

**Berichte**  
des  
**Deutschen Wetterdienstes**

**Nr. 103**  
(Band 14)

DK 551.509.5 : 551.509.25

**Konstruktion und Güte von  
24stündigen Höhenvorhersagekarten  
unter Verwendung barotroper Vorhersagen**

von

**Hans Klaus Meyer**  
(mit 20 Abbildungen und 8 Tabellen im Text)

Offenbach a. M. 1967  
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

## Inhalt

	Seite
Zusammenfassung .....	3
Abstract .....	3
1. Allgemeines .....	3
2. Manuelle Konstruktion von Höhenvorhersagekarten unter Verwendung der barotropen US-Vorhersagekarten .....	3
2.1. Gütevergleich der 24stündigen barotropen US-Vorhersage- karten mit den manuellen 500-mb-Vorhersagekarten des Deutschen Wetterdienstes .....	3
2.2. Konstruktion und Güteberechnung von 300-mb-Vorhersage- karten .....	5
2.3. Konstruktion und Güteberechnung von 200-mb-Vorhersage- karten .....	7
3. Maschinelle Herstellung und Güte von 24stündigen Höhen- vorhersagekarten im Deutschen Wetterdienst .....	7
3.1. Allgemeines .....	7
3.2. Gütevergleich von barotropen und manuellen 500-mb-Vorher- sagekarten .....	8
3.3. Gütevergleich von maschinellen und manuellen 300-mb-Vor- hersagekarten .....	9
3.4. Güteberechnung von maschinellen 200-mb-Vorhersagekarten..	10
3.5. Konstruktion und Güteberechnung von maschinellen und manuellen 700-mb-Vorhersagekarten .....	10
3.6. Konstruktion von maschinellen 850-mb-Vorhersagekarten ....	12
3.7. Zusammenfassung der Ergebnisse von 2. und 3. ....	13
4. Betrachtung der Fehler der maschinellen Höhenvorhersage- karten in einem Einzelfall .....	14
4.1. Allgemeines .....	14
4.2. Bodenvorhersagekarte .....	14
4.3. Barotrope 500-mb-Vorhersage .....	14
4.4. 700-mb-Vorhersage .....	16
4.5. 300-mb-Vorhersage .....	16
4.6. 200-mb-Vorhersage .....	16
5. Schlußbetrachtung .....	16
Literatur .....	18

Anschrift des Verfassers:

Dr. H. K. Meyer, Wetteramt Frankfurt in Offenbach a. M.,  
Offenbach a. M., Frankfurter Straße 135

### Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren beschrieben, wie 24stündige Vorhersagekarten für die Topographien 850, 700, 300 und 200 mb unter Zugrundelegung der barotropen Vorhersage 500 mb gewonnen werden. Zur Herleitung von Beziehungsgleichungen werden allgemein gültige synoptische Erfahrungsregeln ausgenutzt. Zunächst wurden 50 300- und 200-mb-Karten aus dem Zeitraum Oktober 1964 bis Februar 1965 nach der gewonnenen Vorschrift manuell angefertigt und später ebenfalls 50 Karten aus dem Zeitraum August bis Oktober 1966 maschinell hergestellt.

Es wurde festgestellt, daß sowohl die barotropen Vorhersagen selbst als auch die aus ihr abgeleiteten Vorhersagekarten 300 mb besser sind als die entsprechenden manuell hergestellten Karten der Analysenzentrale des Deutschen Wetterdienstes. Die maschinelle 200-mb-Vorhersagekarte, für die kein Vergleich mit den Karten der Analysenzentrale möglich ist, erzielte ein geringfügig besseres Ergebnis als die maschinell hergestellte 300-mb-Vorhersage. Die 700-mb-Vorhersagekarte der Analysenzentrale war im Mittel über alle Karten besser als die maschinell hergestellte Karte. Eine weit unter der Qualität der übrigen Karten liegende Güte erzielte die maschinelle 850-mb-Vorhersagekarte.

Schließlich werden die Fehler der Vorhersagekarten in einem Einzelfall und in allgemeiner Betrachtung näher diskutiert.

### Abstract

A procedure of producing 24-hour prognostic charts for 850, 700, 300 and 200 mb in using barotropic 500 mb prognoses is described. For inferring the corresponding equations generally valid synoptic rules obtained by experience are applied. First, 50 300 and 200 mb charts for the period October 1964 — February 1965 have been constructed manually according to derived equations. Later — within August to October 1966 — another 50 charts were produced by computer for each level.

The barotropic charts as well as the 300 mb prognostic charts were found to be better in quality than the corresponding hand-made product of the Analysis Center of the Deutscher Wetterdienst. The computer-produced 200 mb prognostic charts for which a comparison with those of the Analysis Center is not practicable were slightly better than the computer-produced 300-mb prognoses. The 700-mb hand-manufactured charts of the Analysis Center were — in an average of 50 charts — better than the corresponding computer-made ones. The computer-produced 850-mb prognostic charts were far inferior in quality to the prognostic charts of the remaining levels.

Finally faults ascertained in the prognostic charts of an individual case as well as deviations of a general character are discussed in more detail.

### 1. Allgemeines

Eine im täglichen Dienst vorgenommene Überprüfung von Vorhersagekarten ist oft sehr interessant und lehrreich, jedoch konzentrieren sich solche Betrachtungen meist auf den Einzelfall, ohne daß allgemeingültige Schlüsse gezogen werden. Für viele Fragen ist es aber von großem Wert, Rückschau zu halten und festzustellen, wie die Vorhersagekarten während eines längeren Zeitraumes ausgefallen sind und wie sich neue Vorhersageverfahren bewährt haben. Ein entscheidender Zeitpunkt für derartige Betrachtungen war die Verwendung von maschinellen Vorhersagekarten und die sich hieraus ergebende Frage, ob dadurch Verbesserungen erzielt werden konnten.

Erfahrungsgemäß besteht zwischen den Topographien der einzelnen Druckstufen eine recht enge Verknüpfung. Hierauf hat zuerst Scherhag hingewiesen, indem er feststellte, daß die Werte der relativen Topographie 225/500 mb nicht nur im Mittel den entsprechenden Werten der relativen Topographie 500/1000 mb gleichen, sondern auch im Einzelfall näherungsweise übereinstimmen (1). Diese Übereinstimmung ist heute weniger von Bedeutung, da die WMO die 225-mb-Werte nicht als Hauptisobarenfläche anerkannt hat, sondern die Flächen 850, 500, 300, 200 und 100 mb für den praktischen Gebrauch festlegte. Untersuchungen (2), (3) haben gezeigt, daß zwischen der relativen Topographie 500/1000 mb und derjenigen von 300/500 mb noch bessere Beziehungen bestehen als zwischen den relativen Topographien 500/1000 mb und 225/500 mb. Dies hängt damit zusammen, daß die 300-mb-Fläche meist unter-

halb der Tropopause liegt und die Luftmassen bis zur Tropopause ihre thermischen Eigenschaften beibehalten. Die empirisch ermittelte Beziehung zwischen den relativen Topographien 500/1000 mb ( $h_{5/10}$ ) und 300/500 mb ( $h_{3/5}$ ) lautet:

$$h_{3/5} \approx 0,53 h_{5/10} + 70$$

Für den Zusammenhang der relativen Topographie 500/1000 mb mit solchen der untersten Troposphäre (700/1000 mb und 850/1000 mb) gibt es ähnliche Beziehungen. Hierauf wird weiter unten näher eingegangen.

Die hier angedeuteten Zusammenhänge wurden jahrelang mit Erfolg im praktischen Dienst der Analysenzentrale des Deutschen Wetterdienstes zur Konstruktion der 24stündigen Höhenvorhersagekarten ausgenutzt. In einem neuen Licht erschienen diese Beziehungen, als barotrope 500-mb-Vorhersagekarten zur Verfügung standen. Schon seit mehreren Jahren wird die 24stündige barotrope Vorhersagekarte 500 mb von Washington über Faksimile und über Fernschreiber nach den Gitternetzpunkten verschlüsselt nach Europa übermittelt. Es wird darüber berichtet, wie durch Verwendung dieser barotropen Vorhersagekarten andere Topographien gewonnen werden können und mit welchem Erfolg dies möglich war.

