

No. 152

**OBJEKTIVE KONTROLLE VON NUMERISCHEN PROGNOSEN-
KARTEN ANHAND VERSCHIEDENER WETTERLAGEN**

von

Felix Schacher und Francis Schubiger

Dezember 1988

Numerische Prognosen	551.509.313
Kontrolle von Prognosenkarten	551.509.5

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



Nr. 152

**OBJEKTIVE KONTROLLE VON NUMERISCHEN PROGNOSEN-
KARTEN ANHAND VERSCHIEDENER WETTERLAGEN**

von

Felix Schacher und Francis Schubiger

Dezember 1988

Numerische Prognosen	551.509.313
Kontrolle von Prognosenkarten	551.509.5

Zusammenfassung

Mit dem Projekt NUMKO wird eine objektive Kontrolle der numerischen 500 hPa-Vorhersagekarten des EZMW-, des DWD- und des USA-Modells vorgenommen. Um mögliche wetterlagenspezifische Eigenheiten der einzelnen Modelle zu erfahren, werden die numerischen Vorhersagekarten in die Wetterlagenklassifikation von Kirchhofer eingeordnet. Es zeigt sich, dass das EZMW-Modell eine weit bessere Prognosequalität als die beiden anderen Modelle aufweist. Im Prognosendienst ist die Verwendung dieser Karten auch bei Vorliegen der andern neueren Sets angezeigt. Wetterlagen mit einem Trog über Westeuropa und einer definierten Südwestströmung über Mitteleuropa werden allgemein von den drei Modellen gut erfasst, und die daraus abgeleiteten Prognosen sind deutlich besser als bei andern Wetterlagen. Bei den Ausgangswetterlagen mit Tiefdruckgebieten im Osten der Schweiz, die weit nach Süden bis in den Mittelmeerraum reichen, zeigen die Prognosenkarten in der Folge die grössten Fehler. Das EZMW-Modell hat bei solchen Lagen, wie auch bei Hochdrucklagen mit einer Rückenachse von Spanien zu den Alpen, in den Prognosen einen geringeren Vorsprung gegenüber den andern beiden Modellen als sonst üblich.

Résumé

Le but du projet NUMKO est un contrôle objectif des cartes de prévisions numériques du géopotential 500hPa des modèles du CEPMMT, du DWD et des USA. Toutes les cartes de prévisions sont groupées d'après la classification des situations météorologiques de Kirchhofer pour permettre un contrôle objectif et automatique par type de temps. D'une manière générale le modèle du CEPMMT donne une qualité nettement supérieure à celle des deux autres modèles. Pour le service de prévision l'utilisation des cartes du CEPMMT est indiquée même lorsque les produits des deux autres modèles sont disponibles avec une échéance (=analyse) de 12 heures plus récente. Les prévisions numériques partant de situations météorologiques avec une dépression à l'ouest de l'Europe et un courant de sud-ouest bien défini sur l'Europe Centrale sont en général les meilleures. Les prévisions numériques partant de situations avec des zones de basse pression à l'est qui s'étendent au sud jusque vers la Méditerranée donnent des différences très marquées par rapport à la moyenne. Les prévisions du CEPMMT donnent dans ce cas, tout comme aussi pour les situations de haute pression de l'Espagne jusque dans nos régions, une avance par rapport aux deux autres modèles plus faible que normalement.

Riassunto

Con il progetto NUMKO è stato eseguito un controllo oggettivo delle carte numeriche di previsione dei modelli del Centro europeo di previsione a medio termine, del Servizio tedesco e di quello americano. Per conoscere le possibili particolarità dei singoli modelli in base alla situazione meteorologica, le carte di previsione sono state confrontate con la classificazione di Kirchhofer. È risultato che la qualità del modello del Centro europeo è ben superiore a quella degli altri due. L'uso delle carte di questo modello nel servizio previsioni è consigliato anche disponendo di una serie più recente di cartine di 12 ore di altri modelli. Situazioni meteorologiche con una saccatura ad ovest e una corrente da sudovest sull'Europa centrale vengono generalmente ben rilevate dai tre modelli e le conseguenti previsioni sono nettamente migliori che in altre situazioni meteorologiche. Le carte di previsione di una situazione iniziale con depressioni all'est, che si estendono verso meridione fino al Mediterraneo, mostrano grosse differenze. Per questa situazione meteorologica, come pure per quella anticiclonica con l'asse della dorsale tra la Spagna e le nostre regioni, la superiorità del modello europeo è meno accentuata del solito.

Summary

The aim of the NUMKO project is to keep an objective check on the numerical forecasts issued by ECMWF and the Meteorological Services of Western Germany and the United States. In order to find model characteristics related to typical synoptic situations each 500 hPa flow pattern of the numerical products is classified, using the Kirchhofer method. The European model proves to be rather better than the other two. For day-to-day forecasting it is therefore advisable to make use of ECMWF products, although the results of the other two models are based on later data.

A 500 hPa pattern defined by a trough over Western Europe and a well established southwesterly upper-air flow over Central Europe shows the best result in comparison with other flow patterns. This is true for all three models. Cut-off depressions to the east of Switzerland extending into the Mediterranean area, produce the greatest discrepancies among the three models. In this case and in an anticyclonic situation with the axis of the ridge pointing from Spain to Switzerland, ECMWF's lead on the other models is considerably smaller than on average.

**OBEJKTIVE KONTROLLE DER NUMERISCHEN PROGNOSENKARTEN
ANHAND VERSCHIEDENER WETTERLAGEN (NUMKO)**

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Kapitel	Seite
1. EINLEITUNG	5
2. ZIELSETZUNG DES PROJEKTES NUMKO	6
2.1 Das Gitternetz	6
3. DATENAUFBEREITUNG	7
4. WETTERLAGENKLASSIFIKATION UND TREFFERRATE	8
4.1 Wetterlagenklassifikation	8
4.2 Definition der zutreffenden Wetterlage	9
4.3 Trefferrate (TREF)	9
5. STATISTISCHE KOEFFIZIENTEN	10
5.1 Definitionen	10
5.1.1 Mittlerer Vorhersagefehler: FEM	11
5.1.2 Mittlerer Vorhersagefehler im Alpenraum: ABW	11
5.1.3 Maximaler Vorhersagefehler: EMX	12
5.1.4 Standardabweichung: STA	12
5.1.5 Root-mean square: RMS	12
5.1.6 SI-Skill score: SIS	12
5.1.7 Tendenz-Korrelationskoeffizient: CCT	13
5.1.8 Relativer Vorhersagefehler: RFE	13
5.1.9 Vorzeichen-Korrelationskoeffizient: SIC	14
5.1.10 Quadratsumme: QS	14
5.2 Diskussion	15
5.3 Persistenz	16
5.4 Vergleich zwischen den Analysen	16
6. RESULTATE DER WETTERLAGENKLASSIFIKATION	18
6.1 Klassifikation der Analysen	18
6.2 Anwendung im Wetterdienst	19
6.3 Anteil der nicht klassierbaren Wetterlagen	21
6.4 Persistenz der Wetterlagen	22
7. WETTERLAGENABHÄNGIGE RESULTATE	23
7.1 Beschreibung	23
7.2 Die Wetterlagen	24
8. ALLGEMEINE RESULTATE	36
8.1 Unterschiede zwischen EZMW- und DWD 12UTC Analysen	36
8.2 Qualitätsunterschiede der Modelle	36
8.3 Zeitlicher Verlauf der Qualität	39
8.4 Vorhersagedauer	41
9. Literaturverzeichnis	43
10. ANHANG:	45

1. EINLEITUNG

Die numerischen Vorhersagekarten (NVK) bilden im Wetterdienst eine unentbehrliche Unterlage für die kurz- und vor allem für die mittelfristige Wetterprognose. Die Qualität der NVK ist allerdings unterschiedlich. Zum Teil scheint sie für einen bestimmten Raum von der Ausgangswetterlage abhängig zu sein. Jedes Vorhersagemodell weist Stärken und Schwächen auf, die teilweise bekannt, teilweise aber auch nicht bekannt sind. An der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) werden die Vorhersagen des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettersvorhersage (EZMW) in Reading GB, des numerischen Modells des Amerikanischen Wetterdienstes (USA-Modell) und die des Deutschen Wetterdienstes (BKF-Modell des DWD) parallel verwendet.

Qualitätskontrollen haben schon bald gezeigt, dass das EZMW-Modell weit bessere Vorhersagen liefert als die beiden anderen (siehe auch Vergleiche verschiedener Modelle durch die WMO (Lange und Hellstern, 1985)). Die Resultate zeigen andererseits grosse Unstetigkeiten und Schwankungen. Ursachen können entweder verschiedene Datenmengen von Tag zu Tag (fehlende Beobachtungen) oder Modellfehler selbst sein. Oft muss sich der Prognostiker auf Grund mehr oder weniger subjektiver Kriterien für eine von den 3 Modellen gezeigte Version entscheiden. Die Auswirkungen auf die zu erwartende Witterung im Alpenraum sind dabei schwer abzuschätzen.

Die EZMW - NVK werden am Abend mit den 12UTC-Daten gerechnet. Dem Meteorologen stehen sie gezeichnet am frühen Morgen zur Verfügung. Die Vorhersagen des USA- und DWD-Modells basieren auf den 00UTC-Daten und sind zur Zeit der Ausgabe der Mittelfristaussichten zusammen mit den "älteren" EZMW-Karten zur Interpretation vorhanden. Die 12UTC-NVK vom USA- und DWD-Modell umfassen nur +48h, resp. +72h und werden am Abend bei Bedarf zur Anpassung der Kurzfristprognose verwendet.

Es ist nun nicht in jedem Fall bestätigt, dass die EZMW-Vorhersagen auch im Vergleich zu den "neueren" anderen Prognosen besser sind. Möglicherweise gibt es Grosswetterlagen über Europa, die vom einen oder anderen Modell besser erfasst werden. Für die Mittelfristprognose, die den Alpenraum betrifft, ist vor allem die gezeigte Wetterlage, also das "Pattern" von Bedeutung. Dazu sind aber nur wenige Qualitätsangaben erhältlich. Die objektive Kontrolle der numerischen Prognosenkarten anhand verschiedener Wetterlagen (Projektname **NUMKO**) soll dazu Ergänzungen liefern.

2. ZIELSETZUNG DES PROJEKTES NUMKO

Es soll versucht werden, die Qualität der verschiedenen numerischen Modelle für den Grossraum Europa, und speziell für den Alpenraum auf Grund objektiver Kriterien in Abhängigkeit der herrschenden Wetterlage zu beurteilen.

Als Basis für NUMKO wurde die Wetterlagenklassifikation von Kirchhofer (1974) gewählt. Sie umfasst 24 Wetterlagen. Diese verhältnismässig geringe Anzahl ermöglicht bald eine vernünftig grosse Datenmenge. Die Klassifikation ist objektiv und automatisch durchführbar. Der gewählte geografische Ausschnitt über Europa mit dem Alpenraum im Zentralbereich ermöglicht die Erfassung der grossräumigen Wettersysteme. Die zu standardisierenden 500hPa- Geopotentialwerte der 3 Modelle (EZMW, DWD, USA) stehen in unserem Rechnersystem zur Verfügung (vgl. Kap.4).

2.1 Das Gitternetz



Figur 1:

Das Gitternetz beinhaltet 36 Gitterpunkte. Es umfasst das Gebiet von 35° bis 60° nördlicher Breite und von 20° westlicher bis 30° östlicher Länge. Der Abstand der Gitterpunkte beträgt 5° in meridionaler und 10° in zonaler Richtung.

3. DATENAUFBEREITUNG

Für die Berechnungen und Vergleiche werden seit Mai 1983 alle Analysen und Prognosenkarten der 500 hPA-Geopotentialfelder verwendet, die in der Rechenanlage Meteor der SMA eintreffen und abgelegt werden. Es sind die folgenden Karten des EZMW-, des USA- und des DWD BKF-Modells:

- Karten aus 12 UTC Analysen:

EZMW: Analyse +1 +2 +3 +4 +5 +6 +7 (Vorhersagetage)
USA +1 +2
DWD Analyse +1 +2 +3 +4

- Karten aus 00 UTC Analysen:

USA +1 +2 +3 +4 +5
DWD Analyse +1 +2 +3 +4 +5 +6

Aus betrieblichen Gründen fehlen die Analysen des USA-Modells. Alle USA - NVK (aus 00- und 12-UTC Analysen) werden mit den DWD Analysen verifiziert.

Die Werte an den Gitterpunkten des polar-stereografischen Gitternetzes des EZMW und des DWD werden bikubisch auf die 36 Punkte des "Kirchhofer-Gitters" interpoliert. Bei den USA-NVK werden die übermittelten Werte an den entsprechenden Gitterpunkten direkt übernommen.

Sämtliche Auswertungen der Kap. 5 bis 8 basieren auf dem Datenmaterial der 4 Jahre von Dezember 1983 bis November 1987.

Da das Datenarchiv im Real-time Betrieb aufgebaut wurde, fehlen einzelne Karten (im Mittel für jeden Monat etwa 1 bis 5 Karten pro Vorhersagetermin). Es sind zwei grössere Lücken vorhanden. So fehlen die Daten vom 1. - 27.7.86 und vom 1.- 17.3.87. Der Ausfall einer Analyse ist am gravierendsten, da dann alle NVK für diesen Termin nicht verifiziert werden können. In einem solchen Fall wurde folgendes Vorgehen angewendet: Für die Verifikation der 12UTC- Daten wird beim Fehlen der eigenen Analyse (bzw der DWD-Analyse für die USA-NVK) auf die Analyse des andern Modells zurückgegriffen (d.h. EZMW-Analyse für USA- und DWD- Daten, bzw DWD-Analyse für EZMW-Daten). Wenn diese ebenfalls fehlt oder bei der Verifikation der 00 UTC Daten (hier ist nur die DWD-Analyse erhältlich), wird die eigene 24h-Vorhersage verwendet. Erst wenn diese auch fehlt, wird von einer Verifikation abgesehen.

4. WETTERLAGENKLASSIFIKATION UND TREFFERRATE

4.1 Wetterlagenklassifikation

Als Basis dient die Wetterlagenklassifikation von Kirchhofer (1974). Sie ermöglicht eine automatische Klassifikation. Es werden die 500 hPa-Geopotentialfelder verwendet. Um den Jahresgang der absoluten Topografie möglichst auszuschalten, werden sämtliche Strömungsfelder standardisiert. Die standardisierten Werte (\tilde{z}_i) der 36 Gitterpunkte erhält man, indem man von den Originalwerten (z_i) den Mittelwert aller Punkte (\bar{z}) subtrahiert und durch die Standardabweichung (s) dividiert.

$$\tilde{z}_i = (z_i - \bar{z}) / s$$

Standardisierte Strömungsfelder sind miteinander vergleichbar. Die Ähnlichkeit zweier Karten kann abgeschätzt werden, indem man die Quadratsumme der Gitterpunktdifferenzen ($\sum \Delta^2$) berechnet. Als Basiskarten werden 24 charakteristische Strömungslagen definiert, die sich in den Wetterauswirkungen in mindestens einem Gebiet des Alpenraumes unterscheiden (siehe Anhang A).

Die Quadratsummen zwischen zwei Wetterlagen schwanken zwischen 5.4 (Wetterlage 7 und 23) und 92.1 (Wetterlage 16 und 24). Wetterlage 24 ist am verschiedensten zu allen andern. Die zur Wetterlage 24 ähnlichste ist die Wetterlage 17 mit einer Quadratsumme von 10.1.

Für jede eintreffende 500 hPa-Geopotentialkarte des EZMW-, des USA- und des DWD-Modells wird die Quadratsumme der Gitterpunktdifferenzen zu jeder der 24 Wetterlagen gerechnet und in aufsteigender Reihenfolge sortiert (von der Wetterlage mit der kleinsten Quadratsumme bis zu derjenigen mit der grössten).

Nicht alle Karten lassen sich gleich gut in eine der 24 Wetterlagen klassieren. Kirchhofer (1974) hat eine Grenze bei der Quadratsumme von 12 angenommen, für welche zwei Karten gerade noch ähnlich aussehen. Hoard und Lee (1986), welche die Kirchhofer-Methode mit einer grösseren Anzahl von Gitterpunkten anwenden, kommen auf eine ähnliche Grenze (Quadratsumme 20 für 64 Gitterpunkte). Wir haben diesen Grenzwert von 12 der Quadratsumme übernommen. Im Kapitel 8.4 findet sich eine Bestätigung für diesen Grenzwert anhand unserer Daten.

Unsere Rechenanlage Meteor führt für den Wetterdienst die Wetterlagenklassifikation für jede 500 hPa-NVK automatisch durch (siehe Kap. 6.2). Mit der Angabe der Wetterlage wird eine erste grobe stationsbezogene Wettervorhersage anhand der Arbeiten von Kirchhofer (1976) ermöglicht.

4.2 Definition der zutreffenden Wetterlage

Als zutreffende (=beste) Wetterlage wird definiert:

- für eine NVK: diejenige Wetterlage mit der kleinsten Quadratsumme gegenüber der NVK
- für eine Analyse gelten als zutreffende Wetterlagen:
 - > die "beste" Wetterlage, d.h. diejenige mit der kleinsten Quadratsumme gegenüber der Analyse.
 - > Allfällige weitere Wetterlagen, deren Quadratsumme höchstens 1.0 grösser ist als die der "besten" Wetterlage.

4.3 Trefferrate (TREF)

Mit dem Koeffizienten TREF wird kontrolliert, ob die NVK dieselbe Wetterlage zeigt wie die Analyse des betreffenden Gültigkeitstages.

