

29

**Die Niederschlagswirksamkeit markanter, hochreichender
Kaltlufteinbrüche im Sommer in der Schweiz**

Von

H. W. Courvoisier

Die Niederschlagswirksamkeit markanter, hochreichender Kaltlufteinbrüche im Sommer in der Schweiz

von H.W. Courvoisier

Forschungsabteilung der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Zürich

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die Niederschlagswirksamkeit markanter, hochreichender Kaltlufteinbrüche im Sommer für die verschiedenen Regionen der Schweiz untersucht. Es hat sich dabei gezeigt, dass eine stärkere Abnahme der 500 mb-Höhe eine nahezu hinreichende Bedingung für stärkere Niederschläge in einem grossen Teil der Schweiz ist. Eine quantitative Darstellung der Niederschlagsverhältnisse bei solchen Situationen war vor allem deswegen erwünscht, weil deren synoptische Vorgeschichte oft trügerisch ist und daher nicht selten zu Fehlprognosen geführt hat. Es sind selbst dann grössere Niederschläge am Alpennordhang und in anderen Gebieten der Schweiz zu erwarten, wenn in den Ebenen West- und Mitteleuropas keine wesentlichen Regenfälle auftraten.

Unter Verwendung der numerischen Prognosenkarten und mit Hilfe der Kenntnis der regionalen Niederschlagswirksamkeit dieser Witterungslagen sollte es in Zukunft möglich sein, Fehlprognosen dieser Art weitgehend zu vermeiden. Die dargelegte Prognosemethode soll vor allem der Wasserwirtschaft, der Landwirtschaft und dem Tourismus dienen.

Résumé

Dans le présent mémoire, on examine dans quelle mesure des invasions d'air froid marquées et atteignant la haute altitude, se répercutent en été sur les précipitations des différentes régions de Suisse. Il est résulté de cette étude qu'un abaissement marqué de la surface isobarique de 500 mb est une condition presque suffisante pour provoquer des précipitations abondantes dans une grande partie de la Suisse. Une représentation quantitative des conditions de précipitations lors de telles situations était souhaitable. En effet, leur évolution synoptique antérieure est souvent mal définie et, partant conduit parfois à l'élaboration de prévisions erronées. Il faut s'attendre également à des précipitations abondantes au versant nord des Alpes et dans d'autres régions de la Suisse, même si, dans les plaines de l'Europe occidentale et centrale, on n'a pas enregistré de précipitations notables.

En utilisant les cartes numériques en prévision et en s'appuyant sur notre expérience de l'importance des précipitations régionales lors de telles situations météorologiques, on devrait pouvoir éviter, à l'avenir, une grande partie des prévisions fausses de ce genre. La méthode de prévision proposée ici doit servir principalement aux services hydrologiques, à l'agriculture et au tourisme.

Riassunto

Nel presente lavoro viene studiata l'efficacia sulle precipitazioni di aria fredda estive pronunciate e di grande spessore, nelle diverse regioni della Svizzera. Si è dimostrato che una diminuzione piuttosto forte dell'altezza della superficie di 500 mb è quasi una condizione sufficiente per precipitazioni relativamente abbondanti nella maggior parte della Svizzera. Una rappresentazione quantitativa delle condizioni di precipitazioni con tali situazioni era specialmente desiderabile, siccome i loro antefatti sinottici risultano spesso ingannevoli e non di rado hanno condotto a previsioni errate. Sono perfino da attendere precipitazioni piuttosto abbondanti sul pendio nord delle Alpi e in altre regioni della Svizzera, anche quando nelle pianure dell'Europa occidentale e centrale non si verificano piogge importanti.

Utilizzando le carte numeriche di previsione e con l'aiuto della conoscenza dell'efficacia sulle precipitazioni di queste situazioni meteorologiche, dovrebbe essere largamente possibile in avvenire, evitare previsioni errate di questa specie. Il metodo di previsione presentato deve innanzitutto servire all'economia delle acque, all'agricoltura e al turismo.

Summary

In the present paper the effect of marked invasions of cold air in summer on precipitation is analyzed for the different regions of Switzerland. It thereby appears that a rather strong diminution of the 500 mb level is a nearly sufficient condition for intense precipitations in a great part of Switzerland. A quantitative representation of the precipitation conditions was desirable above all because the previous synoptic development of such a situation is often deceptive and pretty frequently led to incorrect forecasts. Rather intense precipitations on the northern side of the Alps and in other regions of Switzerland may be expected even if there were no significant rainfalls in the plains of Western and Central Europe.

With the help of numerical forecast charts and the knowledge of the regional effect of precipitation regarding these weather types, it should be possible to largely avoid wrong forecasts like these in future. The analyzed forecasting method will be of great use to water resources, agriculture and tourism.