### 2. Manuelle Konstruktion von Höhenvorhersagekarten unter Verwendung der barotropen US-Vorhersagekarte

#### 2.1. Gütevergleich der 24stündigen barotropen US-Vorhersagekarten mit den manuellen 500-mb-Vorhersagekarten des Deutschen Wetterdienstes

Die von Washington über Faksimile eingehenden 24stündigen barotropen 500-mb-Vorhersagekarten wurden nach dem von G. Reymann (4) angegebenen Verfahren geprüft und mit den entsprechenden handgefertigten Karten der Analysenzentrale verglichen. Bei der Güteberechnung der Höhenvorhersagekarten wurde der relative Fehler  $F_w$  in Prozenten berechnet, der durch folgenden Ausdruck definiert ist:

$$F_w = \frac{|V_f - V_o|}{\frac{|V_f| + |V_o|}{2}}$$

Hierin bedeuten:

$V_f$  den vorhergesagten und  
 $V_o$  den eingetretenen Wind

$F_w = 0$  besagt, daß das vorhergesagte Strömungsfeld mit dem beobachteten völlig übereinstimmt. Entsprechend gehören zu großen Werten von  $F_w$  qualitativ schlechte Vorhersagekarten. Das geprüfte Gebiet (ABCD) ist aus Abbildung 1 zu ersehen. Die vorhergesagten und eingetretenen Winde werden in kleinen Kartenausschnitten a, b . . . f, geostrophisch ermittelt (vgl. Abb. 1). In diese Berechnung geht nur die Differenz des Geopotentials ein, dagegen nicht sein Absolutwert.

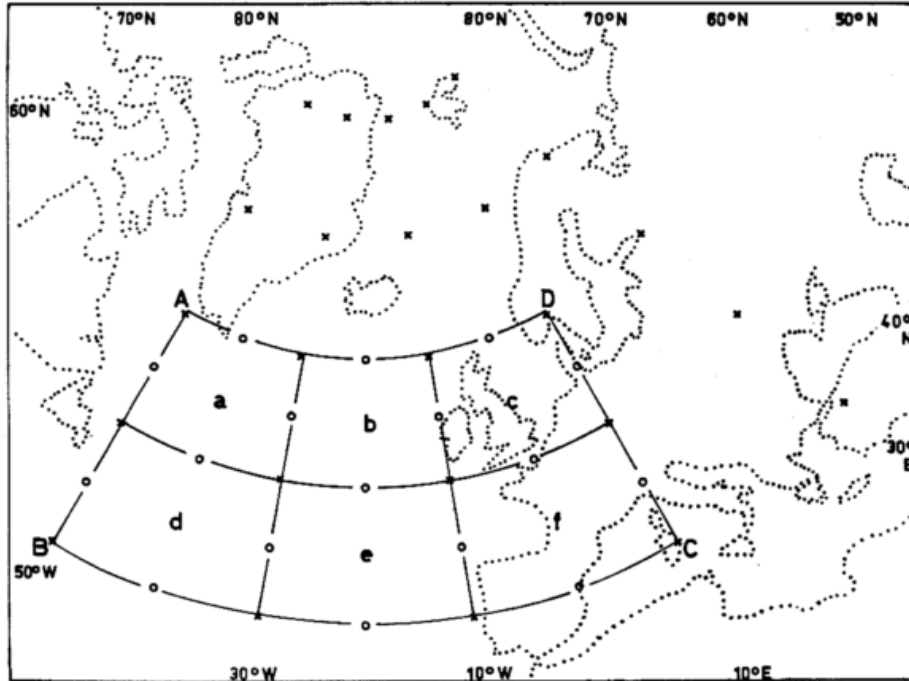


Abb. 1  
 Gebiet, in welchem alle Vorhersagekarten geprüft werden

Im ganzen wurden 50 Vorhersagekarten aus einem Zeitraum von Oktober 1964 bis Februar 1965 geprüft. Die Auswahl der barotropen Vorhersagekarten geschah lediglich nach dem Gesichtspunkt, ob ein Zeichner zur Bearbeitung der über Fernschreiber erhaltenen Karten zur Verfügung stand.

Im Mittel über alle 50 Karten wurde folgendes Ergebnis erhalten:

Tab. 1	
24stündige Vorhersage 500 mb	$F_w$
Barotrope Vorhersagekarte (Washington)	35%
500-mb-Vorhersagekarte (Analysenzentrale)	46%
Erhaltung (= Ausgangsanalyse als Vorhersagekarte genommen)	66%

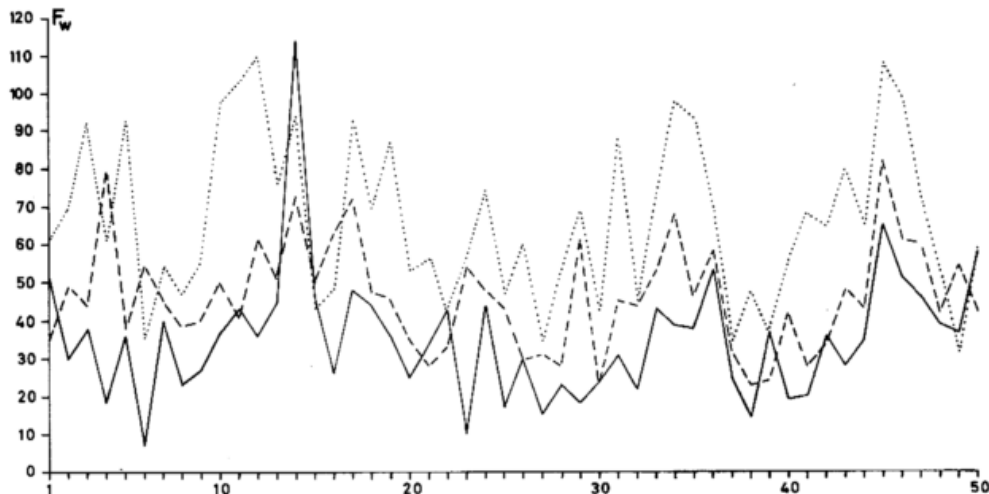


Abb. 2  
 Güte der Prognosen in 500 mb  
 Vorhersage US —, Vorhersage AZ ---, Erhaltung .....

Abbildung 2 zeigt die Güte der Prognosen in 500 mb an den einzelnen Tagen. Auf der Abszisse wurden die untersuchten Karten von 1 bis 50 durchnummeriert und auf der Ordinate der oben erwähnte Fehler Fw angegeben. Die dargestellten Linienzüge bedeuten

- ausgezogen: barotrope Vorhersage von Washington
- gestrichelt: manuelle Vorhersage der Analysenzentrale des Deutschen Wetterdienstes
- punktiert: Erhaltung, worunter die Ausgangsanalyse verstanden wird, die ohne Änderung als 24stündige Vorhersagekarte genommen wird.

Die einzelnen Linienzüge bestätigen das nach dem Mittel zu erwartende Ergebnis. Sehr selten ist die Erhaltung den beiden anderen Vorhersagekarten überlegen. In 20% aller Fälle erzielte die Karte der Analysenzentrale ein gleiches oder besseres Ergebnis als die barotrope Vorhersage. Offenbar stellen die gewählten 50 Fälle eine negative Auslese für die manuellen Karten des Deutschen Wetterdienstes dar; denn im Zweijahresmittel 1964/65 wurde eine Güte von 42% erreicht. Aber auch gegenüber diesem Wert zeigt die barotrope Karte eine deutliche Verbesserung. Entsprechendes gilt für die 300-mb-Vorhersagekarte (s. u.).

**2.2. Konstruktion und Güteberechnung von 300-mb-Vorhersagekarten**

Die guten Ergebnisse der barotropen 500-mb-Vorhersagekarten einerseits und der enge Zusammenhang zwischen 300- und 500-mb-Topographien regten an, ein Verfahren zu entwickeln, um aus 500-mb-Vorhersagekarten solche von 300 mb abzuleiten. Dies geschah in

nachstehend angegebener Weise, wobei folgende Bezeichnungen verwendet wurden:

h (= Höhe) mit einem Index unten bezeichnet eine absolute Topographie.

h mit zwei Indizes unten bezeichnet eine relative Topographie.

- $h_{10}$  = absolute Topographie 1000 mb
- $h_7$  = " " 700 mb
- $h_5$  = " " 500 mb
- $h_3$  = " " 300 mb
- $h_2$  = " " 200 mb
- $h_{5/10}$  = relative Topographie 500/1000 mb
- $h_{3/5}$  = " " 300/500 mb
- $h_{2/3}$  = " " 200/300 mb

Indizes oben geben den Zeitpunkt der Topographie an, und zwar

- $h^0$  = Ausgangstermin
- $h^{-24}$  = Termin vor 24 Stunden
- $h^{24}$  = Vorhersage für 24 Stunden

Durch das Symbol  $\Delta$  werden Änderungskarten bezeichnet. Indizes oben geben die Zeitdauer der Änderung an. So ist z. B.:

- $\Delta h^{0/24}$  = 24std. Änderung von heute auf morgen
- $\Delta h^{-24/0}$  = 24std. Änderung von gestern auf heute.

Alle vorkommenden h-,  $\Delta$ h-Terme und Zahlen sind in der Einheit gpdam zu denken.

Angenähert gilt:

- [1]  $h_{3/5} \approx 0.53 h_{5/10} + 70$  (= statistisches Ergebnis)
- [2]  $\approx 0.53 (h_5 - h_{10}) + 70$   
 $h_3 = h_5 + h_{3/5}$  oder unter Berücksichtigung von [2]  
 $\approx h_5 + 0.53 h_5 - 0.53 h_{10} + 70$
- [3]  $\approx 1.53 h_5 + 70 - 0.53 h_{10}$

Die in [3] auftretenden Terme wurden berechnet und in den Tabellen 2 und 3 zusammengefaßt.

