Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute

Zürich

34002

No. 86

ERGEBNISSE AUS DEN PROGNOSENKRITIKEN DER MZA-KURZFRIST-VORHERSAGEN. MOEGLICHKEITEN ZUR PROGNOSENVERBESSERUNG

von

G.A. Gensler, Zürich

März 1979

Prognosen 551.509.5

Zusammenfassung

Im ersten Teil werden einige statistische Ergebnisse der Trefferzahlen von Kurzfristprognosen für die Schweiz und Ursachen von Fehlprognosen festgehalten, getrennt für die vier Jahreszeiten.

Im zweiten Teil wird eine Uebersicht der in- und ausländischen Bestrebungen zur weiteren Verbesserung der Wettervorhersagen vorgelegt, wobei die Verhältnisse in den USA als richtungsweisend für weitere Entwicklungen etwas eingehender besprochen werden.

Résumé

Dans la première partie sont exposés quelques résultats statistiques des taux de réussite des prévisions à courte échéance pour la Suisse ainsi que les causes de fausses prévisions, séparément pour les quatre saisons.

Dans la seconde partie, on donne un aperçu des efforts déployés, tant en Suisse qu'à l'étranger, en vue d'améliorer encore les prévisions météorologiques. Les conditions aux USA sont décrites plus largement, elles devraient servir de base au développement ultérieur.

Riassunto

Nella prima parte vengono fissati; separati per le quattro stagioni, alcuni dati statistici sui risultati delle previsioni a breve scadenza per la Svizzera e sulle cause di previsioni errate.

Nella seconda parte viene presentata una visione degli sforzi compiuti nel nostro paese e all'estero per l'ulteriore miglioramento delle previsioni meteorologiche. Le condizioni degli USA, siccome mostrano l'orientamento in tale materia, sono discusse un po' più a fondo.

Summary

The first part contains some statistical results concerning forecast verification in Switzerland including an analysis of the causes of bad forecasts. These results are given separately for each season.

The second part is devoted to efforts aimed at increasing forecasting skill not only in Switzerland but also in other countries. Trends in the USA are considered as useful hints at future developments and are therefore treated in some detail.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Ergebnisse der monatlichen Prognosenkritiken 1968-1978 nach PERRET (CMC) und SCHOENBAECHLER (LWZ)	1
1.1	Trefferzahlen der Kurzfristprognosen	1
1.2	Statistiken über Fehlprognosen ab Dez. 1967	3
1.3	Einige Ursachen von Fehlprognosen	6
1.4	Allfälliger Nutzen der numerischen 500 mbar Vorhersagekarten (NVK) auf 24 bis 48 Stunden hinaus bei Fehlprognosen	9
1.5	Konsequenzen aus dieser Bearbeitung einer Serie zurückliegender Prognosenkritiken	10
2.	Stand der Möglichkeiten zur Prognosenverbesserung	11
2.1	Die Ausgangslage	12
2.2	Die numerische Modellierung meteorologischer Felder	12
2.3	Entwicklungsmöglichkeiten der Prognosenverbesserung	13
2.4	Die neue Arbeitsweise des Prognostikers	16
2,5	Weitere Arbeiten auf dem Gebiet der objektiven Prognose	18
2.6	Verbesserungsmöglichkeiten für die Schweiz	19
Zusammenfassung		23
Literaturverzeichnis		25

1. Ergebnisse der monatlichen Prognosenkritiken 1968 - 1978 nach PERRET (CMC) und SCHOENBAECHLER (LWZ).

1.1. Trefferzahlen der Kurzfristprognosen

Vom Jahre 1953 an wurden an 4 bis 5 Orten der Schweiz durch Privatpersonen, die nicht Beamte der MZA waren, täglich die Kurzfristprognosen der MZA, gültig für die ganze Schweiz, getestet. Ab 1966 wurde eine neue Kontrollmethode eingeführt. An 6 Orten wurde der erste, dritte und vierte Wetterbericht für jeden Tag bewertet; beim ersten der laufende, beim dritten und vierten der folgende Tag. Es wurde getrennt erfasst:

- die allgemeine Wetterlagenentwicklung
- die Bewölkungsmenge und die Sonnenscheindauer
- das Auftreten von Niederschlag
- die Lufttemperatur mit ihrem Nachtminimum und ihrem Tagesmaximum.

Die Qualifikation geschah nach Punkten: 2 für eine richtige, 1 für eine halbrichtige und 0 für eine falsche Vorhersage der vier oben erwähnten Erscheinungen. Dies ergibt für die drei Wetterberichte ein Tagesmaximum von 24 Punkten, was einer Trefferquote von 100% entspricht. Die Beurteilung der ersten drei Prädiktanden ist gefühlsmässig und daher notgedrungen subjektiv. Nur für die Temperatur bestehen zahlenmässige Kriterien: lag der effektive Wert innerhalb der prognostizierten Temperaturspanne, die üblicherweise 5 Grad beträgt, werden 2 Punkte, beim Abweichen von 1 - 4 Grad ausserhalb der vorhergesagten Spanne wird 1 Punkt erteilt.

Tab. 1: 25 Jahre Prognosenkontrolle der MZA-Kurzfristprognosen für das gebiet der Schweiz. Trefferquoten in Prozenten.

Jahr	Basel	Davos	Sion	Montana	Zürich	Locarno	Ganze Schweiz
1953	87%	86%	-	82%	87%	81%	84%
1954	87%	-	-	79%	-	81%	82%
1955	85%	77%	-	80%	82%	82%	82%
1956	-	81%	-	80%	84%	83%	82%
1957	87%	80%	-	77%	85%	83%	83%
1958	79%	83%	-	83%	85%	85%	83%
				Montreux			
1959	83%	84%	-	82%	87%	85%	84%
					Kloten		
1960	81%	78%	-	78%	81%	85%	81%
1961	82%	-	-	80%	85%	85%	83%
1962	84%	-	-	80%	84%	82%	83%
1963	79%	-	-	79%	81%	84%	81%
1964	78%	-	89%	79%	82%	87%	83%
1965	75%	-	87%	77%	77%	86%	80%

Neue Prognosenkontrollmethode

	Basel	Davos	Sion	Lausanne	Kloten Regensdf.	Locarno	Ganze Schweiz
1966	76	82	72	79	69	81	77
1967	84	84	80	78	73	83	80

Jahr	Basel	Davos	Sion	Lausanne	Kloten Regensdf.	Locarno	Ganze Schweiz
1968	81	80	77	76	74	82	78
1969	85	79	76	83	80	85	81
1970	85	78	78	81	79	81	80
1971	84	80	86	80	79	85	82
1972	83	79	86	78	81	84	82
1973	84	80	84	77	77	87	80.5
1974	82	79	85	78	77	82	83
1975	84	82	87	80	83	82	83
1976	84	79	86	80	87	83	83.5
1977	83	83	82	76	88	82	82.5
12 J	82.9	80.4	81.6	78.8	78.9	83.1	80.9

Die Tabelle 1 zeigt für die erste Bewertungsperiode keinen, für die zweite einen kleinen Verbesserungstrend. Der Uebergang von der ersten zur zweiten Kontrollmethode beweist, dass die Absolutwerte, nebst subjektiven Unterschieden, auch von der Bewertungsmethode abhängt. Dies zeigt sich noch deutlicher, wenn in den "Annalen" der MZA für das Jahr 1881 das Zutreffen der Prognosen für die landwirtschaftlich wichtigen Monate Mai bis Oktober des Jahres 1881 mitgeteilt wird. Das Ergebnis lautet: 87% für Zürich, 83% für Frauenfeld und 82% für Luzern. Diesem ehrenvollen Ergebnis steht die Tatsache gegenüber, dass - abgesehen von der nicht bewerteten "Allgemeinen Wetterübersicht" über Europa und der Schweiz, die recht ausführlich war - der Prognosentext sehr kurz war und sich auf die Nordostschweiz beschränkte. So wurde z.B. aufgrund der Lage um 08 h des 8. Juni 1881 als Prognose für den 9. Juni ausgegeben: "Zunächst noch vorwiegend trübes, zeitweise regnerisches Wetter".

Der Mittelwert der Trefferraten der drei getesteten Kurzfristprognosen von rund 80% bedeutet nicht, dass auf 5 richtige nur 1 falsche Prognose entstehe, sondern er entspricht etwa folgender Verteilung:

- die Hälfte aller Vorhersagen stimmt;
- ein Viertel ist brauchbar;
- ein Viertel ist ungenügend.

Andere europäische Landeswetterämter erzielten eine ähnliche Trefferquote (80 - 85%). Hinzu kommt noch ein Jahresgang der Prognosengüte: sie sinkt in Mitteleuropa, aber auch in den USA, im Laufe des Frühlings zu frühsommerlichen Jahrestiefstwerten. Vom Herbst bis in den Spätwinter hinein werden die besten Ergebnisse des Jahres erzielt. Der Grund hiefür liegt in der höheren Erhaltungsneigung, also der grösseren Persistenz des Wetters im Herbst, was 1977 und 1978 ausgeprägt in Erscheinung trat. Untersuchungen für Berlin (H.MALBERG, 1977) haben für 1971 bis 1975 ergeben, dass mit einer "Prognose", die über das morgige Wetter nichts anderes aussagt als: "Morgen gleich wie heute", die somit eine triviale Persistenzprognose darstellt, im Januar, Februar und März für die nächsten 24 Stunden eine Erfolgsrate von 80 bis 82%, im Juli, August und Oktober noch von 79% erreicht werden könnte. Effektiv werden in den genannten Monaten für die 24-Std. Vorhersage 84 bis 86% erreicht. Das Jahresmittel einer 24-Std. Persistenzprognose betrug für Berlin 77.9%, für die ausgegebene Prognose 84.4%; für die 36 Stunden gültige Vorhersage wurde zwischen 82 und 83% erreicht. Bei diesen Zahlen, insbesondere für die Persistenz, ist zu beachten, dass für Berlin keine gebirgsbedingte Föhn- und Staueffekte berücksichtigt werden müssen, s. Fig. 1 im Anhang.

1.2. Statistiken über Fehlprognosen ab Dez. 1967

Bereits 1972 erstellte J. HAEFELIN, Chef der damaligen Unterabteilung Wetterdienst der MZA, eine diesbezügliche interne Zusammenstellung für die 4 Jahre 1968 - 1971. In ihr wurden zwei Auszählungen festgehalten: Ursachen von Fehlprognosen und die Wetterlagenabhängigkeit von Fehlprognosen.

Tab. 2: Gründe der Fehlprognosen 1968 - 1971

1)	**Falsche Einschätzung der Entwicklung der synoptischen Wetterlage**	**45 Fälle**	**30%**
	Zu optimistische Einschätzung	20 "	13%
	" pessimistische "	25 "	17%
2)	**Falsche Schätzung der Verlagerungsgeschwindigkeit der Störungen**	**71 Fälle**	**46%**
	Geschwindigkeit überschätzt	32 "	21%
	" unterschätzt	39 "	25%
3)	**Falsche Schätzung der Wirksamkeit der Störungen**	**31 Fälle**	**20%**
	Wirksamkeit überschätzt	19 "	12%
	" unterschätzt	12 "	8%
4)	**Fehlerhafte oder ungenügende Analyse**	**6 Fälle**	**4%**
	Total	153 Fälle =	100%

Es zeigt sich ein gewisses Uebergewicht im Ueberschätzen der Wetterwirksamkeit von "Störungen", d.h. von Schlechtwetterzonen. Eine etwas zu pessimistische Einstufung der voraussichtlichen Wetterauswirkung bei uns tritt damit zu Tage. Wie im übrigen West- und Mitteleuropa laufen die Wettergeschehnisse im Schnitt etwas schneller ab als erwartet.

Tab. 3: Fehlprognosen und Wetterlagen 1.1.1968 - 31.10.1971

Anzahl Fehlprognosen in Prozenten der Gesamtzahl der Fehlprognosen. In Klammern: Häufigkeit der Wetterlagen.

