8 %)
81)	26.06.1953	Linthebene	900 "	(2 %)
82)	1.07.1954	Kte. Schwyz/Glarus	3'500 "	(9 %)
83)	21.08.1954	Urner-/Glärner Alpenkamm	<u>14'650 "</u>	<u>(39 %)</u>
84)	27.09.1954	Sihlsee	850 "	(2 %)
85)	9.12.1954	Vorderrheingebiet, Neuenburger Jura	2'600 "	(7 %)
86)	8.02.1955	regional (ohne Schwerpunkt)	650 "	(2 %)
87)	24.02.1957	Wäggital	1'850 "	(5 %)
88)	13.08.1957	Vorderrheingebiet	950 "	(3 %)
89)	27.05.1958	Vorderrheingebiet	1'150 "	(3 %)
90)	19.08.1958	Furka/Grimsel	950 "	(3 %)
91)	1.10.1958	Oberes Reusstal	600 "	(2 %)
92)	7.06.1959	Thurtal bei Frauenfeld	800 "	(2 %)
93)	16.09.1960	Vorderrhein-/Hinterrheingebiet	4'250 "	(11 %)
94)	11.12.1961	Glärner Alpenkamm	2'250 "	(6 %)
95)	7.11.1962	Visper Täler	1'250 "	(3 %)
96)	17.08.1963	Hinterrheingebiet	800 "	(2 %)
97)	7.10.1963	Glarus/Walensee	650 "	(2 %)

98)	19.04.1964	Val Medel	900 km <sup>2</sup>	(2 %)
99)	4.05.1964	Thurtal bei Bischofszell	1'050 "	(3 %)
100)	10.06.1965	Toggenburg	2'100 "	(6 %)
101)	22.08.1965	Kt. Uri	2'500 "	(7 %)
102)	10.09.1965	Tiefencastel, Schanfigg	1'250 "	(3 %)
103)	6.05.1966	Vorderrheingebiet	4'650 "	(12 %)
104)	6.05.1968	Oberes Reusstal/Furka	2'150 "	(6 %)
105)	2.08.1968	Sensetal/Gruyères	1'400 "	(4 %)
106)	21.09.1968	Aarau/Zofingen	6'650 "	(18 %)
107)	2.11.1968	Alletschgebiet	6'700 "	(18 %)
108)	3.02.1970	Susten	1'050 "	(3 %)
109)	9.08.1970	Wägital/Glarus	1'750 "	(5 %)
110)	6.06.1971	Entlebuch/Luzern	1'250 "	(3 %)
111)	11.08.1971	Wägital/Speer	600 "	(2 %)
112)	22.11.1972	Napfgebiet	1'750 "	(5 %)
113)	20.06.1973	Oberes Reusstal/Furka	2'050 "	(5 %)
114)	23.06.1973	Luzern	5'350 "	(14 %)
115)	23.08.1975	Ricken	1'150 "	(3 %)
116)	1.06.1976	Pragelpass	700 "	(2 %)
117)	19.07.1976	Sihltal	1'050 "	(3 %)
118)	26.07.1976	Unterer Vierwaldstättersee, Sihlsee	1'300 "	(3 %)
119)	28.09.1976	Hinterrheingebiet	900 "	(2 %)
120)	12.10.1976	Goms	700 "	(2 %)
121)	29.10.1976	Vorderrheingebiet	1'150 "	(3 %)
122)	30.04.1977	Brig	1'000 "	(3 %)
123)	31.07.1977	Kt. Schwyz	4'800 "	(13 %)
124)	29.08.1977	Urserental	1'150 "	(3 %)
125)	7.10.1977	Urserental	1'850 "	(5 %)
126)	20.03.1978	regional (ohne Schwerpunkt)	900 "	(2 %)
127)	7.08.1978	zentraler Alpennordhang (Mengenschwerpunkte: Kte. Schwyz/ St. Gallen/Appenzell)	<u>23'300</u> "	<u>(62 %)</u>
128)	15.03.1979	Goms	1'300 "	(3 %)
129)	21.09.1979	Mittelbünden/St. Galler Rheintal	5'650 "	(15 %)
130)	14.10.1979	Disentis - Vals	3'400 "	(9 %)
131)	6.11.1979	regional (ohne Schwerpunkt)	2'300 "	(6 %)

Die Häufigkeiten in den einzelnen Jahrfünften waren:

1901 - 1905 : 6 Fälle	1941 - 1945 : 3 Fälle
1906 - 1910 : 10 "	1946 - 1950 : 7 "
1911 - 1915 : 6 "	1951 - 1955 : 12 "
1916 - 1920 : 7 "	1956 - 1960 : 7 "
1921 - 1925 : 9 "	1961 - 1965 : 9 "
1926 - 1930 : 12 "	1966 - 1970 : 7 "
1931 - 1935 : 9 "	1971 - 1975 : 6 "
1936 - 1940 : 5 "	Jul 1975 - Jun 1980 : 17 "
	(6 Monate übergreifend)

Die meisten Fälle in Einzeljahren traten 1928 (6 Fälle) und 1976 (6 Fälle, davon 5 in der zweiten Jahreshälfte) auf. In 18 der Jahre 1901 - 1979 trat kein Starkniederschlag auf.

Man ersieht aus den Häufigkeitstabellen, dass die Schwankungsbreite in den Jahrzehnten und Jahrfünften beträchtlich ist; gerade das letzte Jahrfünft zeichnet sich durch eine aussergewöhnlich grosse Zahl von Starkniederschlägen aus. Wichtiger erscheint jedoch, ob es grössere Häufigkeitsunterschiede über längere Zeiträume gibt. Dies ist nicht der Fall, wie die Zahlen in den beiden Hälften der knapp 80 Jahre zeigen (63 gegen 68 Fälle). Der nur geringe Unterschied spricht gegen einen klimatologischen Trend im Sinne einer Zu- oder Abnahme der Starkniederschläge.

#### Jahresgang der Starkniederschläge (Monats- und Dekadenhäufigkeiten)

Der Jahresgang aller Starkniederschläge (Abb. 1a) zeigt im wesentlichen eine Parallelität zum Jahresgang der Temperatur und des Wasserdampfgehaltes der freien Atmosphäre.

Bemerkenswert sind die Häufigkeitsunterschiede zwischen den Monaten April und November, in denen die Temperatur der freien Atmosphäre ungefähr gleich ist. Wie später gezeigt wird, ist für einen Starkniederschlag entweder eine höhere (sommerliche) Temperatur der freien Atmosphäre oder ein Jet-stream aus West bis Nordwest mit starker Windgeschwindigkeit auch in den unteren Schichten notwendig. Im April fehlen aber im allgemeinen beide Bedingungen, während im November relativ häufig die zweite Bedingung erfüllt ist. Der November zeigt andererseits auch im Vergleich zu den übrigen Monaten des Winterhalbjahres die meisten Starkniederschläge, offenbar weil die Temperatur der freien Atmosphäre in diesem Monat höher ist als von Dezember bis März.

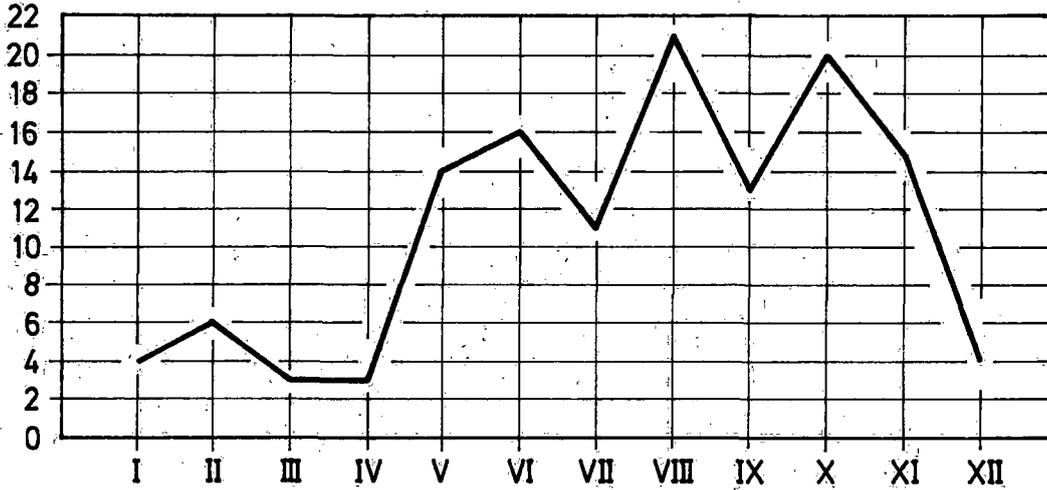
Bemerkenswert ist ferner bei den Starkniederschlägen, die von der Alpensüdseite übergreifen, das Jahresmaximum im Oktober (Abb. 1c). In der Darstellung der Dekadenhäufigkeiten (Abb. 2c) zeigt sich ein ausgeprägtes Maximum in der dritten Oktoberdekade, das sogar noch als Dekadenmaximum bei allen Starkniederschlägen (Abb. 2a) zum Ausdruck kommt. In dieser Dekade ist die Häufigkeit von Südstauren relativ gross.

#### Geographische Verteilung der Starkniederschläge

Abb. 3 zeigt die geographische Verteilung der Anzahl Starkniederschläge in der Schweiz. Dank der meteorologischen Datenbank war es möglich, hier auch Zahlenwerte von einzelnen Stationen der Alpensüdseite anzugeben. Es ist allerdings zu bemerken, dass die Werte für die Alpensüdseite aus kleineren Zeiträumen auf 80 Jahre extrapoliert wurden (Lugano von 1901-70 auf 1900-79, Locarno-Monti, Airolo und Vicosoprano von 1935-70 auf 1900-79). Es genügt hier aber, durch einen Vergleich der Grössenordnung der Häufigkeiten die sehr grossen Unterschiede zwischen der Alpensüdseite und den übrigen Gebieten der Schweiz zu zeigen.

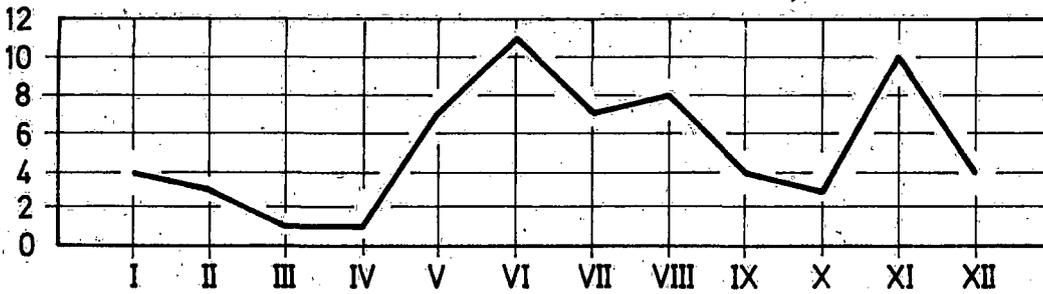
Abb. 1 Jahrgang der Starkniederschläge

Anz. Fälle



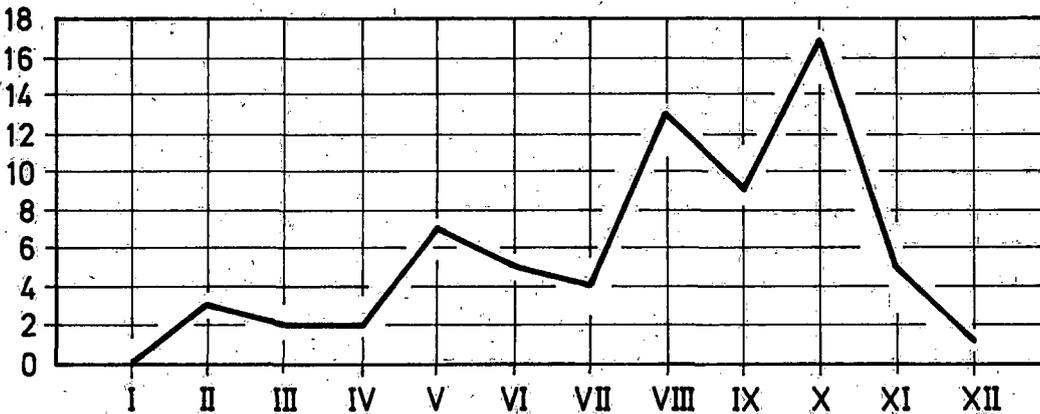
a) alle Starkniederschläge

Anz. Fälle



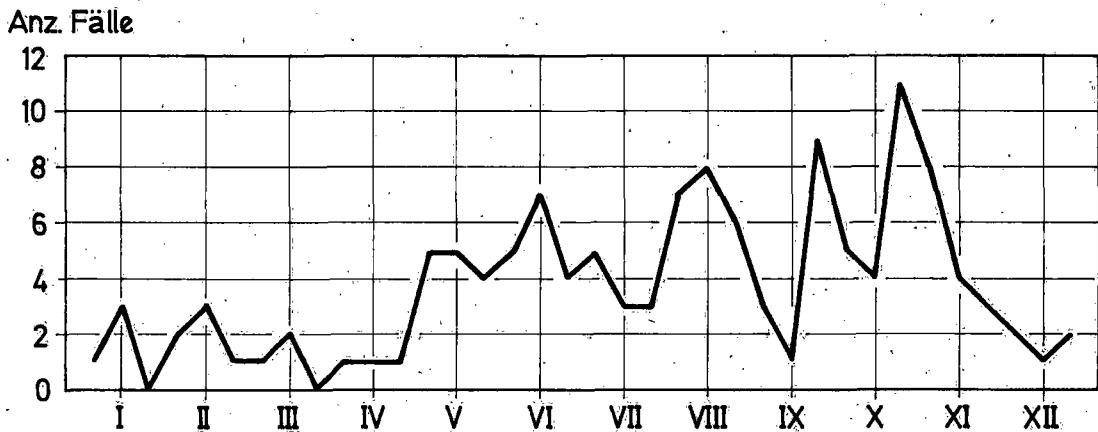
b) Starkniederschläge, die nur auf der Alpennordseite und in den Alpen auftreten (Alpensüdseite keine Starkniederschläge)

Anz. Fälle

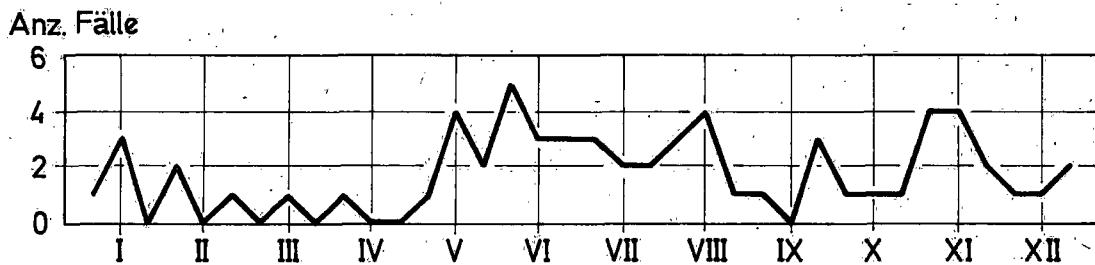


c) Starkniederschläge, die auf der Alpennordseite und in den Alpen in Verbindung mit Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite auftreten

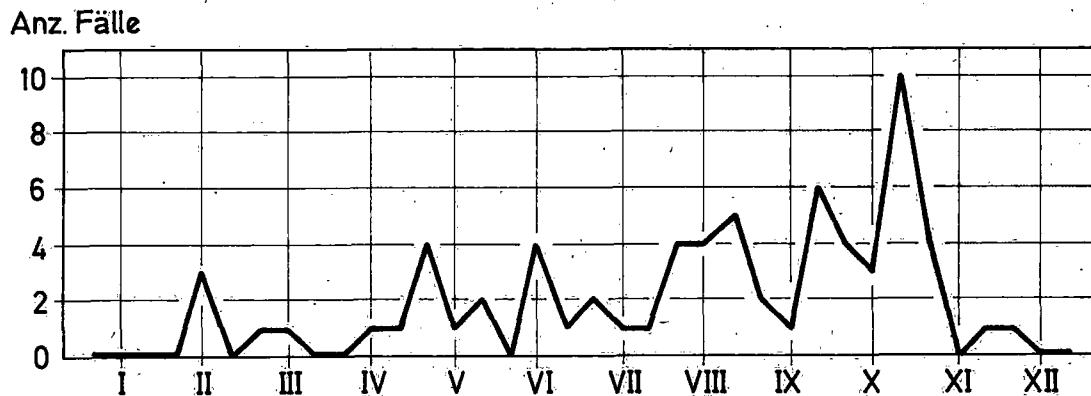
Abb. 2 Dekadenhäufigkeit der Starkniederschläge



a) alle Starkniederschläge



b) Starkniederschläge, die nur auf der Alpennordseite und in den Alpen auftreten (Alpensüdseite keine Starkniederschläge)



c) Starkniederschläge, die auf der Alpennordseite und in den Alpen in Verbindung mit Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite auftreten

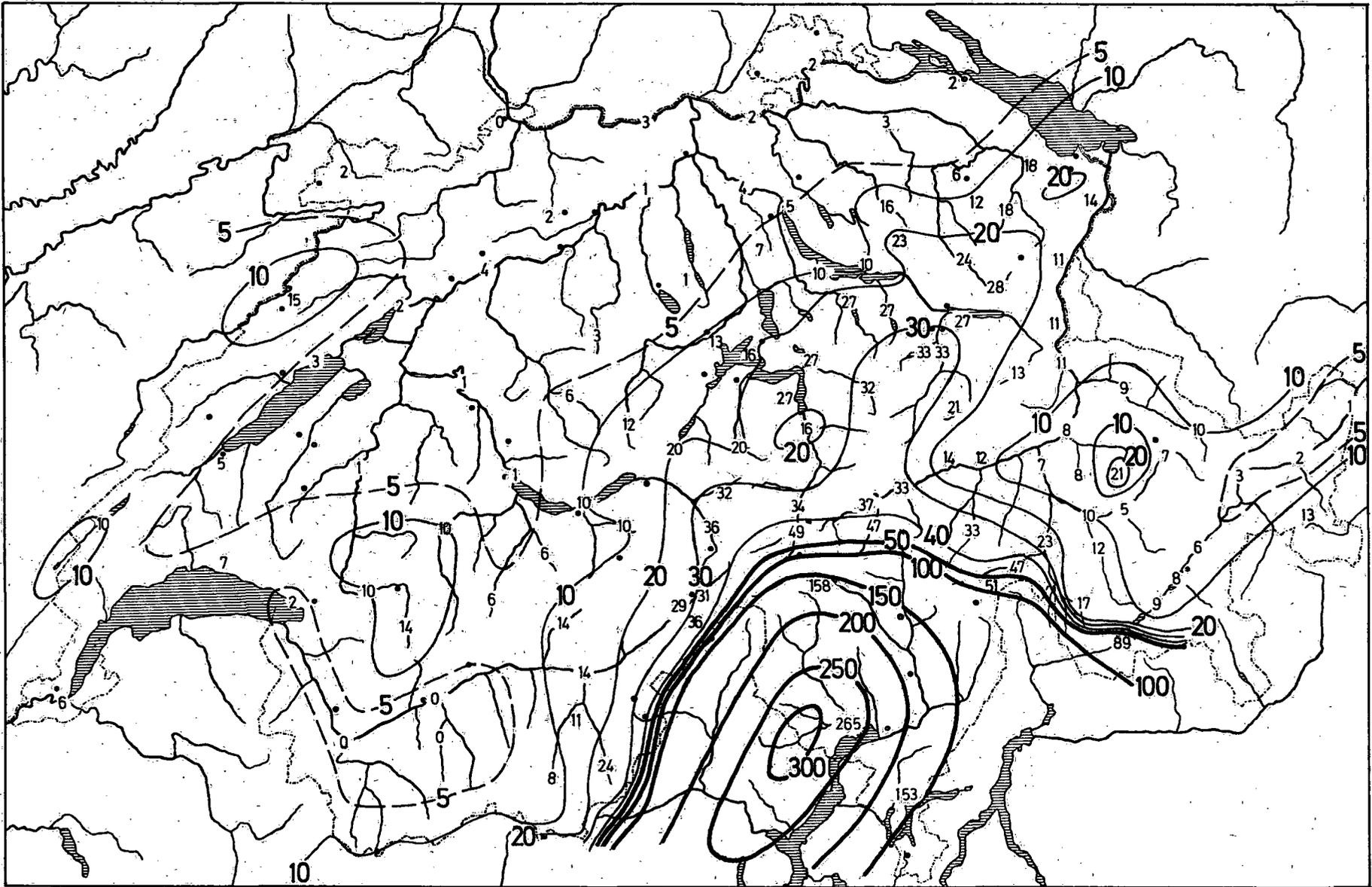


Abb. 3 Anzahl Starkniederschläge in der Schweiz ( $\geq 70$  mm/Tag) 1900-1979

Für den Alpennordhang ist es charakteristisch, dass die östliche Hälfte mehr Starkniederschläge als die westliche Hälfte aufweist. Zum Teil ist dies dadurch bedingt, dass bei den Starkniederschlägen, die von der Alpensüdseite nach Norden übergreifen, wegen der grösseren Häufigkeit von Süd- und Südsüdwest-Höhenströmungen gegenüber Südsüdost-Höhenströmungen mehr die Kantone Uri, Schwyz, Glarus und St. Gallen als das Berner Oberland betroffen werden. Andernteils sind diese Unterschiede auch bei den Starkniederschlägen, die nicht in Verbindung mit Südstauniederschlägen auftreten, vorhanden (z.B. Glarus 23 Fälle, Interlaken 7 Fälle). Diese Starkniederschläge treten meist bei Westsüdwest- bis Nordnordwest-Höhenströmungen auf. Die Fälle mit stärkerer Nordkomponente der Höhenströmung könnte man so erklären, dass in den unteren Schichten eine Diffluenz auftritt, indem die Windrichtung in der westlichen Landeshälfte auf Nordost dreht und damit antizyklonale Strömungsverhältnisse entstehen, was der aufsteigenden Luftbewegung (Stau) am westlichen Alpennordhang entgegenwirken würde. Der östliche Alpennordhang wäre dagegen bei einer zyklonalen Nordwestströmung voll dem Stäueffekt ausgesetzt. Bei Höhenströmungen aus Westsüdwest bis West wäre es denkbar, dass Fronten, die Starkniederschläge verursachen, länger über der östlichen als über der westlichen Landeshälfte verharren (Bremsung der Frontverlagerung durch die Alpen direkt oder durch Wellenbildung im Golf von Genua indirekt). Rein von der Höhe der Alpen her würde man eher eine grössere Häufigkeit von Starkniederschlägen am Nordfuss der hohen Berner Alpen und eine geringere Häufigkeit am Nordfuss der weniger hohen Glarner Alpen erwarten.

#### Flächenausdehnung der Starkniederschläge

Tab. 2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Flächenausdehnung der Starkniederschläge:

500 - 950 km <sup>2</sup> : 29 Fälle	7000 - 7950 km <sup>2</sup> : 1 Fall (9.1.1914)
1000 - 1950 " : 43 "	8000 - 8950 " : -
2000 - 2950 " : 23 "	9000 - 9950 " : 1 " (14.6.1910)
3000 - 3950 " : 14 "	10000 - 14950 " : 1 " (21.8.1954)
4000 - 4950 " : 10 "	15000 - 19950 " : -
5000 - 5950 " : 6 "	20000 - 24950 " : 1 " (7.8.1978)
6000 - 6950 " : 2 "	

Zentralwert der Flächenausdehnung: 1750 km<sup>2</sup> (= 4.7 % der möglichen Gesamtfläche)

Mittelwert der Flächenausdehnung: 2500 km<sup>2</sup> (= 6.7 % der möglichen Gesamtfläche)

Die Flächen, über die sich Starkniederschläge erstrecken, sind im allgemeinen kleiner, als man erwarten würde. Die meisten Starkniederschläge sind keine Wetterereignisse, die die ganze Alpennordseite betreffen, sondern es sind regionale Phänomene. Diese Tatsache zeigen deutlich der Zentralwert und der Mittelwert der Flächenausdehnung mit 4.7 % bzw. 6.7 % der Gesamtfläche der Alpennordseite und der Alpen. Den mit Abstand grössten Flächenumfang wies der Starkniederschlag vom 7.8.1978 mit 23300 km<sup>2</sup> (= 62 % der Gesamtfläche) auf [3]. Der Starkniederschlag vom 21.8.1954 wies die zweitgrösste Fläche mit 14650 km<sup>2</sup> (= 39 % der Gesamtfläche) auf. In der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts trat kein Starkniederschlag mit einer Fläche von mehr als 25 % der Gesamtfläche auf.

#### Niederschlagsverteilungen nach GRUETTER

Von den Starkniederschlagsverteilungen in der Schweiz, die GRUETTER [1] in 32 Typen eingeteilt hat, trat bei den Starkniederschlägen, die nur auf der Alpennordseite und in den Alpen auftraten, am häufigsten die Verteilung d2 auf, das ist eine Verteilung mit Schwerpunkten am zentralen und östlichen Alpennordhang. Bei den Starkniederschlägen, die von der Alpensüdseite übergreifen, war am häufigsten die Verteilung c7, d.h. Schwerpunkte nicht weit nördlich des Alpenkammes. Diese Niederschlagsverteilungen stimmen mit den Gebieten der geographischen Schwerpunkte der Starkniederschläge (Abb. 4) überein.