Tab. 2  
Umrechnung der Geopotentialwerte 500 mb in 300-mb-Werte  
(Alle Werte in gpdam)

$h_5$ $h_3 = 1.53 h_5 + 70$	483	484	485	487	488	489	491	492	493	494	496	497
	808	810	812	814	816	818	820	822	824	826	828	830
$h_5$ $h_3$	498	499	501	502	504	505	507	508	509	510	512	513
	832	834	836	838	840	842	844	846	848	850	852	854
$h_5$ $h_3$	514	515	517	518	519	520	522	523	524	526	527	529
	856	858	860	862	864	866	868	870	872	874	876	878
$h_5$ $h_3$	530	531	533	534	535	536	538	539	540	541	543	544
	880	882	884	886	888	890	892	894	896	898	900	902
$h_5$ $h_3$	545	546	548	549	550	552	553	555	556	557	559	560
	904	906	908	910	912	914	916	918	920	922	924	926
$h_5$ $h_3$	561	562	564	565	566	567	569	570	571	573	574	576
	928	930	932	934	936	938	940	942	944	946	948	950
$h_5$ $h_3$	577	578	580	581	582	583	585	586	587			
	952	954	956	958	960	962	964	966	968			

Tab. 3  
Berechnung der Werte  $-0.53 h_{10}$  aus dem Bodendruck  $P_0$

$P_0$	950	960	970	980	990	1000	1010	1020	1030	1040	1050	mb
$-0.53 h_{10}$	+20	+16	+12	+8	+4	0	-4	-8	-12	-16	-20	gpdam

Nach [3] erhält man die 300-mb-Fläche durch Umnumerieren der 500-mb-Fläche und Subtraktion einer mit  $1/2$  multiplizierten 1000-mb-Fläche.

Um einen Überblick zu gewinnen über die im statistischen Mittel gültige Beziehung [3], wurde für das 5jährige Januar- und Juli-Mittel die 300-mb-Fläche graphisch aus der Boden- und 500-mb-Karte nach [3] her-

gestellt und danach die Abweichung von der 300-mb-Mittelkarte festgestellt, die durch tatsächliche Werte gewonnen wurde. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen diese Abweichungskarten. (Als Mittelkarten wurden die von I. J a c o b s [5] veröffentlichten 5jährigen Monatsmittel benutzt.) Eine nähere Diskussion dieser außerordentlich geringen Abweichungen erübrigt sich.

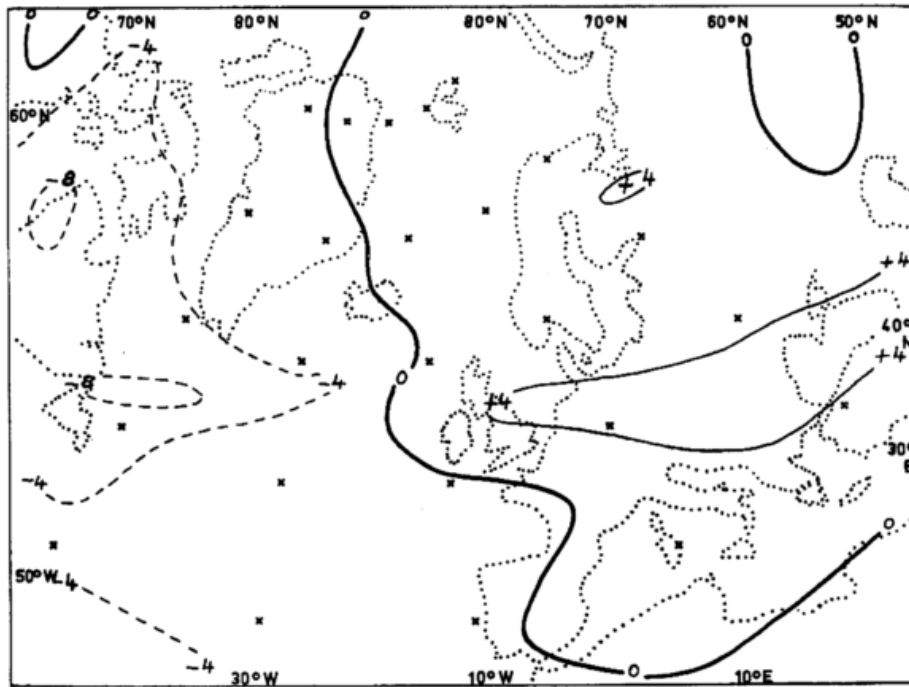


Abb. 3  
Abweichung der berechneten 300-mb-Fläche nach [3] vom  
5jährigen Januar-Mittel 300 mb

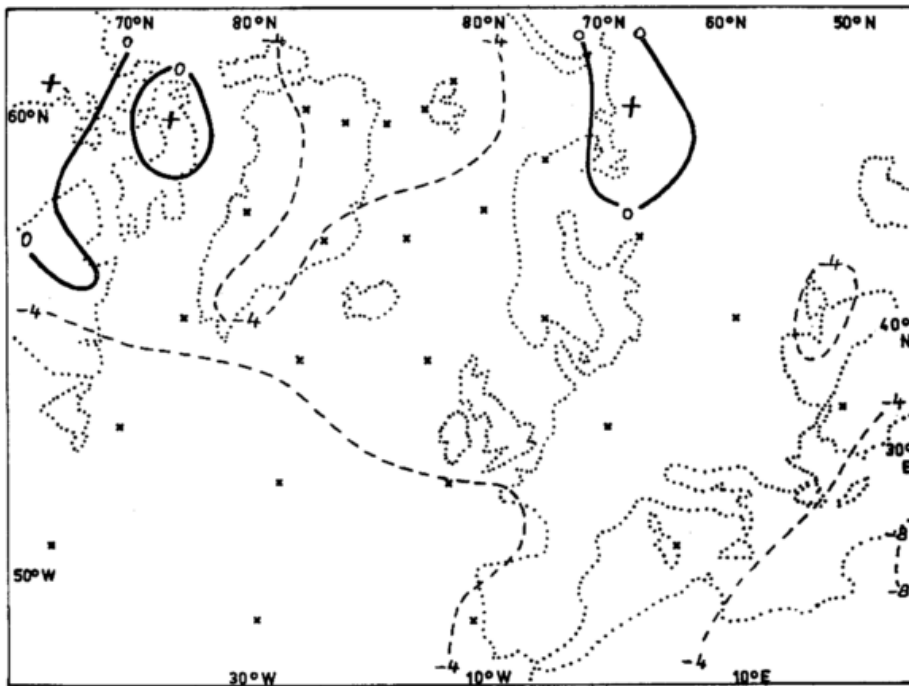


Abb. 4  
Abweichung der berechneten 300-mb-Fläche nach [3] vom  
5jährigen Juli-Mittel 300 mb

Auf Vorhersagekarten angewandt, lautet Beziehung [3]:

$$[4] \quad h_3^{24} \approx 1.53 h_5^{24} + 70 - 0.53 h_{10}^{24}$$

Zur Herstellung einer 24stündigen Vorhersage 300 mb nach [4] dienten als  $h_5^{24}$  die barotrope Vorhersage 500 mb von Washington und als  $h_{10}^{24}$  die manuell hergestellte Bodenvorhersagekarte der Analysenzentrale des Deutschen Wetterdienstes. Die auf diese Weise streng nach Vorschrift manuell gewonnenen 24stündigen 300-mb-Vorhersagekarten wurden an den gleichen Tagen und nach dem gleichen Verfahren wie die barotropen 500-mb-Vorhersagekarten geprüft. Im Mittel über alle 50 Karten wurde dabei folgendes Ergebnis erzielt.

Tab. 4

24stündige Vorhersagekarte 300 mb	Fw im Mittel
Vorhersage der Analysenzentrale	47%
Vorhersage nach [4]	38%
Erhaltung	71%

Abbildung 5 zeigt die Güte der einzelnen Karten. Nur in 6% aller Fälle war die Erhaltung (= Verwendung der 300-mb-Analyse als 24stündige Vorhersage) besser als die Vorhersagekarte nach [4], und in 34% aller Fälle war die Vorhersagekarte der Analysenzentrale besser als diejenige nach [4].