Tref = 1, falls die "beste" Wetterlage der NVK gleich einer der zutreffenden Wetterlagen der Analyse des Gültigkeitstages ist.

Tref = 0, in den übrigen Fällen, d.h. NVK und Analyse des Gültigkeitstages zeigen nicht dieselbe Wetterlage.

Die Grenze im Ähnlichkeitsmass (Quadratsumme der Differenzen ≤ 12) wird für diesen Koeffizienten nicht berücksichtigt. Es ist interessant zu wissen, ob NVK und Analyse des Gültigkeitstages die gleiche, wenn auch schlecht klassierbare, Wetterlage zeigen.

Die Persistenz der Trefferrate (PTREF) wird ebenfalls berechnet. Wir vergleichen dabei die Ursprungs-Analyse der NVK mit der Analyse des Gültigkeitstages der NVK (siehe auch 5.3).

5. STATISTISCHE KOEFFIZIENTEN

Neben einer Verifikation über das Referenzsystem der Wetterlagenklassifikation muss eine NVK auch direkt mit der entsprechenden Analyse verglichen werden können. Der Vergleich wird mit verschiedenen bekannten statistischen Koeffizienten gemacht.

Für jede NVK werden die folgenden statistischen Koeffizienten berechnet:

- = mittlerer Vorhersagefehler (FEM)
- = mittlerer Vorhersagefehler im Alpenraum (ABW)
- = maximaler Vorhersagefehler (EMX)
- = Standard-Abweichung (STA)
- = Root-mean square (RMS)
- = SI- Skill score (SIS)
- = Tendenz- Korrelationskoeffizient (CCT1 und CCT2)
- = relativer Vorhersagefehler (RFE)
- = Vorzeichen- Korrelationskoeffizient (SIC)
- = Quadratsumme (QS)

Eine Beschreibung dieser Koeffizienten findet sich in Dobryshman (1972), Miyakoda et al.(1972), Hamilton (1982/1985) und Nieminen (1983).

5.1 Definitionen

Nachfolgend werden die einzelnen Koeffizienten definiert und diskutiert. Die Variablen haben dabei folgende Bedeutung:

- $z_p(t)$: Geopotential einer NVK zum Termin t
- $z_o(t)$: Geopotential der Verifikationsanalyse zum Termin der NVK
- $z_o(0)$: Geopotential der Analyse, von der aus die NVK berechnet wurde (Termin t+0)
- N : Anzahl Gitterpunkte (in Numko = 36)
- \sum : ist $\sum_{i=1}^N$, d.h. Summe über alle Gitterpunkte (Ausnahme Koeff.: ABW, siehe Kap. 5.1.2)

$z_p(t)$ und $z_o(t)$ werden für alle statistischen Koeffizienten verwendet. Grundsätzlich wird eine NVK mit der Analyse des Gültigkeitstermines verglichen. $z_o(0)$ wird zusätzlich für die 4 Koeffizienten RFE, SIC, CCT1 und CCT2 und natürlich für alle Persistenz-Aussagen gebraucht.

5.1.1 Mittlerer Vorhersagefehler: FEM

$$FEM = 1/N \sum (z_p(t) - z_o(t))$$

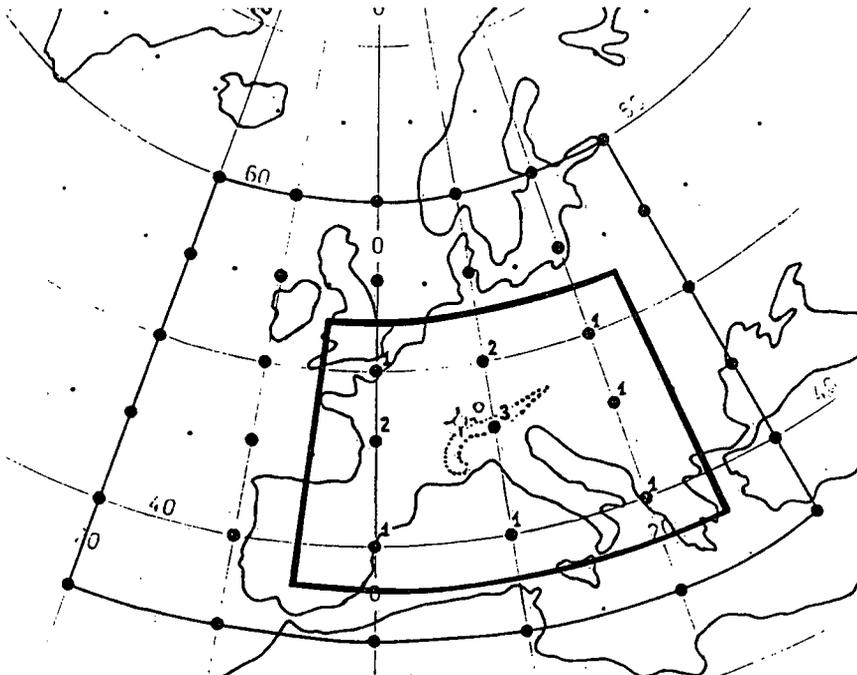
FEM ist ein Mass des mittleren Vorhersagefehlers. Systematische Fehler werden dabei erkannt.

Zu beachten: positive und negative Fehler an einzelnen Gitterpunkten können sich aufheben. Dies ist hingegen beim RMS nicht der Fall.

5.1.2 Mittlerer Vorhersagefehler im Alpenraum: ABW

$$ABW = \frac{1}{\sum \lambda_{i'}} \sum_{i'} \lambda_{i'} (z_{p_{i'}}(t) - z_{o_{i'}}(t)), \text{ wobei } i' = 1 \text{ bis } 9$$

ABW ist das Analogon zu FEM in einem kleinen Ausschnitt des Gitters über dem Alpenraum. Figur 2 zeigt die dabei berücksichtigten 9 Gitterpunkte mit den dazugehörigen Gewichtungsfaktoren $\lambda_{i'}$.



Figur 2:

Ausschnitt des Gitters für die Berechnung von ABW. Angegeben sind die Gewichtungsfaktoren der 9 Gitterpunkte.

5.1.3 Maximaler Vorhersagefehler: EMX

$$EMX = \text{Max} (\text{Abs}(z_p(t) - z_o(t)))$$

Mit EMX werden die maximalen Fehler im Geopotential einer NVK erkannt.

5.1.4 Standardabweichung: STA

$$STA = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum [(z_p(t) - z_o(t)) - FEM]^2}$$

STA ist ein Mass für die relativen Fehler einer NVK. Als einzelner Koeffizient zeigt STA am besten, ob eine NVK richtig vorhergesagt wurde, d.h. ob das synoptische Bild der NVK gut mit der Analyse des Gültigkeitstermins übereinstimmt. In STA sind die Fehler von FEM nicht enthalten.

5.1.5 Root-mean square: RMS

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum [z_p(t) - z_o(t)]^2}$$

RMS ist ein Mass für die absoluten Fehler. Dieser Koeffizient enthält die Information von STA und FEM:

$$RMS = \sqrt{\frac{N-1}{N} STA^2 + FEM^2}$$

5.1.6 S1-Skill score: S1S

$$S1S = 100 \frac{\sum \text{Abs}(\partial_x z_p(t) - \partial_x z_o(t)) + \sum \text{Abs}(\partial_y z_p(t) - \partial_y z_o(t))}{\sum \text{Max}[\text{Abs}(\partial_x z_p(t)), \text{Abs}(\partial_x z_o(t))] + \sum \text{Max}[\text{Abs}(\partial_y z_p(t)), \text{Abs}(\partial_y z_o(t))]}$$

wobei $\partial_x z = \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{z_{i+1,j} - z_{i,j}}{\Delta x}$

$\partial_y z = \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{z_{i,j+1} - z_{i,j}}{\Delta y}$

i, j: Gitterpunktindizes entlang Breite (i) und Länge (j)

Der Koeffizient ist von Teweles und Wobus (1954) entwickelt worden und wird von Thompson und Carter (1972) gut beschrieben. S1S ist ein Mass für die Fehler bei den Gradienten der Geopotentiale, d.h. ein Mass für die Fehler beim geostrophischen Windvektor.

SIS kann Werte zwischen 0 und 200 haben. Typische Werte liegen zwischen 20 und 70. Je kleiner SIS ist, umso besser ist die Vorhersage. SIS gewichtet einzelne sehr falsche Gitterpunktswerte weniger stark als RMS und hat zudem den Vorteil eines normierten Koeffizienten (siehe Kap. 5.2).

5.1.7 Tendenz-Korrelationskoeffizient: CCT

$$CCT = \frac{\mu(z_p(t) - z_o(0), z_o(t) - z_o(0))}{\sqrt{\mu(z_p(t) - z_o(0), z_p(t) - z_o(0)) \cdot \mu(z_o(t) - z_o(0), z_o(t) - z_o(0))}}$$

wobei es für $\mu(a, b)$ 2 Definitionen gibt:
Koeffizient CCT1 und CCT2

CCT1: mit $\mu(a, b) = 1/N \sum (a \cdot b)$ (Miyakoda, 1972)

CCT2: mit $\mu(a, b) = \frac{1}{N-1} \left(\sum (a \cdot b) - N \frac{\sum a}{N} \cdot \frac{\sum b}{N} \right)$ (Hamilton, 1982
Nieminen, 1983)

Der Unterschied zwischen CCT1 und CCT2 ist ähnlich dem Unterschied zwischen STA und RMS (CCT1 \leftrightarrow "RMS²", CCT2 \leftrightarrow "STA²"). CCT ist empfindlich auf Phasenunterschiede. Dieser Koeffizient ist ein Mass für die Fehler der Trog- und Rückenachsen.

Der bekanntere Anomalien-Korrelationskoeffizient ist ähnlich definiert. Statt Änderungen gegenüber dem Initialzustand verwendet er Änderungen gegenüber dem klimatologischen Wert. Für Vergleiche im kurzfristigen Bereich oder für ein definiertes kleinräumiges Gebiet, wie in unserem Fall, wird häufiger der Tendenz-Korrelationskoeffizient verwendet.

Miyakoda (1972) zeigt, dass gemittelt über viele Prognosen und lange Vorhersagetermine ($t \rightarrow \infty$) CCT1 gegen 0.5 strebt, bzw. etwas tiefer, wenn die Modellklimatologie einen systematischen Fehler hat (der Anomalien-Korrelationskoeffizient hingegen strebt gegen 0). Zu beachten ist noch, dass das Verhalten von CCT nicht linear mit dem Fehlerwachstum zusammenhängt (Arpe et al., 1985).

5.1.8 Relativer Vorhersagefehler: RFE

$$RFE = \frac{\sum \text{Abs}(z_p(t) - z_o(t))}{\sum \text{Abs}(z_p(t) - z_o(0))}$$

Unsere Definition lehnt sich an diejenige des Irischen Wetterdienstes an (Hamilton, 1982).

5.1.9 Vorzeichen-Korrelationskoeffizient: SIC

$$SIC = \frac{N_{yes} - N_{no}}{N}$$

wobei: N_{yes} : Anzahl Gitterpunkte wo
 $\text{sign}(z_p(t) - z_o(0)) = \text{sign}(z_o(t) - z_o(0))$

N_{no} : Anzahl Gitterpunkte wo
 $\text{sign}(z_p(t) - z_o(0)) \neq \text{sign}(z_o(t) - z_o(0))$

$$N = N_{yes} + N_{no}$$

SIC ist ein Mass für die korrekte Tendenz der Änderungen der Geopotentiale für den Zeitraum t.

5.1.10 Quadratsumme: QS

$$QS = \sum (\tilde{z}_p(t) - \tilde{z}_o(t))^2$$

wobei \tilde{z} für standardisierte Werte steht (siehe Kap. 4.1)

Bei der Wetterlagenklassifikation wird die Quadratsumme der Gitterpunktdifferenzen zwischen jeder NVK und den 24 Wetterlagen berechnet. Hier hat man die Analyse des Gültigkeitstermins zum Vergleich (anstelle der verschiedenen Wetterlagen). Mit diesem Koeffizienten ist eine quantitative Beurteilung der Quadratsumme bei der Wetterlagenklassifikation möglich (siehe Kap. 8.4).

5.2 Diskussion

Man kann die Koeffizienten in zwei Klassen unterteilen:

- Nicht normierte Koeffizienten: FEM, ABW, EMX, STA, RMS. Diese Koeffizienten haben als Einheit (m). STA und RMS zeigen eine starke jahreszeitliche Schwankung.
- Normierte Koeffizienten: SLS, CCT1, CCT2, RFE, SIC, QS. Diese Koeffizienten sind dimensionslos und zeigen kaum eine jahreszeitliche Abhängigkeit.

Einer der bekanntesten Koeffizienten ist die Standardabweichung. Für eine allgemeine Aussage über die Genauigkeit der NVK betrachten wir diesen Koeffizienten als den am besten geeigneten. Seine grosse jahreszeitliche Schwankung führt aber zu Schwierigkeiten bei den Auswertungen nach Wetterlagen, welche ihrerseits von der Jahreszeit abhängig sind. Da sind der SI-Skillscore und der Tendenz-Korrelationskoeffizient (CCT) weniger problematisch. SLS macht eher eine Aussage über die Güte einer NVK als über die Genauigkeit (Hamilton,1982).

CCT macht eine Aussage über die Genauigkeit einer Vorhersage (hohe Korrelation mit kleinen Fehlern verbunden, kleine Korrelation mit hohen Fehlern). Er kann aber bei Wetterlagen, welche nur eine geringe Entwicklung zeigen, irreführend sein (hohe Korrelation ist ebenfalls verbunden mit wenig Entwicklung (Nieminen,1983)).

Die WMO (1965) hatte schon sehr früh STA und CCT1 als die am besten geeigneten Koeffizienten empfohlen.

Neben dem Tendenz-Korrelationskoeffizienten, welcher heute in der Form von CCT2 Verwendung findet, wird - besonders für globale Modelle - der Anomalien-Korrelationskoeffizient häufig angewendet.

Der mittlere Vorhersagefehler (FEM oder ABW) dient dem Erkennen von systematischen Fehlern eines Modells und lässt kaum eine Aussage über die Qualität einer Vorhersage zu.

Der "Root mean square" (RMS) ist wahrscheinlich der Koeffizient, welcher am meisten Information enthält und darum sehr beliebt ist. Er hat aber den Nachteil, dass er nicht nur saisonal schwankt, sondern zudem Vorhersagen begünstigt, welche die atmosphärische Variabilität unterschätzen.

Die weiteren Koeffizienten (EMX,RFE,SIC) sind weit weniger verbreitet. Wir haben sie berechnet, um allfällige Unterschiede der Modelle nach der Wetterlagenklassifikation aufzudecken.

Wir werden vor allem die folgenden Koeffizienten näher untersuchen: STA, ABW (bzw. FEM), S1S und CCT2.

5.3 Persistenz

Es ist interessant zu wissen, bis zu welchem Resultat eine NVK noch brauchbar ist. Als Mass für diese Aussage verwenden wir die Persistenz. Das heisst, statt einer NVK mit der Analyse des Gültigkeitstages, vergleichen wir die Ursprungs-Analyse der NVK mit der Analyse des Gültigkeitstages der NVK. Wir berechnen die Persistenz für die folgenden Koeffizienten:

- = mittlerer Vorhersagefehler (PFEM)
- = maximaler Vorhersagefehler (PEMX)
- = Standard-Abweichung (PSTA)
- = "Root mean square" (PRMS)
- = S1 Skill score (PS1S)

In den entsprechenden Gleichungen muss einfach $z_p(t)$ durch $z_o(0)$ ersetzt werden. Als Beispiel für PFEM:

$$PFEM = 1/N \sum (z_o(0) - z_o(t))$$

Ist zum Beispiel für einen Vorhersagetermin t STA und PSTA gleich gross, so bedeutet dies für den Prognostiker, dass es für diesen Termin t und in Bezug auf diesen Koeffizienten keine Rolle spielt, ob man die NVK oder die aktuelle Analyse als Prognosenunterlage verwendet!

5.4 Vergleich zwischen den Analysen

Unterschiede zwischen Analysen aus verschiedenen Modellen können beträchtlich sein (Arpe, 1980; Hollingsworth et.al., 1985).

Die Unterschiede zwischen den 12UTC-Analysen vom EZMW- und dem DWD-Modell wurden für folgende Koeffizienten berechnet:

- = mittlerer Vorhersagefehler (AFEM)
- = maximaler Vorhersagefehler (AEMX)
- = Standard-Abweichung (ASTA)
- = "Root mean square" (ARMS)
- = S1 Skill score (AS1S)

In den entsprechenden Gleichungen müssen einfach $z_p(t)$ durch $z_o(0)_{EZMW}$ und $z_o(t)$ durch $z_o(0)_{DWD}$ ersetzt werden.