I	Höhenströmung mehr oder weniger gradlinig	39%	(38%)
IIa	Durch Höhenhoch bestimmte Wetterlagen	16%	(23%)
IIb	Blockierende Hochdruckgebiete	12,5%	(11,5%)
III	Durch Höhentief bestimmte Wetterlagen	32,5%	(27,5%)

Im Vergleich zur Häufigkeit, mit welcher eine Wetterlage bei uns auftritt, verursacht das Vorhandensein eines hochreichenden Kaltluftgebietes über Mitteleuropa (Höhentief, Kaltlufttropfen) relativ am häufigsten Fehlbeurteilungen der kommenden Wetterauswirkung. Das Verhalten dieser nicht in ein Frontenmodell einbaubaren Zirkulationsform erscheint häufig sowohl bezüglich der Verlagerung als auch der räumlichen Anordnung seiner Schlechtwettergebiete als willkürlich (siehe u.a. G. GENSLER, 1954). Die gegensätzliche Erscheinung, das Höhenhoch, erweist sich als verhältnismässig wenig fehlprognosenverdächtig.

Die nachfolgende Beurteilung stützt sich auf die ab Dezember 1967 monatlich schriftlich ausgegebene "Critique des prévisions" durch den Chefmeteorologen der Wetterzentrale auf dem Flughafen Genf-Cointrin (CMC), R. PERRET. Sie beziehen sich auf die in Genf erzeugten kurzfristigen Wetterprognosen für die ganze Schweiz. In dieser Form lagen sie mir bis zum November 1973 fast vollständig vor (es fehlten zweimal der Mai und einmal der Juni).

Mit der Betriebsaufnahme der neuen Landeswetterzentrale (LWZ) auf dem Flughafen Zürich-Kloten wurde vom 3.4.1974 an auch der Prognosendienst für die Oeffentlichkeit von Cointrin nach Kloten überführt. Am 26.6.1974 begann die LWZ ihren Dienst in den Räumen des neuen Anbaues der MZA in Zürich am Zürichberg. Ab 1974 beziehen sich die monatlichen Prognosenkritiken von R. PERRET nur noch auf die nun eingeschränkte Zuständigkeitsregion des CMC, welche die Westschweiz und das Wallis umfasst. Der Chefmeteorologe an der LWZ, M. SCHOENBAECHLER, begann seine monatliche Zusammenstellung "Prognosenkritik" mit dem Monat Mai 1975. Da für diesen Arbeitsbericht das Jahr in die vier klimatologischen Jahreszeiten unterteilt worden ist, umfasst der hier untersuchte Zeitabschnitt die 8,5 Jahre vom Dezember 1967 (Winterbeginn) bis November 1973 (Ende Herbst) anhand der Berichte von PERRET (CMC) und vom Juni 1975 (Sommerbeginn) bis November 1978 mit denjenigen von M. SCHOENBAECHLER (LWZ). Dies gibt ein Total von 8 Jahren für den Winter und Frühling und von 9 Jahren für den Sommer und Herbst. Um die jahreszeitliche Verteilung der Anzahl Fälle der in den Monatskritiken beschriebenen Prognosenmängel sinnvoll vornehmen zu können, wurde in die nachfolgende Tabelle 4 für alle Jahreszeiten das Total über 8 Jahre eingegeben.

Die Aufgliederung der Fehlbeurteilungen wurde in Anlehnung an die bereits besprochene Vierjahresstatistik von J. HAEFELIN vorgenommen:

a) zu optimistische bezw. zu pessimistische Beurteilung der synoptischen Entwicklung über Mitteleuropa;

b) zu rasche bezw. zu langsame Verlagerung der wetteraktiven Konfigurationen bis zu uns;

c) zu starke bezw. zu schwache Wetterwirksamkeit des massgebenden Strömungsfeldes über uns angenommen.

Alle Fehlprognosenfälle sind unter a) zu finden. Deren Ursachen stehen bei b) und/oder c). Für die gleiche Fehlprognose kann somit der Grund gleichzeitig bei b) und c) liegen; als Einzelursache ist c) häufiger anzutreffen.

Nur für den Winter wurden in Tab. 4 als Zusatz die Fehlprognosen der vier Winter 1974/75 - 77/78 vom CMC für die Westschweiz und das Wallis beigefügt (CMC/W)

Tab. 4: Aufgliederung der Fehlprognosen für die ganze Schweiz in die vier Jahreszeiten nach Herkunft aus der zuständigen Prognosenzentrale (PrZ).
Klassierung nach zu optimistischer und zu pessimistischer Beurteilung der kurzfristigen Wetterentwicklung. Sortieren nach den beiden Hauptursachen: falsche Verlagerungsgeschwindigkeit und/oder Wetterwirksamkeit. CMC: Winter 1967/68 - Herbst 1973. LWZ: Sommer 1975 bis Herbst 1978. CMC/W: Winter 1974/75 - 77/78 nur für die Westschweiz und das Wallis.

Beurteilung in der Prognose:

Jahreszeit PrZ	Entwicklung zu optim.	Entwicklung zu pessim.	Total aller Fälle	Verlagerung zu rasch	Verlagerung zu langsam	Wetterwirksamkeit zu stark	Wetterwirksamkeit zu schwach
Wi. CMC	28	46	74	11	14	33	19
8J LWZ	23	27	50	8	25	27	22
Sum.	51	73	124	19	39	60	41
4J CMC/W	20	25	45	7	10	19	21
Fr. CMC	58	31	89	9	16	29	56
8J LWZ	32	27	59	6	14	27	29
Sum.	90	58	148	15	30	56	85
So. CMC	46	20	66	15	14	18	45
8J LWZ	42	21	63	14	17	18	40
Sum.	88	41	129	29	31	36	85
He. CMC	39	28	67	5	19	25	38
8J LWZ	26	31	57	9	13	31	26
Sum.	65	59	124	14	32	56	64
8J CMC	171	125	296	40	63	105	158
LWZ	123	106	229	37	69	103	117
Tot.	294	231	525	77	132	208	275

Unter Hinzunahme des Sommers und Herbstes 1978 (PrZ LWZ) ergeben sich folgende 9-Jahressummen für Sommer, Herbst und Jahr:

So.Sum.	99	50	149	34	36	45	95
He.Sum.	72	64	136	20	34	61	71
8½-Tot.	312	245	557	88	139	222	292

Die Tabelle 4 deckt einige statistische Eigenheiten im Auftreten von Irrtümern bei der Wettervorhersage auf:

a) Der Frühling steht bezüglich der Anzahl von Fehlprognosen an der Spitze. Dies entspricht der geringeren Persistenz unseres Frühlingswetters (siehe Kap. 1.1); das Umgekehrte gilt für den Herbst und Winter.

b) Der Winter weist die grösste Zahl zu langsam prognostizierter Verlagerungen und Entwicklungen auf. Dies steht seinerseits im Einklang mit der im Winter am stärksten ausgebildeten Zonalzirkulation innerhalb der Westwinddrift der gemässigten Breiten. Die reduzierte Advektionsdynamik des Sommers gleicht den Nachhinkeeffekt der Prognosen weitgehend aus.

c) Der Optimismus ist im Sommer am ausgeprägtesten. Wir stellen anscheinend an unseren warmgemässigten, immerfeuchten Klimagürtel nach KOEPPEN mit gelegentlichem Gebirgsstau zu hohe Ansprüche; auch unser launisches Frühlingswetter wird zu rosig beurteilt. Anderseits entspricht der Herbst ziemlich unseren Erwartungen; von der möglichen Güte unseres Winterwetters lassen wir uns sogar überraschen.

Die Beurteilung der Möglichkeiten unseres Klimas unterliegt somit einer deutlichen Jahresschwankung. Das Ueberbewerten seiner Gunst im Frühling und Sommer und das Unterbewerten im Winter widerspiegelt sich auch in der nur halbjährigen Untersuchungsperiode unserer Mittelfristprognosen (Tag +2 und +3) nach U. KELLER (Prognostikerkursbericht 1976/77).

d) Genf war für den ihm nahe liegenden Prognosenraum Westschweiz und Wallis in bezug auf den Entwicklungscharakter ausgeglichener (20 zu 25) als zur Zeit als es für die ganze Schweiz zuständig war (28 zu 46); unerwartete Föhnaufhellungen in der Zentral- und Ostschweiz und verminderte Rückseitenaktivität und bei Westwind in Graubünden waren oft der Grund (s. Kap. 1.3).

e) Die LWZ wurde von den Auswirkungen des hohen Zonalindexes im winterlichen Westwindgürtel viel häufiger überrascht (8 zu 25) als das CMC (11 zu 14), welches seinerseits im Herbst mit der Advektionsverstärkung nach der Sommerflaute mehr Mühe hatte (5 zu 19 gegenüber 9 zu 13).

f) Das CMC unterschätzte die Unbeständigkeit unseres Frühlings deutlicher (29 zu 56) als die realistischere LWZ (27 zu 29); auch die Güte unseres Herbstwetters wurde im CMC überschätzt (25 zu 38), was für die LWZ nicht zutrifft.

g) Gesamthaft wurde die Wetterwirksamkeit in den Kurzfristprognosen durch die LWZ neutraler erfasst als im mehr zum Optimismus neigenden CMC. Im Erfassen des zeitlichen Ablaufes war dagegen Genf etwas weniger im Rückstand als Zürich. Diese allgemeine Verspätung in der Vorhersage gegenüber der Wirklichkeit kam in der kuzen Testphase der Mittelfristprognose ebenfalls zum Ausdruck.

Die eingangs erwähnte Prognosenstatistik von J. HAEFELIN für 1968 - 1971 widerspiegelt die in Tab. 4 gefundenen Verhältnisse nur zum Teil. Wohl findet sich auch dort das Unterschätzen der Verlagerungsgeschwindigkeit der Wettersysteme. Dagegen ist ein leichtes Ueberwiegen der zu pessimistischen Beurteilung und dadurch auch des Ueberschätzens der Wetterwirksamkeit von Störungen festzustellen. Diese Kombination lässt sich für die achtjährige Testphase nur für den Winter feststellen.

1.3. Einige Ursachen von Fehlprognosen

In den hier behandelten Texten der monatlichen Prognosenkritiken wird die synoptische Ursache des Irrtums erwähnt.
Nachfolgend werden einige wiederholt zitierte Fehlbeurteilungen aufgelistet.

a) Winter (Dezember - Februar).

- Auf blockierende Festlandhochs auflaufende Fronten schwächen sich zwischen Frankreich und der Schweiz ab.
- Bei NW/N-Lagen ist die Wetteraktivität westlich einer Linie Napf - Grimsel merklich abgeschwächt.
- Solange keine Nordkomponente in der Höhenströmung aus dem Sektor West deutlich wird, bleibt das Wetter in Graubünden besser als erwartet. Dasselbe gilt dort innerhalb des Zentrumsbereiches eines Kaltlufttropfens.

- Bei zonaler Zirkulation über dem Ostatlantik, die auf Westeuropa übergreifen könnte, ist es von Vorteil, Kontinuitätsskizzen zu Rate zu ziehen. Manches unerwartet rasche Uebergreifen küstennaher Fronten auf unseren Raum wäre hiermit früher erkennbar gewesen; neuestens können hiezu Verlagerungsstudien anhand von Satellitenbildsequenzen dienen.

- Winterliche Warmfronten in NW- und Nordlagen sind meist aktiver als erwartet.

- Eine rasche atlantisch-westeuropäische Zonalzirkulation wird durch die Bildung einer Genuazyklone unerwartet rasch gestoppt; aktives Rückseitenwetter bleibt dann bei uns aus.

- Trogbildung über dem nahen Ostatlantik oder im Küstenbereich verhindern das Aufkommen einer aktiven Rückseite. Statt einer sich verstärkenden Nordkomponente drehen die Winde zurück, was sogar ganz unerwartet Föhn auslösen kann.

- Sind zwei Kaltfronten im Anmarsch, wird die erste bezüglich ihrer Wetterwirksamkeit oft über-, die zweite jedoch unterschätzt. Zwischen beiden Fronten kann es sonniger als vermutet werden.

b) Frühling (März - Mai)

- Ein Südstau ist erst unmittelbar hinter der Höhentrogachse beendet.

- Die Labilität innerhalb der aus NW einströmenden Kaltluft wird besonders im Voralpenraum und über der Nordalpenkette unterschätzt. Mobile Kaltlufthochs (Zwischenhochs) in ihr werden daher weniger wetterwirksam. Weniger Rückseitenstau als erwartet tritt dagegen bei raschen Kaltfrontdurchgängen über die Alpen hinweg ein.

- Vorstösse eines stabilisierenden Biskayahochs erweisen sich, wie auch im Winter, oft wirksamer als vorgesehen, da sie die über den Alpen gelegene NW-SE ausgerichtete Frontalzone ostwärts abdrängen.