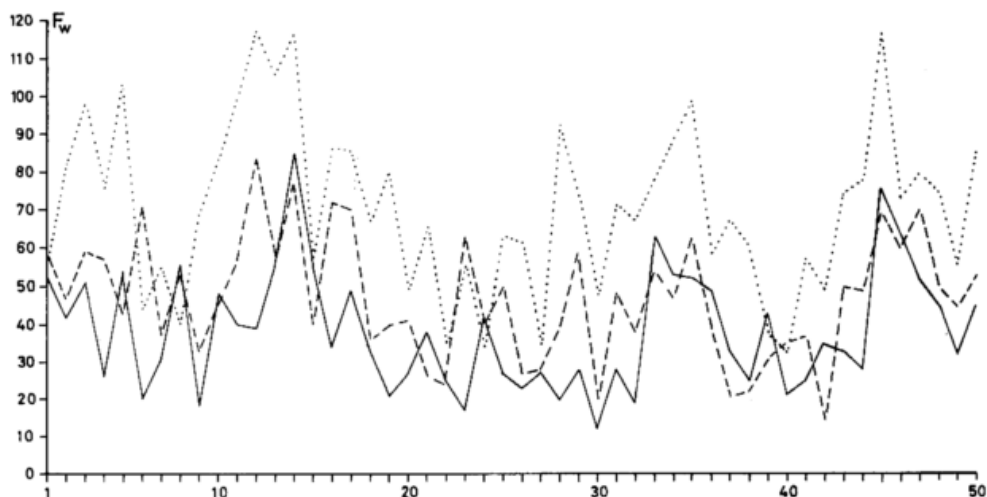


Abb. 5  
Güte der Prognosen in 300 mb  
Vorhersage nach [4] —, Vorhersage AZ — —, Erhaltung ....

Ein anderes Verfahren zur Berechnung der  $h_3^{24}$  unter Berücksichtigung der 24stündigen Änderungen erscheint günstiger, da hierbei von der Analyse  $h_3^0$  ausgegangen wird und daher die Eigenarten der 300-mb-Fläche, wie Lage und Schärfe des Strahlstroms, der Keile und Tröge usw., besser berücksichtigt werden. Das gleiche gilt auch für 200-mb-Vorhersagekarten (vgl. [10]).

Für 300-mb-Vorhersagekarten gilt:

$$[4] \quad h_3^{24} \approx 1.53 h_5^{24} + 70 - 0.53 h_{10}^{24}$$

Außerdem gilt für Analysen:

$$[5] \quad h_3^0 \approx 1.53 h_5^0 + 70 - 0.53 h_{10}^0$$

[4] — [5] ergibt:

$$[6] \quad \Delta h_3^{0/24} \approx 1.53 \Delta h_5^{0/24} - 0.53 \Delta h_{10}^{0/24}$$

(= 24std. Änderung)

$$[7] \quad h_3^{24} = h_3^0 + \Delta h_3^{0/24} \text{ oder nach [6]}$$

$$[8] \quad h_3^{24} \approx h_3^0 + 1.53 \Delta h_5^{0/24} - 0.53 \Delta h_{10}^{0/24}$$

Um die in [8] auftretenden Terme zu erhalten, muß die Differenz zwischen barotroper Vorhersage und Ausgangsanalyse 500 mb (=  $\Delta h_5^{0/24}$ ) ermittelt, mit 1.53 multipliziert und zu der Analyse der 300-mb-Fläche addiert werden. Von diesem Ergebnis wird der Term  $0.53 \cdot \Delta h_{10}^{0/24}$  abgezogen. Man erhält dieses Korrekturglied, indem die vorhergesagte Bodendruckänderung durch 2 geteilt und entsprechend der Beziehung 5 mb = 4 Dekameter umbezeichnet wird. Praktisch bedeutet dies, daß nur jede zweite Isallobare genommen wird.

### 2.3. Konstruktion und Güteberechnung der 200-mb-Vorhersagekarten

Beziehungen zwischen den relativen Topographien, die zwischen 300/500 mb und 500/1000 mb erfüllt sind, existieren für 200/300 mb nicht, da die 200-mb-Fläche teilweise über und teilweise unter der Tropopause liegt. In der relativen Topographie 200/300 mb herrschen schwache Gradienten vor, und auch die 24stündigen Änderungen sind im Vergleich zu den Änderungen der 300-mb-Fläche unbedeutend.

Es ist:

$$[9] \quad h_2^{24} = h_2^0 + \Delta h_2^{0/24}$$

$$\Delta h_2^{0/24} = \Delta h_3^{0/24} + \Delta h_{2/3}^{0/24}$$

$\Delta h_3^{0/24}$  ist nach [6] bekannt. Gegenüber dieser großen Änderung ist, wie schon erwähnt,  $\Delta h_{2/3}^{0/24}$  erfahrungsgemäß klein, besonders in gemäßigten Breiten. Dieser Term wurde bei der Berechnung von 200-mb-Vorhersagekarten vernachlässigt. Es ergibt sich dann:

$$[10] \quad h_2^{24} \approx h_2^0 + \Delta h_3^{0/24}$$

Die 200-mb-Vorhersagekarte wird also dadurch erhalten, daß zu der Ausgangsanalyse 200 mb die vorhergesagte 24stündige Änderung der 300-mb-Karte zum Folgetag addiert wird. Manuell wurde dabei so vorgegangen, daß aus der Ausgangsanalyse 300 mb und der Vorhersagekarte 300 mb durch Differenzbildung  $\Delta h_3^{0/24}$  ermittelt und zu  $h_2^0$  addiert wurde. Der Vorteil des Verfahrens nach [10] liegt insbesondere darin, daß von der Analyse der 200-mb-Fläche ausgegangen wird.

Die Güte der 200-mb-Vorhersagekarten wurde nach dem gleichen Verfahren wie für 500 und 300 mb berechnet. Hierbei ergab sich:

Tab. 5

24stündige Vorhersagekarte 200 mb	Fw im Mittel
Vorhersage nach [10]	41%
Erhaltung	63%

Vorhersagekarten der Analysenzentrale wurden in dem europäisch-ostatlantischen Gebiet nicht hergestellt, so daß ein Vergleich mit manuellen Karten nicht möglich ist. Berücksichtigt man die Erfahrungstatsache, daß bei höheren absoluten Topographien die Güte der Vorhersagekarten abnimmt, so ist das Ergebnis in Tabelle 5 durchaus vergleichbar mit den Werten in Tabelle 4.

Auch die Einzelwerte für die Güte der 200-mb-Vorhersagekarten (vgl. Abb. 6) zeigen ein ähnliches Ergebnis wie die Abbildungen 2 und 5. Nur in 10% aller Fälle lieferte die Erhaltung ein besseres Ergebnis als die nach [10] angefertigte Vorhersagekarte.

### 3. Maschinelle Herstellung und Güte von 24stündigen Höhenvorhersagekarten im Deutschen Wetterdienst

#### 3.1. Allgemeines

Die aus vorstehenden Versuchen erzielten guten Ergebnisse waren der Anlaß, die 700-, 300- und 200-mb-Vorhersagekarten aus der barotropen 500-mb-Vorhersage und einer Bodenvorhersagekarte maschinell berechnen zu lassen. Der geeignete Zeitpunkt hierfür war das Vorhandensein und die Funktionsfähigkeit einer eigenen Rechenanlage im Deutschen Wetterdienst. Schon bald nach Aufstellung dieser Anlage war es möglich, eine barotrope Vorhersagekarte herzustellen. Um hieraus Vorhersagekarten anderer Niveaus abzuleiten, wurde das oben angegebene Verfahren nach [8] und [10] zugrundegelegt. Jedoch wurde als Bodenvorhersage nicht

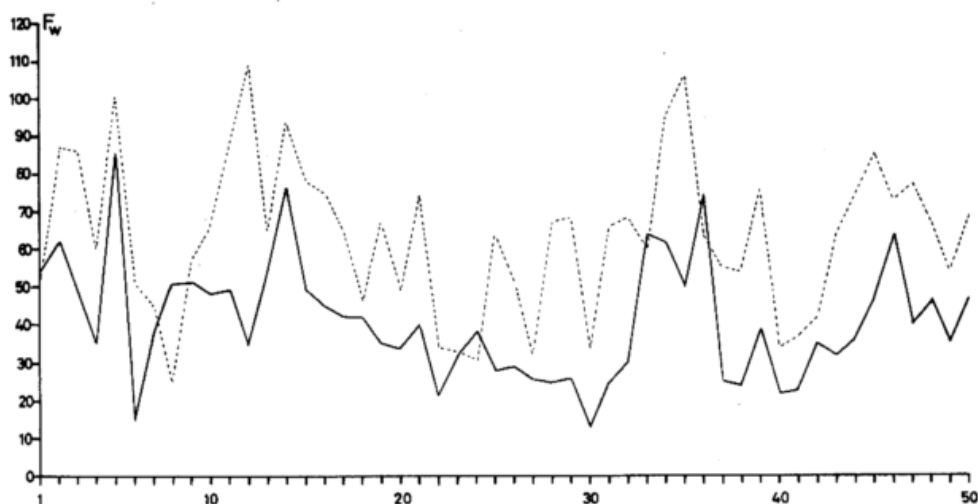


Abb. 6  
Güte der Prognosen in 200 mb  
Vorhersage nach [10] — — —, Erhaltung — — —

mehr die manuell hergestellte Karte der Analysenzentrale genommen, sondern eine maschinell konstruierte, bei der die 24stündigen Bodendruckänderungen mit 60% einer geglätteten Höhenströmung in 500 mb verlagert wurden. Später wurde dieses Verfahren etwas abgewandelt und die Verlagerung der Bodendruckänderungen mit 100% einer noch stärker geglätteten 500-mb-Strömung vorgenommen. Der hier eingeschlagene Weg der Verwendung einer maschinellen Bodenvorhersagekarte nach Prinzipien, die aus der synoptischen Erfahrung gewonnen wurden, ist als ein erster Versuch auf diesem Gebiete anzusehen. Entscheidend für diesen Schritt war, daß die manuelle Karte nur in kleinem Ausschnitt zur Verfügung steht und die Übernahme dieser Karte in den maschinellen Prozeß sehr umständlich ist. Verbesserungen der maschinellen Bodenvorhersagekarten werden in Zukunft sicher möglich sein, z. B. durch Verwendung 3stündiger Druckänderungen.