Als Beispiel für AFEM:

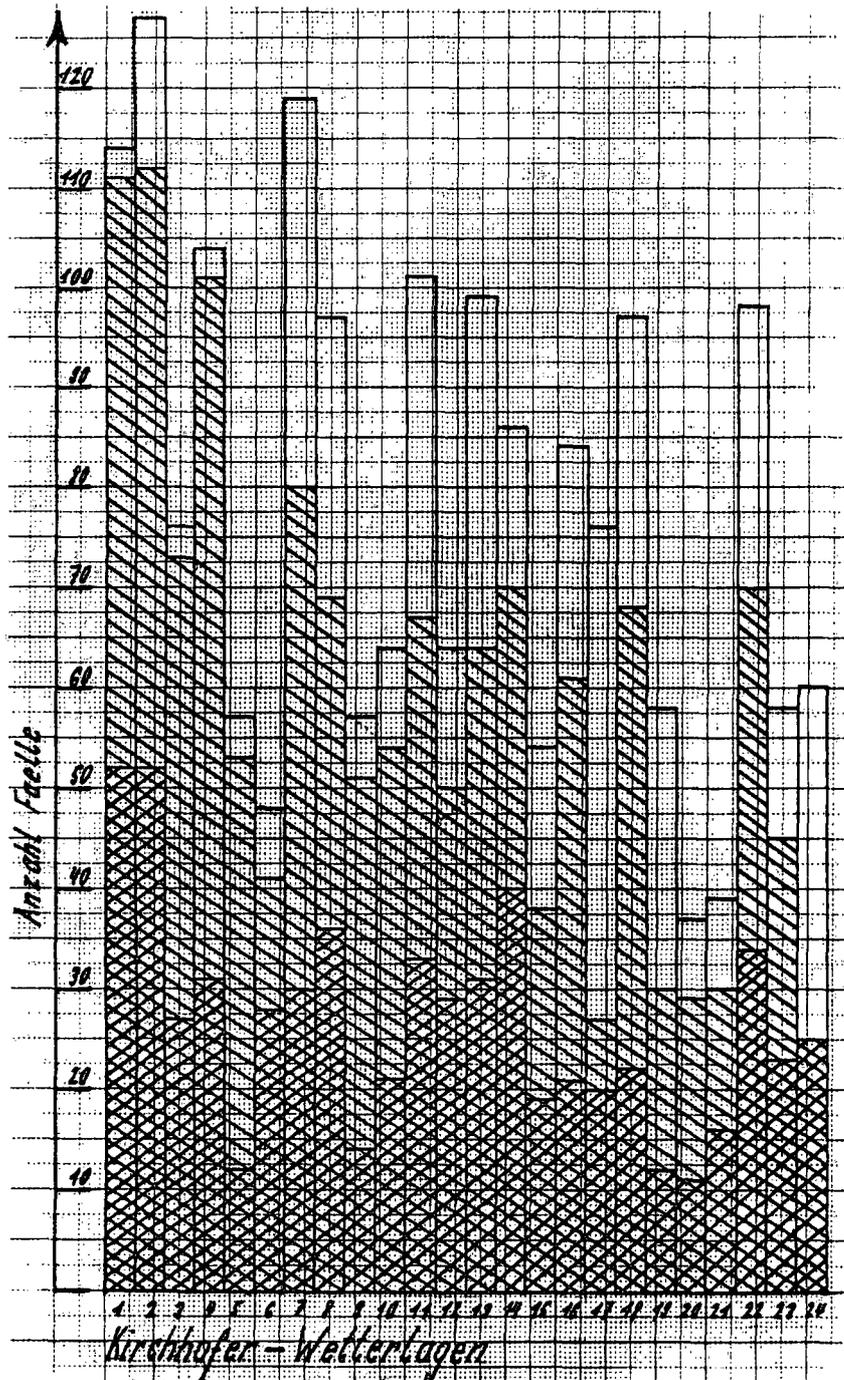
$$AFEM = 1/N \sum (z_o(0)_{EZMW} - z_o(0)_{DWD})$$

Mit diesen Koeffizienten kann abgeschätzt werden, wie entscheidend der Einfluss ist, dass wir für das USA- Modell keine eigene Analyse haben. Ausserdem lassen sich die Unterschiede zwischen EZMW- und DWD- Analysen feststellen (siehe Kap. 8.1).

6. RESULTATE DER WETTERLAGENKLASSIFIKATION

6.1 Klassifikation der Analysen

Anzahl der EZMW 12 UTC Analysen von Dezember 1983 bis November 1987 in den 24 Kirchhofer-Wetterlagen



Figur 3:

□ Anzahl Analysen: Dez. 83 - Nov. 87

▨ Anzahl Analysen mit $QS \leq 12$

▩ Anzahl Analysen mit $QS \leq 12$ im Winterhalbjahr (Nov.-Apr.)

Figur 3 zeigt die Wetterlagenklassifikation der 12UTC-Analysen für die 4-jährige Periode von Dezember 1983 bis November 1987. Die oberste Grenze der Säule gibt die Anzahl Analysen für die entsprechende Wetterlage an. Nach unserer Definition (siehe Kap. 4.2) können mehrere Wetterlagen einer Analyse zugeordnet werden, so dass die Summe aller Fälle grösser ist als die Summe der vorhandenen Analysen (1873 Fälle für 1392 Analysen). Der obere, weisse Anteil der Säule zeigt die Anzahl Fälle, welche nicht eindeutig klassiert werden können (Quadratsumme zur besten Wetterlage > 12). Dieser Anteil variiert stark von einer Wetterlage zur andern (extremes Beispiel: Wetterlage 17, in der nur 36% der Fälle eine Quadratsumme ≤ 12 haben). Insgesamt können 25% der Analysen nicht eindeutig klassiert werden (siehe auch Kap. 6.3).

Der schraffierte Teil der Säule gibt die Anzahl Fälle an, welche eindeutig klassiert werden können (Quadratsumme zur besten Wetterlage ≤ 12). Die Wetterlagen 1, 2 und 4 kommen mehr als 100mal vor. Im Gegensatz dazu sind die Wetterlagen 17, 20 und 24 weniger als 30mal aufgetreten.

Der doppelt schraffierte Teil der Säule zeigt die Anzahl Fälle, welche im Winterhalbjahr - jeweils von November bis April - eindeutig klassiert werden können. Im Winterhalbjahr konnten weniger Fälle klassiert werden als im Sommer (45% zu 55%). Es fällt auf, dass einige Wetterlagen eine starke saisonale Abhängigkeit aufweisen: 9 Wetterlagen (WL 3, 4, 5, 7, 9, 10, 16, 18 und 20) treten mit mehr als 60% Wahrscheinlichkeit im Sommerhalbjahr, 3 Wetterlagen (WL 6, 17 und 24) treten mit mehr als 60% Wahrscheinlichkeit im Winterhalbjahr auf. Wetterlage 24 kommt überhaupt nur im Winterhalbjahr vor. Diese jahreszeitliche Abhängigkeit muss in Kap. 7 mitberücksichtigt werden.

6.2 Anwendung im Wetterdienst

Die eingehenden NVK werden automatisch mit den "Kirchhofer-Wetterlagen" verglichen und klassiert. Für den 00UTC - und den 12UTC-Termin wird je ein Ausdruck erstellt, der die Klassierung der Analyse und der vorhandenen Vorhersagetermine beinhaltet. Die Vorhersagen der 2, resp. 3 vorhandenen Modelle werden nebeneinander dargestellt. So ist ein direkter Vergleich möglich. Aufgeführt wird die beste und die zweitbeste zur Karte korrelierende Wetterlage (WL) mit der dazu berechneten Quadratsumme. Im weiteren wird das mittlere Niveau des Feldes (MNIV) aufgeführt. Somit ist hier der Trend des Geopotentials sofort ersichtlich. Es lässt sich nun rasch feststellen, ob die Modelle eine ähnliche Entwicklung zeigen oder ob im Prognosenverlauf zum Teil unterschiedliche Wetterlagen dargestellt werden.

WETTERLAGENKLASSIFIKATION NACH W. KIRCHHOFER DER NVK
 =====

PREVI - TAG	10. NOV 87 12Z U S A	10. NOV 87 12Z D W D	10. NOV 87 12Z E Z M W
A N A L Y S I S	WL 11 / 5.5 WL 12 / 7.1 MNIV 558.8	WL 11 / 5.5 WL 12 / 7.1 MNIV 558.8	WL 11 / 4.8 WL 4 / 7.3 MNIV 559.4
10. NOV 87 12Z + 24 H	WL 12 / 2.7 WL 2 / 5.0 MNIV 557.2	WL 12 / 3.7 WL 2 / 4.5 MNIV 556.2	WL 12 / 3.4 WL 2 / 4.4 MNIV 559.6
10. NOV 87 12Z + 48 H	WL 2 / 2.8 WL 1 / 4.9 MNIV 553.5	WL 2 / 3.0 WL 1 / 4.3 MNIV 554.9	WL 2 / 2.4 WL 1 / 4.2 MNIV 558.9
10. NOV 87 12Z + 72 H	WL 0 / 0.0 WL 0 / 0.0 MNIV 0.0	WL 1 / 1.8 WL 2 / 4.4 MNIV 555.5	WL 1 / 1.5 WL 2 / 5.0 MNIV 559.3
10. NOV 87 12Z + 96 H	WL 0 / 0.0 WL 0 / 0.0 MNIV 0.0	WL 6 / 3.8 WL 1 / 4.5 MNIV 555.9	WL 3 / 3.5 WL 14 / 4.3 MNIV 556.4
10. NOV 87 12Z +120 H	WL 0 / 0.0 WL 0 / 0.0 MNIV 0.0	WL 0 / 0.0 WL 0 / 0.0 MNIV 0.0	WL 6 / 5.8 WL 11 / 6.6 MNIV 562.0
10. NOV 87 12Z +144 H	WL 0 / 0.0 WL 0 / 0.0 MNIV 0.0	WL 0 / 0.0 WL 0 / 0.0 MNIV 0.0	WL 4 / 3.7 WL 11 / 5.4 MNIV 568.5
10. NOV 87 12Z +168 H	WL 0 / 0.0 WL 0 / 0.0 MNIV 0.0	WL 0 / 0.0 WL 0 / 0.0 MNIV 0.0	WL 8 / 3.5 WL 11 / 4.4 MNIV 568.6

Figur 4:

Prognosenset vom 10. Nov. 1987 mit den den NVK zugeordneten Wetterlagen (WL) und dem mittleren Geopotential (MNIV).

Auf der Folgeseite des täglichen Ausdrucks werden die zu den Wetterlagen gehörenden Wetterparameter der Stationen Säntis, Zürich, Genf, Davos und Lugano für die entsprechende Pentade dargestellt.

(T = Tagesmitteltemperatur, S = mittl. Sonnenscheindauer, R1 = Wahrscheinlichkeit für mindestens 1 mm Niederschlag, Wahrscheinlichkeit für 10 oder mehr mm Niederschlag ; nach Kirchhofer, 1976). Man erhält so einen ersten Überblick über das zu erwartende Wetter, vor allem, wenn nur die 500 hPa- Karten vorhanden sind.

WETTERLAGE	PENTADE	STATION	T	S	R1	R10
1	64	SAENTIS	-5.3	1.0	86.7	50.0
1	64	ZUERICH	6.4	1.6	53.3	23.3
1	64	GENF	7.6	0.8	46.7	23.3
1	64	DAVOS	0.5	3.0	40.0	10.0
1	64	LUGANO	8.9	4.4	23.3	6.7
WETTERLAGE	PENTADE	STATION	T	S	R1	R10
2	64	SAENTIS	-3.3	2.8	76.7	53.3
2	64	ZUERICH	6.4	1.5	56.7	16.7
2	64	GENF	7.1	1.4	50.0	20.0
2	64	DAVOS	1.4	2.5	56.7	10.0
2	64	LUGANO	8.1	2.9	36.7	13.3
WETTERLAGE	PENTADE	STATION	T	S	R1	R10
3	64	SAENTIS	-10.5	0.4	90.0	60.0
3	64	ZUERICH	0.5	-0.1	70.0	23.3
3	64	GENF	2.1	1.2	40.0	6.7
3	64	DAVOS	-4.7	0.7	70.0	23.3
3	64	LUGANO	6.9	4.7	20.0	10.0
WETTERLAGE	PENTADE	STATION	T	S	R1	R10
4	64	SAENTIS	0.0	8.1	40.0	20.0
4	64	ZUERICH	9.0	5.5	40.0	20.0
4	64	GENF	8.7	4.0	40.0	16.7
4	64	DAVOS	3.4	6.1	16.7	0.0
4	64	LUGANO	8.9	2.5	23.3	6.7
WETTERLAGE	PENTADE	STATION	T	S	R1	R10
6	64	SAENTIS	-4.7	1.5	80.0	50.0
6	64	ZUERICH	5.9	0.7	60.0	16.7
6	64	GENF	7.0	1.5	46.7	20.0
6	64	DAVOS	0.1	2.2	66.7	23.3
6	64	LUGANO	8.7	5.2	6.7	3.3
WETTERLAGE	PENTADE	STATION	T	S	R1	R10
8	64	SAENTIS	-2.4	5.9	46.7	20.0
8	64	ZUERICH	6.0	2.6	53.3	13.3
8	64	GENF	7.0	2.1	46.7	16.7
8	64	DAVOS	1.5	4.0	30.0	3.3
8	64	LUGANO	7.9	2.3	40.0	20.0
WETTERLAGE	PENTADE	STATION	T	S	R1	R10
11	64	SAENTIS	-4.0	4.2	46.7	26.7
11	64	ZUERICH	5.7	2.8	33.3	10.0
11	64	GENF	6.1	3.3	16.7	10.0
11	64	DAVOS	0.1	3.7	43.3	3.3
11	64	LUGANO	7.9	5.1	16.7	6.7
WETTERLAGE	PENTADE	STATION	T	S	R1	R10
12	64	SAENTIS	-1.5	5.7	40.0	20.0
12	64	ZUERICH	6.9	2.7	43.3	6.7
12	64	GENF	7.7	2.0	40.0	10.0
12	64	DAVOS	1.9	4.2	30.0	3.3
12	64	LUGANO	8.6	2.4	23.3	13.3

Figur 5:

Die im Prognosenset vom 10. Nov. 1987 aufgeführten Wetterlagen mit den für die Pentade ermittelten Werten von Temperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlagswahrscheinlichkeit.

6.3 Anteil der nicht klassierbaren Wetterlagen

25% der Analysen haben eine Quadratsumme >12 zur jeweilig besten Wetterlage und werden somit für die wetterlagenabhängigen Resultate in Kap. 7 nicht berücksichtigt. Die absolut grösste Quadratsumme einer Analyse zur besten Wetterlage beträgt 81.6 (Analyse vom 14.3.1984 00UTC zur Wetterlage 7). Diese Quadratsumme

ist beinahe so gross wie die grösste Quadratsumme zwischen zwei Wetterlagen (siehe Kap. 4.1).

Häufig kommen mehrtägige Perioden vor, die ununterbrochen nicht klassierbar sind, d.h. deren Quadratsummen >12 zur besten Wetterlage betragen. Die längste solche Periode dauerte 16 1/2 Tage vom 30.1. bis zum 15.2. 1986. Es sind vorwiegend Lagen mit Tiefdruckgebieten im südlichen Teil des Gitters (Spanien - Mittelmeer) und mit Hochdruckgebieten im nördlichen Teil (Nordsee-Skandinavien), welche nicht klassiert werden können.

6.4 Persistenz der Wetterlagen

Anhand der DWD-Analysen, welche alle 12 Std. vorliegen, konnte die Persistenz der Wetterlagen untersucht werden. Im Mittel dauert eine Wetterlage 36 Stunden. In nur 4% der Fälle ist dieselbe Wetterlage über 5 Tage hinaus persistent geblieben.

7. WETTERLAGENABHÄNGIGE RESULTATE

7.1 Beschreibung

Im folgenden werden die von der Wetterlage abhängigen Unterschiede im Verhalten der verschiedenen Modelle erläutert. Diese Unterschiede sind durch Vergleiche mit den über den gesamten Datensatz gemittelten Werten festgestellt worden.

Mehrere Wetterlagen zeigen eine jahreszeitliche Abhängigkeit (siehe Kap 6.1). Nicht normierte Koeffizienten (siehe Kap. 4.2) zeigen ebenfalls eine jahreszeitliche Schwankung (im Sommerhalbjahr "gute" Resultate, im Winter "schlechte"). Bei der Untersuchung der relativen Güte der Modelle innerhalb jeder Wetterlage wirkt sich dies nicht störend aus. Bei der Beurteilung, ob einzelne Wetterlagen besser bzw. schlechter prognostizierbar sind, muss die saisonale Schwankung jedoch berücksichtigt werden.

Die Vergleichsgrafiken der Mittelwerte der verschiedenen Koeffizienten (ABW, FEM, STA, S1S, CCT2) aller Wetterlagen sind in Kap.8 dargestellt. Bei der Beschreibung der einzelnen Wetterlagen in diesem Abschnitt wird für jede Wetterlage diejenige Grafik gezeigt, welche die signifikantesten Unterschiede gegenüber den Vergleichsgrafiken der Mittelwerte (Figuren 6-8) zeigt.

Man beachte, dass die aufgeführte Wetterlage der Ausgangsanalyse für das Prognosenset entspricht. Aufgeführte Unterschiede geben an, wie die verschiedenen Modelle die daraus abgeleiteten Prognosen behandeln.