Einleitung

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur objektiv-statistischen Niederschlagsprognose im Sommer liefern. Es soll dabei die Frage abgeklärt werden, ob sommerliche Kaltlufteinbrüche mit einer stärkeren Abnahme der 500 mb-Höhe eine hinreichende Bedingung für grössere Niederschläge sind. Die absolute Topographie der 500 mb-Fläche wird deshalb gewählt, weil zur Vorhersage der Kaltlufteinbrüche die numerischen Prognosenkarten dieses Niveaus benötigt werden.

Dass ausgeprägte sommerliche Kaltlufteinbrüche sich oft als zyklonale Witterungslagen auswirken, ist zwar eine Erfahrungstatsache; zur Objektivierung der Prognose ist jedoch zu untersuchen, welcher Prozentsatz der Fälle grössere Niederschlagsmengen verursacht und wie es sich mit der regionalen Niederschlagsauswirkung verhält.

Diese Untersuchung scheint mir deswegen besonders lohnend, weil die synoptische Vorgeschichte solcher Situationen oft trügerisch ist und daher nicht selten zu Fehlprognosen geführt hat. Bevor ein Kaltlufteinbruch die Schweiz aus Westen, Nordwesten oder Norden erreicht, kann er zum Teil in den Ebenen Englands, Frankreichs, der Beneluxländer und Deutschlands nur recht "unscheinbare" Wettererscheinungen hervorrufen; auch im Bodendruckfeld und in der 24stündigen Bodendruckänderung sind manchmal keine Anzeichen für eine ausgeprägte zyklonale Wetterentwicklung in der Schweiz zu erkennen. An den Mittelgebirgen Vogesen, Jura, Schwarzwald oder spätestens an den Alpen treten jedoch Hebungseffekte und infolgedessen eine verstärkte Wetterwirksamkeit der von Westen bis Norden heranströmenden Kaltluftmassen auf.

Niederschlagsmengen in der Schweiz

Da sich die sommerlichen Kaltlufteinbrüche mit einer stärkeren Abnahme der 500 mb-Höhe meist als mehrtägige zyklonale Witterungslagen auswirken, wurden hier die 4tägigen Niederschlagsmengen verwendet. Das Grundlagematerial besteht aus 30 Fällen (Juni - August), bei welchen die Höhe der 500 mb-Fläche über Payerne innerhalb von 1 - 3 Tagen um mindestens 15 Dekameter auf einen Wert unter 570 Dekameter sank. Es wurden dabei alle derartigen Fälle der Sommer 1961-1970 verwendet. Die zugehörigen Wetterlagen sind Troglagen, Westlagen, Nordwestlagen sowie Kaltlufttropfen. Die Niederschlagsauswirkung dieser 30 Fälle wurde an 36 Stationen der Schweiz (Abb. 1) untersucht und ist in der Tabelle 1 dargestellt.