- Im Mai beginnen die ersten präfrontalen Labilisierungen mit Gewittern vor Kaltfronten, besonders in Begleitung eines deutlichen Troges über den Britischen Inseln.

- Konvergenzlinien über Spanien (Analyse!) werden in einer SW-Strömung über Südfrankreich oft abgeschwächt. Ihre Verlagerungsgeschwindigkeit in Richtung Alpen erfährt dadurch keine Verringerung. Zudem reaktivieren sie sich beim Auftreffen am Alpenkörper meist in überraschender Art. Diese Entwicklung stellte eine sehr häufige Ursache einer zu optimistischen Lagebeurteilung im CMC dar, wobei die Westschweiz stärker betroffen wird als der Osten.

- Die Lage des Mittelmeertiefs ist wichtig: solange sein Zentrum nördlich von 43N und westlich von 20E liegt, beeinflusst es mit seinen Aufgleitniederschlägen noch Teile der Schweiz, v.a. die Alpensüdseite und Graubünden.

- Auch im Frühling wird die Stärke und das Tempo einer Warmfront bei West- bis Nordlage unterschätzt.

- Gegenstromlagen mit Kaltluft aus Nord bis Ost unten und Warmluft aus Südost bis Südwest oben sind noch ungünstiger als erwartet; dasselbe gilt für Schleiffronten entlang der Alpennordseite.

- Frontensysteme, welche die Alpen von Süden her überqueren, sind zyklonaler und die üblichen Föhnwirkungen bleiben aus.

- Trogvorderseiten geben viel häufiger Landregen und nicht "zeitweise Schauer". Besonders die Genfer Kollegen mussten diese Rüge mehrmals entgegennehmen.

c) Sommer (Juni - August)

- Zwischenhochs bilden sich oft rascher als erwartet. Zudem sind sie in dieser Jahreszeit oft wetterwirksamer als geglaubt. Die nachfolgende Wetterverschlechterung ist allerdings oft auch rascher da als vermutet.
- Wie bereits im Mai weisen die nun häufigen Kaltlufttropfen unberechenbare Zugbahnen auf: sie bleiben 1 bis 2 Tage fast ortsfest, wandern dann plötzlich ab und kehren letzten Endes unvermutet zurück. Die Annäherung solcher Kaltluftkörper ist 6 bis 18 Stunden vorher durch ein Bleicherwerden des Himmelblaus erahnbar.
- Wie bereits im Spätfrühling verlagern sich auch jetzt über der Iberischen Halbinsel angelangte Kaltluftmassen mit Gewittern rascher als angenommen alpenwärts und schockieren durch ihre intensiven vertikalen Umlagerungen.
- Wenn wenig aktive Kaltfronten über Frankreich nur zögernd ostwärts vorankommen, ist das kein Hinweis, dass sie bei uns zu keiner signifikanten Wettererscheinung mehr fähig sein werden. Mehrmals gelangten sie mit einem Tag Verspätung auf die Marschtabelle bis zur Alpennordseite und reaktivierten sich dabei.
- Trogbildungen über dem nahen Atlantik erzeugen Sekundärwirbel, welche das Vordringen der Polarfront in Richtung Mitteleuropa verzögern.
- Im Gegensatz zum Winter ist das Zwischenfrontenwetter, z.B. zwischen zwei Kaltfronten, im Sommer weniger stabil als im Winterhalbjahr. Besonders wenn die Höhenwinde auf SW bleiben, halten labile Erscheinungen an.
- Trogvorderseiten erzeugen sogar im Sommer häufiger ausgedehnte Regen als Schauer.
- Sobald auf 500mbar die Temperatur auf unter minus 20 Grad über unserem Prognosenraum sinken könnte, muss bei der Textabfassung an die Schneefallgrenze gedacht werden. Da diese Grenze bei windschwachen Wetterlagen und in windgeschützten Alpentälern in Wirklichkeit oft tiefer ist als prognostiziert, muss vermieden werden, nur die noch 200 bis 300 m höhere Nullgradgrenze zu geben.

d) Herbst (September - November)

- Wellenbildungen an der Polarfront im Raume Kanal - Bretagne als Folge neuer oder sich verstärkender Höhentröge sind häufig die Ursache von Verzögerungen im Frontenfahrplan, wobei aufkommender Föhn den Irrtum noch unterstreicht.
- Weiterhin sind Tiefdruckgebiete mit Kaltluft über der Biskaya/golfe de Gascogne oder über Spanien rascher bei uns als erwartet. Ihre Aktivität über der Schweiz richtet sich nach den horizontalen Temperaturunterschieden zwischen der Iberischen Halbinsel und dem Alpenraum; überaus ergiebige Herbstregen können die Folge starker Wärmeunterschiede sein.

- Kaltlufthochs werden wieder, wie im Winterhalbjahr, weniger wetterberuhigend.
- Nordwestlagen haben im Vergleich zum Sommer ihre Wetterwirksamkeit gesteigert. Auch wenn Fronten auf einem gewissen Umweg um ein Ostatlantik-/Kanalhoch herumgesteuert werden, ist ihre Aktivität wenig gedämpft.
- Kaltluftausbrüche aus Grönland steigern sich zwar zu winterlicher Dynamik, doch gelangen sie meist nicht im gestrecktem Lauf bis Mitteleuropa. Zwischen Island und den Britischen Inseln bildet sich gerne ein Höhentrog. Damit entstehen Wellen an dieser Arktikfront und die weitere Verlagerung nach E und SE wird stark gebremst.
- Vortrogwetter kann noch bis weit in den Oktober hinein aktiver und labiler sein als erwartet.
- Kaltluftwetter über Deutschland beeinflusst die Schweiz besonders im Ostteil häufiger als nicht.
- Noch im Herbst können "sommerliche" Kaltlufttropfen Prognosenprobleme bringen.
- Beschleunigungen der Ostwärtsverlagerung von Trögen können Warmluftadvektionen verursachen, verbunden mit Luftdruckanstieg auf der Rückseite dieser Tröge. Solche unbeachteten oder über Meeresflächen schlecht quantifizierbaren Advektionen von Warm- oder Kaltluft mit entsprechenden Druckänderungsgebieten können auch zu anderen Jahreszeiten unerwartete Umstellungen der Grosswetterlage zur Folge haben.
- Die im Herbst auflebende Westwindzirkulationsstärke erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Polarfrontsysteme wieder oft rascher bei uns eintreffen als angenommen.

1.4. Allfälliger Nutzen der numerischen 500mbar Vorhersagekarten (NVK) auf 24 bis 48 Stunden hinaus bei Fehlprognosen.

Es finden sich, beim CMC anfangs seltener (keine systematische NVK-Archivierung), beim Kommentieren einzelner Fehlprognosen Hinweise auf richtige, aber nicht beachtete oder gar unglaubwürdige NVK oder auf berücksichtigte, aber sich in der Folge als falsch erwiesene Höhenströmungsprognosen. Das Ergebnis dieser Hinweise ist in Tab. 5 resümiert.

Tab. 5: Gute aber nicht oder ungenügend berücksichtigte NVK (pos. = Anzahl nützlicher NVK), bezw. falsche oder nur teilweise richtige oder schwer interpretierbare NVK (neg. = Anzahl NVK, die keine Hilfe brachten).
Unterteilung in die CMC- und LWZ-Phase (1968-73 bezw. 1975-78).

	Winter		Frühling		Sommer		Herbst		Jahr	
	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.
1968-73	4	3	6	8	6	7	6	9	22	27
1975-78	9	0	3	8	5	10	5	2	22	20

Gesamthaft lässt sich in der zweiten Phase bei kritischen Wetterlagen eine gewisse Verbesserung des NVK-Nutzens gegenüber der ersten Phase erkennen. Dieser Fortschritt beschränkt sich allerdings auf den Herbst und Winter. Die zum Teil mesoskalen Labilitätserscheinungen des Frühlings und des Sommers, unterstützt durch die saisontypischen Kaltlufttropfen, stellten bisher eine schlecht erfassbare Entwicklung in den grobmaschigen Hemisphärenmodellen dar.

In 1.5 und im 2. Abschnitt wird auf den sich anbahnenden steigenden Nutzen der NVK bei kritischen Wetterentwicklungen näher eingegangen.

1.5. Konsequenzen aus dieser Bearbeitung einer Serie zurückliegender Prognosenkritiken

Etliche der unter 1.3 aufgezählten synoptischen Ursachen zu irrtümlichen Beurteilungen des kurzfristigen Wetterablaufes stellen ergrauten Prognostikern alte Bekannte dar. Sie legen Zeugnis der Unmöglichkeit ab, im Routinedienst rechtzeitig und genügend genau Verlagerungs- und Aktivitätsänderungen zu erkennen. Die synoptische Methode hat sich schon vor einigen Jahrzehnten asymptotisch einem Grenzwert genähert. Wohl hat sich viel Erfahrungswissen angesammelt, doch ist im Dienstbetrieb für den einzelnen Prognostiker der Zugriff zu diesem sehr schwer und von zufälligen, persönlichen Erlebnissen und Erinnerungen abhängig. Zudem bilden sich in unserem Prognosenbereich viele mesosynoptische und regionalklimatologische Eigenheiten aus, die noch nicht systematisch berücksichtigt werden können. Hier werden die bald zur Verfügung stehenden objektiveren Gebiets- und Punktprognosenkontrollen nützliche Erkenntnisse vermitteln.

Nebst der Weiterführung bisheriger statistischer Prognosenkontrollen sind künftig noch systematischer unverzügliche Bearbeitungen von Fehlprognosen durch denjenigen Prognostiker durchzuführen, welcher diese Fehlabschätzung verursacht hat. Dies ist vorteilhafter und für den Einzelnen lehrreicher als ein periodisches Kommentieren durch eine daran meist unbeteiligte Drittperson. Nur der Dienstmeteorologe kann nachvollziehen, welche Ueberlegungen ihn zu dieser unrichtigen Lagebeurteilung geführt haben und welche Unterlagen er hiezu benützt hat und vorhanden waren. Diese Fallanalysen stellen die wertvollste Prognosenkritik dar. Sie müssen dokumentiert und periodisch im Fachkreis diskutiert werden. Die zu Trendstudien und nach aussen notwendigen Statistiken der Prognosenkontrolle nützen im Einzelfall dem Meteorologen vom Dienst wenig. Bei der Beurteilung von Prognosenkritiken früherer Jahre ist zudem zu beachten, dass die Kollegen dazumal mit weniger weit ausgebauten numerischen Prognosenprodukten vorlieb nehmen mussten als heute.

Neben der Weiterführung des heutigen ANALOG-Programmes an der LWZ, der prognostischen Anwendung von Wetter- und Windlagenstatistiken nach COURVOISIER und ALTHERR (s. Perfect Prognosis Method im Kap. 2) und der noch ausbaufähigen Interpretation von Wettersatellitendaten gewinnt für die Kurz- und Mittelfristprognose der anhaltende Fortschritt auf dem Gebiet der numerischen Vorhersagetechniken, worunter auch die NVK fallen, zunehmend an Bedeutung. Durch die Halbierung der Maschenweite der neuen grossräumigen, hemisphärischen Simulationsmodelle der USA (in Routine seit dem 20.1.1978) und des DWD (ab 17.10. 1978) einerseits und die vermehrte Eingabe zusätzlicher Messdaten zwecks Verbesserung der numerischen Ausgangsanalyse (v.a. durch die USA dank einer Echtzeitauswertung von Satellitendaten und von Flugzeugmeldungen) anderseits, werden die numerischen Vorhersageerzeugnisse rascher und treffender synoptische Entwicklungen erfassen können. Sogar mesoskale Erscheinungen werden nicht mehr ganz unbemerkt bleiben, sodass z.B. die Bildung und Entwicklung abgeschnürter Kaltluftmassen, die unser Wetter besonders im Sommerhalbjahr oft beeinträchtigen und keinem synoptischen Modell gehorchen, besser erfassbar wird.