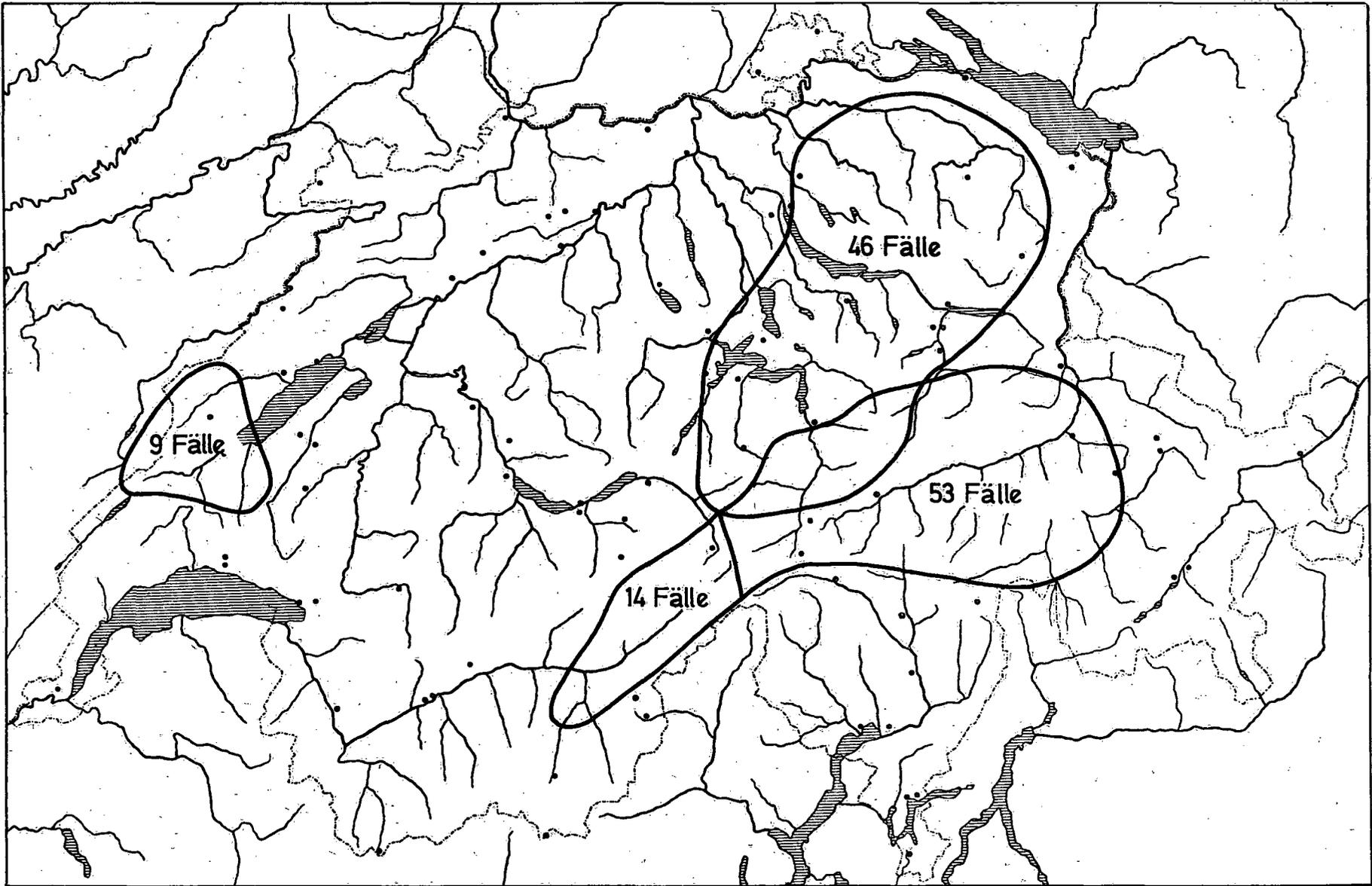


Abb. 4. Geographische Schwerpunkte der Starkniederschläge

### Unterteilung der Starkniederschläge in 4 Typen

Für die nun folgende Untersuchung der synoptischen Entstehungsbedingungen der Starkniederschläge ist es vorteilhaft, die Starkniederschläge auf der Alpennordseite und in den Alpen in 4 Typen zu unterteilen:

- Typ 1 : Starkniederschläge im Winterhalbjahr, die nur auf der Alpennordseite und in den Alpen auftreten (Alpensüdseite keine Starkniederschläge)
- Typ 2 : Starkniederschläge im Winterhalbjahr, die auf der Alpennordseite und in den Alpen in Verbindung mit Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite auftreten
- Typ 3 : Starkniederschläge im Sommerhalbjahr, die nur auf der Alpennordseite und in den Alpen auftreten (Alpensüdseite keine Starkniederschläge)
- Typ 4 : Starkniederschläge im Sommerhalbjahr, die auf der Alpennordseite und in den Alpen in Verbindung mit Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite auftreten.

### Synoptische Analyse der Starkniederschläge

#### Wetterlagen, bei denen Starkniederschläge auftreten

1) Wetterlagen bei Starkniederschlägen im Winterhalbjahr, die nur auf der Alpennordseite und in den Alpen auftreten (Typ 1):

Die 11 Fälle von winterlichen Starkniederschlägen (1949 - März 1980) traten fast alle bei zyklonalen West- bis Nordwestlagen auf. Einzig beim Fall vom 11.11.1950 war eine Westsüdwestströmung Ursache eines Starkniederschlages in der Westschweiz.

Charakteristisch für die Fälle bei zyklonalen West- bis Nordwestlagen ist es, dass die Windstärke in der oberen Troposphäre gross sein muss (Jet-stream), dass bereits in der unteren Troposphäre ein stärkerer Wind herrschen muss und dass die Schweiz in der Nähe einer quasistationären Frontalzone im Warmluftbereich liegen muss [Abb. 5/6].

Der Fall vom 7.10.1963 (7 Tage nach Beginn des Winterhalbjahres) kann wegen zu geringer Höhenwindstärke besser dem Sommerhalbjahr zugerechnet werden.

2) Wetterlagen bei Starkniederschlägen im Winterhalbjahr, die auf der Alpennordseite und in den Alpen in Verbindung mit Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite auftreten (Typ 2):

Die 11 Fälle von winterlichen Starkniederschlägen des Typs 2 (1949 - März 1980) traten alle bei Troglagen über Westeuropa auf. Es handelt sich dabei um ausgeprägte, bis zur Iberischen Halbinsel reichende Höhenträge mit einer stärkeren Höhenströmung aus Süd bis Südwest auf ihrer Vorderseite, d.h. über den Alpen [Abb. 7/8]. Der Fall vom 1.10.1958 kann wegen zu geringer Höhenwindstärke besser dem Sommerhalbjahr zugerechnet werden.

3) Wetterlagen bei Starkniederschlägen im Sommerhalbjahr, die nur auf der Alpennordseite und in den Alpen auftreten (Typ 3):

Im Gegensatz zum Winterhalbjahr treten Starkniederschläge im Sommerhalbjahr bei verschiedenartigen Wetterlagen auf. Die 20 Fälle von sommerlichen Starkniederschlägen (1949 - Juni 1980) des Typs 3 (incl. 7.10.1963) können folgenden Wetterlagen zugeordnet werden:

1. Zyklonale West- bis Nordwestlagen (300 mbar Jet-stream): 5 Fälle (= 25 %) (27.9.54, 7.10.63, 4.5.64, 21.9.68, 1.6.76)
2. Markante Höhenträge: 4 Fälle (= 20 %) (7.6.59, 11.8.71, 23.8.75, 31.7.77 [Abb. 9/10])
3. Markante abgeschlossene Höhentiefs (Kaltlufttropfen): 7 Fälle (= 35 %) (9.6.53, 25.6.53, 1.7.54, 10.6.65 [Abb. 11], 9.8.70 [Abb. 12], 23.6.73 [Abb. 13], 26.7.76 [Abb. 14])