Geprüft wurden alle Karten des 0-Uhr-Termins vom 1. August bis 21. Oktober 1966, die von der Rechenanlage des Deutschen Wetterdienstes geliefert wurden. Es waren dies im August, September nur 4 Kartensätze pro Woche. Dadurch erstrecken sich die geprüften Karten über einen längeren Zeitraum, der einen Sommermonat umfaßt und auch die Beurteilung von Vorhersagen aus dem Herbst zuläßt.

Anfangs zeigten die Isohypsen in 300, 200 und 700 mb teilweise einen recht eckigen Verlauf. Daher wurden die 300- und 200-mb-Karten ab 26. August maschinell geglättet und später — ab 13. September — auch die 700-mb-Karte.

Manuelle und maschinelle Analysen zeigten insbesondere in den höheren Druckflächen noch gewisse Abweichungen. Bei den Prüfungen der Vorhersagekarten wurden als Vergleichskarten grundsätzlich die manuellen Karten der Analysenzentrale zugrundegelegt.

### 3.2. Gütevergleich von barotropen und manuellen 500-mb-Vorhersagekarten

Um die Qualität der abgeleiteten Vorhersagekarten (300, 200 und 700 mb) besser beurteilen zu können, wird zunächst die Güte der 500-mb-Vorhersagekarten näher betrachtet.

Im Mittel über 50 Tage wurde folgendes Ergebnis erzielt:

Tab. 6

24stündige Vorhersage 500 mb	FW
Barotrope Vorhersage (DWD)	35%
500-mb-Vorhersage (Analysenzentrale)	41%
Erhaltung	64%

Im Vergleich mit der amerikanischen barotropen Vorhersage, die ein  $F_w = 35\%$  erzielte (vgl. Tab. 1), zeigt die deutsche Karte genau den gleichen Gütewert. Diese Zahlen sind natürlich nicht streng vergleichbar, da die geprüften Karten ganz verschiedenen Zeitspannen entstammen und die Ausgangsbedingungen und die Schwierigkeit der Wetterlagen nicht gleich sind. So kam es z. B. bei den Prüfungskarten der deutschen barotropen Vorhersage von August bis Oktober 1966 häufig vor, daß bei Abschluß des Dateneinganges die Meldungen vom Westatlantik und Nordamerika noch nicht vorlagen und in der Maschinenanalyse nicht verwertet werden konnten. Immerhin ist der Vergleich mit der amerikanischen Karte ein interessantes Ergebnis, zumal das deutsche barotrope Modell vom amerikanischen in mehreren Punkten abweicht.

Eine von der Güteberechnung unabhängige Nachprüfung der deutschen barotropen Vorhersagekarten ergab, daß auch hier — ähnlich wie bei den US-Vorhersagekarten — die Tröge und Keile zu flach vorhergesagt wurden. Bemerkenswert ist aber noch ein anderer Fehler in der deutschen barotropen Vorhersagekarte, nämlich die zu geringe Verlagerungsgeschwindigkeit der wandernden Keile und Tröge, die zwar in großem Bereich schwankte, im Mittel aber nur etwa 70% der tatsächlichen Verlagerungsgeschwindigkeit erreichte. Mit dem gleichen Fehler sind entsprechend die Vorhersagekarten der übrigen Flächen behaftet. Auch in dem weiter unten behandelten Beispiel war die Verlagerung des atlantischen Troges zu langsam vorhergesagt worden.

Ein Vergleich zwischen barotroper Vorhersage und der handgefertigten Karte der Analysenzentrale ergibt ein Plus von 6% für die barotrope Karte. Ein strenger Vergleich dieser beiden Karten ist allerdings nicht mehr möglich, da die barotropen Karten häufig schon rechtzeitig vorlagen und die manuellen Karten daraufhin noch abgeändert werden konnten. In welchem Umfange dies geschah und ob damit noch eine Verbesserung der manuellen Karten erreicht wurde, konnte nicht mehr festgestellt werden.

Eine Auszählung der Einzelfälle der Vorhersagen brachte folgendes Ergebnis:

In 30% aller Fälle war die handgefertigte Karte der Analysenzentrale besser als die barotrope Vorhersage, die ihrerseits in 68% aller Fälle überlegen war. Die Erhaltung war, wie zu erwarten, nur zu 6% besser als die barotrope und zu 16% besser als die manuelle Vorhersagekarte.

Eine saisonbedingte Schwankung des Fehlers  $F_w$ , die durch schwache Gradienten in den Sommermonaten bedingt sein könnte, wurde nicht festgestellt. Die barotrope Vorhersage erzielte für August 1966 (15 Fälle) die gleiche Güte (35%) wie im Mittel über alle 50 Fälle.

Den Güteverlauf der Vorhersagekarten an den einzelnen Tagen zeigt Abbildung 7.

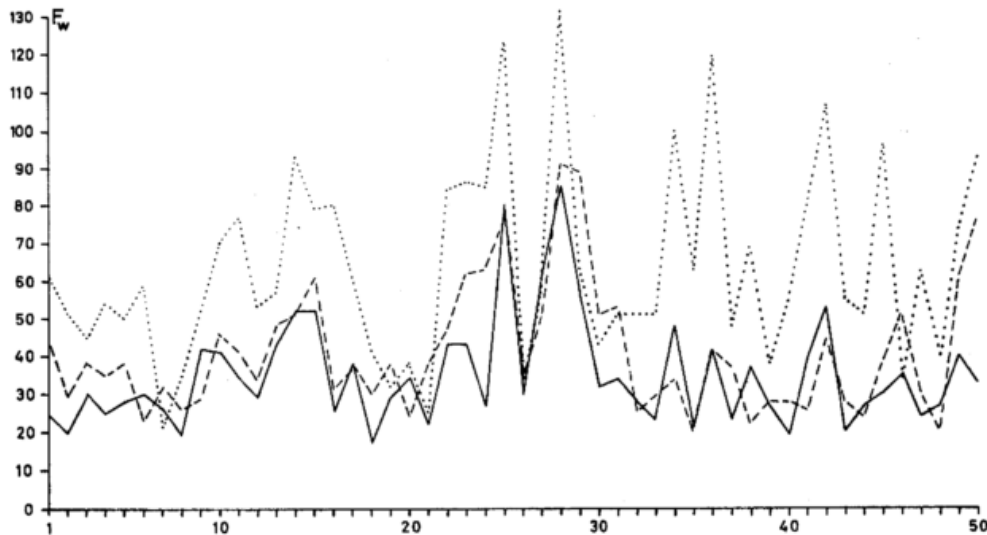


Abb. 7  
Güte der Prognosen in 500 mb  
Vorhersage RZ (Rechenzentrum) —, Vorhersage AZ — — —, Erhaltung .....

### 3.3. Gütevergleich von maschinellen und manuellen 300-mb-Vorhersagekarten

Das Mittel über alle 50 geprüften Karten ist in der Tabelle 7 enthalten. Gegenüber den 500-mb-Karten (vgl. Tab. 6) fällt die Güte der Maschinenkarte um 5%, die Güte der handgefertigten Karte um 3% ab.

Tab. 7

24stündige Vorhersage 300 mb	$F_w$
300-mb-Vorhersage (Maschinenkarte)	40%
300-mb-Vorhersage (Analysenzentrale)	44%
300-mb-Karte (Erhaltung)	67%

Ähnlich wie bei den 500-mb-Karten standen die Maschinenkarten schon vor Fertigstellung der manuellen Karten zur Verfügung. Im allgemeinen konnten jedoch die manuellen Karten nicht mehr abgeändert werden, da eine Korrektur der Isohypsen auch die recht schwierige Änderung der Isotachen nach sich zieht, was bis zum Abgabetermin nicht mehr möglich war.

Aus Abbildung 8 geht der Verlauf der Kartengüte an den einzelnen Tagen hervor. Es ergab sich, daß die Maschinenkarte in 30 Fällen den handgefertigten Karten überlegen war, während in 20 Fällen die manuellen Karten ein besseres Ergebnis erzielten.