Diese erfreuliche Entwicklung im numerischen Sektor lässt die Empfehlung zu, dessen Prognosenprodukte noch konsequenter zu benützen. Dies gilt nicht nur auf dem Gebiet der bereits in die Routine überführten Perfect Prognosis Methoden (COURVOISIER und ALTHERR), sondern es sind auch konventionell-synoptisch unglaubwürdig erscheinende Evolutionen nicht mehr zu ignorieren. Dies gilt insbesondere beim errechneten Uebergang von einer langsamen, meridionalen in eine rasche, zonale Zirkulation und umgekehrt.
Da international leider keine synoptischen Gütevergleiche der Feldvorhersagen einzelner Prädiktoren zwischen verschiedenen NVK-Modellen erstellt werden, müssen die einzelnen Landeswetterdienste die Stärken und Schwächen der in ihrem Dienst regelmässig benützten Modellprodukte für ihren Prognosenbereich für verschiedene Druckfeldtypen und Jahreszeiten selbst erarbeiten, um bei Diskrepanzen eine weitere Entscheidungshilfe zu besitzen (vgl. P. SABO, 1977 und W. ZUELLIG, 1976).

Die begrenzte Interpretationsmöglichkeit einer vorausberechneten absoluten Topographie einer einzigen Druckfläche (500mbar) zur Festlegung des dazu gehörenden voraussichtlichen Wettercharakters am Boden bleibt vorderhand bestehen. Zusammen mit den seit einigen Monaten vorliegenden zugehörigen Bodendruckfeldprognosen lässt sich die relative Topographie (Schichtdicke) berechnen, bezw. nach einem METEOR-Projekt (O. LUETHI) auszeichnen. Dies wird u.a. eine genauere Plazierung thermisch bedingter Frontalzonen erlauben. Ferner stehen Uebermittlungen von Feldprognosen oder Gitterpunktdaten der Luftfeuchtigkeit, des niederschlagfähigen Wassers und/oder der Niederschlagsmenge in Aussicht. Damit steht wahrscheinlich innert Jahresfrist eine wertvolle Erweiterung der für den täglichen Prognosendienst verwendbaren numerischen Produkte bevor, indem das Hauptgewicht nicht nur auf einem objektiven Prädikator, der 500mbar Topographie, liegt, sondern sinnvollerweise auf mehrere und erdbodennähere Vorhersagegrössen verteilt wird.

2. Stand der Möglichkeiten zur Prognosenverbesserung

Innerhalb der letzten Jahre sind der Oeffentlichkeit einige neue finanzielle Aufwendungen zugunsten der staatlichen Wetterdienste bekannt gegeben worden. Es handelt sich dabei einerseits um nationale Projekte wie die Inbetriebnahme einer Computeranlage in der MZA Zürich, das Erstellen eines automatischen Wetterbeobachtungsnetzes (ANETZ) und die Erneuerung der beiden etwa 20 Jahre alten Wetterradars für Genf und Zürich; anderseits um Beiträge an internationale Institutionen wie den europäischen Wettersatelliten METEOSAT, das im Aufbau befindliche europäische Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage in England (EZMW), an die nordatlantischen Wetterschiffe (NAOS) und Programme der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) für Forschungsprojekte wie das globale atmosphärische Forschungsprogramm GARP, das Weltklimaprogramm oder Studien zur Gebirgsmeteorologie wie das ALPEX. Solche finanzielle Mehraufwendungen werden meist mit dem Schlagwort "Verbesserung der Wetterprognose" verbunden.

2.1. Die Ausgangslage

Wenn uns auch hin und wieder ein Lob über die innerhalb der letzten 10-15 Jahren errungenen, merkbaren Verbesserungen der Wetterprognosen erreichte (feinere Gebietsunterteilungen, mittelfristige Aussichten für die 2-3 Folgetage, die es vorher nicht gab), bestehen doch angesichts der anscheinend unvermeidbaren offensichtlichen Fehlprognosen sogar für den Kurzfristbereich von 12 bis 24 Stunden der allgemeine Eindruck einer Stagnation in der Entwicklung der Erfolgsquote.
In der Tat zeigen die (subjektiv) ermittelten Trefferprozente für 6 Testorte der Schweiz in den letzten 12 Jahren (s. Tab. 1 im Kap. 1.1.) keinen Trend. Das "Auf und Ab" ist ein Spiegelbild des Charakters des Jahreswetters; es verläuft ziemlich reziprok zur jährlichen Niederschlagssumme. So stellen sich auch bei uns für die 10 Jahre 1966-75 55% aller Fehlprognosen (unter 70% Güte) bei tiefdruckbeherrschten Wetterlagen mit ihrer grossen Veränderlichkeit ein, jedoch nur 11% bei antizyklonalen Lagen.

2.2. Die numerische Modellierung meteorologischer Felder

Dank exponentieller Zunahme der Rechenleistung der eingesetzten Grosscomputer in einigen staatlichen Wetterdiensten ab 1954 und den damit parallel gehenden Verbesserungen der Simulationsmodelle für atmosphärische Vorgänge wie: feinere vertikale und horizontale Unterteilung, neue Variable eingegeben und berechnet, bessere Kenntnisse der Physik der Atmosphäre und der Ausgangslage dank vermehrter Messwerte, ist weltweit die Güte von Feldvorhersagen meteorologischer Elemente eindeutig gestiegen. In den USA-Rechenmodellen sank der mittlere Windfehler innerhalb der letzten 20 Jahre für alle Höhen bis auf 12'000 m hinauf dank der Folge von 4 Computergenerationen auf die Hälfte (SHUMAN 1978).

Die numerischen Prognosen, wie sie in den führenden Landeswetterdiensten zweimal täglich erstellt werden, beruhen auf physikalischen Simulationsmodellen der Atmosphäre, deren Differentialgleichungen nach der Methode der finiten Differenzen in Gittern mit etwa 350 bis 380 km horizontaler Maschenweite gelöst werden; ab 1978 kamen neue Modelle mit halber Maschenweite in die Routine. Uebermittelt wird auf dem internationalen Wetterfernmeldenetz (Faksimile, Fernschreiber) in erster Linie die absolute Topographie (Höhenverlauf über Meer) der Standard-Isobarenfläche von 500mbar (50 kPa) über der ganzen Nordhemisphäre und zwar auf 24, 48 und 72, von den USA teils auch auf 108 und 132 Stunden (4,5 und 5,5 Tage ab Beobachtungstermin) im voraus. Aus diesem Druckhöhenfeld lassen sich die daraus resultierenden (geostrophischen) Windströmungen bestimmen. Für jede der heutzutage 6 - 10 verschiedenen Druckflächen zwischen dem Boden (1000mbar) und der unteren Stratosphäre (um 100mbar) benötigt die ganze Nordhemisphäre beim obgenannten Gitterpunktabstand 3000 Gitterpunkte, sofern noch etwas über den Aequator südwärts hinaus gegriffen wird (Modell USA) über 4200 Punkte (bis Ende 1977).

Die Zeitschritte für die endliche Differenzbildungen betragen 5 - 10 Minuten, d.h. innerhalb dieser Zeitspanne wird der voraussichtliche Aenderungsbetrag als konstant angenommen. Soll die Rechenanlage alle Druckflächen in höchstens 1/10 der Prognosenspanne errechnet haben, eine 72-stündige Prognose somit innerhalb 7 Stunden nach dem Beobachtungstermin, sind heute Grossanlagen mit einer Rechenleistung zwischen 1 und 10 Millionen Operationen pro Sekunde (MIPS) nötig.

Entsprechend der Maschenweite können mit solchen Rechenverfahren Tief- und Hochdruckgebiete und Wellen des Druckfeldes mit horizontalen Abmessungen von 500 - 1000 und mehr km erfasst werden, wogegen kleinere Gebilde verfälscht oder gar nicht wiedergegeben werden; ebensowenig die Einflüsse von Gebirgen mit einer Ausdehnung von "nur" einigen 100 km (Alpen!). Besonders in gebirgigen Ländern bleibt somit die Vorhersage des Wetters am Boden auf Grund dieser grossräumigen Prognosenkarten des Druckfeldes die Aufgabe des Meteorologen.

Das Ableiten des diesen vorhergesagten Höhenstromfeldern entsprechenden Bodenwetters zeigt indessen keine entsprechenden Verbesserungen. Es ist, als ob ab etwa 1968 die Treffer der in den USA und in Europa veröffentlichten Kurzfristprognosen (auf 24 bis 36 Std. im voraus) mit einer Güte von 80 bis 85% einen Grenzwert erreicht hätten. Vordringlich erscheint daher das Umsetzen mehrerer, objektiv guter, grossräumiger Feldprognosen innerhalb der freien Atmosphäre (Troposphäre ohne Grundschicht) in das voraussichtliche Bodenwetter.

2.3. Entwicklungsmöglichkeiten der Prognosenverbesserung

Welche Entwicklungsmöglichkeiten sind heute international auf dem Gebiete der Prognosenverbesserung zu erkennen? Die eindeutige Gütezunahme der numerischen Feldprognosen, die auf den vier anerkannten Grundgleichungen ("Primitive Equations") fussen, lässt erkennen, dass diese Arbeitsmethode für diese Zielvorstellung auch künftig den ersten Rang einnehmen wird (s.a. SHUMAN 1978).
Bereits ab 1959 wurden in den in dieser Arbeitstechnik führenden USA Studien aufgenommen, welche die Zuordnung des Bodenwetters über ihrem Land zu den in der Vergangenheit effektiv vorgekommenen Zirkulationsformen (Wettertypen) zum Ziele hatten. Mittels Regressions- und Korrelationsrechnungen wurden für die einzelnen Strömungsmuster in der unteren und mittleren Troposphäre Beziehungsgleichungen zu einzelnen Bodenwetterelementen erstellt. Diese durch W.H. KLEIN des National Weather Service 1959 eingeleitete "Perfect Prog Method" übersetzt aufgrund der gewonnenen statistischen Beziehungen die aus den neusten numerischen Feldprognosen resultierenden Gitterpunktwerte als Prädiktoren mit Hilfe von Vorhersagegleichungen für die einzelnen getesteten Stationen in die wahrscheinlichsten Werte der einzelnen Bodenwetterelemente als Prädiktanden. "Perfekt" sind aber nur die gefundenen Beziehungen zwischen tatsächlichen Strömungsfeldern oberhalb der Teststationen mit dem gleichzeitig vorgekommenen Bodenwetter. Als Prognosenmethode kann sie jedoch trotz ihrer Bezeichnung nicht vollkommen sein, da sie die Fehler der numerischen Vorhersageprodukte nicht enthält.
Eingedenk dieses Mangels begann Ende 1969 die Entwicklung einer neuartigen Methode zur Erforschung der Wechselbeziehungen zwischen Höhen- und Bodenwetter: die MOS = Model Output Statistics (H.R. GLAHN & D.A. LOWRY, 1972), sie trug erste Prognosenfrüchte im Jahre 1973. Hier wurden für 230 - 250 Bodenstationen der USA (Wetterbüros) nachträglich für 1 oder mehrere Jahre aus alten, routinemässig erstellten numerischen Vorhersagekarten (nachstehend NVK genannt) die prognostizierte troposphärische Zirkulationsform (Strömungstypen) über jeder Einzelstation bestimmt (aus den umliegenden Gitterpunktwerten) und mit dem zum Gültigkeitstermin der NVK tatsächlich beobachteten Bodenwetter auf der Teststation verglichen. Mit diesem Konzept sind zwar implizite Modellmängel enthalten, aber die Spezialitäten des Ortswetters und des Lokalklimas werden unverfälscht erfasst. Als Modell wurde das 1968 entwickelte hemisphärische

6-Schichten, grobmaschige barokline Modell von F.G. SHUMAN und J.B. HOVERMALE verwendet (6 Layer Primitive-Equation coarse-mesh model = 6LPE).

Dank dieser neuen Berechnungsgrundlage konnten in der MOS neue Prädiktoren getestet werden, die vor 1969 noch nicht erfasst worden waren, wie die voraussichtlichen Vertikalwinde auf 850 und 650mbar, die niederschlagsfähige Wassermenge (precipitable water), die Grundschichtwinde und die dreidimensionalen Trajektorien von Luftpaketen. Unterteilt in 2, später in die 4 Jahreszeiten wurden nun folgende Prädiktanden stationsweise getestet:

- Möglichkeit von Regen, Eisregen und Schneefall,
- Wahrscheinlichkeit von Gewittern und Sturmwinden,
- die Tagesmaxima- und -minimawerte der Lufttemperatur,
- der Bodenwind, die Bewölkungsmenge,
- die Wolkenbasis bei einer Menge von über 4/8 (ceiling),
- die Sichtweite und die Möglichkeit gefährlicher oder kritischer Wettererscheinungen infolge erkannter neuer frontaler Verwirbelungen (Wellenbildungen).