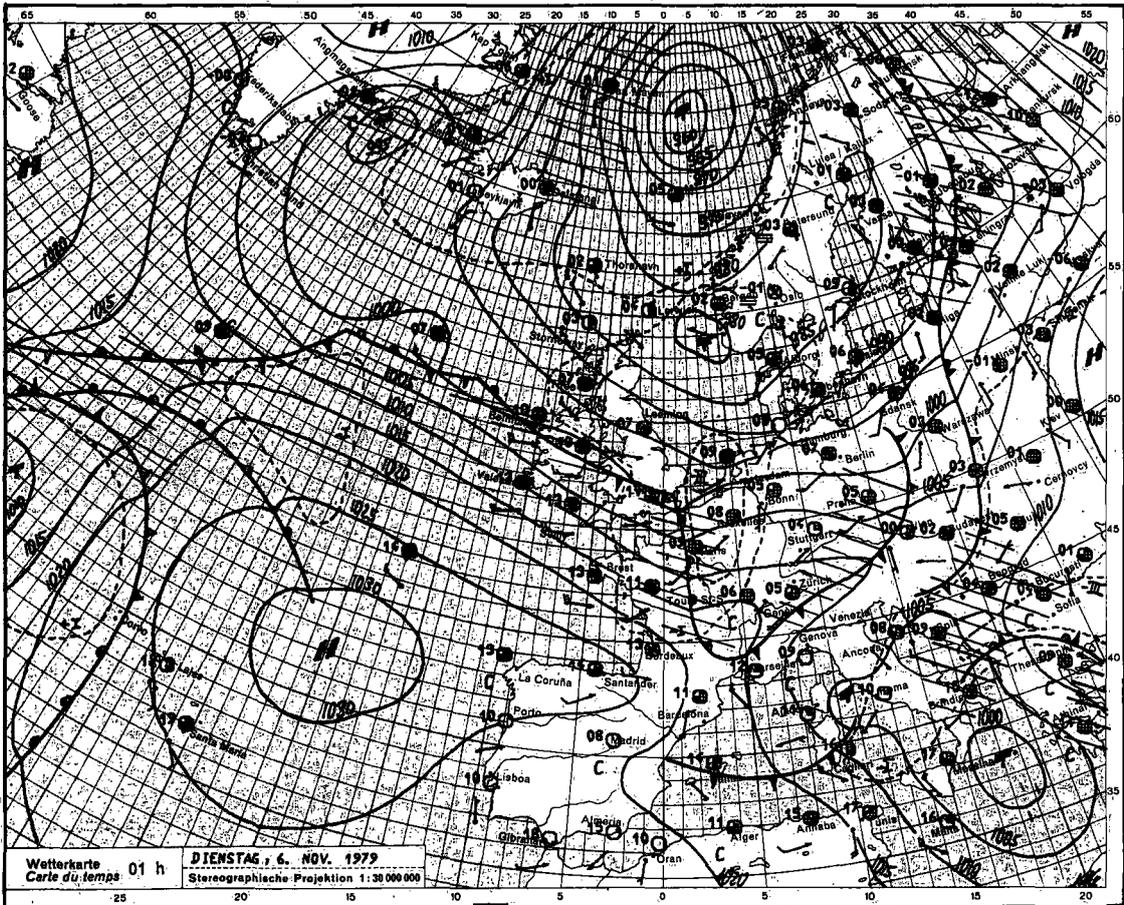


Abb. 5a Bodenkarte 6.11.1979, 01 h

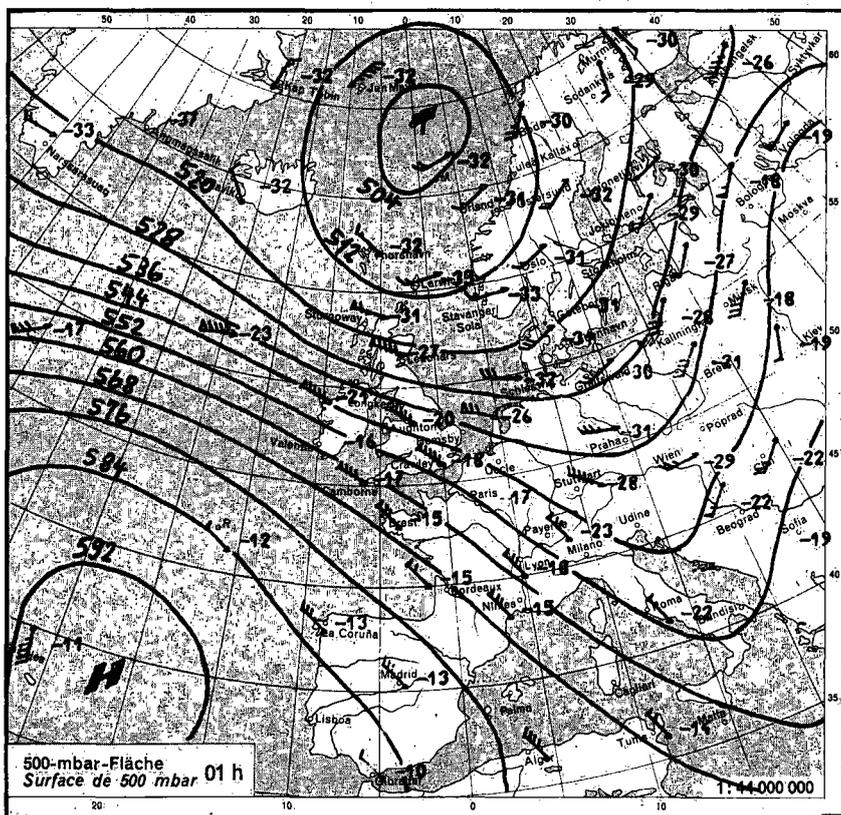


Abb. 5b Höhenkarte: 6.11.1979, 01 h

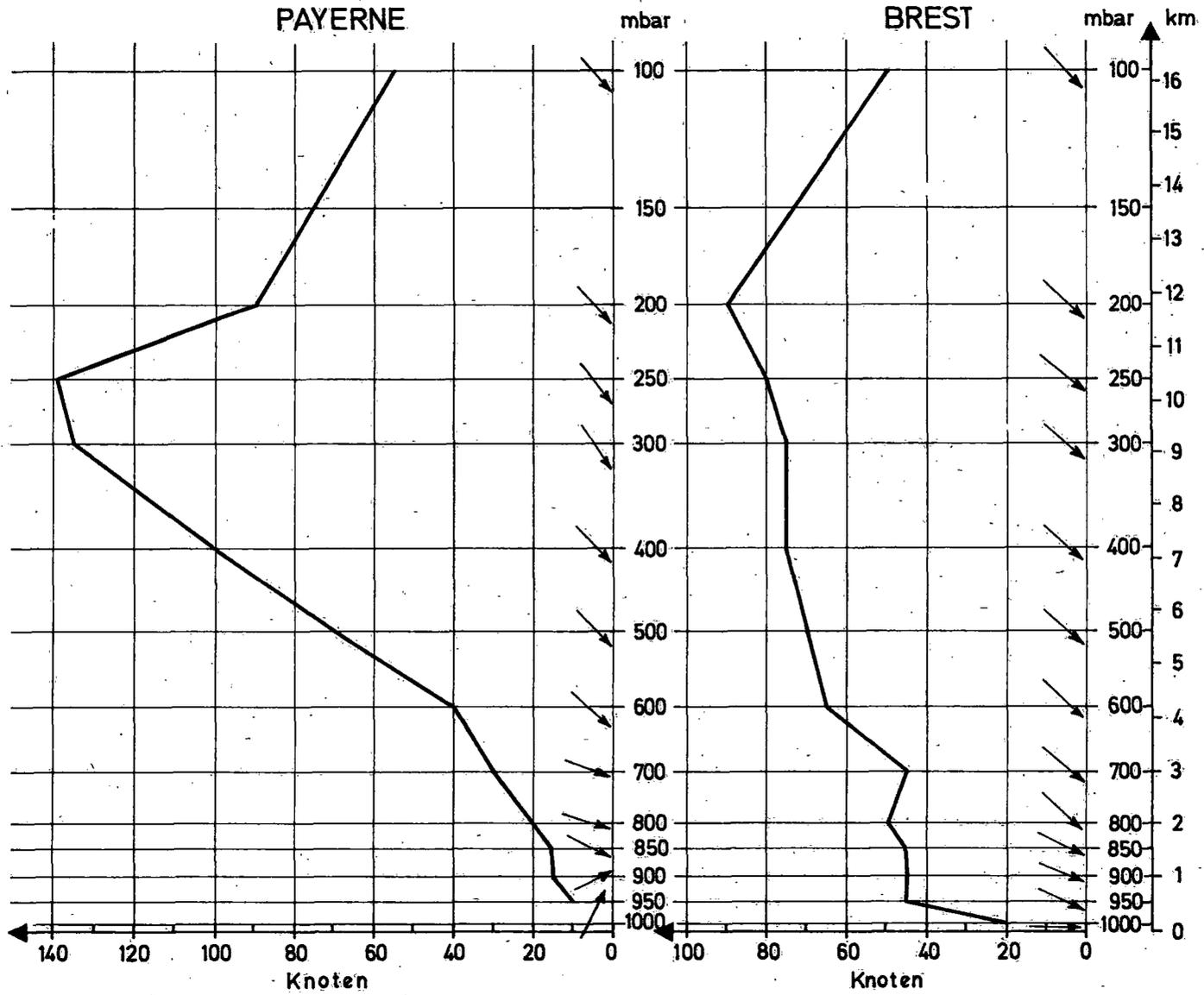


Abb. 5c Windprofile 6.11.1979, 01 h

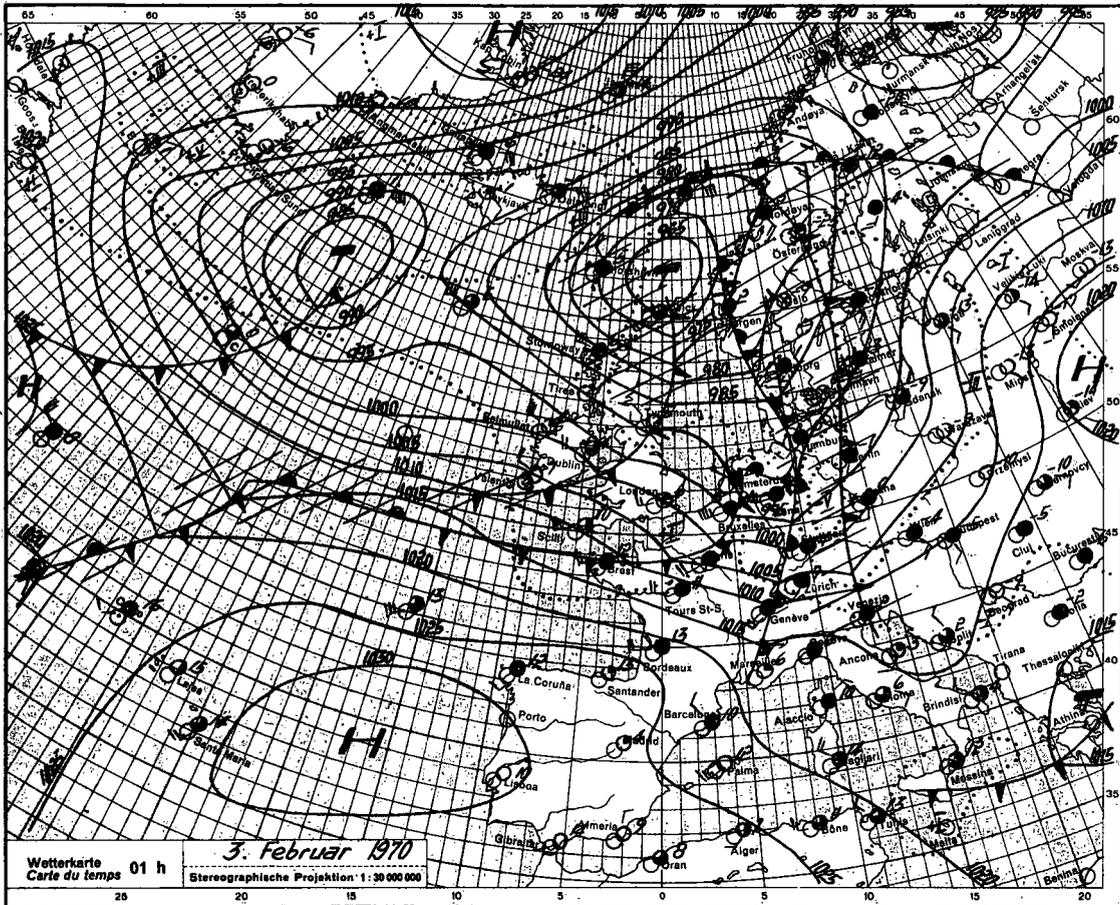


Abb. 6a Bodenkarte 3.2.1970, 01 h

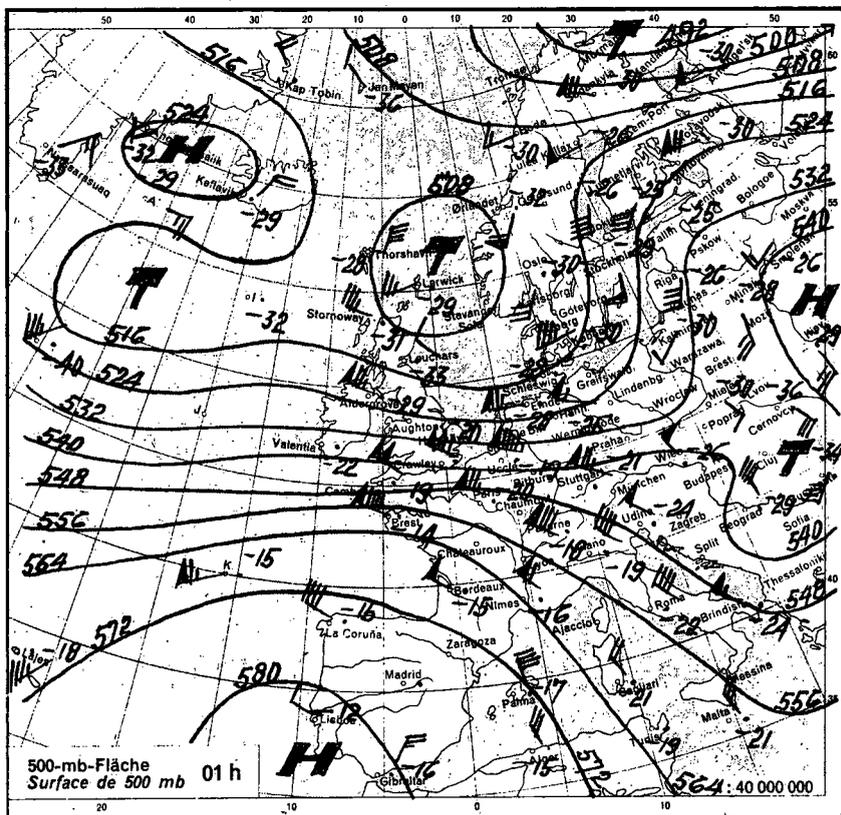


Abb. 6b Höhenkarte 3.2.1970, 01 h

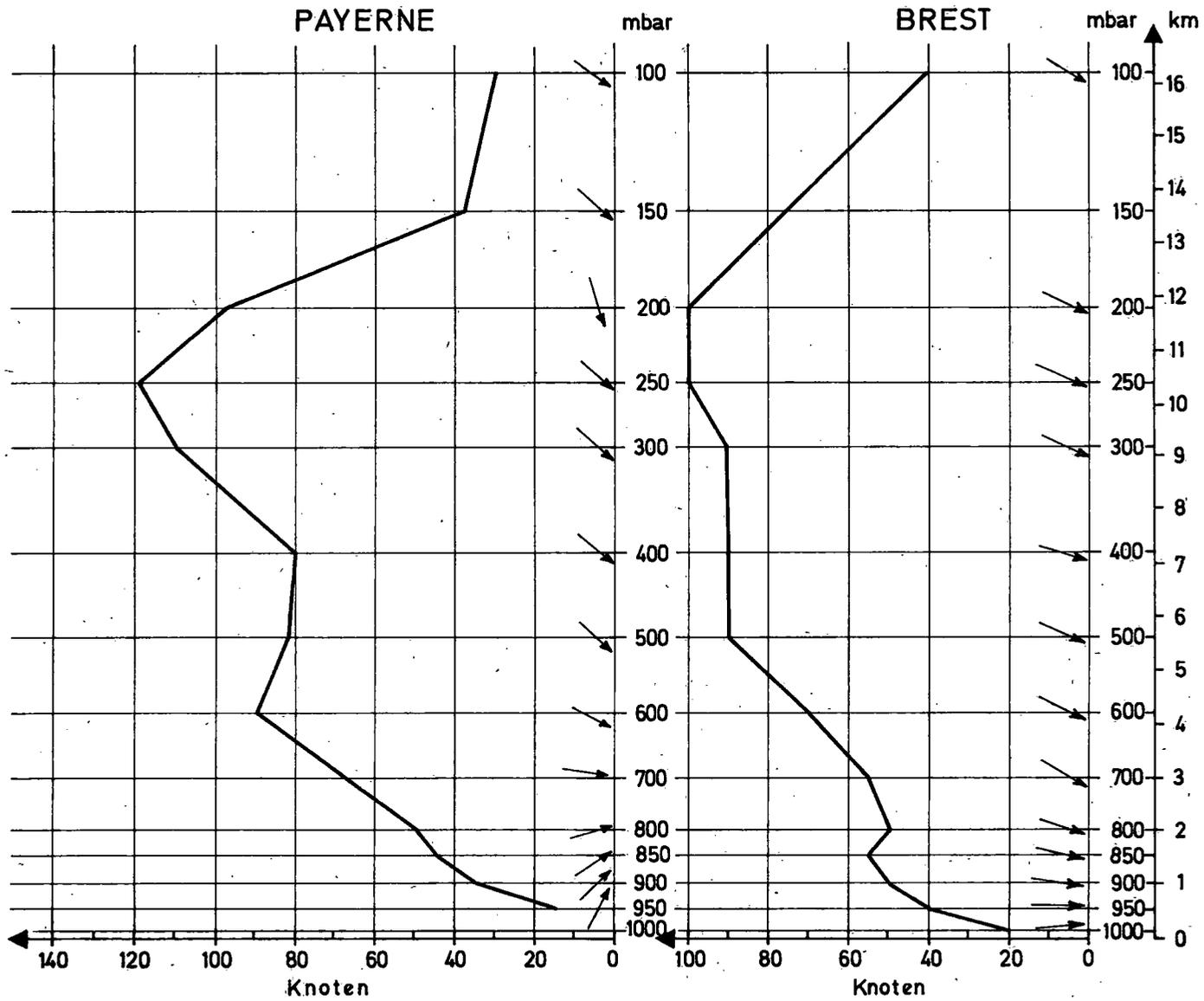


Abb. 6c Windprofile 3.2.1970, 01 h

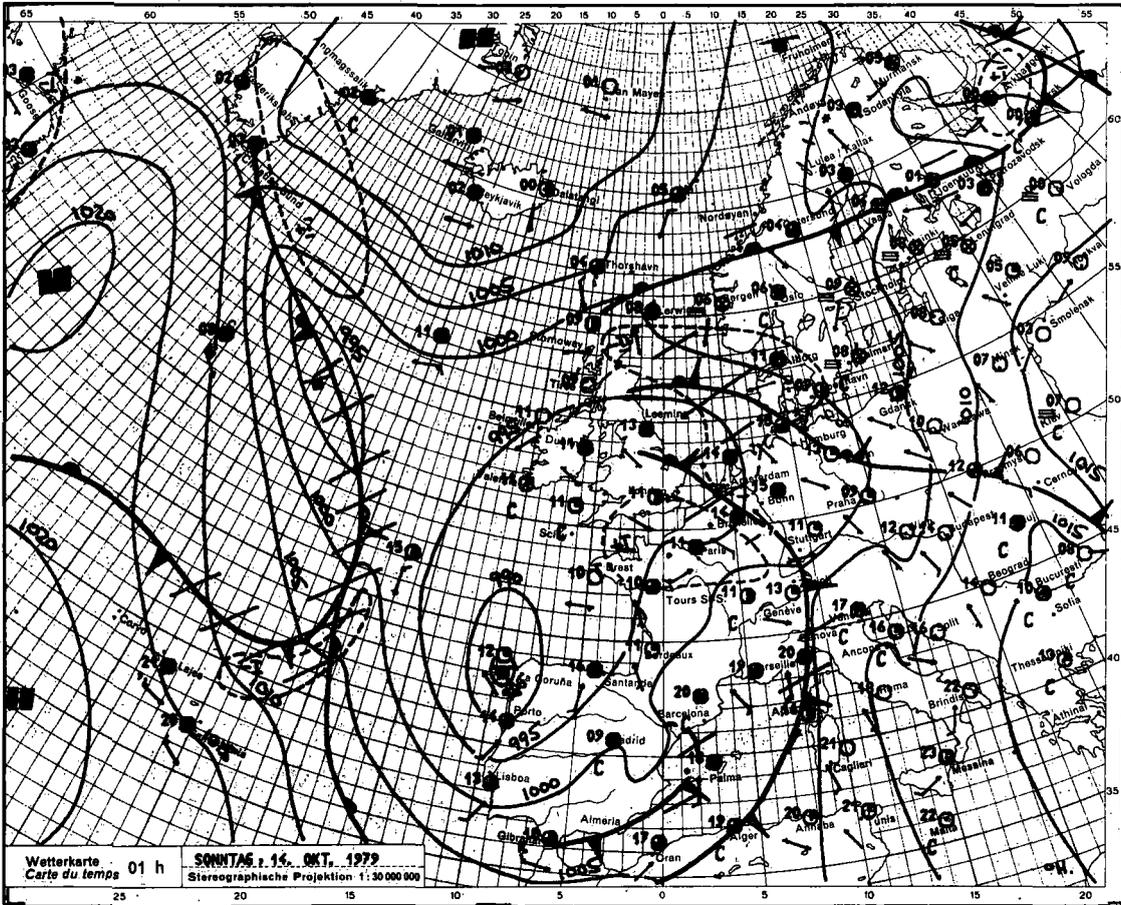


Abb. 7a Bodenkarte 14.10.1979, 01 h

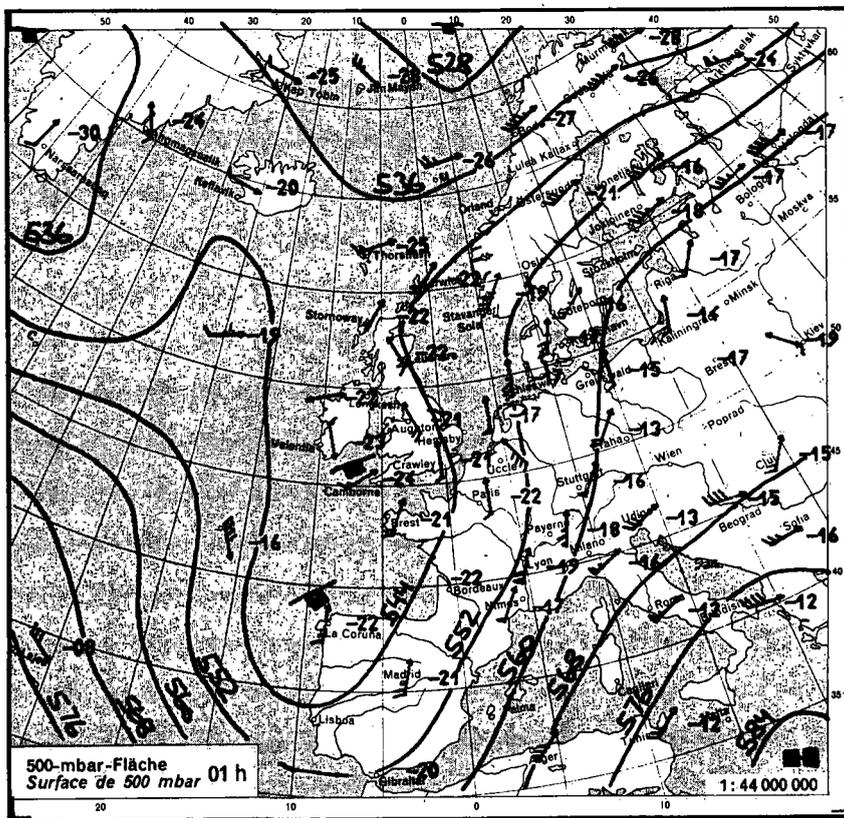


Abb. 7b Höhenkarte 14.10.1979, 01 h

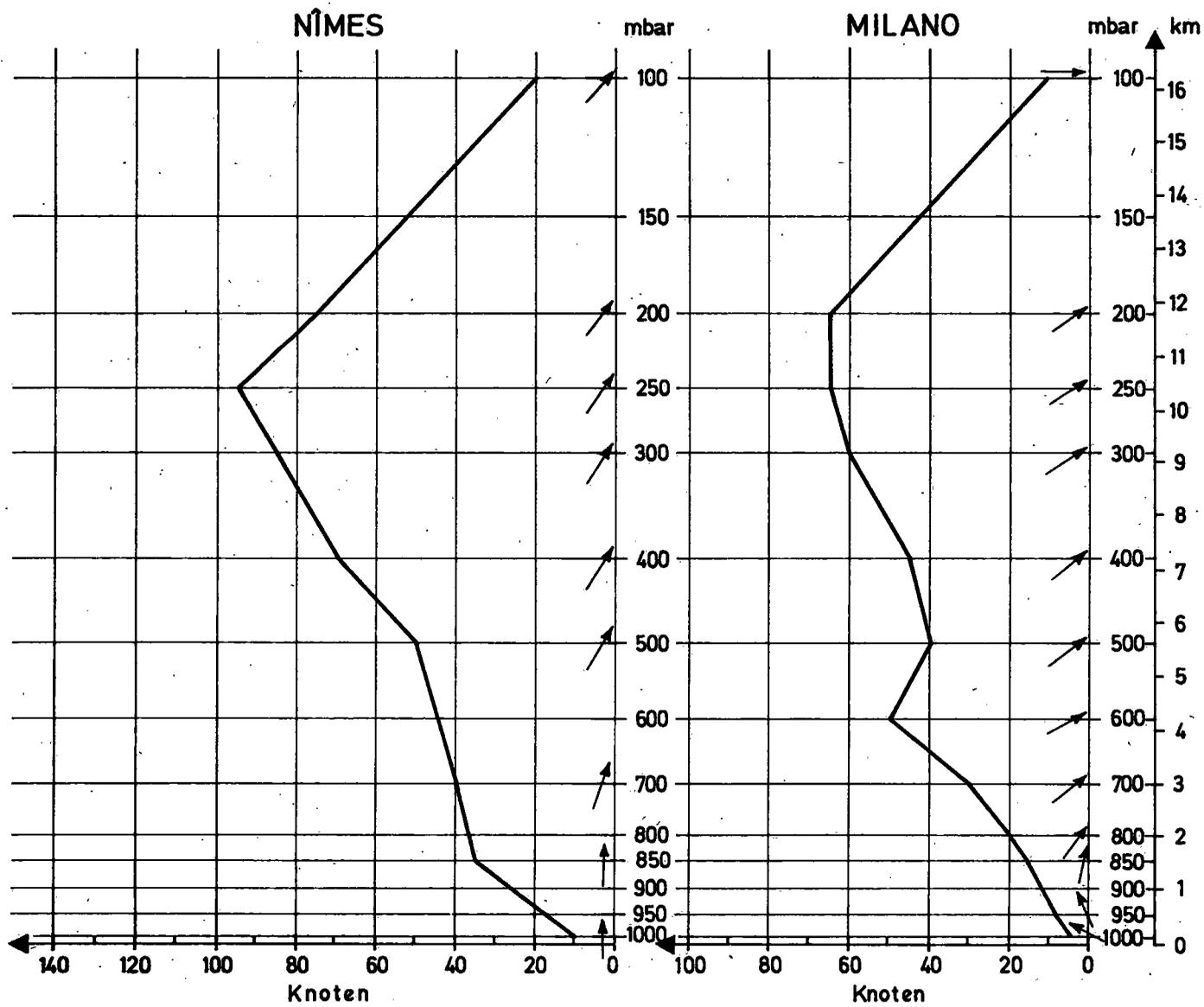


Abb. 7c Windprofil 14.10.1979, 01 h

Abb. 16c Windprofil 28.9.1976, 01 h

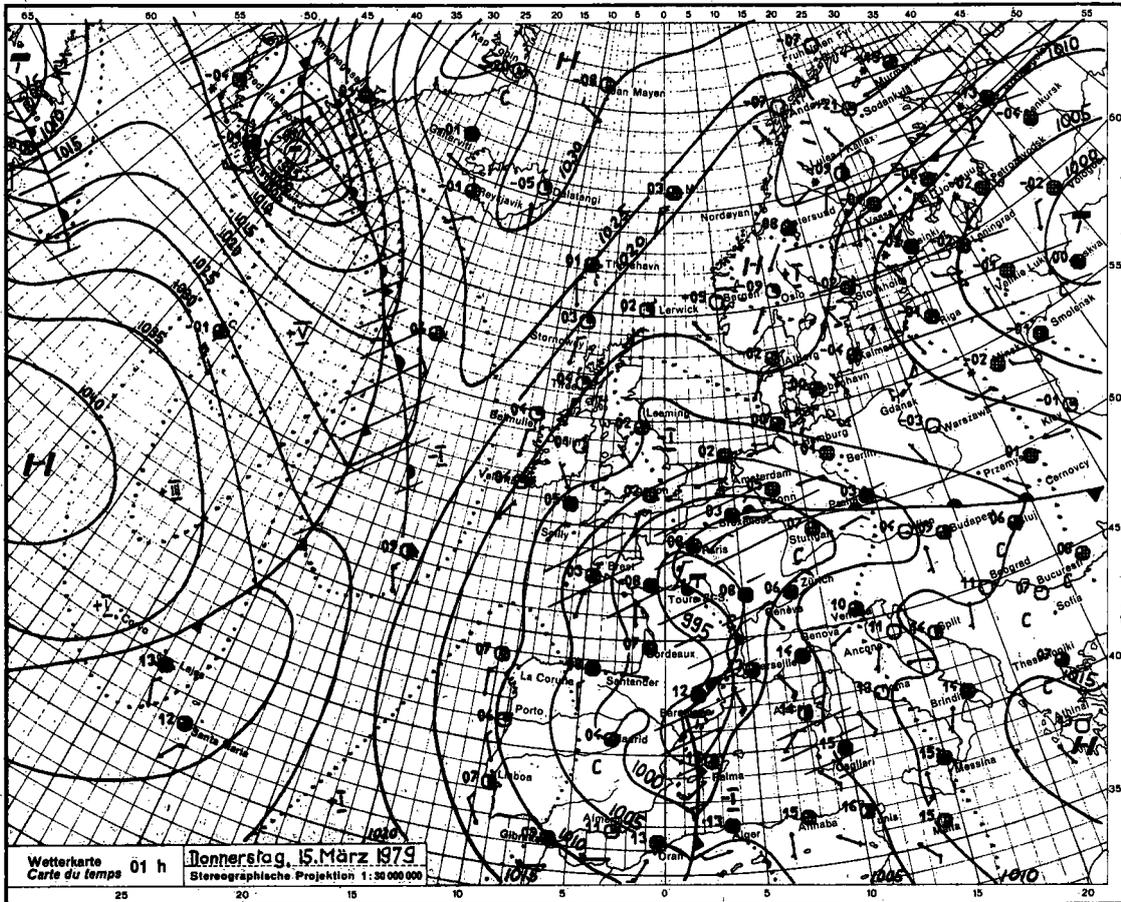


Abb. 8a Bodenkarte 15.3.1979, 01 h

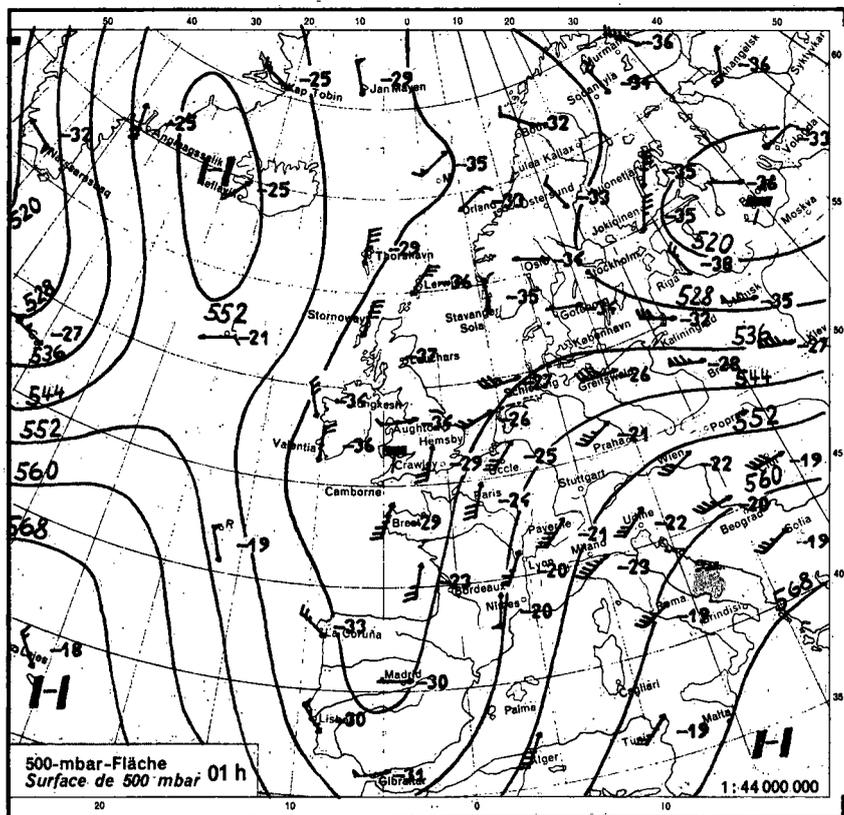


Abb. 8b Höhenkarte 15.3.1979, 01 h

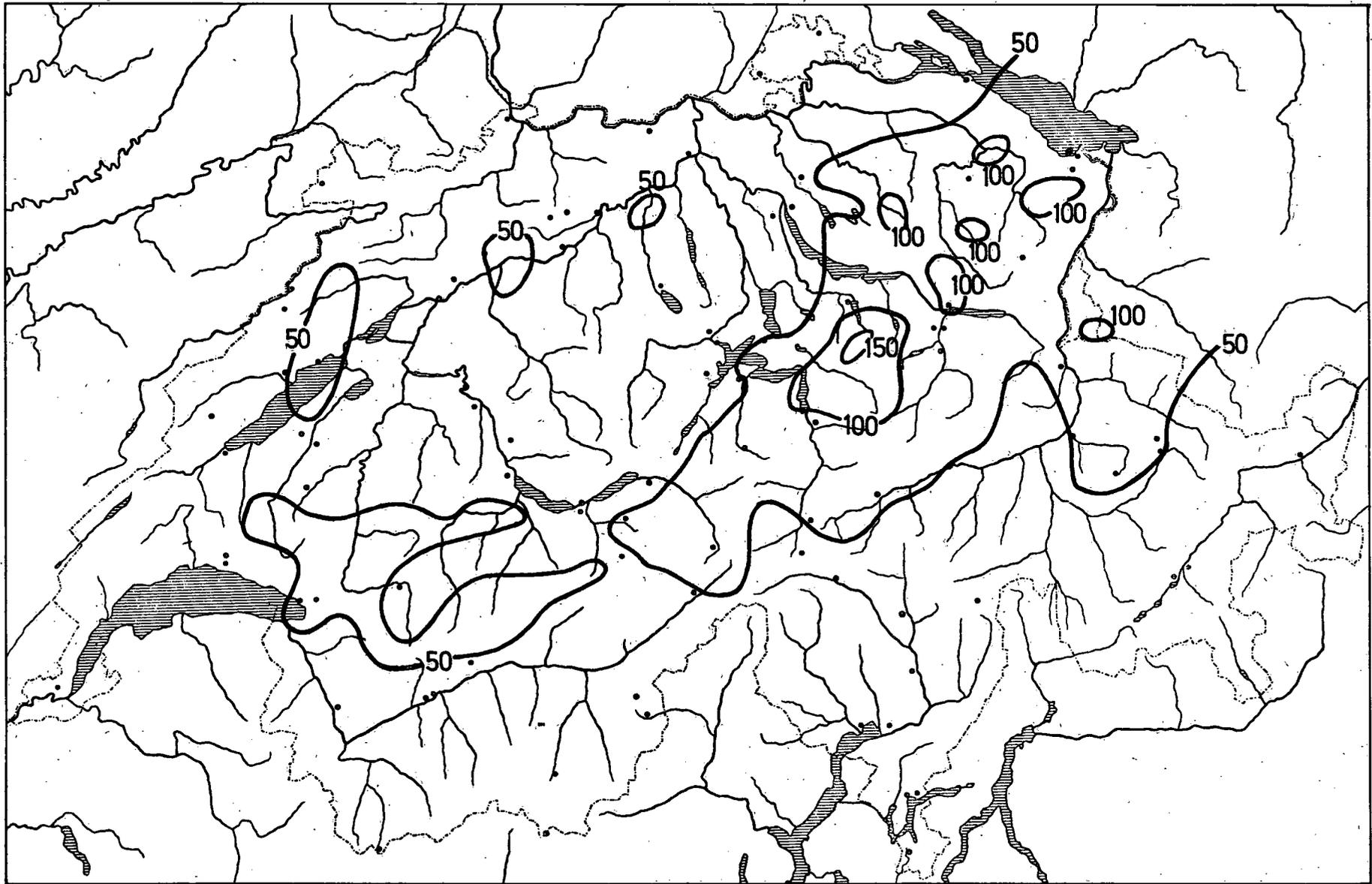


Abb. 9 Niederschlagsmengen vom 31.7.1977 (mm)