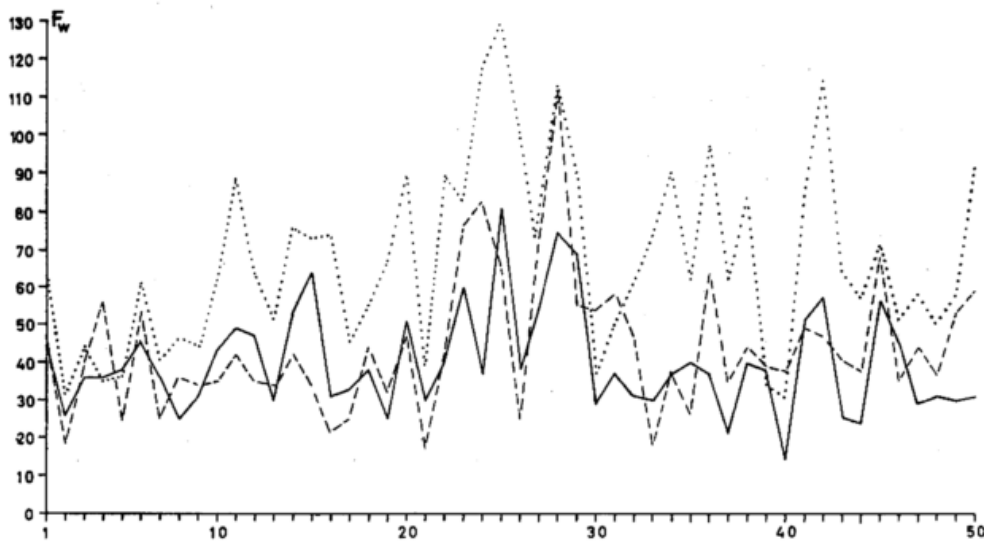


Abb. 8  
Güte der Prognosen in 300 mb  
Vorhersage RZ nach [8] —, Vorhersage AZ — — —, Erhaltung .....

Wie sehr die mittlere Güte über 50 Tage von einigen Einzelwerten abhängt, zeigt das Beispiel der Vorhersage für den 23. September, die für die maschinelle Karte den schlechten Fw-Wert von 75% erbrachte und für die manuelle Karte gar 112% ergab. Würde dieser Tag aus der Mittelwertberechnung ausgeschieden, so würde das Mittel bereits um 1.4% besser ausfallen. Wesentlich mehr Fälle wären erforderlich, um zu statistisch einwandfreien Werten zu kommen. Die hier mitgeteilten Ergebnisse sind daher nur als eine erste Orientierung über die erzielte Güte bei den Vorhersagekarten anzusehen.

### 3.4. Güteberechnung von maschinellen 200-mb-Vorhersagekarten

Für die maschinellen Karten ergab sich im Mittel über alle 50 Karten ein Fw-Wert von 38%. In den Einzelfällen erzielte die 200-mb-Vorhersage zu 54% ein besseres Ergebnis als die 300-mb-Vorhersage, die ihrerseits in

40% der Fälle überlegen war. An 3 Tagen waren beide Karten gleich gut. Dieses ausgezeichnete Ergebnis für die 200-mb-Vorhersage kann nur so gedeutet werden, daß die nach [10] angesetzte Beziehung im Mittel recht gut erfüllt ist.

In einigen Einzelkarten kam es allerdings vor, daß bei der Verlagerung eines Troges ein Doppeltrug entstand, der nicht reell war. Dies kam dadurch zustande, daß durch die angesetzte 24stündige Geopotentialänderung nach [10] zwar der vorhergesagte Trog richtig gebildet wurde, jedoch der Trog in der Ausgangskarte durch den nachfolgenden Anstieg nicht ganz aufgefüllt wurde. Gelegentlich trat in den Vorhersagekarten auch ein Keil auf, während die tatsächliche Karte einen glatten Isohypsenverlauf zeigte. Dieser Fehler kam offenbar dadurch zustande, daß ein flacher Keil in der 500-mb-Vorhersage zwar richtig war, durch die Gleichung [10] aber zu sehr verstärkt wurde.

Den Verlauf der Güte an den einzelnen Tagen zeigt Abbildung 9.

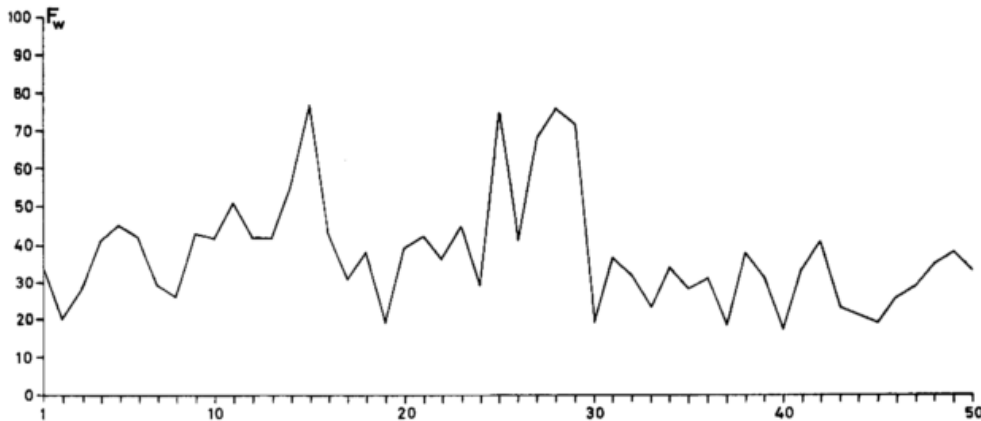


Abb. 9  
Güte der Prognosen in 200 mb  
Vorhersage nach [10]

Vergleiche mit handgefertigten Karten liegen nicht vor, da die 200-mb-Karten der Analysenzentrale nicht ganz das in Abbildung 1 gewählte Prüfgebiet überdecken.

### 3.5. Konstruktion und Güteberechnung von maschinellen und manuellen 700-mb-Vorhersagekarten

Neben den 300- und 200-mb-Vorhersagekarten wurden auch Vorhersagekarten für 700 mb geprüft, die nach folgender Vorschrift konstruiert wurden.

Die 700-mb-Fläche liegt fast in der Mitte zwischen 1000 und 500 mb. Nimmt man als vertikale Temperaturabnahme  $6^{\circ}/_{100}$  m und  $10^{\circ}$  C in 1000 mb an, so liegt die 700-mb-Fläche 16 gpdam höher als dem arithmetischen Mittel aus 1000 und 500 mb bei gleichen vertikalen Temperaturverhältnisse entspricht [6].

Größere Fehler treten nur dort auf, wo der vertikale Temperaturgradient wesentlich von der angenommenen Schichtung abweicht.

Es ist also:

$$[11] \quad h_7 = \frac{h_{10} + h_5}{2} + 16$$

oder auf Vorhersagekarten angewandt:

$$[12] \quad h_{7^{24}} \approx \frac{h_{10^{24}} + h_{5^{24}}}{2} + 16$$

Als  $h_5^{24}$  wird — wie bei den übrigen Vorhersagekarten — die barotrope Vorhersagekarte genommen; als  $h_{10^{24}}$  wird die nach dem oben beschriebenen Verfahren gewonnene maschinelle Bodenvorhersagekarte zugrundegelegt.

Aus mehreren Gründen ist es besser, von der Originalanalyse der 700-mb-Fläche ( $h_7^0$ ) auszugehen.

In diesem Falle führt folgender Ansatz zum Ziel:

$$[13] \quad h_{7^{24}} = h_7^0 + \Delta h_{7^{24}}$$

Hierin ist nach [11] und [12]:

$$[14] \quad \Delta h_{7^{24}} \approx \frac{\Delta h_{10^{24}} + \Delta h_{5^{24}}}{2}$$

Dies ist die Summe der halben vorhergesagten Bodendruckänderung und der halben Differenz zwischen Analyse 500 mb und barotroper Vorhersage 500 mb. Beide Werte können aus vorhandenen Karten ermittelt werden.

Um einen Überblick zu gewinnen wie gut die Relation [11] stimmt, wurden die Mittelkarten für Juli und Dezember 1964 nach [11] bestimmt und dann die Abweichungen dieser Karten von den nach den tatsächlichen Werten gezeichneten Mittelkarten gebildet. Wie die Abbildungen 10 und 11 zeigen, treten im europäisch-atlantischen Raum nur sehr selten Abweichungen von mehr als 4 Dekametern auf.