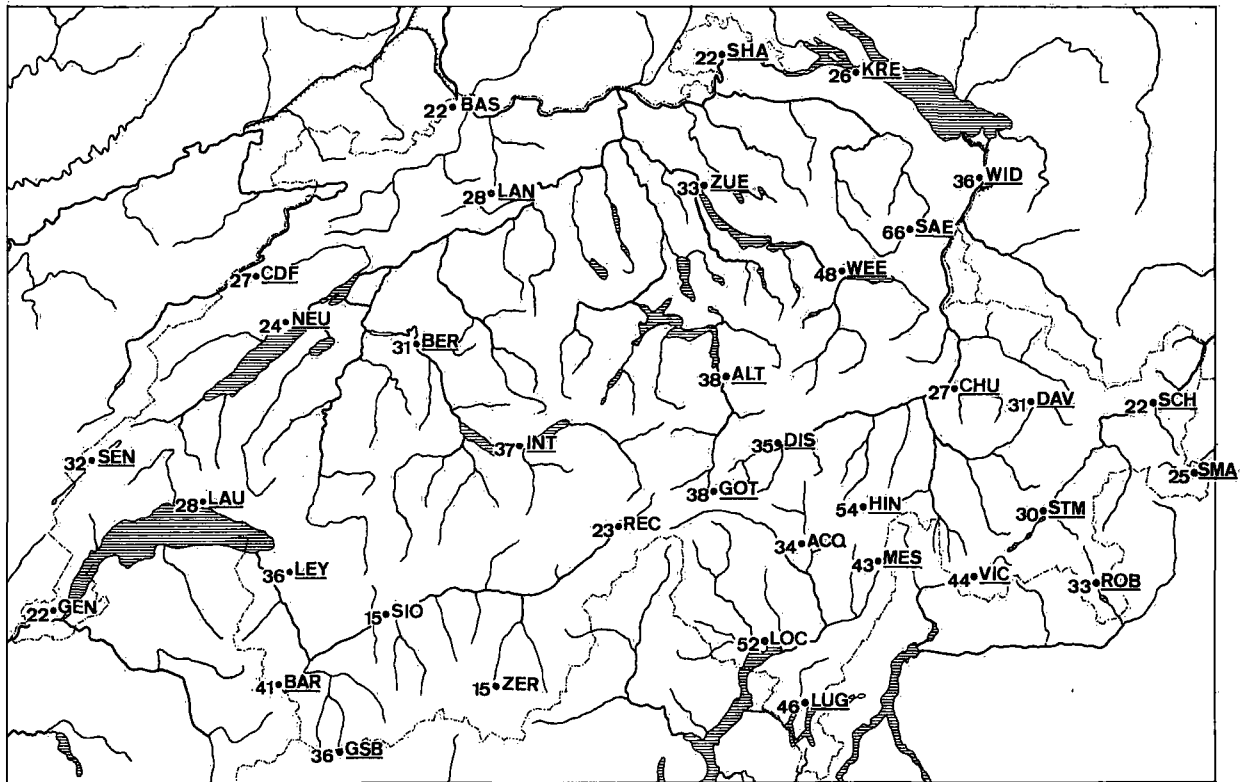


Abb. 1 Die als Grundlagenmaterial verwendeten 36 schweizerischen Niederschlagsstationen. Zahlenwerte bei den Stationen: Mittelwerte der 4tägigen Niederschlagsmengen bei diesen Witterungslagen. Unterstrichene Stationen: Wahrscheinlichkeit $\geq 80\%$ für eine 4tägige Niederschlagsmenge ≥ 10 mm.

Die Niederschlagsstationen sind:

Abkürzung	Station	Höhe	Abkürzung	Station	Höhe
BAS	Basel	317 m	GSB	Grand-St.-Bernard	2479 m
LAN	Langenbruck	740 m	SIO	Sion	549 m
CDF	Chaux-de-Fonds	990 m	ZER	Zermatt	1632 m
NEU	Neuchâtel	487 m	REC	Reckingen	1331 m
SEN	Le Sentier	1020 m	DIS	Disentis	1173 m
GEN	Genève-Cointrin	430 m	HIN	Hinterrhein	1619 m
LAU	Lausanne	618 m	CHU	Chur	586 m
LEY	Leysin	1358 m	DAV	Davos	1592 m
BER	Bern	572 m	STM	St. Moritz	1833 m
INT	Interlaken	574 m	SCH	Schuls-Tarasp	1253 m
ALT	Aldorf	451 m	SMA	Sta. Maria	1411 m
ZUE	Zürich	569 m	ROB	Robbia	1078 m
SHA	Schaffhausen	457 m	VIC	Vicosoprano	1065 m
KRE	Kreuzlingen	446 m	MES	Mesocco	795 m
WEE	Weesen	430 m	ACQ	Acquarossa	552 m
SAE	Säntis	2500 m	GOT	St. Gotthard	2095 m
WID	Widnau	404 m	LOC	Locarno-Monti	379 m
BAR	Barberine	1822 m	LUG	Lugano	276 m

An statistischen Kenngrößen der 4tägigen Niederschlagsmenge werden verwendet:

- | | |
|---|---|
| 1) Variationsbreite | 6) Variationskoeffizient $V = \frac{s}{\bar{R}} \cdot 100$ (in %) |
| 2) 80 %-Bereich der Variationsbreite (nur Werte zwischen dem 1. und 9. Dezil) | 7) Wahrscheinlichkeit für eine Menge ≥ 10 mm (in %) |
| 3) Zentralwert \bar{Z} | 8) Mittelwert der Menge dieser Fälle / Klimamittelwert der Niederschlagsmenge im Sommer (Juni - August, 1901 - 40) (in %) |
| 4) Mittelwert \bar{R} (mit Vertrauensintervall) | |
| 5) Standardabweichung s | |