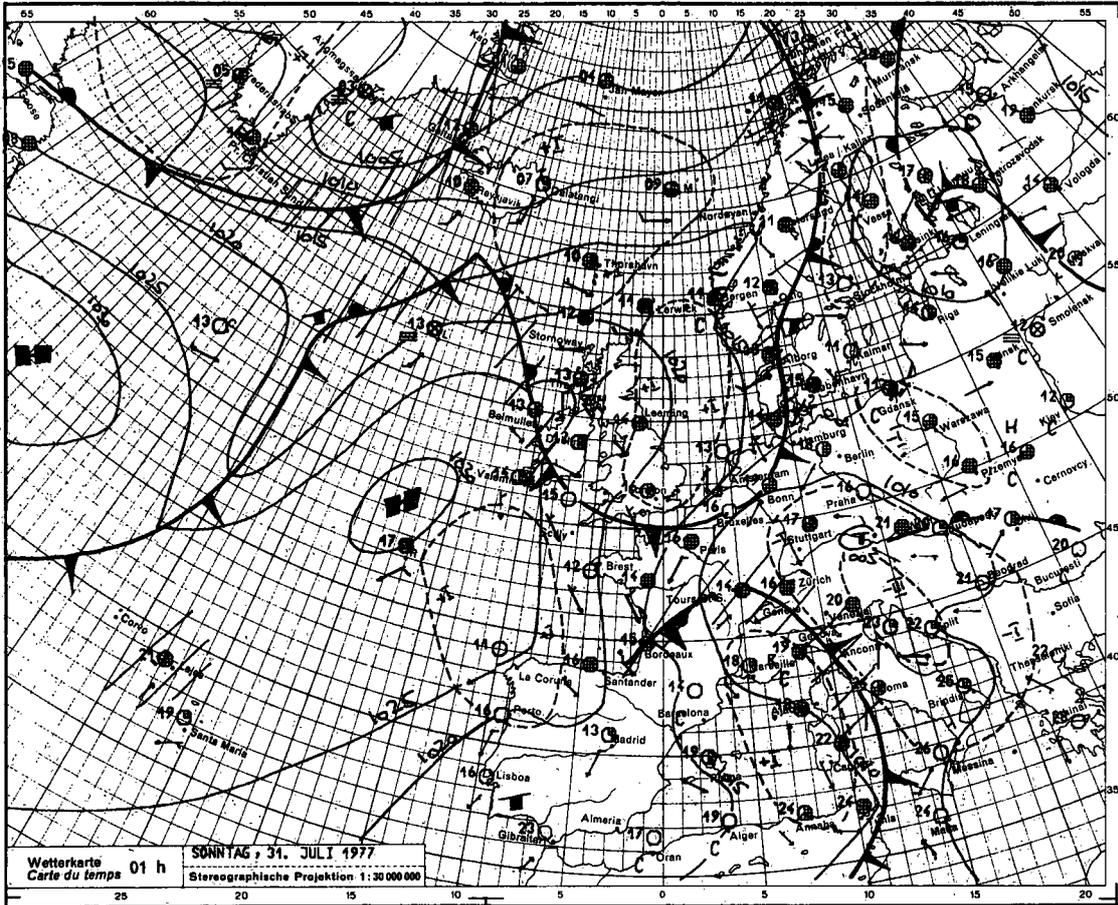


Abb. 10a Bodenkarte 31.7.1977, 01 h

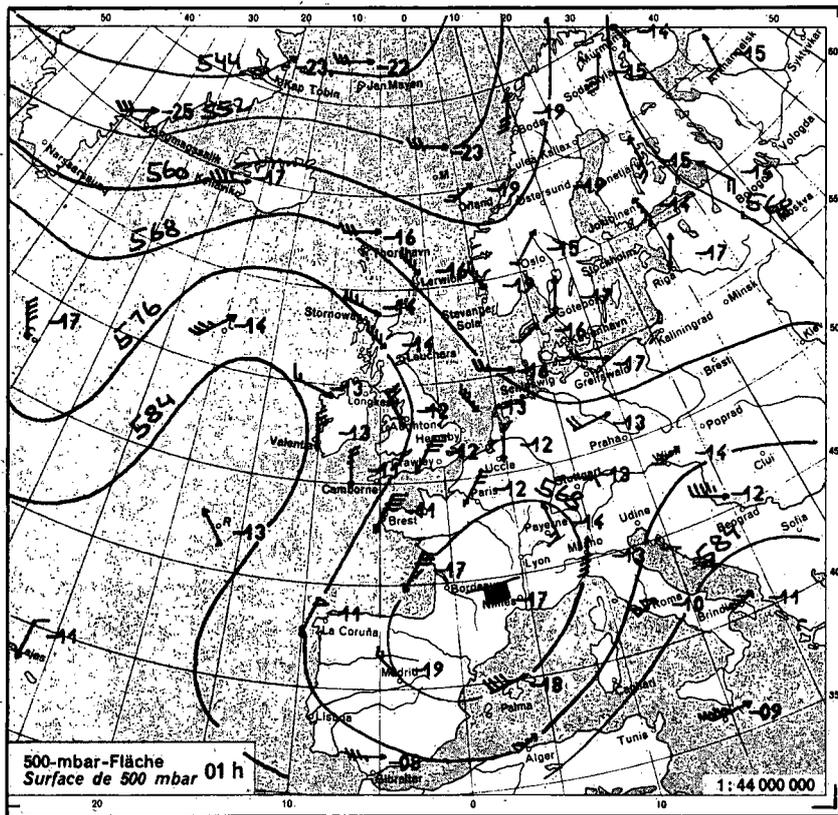


Abb. 10b Höhenkarte 31.7.1977, 01 h

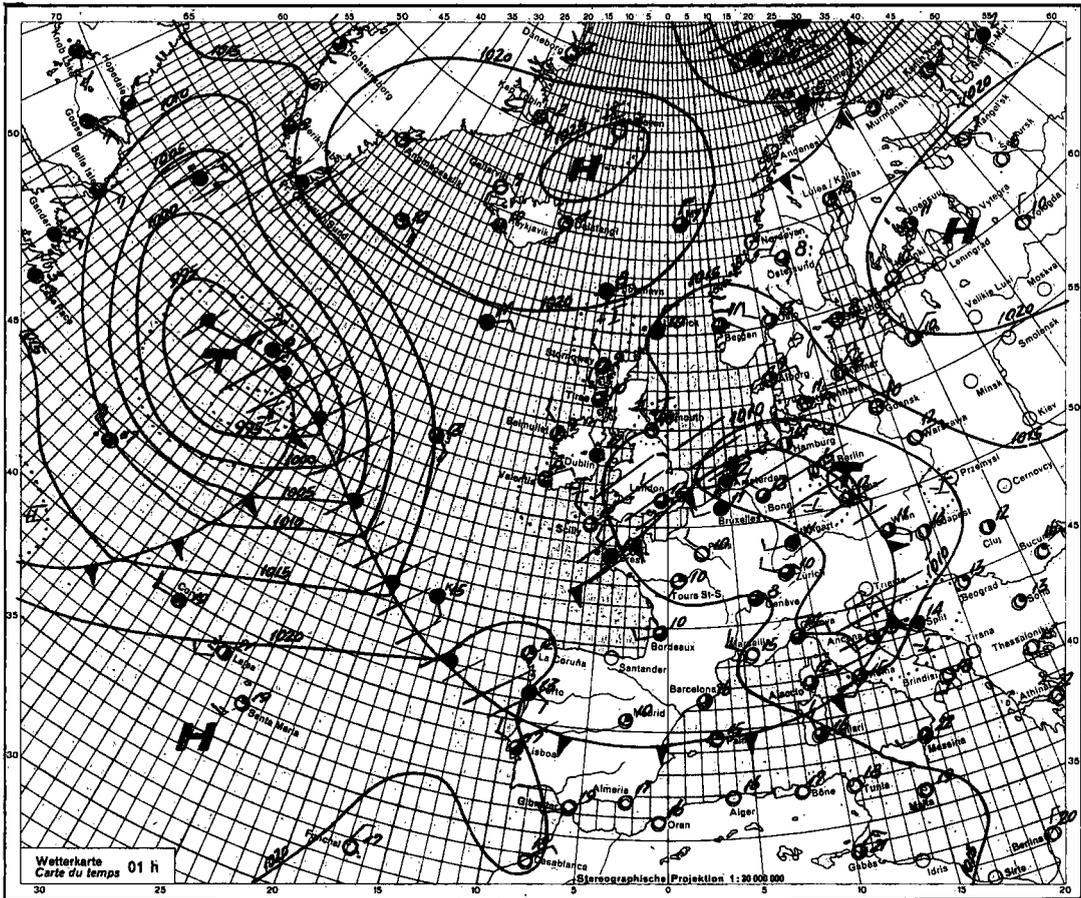


Abb. 11a · Bodenkarte 9.6.1965, 01 h

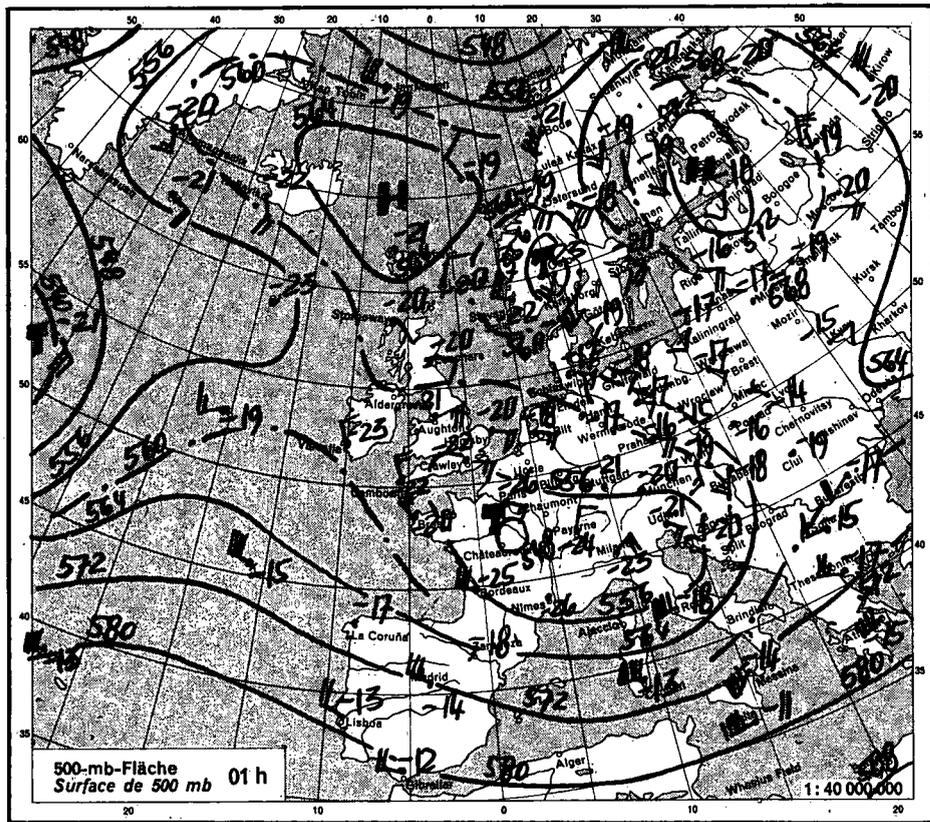


Abb. 11b Höhenkarte 9.6.1965, 01 h

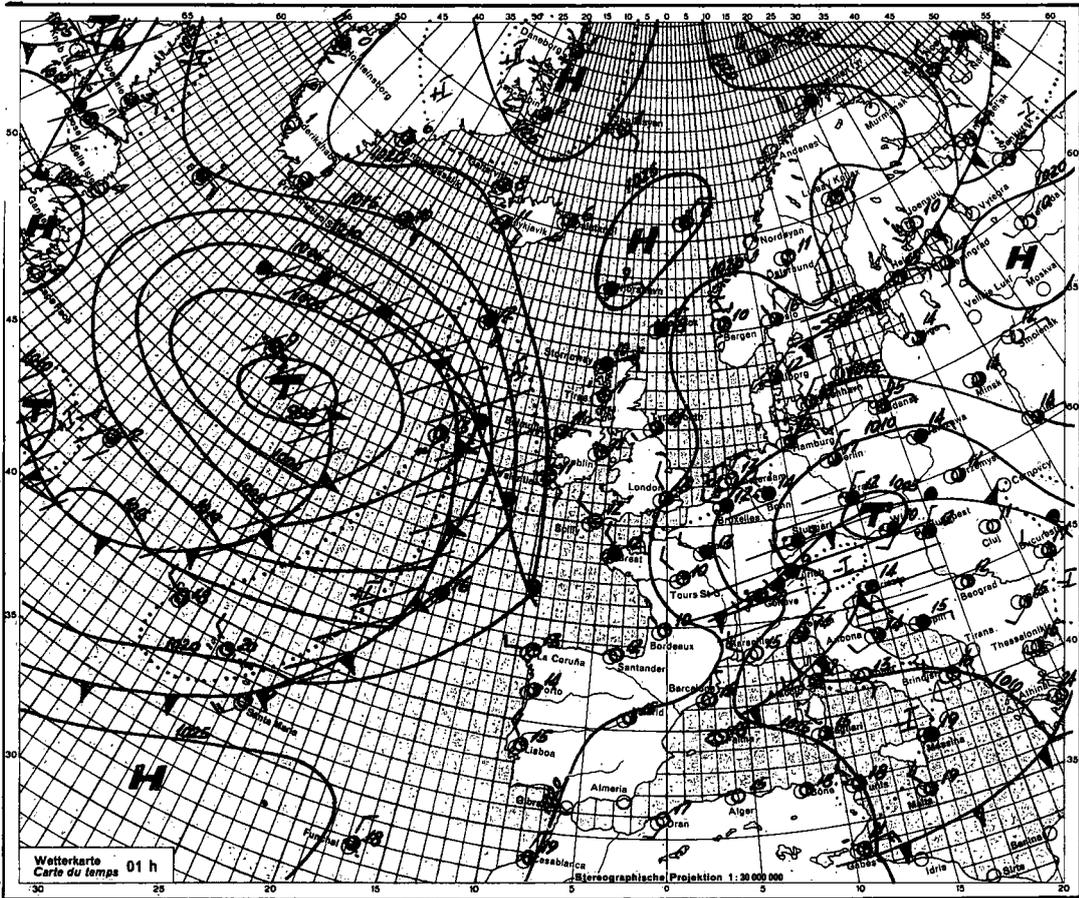


Abb. 11c Bodenkarte 10.6.1965, 01 h

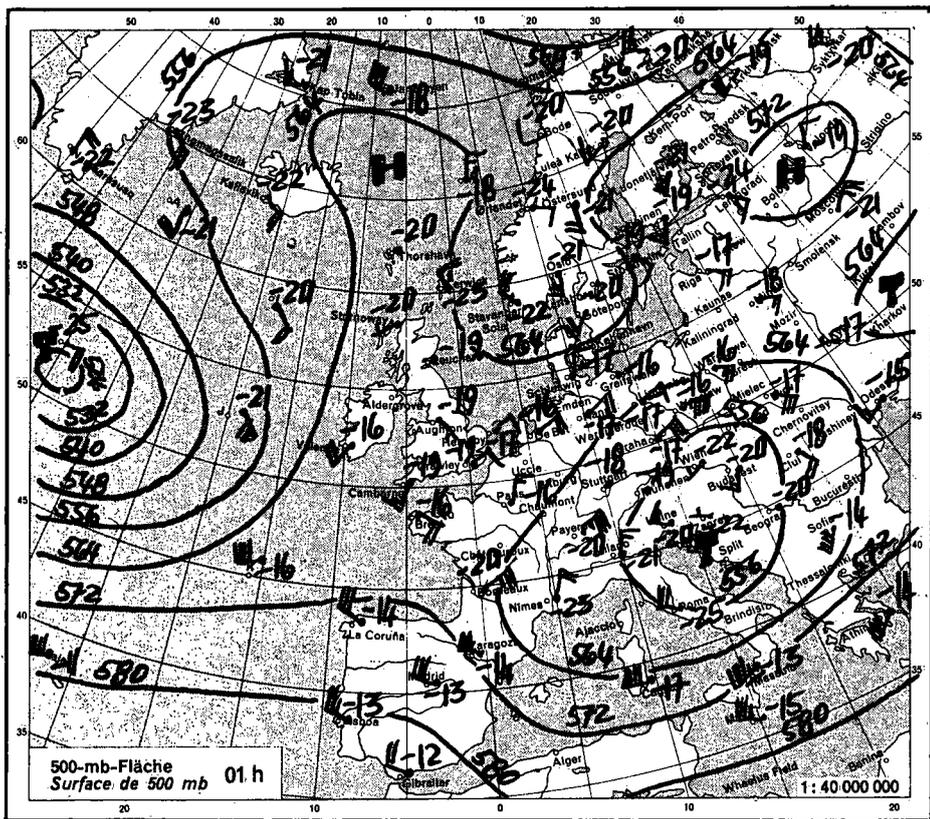


Abb. 11d Höhenkarte 10.6.1965, 01 h

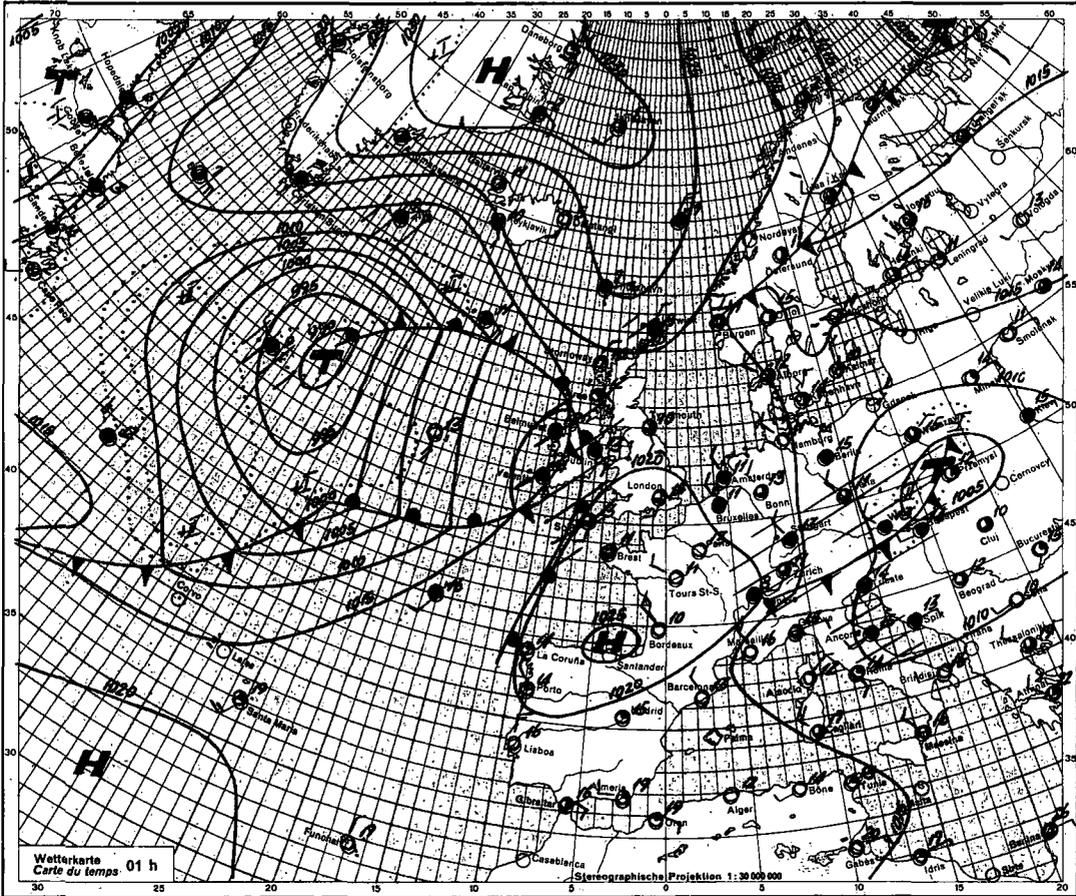


Abb. 11e Bodenkarte 11.6.1965, 01 h

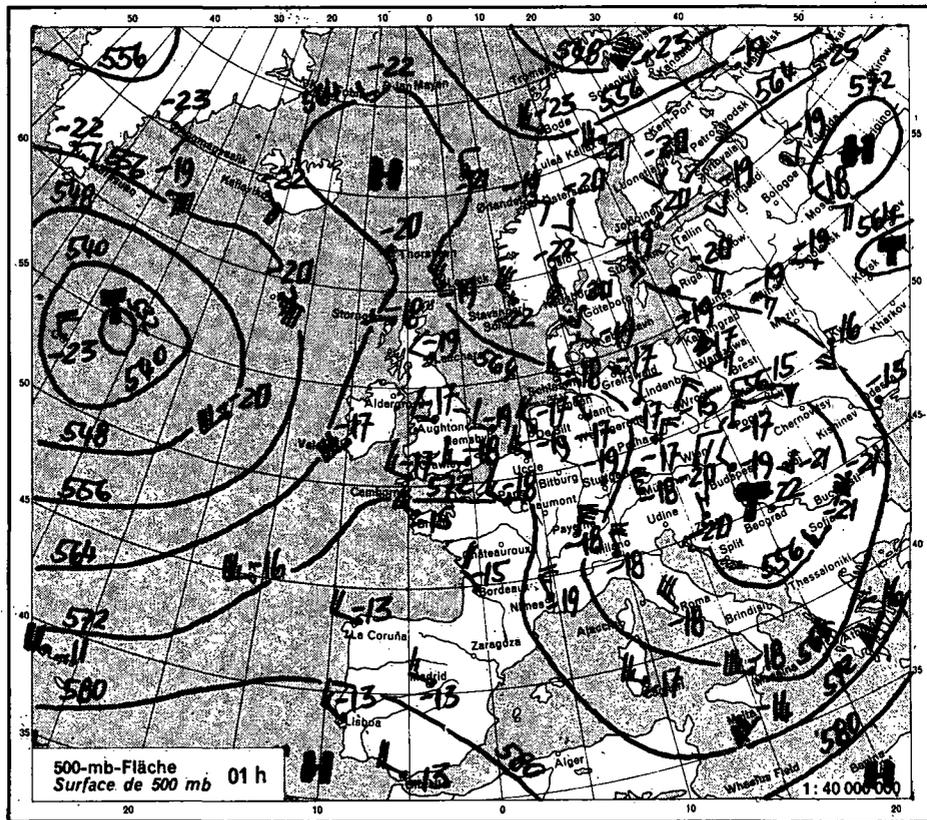


Abb. 11f Höhenkarte 11.6.1965, 01 h

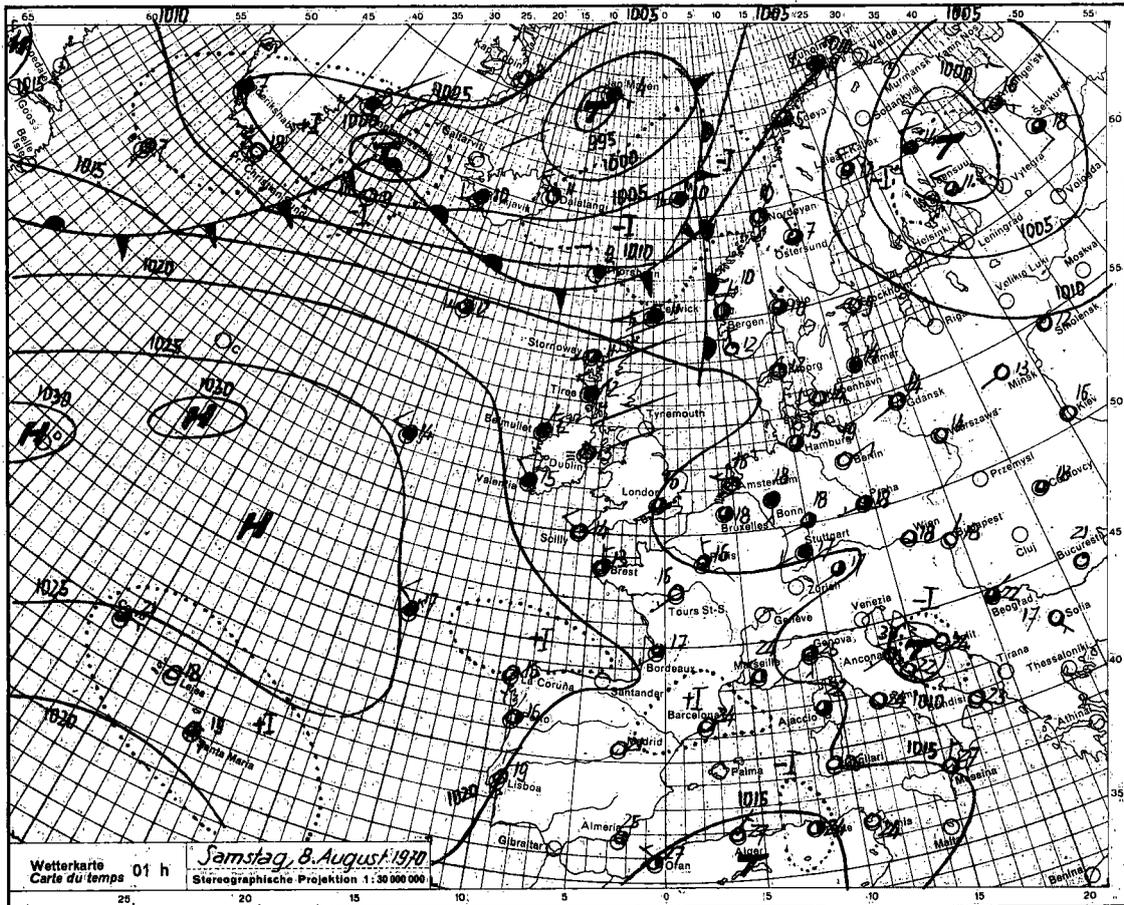


Abb. 12a Bodenkarte 8.8.1970, 01 h

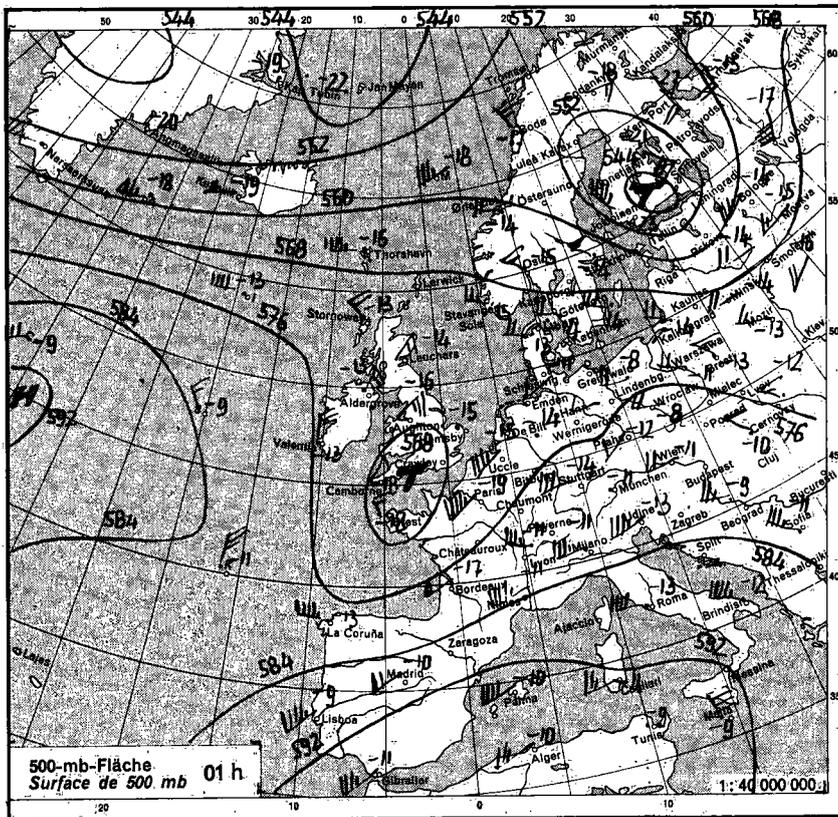


Abb. 12b Höhenkarte 8.8.1970, 01 h

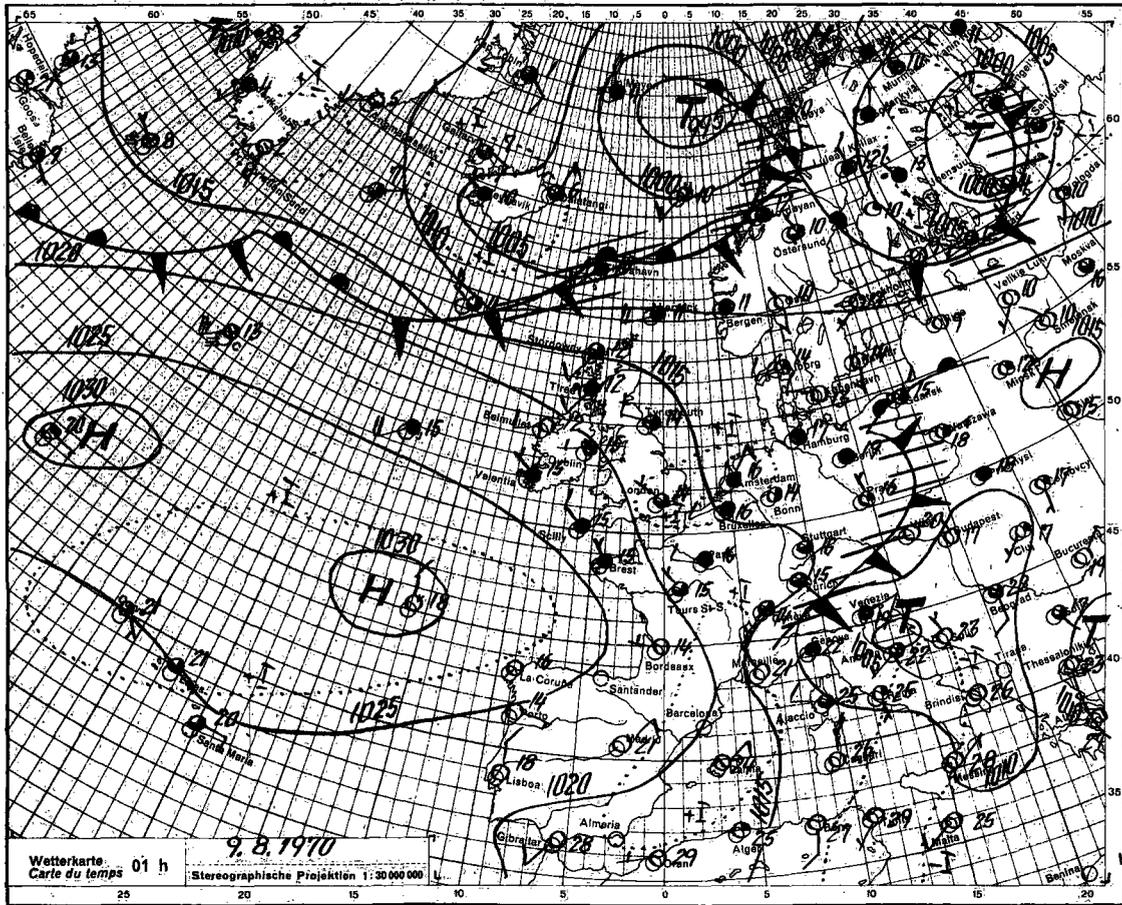


Abb. 12c Bodenkarte 9.8.1970, 01 h

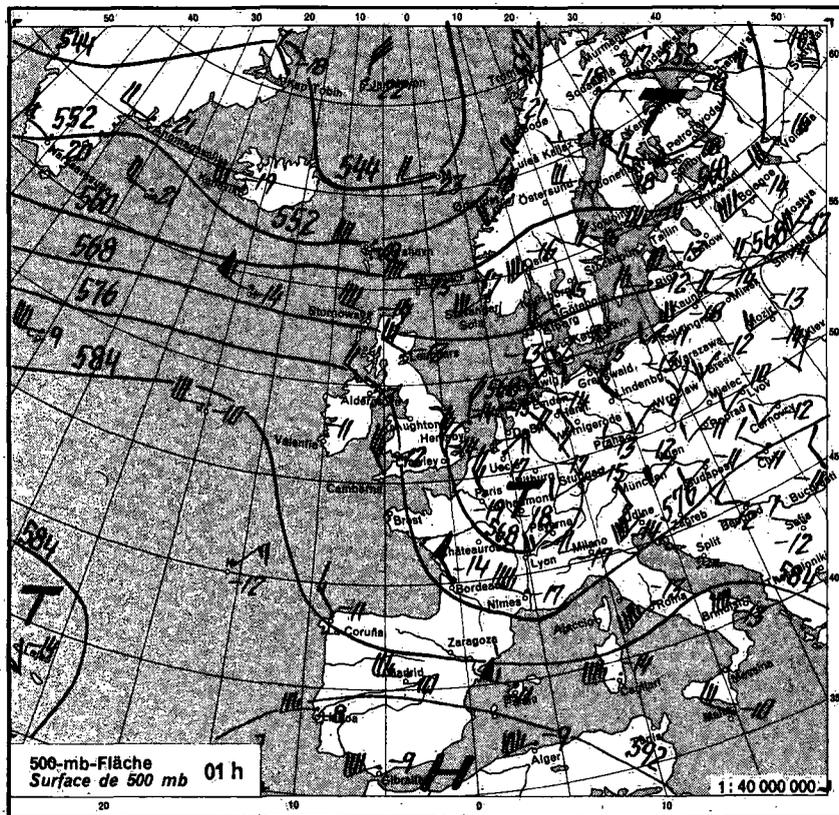


Abb. 12d Höhenkarte 9.8.1970, 01 h