Legende:

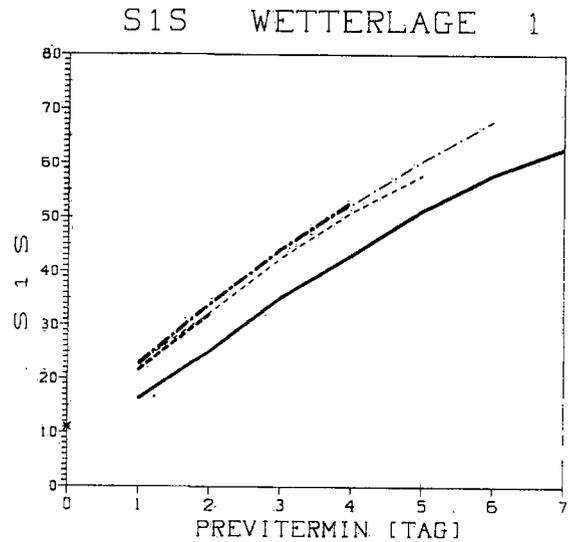
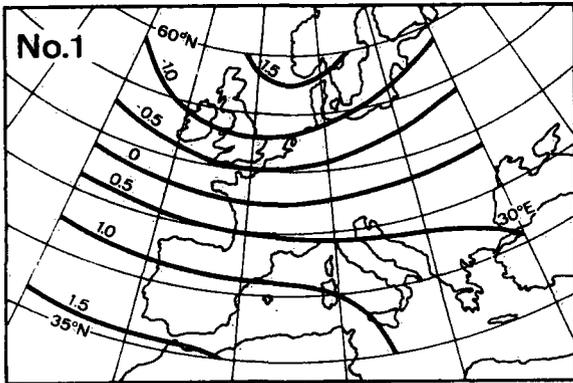
feiner Strich: Ausgangsanalyse 00-UTC
breiter Strich: Ausgangsanalyse 12-UTC

————— EZMW-Modell
- - - - - DWD-Modell
- - - - - USA-Modell

Winter: November - April
Sommer: Mai - Oktober

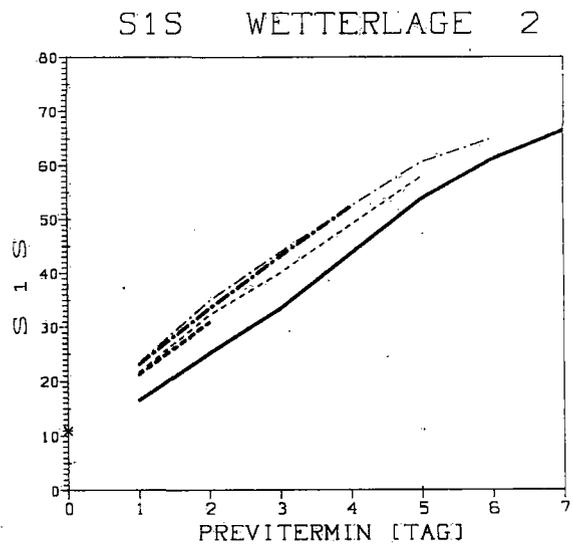
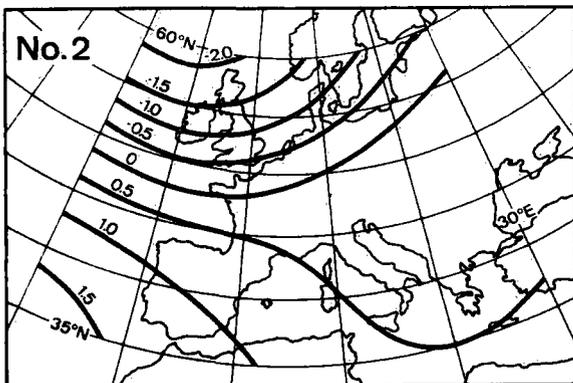
7.2 Die Wetterlagen

Wetterlage 1: (111 Fälle: Winter 52, Sommer 59)



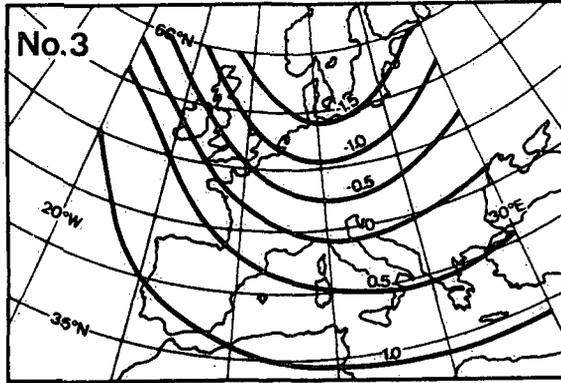
Die USA-NVK zeigen oft Schwächen und sind nur noch wenig besser als jene des DWD. Die Gradienten (S1S) werden dabei von allen Modellen am besten erfasst, insbesondere vom EZMW-Modell im Mittelfristbereich.

Wetterlage 2: (112 Fälle: Winter 52, Sommer 60)

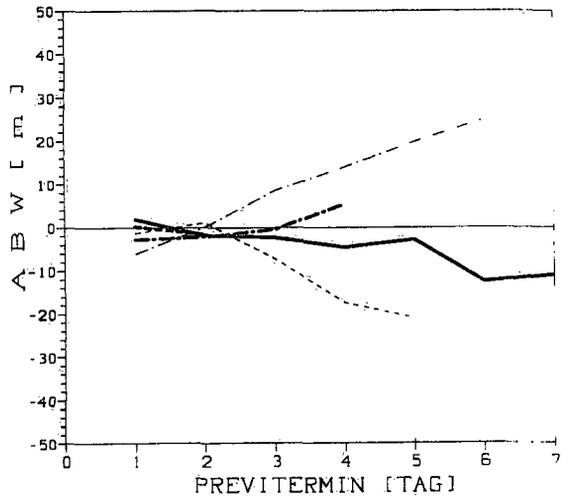


Es sind keine Abweichungen gegenüber der allgemeinen Qualität feststellbar. Auch hier werden die Gradienten (S1S) in der Folge am besten erfasst.

Wetterlage 3: (73 Fälle: Winter 27, Sommer 46)

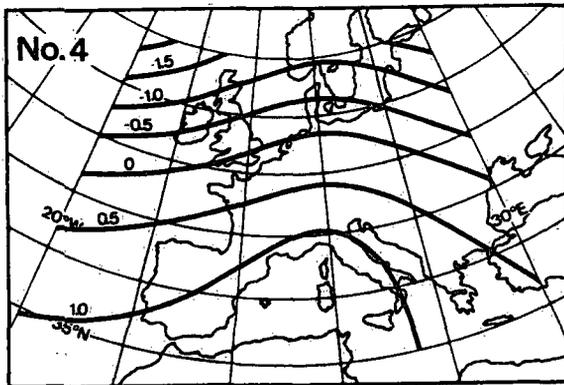


ABW WETTERLAGE 3

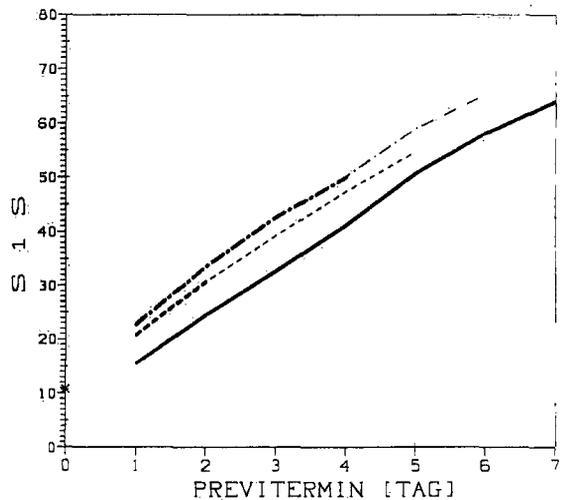


Das USA-Modell vertieft im weiteren Verlauf den Trog zu stark, erfasst aber sonst die Entwicklung besser als üblich. Das EZMW-Modell zeigt grössere Abweichungen bei der Erfassung der Trogachse (CCT2).

Wetterlage 4: (101 Fälle: Winter 31, Sommer 70)

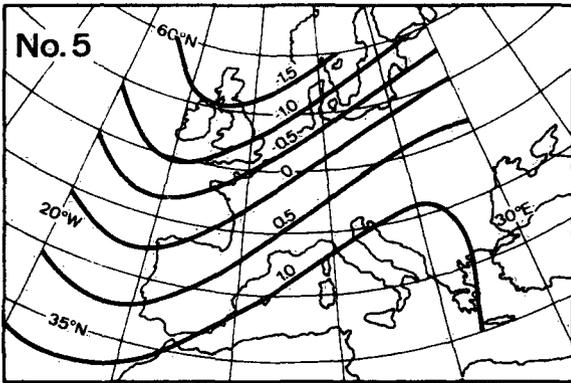


S1S WETTERLAGE 4

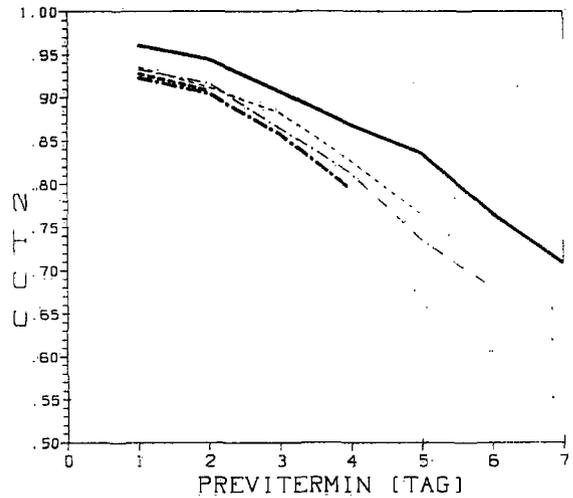


Bei diesen zonalen Ausgangslagen, die hauptsächlich im Sommer vorkommen, zeigen alle Modelle bessere Vorhersagen als üblich. Insbesondere gilt dies für das EZMW-Modell im Mittelfristbereich.

Wetterlage 5: (53 Fälle: Winter 12, Sommer 41)

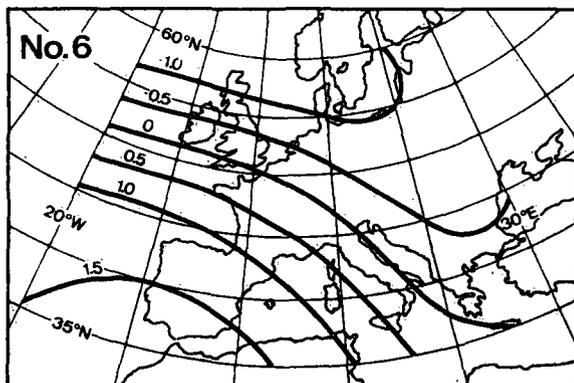


CCT2 WETTERLAGE 5

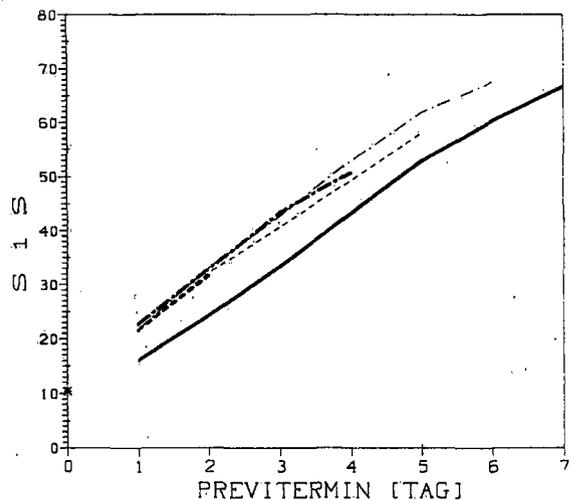


Bei dieser Ausgangslage zeigt das DWD-Modell besonders im Winter gute Prognosen. Oft wird die Qualität des USA-Modells erreicht. Der Vorsprung des EZMW-Modells ist etwas geringer als üblich.

Wetterlage 6: (41 Fälle: Winter 28, Sommer 13)

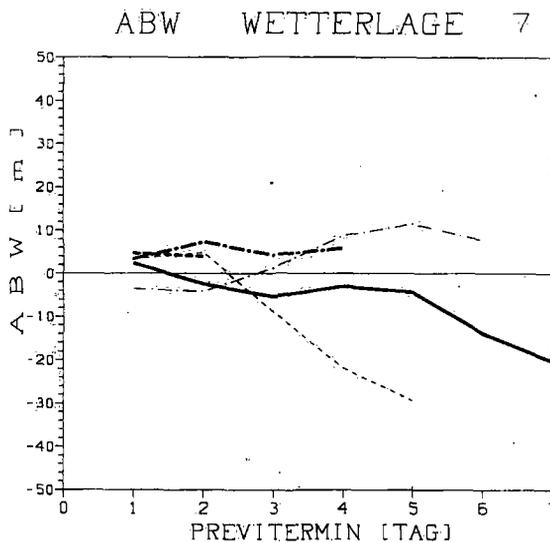
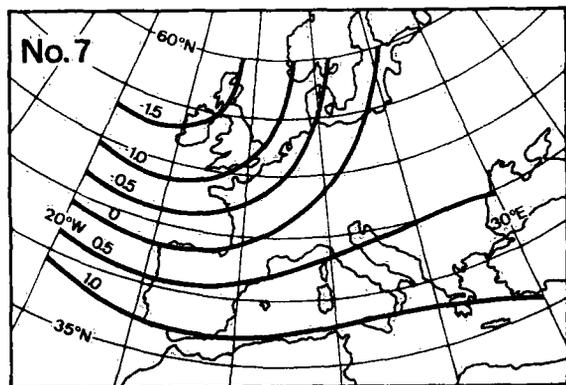


S1S WETTERLAGE 6



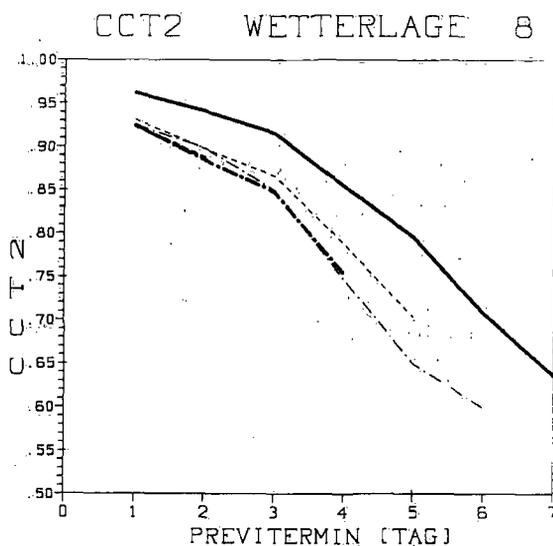
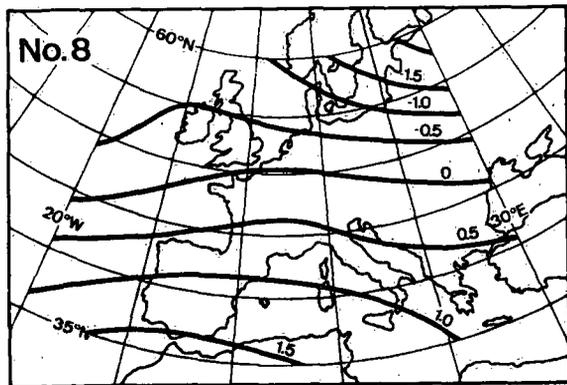
Bei der Erfassung des weiteren Verlaufs weisen im Kurzfristbereich alle Modelle beim S1S eine etwas bessere Qualität als üblich auf. Ab Tag +4 zeigen sie dann allerdings grosse Unsicherheiten und fallen bei STA und CCT2 gar unter den üblichen Standard.

Wetterlage 7: (80 Fälle: Winter 30, Sommer 40)



Das USA-Modell "vertieft" im weiteren Verlauf besonders im Alpenraum zu stark. Sonst sind keine Abweichungen gegenüber der mittleren Qualität der Modelle feststellbar.

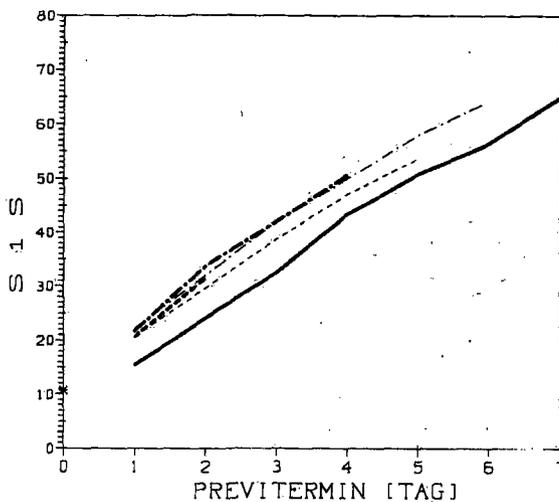
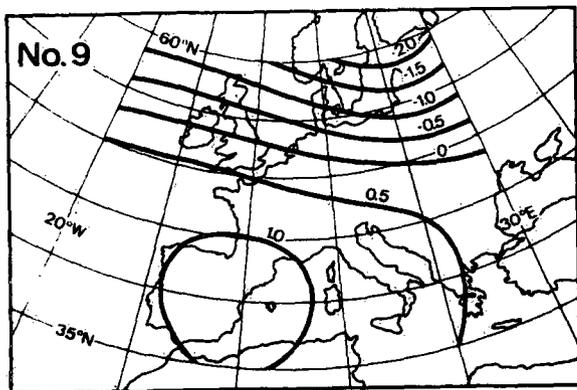
Wetterlage 8: (69 Fälle: Winter 36, Sommer 33)



Bei dieser Ausgangslage widerspiegeln die Prognosekarten die mittlere zu erwartende Qualität. Das DWD-Modell fällt beim CCT2 stark ab. Im Sommerhalbjahr sind die Ergebnisse deutlich besser als im Winter.