Tabelle 1

	BAS	LAN	CDF	NEU	SEN	GEN	LAU	LEY	BER
1)	0 - 76	0 - 74	0 - 59	0 - 68	0 - 85	0 - 87	0 - 72	0 - 71	0 - 75
2)	5 - 36	8 - 51	8 - 48	4 - 49	6 - 47	1 - 47	8 - 56	15 - 61	10 - 63
3)	20	25	26	20	30	17	24	32	27
4)	22 ± 6	28 ± 7	27 ± 6	24 ± 7	32 ± 7	22 ± 7	28 ± 7	36 ± 7	31 ± 8
5)	17	18	16	18	18	19	18	20	20
6)	77	64	60	77	58	89	64	55	66
7)	70	87	87	80	87	73	87	97	90
8)	8.0	7.4	6.6	8.1	7.6	8.4	8.7	8.2	8.6
	INT	ALT	ZUE	SHA	KRE	WEE	SAE	WID	BAR
1)	4 - 76	7 - 111	0 - 79	0 - 55	0 - 86	6 - 210	11 - 159	9 - 86	2 - 153
2)	15 - 61	18 - 62	15 - 49	3 - 40	8 - 51	22 - 63	27 - 96	15 - 63	16 - 63
3)	38	32	33	21	23	38	57	32	32
4)	37 ± 7	38 ± 9	33 ± 7	22 ± 5	26 ± 7	48 ± 14	66 ± 14	36 ± 8	41 ± 11
5)	18	23	20	14	19	38	36	20	29
6)	48	60	60	63	73	78	55	56	69
7)	97	97	93	80	80	97	100	97	97
8)	9.0	8.7	8.1	7.2	8.0	8.1	8.0	7.9	9.6
	GSB	SIO	ZER	REC	DIS	HIN	CHU	DAV	STM
1)	1 - 95	0 - 45	0 - 65	0 - 100	0 - 138	0 - 209	0.1 - 84	0 - 99	0 - 155
2)	11 - 63	3 - 30	2 - 28	4 - 41	9 - 58	10 - 112	6 - 61	14 - 48	9 - 46
3)	32	10	13	19	27	43	21	25	26
4)	36 ± 9	15 ± 5	15 ± 6	23 ± 9	35 ± 11	54 ± 18	27 ± 8	31 ± 8	30 ± 11
5)	23	12	15	24	29	49	22	22	29
6)	65	82	101	104	83	90	82	71	95
7)	93	53	60	77	87	90	80	90	87
8)	8.3	9.2	7.7	8.7	9.0	10.1	8.7	7.9	9.8
	SCH	SMA	ROB	VIC	MES	ACQ	GOT	LOC	LUG
1)	0.4 - 68	0 - 94	0 - 145	1 - 173	0 - 120	0 - 132	0 - 198	0 - 173	0 - 111
2)	6 - 38	8 - 41	10 - 57	8 - 64	10 - 105	2 - 83	8 - 85	1 - 143	13 - 92
3)	19	21	27	38	33	23	25	39	41
4)	22 ± 6	25 ± 7	33 ± 10	44 ± 15	43 ± 13	34 ± 13	38 ± 16	52 ± 20	46 ± 12
5)	15	19	27	39	36	34	41	54	33
6)	67	76	83	89	83	100	110	105	72
7)	87	80	90	87	90	70	80	77	90
8)	8.7	9.6	10.8	9.7	8.6	7.9	6.9	8.8	8.2

Ferner werden in Tabelle 2 die 4tägigen Niederschlagsmengen aller Fälle und aller Stationen angegeben, damit sie vom Wetterdienst als Analogiefälle verwendet werden können. In diese Tabelle wurden noch zwei weitere Fälle hinzugenommen, der 7. - 10.7.1947 und der 14. - 17.8.1966. Der Fall vom 7.7.47 zeigt, dass auch in einem trocken-heissen Sommer ein markanter Kaltlufteinbruch Niederschlagsauswirkungen gleicher Grössenordnung wie in einem normalen oder nassen Sommer hat, ja sogar wegen der vorherigen starken Erhitzung extrem grosse Niederschlagsmengen (Locarno über 100 mm mehr als in allen anderen Fällen) verursachen kann. Der Fall vom 14.8.66 ist ein Grenzfall, da die 500 mb-Höhe zwar 21 Dekameter sank (von 591 auf 570 Dm), jedoch den Grenzwert von 570 Dekameter nicht unterschritt. In der Wetterwirksamkeit verhielt sich jedoch dieser Kaltlufteinbruch wie die übrigen hier verwendeten Fälle. Hier war die Zunahme der Niederschlagsmenge von Frankreich gegen Osten besonders ausgeprägt und in den Ostalpen wirkte sich zudem das infolge des Kaltlufteinbruches entstandene Tief über dem Golf von Genua aus. In der Schweiz erhielt Sta. Maria im Münstertal die grösste Regenmenge und in Kärnten traten sogar exzessive Niederschläge mit katastrophalen Überschwemmungsfolgen auf. Die 4tägigen Niederschlagsmengen (14. - 17.8.66) betragen im West-Ostquerschnitt:

Tours	kein Niederschlag	Zürich	20 mm
Dijon	2 mm	Disentis	72 mm
Genf-Cointrin	19 mm	St. Moritz	65 mm
Sion	12 mm	Sta. Maria (Münstertal)	96 mm
Bern	23 mm	Lienz (Osttirol)	195 mm
Basel	14 mm	Berchtesgaden (Bayern)	108 mm
Reckingen (Goms)	38 mm	Reisach (Kärnten)	228 mm

Aus der Abb 1. und der Tab. 1 ersieht man, dass die regionale Verteilung der Niederschlagsmengen dieser Lagen proportional zu den Klima-Mittelwerten des Sommers ist. Allgemein niederschlagsreiche Gebiete wie der Alpen-nordhang oder das Tessin haben hohe Zentral-, Mittel- und Maximalwerte; niederschlagsarme Gebiete wie die Walliser Täler, das Unterengadin, die Gegend von Basel, Schaffhausen und das untere Genferseegebiet haben dagegen kleinere Zentral-, Mittel- und Maximalwerte. Auch die Wahrscheinlichkeit für eine 4tägige Niederschlagsmenge ≥ 10 mm ist in den niederschlagsreichen Gebieten durchschnittlich grösser als in den niederschlagsarmen.