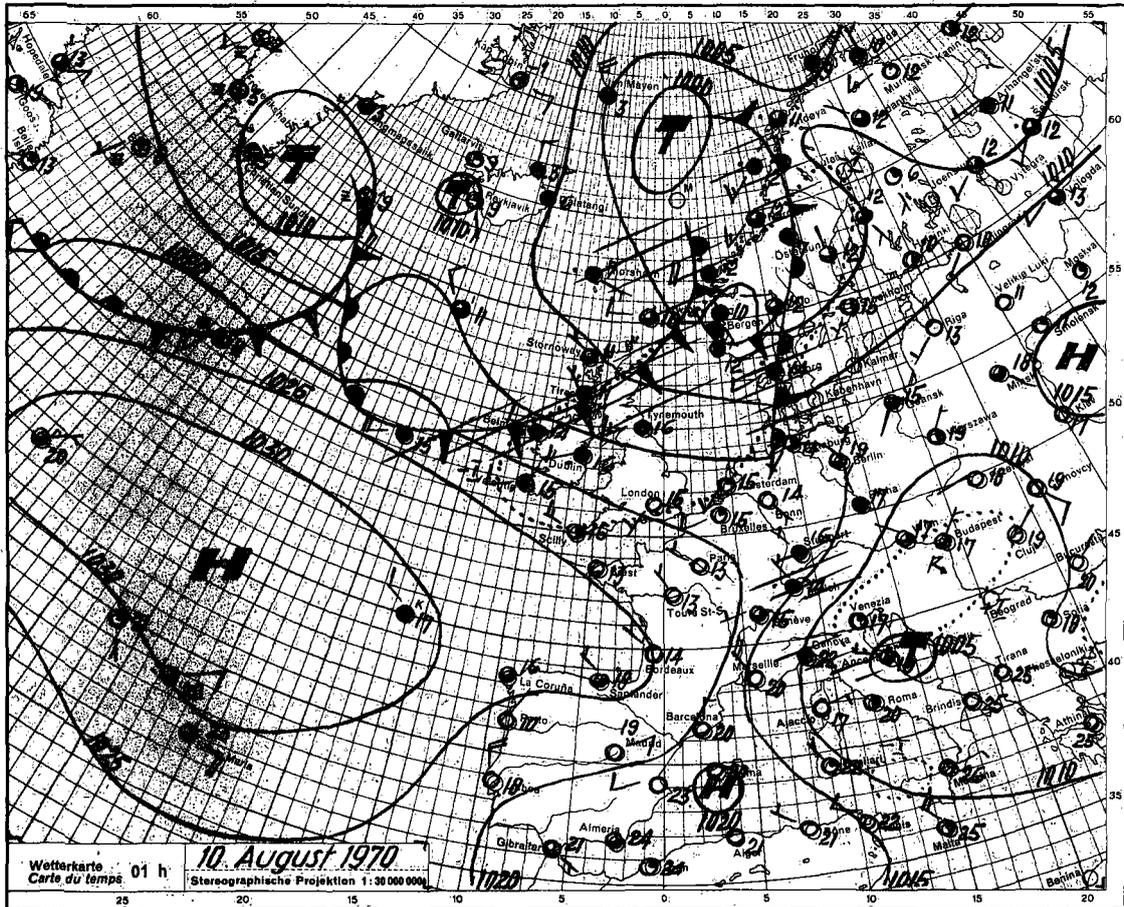


Abb. 12e. Bodenkarte 10.8.1970, 01 h

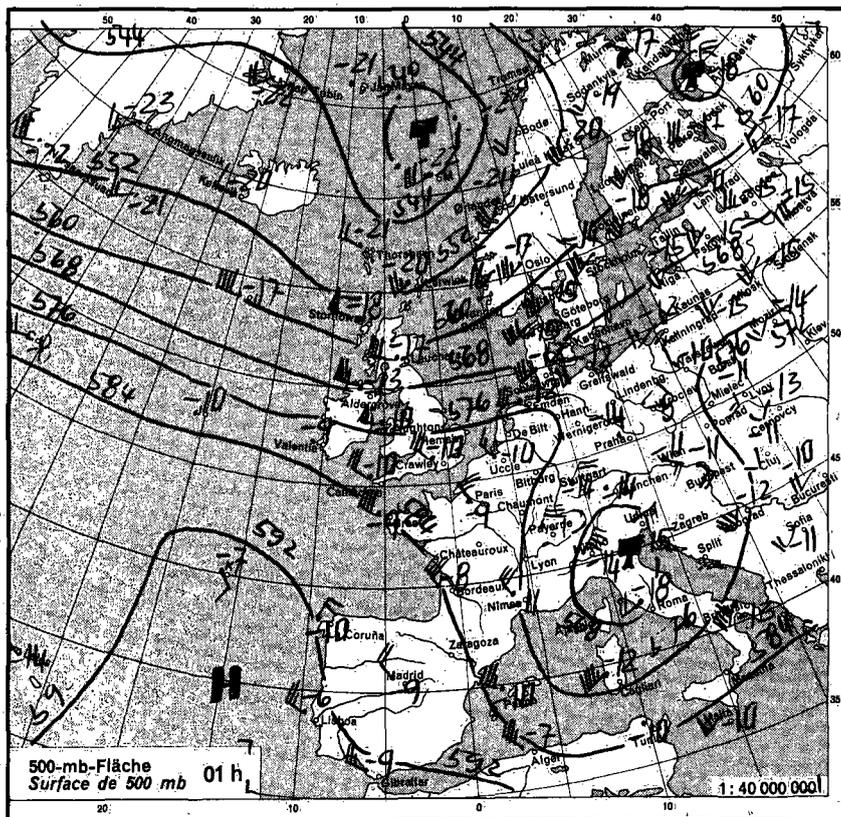


Abb. 12f Höhenkarte 10.8.1970, 01 h

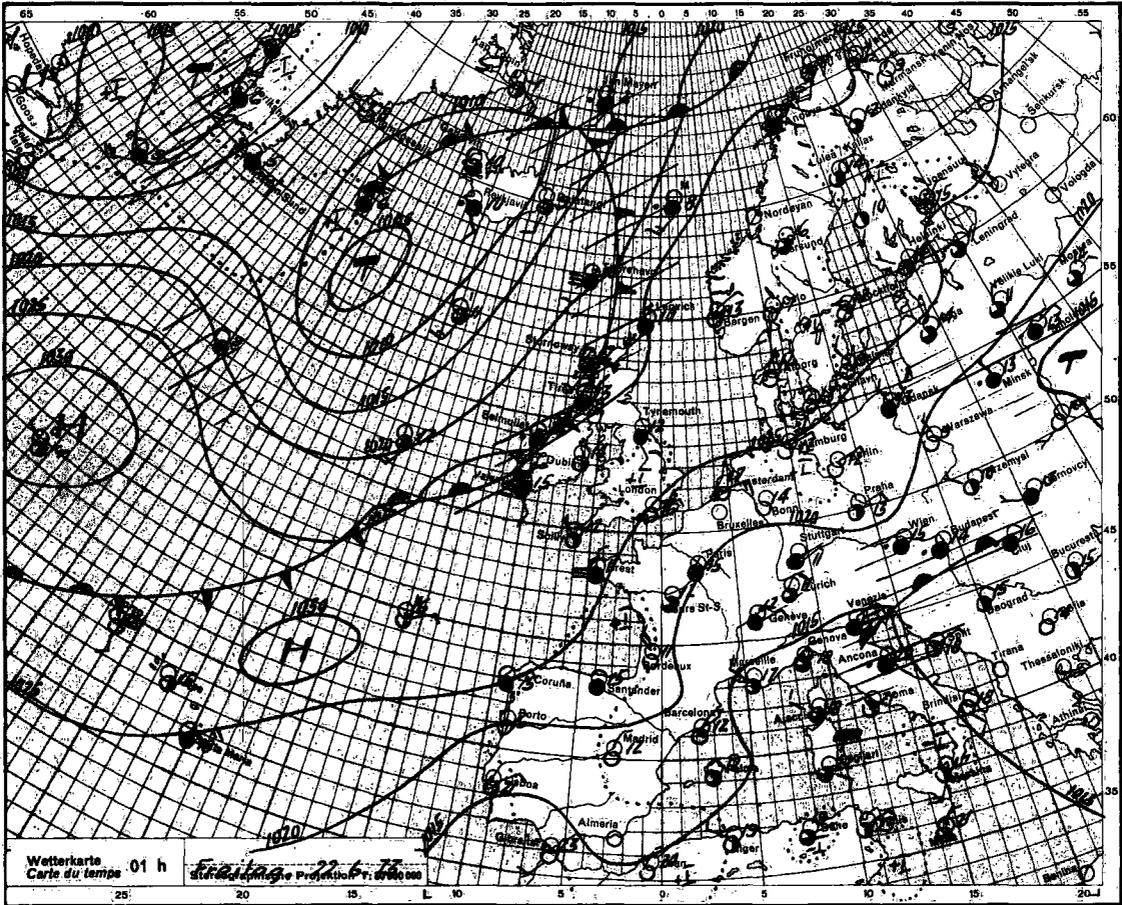


Abb. 13a Bodenkarte 22.6.1973, 01 h

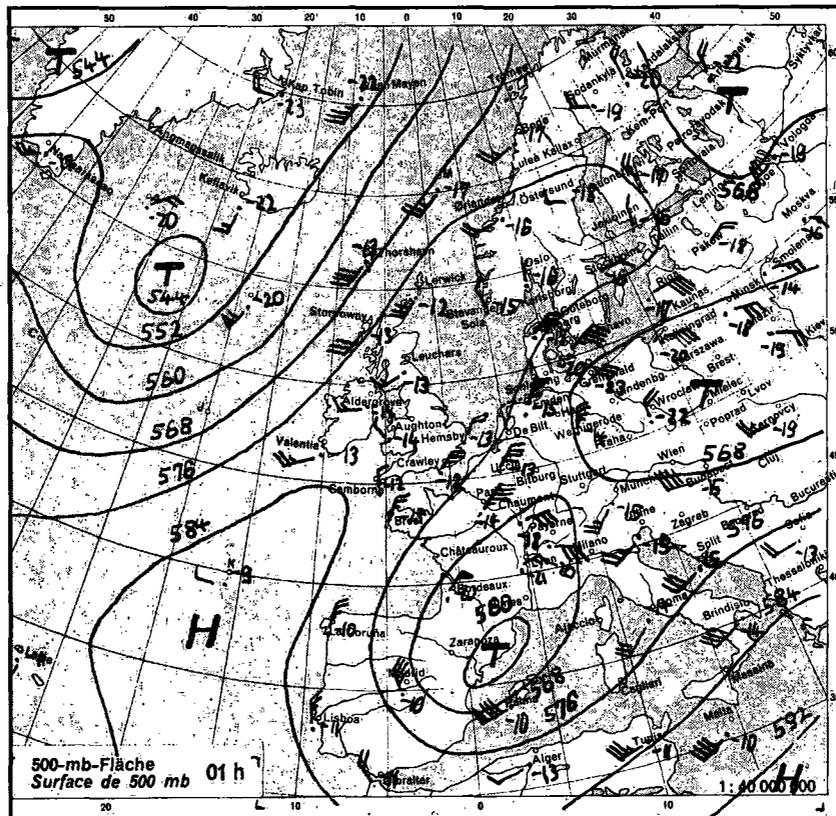


Abb. 13b Höhenkarte 22.6.1973, 01 h

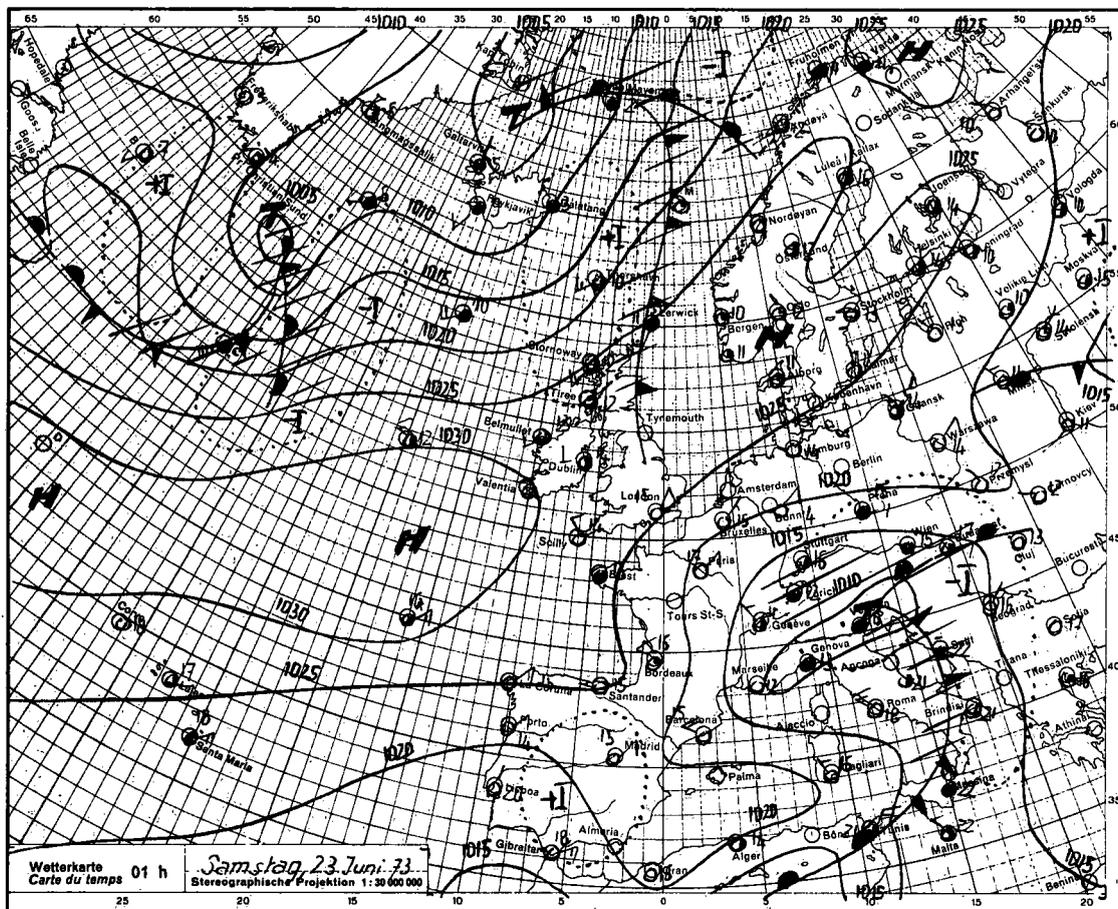


Abb. 13c Bodenkarte 23.6.1973, 01 h

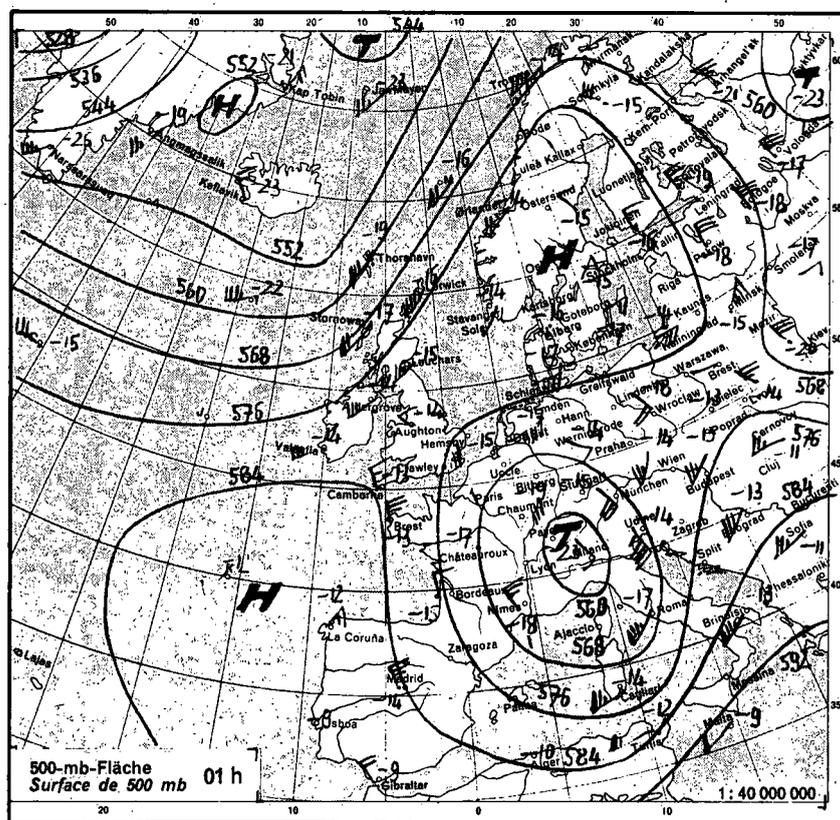


Abb. 13d Höhenkarte 23.6.1973, 01 h

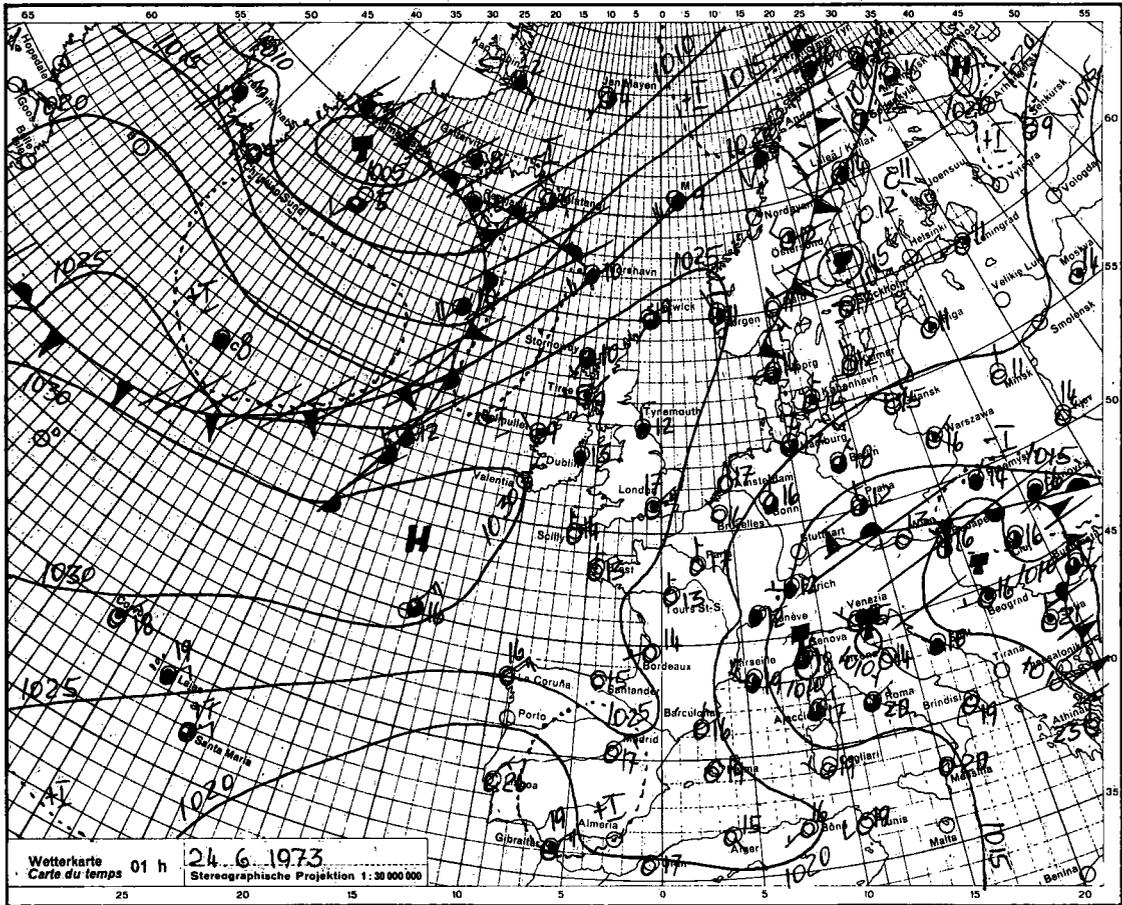


Abb. 13e Bodenkarte 24.6.1973, 01 h

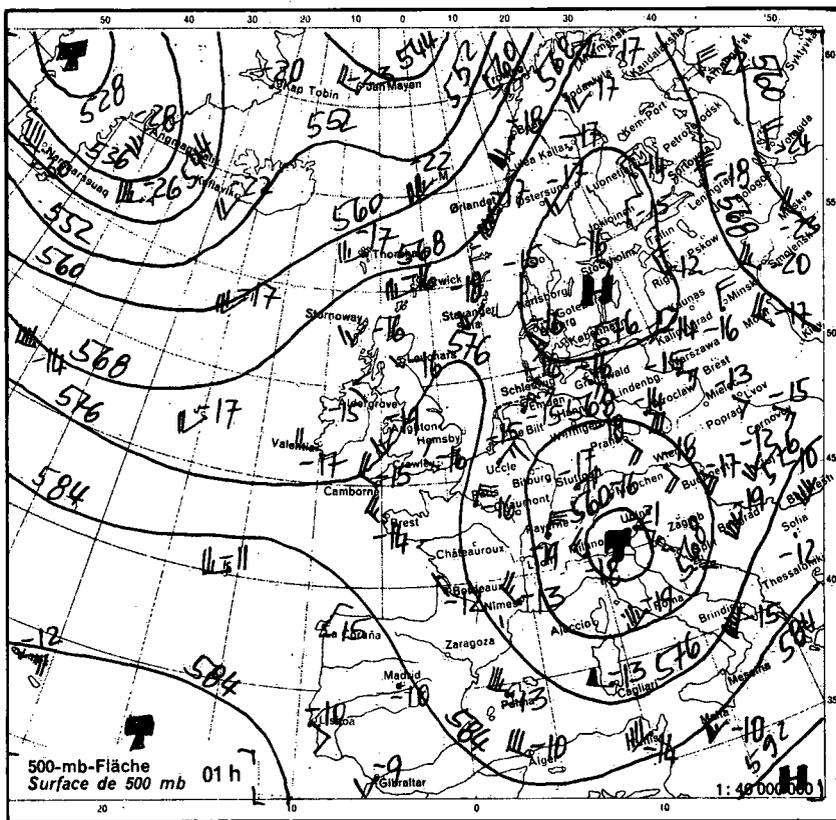


Abb. 13f Höhenkarte 24.6.1973, 01 h

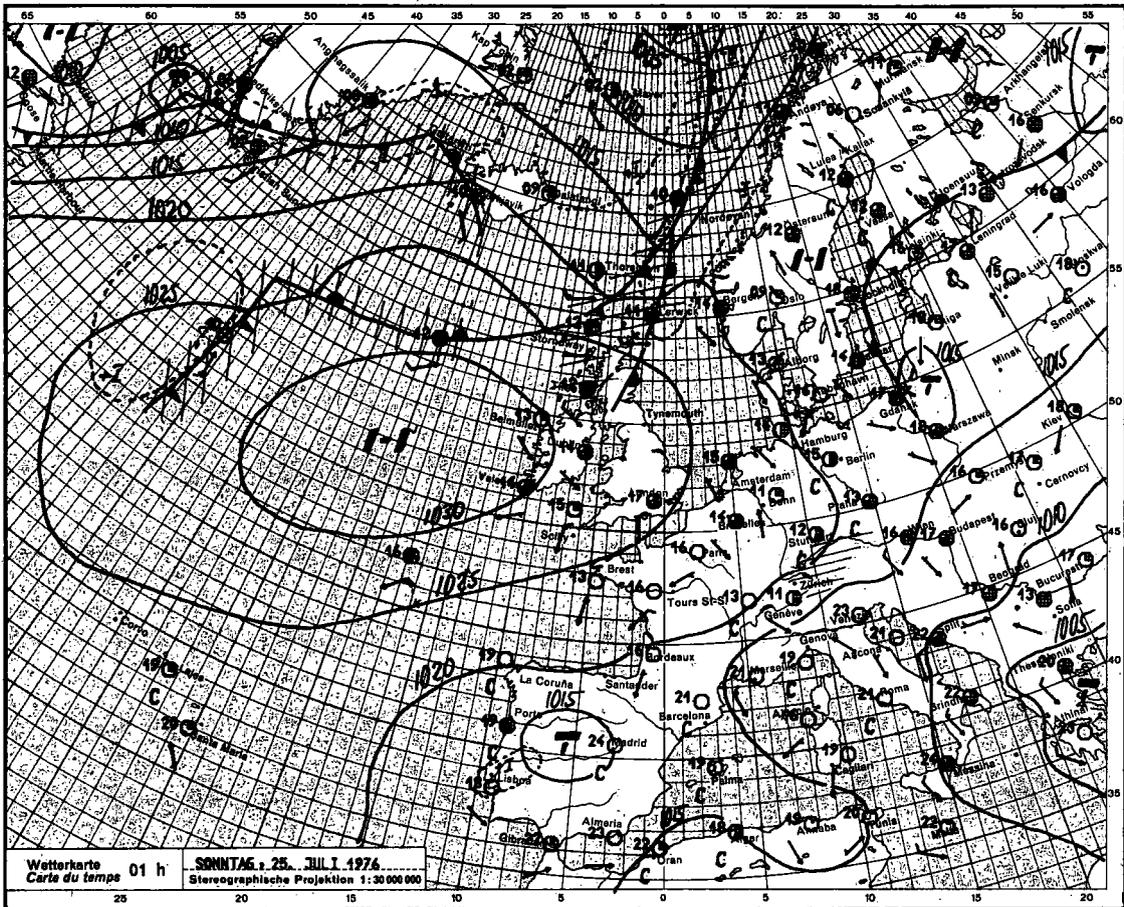


Abb 14a Bodenkarte 25.7.1976, 01 h

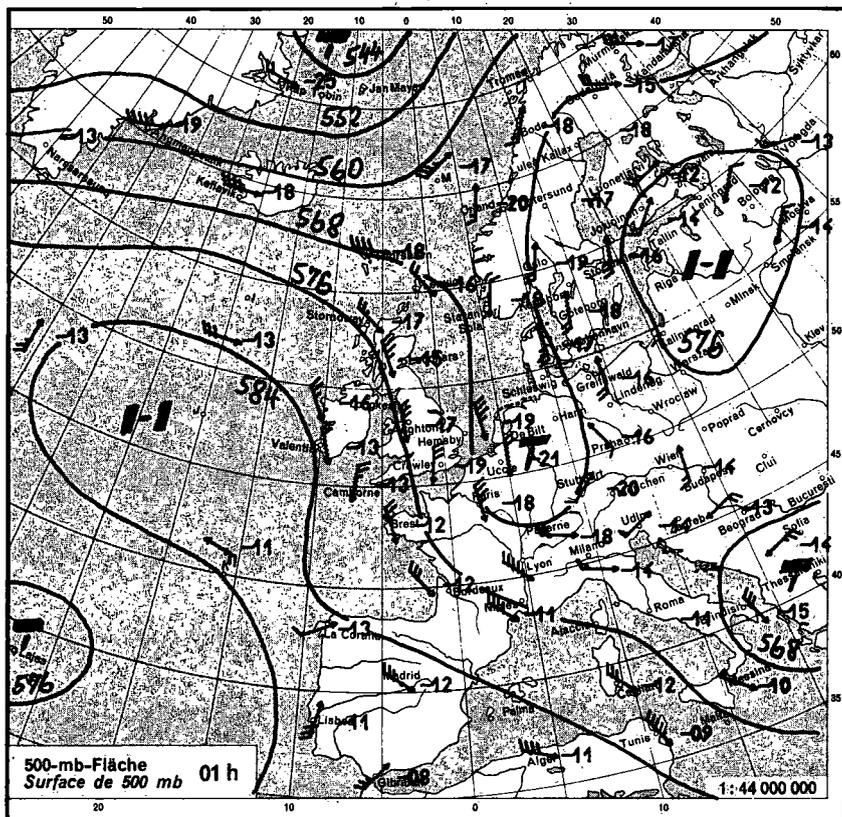


Abb. 14b Höhenkarte 25.7.1976, 01 h

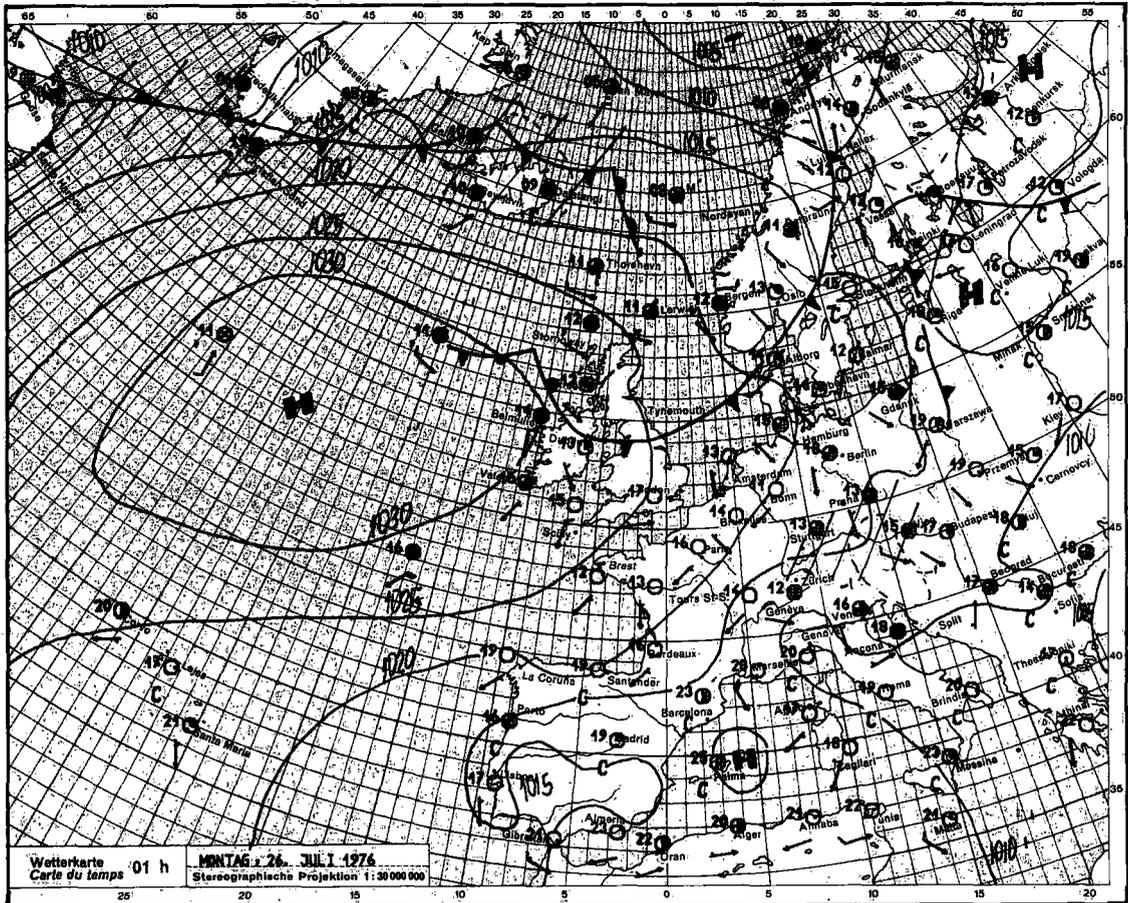


Abb. 14c Bodenkarte 26.7.1976, 01 h

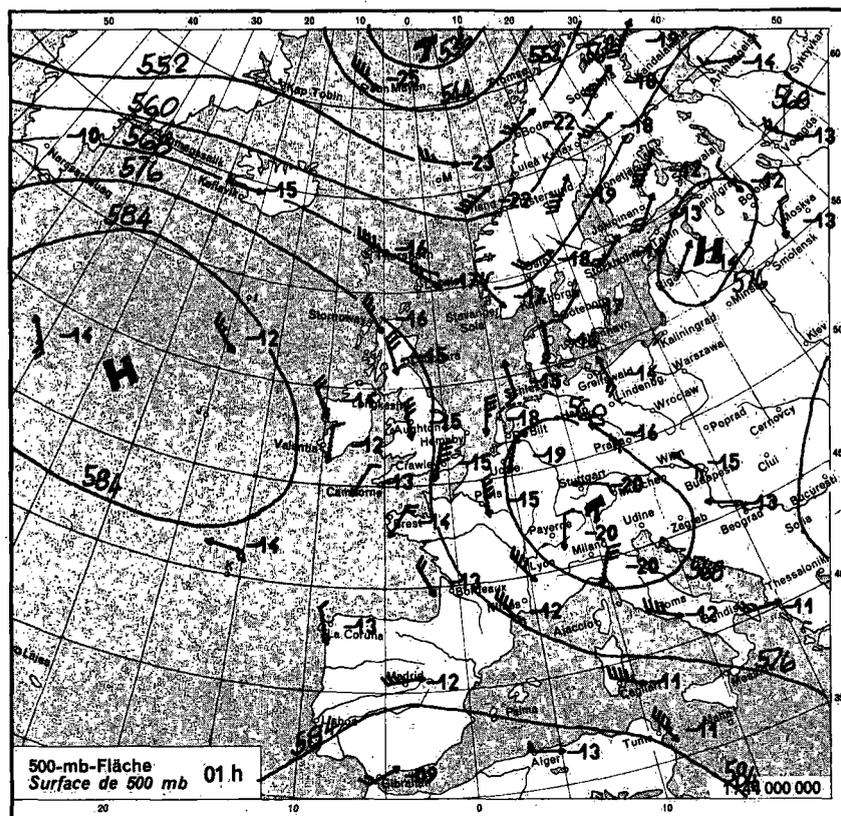