Wetterlage 9: (52 Fälle: Winter 14, Sommer 38)

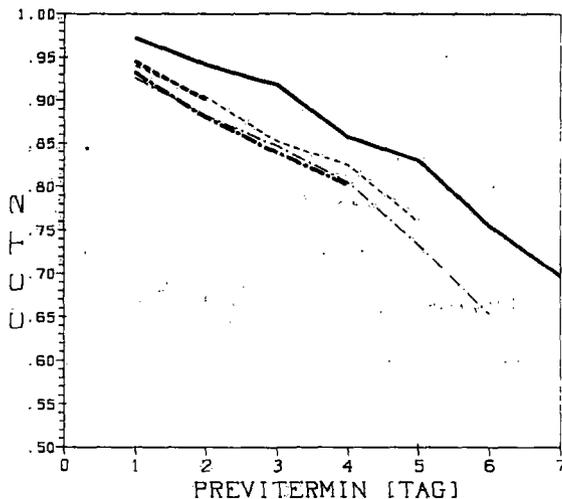
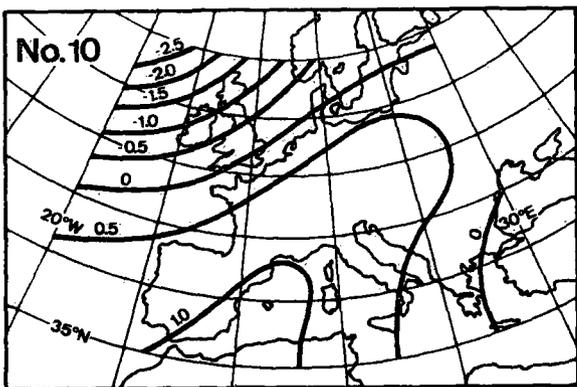
S1S WETTERLAGE 9



Alle Modelle zeigen in der Folge leicht bessere Prognosen, wobei vor allem das DWD-Modell, zum Teil aber auch das USA-Modell gegenüber dem EZMW-Modell eine Steigerung aufweisen. Das Geopotential wird vom DWD-Modell zu hoch angegeben.

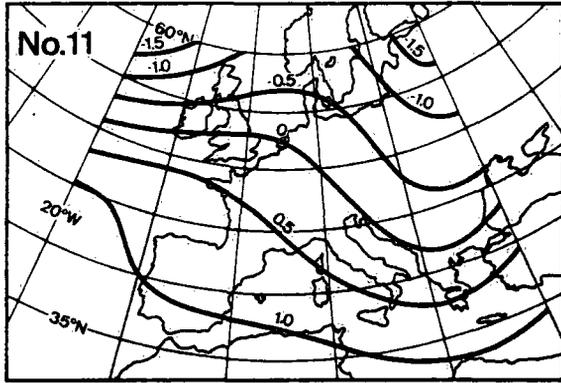
Wetterlage 10: (54 Fälle: Winter 21, Sommer 33)

CCT2 WETTERLAGE 10

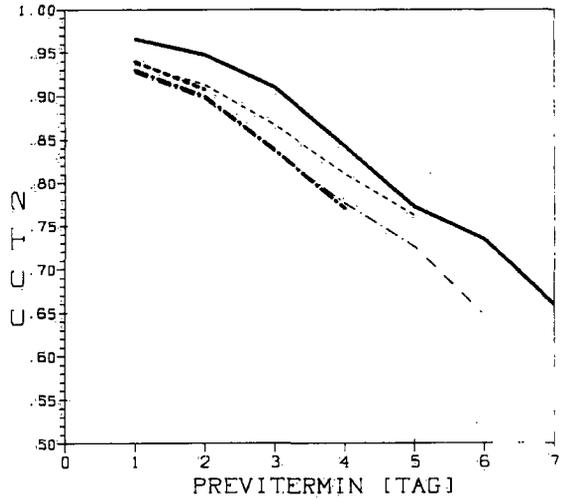


Während das DWD-Modell die übliche Qualität halten kann (beim CCT2 sogar etwas besser), erreichen die USA- und speziell die EZMW-NVK ab Tag +3 nicht mehr den gewohnten Standard.

Wetterlage 11: (67 Fälle: Winter 33, Sommer 34)

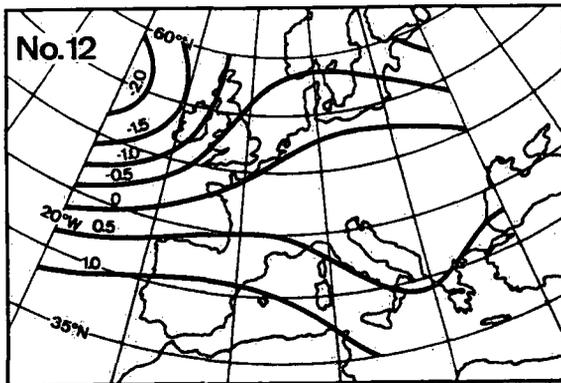


CCT2 WETTERLAGE 11

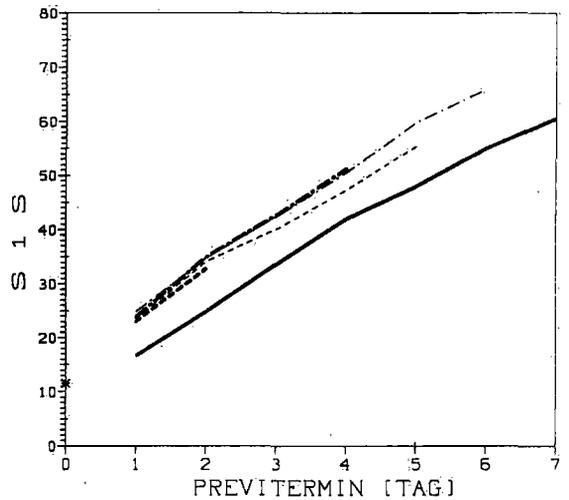


Beim SIS zeigen alle Modelle gute Resultate, wobei die USA-NVK die grösste Steigerung erfahren. Beim CCT2 fällt das EZMW-Modell ungewohnt stark ab.

Wetterlage 12: (50 Fälle: Winter 24, Sommer 26)

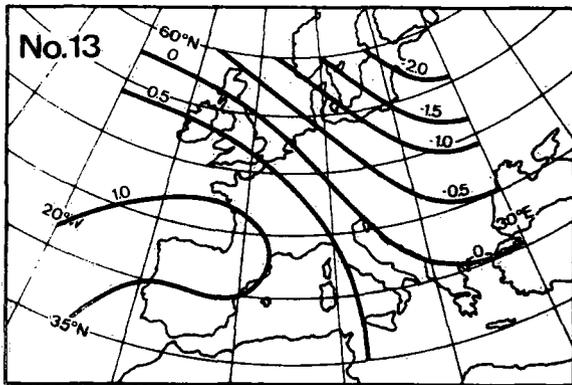


SIS WETTERLAGE 12

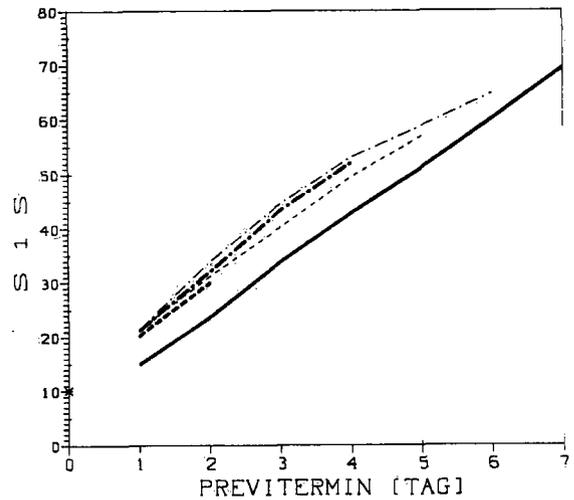


Alle 3 Modelle erfassen die Systeme gut. Das EZMW-Modell vergrössert den Vorsprung am Tag +5 auf 28 Std. gegenüber dem USA-Modell und auf 38 Std. gegenüber dem DWD-Modell.

Wetterlage 13: (63 Fälle: Winter 31, Sommer 32)

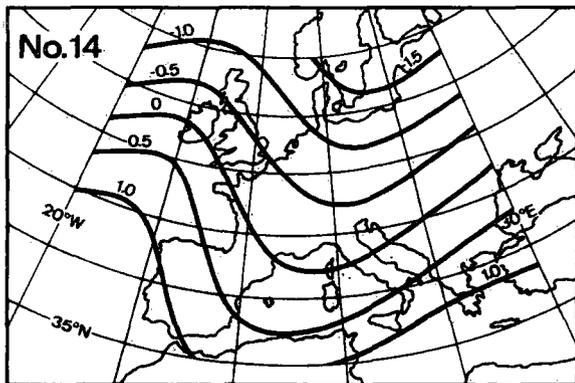


S1S WETTERLAGE 13

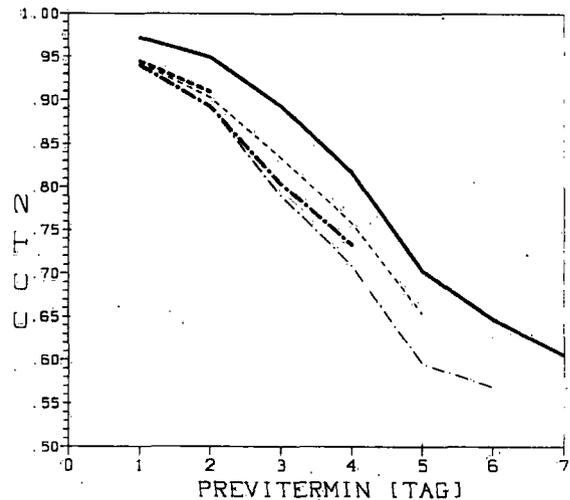


Die Gradienten und die Trog- und Rückenachsen werden von den 3 Modellen gut erfasst. Im Mittelfristbereich ab Tag +5 zeigen nur noch die DWD-NVK eine bessere Qualität gegenüber dem Mittel.

Wetterlage 14: (70 Fälle: Winter 40, Sommer 30)

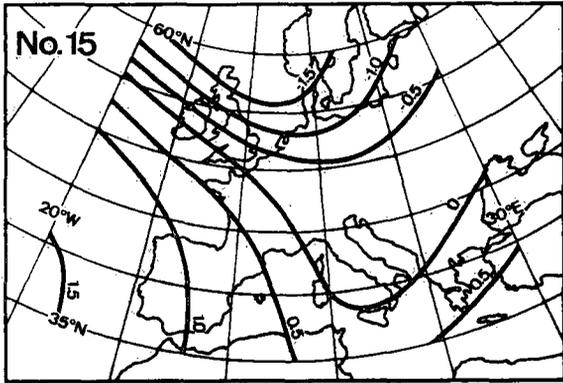


CCT2 WETTERLAGE 14

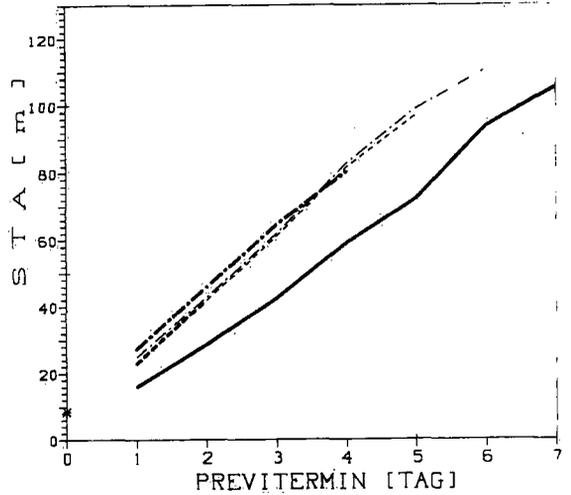


Bei dieser Wetterlage haben die Modelle ab Tag +3 "Mühe". Während das Geopotential noch einigermaßen erfasst wird, zeigen die anderen Koeffizienten grosse Abweichungen. Schwierig erfassbar scheint die Verlagerung des Troges zu sein (CCT2).

Wetterlage 15: (38 Fälle: Winter 19, Sommer 19)

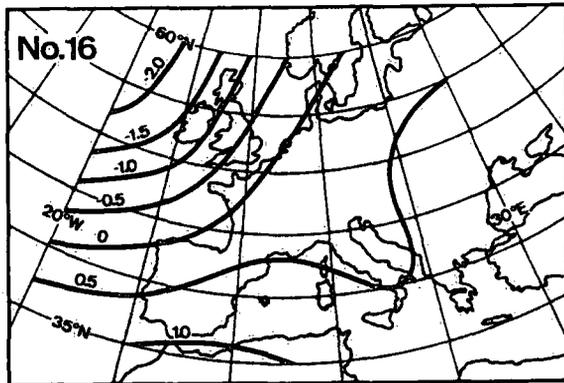


STA WETTERLAGE 15

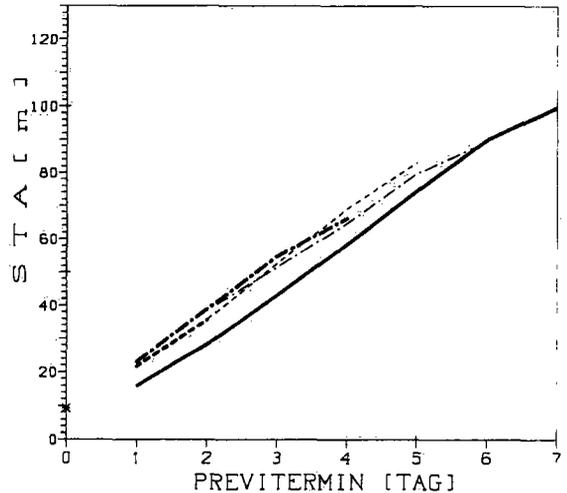


Bei dieser Wetterlage zeigen USA- und DWD-Modell grosse Abweichungen, während das EZMW-Modell die mittlere Güte halten kann. Es steigert den Vorsprung ab Tag +4 auf 30 Std.

Wetterlage 16: (61 Fälle: Winter 21, Sommer 40)

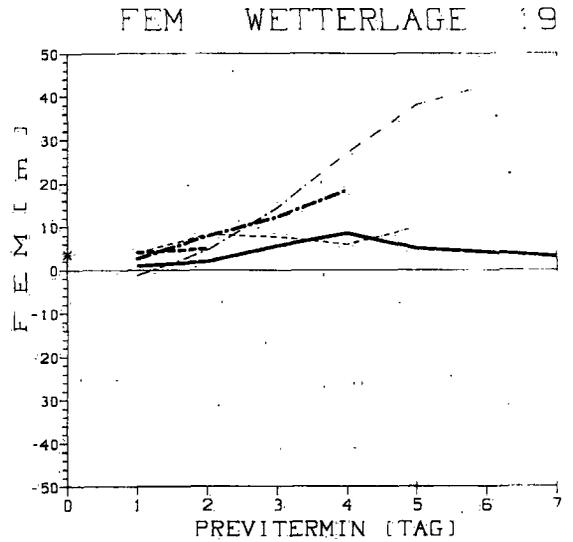
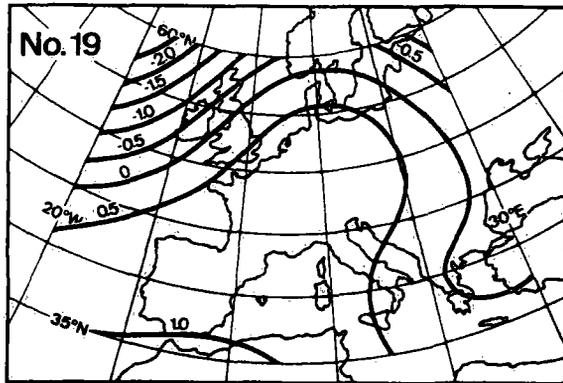


STA WETTERLAGE 16



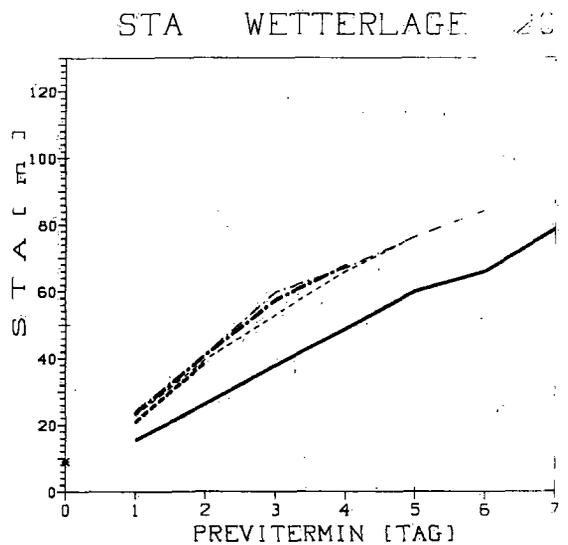
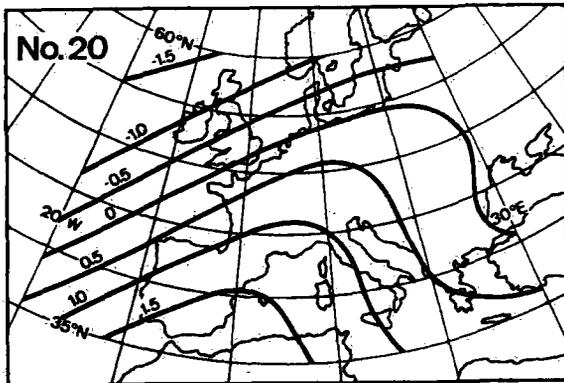
Das EZMW-Modell zeigt, besonders beim SIS, weniger gute Resultate als üblich. Das DWD- und das USA-Modell hingegen erfassen die Folgeentwicklung recht gut. Bei STA erreichen die DWD-NVK beim Tag +6 EZMW-Qualität!

Wetterlage 19: (30 Fälle: Winter 12, Sommer 18)



Ausser dem zu starken Geopotentialanstieg durch das DWD-Modell sind keine Abweichungen gegenüber den allgemeinen Aussagen feststellbar.