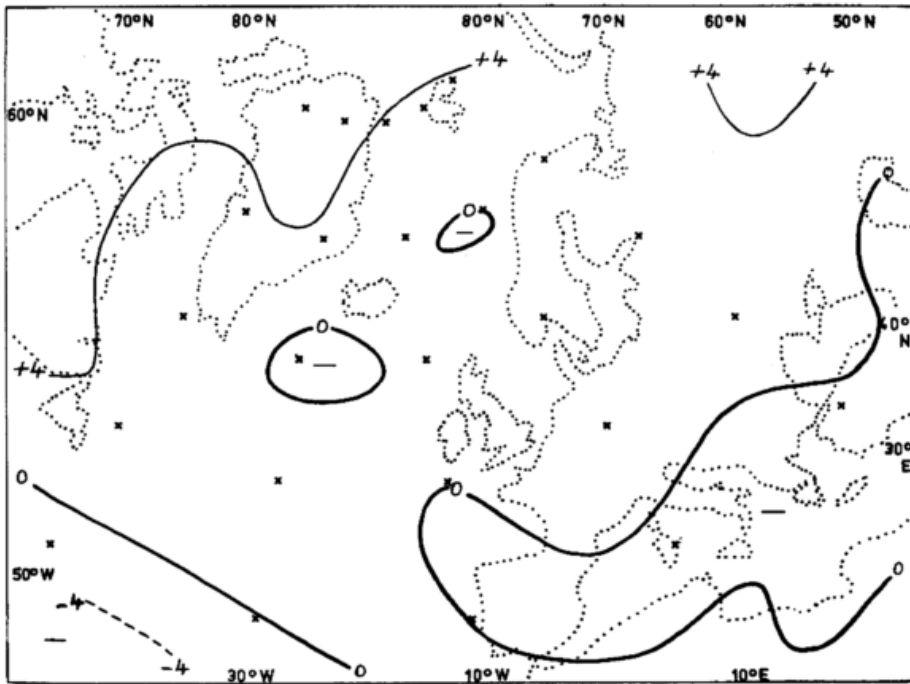


Abb. 10  
Abweichung der berechneten 700-mb-Fläche nach [11] vom  
Dezember-Mittel 700 mb 1964

Um zu einer maschinellen Vorhersage zu kommen, wurde nach [14] ein Programm geschrieben. Die erhaltenen Vorhersagekarten wurden nach dem gleichen Verfahren geprüft wie die Vorhersagetopographien 500, 300 und 200 mb.

Schon bei oberflächlicher Betrachtung fällt auf, daß die Isohypsen der 700-mb-Vorhersagekarte einen recht uneinheitlichen Verlauf zeigen. Dies rührt zur Hauptsache daher, daß in diese Karte nach [13] und [14] Bodenvorhersagekarte und barotrope Karte mit gleichem Gewicht eingehen. Da beide Karten nach ganz verschiedenen Konstruktionsprinzipien erhalten werden, ist die

vertikale Kontinuität nicht immer gesichert. Wenn z. B. Boden- und Höhentief nicht richtig übereinanderliegen, ergeben sich für 700 mb zwei trogförmige Ausbuchtungen, die nicht den Tatsachen entsprechen. Hinzu kommt, daß die maschinelle Bodenvorhersagekarte häufig recht fragwürdig ist und einen uneinheitlichen Isohypsenverlauf bedingt. Aus diesem Grunde ergaben sich für die 700-mb-Vorhersagekarte schlechtere Werte als für die Karten höherer Niveaus, in welche die Bodenkarte mit nur geringem Gewicht eingeht.

Bei Beginn der Vorhersagekartenprüfung lagen noch keine 700-mb-Vorhersagen vor. Erst vom 8. Tag an

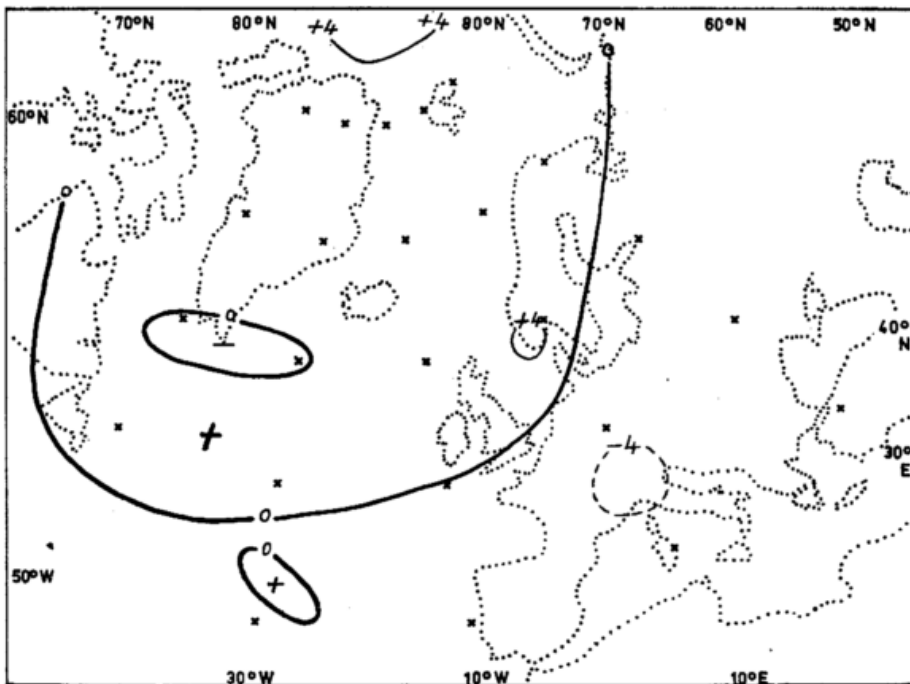


Abb. 11  
Abweichung der berechneten 700-mb-Fläche nach [11] vom  
Juli-Mittel 700 mb 1964

konnten auch diese Karten geliefert werden. Das in der folgenden Tabelle mitgeteilte Ergebnis erstreckt sich daher auf nur 43 Fälle.

Tab. 8

24stündige Vorhersage 700 mb	Fw
700-mb-Vorhersage (Maschinenkarte)	45%
700-mb-Vorhersage (Analysezentrale)	42%

Bemerkenswert ist hier der deutliche Qualitätsabfall der Maschinenkarte 700 mb gegenüber der barotropen Vorhersage 500 mb (vgl. Tab. 6). Dies ist zum großen Teil auf die wesentlich geringere Qualität der maschinellen Bodenvorhersage zurückzuführen. Diese Karte wurde zwar nur in einigen Einzelfällen geprüft, zeigte hierbei aber einen deutlichen Qualitätsunterschied gegenüber der manuellen Bodenvorhersage. So dürfte auch

im Mittel über alle Karten die mit großen Fehlern behaftete Bodenkarte den entscheidenden Anteil an der geringen Güte der maschinellen 700-mb-Vorhersagekarte haben. Für diese Deutung spricht auch die bessere 700-mb-Vorhersage der Analysezentrale, bei welcher die seit vielen Jahren bewährte manuelle Bodenvorhersagekarte verwendet wurde. Die Güte dieser Karte ist umso beachtlicher, da für die Ermittlung der 700-mb-Vorhersage die weniger gute 500-mb-Vorhersage der Analysezentrale (Fw = 41%) zugrunde gelegt wurde.

Der Güteverlauf der 700-mb-Vorhersage an den einzelnen Tagen geht aus Abbildung 12 hervor. Eine Auszählung ergab, daß die Vorhersagekarte der Analysezentrale an 20 Tagen besser und an 22 Tagen schlechter ausfiel als die maschinelle Karte. An einem Tag erreichten beide Karten denselben Wert.

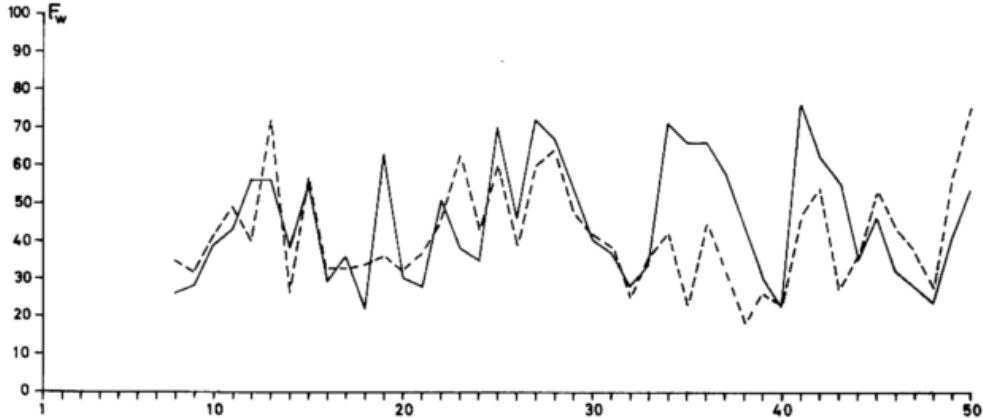


Abb. 12  
Güte der Prognosen in 700 mb  
Vorhersage RZ nach [13] —, Vorhersage AZ - - -