Abb. 14d Höhenkarte 26.7.1976, 01 h

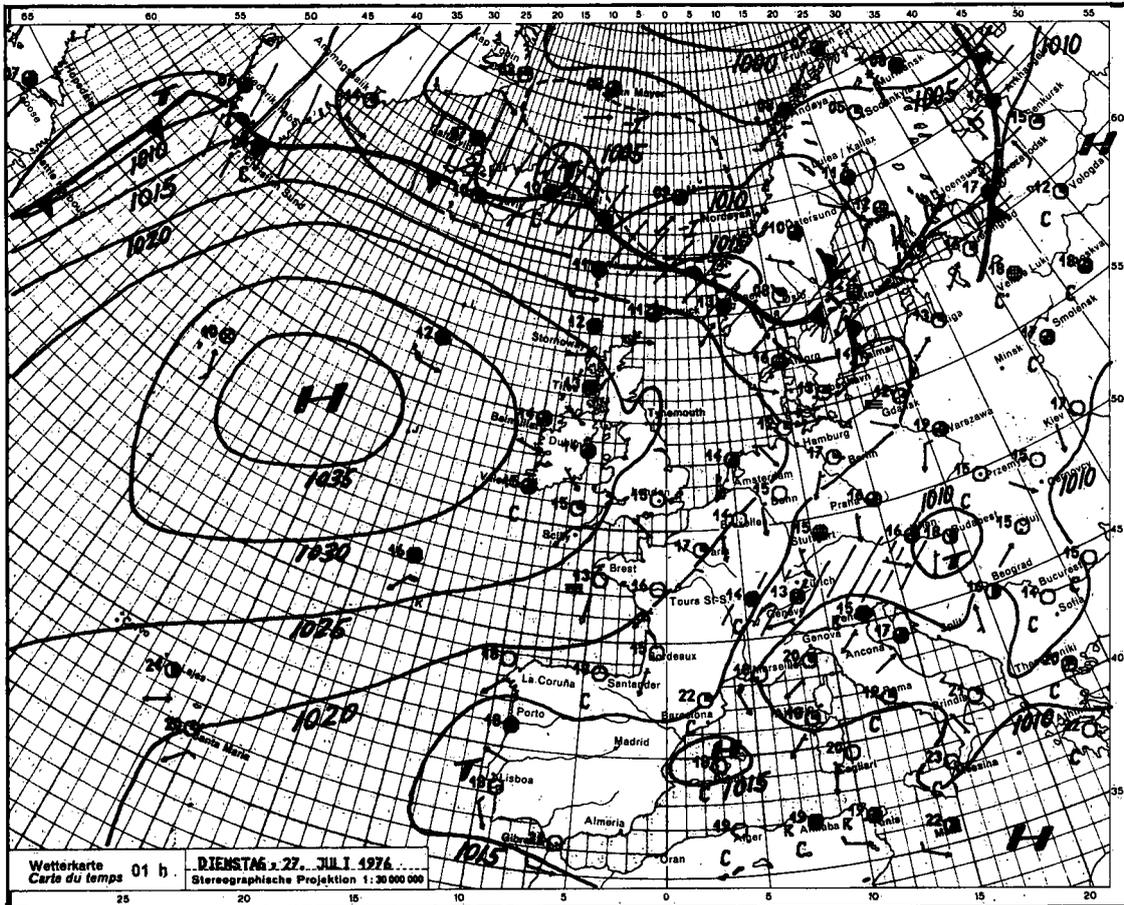


Abb. 14e Bodenkarte 27.7.1976, 01 h

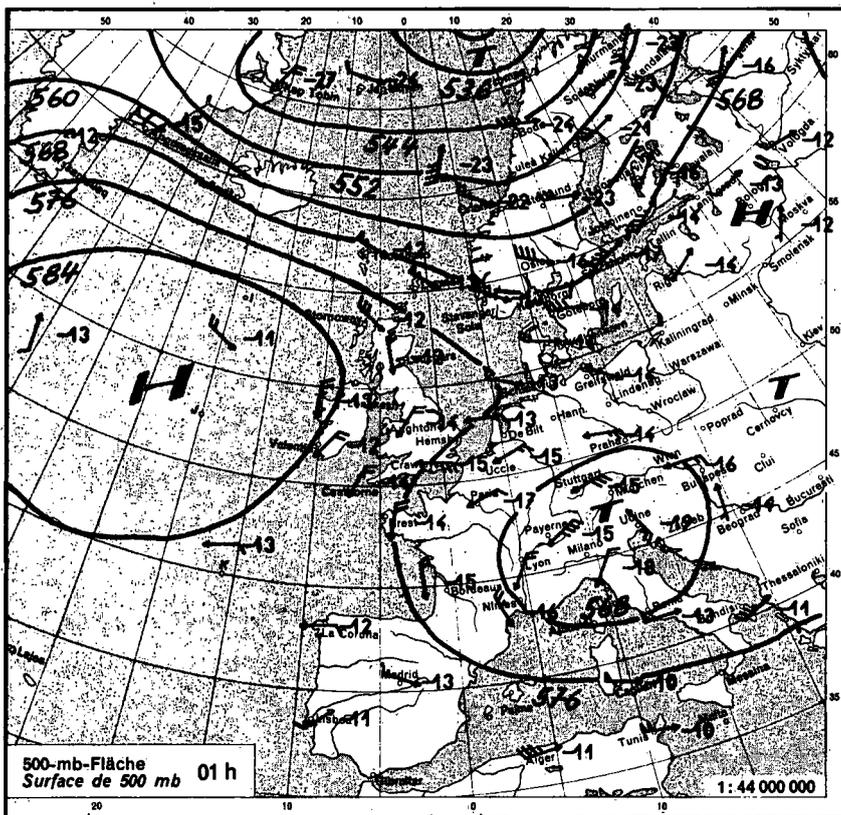


Abb. 14f Höhenkarte 27.7.1976, 01 h

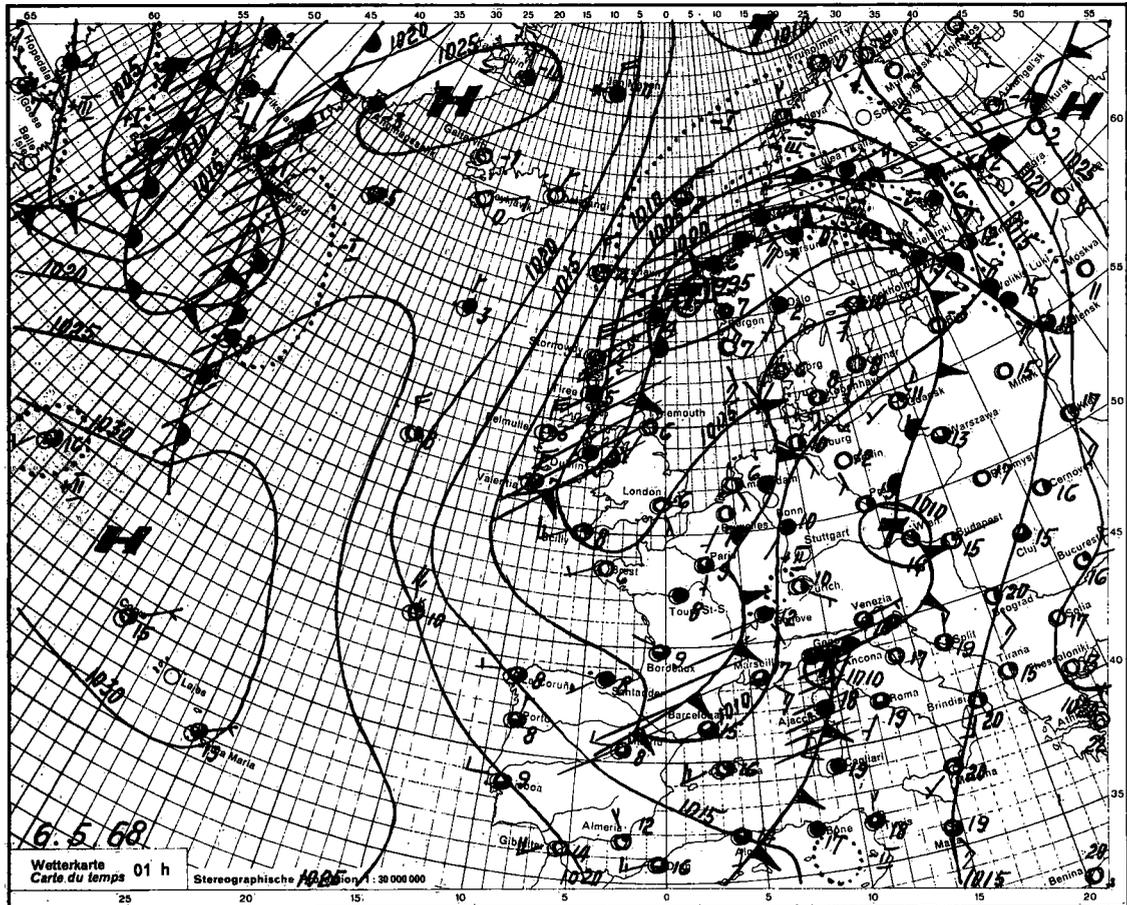


Abb. 15a Bodenkarte 6.5.1968, 01 h

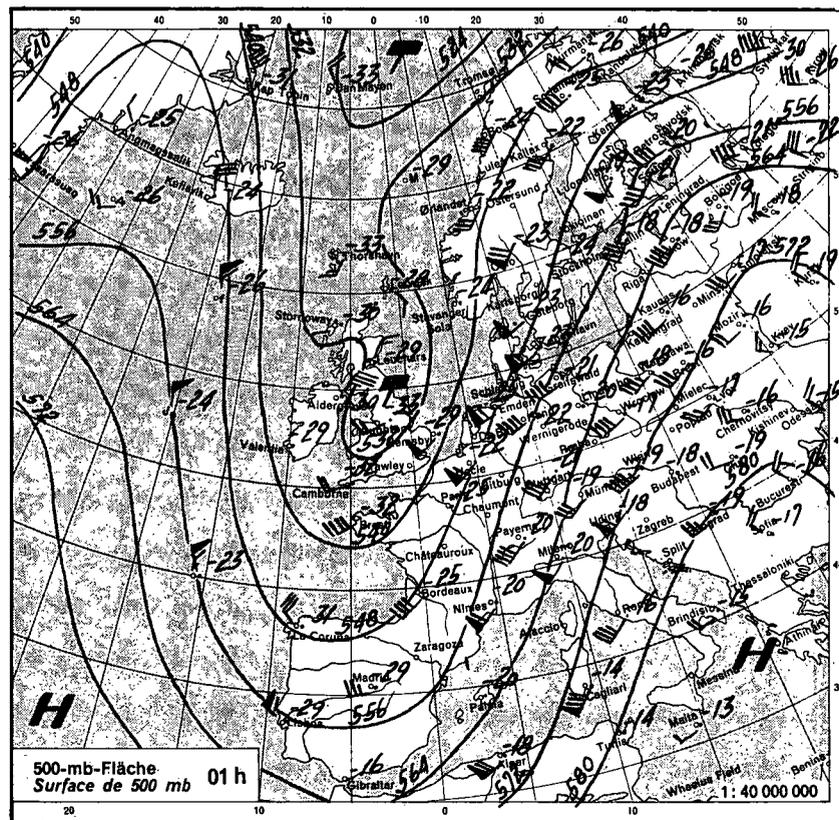


Abb. 15b Höhenkarte 6.5.1968; 01 h

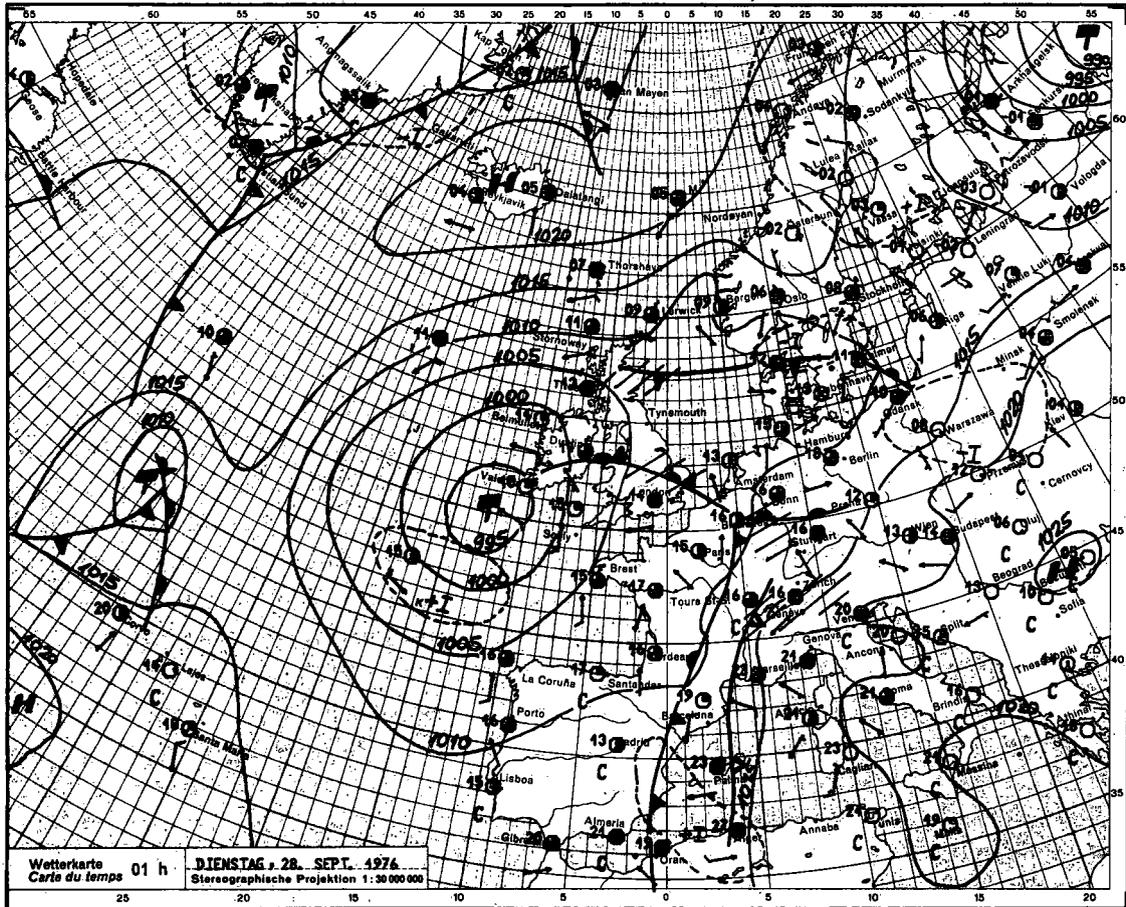


Abb. 16a Bodenkarte 28.9.1976, 01 h

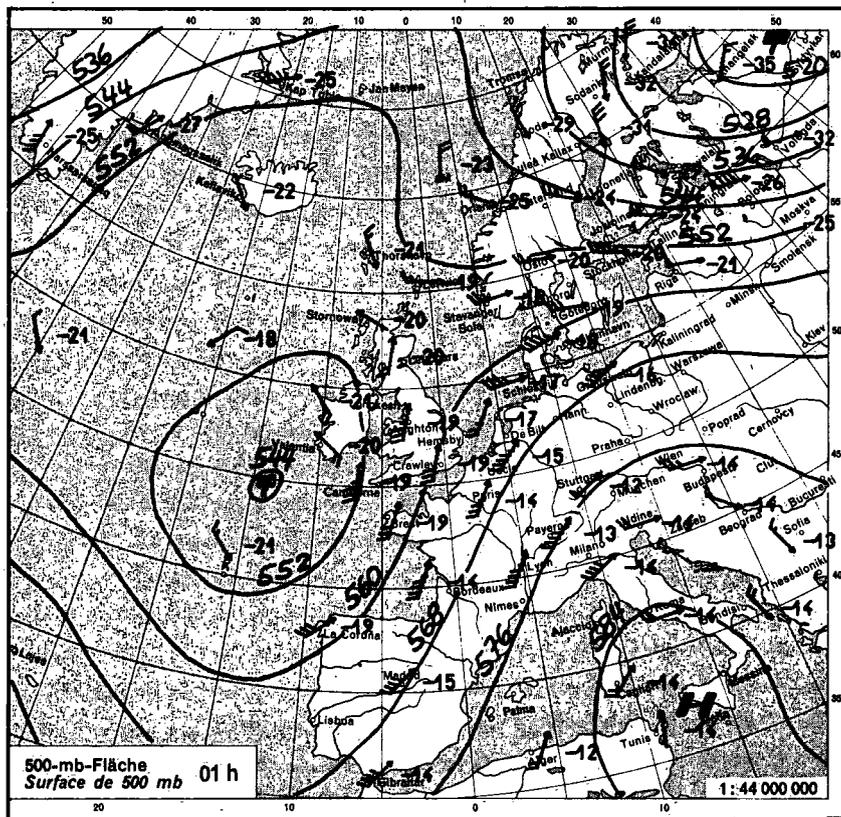
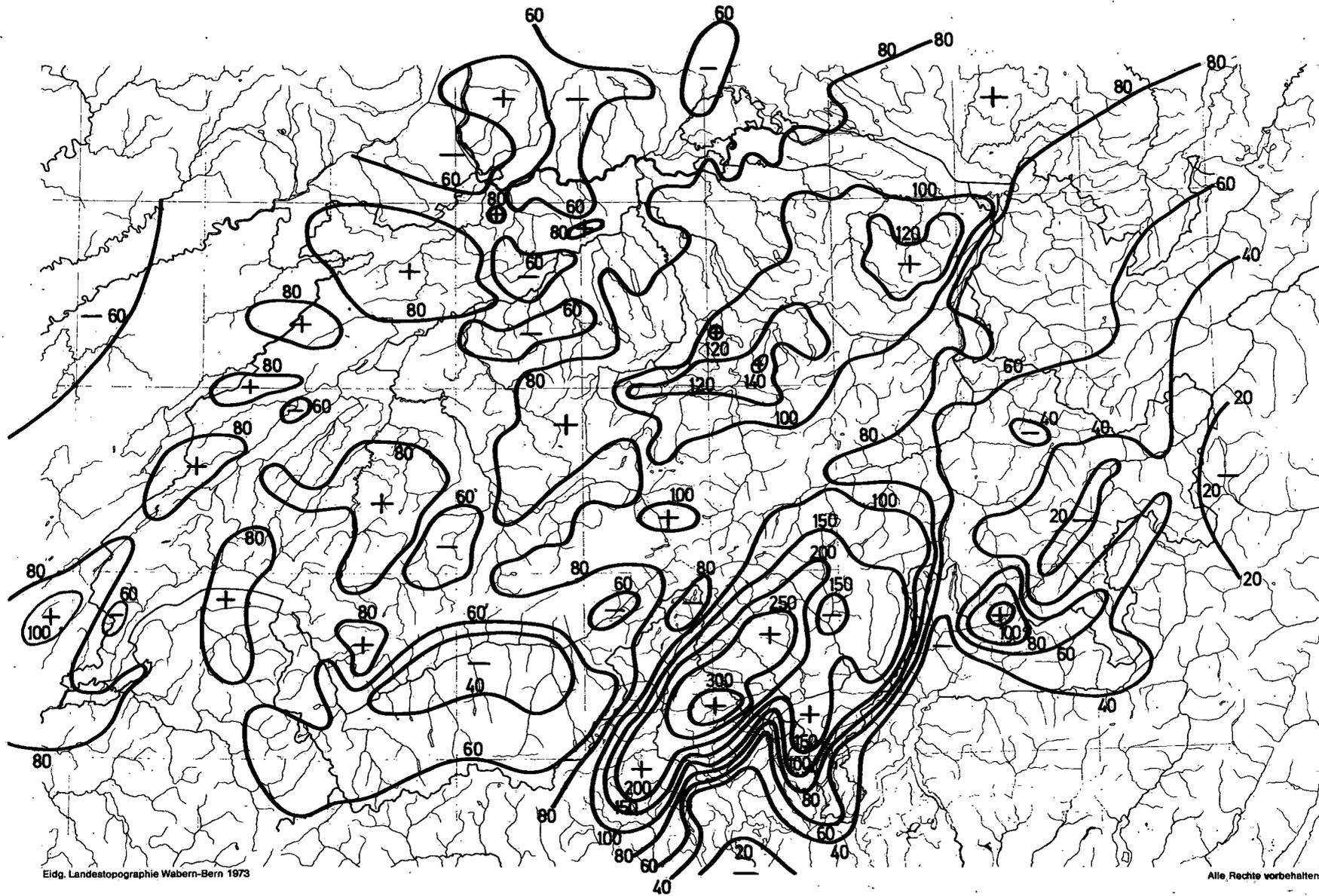


Abb. 16b Höhenkarte 28.9.1976, 01 h

Abb. 16c Windprofil siehe Seite 20



Eidg. Landestopographie Wabern-Bern 1973

Alle Rechte vorbehalten

Abb. 17 Niederschlagsmengen vom 7.8.1978 (mm)

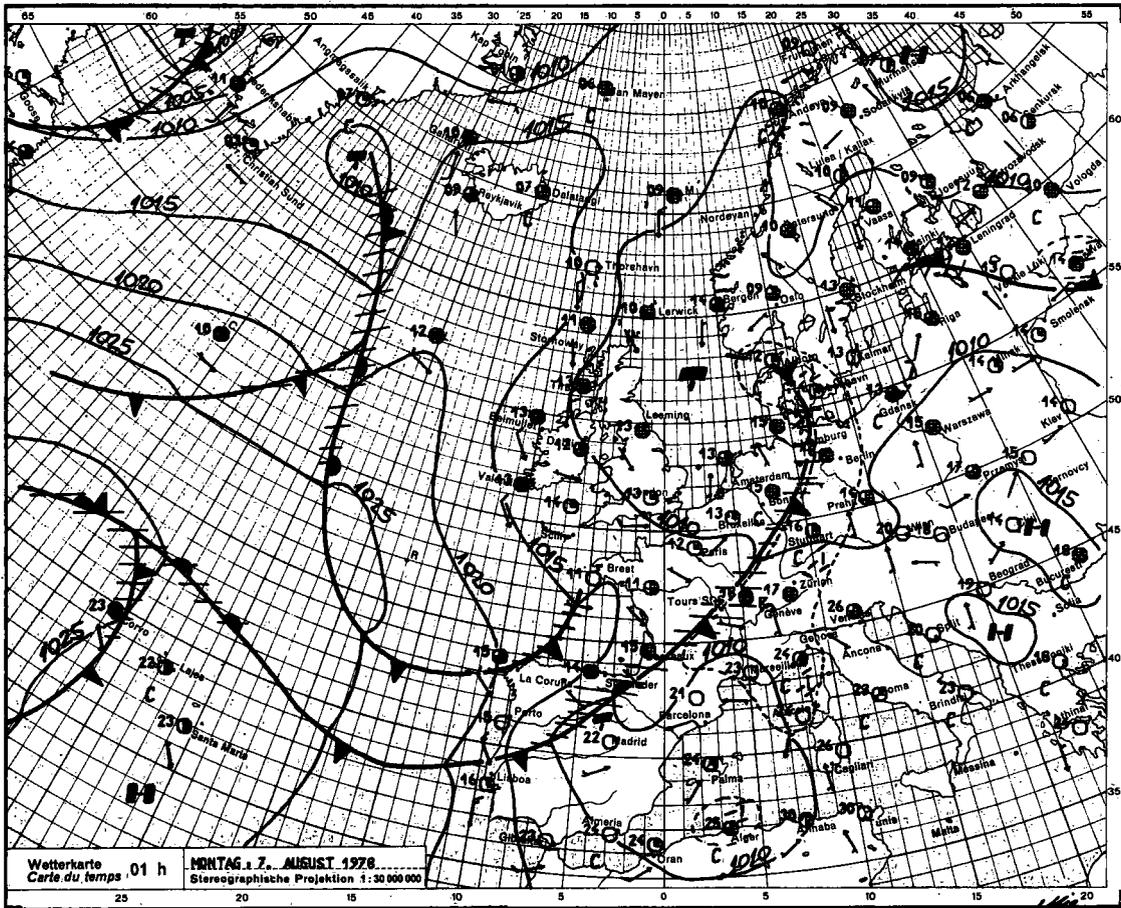


Abb. 18a Bodenkarte 7.8.1978, 01 h

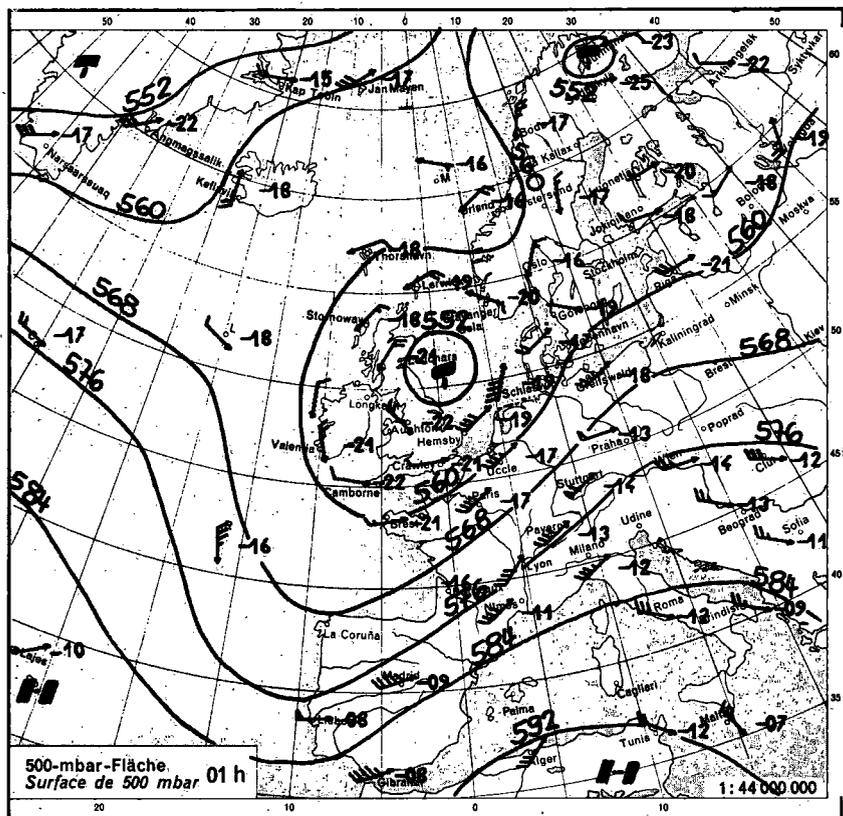


Abb. 18b Höhenkarte 7.8.1978, 01 h

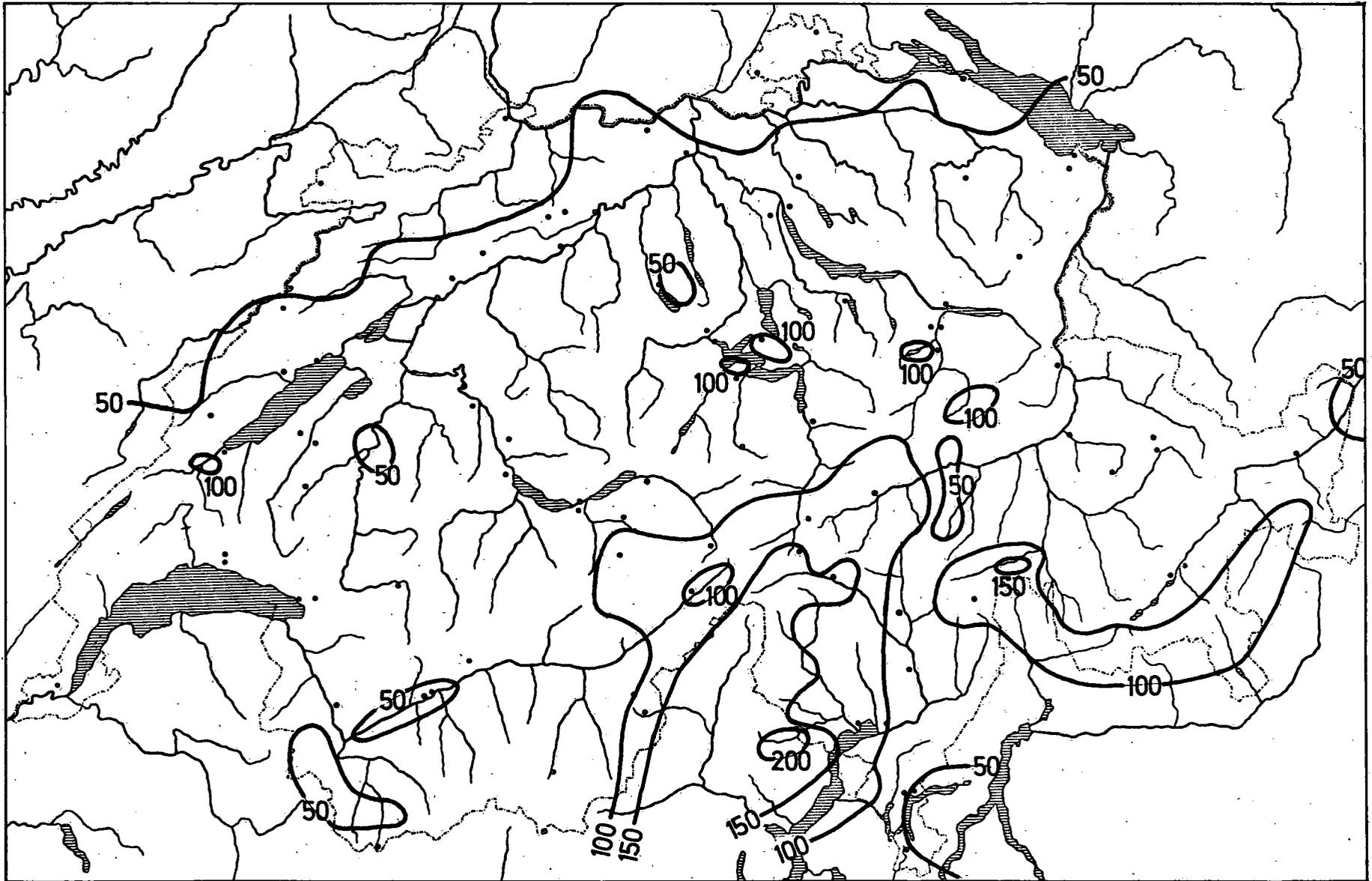


Abb. 19 Niederschlagsmengen vom 21.8.1954 (mm)