Nachdem einige Testjahre rückwirkend durchgerechnet worden waren, konnten die statistisch gefundenen Beziehungsgleichungen im Laufe des Sommers 1975 routinemässig prognostisch verwendet werden. Logischerweise erfordert künftig die Einführung verfeinerter Rechenmodelle eine Ueberprüfung der bisherigen MOS und der daraus errechneten Vorhersagegleichungen. So wurde das bisherige 6-Schichtenmodell von SHUMAN-HOVERMALE am 20. Januar 1978 durch ein 7-Schichtenmodell (7LPE) mit einer halben Maschenweite von nur 190.5 km (bei 60°N in stereographischer Projektion) ersetzt. Hiedurch erhöhte sich die Anzahl Gitterpunkte pro Druckfläche von bisher 4225 auf 16641! Hiezu wird eine IBM 360/195 mit einer Rechenleistung von 8 MIPS verwendet, wobei Prognosen bis auf 84 Stunden vom Ausgangstermin 00 GMT und bis zu 60 Stunden vom 12 GMT Termin produziert werden.

Die Entwicklung der NVK beschränkt sich in den USA jedoch nicht auf immer anspruchsvollere und ausgefeiltere hemisphärische oder globale Modelle. So wurde durch J. HOWCROFT und A. DESMARIS erstelltes regionales, d.h. nur Nordamerika und die anliegenden Meeresgebiete überdeckendes Modell im September 1971 dem Routinedienst übergeben. Es umfasst etwa einen Viertel der ganzen Nordhemisphäre und wird deshalb als "Limited-area Fine-mesh-Model" oder LFM bezeichnet, da es bereits mit der halben Maschenweite, also 190 km, arbeitet. Es lieferte vorerst nur NVK bis auf 24 Stunden, ab Dezember 1974 wurde es auf 36 und ab Dezember 1975 auf 48 Stunden Gültigkeitsdauer ausgedehnt. Es wurde 1972 durch ein dreidimensionales Trajektorienmodell von R.M. REAP ergänzt.
Auf den 31.8.77 wurde das Modell LFM-2 operationell. Es arbeitet mit einem auf zwei Drittel reduzierten Gitterpunktabstand (ca 125 km). Mit ihm werden NVK auf 12, 24, 36 und 48 Std erstellt (Bodenisobare, Schichtdicke 1000/500, 500mbar und absolute vorticity; s. H.E. BROWN & D.A. OLSON 1978). Dieses Modell bewährte sich beim ungewöhnlichen Wintersturm vom 6. bis 7.2.78 entlang der Atlantikküste der USA.

1978 waren noch in Erprobung, mit dem Ziel der operationellen Einführung bis 1980:

- das Very Fine-Mesh Model (VFM) mit 90 - 100 km Gitterpunktsabstand, etwa einen Viertel des LFM-Areals überdeckend;
- das Movable Fine-Mesh Model (MFM) mit einer 120 und 60 km Gitterversion, welches z.B. mit einem Hurricane wandern kann und daher auch Hurricane Model (HCM) genannt wird und
- ein Variable-Mesh Model, in welchem die Maschenweite vom Rand zur Kartenmitte hin auf einen Viertel, d.h. etwa 50 km, abnimmt (A.N. STANIFORTH und H.L. MITCHELL, 1978), ein Entwicklungsbeitrag aus Montreal/Canada.

Die grobmaschigen, hemisphärischen Modelle liefern die seitlichen Randbedingungen für die Gebietsausschnitte der feinmaschigen Berechnungsgrundlagen. Untersuchungen in den USA haben ergeben, dass die Fehlerquellen in einer 24-stündigen 500mbar Vorhersagekarte im grobmaschigen Modell um 1/3 reduziert werden können, wenn ein feinmaschiges Gitter verwendet wird und ein weiteres Sechstel beim Verwenden von 10 gegenüber 5 Schichten. Anderseits erhöht sich der Streubereich der Fehler um 1/4 durch den Einbau der Orographie und je um 1/6 durch Einfügen der Niederschlagsvorgänge und durch Verwenden ungenügender Beobachtungsnetze (nach A. ROBERT, 1976, cit. in R.C.J. SOMERVILLE im Kolloq. NCAR, 1976).

Das Ziel all dieser Beziehungsstudien zwischen NVK-Prädiktoren und den Bodenwetterprädiktanden schwebte bereits 1966 dem Schweden O. LOENNQVIST vor: das automatische Umsetzen der 500mbar Prognosenkarten in das wahrscheinlichste Bodenwetter, in Tabellen- oder Klartextform.

In diesem Sinne arbeiteten die USA ein Projekt aus, welches schrittweise in den Jahren 1978 bis 1980 operationell wird, den AFOS-Dienst (Automation of Field Operations and Services). Es ersetzt die konventionelle Datenübermittlung per Fernschreiber und Faksimile durch Kleincomputer und Sichtgeräte für alphanumerische und graphische Uebermittlungen auf einer alle Bundesstaaten erfassenden Ringleitung. Viel Gewicht wurde auf die Entwicklung von Entscheidungshilfen gelegt, die der Prognostiker dank AFOS benützen kann, wie z.B. (W.H. KLEIN [NCAR/CQ-5+1976]):

- automatische Ueberwachung der letzten Flugplatzprognose anhand der letzten Beobachtungseingänge, sowie ev. Warnungen und Korrekturvorschläge aufgrund von statistischen Beziehungsgleichungen für diese Station;
- durch den Computer formulierte Ortswetterprognosen für den laufenden Tag.
- Aufdatierte Wahrscheinlichkeitsprognosen für Niederschläge mit Einbezug der letzten Digitalradardaten für die nächsten 3 - 15 Stunden (=MDR: manually digitized radar) inkl. Warnung vor plötzlichen Hochwassern.
- Radartops und Niederschlagsüberwachung durch Radar; Isentropenquerschnitte; Inversionsüberwachung mittels akustischer Echosondierungen zwecks Stratusprognose; Vorhersage orographischer Fallböen; Cumulusmodell zur Prognose von Starkregen und Gewittern.

Als Arbeitshilfsmittel zu solchen Beziehungsstudien dienen: Häufigkeitsdiagramme (Summenkurven, Histogramme etc), Korrelations- und Regressionsrechnungen und die Diskriminanz-Analyse. Aus vielen Prädiktoren (als Variable) werden die für den Prädiktanden signifikantesten selektioniert und auf Grund der Grösse ihres Beitrages an der Variabilität des Prädiktanden in eine Rangfolge gebracht.
Hiefür mussten alle denkbaren Einflussfaktoren als mögliche potentielle Prädiktoren für jede einzelne Bodenstation mittels einer Diskriminanz-Analyse aus einer grossen Zahl vergangener Wetterlagen behandelt werden. Als Ergebnis schälen sich 5 bis 10 Prädiktoren heraus, die sich statistisch als am signifikantesten erweisen und am besten das entsprechende Bodenwetter approxinieren. Diese so gefundenen geeignetsten Prädiktoren liefern indessen nicht unbedingt die physikalische Erklärung dieses rein statistisch gefundenen Zusammenhanges (vgl. Arbeitsbericht MZA Nr. 51 (1975) und Nr. 82 (1978).

Als Ergebnisse kommen Wahrscheinlichkeitswerte für mehrere vorgegebene Wertbereiche des Prädiktanden heraus, jeweils für jede untersuchte Station getrennt. Diese gewählten Wertbereiche können verschiedene Niederschlagsstärken, Sonnenscheinsummen oder Temperaturbereiche für einen 12- oder 24-stündigen Zeitabschnitt sein. Um den Streubereich des Prädiktanden einzuengen, ist eine Unterteilung nach Jahreszeiten, ev. sogar nach Monaten und allenfalls nach Grosswettertypen angezeigt. So werden nebst üblicher statistischer Grössen auch Regressionsrechnungen benützt, welche die Wahrscheinlichkeit aufzeigen, mit welcher ein Prädiktand im wahrscheinlichsten Wettertyp vorgegebene Schwellenwerte über- oder unterschreitet, wie z.B. den Gefrierpunkt oder den Uebergang von Regen in Schnee oder von Schauer in Gewitter.

2.4. Die neue Arbeitsweise des Prognostikers

Ist die Rolle des Meteorologen als Prognostiker angesichts dieser Automatisierungsfortschritte bald einmal ausgespielt? -
Was die Prognosenqualität und die Speditivität anbelangt, ist die numerische und dezentral computerisierte Wetterdiensttechnik überlegen, sobald es sich um Vorhersagetermine von mehr als 12 Stunden handelt. Damit wird indessen der Dienstmeteorologe frei zur Erledigung von sehr kurzfristigen Tageswetterfragen der nächsten 1 bis 12 Stunden. Hiezu muss er laufend diejenigen Meldungen überwachen, wie Radar, Satelliten, Spezialberichte vom Boden und aus der Luft, die bei der letzten Erstellung eines computergesteuerten Vorhersageproduktes noch nicht zur Verfügung standen oder gar nicht in die Rechenmodelle eingebaut sind, wie z.B. mehrwellige Radiometer, akustische Sondierungen (Schallimpulsgeber und -empfänger, SODAR) zur Messung der vertikalen Struktur der Grundschicht. Insbesondere auf Erkennen und Warnen gefährlicher oder kritischer Wettererscheinungen der nächsten 1 - 4 Std kann er sich konzentrieren, also auf eine extrem kurzfristige Prognose (für seine Region), welche in den USA die Bezeichnung NOWCASTING erhalten hat (R.A. SCOFIELD, 1976). Eng mit dieser Kurzfristaufgabe ist die unverzügliche Weiterleitung von Warnungen über gefährliche Wetterereignisse in geeigneter Form an die richtigen Empfänger gekoppelt.

Das Nowcasting ist ein gutes Beispiel des in der modernen Wetterdienstpraxis vermehrt anzuwendenden "man-machine process", welcher ein "human judgement" verlangt, als Gegengewicht zur Ueberschätzung oder gar einem Vertrauen in diese wohl eindeutig definierten, aber nicht für alle Fragen geeignetsten numerischen Vorhersageprodukte. Um für den Prognosenverbraucher einen verständlichen Vorhersagetext mit nützlichen Zahlenwerten der messbaren Wetterelemente anbieten zu können, muss sich der Prognostiker auf die numerischen Prognosenprodukte konzentrieren, um sie sinnvoll beurteilen zu können. Dabei kommt er ohne Kenntnisse der konventionellen Synoptik nicht aus, denn er hat den für die numerische Prognose wichtigen Ausgangszustand der Atmosphäre zu kennen und zu überprüfen, welche neuen Beobachtungen seit dieser Basiszeit eingetroffen sind, welche das Rechenmodell nicht mehr benützen konnte. Zudem können modellfremde Informationen vorliegen, wie Satelliten- und Radardaten, welche besonders bei Unwetterlagen kurzfristig entscheidend sind. Endlich zeigen systematische Prognosenkontrollen und Fehlprognosenanalysen mögliche Modellschwächen auf, die je nach Wettertyp und Jahreszeit zu berücksichtigen sind.

Die unumgängliche subjektive Beurteilung eines numerischen Produktes durch den Meteorologen, das "human judgement", wird durch T.H. KIRK (1974) und H. KAISER (1978) etwa durch den folgenden Arbeitsablauf von 1. nach 7. umrissen:

1. Intervention im Rechenzentrum:
   Plausibilitätskontrollen, Korrektur oder Verwerfung von Ausgangsdaten (Beobachtungen) vor der Ausgabe der definitiven objektiven Analyse
2. Feldvorhersage als Orientierungshilfe ("guidance")
3. Korrektur von Modellmängeln, Rechen- und Datenmängeln
4. Ergänzung durch modellübersteigende Informationen, spätere synoptische oder asynoptische Beobachtungen, Satelliten, Flugzeuge
5. Verfeinerung durch modellübersteigende kleinere Scales, modellfremde Informationen (Radar), modellfremde Theorien (Kinematik, Dynamik), statistische Methoden, synoptische Methoden (Extrapolation, Regeln)
6. human judgement der vielen Freiheitsgrade, Entscheidung für die wahrscheinlichste Entwicklung als eigener Beitrag zur:
7. Wettervorhersage.