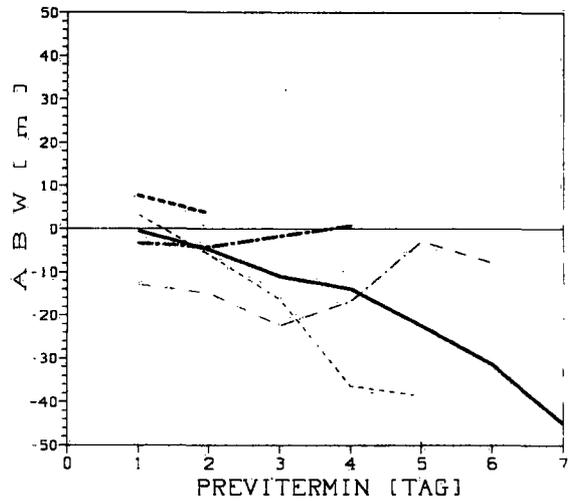
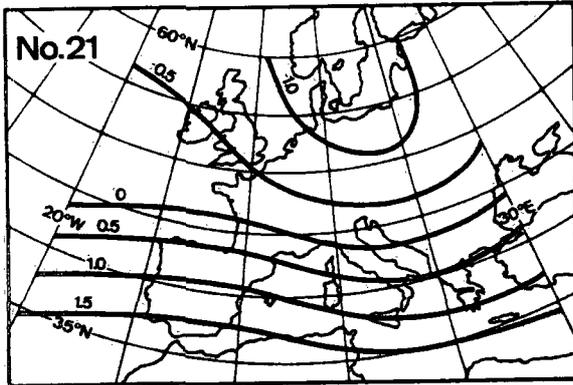
Wetterlage 20: (29 Fälle: Winter 11, Sommer 18)



Hier ist ein besonders grosser Vorsprung des EZMW-Modells erkennbar (ab Tag +4 ca. 36 Std.). Während DWD- und USA-Modell bis Tag +3 einen normalen Qualitätsabfall zeigen und sich dann verbessern, weist das EZMW eine konstant gute Qualität auf.

Wetterlage 21: (30 Fälle: Winter 16, Sommer 14)

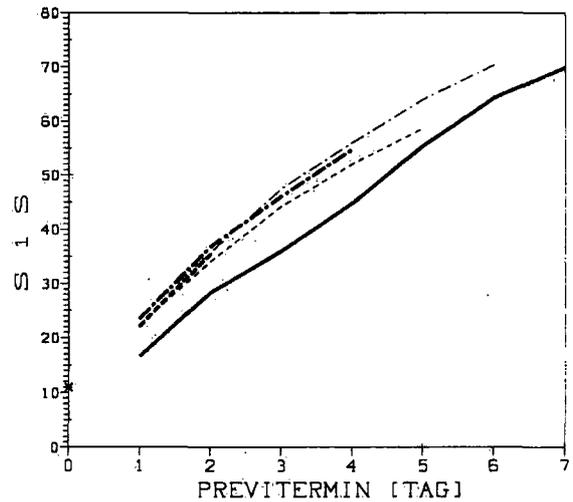
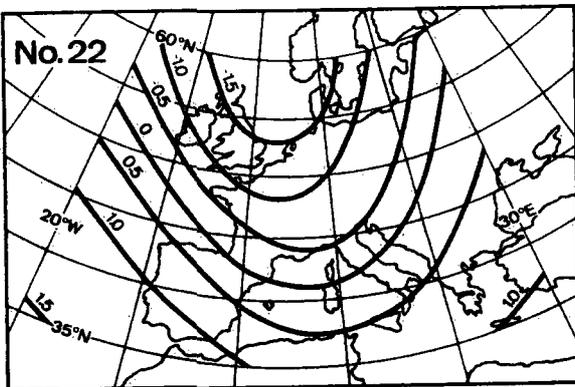
ABW WETTERLAGE 21



EZMW- und USA-Modell haben in der Folge einen zu starken Niveau-Abfall, sonst aber übliche Qualität (beim CCT2 etwas weniger). Das DWD-Modell zeigt bei STA grosse Unterschiede zwischen dem meist besseren 12 UTC-Prognosenset und dem 00 UTC-Lauf.

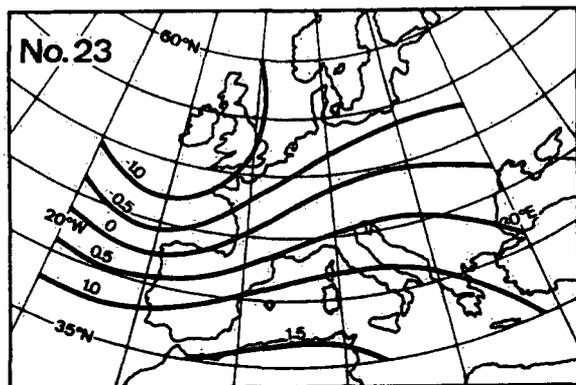
Wetterlage 22: (70 Fälle: Winter 34, Sommer 36)

S1S WETTERLAGE 22

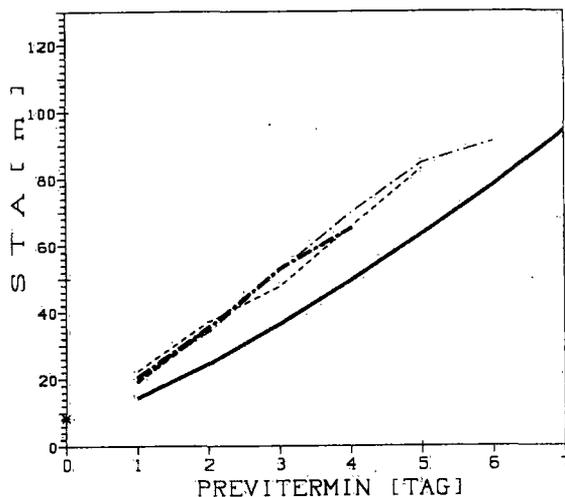


Alle Modelle zeigen bis Tag +2 eine geringere Qualität, erfassen aber mittelfristig die Entwicklung im üblichen Rahmen.

Wetterlage 23: (45 Fälle: Winter 23, Sommer 22)

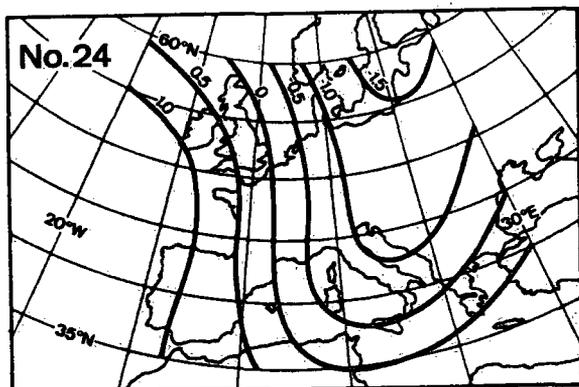


STA WETTERLAGE 23

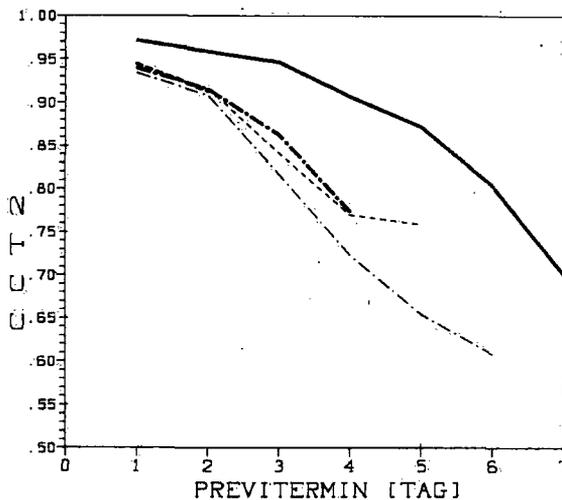


Für diese Ausgangswetterlage zeigt wiederum das EZMW-Modell die besten Resultate, obwohl es den Trog zu stark vertieft. Die beiden andern Modelle zeigen den gewohnten Standard.

Wetterlage 24: (25 Fälle: Winter 25, Sommer 00)



CCT2 WETTERLAGE 24



Diese Ausgangswetterlage, die nur im Winter vorkommt, zeigt in den Prognosen grosse Abweichungen. Die Verlagerung wird vom EZMW-Modell gut erfasst (CCT2). USA- und DWD-Modell weichen stark ab. Beide geben im weiteren Verlauf einen viel zu starken Anstieg des Geopotentials im Alpenraum an.

8. ALLGEMEINE RESULTATE

8.1 Unterschiede zwischen EZMW- und DWD 12UTC Analysen

Es fällt auf, dass das mittlere Niveau der DWD-Analysen systematisch tiefer liegt als jenes der EZMW-Analysen (Koeffizient AFEM). Im Mittel über die 4 betrachteten Jahre sind es 4.5 m, am 25.1.1986 waren es gar 12.1 m. Nur gerade an 14 Tagen war das mittlere Niveau des DWD-Modells höher als jenes des EZMW. An einzelnen Gitterpunkten können die Unterschiede recht beträchtlich sein (Koeffizient AEMX). Der absolut grösste Unterschied an einem Gitterpunkt betrug 83 m (am 12.3.1986 bei 50N, 20W). An 17 Tagen war dieser maximale Unterschied über 60 m. Gemittelt über die 4 Jahre sind es 26.6 m. Die Standardabweichung hat einen Wert von 8.6 m, der Root-mean square von 9.7 m, und der SI-Skillscore beträgt 11.4.

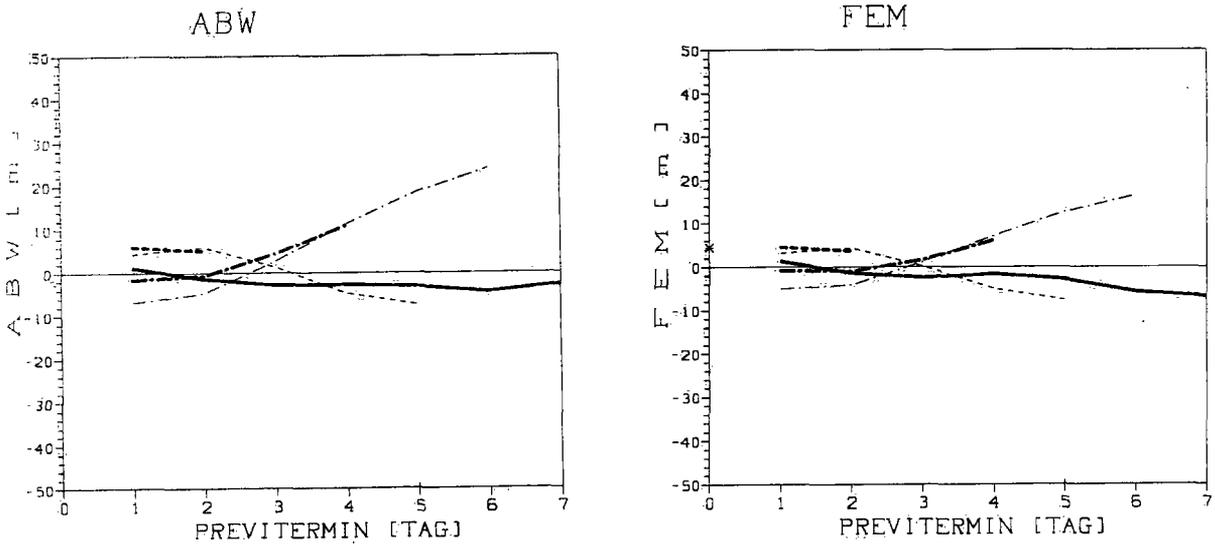
Ein Teil der Differenzen ist darauf zurückzuführen, dass die Geopotentiale auf das "Kirchhofer-Gitter" bikubisch interpoliert werden. Die Gitterpunktswerte, die bei uns täglich im real-time Betrieb eintreffen, sind ihrerseits schon interpolierte Werte aus dem Modell-Geopotential. Systematische oder lokal grosse Abweichungen sind deswegen aber nicht zu erwarten.

Mögliche Ursachen solcher Unterschiede werden in Arpe (1980) und Hollingsworth et al. (1985) diskutiert. Die Tatsache, dass die USA-NVK nicht mit den modelleigenen Analysen kontrolliert werden können, ist also nicht vernachlässigbar, aber schwer quantifizierbar.

8.2 Qualitätsunterschiede der Modelle

Die Auswertungen nach den einzelnen statistischen Koeffizienten zeigen zusammengefasst die Qualität der drei Modelle. Sie umfassen die gesamte Zeitperiode von Dezember 1983 bis November 1987. In dieser Zeit sind an den einzelnen Modellen verschiedene Veränderungen vorgenommen worden, so dass die Interpretation nur bedingt den heutigen Stand widerspiegelt.

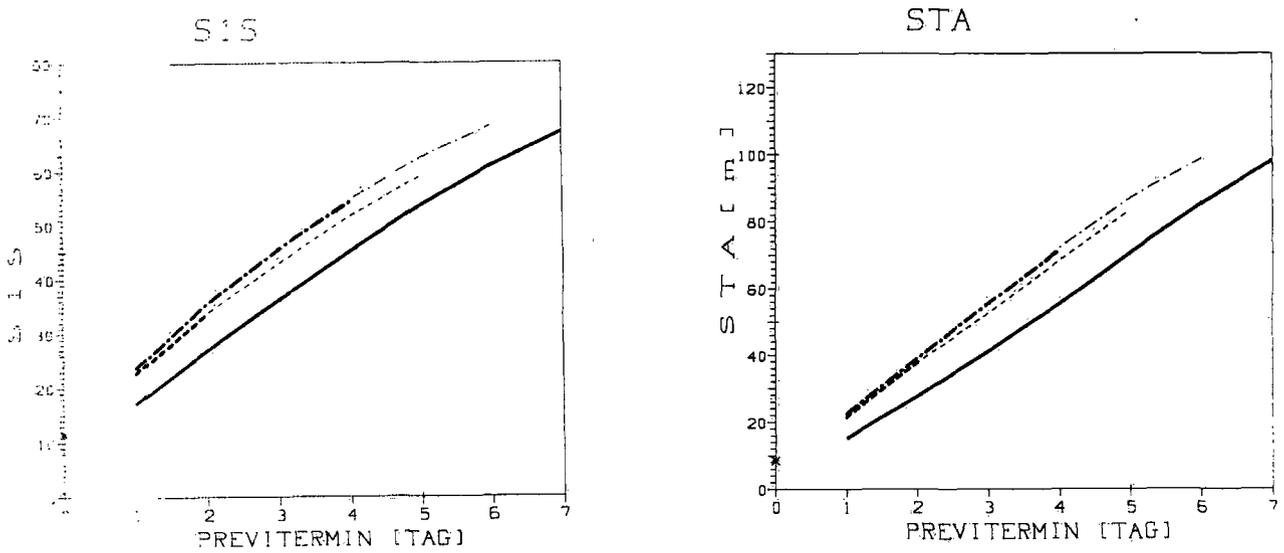
Es zeigt sich, dass das EZMW-Modell die beste Qualität aufweist. Bereits im Kurzfristbereich beträgt der Vorsprung mehr als 12 Std. Es ist also gerechtfertigt, die EZMW-Vorhersagen (basierend auf den Ausgangsdaten von 12UTC) den Prognosen des USA- und des DWD-Modelles, die auf den späteren 00UTC Daten basieren, vorzuziehen. Die EZMW-Vorhersagen werden auch da im Mittel etwas besser sein, als die der beiden andern Modelle.