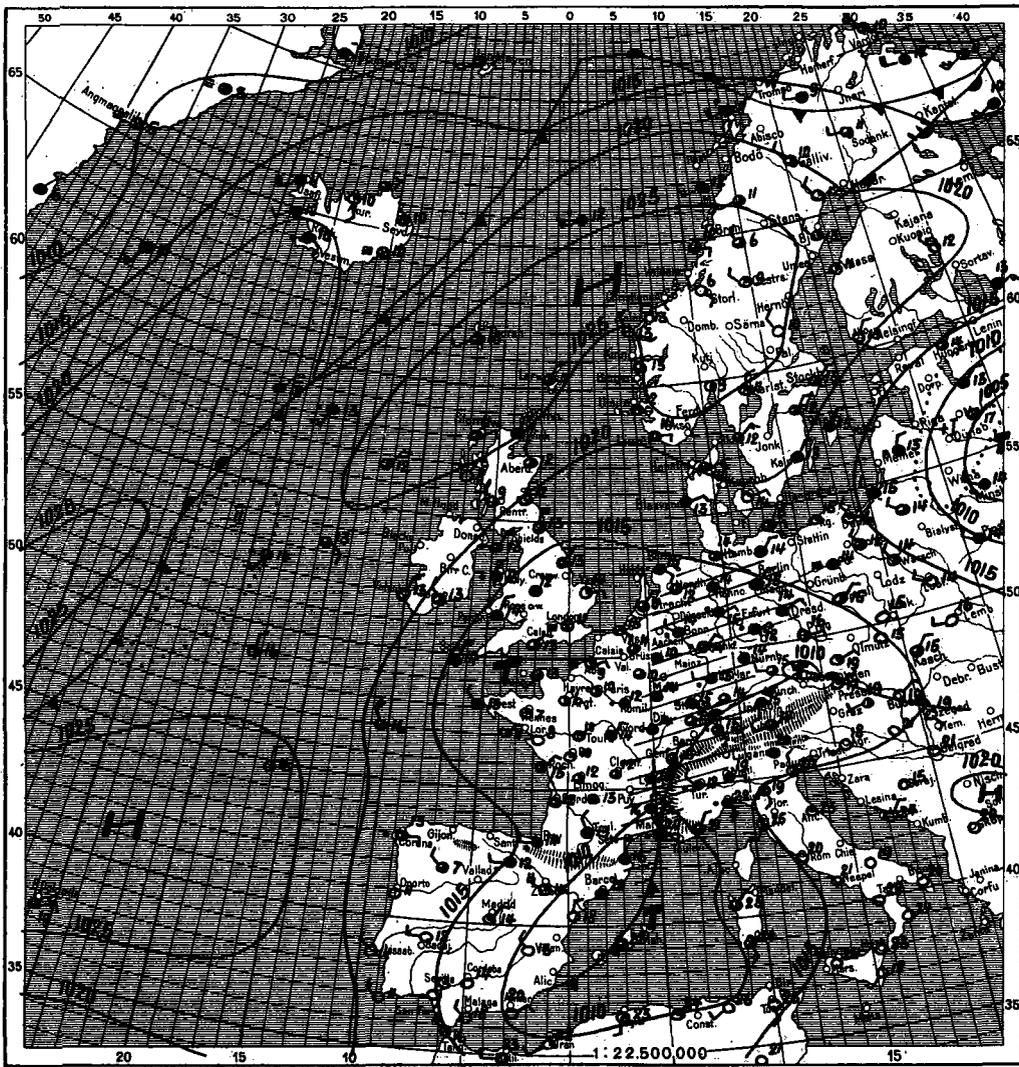


Abb. 20 Bödenkarte 21.8.1954, 07 h.

4. Flache Druckverteilungen (flache Höhentiefs): 4 Fälle (= 20 %) (26.6.53, 2.8.68, 6.6.71, 19.7.76)

4) Wetterlagen bei Starkniederschlägen im Sommerhalbjahr, die auf der Alpennordseite und in den Alpen in Verbindung mit Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite auftreten (Typ 4):

Die 19 Fälle von sommerlichen Starkniederschlägen des Typs 4 sind folgenden Wetterlagen zuzuordnen:

1. Markante Höhenträge über Westeuropa: 15 Fälle (= 79 %) (8.8.51, 13.8.57, 27.5.58, 19.8.58, 1.10.58, 17.8.63, 19.4.64, 22.8.65, 10.9.65, 6.5.66, 6.5.68 [Abb. 15], 28.9.76 [Abb. 16], 30.4.77, 7.8.78 [Abb. 17/18], 21.9.79).
2. Markante abgeschlossene Höhentiefs (Kaltlufttropfen) über Westeuropa: 4 Fälle (= 21 %) (21.8.54 [Abb.19/20], 16.9.60, 20.6.73, 29.8.77).

#### Starkniederschläge in Abhängigkeit von Parametern des Druck-, Temperatur- und Feuchtefeldes

Um die Entstehungsbedingungen der Starkniederschläge untersuchen zu können, müssen gute Höhenkarten mit aerologischen Daten mehrerer Niveaus von Europa und dem Atlantik zur Verfügung stehen. Dies ist erst seit 1949 der Fall. Seit dieser Zeit (1949 - Juni 1980) traten auf der Alpennordseite und in den Alpen der Schweiz insgesamt 59 Starkniederschläge auf.

Für die 59 Starkniederschläge wurde nun die Beziehung zu Parametern des Druck-, Temperatur- und Feuchtefeldes untersucht; und zwar wurden diejenigen Parameter ausgewählt, bei denen aufgrund physikalischer oder klimatologischer Kenntnisse ein Zusammenhang mit dem Niederschlag wahrscheinlich ist.

Folgende Parameter erwiesen sich als geeignete Prädiktoren für Starkniederschläge:

Bodenluftdruck und dessen 24-stündige Änderung

Höhe der 500 mbar-Fläche

Windrichtung und -stärke, relative Feuchte und potentielle Feuchttemperatur  $\theta_w$  in den Niveaus 850, 700 und 500 mbar

Temperatur im Niveau 300 mbar

Vertikaler Temperaturgradient  $\gamma$  zwischen 850 und 500 mbar

Gradient der relativen Topographie 500/1000 mbar (als Mass für den Luftmassengegensatz und die Frontaleffekte)

Feuchteadvektion (Produkt aus Windgeschwindigkeit und Mischungsverhältnis, gemittelt über die Niveaus 850, 700 und 500 mbar; als Mass für den Stauereffekt [2])

Laplaceoperator (nur im Sommerhalbjahr verwendet; Laplaceoperator = Differenz der 500 mbar-Höhe an 4 Punkten eines Kreises (gemittelt) gegenüber derjenigen im Kreismittelpunkt)

24-stündige Änderung des Laplaceoperators 500 mbar

12-stündige Niederschlagsmenge über Ostfrankreich (18 - 06 GMT vor dem Starkniederschlag); bei Starkniederschlägen des Typs 2) und 4) auch über Südostfrankreich und Nordwestitalien, sowie die 24-stündige Niederschlagsmenge über der Alpensüdseite der Schweiz (06 - 06 GMT vor dem Starkniederschlag)

Bei Troglagen: Position der Trogachse

Bei Lagen "Abgeschlossenes Höhentief": Position des Höhentiefzentrums.

In Tab. 3 sind nun die Prädiktoren und ihre Wertebereiche für die 4 Typen von Starkniederschlägen angegeben.

Eine weitere Tabelle (Tab. 4) zeigt für jeden einzelnen Starkniederschlag die Werte der Prädiktoren.

Tab. 3

## Typ 1/Typ 3: Starkniederschläge, die nur auf der Alpennordseite und in den Alpen auftreten

Prädiktoren (00 GMT)	Winterhalbjahr (Typ 1)	Sommerhalbjahr (Typ 3)
1) Windrichtung und -stärke 500 mbar (Payerne)	260-290° / ≥ 60 Ktn. oder 300-340° / ≥ 50 Ktn.	---
2) Mittlere Windstärke 850/700 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)	≥ 40 Ktn.	---
3) Mittlere Windstärke 850/700/500 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)	≥ 45 Ktn.	---
4) Bodenluftdruck (Zürich/Genève)	≤ 1019 mbar	≤ 1019 mbar
5) 24-stündige Änderung des Bodenluftdrucks (Zürich/Genève)	≤ +5 mbar	≤ +3 mbar
6) Höhe der 500 mbar-Fläche (Payerne)	546-567 Dm	556-583 Dm
7) Potentielle Feuchttemperatur 850 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)	≥ 10.0°	≥ 13.0°
8) Potentielle Feuchttemperatur 700 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)	≥ 11.5°	≥ 12.0°
9) Potentielle Feuchttemperatur 500 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)	≥ 13.0°	≥ 13.5°
10) Temperatur 300 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)	≥ -46°	≥ -46°
11) Vertikaler Temperaturgradient zwischen 850 und 500 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)	≤ -0.50°/100 m	≤ -0.60°/100 m
12) Mittlere Taupunktdifferenz 850/700/500 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)	≤ 2.0°	≤ 2.0°
13) Gradient der Relativen Topographie 500/1000 mbar (in Advektionsrichtung)	≥ 12 Dm/555 km	---
14) Feuchteadvektion (Produkt aus Windgeschwindigkeit und Mischungsverhältnis, 850/700/500 mbar-Mittel) (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)	≥ 150 Ktn. g/kg	≥ 50 Ktn. g/kg
15) Laplaceoperator 500 mbar (Differenz der 500 mbar-Höhe an 4 Punkten eines Kreises (gemittelt) gegenüber demjenigen im Kreismittelpunkt) (Kreismittelpunkt: Zentralschweiz; Kreisradius 500 km)	---	≥ -3.5
16) 24-stündige Änderung des Laplaceoperators 500 mbar	---	≥ -3.0
17) Bei Troglagen: Position der Trogachse (auf Breite 47°N)	---	6°W - 4°E
18) Bei Lagen "Abgeschlossenes Höhentief": Position des Höhentiefzentrums	---	6°W - 15°E
19) 12-stündige Niederschlagsmenge (18 GMT [-1] - 06 GMT [0]) an mindestens einer von 18 Stationen (Ostfrankreich und Genève)	≥ 8 mm	≥ 9 mm

## Typ 2/Typ 4: Starkniederschläge, die auf der Alpennordseite und in den Alpen in Verbindung mit Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite auftreten

Prädiktoren (00 GMT)	Winterhalbjahr (Typ 2)	Sommerhalbjahr (Type 4)
1) Windrichtung und -stärke 500 mbar (Payerne oder Milano)	180-240° / ≥ 40 Ktn.	180-240° / ≥ 30 Ktn.
2) Mittlere Windstärke 850/700 mbar (Payerne, Milano oder Station in Advektionsrichtung)	≥ 32 Ktn.	≥ 15 Ktn.
3) Mittlere Windstärke 850/700/500 mbar (Payerne, Milano oder Station in Advektionsrichtung)	≥ 37 Ktn.	≥ 20 Ktn.
4) Bodenluftdruck (Zürich/Genève)	≤ 1015 mbar	≤ 1017 mbar
5) 24-stündige Änderung des Bodenluftdrucks (Zürich/Genève)	---	≤ +5 mbar
6) Höhe der 500 mbar-Fläche (Payerne oder Milano)	≥ 542-565 Dm	> 555-576 Dm

<u>Prädiktoren (00 GMT)</u>	<u>Winterhalbjahr (Typ 2)</u>	<u>Sommerhalbjahr (Typ 4)</u>
7) Potentielle Feuchttemperatur 850 mbar (Payerne, Milano oder Station in Advektionsrichtung)	$\geq 11.0^{\circ}$	$\geq 13.5^{\circ}$
8) Potentielle Feuchttemperatur 700 mbar (Payerne, Milano oder Station in Advektionsrichtung)	$\geq 11.5^{\circ}$	$\geq 12.5^{\circ}$
9) Potentielle Feuchttemperatur 500 mbar (Payerne, Milano oder Station in Advektionsrichtung)	$\geq 12.5^{\circ}$	$\geq 13.0^{\circ}$
10) Temperatur 300 mbar (Payerne, Milano oder Station in Advektionsrichtung)	$\geq -47^{\circ}$	$\geq -45^{\circ}$
11) Vertikaler Temperaturgradient zwischen 850 und 500 mbar (Payerne, Milano oder Station in Advektionsrichtung)	$\leq -0.55^{\circ}/100 \text{ m}$	$\leq -0.60^{\circ}/100 \text{ m}$
12) Mittlere Taupunktdifferenz 850/700/500 mbar (Payerne, Milano oder Station in Advektionsrichtung)	$\leq 4.3^{\circ}$	$\leq 4.0^{\circ}$
13) Gradient der Relativen Topographie 500/1000 mbar (in Advektionsrichtung)	$\geq 11 \text{ Dm}/555 \text{ km}$	$\geq 10 \text{ Dm}/555 \text{ km}$
14) Feuchteadvektion (Produkt aus Windgeschwindigkeit und Mischungsverhältnis, 850/700/500 mbar-Mittel) (Payerne, Milano oder Station in Advektionsrichtung)	$\geq 100 \text{ Ktn.} \cdot \text{g}/\text{kg}$	$\geq 50 \text{ Ktn.} \cdot \text{g}/\text{kg}$
15) Bei Troglagen: Position der Trogachse (auf 46-47 <sup>0</sup> N)	13 <sup>0</sup> W - 2 <sup>0</sup> W	13 <sup>0</sup> W - 2 <sup>0</sup> W
16) Bei Lagen "Abgeschlossenes Höhentief": Position des Höhentiefzentrums	---	4 <sup>0</sup> W - 3 <sup>0</sup> E
17) 12-stündige Niederschlagsmenge (18 GMT [-1] - 06 GMT [0]) an mindestens einer von 30 Stationen (Ost-, Südostfrankreich, Genève, Nordwestitalien)	$\geq 8 \text{ mm}$	$\geq 9 \text{ mm}$
18) 24-stündige Niederschlagsmenge (06 GMT [-1] - 06 GMT [0]) an mindestens einer von 7 Stationen der Alpensüdseite der Schweiz	$\geq 10 \text{ mm}$	$\geq 8 \text{ mm}$

Zusätzliche Prädiktoren für Starkniederschläge grösserer Fläche ( $\geq 70 \text{ mm}/\text{Tag}$ , Fläche  $\geq 3600 \text{ km}^2$  bzw.  $\geq 10 \%$  der Gesamtfläche) (Starkniederschläge im Sommerhalbjahr [Typ 3/Typ 4])

<u>Prädiktoren (00 GMT)</u>	
1) Potentielle Feuchttemperatur 850 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)	$\geq 20.0^{\circ}$
2) Mittlere Taupunktdifferenz 850/700/500 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)	$\leq 0.3^{\circ}$
3) Gradient der Relativen Topographie 500/1000 mbar (in Advektionsrichtung)	$\geq 19 \text{ Dm}/555 \text{ km}$
4) 24-stündige Aenderung der Relativen Topographie 500/1000 mbar (in Advektionsrichtung)	$\leq -12 \text{ Dm}$
5) 24-stündige Aenderung des Bodenluftdrucks (Zürich/Genève)	$\leq -11 \text{ mbar}$
6) Feuchteadvektion (Produkt aus Windgeschwindigkeit und Mischungsverhältnis, 850/700/500 mbar/Mittel) (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)	$\geq 190 \text{ Ktn.} \cdot \text{g}/\text{kg}$
7) Laplaceoperator 500 mbar (Differenz der 500 mbar-Höhe an 4 Punkten eines Kreises (gemittelt) gegenüber derjenigen im Kreismittelpunkt) (Kreismittelpunkt: Zentralschweiz; Kreisradius 500 km)	$\geq +8$
<u>und</u> 24-stündige Aenderung des Laplaceoperators 500 mbar	$> +4$

Tab. 4

Werte der Prädiktoren bei den einzelnen Starkniederschlägen

Typ 1: Starkniederschläge, die nur auf der Alpenordseite und in den Alpen auftreten (Winterhalbjahr)

	Datum (00 GMT)	6.11.79	20.3.78	22.11.72	3.2.70	11.12.61
1) Windrichtung und -stärke 500 mbar (Payerne)		320 <sup>0</sup> /70kt.	340/55	280/80	310/80	310/50
2) Mittlere Windstärke 850/700 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)		55 Kt.	47.5	46	56	72.5
3) Mittlere Windstärke 850/700/500 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)		65 Kt.	58	58	67	77
4) Bodenluftdruck (Zürich/Genève)		1013 mbar	1012	1012	1006	1015
5) 24-stündige Änderung des Bodenluftdrucks (Zürich/Genève)		-5 mbar	-12	+5	-10	-1
6) Höhe der 500 mbar-Fläche (Payerne)		546 Dm	557	554	555	567
7) Potentielle Feuchttemperatur 850 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)		11.8 <sup>0</sup>	12.0	10.3	13.1	13.0
8) Potentielle Feuchttemperatur 700 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)		12.0 <sup>0</sup>	14.5	11.5	13.5	15.8
9) Potentielle Feuchttemperatur 500 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)		14.8 <sup>0</sup>	14.5	14.7	15.3	16.4
10) Temperatur 300 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)		-41 <sup>0</sup>	-45	-43	-40	-43
11) Vertikaler Temperaturgradient zwischen 850 und 500 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)		-0.55 <sup>0</sup> /100 m	-0.58	-0.53	-0.55	-0.58
12) Mittlere Taupunktdifferenz 850/700/500 mbar (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)		0.0 <sup>0</sup>	0.3	0.0	0.7	0.3
13) Gradient der Relativen Topographie 500/1000 mbar (in Advektionsrichtung)		16Dm/555km	26	19	21	12
14) Feuchteadvektion (Produkt aus Windgeschwindigkeit und Mischungsverhältnis, 850/700/500 mbar-Mittel) (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)		159Kt. ·g/kg	224	192	234	355
15) 12-stündige Niederschlagsmenge (18 GMT [-1] - 06 GMT [0]) an mindestens einer von 18 Stationen (Ostfrankreich und Genève)		16 mm	25	31	26	19

	24.2.57	8.2.55	20.1.51	16.11.50	11.11.50
1)	290/60	310/60	320/80	300/60	240/50
2)	42.5	45	42.5	40	35
3)	55	57	55	45	40
4)	1006	1015	1019	1014	1019
5)	-9	-6	+4	-1	-5
6)	555	557	556	554	569
7)	11.0	13.0	14.0	13.0	13.0
8)	13.0	13.0	15.0	13.4	13.8
9)	15.6	13.8	13.0	13.8	14.9
10)	-44	-45	-46	-46	-44
11)	-0.50	-0.63	-0.68	-0.60	-0.63
12)	0.0	0.0	2.0	0.3	1.7
13)	18	16	19	19	12
14)	176	166	179	165	154
15)	36	22	13	8	13

Tab. 4

## Werte der Prädiktoren bei den einzelnen Starkniederschlägen

Typ 2: Starkniederschläge, die auf der Alpennordseite und in den Alpen in Verbindung mit Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite auftreten (Winterhalbjahr)

Datum (00 GMT)	14.10.79	15.03.79	7.10.77	29.10.76	12.10.76
1) Windrichtung und -stärke 500 mbar (Payerne oder Milano)	200 <sup>0</sup> /65Kt.	230/45	200/50	220/45	180/50
2) Mittlere Windstärke 850/700 mbar *)	37.5 Kt.	35	45	32	37.5
3) Mittlere Windstärke 850/700/500 mbar *)	43 Kt.	40	50	37	40
4) Bodenluftdruck (Zürich/Genève)	1000 mbar	999	1005	1008	1002
5) Höhe der 500 mbar-Fläche (Payerne od. Milano)	556 Dm	547	565	550	559
6) Potentielle Feuchttemperatur 850 mbar *)	14.8 <sup>0</sup>	12.2	17.5	11.0	15.3
7) Potentielle Feuchttemperatur 700 mbar *)	14.5 <sup>0</sup>	12.0	17.1	12.5	15.2
8) Potentielle Feuchttemperatur 500 mbar *)	14.6 <sup>0</sup>	13.4	16.2	13.2	15.9
9) Temperatur 300 mbar *)	-45 <sup>0</sup>	-47	-43	-47	-43
10) Vertikaler Temperaturgradient zwischen 850 und 500 mbar *)	-0.70 <sup>0</sup> /100m	-0.68	-0.75	-0.73	-0.68
11) Mittlere Taupunktdifferenz 850/700/500 mbar *)	1.7 <sup>0</sup>	2.7	1.3	2.3	4.0
12) Gradient der Relativen Topographie 500/1000 mbar (in Advektionsrichtung)	11Dm/555km	13	21	17	18
13) Feuchteadvektion (Produkt aus Windgeschwindigkeit und Mischungsverhältnis, 850/700/500 mbar-Mittel): *)	168Kt. · g/kg	112	237	108	155
14) Bei Troglagen: Position der Trogachse (auf 46-47°N)	6-7 <sup>0</sup> W	4 <sup>0</sup> W	7-8 <sup>0</sup> W	6 <sup>0</sup> W	2-3 <sup>0</sup> W
15) 12-stündige Niederschlagsmenge (18 GMT [-1] - 06 GMT [0]) an mindestens einer von 30 Stationen (Ost-, Südostfrankreich, Genève, Nordwestitalien)	23 mm	10	34	8	17
16) 24-stündige Niederschlagsmenge (06 GMT [-1] - 06 GMT [0]) an mindestens einer von 7 Stationen der Alpensüdseite der Schweiz	48 mm	30	42	35	28

\*) (Payerne, Milano oder Station in Advektionsrichtung)

	2.11.68	7.11.62	9.12.54	10.11.51	11.02.51
1) 200/55	200/65	240/80	220/50	210/40	
2) 55	42.5	35	35	35	
3) 57	48	47	43	43	
4) 1001	1007	996	1007	1015	
5) 558	547	542	557	554	
6) 17.0	13.0	13.0	13.0	11.0	
7) 15.3	13.1	13.8	13.8	11.5	
8) 15.6	13.3	14.7	13.2	12.5	
9) -45	-47	-47	-46	-47	
10) -0.75	-0.73	-0.55	-0.70	-0.75	
11) 0.7	4.3	0.7	0.7	0.7	
12) 13	13	13	16	13	
13) 275	115	146	150	126	
14) 6-7 <sup>0</sup> W	9 <sup>0</sup> W	12-13 <sup>0</sup> W	9 <sup>0</sup> W	9-10 <sup>0</sup> W	
15) 34	11	37	33	32	
16) 175	49	10	34	44	

Tab. 4

Werte der Prädiktoren bei den einzelnen Starkniederschlägen

Typ 3: Starkniederschläge, die nur auf der Alpennordseite und in den Alpen auftreten (Sommerhalbjahr)

	Datum (00 GMT)	31.07.77	26.07.76	19.07.76	1.06.76	23.08.75
1) Bodenluftdruck (Zürich/Genève)		1005 mbar	1014	1019	1016	1015
2) 24-stündige Änderung des Bodenluftdrucks (Zürich/Genève)		-5 mbar	-2	+1	-3	+3
3) Höhe der 500 mbar-Fläche (Payerne)		564 Dim	564	583	571	564
4) Potentielle Feuchttemperatur 850 mbar *)		18.7 <sup>0</sup>	14.0	18.4	14.9	15.3
5) Potentielle Feuchttemperatur 700 mbar *)		16.0 <sup>0</sup>	13.0	17.5	15.0	14.8
6) Potentielle Feuchttemperatur 500 mbar *)		16.7 <sup>0</sup>	14.8	18.3	15.5	15.0
7) Temperatur 300 mbar *)		-40 <sup>0</sup>	-41	-39	-42	-42
8) Vertikaler Temperaturgradient zwischen 850 und 500 mbar *)		-0.68 <sup>0</sup> /100m	-0.65	-0.73	-0.63	-0.63
9) Mittlere Taupunktsdifferenz 850/700/500 mbar *)		0.3 <sup>0</sup>	0.7	1.0	1.0	0.3
10) Feuchteadvektion (Produkt aus Windgeschwindigkeit und Mischungsverhältnis, 850/700/500 mbar-Mittel) *)		121kt..g/kg	58	78	167	73
11) Laplaceoperator 500 mbar (Differenz der 500 mbar-Höhe an 4 Punkten eines Kreises (gemittelt) gegenüber derjenigen im Kreismittelpunkt). (Kreismittelpunkt: Zentralschweiz; Kreisradius 500 km)		+4.5	+7.0	+1.0	-1.5	+1.5
12) 24-stündige Änderung des Laplaceoperators 500 mbar		+3.0	+3.0	+2.0	-1.5	+1.0
13) Bei Troglagen: Position der Trogachse (auf Breite 47 <sup>0</sup> N)		4 <sup>0</sup> E	---	---	---	3-4 <sup>0</sup> E
14) Bei Lagen "Abgeschlossenes Höhentief": Position des Höhentiefzentrums		---	10-11 <sup>0</sup> E	5-6 <sup>0</sup> E	---	---
15) 12-stündige Niederschlagsmenge (18 GMT [-1] - 06 GMT [0]) an mindestens einer von 18 Stationen (Ostfrankreich und Genève)		46 mm	2	48	1	9