Das Ergebnis dieser Untersuchung ist, was die Niederschlagsprognose betrifft, folgendes: im klimatisch niederschlagsreichen Gebiet des Alpennordhanges (Leysin, Interlaken, Altdorf, Weesen, Säntis, Widnau) treten bei diesen Lagen nahezu immer grössere Niederschlagsmengen (≥ 10 mm) auf. Auch in Zürich ist die Wahrscheinlichkeit für eine Regenmenge ≥ 10 mm 93 % und in Bern 90 %. Für diese Gebiete sowie für den Jura, die Unterwalliser Alpen und den grössten Teil Graubündens ist die Möglichkeit einer quantitativen Niederschlagsprognose gegeben.

So wird – unter der Voraussetzung richtiger numerischer Prognosenkarten – z.B. für Zürich die Regenmengenprognose 15 - 49 mm in 80 % der Fälle eintreffen. Für Genf dagegen wäre die Prognose 80 % Wahrscheinlichkeit für eine Regenmenge zwischen 1 und 47 mm für die verschiedenen Wirtschaftszweige wenig von Nutzen, da diese Aussage sowohl die unbedeutenden geringen wie auch die wichtigen grösseren Mengen enthält.

Im Wallis, das durch die Stationen Reckingen, Zermatt, Sion, Grand-St.-Bernard und Barberine vertreten ist, ist die Niederschlagsauswirkung regional unterschiedlich. Während im Mittelwallis und in den südlichen Tälern an und für sich selten grössere Regenmengen bei diesen Lagen vorkommen (nur 10 % aller Fälle in Sion über 30 mm, in Zermatt über 28 mm) und die Hälfte aller Fälle in Sion nur eine Menge ≤ 10 mm, in Zermatt ≤ 12 mm hat, treten bereits in Reckingen (Goms) häufiger grössere Mengen auf und Barberine und Grand-St.-Bernard in den Unterwalliser Alpen haben sogar eine ähnliche Niederschlagsauswirkung wie der Alpennordhang. Graubünden und der Jura weisen an den meisten Stationen eine Wahrscheinlichkeit von 87 - 90 % für eine Regenmenge ≥ 10 mm auf (Chur und Sta. Maria nur 80 %).

Tabelle 2

Datum	BAS	LAN	CDF	NEU	SEN	GEN	LAU	LEY	BER	INT	ALT	ZUE	SHA	KRE	WEE	SAE	WID	BAR
11. 7. 61	55	60	59	64	85	50	62	71	64	33	60	78	42	66	50	89	43	153
27. 7. 61	8	22	28	14	35	13	14	23	14	29	40	19	18	19	43	69	22	53
13. 8. 61	5	13	22	8	16	1	8	20	26	20	18	16	15	8	63	50	14	12
24. 6. 62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7	0	0	0	22	13	9	2
3. 7. 62	14	8	10	4	5	0.5	4	17	16	36	35	15	24	17	60	50	19	16
13. 6. 63	8	24	16	20	42	25	31	40	12	35	29	45	24	31	28	43	30	30
16. 8. 63	8	25	48	30	44	31	18	17	13	23	22	20	31	22	28	64	45	22
26. 8. 63	17	11	26	16	26	21	13	16	6	19	23	15	8	32	33	50	59	16
3. 7. 64	0	0	0	0	0	0	4	12	2	15	26	11	0	7	6	11	23	22
8. 7. 64	8	22	12	6	17	10	21	32	18	11	21	16	16	7	33	59	19	39
7. 8. 64	22	17	14	20	24	10	21	23	24	40	25	19	18	17	52	79	39	29
17. 8. 64	9	18	18	14	31	15	16	15	28	16	10	34	31	14	19	49	19	27
2. 7. 65	0.1	0.4	4	4	6	3	27	47	10	50	56	9	3	9	36	45	21	66
7. 7. 65	28	50	54	68	66	42	72	61	75	45	43	48	27	24	39	78	38	59
28. 7. 65	21	45	35	34	30	9	21	11	49	15	11	40	30	32	14	38	22	51
21. 8. 65	76	74	39	64	48	87	56	47	55	67	111	44	42	21	37	27	10	44
31. 8. 65	36	18	47	45	28	53	32	32	33	46	71	27	13	16	24	23	26	50
18. 6. 66	36	39	25	10	23	22	20	24	17	50	42	39	30	51	61	53	50	22
5. 7. 66	39	31	33	20	36	24	44	64	31	39	44	39	40	55	94	156	85	50
29. 8. 66	14	38	8	16	30	14	23	23	47	38	22	42	14	17	38	85	29	31
7. 6. 67	19	51	24	33	28	19	29	56	37	61	25	74	40	86	41	64	63	32
10. 7. 68	15	23	25	24	33	15	23	28	29	19	22	18	8	9	28	46	15	32
14. 7. 68	18	24	33	28	47	35	49	57	66	37	38	32	55	23	60	96	86	51
18. 6. 69	30	42	29	26	46	28	33	24	50	32	53	47	29	49	38	55	38	24
6. 7. 69	29	17	19	17	24	24	24	51	21	43	40	20	12	26	50	83	39	32
14. 8. 69	20	31	38	20	27	47	42	64	36	76	80	49	27	27	115	159	66	94
20. 8. 69	25	32	29	24	21	3	22	40	34	46	56	39	17	27	57	84	31	43
27. 6. 70	35	28	21	30	44	14	27	40	21	62	28	28	2	14	38	62	32	25
14. 7. 70	20	25	48	12	47	6	28	58	22	47	62	38	14	25	210	138	41	53
14. 8. 70	29	51	59	49	47	28	65	59	63	55	25	79	34	29	32	49	33	63
7. 7. 47	13	19	26	24	28	46	40	36	42	16	29	23	15	23	48	83	38	—
14. 8. 66	14	24	10	10	12	19	13	23	23	26	21	20	26	20	25	22	28	27