2.5. Weitere Arbeiten auf dem Gebiet der objektiven Prognose

In den für unseren Fachbereich wegweisenden grossen Wetterdiensten, wie es diejenigen der USA und Grossbritanniens darstellen, liegt das Hauptgewicht in der Verbesserung und weiterer Automatisierung der kurz- und mittelfristigen Wettervorhersage bis auf 48 - 72 Stunden hinaus (s.a. B.J. MASON, 1978). Einer Prognosenausdehnung auf mehr als 3 Tage stehen vorläufig nebst der Ausdehnung der Rechenzeit noch Mängel heutiger Modelle entgegen. Hinzu kommt die zunehmende Wirkung von noch so gering erscheinenden Initialfehlern, wie sie anhand eines Beispiels bei E. LORENZ gezeigt worden ist. Solche Startfehler sind im täglichen Dienst infolge fehlender, fehlerhafter oder ungenügend dichter Messdaten unvermeidbar; sie können nur durch den Einbau von Prognosenwerten aus dem vorangegangenen, 12 Stunden früheren Modelldurchlauf, als "first guess" approximiert werden.

In Europa sind Fachleute der Prognosentechnik ebenfalls der Ansicht, dass der in den USA eingeschlagene Weg der Beziehungsstatistiken zwischen numerischen Vorhersageprodukten und dem vorherzusagenden Bodenwetter gemäss dem MOS-System und der Automation von empirisch ermittelten Checklisten für uns richtungsweisend sei. So werden in Schweden Grundschichtmodelle erprobt (S. BODIN 1976). Im Meteorologischen Institut der Freien Universität Berlin wurden Statistiken erstellt, um multivariable Beziehungsgleichungen zu finden zwecks Objektivisierung vorerst von Kurzfristprognosen für den mittleren Bodenwind, die maximalen Windböen tagsüber, sowie die Tageshöchsttemperaturen mit dem Ziel, solche Grundschichtelemente anhand numerischer Vorhersagekarten auf 3 bis 4 Tage hinaus objektiv bestimmen zu können (die Tagesminima sind, weil viel ortsgebundener, noch nicht in Angriff genommen worden; H. MALBERG 1976 und 78). An der Direktorenkonferenz der Wetterdienste Westeuropas im Mai 1978 wurde als Hauptaufgabe die Verbesserung der Wetterprognosen betont. Dies erfordert zudem ihre adaequate Präsentation, Verständlichkeit und die rasche Verbreitung. Einzelne Dienste, wie z.B. der englische, schliessen hierin die Ausdehnung der Gültigkeitsdauer ein. Die erste Hälfte der 80er Jahre wird dank der ersten Experimente des Globalen Atmosphärischen Forschungsprogrammes (FGGE = 1^{st}GARP Global Exp.) zeigen, inwieweit die praktische Grenze der atmosphärischen Vorhersagbarkeit schon bei 5 bis 8 oder erst bei 10 bis 15 Tagen liegt. Auch wenn das öffentliche Bedürfnis für die kurzfristigen Wetteraussichten, also für den laufenden und den morgigen Tag, dominiert, sind an einer Ausdehnung des mittelfristigen Prognosenbereichs doch namhafte Wirtschaftskreise interessiert, wie Landwirtschaft, das Bau- und Transportwesen, die Energiewirtschaft und der Tourismus. Die Entwicklung dynamischer Rechenmodelle der Atmosphäre ist denn auch der erste Punkt im Pflichtenheft der 1973 unterzeichneten zwischen west- und mitteleuropäischen Staaten (und der Türkei) über ein Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersagen (EZMW) in Reading, England, welches 1979/1980 routinemässig mit dem Prognosendienst für 4 bis 10 Tage starten und somit an die bisherigen Mittelfristvorhersagen einiger Landeswetterdienste anschliessen soll (WMO-Bulletin, E. KNIGHTING 1/1978).

Vorgesehen: 10-Schichtenmodell mit Netzpunkten etwa auf dem Kreuzungspunkt jedes Breiten- und Längengrades auf einer CRAY-1 DVA mit 50 Mio. instruction per second (MIPS), welche eine Zehntagesprognose 10 Std. nach dem Ausgangstermin errechnet und dargestellt haben soll.

2.6. Verbesserungsmassnahmen für die Schweiz

Als konkrete Massnahmen zur Verbesserung der Wetterprognosen in der Schweiz zeichnen sich für die nächsten 5 - 8 Jahre ab:

2.6.1. Ab 1979/80 werden durch internationale Wetterzentralen genauere (engere Gitterpunktsabstände), weiter entwickelte und längerfristig gültige, grossräumige Feldvorhersagen routinemässig bei uns eintreffen. Sie werden, in Karten oder in Gitterpunktwerten, neue Prädiktoren, wie den Feuchtigkeitsgehalt und die Vertikalwinde, enthalten. Diese Arbeitsunterlage erlaubt uns weniger subjektive oder intuitive Bodenwetterbeurteilungen als heute, wo lediglich recht zuverlässige Entwicklungen der Höhenwindfelder vorliegen. Dank der heutigen globalen Wetterfernmeldenetze hat eine Beratungszentrale regelmässig die numerischen Produkte verschiedener internationaler Zentralen zur Verfügung. Da diese jedoch sehr unterschiedliche Modelle benutzen, sind die Rechenergebnisse oft nicht einmal in erster Näherung untereinander deckungsgleich. Soll diese wichtige Basisdokumentation zur Verbesserung der herausgegebenen Vorhersagen dienen, müssten die Numeriker den Synoptikern im Routinedienst brauchbare Unterlagen erstellen, welche die Entscheidung über die Tragfähigkeit der jeweiligen numerischen Vorhersage in Abhängigkeit von der bestehenden Wetterlage und Jahreszeit erleichtern. So bleibt dem Synoptiker heute nur seine Intuition bei der kritischen Wertung aller berechneten Vorhersagen. Diese Auswahlmethode ist gegenüber der mathematischen Wissenschaft, die in der numerischen Meteorologie steckt,"steinzeitlich" (R.F. PAULUS, 1978). In der Tat liegen erstaunlich wenige Vergleichsstudien über Vorzüge und Schwächen der verschiedenen Rechenmodelle vor, wie z.B. von P. SABO (1977) und W. ZUELLIG (1976). Sie haben den einzigen Nachteil, dass sie nach jedem Wechsel eines Rechenmodells zumindest teilweise überholt sein dürften.
Kritische Punkte in der Interpretation dieser numerischen Unterlagen werden auch in den nächsten Jahren die Starkniederschläge und die übrigen gefährlichen Wettererscheinungen sein. So liegt das Hauptgewicht der numerischen Forschung in den USA ab Sommer 1978 auf diesem Gebiet. Besonders mittelfristig, d.h. ab dem dritten Prognosentag, sind auch dort noch Sommerniederschlagsvorhersagen wenig besser als eine Klimaprognose. Anderseits waren die mittelfristigen Temperaturvorhersagen für den Zeitraum 6. bis 10. Tag im Winter 1977/78 von derselben Güte wie diejenigen für den 2. bis 6. Tag in den Jahren 1966-1969; diese ungleichen Fortschritte sind richtungsweisend für die weiteren Studien in den USA (D. OLSON 1978). Das Problem in diesem Falle liegt in der vorwiegend mesoskalen Natur der Sommerniederschläge gegenüber den durch die grossräumige Synoptik bedingten Winterniederschläge.

2.6.2. Das Streben nach einer objektiveren und detailierteren Landeswetterprognose, welches sich auf die laufend verbesserten numerischen Produkte aus dem Ausland stützt, erfordert nicht nur eine bestmögliche Aus- und Weiterbildung in der allgemeinen Physik der Atmosphäre und der Synoptik, sondern auch in der regionalen Witterungsklimatologie, sowie die Weiterführung eigener Bestrebungen zur Verbesserung unserer Arbeitshilfsmittel, wie z.B.:

2.6.2.1. Statistische Methoden anwenden, um den Wettertyp, wie er mittels grossräumiger Parameter umrissen wird, in das Orts- und Regionalwetter (am Boden) umzusetzen. Vor etwa 1980 steht die "Perfect Prog Method" im Vordergrund, die anhand der effektiven Wetterlagen der Vergangenheit mit den üblichen Rechenverfahren (Diskriminanz-Analyse, Korrelationen, Mehrfachregressionen) eine objektive Auswahl der besten Prädiktoren trifft, die in einzelnen Landesteilen, ev. auch an Einzelorten (Städte, Flughäfen) für die wichtigen Prädiktanden verwendet werden können.

Abgeschlossen und in Gebrauch ist bereits ein Katalog objektiv-statistischer Prognosen für Sonne, Niederschlag und Temperaturextreme für das Winterhalbjahr aufgrund der NVK und der alpinen Wetterlagen (H.W. COURVOISIER); ferner die halbautomatische Suche von Analogfällen zu einer aktuellen oder NVK 500mbar Topographie aus der Zeitspanne 1955 - 74 innerhalb eines Bereiches von 6 - 8 Wochen um den Prognosentag herum. Ebenso liegen heute täglich die Ergebnisse einer Diskriminanzanalyse zur Vorhersage der 24-stündigen Niederschlagswahrscheinlichkeit in 3 Mengenbereichen für 6 Orte der Schweiz auf 1, 2 und 3 Tage zum voraus vor, begründet auf der NVK 500mbar der USA. Von der gleichen Arbeitsgruppe (ALTHERR J-D. CMC) sind die Wahrscheinlichkeiten der voraussichtlichen täglichen Sonnenscheindauer in Bearbeitung und vermutlich bis 1980 operationell. Pendent ist noch die tägliche Anwendung einer Wetterlagenklassifikation welche über einen 10-Jahresabschnitt die Abhängigkeit stationsbezogener Wetterabläufe von der grossräumigen Strömung auf 500mbar darstellt (KIRCHHOFER W.).

2.6.2.2. Dynamische Methode.

In der MZA Zürich wurde bereits auf Grund der grossräumigen Topographie von Isobarenflächen ein Rechenmodell entwickelt, welches zunächst die vertikale Windkomponente im Alpenraum berechnet. Hieraus wird, empirisch durch eine Regressionsanalyse, der Einfluss der einzelnen Parameter auf den Niederschlag ermittelt. Zur realistischeren, orographisch verursachten Bestimmung der Vertikalgeschwindigkeiten im Alpenraum wurde ein mesosynoptisches Modell mit einer horizontalen Maschenweite des Gitters von 35 km, also 1/10 des hemisphärischen, verwendet und getestet (W. KUHN & QUIBY, SNG 1976). Dessen prognostische Anwendung setzt numerische Prognosen mit Gitterpunktwerten in digitaler Form für den Bereich von West- und Mitteleuropa voraus. Solche Unterlagen werden uns ab 1979 aus dem neuen grossräumigen Vorhersagemodell des Deutschen Wetterdienstes mit ca 180 km Maschenweite oder ab 1980 aus dem Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersagen aus England zur Verfügung stehen. Doch werden vorerst etwa 2 - 3 Jahre weiterer Programmier- und Testarbeiten mit den neuen Modellen und der MZA-Rechenanlage METEOR benötigt werden, bevor diese eigene Methode in den täglichen Dienst an der MZA überführt werden kann.

2.6.2.3. Kombinierte statistisch-dynamische Methode

Zunächst sind die seit einigen Jahren nach Bedarf von Hand erstellten Prognosenchecks zur objektiveren Beurteilung mittels METEOR zu automatisieren, was deren lückenloses Vorliegen ermöglicht, wodurch die Checks besser überprüfbar werden. Es handelt sich hier um die Entscheidungshilfen für Föhneinsatz und Föhnende, von Weststürmen, Gewitterböen, tägl. Temperaturextrema, Nebel- und Hochnebelbildung und Auflösung und für die Güte der Segelflugbedingungen.

Nebst der bisher ausschliesslich verwendeten "Perfect Prog Method" ist künftig ebenfalls die MOS-Technik für unser Land zu verwenden, zuerst mit den grossmaschigen, dann mit unserem feinmaschigen Regionalmodell. Dies bedingt jedoch eine intensivere Mitarbeit der Dienstmeteorologen mit der Forschung, die bisher infolge zu geringer Zeitreserven der Prognostiker nur sporadisch verwirklicht werden konnte.