\*) (Payerne oder Station in Advektionsrichtung)

	23.06.73	11.08.71	6.06.71	9.08.70	21.09.68	2.08.68	10.06.65	4.05.64	7.10.63	7.06.59
1) 1011	1014	1004	1012	1014	1011	1010	1015	1007	1015	
2) -3	0	-2	-2	-6	-8	-8	-1	-8	-1	
3) 561	578	556	566	569	574	561	567	557	572	
4) 14.4	17.5	15.2	16.1	16.7	19.3	13.3	14.8	14.7	18.2	
5) 13.2	17.0	14.5	15.3	17.2	17.4	13.0	14.6	14.2	16.8	
6) 14.8	17.5	15.5	15.5	17.3	17.8	13.8	15.0	14.8	17.0	
7) -41	-40	-44	-39	-38	-39	-43	-38	-40	-40	
8) -0.70	-0.73	-0.67	-0.80	-0.65	-0.68	-0.65	-0.63	-0.63	-0.73	
9) 0.3	4.7	1.0	3.3	0.0	0.0	1.0	2.7	0.7	1.3	
10) 105	150	59	102	312	198	93	165	183	71	
11) +10.0	-1.5	+2.0	+4.5	-1.0	+0.5	+2.0	-1.5	+0.5	-3.5	
12) +5.5	+1.0	+2.5	+5.0	0.0	-0.5	-1.5	+1.0	+0.5	-3.0	
13) ---	3-4 <sup>0</sup> W	---	---	---	---	---	---	---	6 <sup>0</sup> W	
14) 8 <sup>0</sup> E	---	6-7 <sup>0</sup> E	5 <sup>0</sup> E	---	6 <sup>0</sup> W	14-15 <sup>0</sup> E	---	---	---	
15) 23	19	16	22	15	34	14	11	18	15	

	<u>27.09.54</u>	<u>1.07.54</u>	<u>9.06.53</u>	<u>25.06.53</u>	<u>26.06.53</u>
1)	1015	1012	1004	1015	1012
2)	0	-5	-8	-1	-3
3)	569	560	565	571	570
4)	13.9	18.6	16.5	14.4	14.5
5)	12.1	14.0	14.5	15.1	15.3
6)	15.3	16.0	16.0	16.1	16.4
7)	-40	-46	-39	-42	-40
8)	-0.60	-0.68	-0.70	-0.60	-0.63
9)	1.0	0.0	2.0	0.7	1.3
10)	162	77	109	63	67
11)	-2.0	+1.5	+2.0	+6.5	+3.5
12)	-1.5	+2.0	+3.0	+5.5	-3.0
13)	---	---	---	---	---
14)	---	2 <sup>0</sup> E	6-7 <sup>0</sup> E	5 <sup>0</sup> E	10 <sup>0</sup> E
15)	3	28	38	4	14

Tab. 4

## Werte der Prädiktoren bei den einzelnen Starkniederschlägen

Typ 4: Starkniederschläge, die auf der Alpennordseite und in den Alpen in Verbindung mit Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite auftreten (Sommerhalbjahr)

	Datum (00 GMT)	21.09.79	7.08.78	29.08.77	30.04.77	28.09.76
1) Windrichtung und -stärke 500 mbar (Payerne oder Milano)		240 <sup>0</sup> /35kt.	240/40	200/35	190/45	220/45
2) Mittlere Windstärke 850/700 mbar *)		16 Kt.	25	35	18	37.5
3) Mittlere Windstärke 850/700/500 mbar *)		20 Kt.	30	45	27	39
4) Bodenluftdruck (Zürich/Genève)		1016 mbar	1012	1013	1014	1015
5) 24-stündige Änderung des Bodenluftdrucks (Zürich/Genève)		-5 mbar	-5	-4	+3	-1
6) Höhe der 500 mbar-Fläche (Payerne oder Milano)		571 Dm	573	572	555	575
7) Potentielle Feuchttemperatur 850 mbar *)		18.8 <sup>0</sup>	21.3	17.1	13.5	18.4
8) Potentielle Feuchttemperatur 700 mbar *)		18.0 <sup>0</sup>	18.8	15.9	12.5	16.7
9) Potentielle Feuchttemperatur 500 mbar *)		18.5 <sup>0</sup>	17.3	16.5	13.7	17.0
10) Temperatur 300 mbar *)		-38 <sup>0</sup>	-41	-38	-43	-41
11) Vertikaler Temperaturgradient zwischen 850 und 500 mbar *)		-0.63 <sup>0</sup> /100m	-0.70	-0.83	-0.75	-0.73
12) Mittlere Taupunktdifferenz 850/700/500 mbar *)		0.0 <sup>0</sup>	1.3	0.0	1.7	2.7
13) Gradient der Relativen Topographie 500/1000 mbar (in Advektionsrichtung)		14Dm/555km	17	20	15	10
14) Feuchteadvektion (Produkt aus Windgeschwindigkeit und Mischungsverhältnis, 850/700/500 mbar-Mittel) *)		122Kt.·g/kg	163	196	59	205
15) Bei Troglagen: Position der Trogachse (auf 46-47°N)		2 <sup>0</sup> W	7 <sup>0</sup> W	---	4-5 <sup>0</sup> W	12-13 <sup>0</sup> W
16) Bei Lagen "Abgeschlossenes Höhentief": Position des Höhentiefzentrums		---	---	3 <sup>0</sup> E	---	---
17) 12-stündige Niederschlagsmenge (18 GMT [-1] - 06 GMT [0]) an mindestens einer von 30 Stationen (Ost-, Südostfrankreich, Genève, Nordwestitalien)		52 mm	30	17	11	23
18) 24-stündige Niederschlagsmenge (06 GMT [-1] - 06 GMT [0]) an mindestens einer von 7 Stationen der Alpensüdseite der Schweiz		33 mm	37	47	132	40

\*) (Payerne, Milano oder Station in Advektionsrichtung)

	20.06.73	6.05.68	6.05.66	10.09.65	22.08.65	19.04.64	17.08.63	16.09.60	1.10.58	19.08.58
1)	290/15	200/30	220/40	210/50	220/50	200/50	240/40	210/50	200/50	210/40
2)	27.5	35	37.5	22.5	33.5	30	31.5	27.5	30	32.5
3)	40	43	46.5	28	38	40	35	35	35	40
4)	1011	1009	1012	1011	1005	1009	1013	1001	1001	1008
5)	-7	+3	-3	-2	-13	-3	-6	-11	-10	-4
6)	576	558	565	561	567	562	570	565	560	571
7)	20.9	13.8	15.6	16.3	20.0	13.9	19.6	17.2	17.0	19.5
8)	16.9	12.7	13.1	15.0	18.4	13.8	17.6	16.2	16.0	17.1
9)	16.0	13.0	13.6	15.0	17.0	14.0	17.0	17.7	18.0	16.5
10)	-39	-45	-43	-44	-39	-44	-39	-39	-40	-39
11)	-0.65	-0.75	-0.73	-0.73	-0.73	-0.75	-0.68	-0.65	-0.63	-0.80
12)	4.0	2.7	0.3	0.7	2.7	2.7	3.0	0.7	0.7	7.3
13)	21	14	21	16	14	14	20	16	14	12
14)	167	131	151	137	182	129	221	167	182	169
15)	---	7 <sup>0</sup> W	6-7 <sup>0</sup> W	2 <sup>0</sup> W	3-4 <sup>0</sup> W	8 <sup>0</sup> W	3 <sup>0</sup> W	---	3-4 <sup>0</sup> W	7 <sup>0</sup> W
16)	3-4 <sup>0</sup> W	---	---	---	---	---	---	3 <sup>0</sup> W	---	---
17)	9	18	33	22	70	10	70	60	70	22
18)	0	73	10	268	48	8	47	61	72	31

	<u>27.05.58</u>	<u>13.08.57</u>	<u>21.08.54</u>	<u>8.08.51</u>
1)	210/45	240/65	240/90	230/55
2)	27.5	27.5	30	37.5
3)	37	40	50	43
4)	1017	1015	1011	1008
5)	+5	+1	-5	-5
6)	572	572	564	569
7)	16.7	20.1	19.3	17.9
8)	15.2	17.1	16.7	16.6
9)	15.5	17.5	18.0	17.0
10)	-42	-38	-42	-40
11)	-0.70	-0.73	-0.68	-0.60
12)	3.0	2.0	1.0	0.3
13)	17	12	20	13
14)	142	192	203	166
15)	5 <sup>0</sup> W	3 <sup>0</sup> W	---	4 <sup>0</sup> W
16)	---	---	2 <sup>0</sup> W	---
17)	4	14	55	40
18)	28	61	33	55

Tab. 4

## Werte der Prädiktoren bei den einzelnen Starkniederschlägen

Zusätzliche Prädiktoren für Starkniederschläge grösserer Fläche ( $\geq 70$  mm/Tag, Fläche  $\geq 3600$  km<sup>2</sup> bzw.  $\geq 10$  % der Gesamtfläche) (Starkniederschläge im Sommerhalbjahr [Typ 3/Typ 4])

Datum (00 GMT)	21.09.79	7.08.78	31.07.77	23.06.73
1) Potentielle Feuchttemperatur 850 mbar (Payerne oder Station in Advektions- richtung)	---	21.3 <sup>0</sup>	---	---
2) Mittlere Taupunktdifferenz 850/700/500 mbar (Payerne oder Station in Advektions- richtung)	0.0 <sup>0</sup>	---	0.3 <sup>0</sup>	0.3 <sup>0</sup>
3) Gradient der Relativen Topographie 500/1000 mbar (in Advektionsrichtung)	---	---	20Dm/555km	---
4) 24-stündige Aenderung der Relativen Topographie 500/1000 mbar (in Advektionsrichtung)	-14 Dm	-13 Dm	---	---
5) 24-stündige Aenderung des Bodenluftdrucks (Zürich/Genève)	---	---	---	---
6) Feuchteadvektion (Produkt aus Windgeschwindig- keit und Mischungsverhältnis, 850/700/500 mbar-Mittel) (Payerne oder Station in Advektions- richtung)	---	---	---	---
7) Laplaceoperator 500 mbar (Differenz der 500 mbar- Höhe an 4 Punkten eines Kreises (gemittelt) gegen- über derjenigen im Kreismittelpunkt) (Kreismittel- punkt: Zentralschweiz; Kreisradius 500 km)	---	---	---	+10.0
<u>und 24-stündige Aenderung des Laplaceoperators 500 mbar</u>	---	---	---	+5.5

	21.09.68	6.05.66	16.09.60	21.08.54
1)	---	---	---	---
2)	0.0 <sup>0</sup>	0.3 <sup>0</sup>	---	---
3)	---	21	---	20
4)	---	-22	-12	-14
5)	---	---	-11 mbar	---
6)	312Kt.·g/kg	---	---	203
7)	---	---	---	---

### Bemerkungen zu den einzelnen Prädiktoren

#### Windrichtung und -stärke in 500 mbar:

Typ 1: Charakteristisch sind die Strömungsrichtungen West bis Nordnordwest und grosse Windstärken.

Typ 3: Im Sommerhalbjahr liessen sich keine typischen Höhenwindrichtungen und -stärken für sehr starke Niederschläge finden.

Typ 2 und Typ 4: Charakteristisch für die von der Alpensüdseite übergreifenden Starkniederschläge ist die Südkomponente der Höhenströmung. Die Windstärken in 500 mbar sind etwas geringer als beim Typ 1 (im Winterhalbjahr  $\geq 40$  Ktn. gegenüber  $\geq 50-60$  Ktn. beim Typ 1); im Sommerhalbjahr ist ebenfalls eine mässige Anströmung aus südlicher Richtung ( $\geq 30$  Ktn..) notwendig.

#### Windstärke in 850 und 700 mbar:

Typ 1: Die Windstärken müssen auch in den unteren Schichten beträchtlich sein ( $\geq 40$  Ktn. im Mittel von 850 und 700 mbar).

Typ 2 und Typ 4: Im Winterhalbjahr ist auch in den unteren Schichten eine mässige Anströmung ( $\geq 32$  Ktn. im Mittel von 850 und 700 mbar) notwendig; im Sommerhalbjahr genügt eine Anströmung von  $\geq 15$  Ktn. (im Mittel von 850 und 700 mbar).

#### Bodenluftdruck und 24-stündige Luftdruckänderung:

Die Vorstellung, dass zu Beginn eines Starkniederschlagstages der Luftdruck tief sein müsse bzw. dass ein stärkerer 24-stündiger Druckfall aufgetreten sein müsse, ist nicht richtig. Beim Typ 1 und Typ 3 kann der Luftdruck sogar Werte bis 1019 mbar erreichen (Normalwert in der Schweiz 1016.5 mbar) und die 24-stündige Druckänderung kann bis +5 mbar betragen. Beim Typ 2 erwies sich sogar die 24-stündige Druckänderung als ungeeigneter Prädiktor, da z.T. beträchtliche Druckanstiege (bis +13 mbar) vor Starkniederschlägen aufgetreten waren.

#### Höhe der 500 mbar-Fläche:

Interessant ist, dass die Prädiktorenwerte bei allen Typen beidseitig begrenzt sind: Tiefe Werte sind nicht enthalten, da sie eine kalte Luftmasse repräsentieren, was einen zu geringen Wasserdampfgehalt für Starkniederschläge bedeutet; hohe Werte dagegen repräsentieren antizyklonale Verhältnisse, also Absinken mit entsprechender Wolken- und Niederschlagsarmut.

#### Potentielle Feuchttemperaturen $\Theta_w$ in 850, 700 und 500 mbar:

Diese Grössen kombinieren Temperatur und Feuchte und sind daher sehr geeignet als Prädiktoren für Starkniederschläge. Die Wertebereiche entsprechen der Erwartung: es sind im Winterhalbjahr ausschliesslich übernormale Werte (maritime Tropikluft), im Sommerhalbjahr normale bis übernormale Werte. Bei Polarluft im Sommer mit 850 mbar-Temperaturen unter  $+6^{\circ}$  sind keine Starkniederschläge ( $\geq 70$  mm) zu erwarten.

#### Temperatur in 300 mbar:

Bei tiefen 300 mbar-Temperaturen (im Sommer unter  $-45/-46^{\circ}$ , im Winter unter  $-46/-47^{\circ}$ ) treten keine Starkniederschläge auf.

#### Vertikaler Temperaturgradient $\gamma$ zwischen 850 und 500 mbar:

Auch im Sommerhalbjahr genügen bereits Temperaturgradienten mittlerer Grösse ( $-0.6^{\circ}/100$  m) zur Bildung von Starkniederschlägen.

#### Mittlere Taupunktdifferenz in 850, 700 und 500 mbar:

Bei den Typen 2 und 4 mit einer Luftmassenherkunft aus dem Mittelmeerraum kann die Luft ein grösseres Sättigungsdefizit aufweisen als bei den Typen 1 und 3 mit einer Luftmassenherkunft aus westlicher bis nordwestlicher Richtung.

Gradient der Relativen Topographie 500/1000 mbar (als Mass für den Luftmassengegensatz und die Frontaleffekte):

Beim Typ 3 im Sommerhalbjahr konnte diese Grösse nicht als Prädiktor verwendet werden, da auch flache Druckverteilungen mit schwachen Gradienten der Relativen Topographie 500/1000 mbar ( $\leq 8 \text{ Dm}/555 \text{ km}$ ) Starkniederschläge bewirken können.

Feuchteadvektion in 850, 700 und 500 mbar (als Mass für den Stau effekt):

Der Grund, warum der Grenzwert der Feuchteadvektion (Produkt aus Windgeschwindigkeit und Mischungsverhältnis) im Sommerhalbjahr wesentlich kleiner als im Winterhalbjahr ist, ist darin zu suchen, dass die Windgeschwindigkeit in einigen Fällen (flache Druckverteilung) gering ist und damit auch die Feuchteadvektion trotz höherem Mischungsverhältnis relativ klein ist.

Laplaceoperator und 24-stündige Änderung des Laplaceoperators 500 mbar (als Mass für die Zyklonalität):

Ähnlich wie beim Bodenluftdruck sind auch hier keineswegs signifikant positive (zyklonale) Werte eine notwendige Bedingung für Starkniederschläge. Die Werte können sogar um 00z vor dem Starkniederschlag leicht negativ (antizyklonal) sein.

Position Trogachse/Höhentiefzentrum:

a) Typ 3: Der Bereich der Trogachsenpositionen hört gegen Osten wesentlich früher auf als der Bereich der Höhentiefzentren. Die Erklärung dafür dürfte folgende sein: ein Trog, der schon um 00z östlicher als  $4^{\circ}\text{E}$  liegt, überschreitet normalerweise bald die Schweiz, so dass diese zu einem grossen Teil des Tages auf dessen Rückseite in den Bereich der Polarluft zu liegen kommt; Bedingung für einen Starkniederschlag ist aber das Vorhandensein von Warmluft während des grössten Teils des Tages. Abgeschlossene Höhentiefs können dagegen schon östlich bis südöstlich der Schweiz liegen (bis  $15^{\circ}\text{E}$ ), wenn dabei Warmluft, die ursprünglich auf der Ostflanke des Höhentiefs lag, um dieses nördlich herum auf dessen West- bis Nordwestflanke zurückkehrt (Fälle vom 10.6.65 und 26.6.53).

b) Typ 2 und Typ 4 (von der Alpensüdseite übergreifende Starkniederschläge):

Die Trogachsen und Höhentiefzentren liegen westlicher als beim Typ 3. Dies entspricht der Tatsache, dass Niederschläge auf der Alpensüdseite im allgemeinen früher, d.h. bei einer westlicheren Position der Tröge einsetzen als Niederschläge auf der Alpennordseite. Höhentiefzentren östlich der Schweiz schliessen diese Typen von Starkniederschlägen aus.

12- und 24-stündige Niederschlagsmengen westlich und südwestlich bis südlich der Alpennordseite:

Die Schwellenwerte von 8-10 mm (teils 12-stündig, teils 24-stündig) im Vergleich zu den Starkniederschlägen ( $\geq 70 \text{ mm}/24 \text{ Std.}$ ) erscheinen gering. Hierin zeigt sich die prinzipielle Schwierigkeit der Extrapolation von Niederschlagsmengen aus vorwiegend flachen Gebieten in ein Gebirgsland. Die Niederschlagsmenge stromaufwärts wurde aber trotzdem als Prädiktor gewählt, da sie sich im Hinblick auf eine Prognose von Starkniederschlägen eignet.

Bemerkungen zu den zusätzlichen Prädiktoren für Starkniederschläge grösserer Fläche:

Die Vorstellung, dass Starkniederschläge besonders signifikante Ursachen (hohe Prädiktorenwerte) haben sollten, ist - wenigstens für die grösserflächigen Starkniederschläge ( $\geq 10 \%$  der Gesamtfläche) - richtig. Es müssen mindestens 2 der 7 zusätzlichen Bedingungen (hohe Prädiktorenwerte) erfüllt sein.

### Möglichkeiten der Prognose von Starkniederschlägen

Liegen alle Prädiktoren in den in Tab. 3 angegebenen Wertebereichen, so stellt dies eine nahezu notwendige Bedingung für einen Starkniederschlag ( $\geq 70$  mm) dar. Eine hinreichende Bedingung konnte jedoch für keinen der 4 Typen von Starkniederschlägen gefunden werden. Das bedeutet, dass es zwar möglich ist, einen Starkniederschlag fast immer zu prognostizieren, dass aber die Anzahl der vorhergesagten Starkniederschläge wesentlich höher ist als die Anzahl der eingetroffenen Starkniederschläge.

Aufgrund eines Tests für eine Prognosenanwendung ergaben sich für die 4 Typen von Starkniederschlägen folgende Trefferraten:

- Typ 1 (Starkniederschläge im Winterhalbjahr, die nur auf der Alpennordseite und in den Alpen auftreten):  
Trefferrate 25 %;
- Typ 2 (Starkniederschläge im Winterhalbjahr, die auf der Alpennordseite und in den Alpen in Verbindung mit Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite auftreten):  
Trefferrate 36 %;
- Typ 3 (Starkniederschläge im Sommerhalbjahr, die nur auf der Alpennordseite und in den Alpen auftreten):  
Trefferrate 14 %;
- Typ 4 (Starkniederschläge im Sommerhalbjahr, die auf der Alpennordseite und in den Alpen in Verbindung mit Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite auftreten):  
Trefferrate 22 %;

Starkniederschläge grösserer Fläche im Sommerhalbjahr (Fläche  $\geq 10$  % der Gesamtfläche) (Typ 3 und 4):  
Trefferrate 25 %.

Zu den Prognosentests sind noch folgende Bemerkungen zu machen:

1. Wie gross waren die Niederschlagsmengen bei den richtigen und bei den falschen Prognosen?

Typ 1 (Anzahl untersuchte Fälle 68; 3 richtige, 9 falsche Prognosen):

<u>Richtige Prognosen</u>	<u>Falsche Prognosen</u>
20.03.78 : 79 mm*)	20.10.74 : 39 mm*)
22.11.72 : 77 mm	17.03.74 : 10 mm
3.02.70 : 71 mm	14.11.73 : 56 mm
	15.11.73 : 53 mm
	13.11.72 : 63 mm
	17.11.72 : 29 mm
	4.02.70 : 17 mm
	21.02.70 : 51 mm
	22.02.70 : 40 mm

Schwankungsbreite der Niederschlagsmengen (Typ 1) : 10 - 79 mm\*).

Typ 2 (Anzahl untersuchte Fälle 74; 4 richtige, 7 falsche Prognosen):

<u>Richtige Prognosen</u>	<u>Falsche Prognosen</u>
15.03.79 : 71 mm*)	10.11.76 : 52 mm*)
12.10.76 : 70 mm	9.11.71 : 55 mm
29.10.76 : 71 mm	19.11.70 : 37 mm
2.11.68 : 121 mm	30.11.70 : 8 mm
	7.10.70 : 11 mm
	13.11.69 : 48 mm
	24.02.68 : 10 mm

Schwankungsbreite der Niederschlagsmengen (Typ 2): 8 - 121 mm\*).

\*) Isohyete auf einer Fläche von 500 km<sup>2</sup>

Typ 3 (Anzahl untersuchte Fälle 183; eine richtige, 6 falsche Prognosen):

<u>Richtige Prognose</u>	<u>Falsche Prognosen</u>
7.08.78 : 127 mm*)	22.05.78 : 62 mm*)
	23.05.78 : 65 mm
	8.06.78 : 24 mm
	31.07.78 : 37 mm
	3.08.78 : 13 mm
	8.08.78 : 21 mm

Schwankungsbreite der Niederschlagsmengen (Typ 3): 13 - 127 mm\*).

Typ 4 (Anzahl untersuchte Fälle 66; 2 richtige, 7 falsche Prognosen):

<u>Richtige Prognosen</u>	<u>Falsche Prognosen</u>
7.08.78 : 127 mm*)	24.06.78 : 27 mm*)
21.09.79 : 93 mm	4.07.78 : 59 mm
	25.06.79 : 0.2 mm
	13.07.79 : 31 mm
	2.08.79 : 10 mm
	3.08.79 : 25 mm
	24.08.79 : 21 mm

Schwankungsbreite der Niederschlagsmengen (Typ 4): 0.2 - 127 mm\*).

Starkniederschläge grösserer Fläche im Sommerhalbjahr (Fläche  $\geq 10\%$  der Gesamtfläche) (Anzahl untersuchte Fälle 183; eine richtige, 3 falsche Prognosen):

<u>Richtige Prognose</u>	<u>Falsche Prognosen</u>
7.08.78 : 99 mm <sup>o)</sup>	22.05.78 : 38 mm <sup>o)</sup>
	4.07.78 : 15 mm
	8.08.78 : 14 mm

Schwankungsbreite der Niederschlagsmengen (grösserflächige Starkniederschläge): 14 - 99 mm<sup>o)</sup>.

2. Damit überhaupt die Möglichkeit der Prognose von Starkniederschlägen diskutabel ist, sollte die Trefferrate mindestens 10 % betragen. Dies lässt sich jedoch nur erreichen, wenn die Wertebereiche einzelner Prädiktoren geändert werden. Es wurden deshalb folgende Änderungen vorgenommen:

Typ 1: Prädiktor 1, Windrichtung 500 mbar:

Bereich von 240-340<sup>o</sup> in 260-340<sup>o</sup> geändert.

Typ 3: Prädiktor 12, Mittlere Taupunktdifferenz 850/700/500 mbar:

Schwellenwert von 4.7<sup>o</sup> auf 2.0<sup>o</sup> verringert.

Typ 3: Prädiktor 19, 12-stündige Niederschlagsmenge in Ostfrankreich:

Schwellenwert von 1 mm auf 9 mm erhöht.

Typ 4: Prädiktor 1, Windrichtung 500 mbar:

Bereich von 180-290<sup>o</sup> in 180-240<sup>o</sup> geändert.

Typ 4: Prädiktor 12, Mittlere Taupunktdifferenz 850/700/500 mbar:

Schwellenwert von 7.3<sup>o</sup> auf 4.0<sup>o</sup> verringert.

Typ 4: Prädiktor 17, 12-stündige Niederschlagsmenge in Ost- und Südostfrankreich sowie Nordwestitalien:

Schwellenwert von 4 mm auf 9 mm erhöht.

Mit der hiermit erreichten Erhöhung der Trefferrate muss jedoch der Nachteil in Kauf genommen werden, dass einzelne Prädiktoren nicht mehr 100 % notwendige Bedingungen darstellen und dass damit Fälle vorkommen können, bei denen ein Starkniederschlag auftritt, ohne dass er vorhergesagt wird (beim Typ 1 ist dies einmal in 31 Jahren, beim Typ 3 einmal in 4-5 Jahren und beim Typ 4 einmal in 10 Jahren zu erwarten).

o) Isohyete auf einer Fläche von 3600 km<sup>2</sup>

\*) Isohyete auf einer Fläche von 500 km<sup>2</sup>

Literatur

- [1] GRUETTER, M.: Die bemerkenswertesten Niederschläge der Jahre 1948-1964 in der Schweiz. Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Nr. 3, 1966
- [2] BOSSOLASCO, M., : Ueber die Wetterlagen, die in den italienischen Alpen starke und ausge-  
DAGNINO, I. und dehnte Niederschläge hervorrufen.  
FLOCCHINI, G. Annalen der Meteorologie (Neue Folge), Nr. 5, 1971
- [3] COURVOISIER, H.W., : Das Unwetter vom 7./8. August 1978 in der Schweiz.  
GENSLER, G.A., Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt,  
PRIMAULT, B. und Nr. 85, 1979  
ROESLI, H.P.

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

Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt  
 Publications de l'Institut Suisse de Météorologie · Publicazioni della Centrale Meteorologica Svizzera

- 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 kurzwellige 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 Sevruk 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