Tabelle 2 (II)

Datum	GSB	SIO	ZER	REC	DIS	HIN	CHU	DAV	STM	SCH	SMA	ROB	VIC	MES	ACQ	GOT	LOC	LUG
11. 7. 61	59	28	26	41	48	50	13	21	19	22	26	37	41	58	45	85	78	19
27. 7. 61	19	7	4	3	10	8	4	17	9	6	7	8	13	10	4	9	1	17
13. 8. 61	10	3	4	17	9	5	6	5	3	2	9	3	1	0.3	1	9	0	0
24. 6. 62	1	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.4	0	0	1	0	0	0	0.4	15
3. 7. 62	7	1	2	19	11	12	5	15	9	11	6	14	7	10	6	8	4	6
13. 6. 63	36	14	14	11	38	44	21	24	46	20	10	36	53	14	29	21	61	64
16. 8. 63	42	7	11	25	37	112	71	25	36	32	51	46	63	109	83	45	134	108
26. 8. 63	30	7	12	14	54	64	39	45	37	42	40	43	47	33	45	27	114	85
3. 7. 64	11	4	2	4	6	17	8	20	10	4	8	10	16	28	18	3	3	14
8. 7. 64	49	6	3	3	18	11	12	14	13	10	13	20	21	13	1	15	25	13
7. 8. 64	18	4	4	10	27	55	13	19	12	11	8	23	15	22	10	39	27	29
17. 8. 64	32	3	5	6	21	28	11	16	10	11	16	18	18	27	15	20	34	38
2. 7. 65	22	21	12	25	12	10	11	21	36	17	18	26	53	19	2	14	36	19
7. 7. 65	60	30	20	25	29	41	30	28	17	17	20	28	25	34	24	41	37	28
28. 7. 65	21	13	5	8	2	22	7	9	26	15	21	30	64	28	10	7	18	23
21. 8. 65	56	45	46	100	78	155	26	16	58	15	41	75	150	103	100	198	111	65
31. 8. 65	95	30	65	99	138	209	84	99	155	68	94	145	173	120	132	133	173	111
18. 6. 66	26	6	17	20	88	133	61	59	34	29	31	29	61	110	76	50	154	92
5. 7. 66	63	26	17	33	50	103	76	88	74	51	55	57	99	105	56	49	143	75
29. 8. 66	23	10	13	25	23	30	18	25	33	19	30	23	41	30	19	37	40	54
7. 6. 67	37	21	17	10	23	42	22	22	28	33	29	32	21	21	9	32	11	23
10. 7. 68	14	9	13	4	24	55	49	26	33	14	20	21	26	71	40	18	40	96
14. 7. 68	39	15	21	22	52	67	33	37	26	26	26	59	46	45	41	31	45	85
18. 6. 69	36	15	28	50	58	67	33	39	26	20	29	29	38	32	63	88	56	44
6. 7. 69	47	8	6	13	45	101	34	46	33	32	29	35	57	63	87	23	169	62
14. 8. 69	87	40	44	28	40	47	28	48	45	38	27	46	54	43	32	34	51	55
20. 8. 69	17	10	2	19	24	62	36	33	20	31	10	24	35	33	21	18	12	13
27. 6. 70	31	18	14	21	27	37	21	25	17	19	12	19	29	79	33	44	68	68
14. 7. 70	67	7	1	13	42	13	20	44	10	15	29	21	8	6	2	16	0	6
14. 8. 70	19	33	13	20	12	20	13	35	28	29	21	17	38	35	9	19	4	66
7. 7. 47	19	10	17	16	65	141	80	60	59	45	48	69	97	113	130	47	285	56
14. 8. 66	29	12	12	38	72	33	47	41	65	58	96	65	38	19	19	39	30	43