2.6.2.4. Bearbeitung der "Randfälle"

Es stehen noch eingehendere Interpretationsstudien von bereits vorliegenden Diskriminanz-Analysen aus. Es befriedigt nicht, einfachheitshalber nur die wahrscheinlichste Klasse, den Modus einer Wahrscheinlichkeitskurve, als Prognosenklasse zu wählen. Nebst des üblicherweise nur wenig selteneren Mittelwertes weisen auch die nächst anliegenden Klassen Werte über 0% Häufigkeit auf; es können hier sogar Bereiche mit kritischen Prädiktandenbeträge liegen (z.B. Frostgrenzen bei der Temperatur, Starkniederschläge, Möglichkeiten von Schneefall oder Hagel), die somit nicht wahrscheinlich, aber möglich sind bei einem fixen vorgegebenen Prädiktorwert. Hier hat der Prognostiker die Aufgabe, anhand aller übrigen Prognosenhilfsmittel zu entscheiden, ob diesmal der nicht häufigste Fall zutreffender sein könnte. Dies stellt wiederum einen "man-machine-mix"-Arbeitsvorgang dar. Damit der Prognostiker diese Aufgabe erfüllen kann, sind vorerst noch Selektionskriterien zu erarbeiten, welche diese Randlagen links und rechts des Mittelbereiches einer Häufigkeitsfunktion erkenn- und definierbar machen.

2.6.3. Die Rollen der Wettersatelliten

Die bessere räumliche, zeitliche und spektrale Auflösung von Wolken- und Feuchtluftzonen im makro- und mesosynoptischen Massstab durch den neuen, europäischen Wettersatelliten METEOSAT wird nach der diesjährigen Testphase im Vergleich zum Bisherigen unbestritten sein. In der Schweiz bleibt die Interpretation der METEOSAT-Daten auf der heutigen Beurteilung von Analogbildern, die sich auf das Erkennen der wahrscheinlichsten Ursache der Wolkensysteme, ihrer bisherigen Entwicklung und Verlagerung beschränkt. Sie können kurzfristig (12 - 24, ausnahmeweise 24 - 48 stündig) bei korrekter Eingliederung in das Höhenstromfeld mittels der NVK am sinnvollsten verlagert werden. Irgendwelche Zahlenwerte, wie vertikale Temperaturprofile, absoluter Wasserdampfgehalt, Niederschlagsdetektion, Horizontalwindfelder fehlen vorderhand (letztere sollen durch die ESOC in Darmstadt künftig bestimmt und übermittelt werden). Dennoch können wir durch systematische, regelmässige und einheitliche Bildinterpretation auch allein aus Analogbildern eine bessere Ausgangslage für die Vorhersage erarbeiten als mit den bisherigen eher oberflächlichen Verfahren. Zweifellos wird eine spätere Digitalisierung und Speicherung von Satellitendaten, bei uns ab 1980/82 vorgesehen, die Analysen- und Extrapolationsaufgabe, für den Kurzfristbereich erleichtern und objektivisieren (Zeitrafferabläufe, sog. "loops" halbstündiger Bildsequenzen, Temperatur-, Höhen- und Dichtewerte dank zahlreicher Graustufen; Ueberlagerung von gleichmassstäbigen Strömungsfeldern, "overlays", Falschfarbendarstellungen etc.)

Indirekt wird uns der Nutzen der neuen Wettersatelliten anfangs der achziger Jahre erreichen, wenn die Rechenzentren dank digitalisierter Satellitendaten und der Erfahrung des FGGE die Ausgangslage zu ihren NVK-Modellen vor allem über Meeren und unbewohnten Gebieten ohne Radiosonden präzisieren und feiner auflösen können.

2.6.4. Neue Möglichkeiten im sehr kurzfristigen NOWCASTING (Trendprognosen)

Ab 1979/80 stehen dem schweizerischen Wetterdienst für diese Sofortprognosen, die besonders als Warnmeldung bedeutsam sind, zwei neue Unterlagen zur Verfügung.

2.6.4.1. Das automatische Wetterbeobachtungsnetz der Schweiz (ANETZ)
Das bis Ende 1981 auf 60 Stationen ausgebaute ANETZ (Ende 78 30 ASTA) übermittelt automatisch alle 10 Minuten an zwei Sammelzentralen Einzelmesswerte, die in diesen Zentralen zu Stundenwettermeldungen verarbeitet und auf dem nationalen Wetterfernmeldenetz verbreitet werden und dies praktisch verzugslos.

2.6.4.2. Die beiden neuen, digitalsierten Wetterradars auf der Dôle im Westjura (in Betrieb ab Sommer 78) und auf dem Albispass (geplante Betriebsaufnahme Frühling 79) mit Standbildern, die alle 10 Minuten erneuert werden und auch an die Partnerstation und nach Locarno-Monti übermittelt werden können.

2.6.5. Lehren aus der neuen objektiven Prognosenkontrolle der Kurz- und Mittelfristvorhersagen

Nebst der im ersten Teil dieser Arbeit ersichtlich gewordenen Folgerungen aus den bisherigen subjektiven Prognosenkontrollen sind ab 1980/81 laufend die neuen objektiven Stations- und Regionenkontrollen auszuwerten. Sie stützt sich vor allem auf das bis dann ausgebaute automatische Beobachtungsnetz (ANETZ) in der Schweiz mit 60 Stationen. Die Kontrolle kann täglich automatisch erfolgen. Vorgängig müssen noch die "objektiven" Gütebeurteilungen (Matrixpunkte) definiert werden, wobei noch abzuklären bleibt, ob gewisse subjektive Empfindungen, die eine gewisse Asymmetrie in die Matrixtabellen bringen würden, eingebaut werden sollen, um einen eleganten Uebergang der Prognosenbewertung von der subjektiven in die objektive Phase zu bewerkstelligen. Von diesen neuen Kontrollergebnissen erhoffen wir uns nützliche Erkenntnisse über lokale oder regionale Witterungseigentümlichkeiten, deren sich die Prognostiker bisher nicht bewusst waren.
Hervorstechende Fehlleistungen in der Prognose sind weiterhin, in Zusammenarbeit mit der Forschung, als Fallanalysen zu bearbeiten und deren Ergebnisse in Untersuchungsberichten festzuhalten. Aehnliches gilt bei der Bearbeitung von Extremwetterfällen (z.B. Regenflut 7./8. August 1978), deren Vorhersagbarkeit in quantitativer Hinsicht auch in den nächsten Jahren nicht möglich sein wird (s. Arbeitsbericht MZA Nr. 85, 1977).

2.6.6. Organisatorische Verbesserungsmassnahmen

Von seiten des Verbrauchers sind an uns im Verlaufe der Jahre zahlreiche Wünsche gelangt, von welchen wir einige zumindest teilweise erfüllen sollten, wie z.B.:

2.6.6.1. Die tägliche feste Anzahl der ausgegebenen Kurzfristprognosen dank des bald abgeschlossenen Ausbaus des ANETZes, der beiden Wetterradars (La Dôle und Albis), sowie der halbstündigen Ueberwachung durch Wolkenbilder des europäischen Wettersatelliten METEOSAT zu erhöhen. Als erstes soll 1979 versuchshalber mit der Veröffentlichung eines 5. Wetterberichtes für die Spätnachrichten von 22 h begonnen werden. Als Fernziel ist die Ausgabe einer jedesmal überprüften, stichwortartigen Kurzfristprognose (flash) für jeden Radionachrichtentermin zu sehen; später vielleicht einmal rund um die Uhr. Eine weitere Möglichkeit in fernerer Zukunft sind stündlich erneuerte "actuals" und ein "outlook" tags und nachts auf einer Sonder-UKW-Frequenz, wie z.B. im jetzigen VHF-FM Band der laufenden Flugsicherungs-Wetterausstrahlungen auf 127 MHz für Zürich und Genf. Schon längere Zeit arbeitet ein solches System in den USA für die Allgemeinheit auf 162.5 MHz.

2.6.6.2. Live-Sendungen z.B. morgens um 08 h am Radio und abends am Fernsehen, wobei vorerst die Tage vor Wochenenden und allgemeinen Feiertagen verwirklicht werden sollten.

2.6.6.3. Ausbau der Prognoseninhalte durch allmählich noch genauere räumliche und zeitliche Präzisierungen der vorgesehenen Wettererscheinungen. Weitere Bestrebungen im Quantifizieren von Prädiktanden, vor allem des Niederschlages.

2.6.6.4. Abbau von Totzeiten zwischen der Prognosenerstellung in den Wetterdiensten und der Bekanntgabe an das Publikum. Nebst der in 2.6.6.1. geschilderten Möglichkeiten könnte ein Direktbesprechen des PTT-Tonbandes Nr. 162 durch die beiden Wetterdienste Zürich und Genf aktualisierend wirken.

2.6.6.5. Gewisse finanzielle und personelle Reserven wahren, welche die wissenschaftliche Mitarbeit der Schweiz an internationalen Projekten erlauben, die zur langfristigen Verbesserung der Kenntnisse der Physik der Atmosphäre inklusive ihrer Simulierung durch Rechenmodelle dienen. Es wird hier an die auch uns angehenden Vorhaben wie das GARP und EZMW, der METEOSAT und das ALPEX und an internationale Fachkonferenzen erinnert.

Zusammenfassung

Die achtziger Jahre dürften Prognosenverbesserungen in erster Linie dank überstaatlicher Fortschritte in der Entwicklung numerischer Prognosenprodukte bringen, die deutlicher zu werden versprechen als diejenigen der letzten zehn Jahre.

Für die Numeriker bleibt als wesentliche Aufgabe das raschere Erfassen neuer Wellenbildungen an Frontsystemen mit möglichst exakter Bahnberechnung, sowie solcher mesoskaler, subsynoptischer Erscheinungen, welche kurz- oder mittelfristig den übergeordneten, synoptischen Bereich modifizieren können. Dank weiteren Verfeinerungsmöglichkeiten dürfen berechtigte Erwartungen an die regionalen, feinmaschigen Rechenmodelle gestellt werden, um solche Ziele zu erreichen. Zudem verbessern diese Regionalmodelle massgebend den Nutzen statistischer Zusammenhänge zwischen den Prädiktoren und dem Bodenwetter (MOS-System), ferner das bessere Erfassen von zum Teil wenig ausgedehnten, kritischen Wetterlagen, insbesondere Starkniederschläge, Gewitter und Starkwinde (J.A. BROWN, 1976). Allerdings bleiben infolge unserer beschränkten Beobachtungssysteme gewisse Auflöselimiten des Initialzustandes bestehen.

Mit abnehmender räumlicher Ausdehnung und Lebensdauer der zu erfassenden Wettererscheinungen sinkt indessen ihre prognostizierbare Gültigkeitsdauer.

Damit sich dieser uns vorwiegend aus dem Ausland erreichende Fortschritt im Erfassen künftiger grossräumiger Prädiktoren auch regional, innerhalb unseres Landes, als nützliche und notwendige "guidance" bewähren kann, ist unerlässlich, dass wir sowohl die Stärken und Schwächen der benützten Rechenmodelle kennen lernen, als auch diejenigen statistischer Interpretationsaufgaben numerischer Vorhersageprodukte lösen, die kaum je durch eine übergeordnete, internationale Wetterzentrale für uns gelöst wird.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

Verwendete Abkürzungen:

GeophsBDBw	Geophysikalischer Beratungsdienst der Deutschen Bundeswehr
NCAR/CQ-5	National Center for Atmospheric Research, Colloquium on Weather Forecasting and Weather Forecasts: Models, Systems and Users. NCAR/CQ-5+1976-ASP.
WMO Symposium Warsaw	Papers presented at the WMO Symposium on the Interpretation of Broad-Scale NWP Products for Local Forecasting Purposes. Warsaw, 11-16 October 1976. WMO-No.450.

ALTHERR J.D., DUPANLOUP M., GANTER Y. und JUNET E., 1978: Prévision objective des hauteurs de pluie basée sur une méthode d'analyse discriminante. Arbeitsbericht MZA No. 82, 13 S.

— , 1975: Prévision objective des précipitations basée sur une méthode d'analyse discrimininante. Arbeitsbericht MZA No. 51, 30 S.

BENGTSSON Lennart, 1976: On the Interpretation of Large-Scale NWP in therms of Weather for Local Forecasting Purposes. Talk given to the 6th session of CBC/WMO in Geneva on 8.11.1976, 26 S.

BODIN Svante, 1976: An Unsteady Onedimensional Atmospheric Boundary Layer Model. WMO Symposium Warsaw, 20-31.