Figur 6:

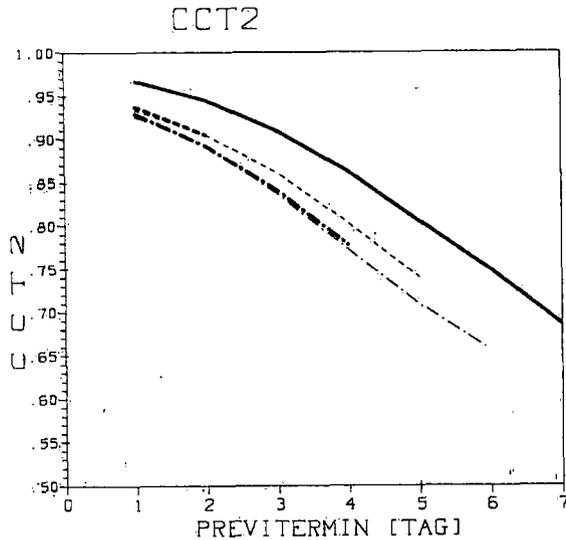
Darstellung der Koeffizienten ABW (Abweichung des Geopotentials im Alpenraum) und FEM (mittlere Abweichung des Geopotentials im ganzen Gitter) für alle Prognosen von Dezember 1983 bis November 1987

Bei den absoluten Geopotentialhöhen weisen die EZMW-Karten im Mittel Spitzenresultate auf. Abweichungen in die eine wie in die andere Richtung kommen etwa gleich oft vor. Bis auf 7 Tage hinaus sind die mittleren Fehler unbedeutend. Die Abweichungen des USA-Modells im Kurzfristbereich sind zum Teil auf den Vergleich mit der modellfremden Analyse zurückzuführen. Im weiteren Verlauf ist der Trend aber eindeutig. Im gesamten betrachteten Feld wie auch im Alpenraum vertieft das USA-Modell das Geopotential auf 5 Tage hinaus um etwa 10 m zu stark. Im Gegenzug zeigt das DWD-Modell ein um rund 20 m zu hohes Niveau für diesen Zeitraum. Die systematisch zu tiefen Startwerte des DWD-Modells für Vorhersagen aus 00UTC- Daten lassen sich nicht erklären (vgl. Kap. 8.1)



Figur 7:

Darstellung der Koeffizienten SIS (SI-Skill-Score) und STA (Standardabweichung) für alle Prognosen von Dezember 1983 bis November 1987



Figur 8:

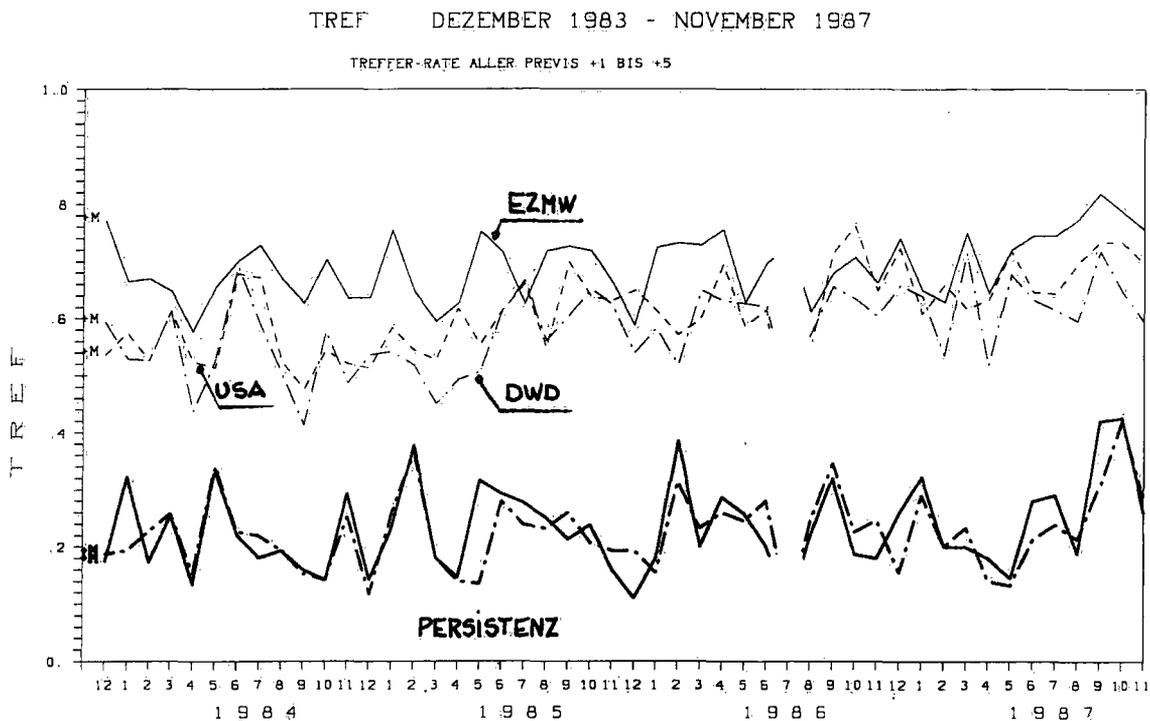
Darstellung der Koeffizienten CCT2 (Tendenz-Korrelationskoeffizient) für alle Prognosen von Dezember 1983 bis November 1987

Standardabweichung (STA), SI Skill-score (SIS) und Tendenz-Korrelationskoeffizient (CCT2) zeigen deutlich die bessere Qualität der EZMW-Prognosen gegenüber jenen des USA- und des DWD-Modells. Der Vorsprung der EZMW-Modells ist bereits im Kurzfristbereich erstaunlich gross (ca 12 Std beim Tag +1 und etwa 18 Std beim Tag +2). Er vergrössert sich im Mittelfristbereich nicht mehr wesent-

lich (ca 21 Std am Tag +5 zum USA-Modell und 28 Std zum DWD-Modell). Der Vorsprung des USA-Modells auf das DWD-Modell ist im Kurzfristbereich gering, im Mittelfristbereich aber recht deutlich.

8.3 Zeitlicher Verlauf der Qualität

Die Berechnung der Monatsmittelwerte erfolgt nach WMO-Norm, d.h. die Verifikationstermine gelten als Basis (zB für den Tag +6 im Januar sind die Vorhersagen aus Analysen vom 26.Dez. bis 25.Jan. gültig). Im Zeitraum von 1983 bis 1987 lässt sich eine Steigerung der Qualität bei allen Modellen feststellen. Stets vorhanden bleibt für die nicht normierten Koeffizienten die jahreszeitliche Schwankung (siehe auch Anhang B).



Figur 9:

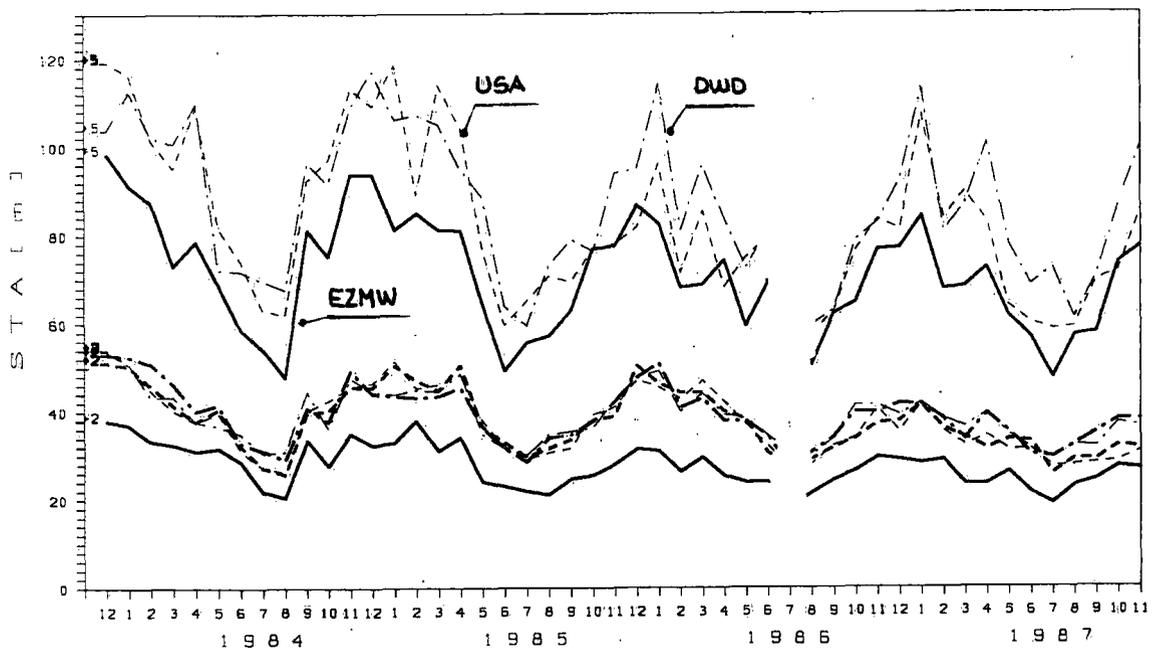
Darstellung des Koeffizienten TREF (Trefferrate der Wetterlagen) im zeitlichen Verlauf von Dezember 1983 bis November 1987. Für jedes Prognosenset wurde das Verhältnis der richtig erfassten Wetterlagen zu den nicht erfassten Wetterlagen vom Tag +1 bis zum Tag +5 bestimmt.

Es zeigt sich, dass die Trefferrate der NVK grosse Schwankungen aufweist. Sie ist stark von der Grosswetterlage und der Jahreszeit abhängig. Die saisonalen Unterschiede sind wiederum von der

jeweilig vorherrschenden Witterung abhängig. Deutlich ist dies in den Wintermonaten erkennbar, in denen die Trefferrate von Jahr zu Jahr grosse Schwankungen aufweist (zB im Dezember 83 ist TREF hoch, im Dezember 85 tief).

Interessant ist, dass es bei diesem Koeffizienten einzelne Monate gibt, in denen die USA-NVK die Wetterlagen besser erfassen als jene des EZMW-Modells. Eine Korrelation im Qualitätsverlauf der drei Modelle lässt sich nur bedingt feststellen.

STA DEZEMBER 1983 - NOVEMBER 1987



Figur 10:

Darstellung des Koeffizienten STA im zeitlichen Verlauf von Dezember 1983 bis November 1987 für den Prognosentag +2 und +5

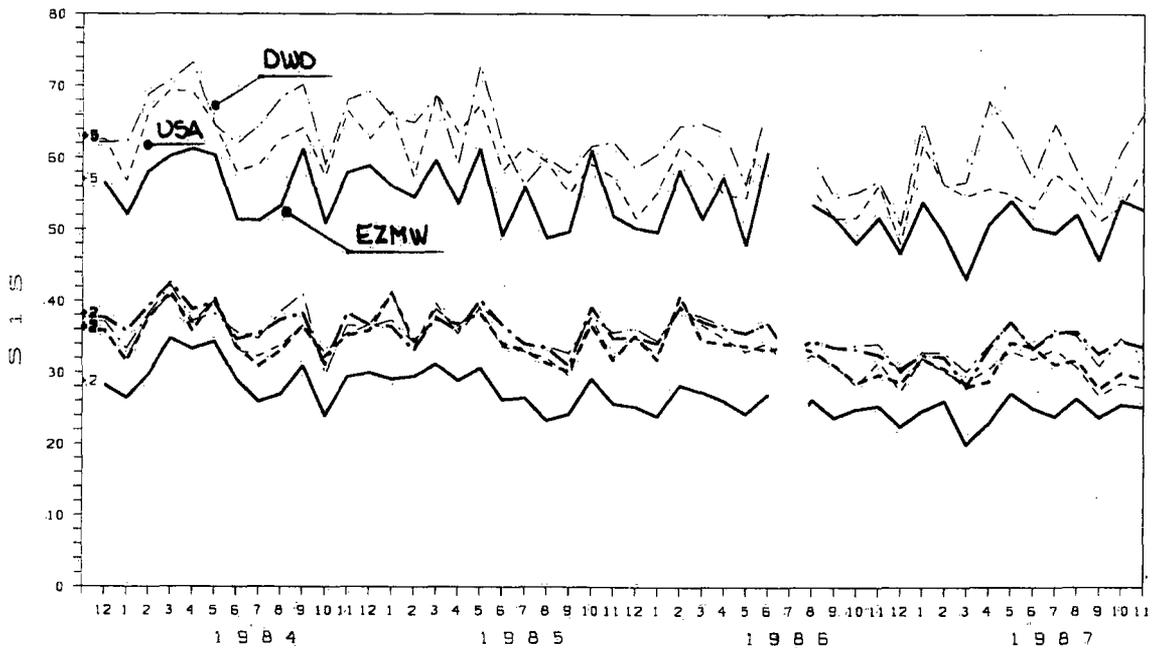
Es lässt sich feststellen, dass im Verlaufe der 4 Jahre durch alle Modelle im Kurz- und Mittelfristbereich Verbesserungen erzielt worden sind. Die saisonalen Amplituden sind geringer und die mittleren Abweichungen kleiner geworden.

Bei den Prognosen im längerfristigen Bereich sind Perioden mit guten Prognosen häufiger geworden.

Während im Kurzfristbereich die EZMW-Prognosen nie übertroffen wurden, sind im mittel- und längerfristigen Bereich Monatswerte

zu sehen, in denen vor allem das USA-Modell gleichwertige Qualität aufweist.

S1S DEZEMBER 1983 - NOVEMBER 1987



Figur 11:

Darstellung des Koeffizienten S1S im zeitlichen Verlauf von Dezember 1983 bis November 1987 für die Prognosen der Tage +2 und +5

Beim Koeffizienten S1S ist die qualitative Verbesserung im zeitlichen Verlauf speziell beim EZMW-Modell im Kurz- und auch im Mittelfristbereich deutlich feststellbar.

Beim USA-Modell, das auch hier beim Tag +5 kurzzeitig EZMW-Qualität erreicht, fällt die Glättung der Amplituden im letzten Jahr auf.

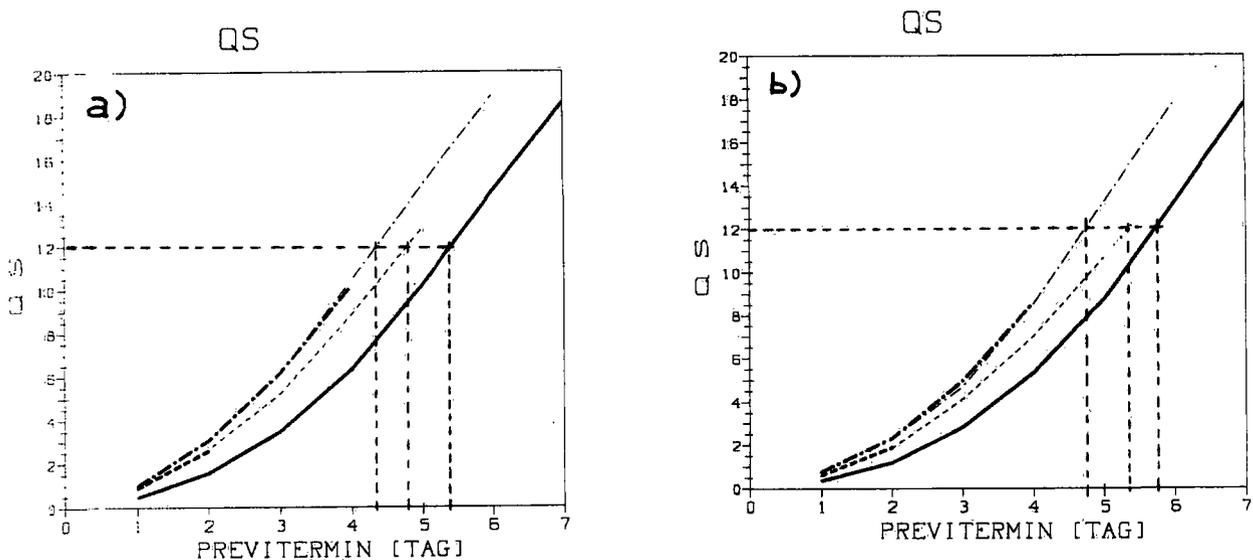
8.4 Vorhersagedauer

Die zu beantwortende Frage lautet:

Bis zu welchem Vorhersagetermin sind die NVK brauchbar? Als Grenze wird meist der Wert 0.6 beim Anomalien-Korrelationskoeffizienten angenommen (z.B. ECMWF Forecast Reports). Mit dem Koeffizienten Quadratsumme (siehe Kap. 5.1.10) haben wir den Wert 12

als Grenze für eine Ähnlichkeit von Karten definiert (siehe Kap. 4.1). Figur 12 zeigt, dass dieser Wert für eine Vorhersage von 4.4 (4.7) Tagen beim DWD-, von 4.8 (5.3) Tagen beim USA- und von 5.4 (5.7) Tagen beim EZMW- Modell erreicht wird (In Klammern Werte des letzten Jahres, Dez.86 bis Nov.87).

Eine 500 hPa EZMW-Karte über Europa liefert somit im Mittel bis ca. 5.5 Tage brauchbare Resultate, wobei die monatlichen Schwankungen beträchtlich sind (von ≤ 4 bis ≥ 7 Tage). Dies stimmt mit den Angaben anhand des Anomalien-Korrelations- Koeffizienten (Forecast Report ECMWF) und eigenen semi-objektiven Mittelfrist-prognosen-Kontrollen (Truog,1988) überein.



Figur 12:

Darstellung des Koeffizienten QS der 3 Modelle (a) im Mittel von Dezember 1983 bis November 1987 und (b) im Vergleich von Dezember 1986 bis November 1987

Adresse der Verfasser:

Felix Schacher
Francis Schubiger
Schweizerische Meteorologische Anstalt
Postfach
CH-8044 Zürich

9. Literaturverzeichnis

- Arpe K. 1980: Confidence limits for verification and energetics studies. ECMWF Technical Report No. 18, 23pp.
- Arpe K., Hollingsworth A., Tracton M.S., Lorenc A.C., Uppala S., Kallberg P. 1985: The response of numerical weather prediction systems to FGGE level IIb data. Part II: Forecast verifications and implications for predictability. Quart. J. R. Met. Soc., 111, 67-101.
- Dobryshman E.M. 1972: Review of forecast techniques. WMO Technical Note No. 120, WMO No. 303, 51pp.
- ECMWF Forecast Reports No. 22-40, 1983 - 1987, Reading.
- Hamilton J.E.M. 1982: Verification of numerical forecasts at the Irish Meteorological Service. LAM Newsletter, 5, 5-9.
- Hamilton J.E.M. 1985: Objective verification of numerical forecasts for 1980. Internal Memorandum 106/85, Meteorol. Service of Ireland, Dublin, 32pp.
- Hoard D.E., Lee J.T. 1986: Synoptic classification of a ten-year record of 500 mb weather maps for Western United States. Meteorol. Atmos. Phys., 35, 96-102.
- Hollingsworth A., Lorenc A.C., Tracton M.S., Arpe K., Cats G., Uppala S., Kallberg P. 1985: The response of numerical weather prediction systems to FGGE level IIb data. Part I: Analyses. Quart. J.R. Met. Soc., 111, 1-66.
- Kirchhofer W. 1974: Classification of European 500 mb patterns. Working Report of the Swiss Meteorol. Inst. No. 43, 16pp.
- Kirchhofer, W. 1976: Stationsbezogene Wetterlagenklassifikation. Veröffentl. der Schweiz. Meteorol. Anstalt No.34, 47pp.
- Lange A, Hellstern E. 1985: Result of the WMO/CAS NWP data study and intercomparison project for forecasts for the northern hemisphere in 1984. Programme on short and medium-range weather prediction research (PSMP), PSMP Report Series No.16, WMO, Geneva.