Für die Alpensüdseite kommt ein Kaltlufteinbruch nur dann zur vollen Wirkung, wenn die Strömung im 700 - und 500 mb-Niveau eine Südkomponente aufweist. Die Alpensüdseite (Tessin und südliche Bündnertäler) eignet sich daher nur aufgrund des hier verwendeten Prädiktors "stärkere Abnahme der 500 mb-Höhe" nicht für eine quantitative Niederschlagsprognose (80 % der Fälle in Locarno 1 – 143 mm).

Eine quantitative Beziehung derart, dass einer Vergrößerung der Abnahme der 500 mb-Höhe eine Erhöhung der Regenmenge entsprechen würde, konnte in keinem Gebiet der Schweiz festgestellt werden. So beträgt z.B. in Zürich bei einer Abnahme der 500 mb-Höhe von 15 – 19 Dm die mittlere Niederschlagsmenge 37 ± 11 mm, bei einer solchen von 20 – 27 Dm 30 ± 11 mm.

Bemerkenswert ist, wie aus der Tabelle 2 hervorgeht, dass alle Kaltlufteinbrüche mindestens örtlich Regenmengen über 10 mm verursacht haben. Selbst vom 24. – 27.6.62, als viele Stationen niederschlagsfrei waren, hatte Weesen 22, der Säntis 13 und Lugano 15 mm.

Eine Aussage über die Dauer der durch den Kaltlufteinbruch verursachten zyklonalen Witterungslage über 3 - 4 Tage hinaus ist mit den heutigen Methoden der numerischen Prognose noch nicht möglich. Zum Teil bilden sich in der Folge Kaltlufttropfen, die dann längere Zeit über dem Festland Mittel- oder Westeuropas verharren können und so zu einer Verlängerung der zyklonalen Witterungslage beitragen [1]. Am längsten von den hier verwendeten 30 Fällen dauerte in Zürich die Lage vom 20. 8. 69, indem hier 10 Niederschlagstage (≥ 0.1 mm) hintereinander mit einer Niederschlagssumme von 98 mm auftraten.

In Tabelle 3 seien noch die prognostischen Aussagemöglichkeiten bei diesen Lagen für die einzelnen Landesgegenden zusammengestellt.

Rückgang der Sonnenscheindauer und des Temperaturmaximums in Zürich

Dass mit den markanten, hochreichenden Kaltlufteinbrüchen auch stärkere Rückgänge der Sonnenscheindauer und der Temperatur verbunden sind, ist nach den Darlegungen über die Niederschlagsauswirkungen in der Schweiz offensichtlich. Eine quantitative Information darüber sollen die Werte von Zürich geben. Für Zürich beträgt der Rückgang von der höchsten Sonnenscheindauer einen Tag vor oder zu Beginn der zyklonalen Witterungslage zur geringsten Sonnenscheindauer an einem Tag der Lage im Mittel der 30 Fälle 10.0 Stunden oder in relativer Sonnenscheindauer ausgedrückt 70.4 %. Die Variationsbreite beträgt 2.3 – 13.7 Stunden und der 80 %-Bereich der Variationsbreite 5.9 – 13.0 Stunden. Für das Temperaturmaximum ergab sich in entsprechender Weise ein mittlerer Rückgang von 11.0° . Die Variationsbreite beträgt $3 - 18^\circ$ und der 80 %-Bereich der Variationsbreite $6 - 17^\circ$. Der Quotient mittlerer Rückgang des Temperaturmaximums zu mittlerer 500 mb-Höhenabnahme beträgt 0.56. Daraus kann man z.B. bei einer zu erwartenden 500 mb-Höhenabnahme von 16 Dm auf einen Rückgang des Temperaturmaximums von 9° schliessen. Die Rückgänge der Sonnenscheindauer und der Temperatur sind also beträchtlich. Im Zusammenwirken mit dem Niederschlag bedeutet dies z.B. für den Tourismus eine massive Verschlechterung, die gerade in den Monaten Juni bis August als ausgesprochen unangenehm empfunden wird.