BROWN Harry E., and OLSON David A., 1978: Performance on NMC in Forecasting a Record-Breaking Winter Storm, 6-7 February 1978. Bull.Amer.Meteor.Soc. 59, 562-575.

BROWN John A., Jr., 1976: Modelling and the Man-Machine Mix at the National Meteorological Center, Washington. WMO Symposium Warsaw, 151-158.

COURVOISIER Hans-Wolfgang, 1978: Katalog objektiv-statistischer Wetterprognosen für die Alpennordseite, das Wallis sowie Nord- und Mittelbünden. Veröff. MZA No. 39, 55 S.

—, 1975: dasselbe für die Alpensüdseite und das Oberengadin. Veröff. MZA No. 32, 24 S.

FAWCETT Edwin B., 1977: Current Capabilities in Prediction at the National Weather Service's National Meteorological Center. Bull.Amer.Meteor.Soc. 58, 143-149.

FISCHER G., 1974: Probleme der numerischen Kurz- und Mittelfristvorhersage. Ann.d.Met. (N.F.) Nr. 9, 85-88.

GENSLER Gian Alfred, 1954: Kaltlufttropfen des Spätfrühlings 1954, im speziellen ihre Bewölkungs- und Niederschlagsstruktur. Verh. SNG 1954, 110-111.

GLAHN Harry R., 1976: Progress in the Automation of Public Weather Forecasts. Mon.Wea.Rev. 104, 1505-1512.

—, 1976: Numerical-Statistical Forecasting in the US National Weather Service. NCAR/CQ-5, 448-522.

—, and LOWRY D.A., 1972: The Use of Model Output Statistics (MOS) in Objective Weather Forecasting. J.Appl.Meteor. 11, 1203-1211.

KAISER Heinz, 1978: Aufgaben des Vorhersagemeteorologen im Zeitalter der theoretischen Synoptik. Fachl. Mitt. GeophsBDBw Nr. 187, 51-61.

—, 1971: Möglichkeiten zur Verbesserung der Wettervorhersage. Wetter und Leben 23, 177-187 und 24, 80-82.

KIRK T.H., 1974: The use of numerical forecasts. Meteor.Mag. 103, 14-20.

KLEIN William H., 1976: Statistical Forecasting of Local Weather from Numerical Prognoses. WMO Symposium Warsaw, 85-92; s.a. ECMW Seminars 1978.

—, 1976: The AFOS Program and Future Forecast Applications. Mon.Wea.Rev. 104, 1494-1504; s.a. ECMW Seminars 1978 und NCAR/CQ-5, 672-681.

—, and GLAHN Harry R., 1974: Forecasting Local Weather by means of Model Output Statistics. Bull.Amer.Meteor.Soc. 55, 1217-1227.

KNIGHTING E., 1978: The European Centre for Medium Range Weather Forecast. WMO Bull. 27, 14-19.

KUHN Walter, and QUIBY Jean, 1976: Dynamical-statistical Methods of Meso-scale Precipitation Forecasting over Mountainous Terrain. Pageoph, Vol. 114, 945-964; s.a. in Verh.SNG 1976, 102-104: Dynamischer Beitrag zur Niederschlagsprognose in der Schweiz.

LORENZ Edward, 1976: Limitations of Weather Prediction. NCAR/CQ-5, 214-218.

LÖNNQVIST Olov, 1976: Experiences from Operational Application of Statistical Interpretation in Weather Forecasting in Sweden. WMO Symposium Warsaw, 63-67; s.a. ECMW Seminars 1978.

MALBERG Horst, 1977: Die Eintreffgenauigkeit der lokalen Wettervorhersage im Vergleich zur Persistenz. Arch.Met.Geoph.Biokl.Ser.A, 26, 73-82.

—, 1974: Probleme und Methoden der lokalen Wettervorhersage. Ann.d.Met. (N.F.) Nr. 9, 129-137.

—, FRATTESI G. und ROEDER W., 1978: Ein einfacher Ansatz für eine objektive, lokale Böenvorhersage. Meteorol.Rdsch. 31, 37-41.

—, BOETTGER H. und BOEKENS G., 1976: Objektivierte Vorhersage der Maximumtemperatur an Strahlungstagen in Berlin-Dahlem. Meteor.Rdsch. 29, 49-53.

MANSON B.J., 1978: The Future Development of the Meteorological Office. Met.Mag. 107, 129-140.

OLSON David A., 1978: An Overview of Operations at the WMC. Washington. Lecture given at the 4th session of the CBS/WMO Working Group on GDPS (3 April 1978) in Geneva, 3-35.

PAULUS Rudolf F., 1978: Welchen Nutzen haben manuell erstellte Bodenanalysen und numerische Vorhersagen für die Arbeitsergebnisse einer meteorologischen Beratungszentrale ? Fachl.Mitt.GeophsBDBw Nr. 187, 131-139.

RAMAGE C.S., 1976: Prognosis for Weather Forecasting. Bull.Amer.Meteor.Soc. 57, 4-10.

REAP R.M., 1972: An Operational Three-Dimensional Trajectory Model. J.Appl.Meteor. 11, 1193-1202.

SABO Peter, 1977: Ein Vergleich deutscher und amerikanischer Höhenvorhersagekarten für den Alpenraum. Arch.Met.Geoph.Biokl.Ser.A. 26, 83-91.

SCHUEPP Max, 1975: Objektive Wettervorhersage mit statistischen Hilfsmitteln im Alpengebiet. ITAM 13, St.Vincent Sept. 1974, in Riv.Ital. di Geofisica 1, 32-36.

SCOFIELD Roderick A., 1976: NOWCASTING, Fine Tuning the Local Forecast. American Meteor. Soc. 6th Conf. on Weather Forecasting and Analysis, Albany N.Y., May 1976, 268-272; s.a. NOAA Techn.Memor. NESS 94, Dec.77, 52 S.

SHUMAN Frederick G., 1978: Numerical Weather Prediction. Bull.Amer.Meteor. Soc. 58, 5-17.

SOMMERVILLE R.C.J., 1976: Metapredictability. NCAR/CQ-5, 682-696.

STANIFORTH Andrew N., and MITCHELL Herschel L., 1978: A Varaiable-Resolution Finite-Element Technique for Regional Forecasting with the Primitive Equations. Mon.Wea.Rev. 106, 439-447.

ZUELLIG Walter, 1976: Kontrolle der numerischen Vorhersagekarten. Arbeitsbericht MZA No. 61, 35 S.

Nachträge:

European Centre for Medium Range Weather Forecasts: ECMW Seminars 1978: The Interpretation and Use of Large-Scale Numerical Forecast Products, 398 S.

World Meteorological Organization, Commission for Basic Systems (WMO/CBS), 7th Session, Washington D.C. Nov. 1978: Roles of the RMCs and NMCs. Item 7, WG on GDPS, 60-105.

PD Dr. Gian Alfred GENSLER
Abt. Wetter- und Fernmeldedienste
MZA, Krähbühlstr. 58
8044 Zürich

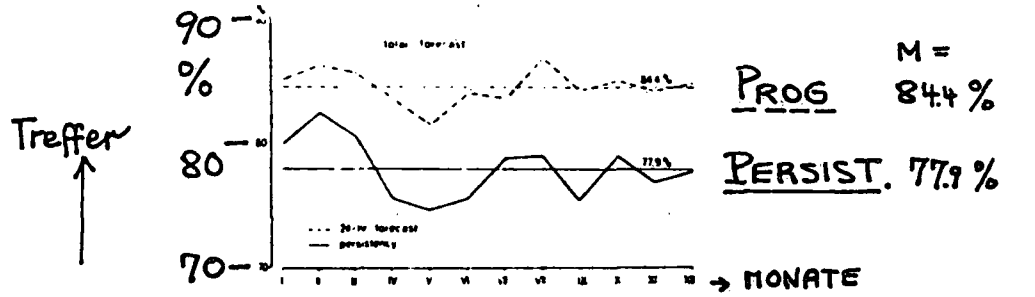

Abb 4. Vergleich von mittlerer 24^h-Vorhersagegüte und Erhaltungstendenz der Gesamtprognose

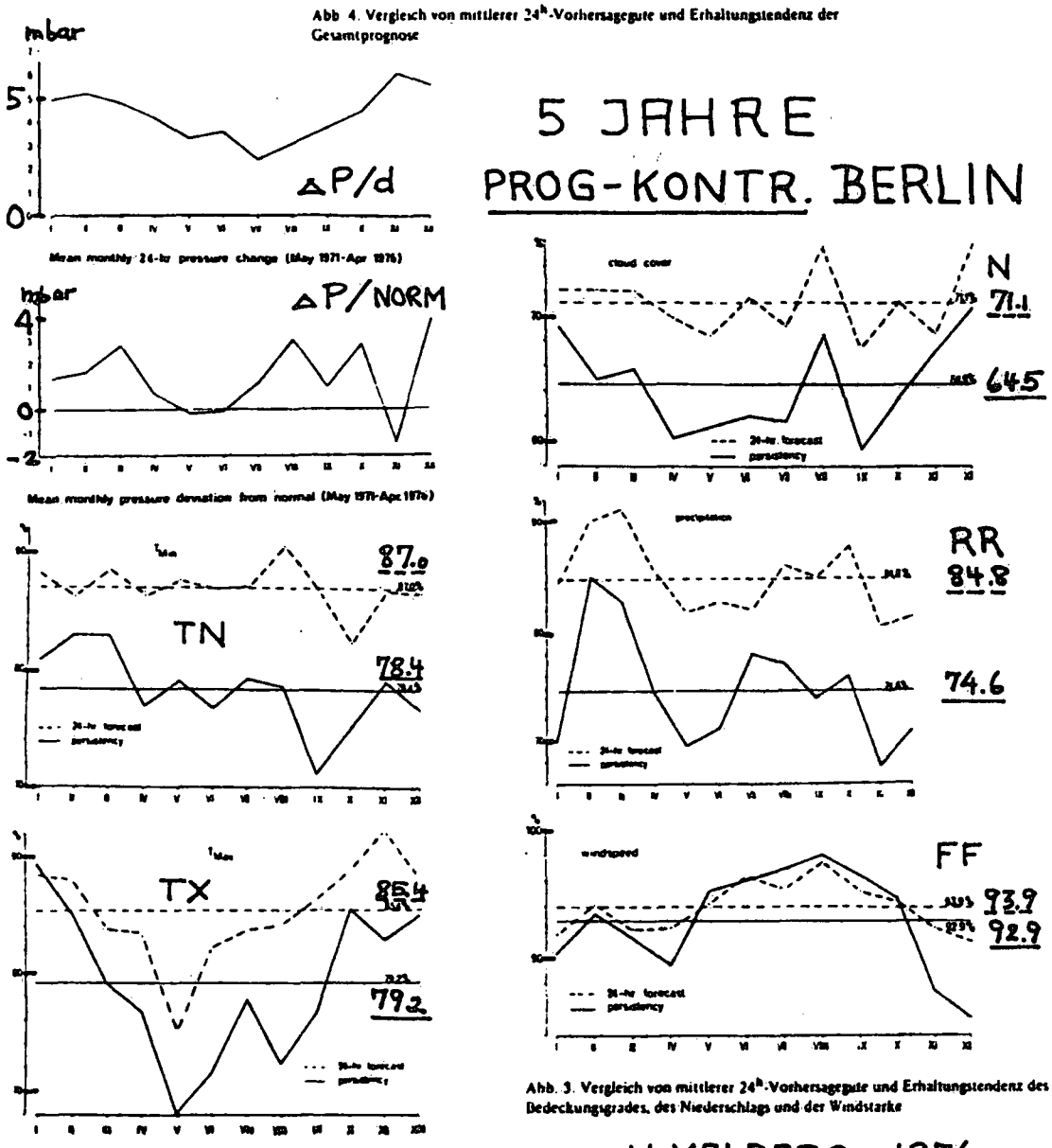

Abb. 2. Vergleich von mittlerer 24^h-Vorhersagegüte und Erhaltungstendenz der Tiefst- temperatur und der Höchsttemperatur

Abb. 3. Vergleich von mittlerer 24^h-Vorhersagegüte und Erhaltungstendenz des Bedeckungsgrades, des Niederschlags und der Windstärke

Fig. 1 Ergebnisse aus einer Prognosenkontrolle über 5 Jahre für Berlin (Mai 1971 - April 1976) Die Trefferprozente beziehen sich auf die 24-stündige Wettervorhersage