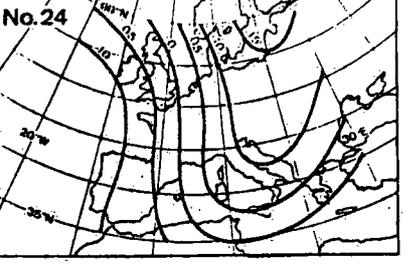
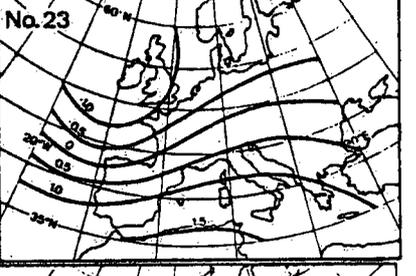
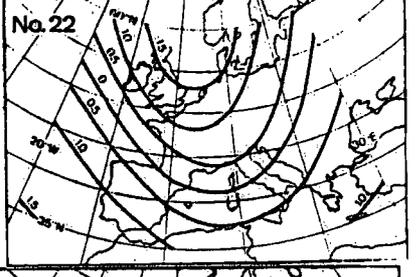
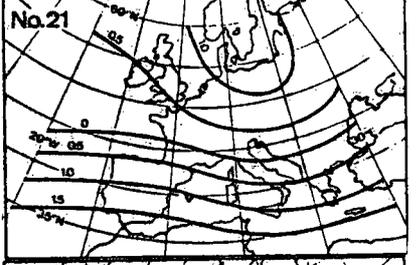
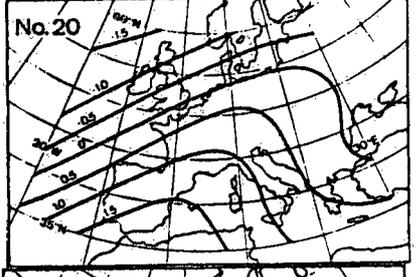
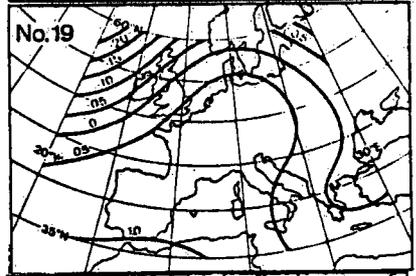
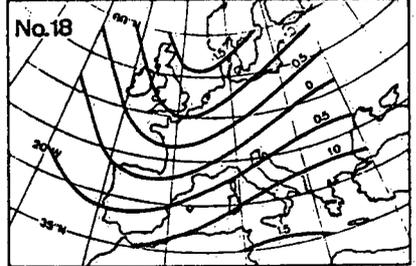
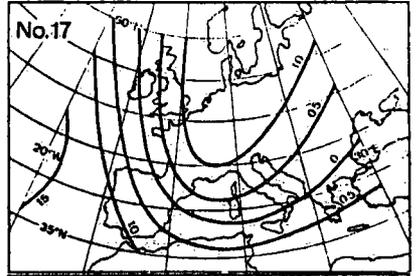
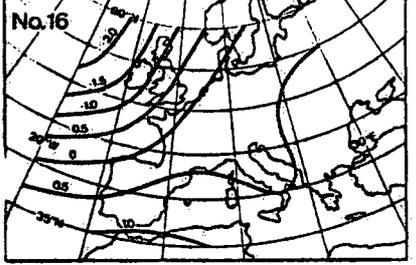
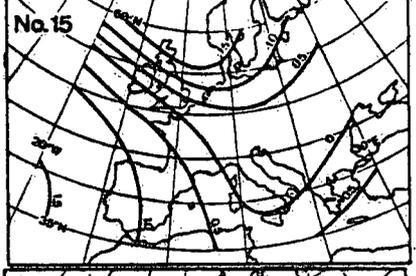
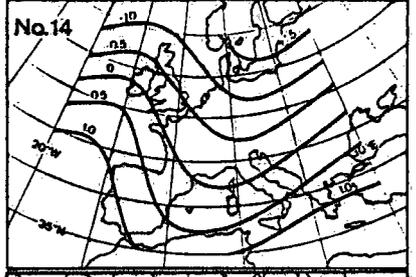
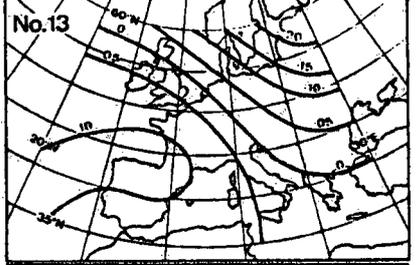
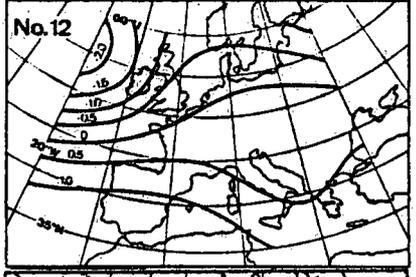
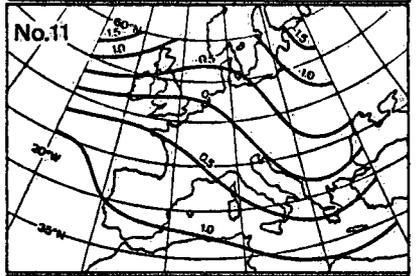
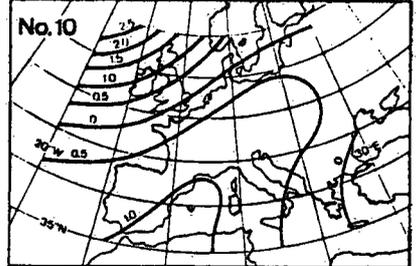
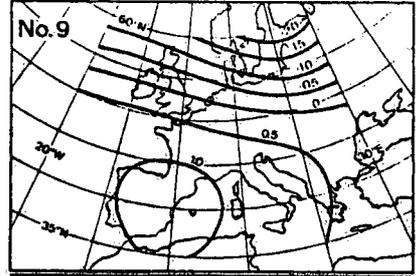
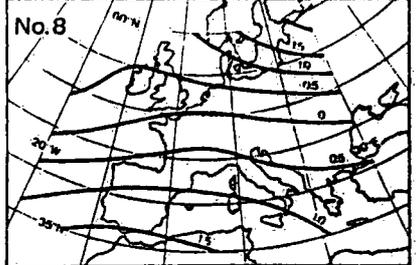
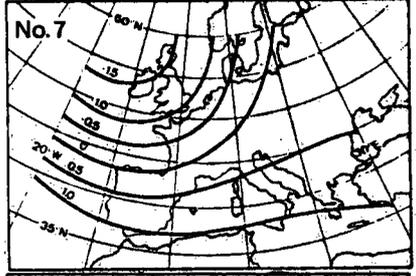
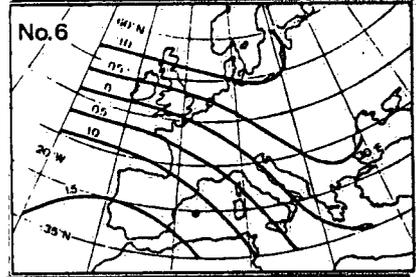
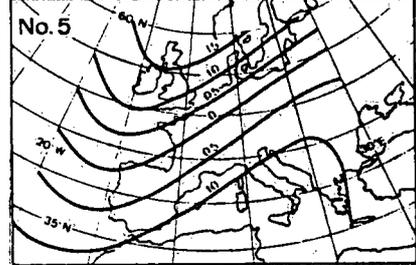
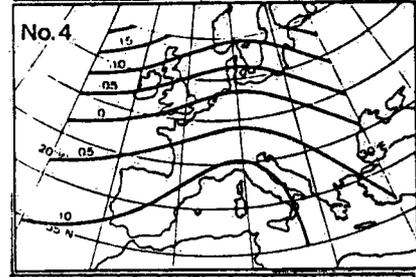
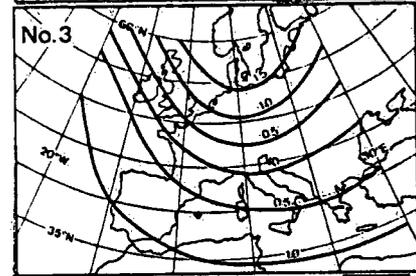
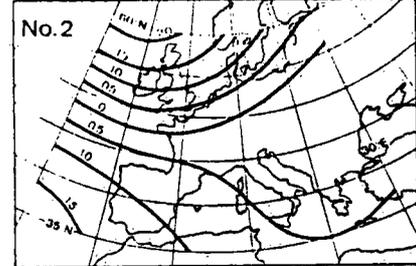
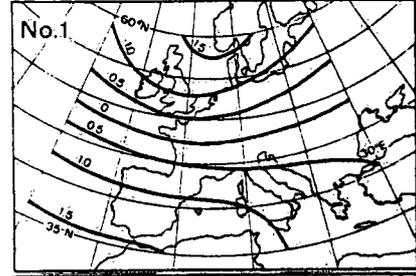
- Miyakoda, K., Hembree G.D., Strickler R.F., Shulman I. 1972:
Cumulative results of extended forecast experiments:
I. Model performance for winter cases.
Mon. Wea. Rev., 100, 836-855.
- Nieminen R. 1983: Operational verification of ECMWF forecast
fields and results for 1980-1981.
ECMWF Technical Report No. 36, 46pp.
- Teweles S., Wobus H.B. 1954: Verification of prognostic charts.
Bull. Amer. Meteor. Soc., 35, 455-463.
- Thompson J.C., Carter G.M. 1972: On some characteristics of the
S1 score. J. Appl. Meteor., 11, 1384-1385.
- Truog G., 1988: KOMIFRI, Mittelfristkontrolle. Interne Ver-
öffentlichung über die Qualität der Mittelfristprognosen.
SMA, Zürich.
- WMO 1965 (The joint CAe/CSM Working Group on Numerical Weather
Prediction): The present situation with regard to the
application of numerical methods for routine weather
prediction and prospects for the future. WMO Technical
Note No. 67, WMO-No.165. TP.80, 64pp. Geneva.

10. ANHANG:

A. 24 Wetterlagen nach Kirchhofer

- B. Quartalswerte der Jahre 1983-1987 für die Vorhersagetermine
+1, +3, und +5 Tage des EZMW-, USA- und DWD (BKF)-Modells der
Koeffizienten FEM (mittlerer Fehler), STA (Standardabweichung),
SIS (SI-Skillscore) und CCT2 (Tendenz-Korrelationskoeffizient).
EZMW: Vorhersagen aus 12UTC- Analysen
DWD und USA: Vorhersagen aus 00UTC- Analysen

A)



Statistical coefficients for ECMWF, US NMC and DWD for 1983

Model	Day of forecast	Mean error m				Standard deviation ^m				SI-Skillscore				Tendency corr. coeff.			
		Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W
ECMWF	+1	-5	-5	-11	15	16	20	20	17	18	.95	.98	.96				
US NMC	+1	-3	+3	+1	19	23	29	27	23	24	.90	.94	.94				
DWD	+1	-5	-6	-17	24	24	29	28	23	25	.89	.94	.93				
ECMWF	+3	-20	-8	-20	36	44	55	40	36	38	.91	.91	.90				
US NMC	+3	-5	+9	+3	48	56	73	51	43	46	.82	.87	.83				
DWD	+3	+3	+12	-16	57	60	72	53	46	48	.82	.83	.82				
ECMWF	+5	-27	-10	-23	60	76	93	59	53	56	.81	.80	.80				
US NMC	+5	-21	+16	+14	70	93	113	68	61	62	.74	.66	.67				
DWD	+5	+12	+28	+6	72	92	106	69	61	64	.72	.67	.72				

Sp : Spring (March - May)
 Su : Summer (June - August)
 A : Autumn (September - November)
 W : Winter (December 1983 - February 1984)

ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
 US NMC: National Meteorological Center of the United States of America
 DWD : Meteorological Services of the Federal Republic of Germany

Statistical coefficients for ECMWF, US NMC and DWD for 1984

Model	Day of forecast	Mean error m				Standard deviation m				S1-Skillscore				Tendency corr. coeff.			
		Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W
ECMWF	+1	-2	-3	-3	-0	17	13	17	18	21	18	17	18	.96	.95	.96	.96
US NMC	+1	+5	+4	+12	+11	23	17	24	28	27	23	23	25	.92	.92	.93	.92
DWD	+1	-6	-2	-3	-6	24	18	25	25	27	24	24	23	.91	.90	.92	.93
ECMWF	+3	-11	-21	-11	-9	47	32	47	50	45	36	38	39	.88	.92	.89	.90
US NMC	+3	+15	+5	+25	+23	58	40	62	72	50	43	46	50	.84	.88	.82	.82
DWD	+3	+2	+9	+14	+1	58	44	62	65	52	47	47	47	.83	.84	.79	.83
ECMWF	+5	-19	-24	-18	-9	73	53	83	87	61	52	57	57	.79	.84	.75	.80
US NMC	+5	-3	+5	+29	+22	95	66	101	106	68	60	63	62	.68	.77	.65	.70
DWD	+5	+5	+23	+24	+13	94	70	99	110	70	65	66	67	.66	.72	.65	.64

Sp : Spring (March - May)
 Su : Summer (June - August)
 A : Autumn (September - November)
 W : Winter (December 1984 - February 1985)

ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
 US NMC: National Meteorological Center of the United States of America
 DWD : Meteorological Services of the Federal Republic of Germany

Statistical coefficients for ECMWF, US NMC and DWD for 1985

Model	Day of forecast	Mean error m				Standard deviation m				S1-skillscore				Tendency corr. coeff.			
		Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W
ECMWF	+1	+2	+5	+5	-2	17	13	14	17	19	16	16	17	.97	.97	.97	.97
US NMC	+1	+5	+2	+7	+2	23	18	22	28	25	23	23	25	.93	.93	.94	.93
DWD	+1	+1	-4	-5	-12	23	19	23	26	25	23	24	24	.93	.91	.94	.93
ECMWF	+3	-9	-5	+9	-5	45	33	40	45	39	34	36	35	.92	.91	.91	.91
US NMC	+3	+3	+1	-15	-18	59	43	48	55	47	44	42	42	.85	.85	.87	.86
DWD	+3	+3	-8	-7	-12	64	44	52	64	51	45	44	46	.81	.84	.85	.82
ECMWF	+5	-5	-9	+8	+8	76	54	72	79	58	51	54	53	.81	.81	.80	.78
US NMC	+5	-10	-22	-29	-23	99	66	75	84	67	60	57	56	.70	.74	.79	.77
DWD	+5	+1	+13	-2	+1	96	66	83	97	67	59	61	61	.71	.73	.72	.70

Sp : Spring 1985 (March - May)
 Su : Summer 1985 (June - August)
 A : Autumn 1985 (September - November)
 W : Winter 1985/86 (December 1985 - February 1986)

ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
 US NMC: National Meteorological Center of the United States of America
 DWD : Meteorological Services of the Federal Republic of Germany

Statistical coefficients for ECMWF, US NMC and DWD for 1986

Model	Day of forecast	Mean error m				Standard deviation m				SI-skillscore				Tendency corr. coeff.			
		Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W
ECMWF	+1	+5	+10	+4	+1	15	12	14	16	17	17	16	15	.97	.97	.97	.98
US NMC	+1	+2	+4	-1	0	24	18	21	22	23	23	21	20	.93	.92	.95	.96
DWD	+1	-3	+1	-3	-11	23	19	22	23	24	24	22	22	.93	.91	.94	.95
ECMWF	+3	+9	+7	+9	+9	37	35	41	44	34	38	34	33	.93	.88	.90	.94
US NMC	+3	-14	-1	-3	+4	49	42	46	57	42	43	37	40	.88	.84	.88	.89
DWD	+3	+7	+6	+2	-13	56	45	54	58	46	46	43	41	.84	.81	.83	.88
ECMWF	+5	+12	+3	+5	+9	67	59	68	77	52	57	51	50	.84	.71	.81	.85
US NMC	+5	-21	-15	-19	-2	76	68	74	91	56	62	53	55	.79	.63	.77	.79
DWD	+5	+20	+21	+11	-6	84	70	75	96	61	64	56	57	.75	.61	.75	.77

Sp : Spring (March - May)
 Su : Summer (June, July 28 - August 31)
 A : Autumn (September - November)
 W : Winter (December 1986 - February 1987)

ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
 US NMC: National Meteorological Center of the United States of America
 DWD : Meteorological Services of the Federal Republic of Germany

Statistical coefficients for ECMWF, US NMC and DWD for 1987

Model	Day of forecast	Mean error m				Standard deviation m				SI-Skillscore				Tendency corr. coeff.			
		Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W	Sp	Su	A	W
ECMWF	+1	+3	+7	+3	-1	13	12	15	16	15	16	16	16	.98	.96	.97	.98
US NMC	+1	-1	-4	-3	0	20	17	18	20	22	22	20	20	.95	.92	.95	.97
DWD	+1	-3	0	-5	-9	21	19	21	25	23	24	22	23	.95	.90	.94	.95
ECMWF	+3	+3	+1	+9	+6	38	31	39	46	34	34	34	37	.93	.91	.92	.91
US NMC	+3	-5	-17	-5	-2	48	40	42	51	40	41	36	38	.92	.87	.91	.89
DWD	+3	+8	+19	+10	-14	54	42	51	59	45	44	42	44	.89	.86	.88	.86
ECMWF	+5	-2	-3	+21	+12	67	54	70	79	51	51	51	54	.85	.81	.81	.82
US NMC	+5	-22	-30	-12	-12	75	59	76	86	55	56	54	55	.84	.77	.77	.76
DWD	+5	+15	+34	+28	-6	90	68	86	93	65	60	60	62	.77	.70	.72	.71

Sp : Spring (March 17 - May 31)
 Su : Summer (June - August)
 A : Autumn (September - November)
 W : Winter (December 1987 - February 1988)

ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
 US NMC: National Meteorological Center of the United States of America
 DWD : Meteorological Services of the Federal Republic of Germany