Tabelle 3

Wahrscheinlichkeit ≥ 87 % für eine Menge ≥ 10 mm	Wahrscheinlichkeit ≥ 77 % für eine Menge ≥ 20 mm	Wahrscheinlichkeit ≤ 10 % für eine Menge > 30 mm	quantitative Niederschlagsprognose: 80 % Wahrscheinlichkeit für eine Menge von ... bis ... mm
Langenbruck Chaux-de-Fonds Le Sentier Lausanne Leysin Bern Interlaken Altdorf Zürich Weesen Säntis Widnau Barberine Grand-St.-Bernard Disentis Hinterrhein Davos St. Moritz Schuls-Tarasp *Robbia *Vicosoprano *Mesocco *Lugano	Barberine Leysin Interlaken Altdorf Weesen Säntis Widnau	Sion Zermatt	Langenbruck 8 – 51 Chaux-de-Fonds 8 – 48 Lausanne 8 – 56 Leysin 15 – 61 Bern 10 – 63 Interlaken 15 – 61 Altdorf 18 – 62 Zürich 15 – 49 Kreuzlingen 8 – 51 Weesen 22 – 63 Säntis 27 – 96 Widnau 15 – 63 Barberine 16 – 63 Grand-St.-Bernard 11 – 63 Disentis 9 – 58 Davos 14 – 48 St. Moritz 9 – 46 *Sta. Maria 8 – 41 *Robbia 10 – 57 *Vicosoprano 8 – 64 St. Gotthard 8 – 85
Regionen: Jura alpenseitiges Mittel- land von der Linie Lausanne-Bern- Zürich an Alpennordhang Unterwalliser Alpen Graubünden (ohne Rheintal bei Chur und Münstertal) *Sottoceneri	Regionen: Alpennordhang	Regionen: Zentralwallis südliche Walliser Täler	Regionen: Jura alpenseitiges Mittelland von der Linie Lausanne-Bern-Zürich-Kreuzlingen an Alpennordhang Unterwalliser Alpen Graubünden (ohne Rheintal bei Chur, Rheinwaldgebiet und Unterengadin)
*Zusatzbedingung: mindestens zeitweise 700 mb- und 500 mb-Strömung mit Südkomponente			

Schlussbemerkungen

Zum Schluss seien noch einige allgemeine Bemerkungen zum Resultat dieser Arbeit gemacht. Es hat sich gezeigt, dass für einen grossen Teil der Schweiz eine stärkere Abnahme der 500 mb-Höhe im Sommer eine nahezu hinreichende Bedingung für grössere Niederschläge ist. Als notwendige Bedingung für stärkere Niederschläge kann jedoch dieser Prädiktor nicht betrachtet werden. So kann z.B. eine zyklonale Witterungslage schon bei relativ tiefem 500 mb-Niveau beginnen oder es können örtlich ergiebige Gewitterregen auftreten, ohne dass die 500 mb-Höhe stark sinkt.

Zur Frage, ob sich die markanten, hochreichenden Kaltlufteinbrüche auch im Frühling und Herbst so stark wie im Sommer auswirken, ist zu sagen, dass dies wahrscheinlich nicht der Fall ist. Bei der Durchsicht einiger Fälle in diesen Jahreszeiten hat sich gezeigt, dass der Luftmassenwechsel Warmluft - Kaltluft, wegen der geringeren vorherigen Erhitzung, oft nicht so stark ist und dass damit auch die Niederschlagswirksamkeit geringer als im Sommer ist.

Zur praktischen Verwendung des Prädiktors "stärkere Abnahme der 500 mb-Höhe" ist zu sagen, dass in den meisten Fällen numerische Prognosekarten gebraucht werden müssen. Nur relativ selten zeigt sich schon zum Prognoseausgabetermin in den aktuellen Sondenwerten von Payerne und den benachbarten Stationen eine stärkere Abnahme der 500 mb-Höhe. Wenn sich die Abnahme des 500 mb-Niveaus erst in den numerischen Prognosen zeigt, so kommt auch hier – wie bei allen Prognosen, die auf numerischen Karten basieren – eine Fehlermöglichkeit in die Methode. Da erfahrungsgemäss die baroklinen numerischen Vorhersagekarten bei Kaltlufteinbrüchen oft zu tiefe Werte der 500 mb-Höhe anzeigen, empfiehlt es sich, die Prognosemethode erst bei vorausgesagter Abnahme des 500 mb-Niveaus um mindestens 18 Dm anzuwenden. Selbst bei Berücksichtigung der Fehlermöglichkeit durch die numerischen Prognosekarten sollten bei konsequenter Anwendung dieser Methode in Zukunft Fehlprognosen bei solchen Lagen weitgehend vermieden werden können.

Literatur

- [1] GENSLER, G.A.: Kaltlufttropfen des Spätfrühlings 1954, im speziellen ihre Bewölkungs- und Niederschlagsstruktur. Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, 1954, p. 110 - 111

Adresse des Verfassers:

Dr. H.W. Courvoisier
Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt
Krähbühlstrasse 58
CH - 8044 Zürich

- 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 (Fortsetzung von Nr. 22)
II Die einzelnen Gewitter und ihre Verteilung
III Die Dauer der Gewitter
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