### 3.6. Konstruktion von maschinellen 850-mb-Vorhersagekarten

Die 850-mb-Fläche liegt nach den gleichen Voraussetzungen, die zur Berechnung der 700-mb-Fläche angesetzt wurden, um 10 Dekameter tiefer als dem arithmetischen Mittel von 1000-mbFläche ( $h_{10}$ ) und 700-mb-Fläche ( $h_7$ ) entspricht. Es ist also:

$$[15] \quad h_{8.5} \approx \frac{h_{10} + h_7}{2} - 10$$

$$\approx \frac{h_{10} + h_5}{2} + 16 - 10 \quad (\text{nach [11]})$$

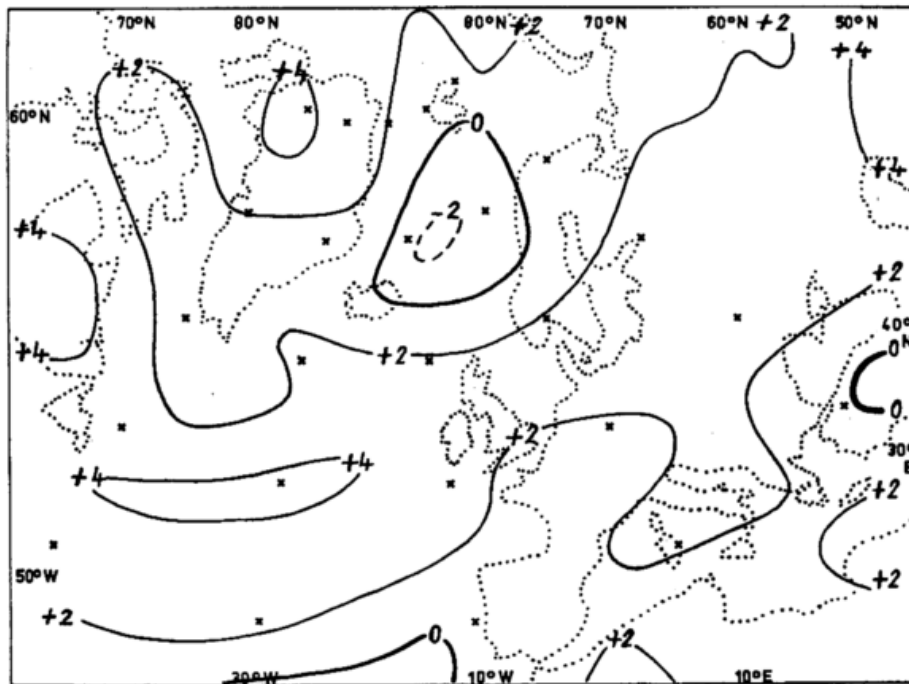


Abb. 13  
Abweichung der 850-mb-Fläche nach [16] vom  
5jährigen Januar-Mittel 850 mb

$$[16] \approx \frac{3h_{10} + h_5}{4} - 2$$

Auf Vorhersagekarten angewandt:

$$[17] h_{8.5}^{24} \approx \frac{3h_{10}^{24} + h_5^{24}}{4} - 2$$

Die Bodenvorhersagekarte geht also mit dreimal stärkerem Gewicht ein als die Vorhersagekarte 500 mb. Dies ist verständlich, da die 850-mb-Fläche sehr nahe der 1000-mb-Fläche liegt. Für gute 850-mb-Vorhersagekarten sind daher gute Bodenvorhersagekarten eine unbedingte Voraussetzung.

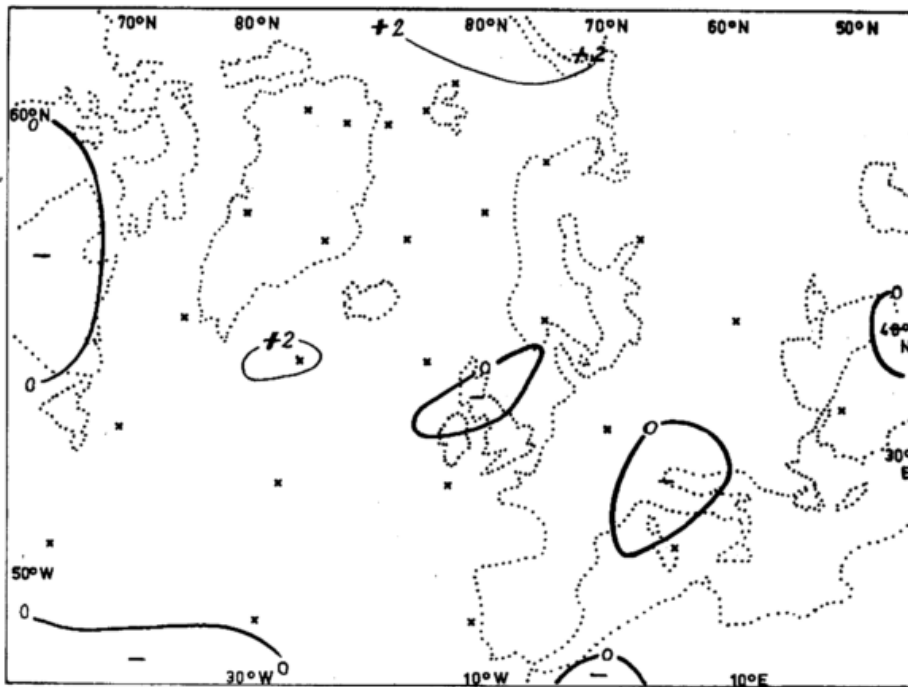


Abb. 14  
Abweichung der 850-mb-Fläche nach [16] vom  
5jährigen Juli-Mittel 850 mb

Die Abbildungen 13 und 14 geben einen Überblick über die Güte der Beziehung [16] für Mittelkarten der Monate Januar und Juli. Zugrunde gelegt wurden die 5jährigen Mittelkarten nach I. Jacobs (5). Zunächst wurde die 850-mb-Karte nach [16] aus den Mittelkarten der 1000-mb- und der 500-mb-Fläche berechnet und die so gewonnene Karte mit derjenigen 850-mb-Fläche verglichen, die direkt aus den vorhandenen Werten ermittelt wurde. Die hierbei auftretenden Abweichungen sind in den Abbildungen 13 und 14 enthalten. In der Juli-Mittelkarte (Abb. 14) sind die Abweichungen im europäisch-atlantischen Raum durchweg geringer als 2 Dekameter. In der Januar-Mittelkarte (Abb. 13) überwiegt ersichtlich die positive Abweichung. Durch Änderung der Beziehungsgleichung [16], — indem hier z. B. die additive Konstante (—2) in (—4) geändert würde, — ließe sich in der Abweichung eine bessere Verteilung von Plus- und Minuswerten erzielen.

24stündige 850-mb-Vorhersagekarten wurden bisher in der Analysenzentrale des Deutschen Wetterdienstes nicht hergestellt. Entsprechende maschinelle Vorhersagekarten wurden auch nur als „Zebra-Karte“ ausgedruckt. Eine Prüfung dieser Karten wurde noch nicht durchgeführt.\*)

### 3.7. Zusammenfassung der Ergebnisse von 2. und 3.

Schon die Prüfung der Vorhersagekarten, bei denen die barotrope Vorhersage des US-Weather Bureau zugrunde gelegt wurde, hatte klar gezeigt, daß im Mittel die barotrope Vorhersage 500 mb die beste Karte ist. Dies Ergebnis bestätigte sich auch bei den maschinellen

Karten des Deutschen Wetterdienstes, bei denen eine eigene barotrope Vorhersage verwendet wurde. Der Güteabfall von 5% von 500 auf 300 mb ist bei den maschinellen Karten im Mittel durchaus erträglich, wenngleich nach den Ergebnissen mit der US-barotropen Vorhersagekarte (3%) eine geringere Qualitätsminderung zu erwarten gewesen wäre. Sicherlich wirkt sich bei den deutschen Maschinenkarten die Verwendung der qualitativ schwachen, maschinellen Bodenvorhersage aus. Umso beachtlicher ist der gute Wert für die maschinelle 200-mb-Vorhersage. Die Verbesserung gegenüber der 300-mb-Vorhersage kann nur so erklärt werden, daß die nach [8] angesetzte 24stündige Änderung der 300-mb-Vorhersage für diese Fläche zu schwach ist, für 200 mb (vgl. [10]) aber besser paßt.

Der Güteabfall der 700-mb-Vorhersage wurde unter 3.5. erwähnt und näher diskutiert.

Was für den Mittelwert gilt, trifft in den meisten Fällen für die 50 Einzelwerte zu. Die Gütekurven für die 500-, 300 und 200-mb-Vorhersagen laufen weitgehend parallel, wobei unter „parallel“ nicht im strengen mathematischen Sinne ein paralleler Verlauf der einander entsprechenden Streckenabschnitte zu verstehen ist, sondern in dem Sinne aufzufassen ist, daß zu einem guten (schlechten) Wert der 500-mb-Vorhersage ein in einem kleinen Bereich schwankender guter (schlechter) Wert der Vorhersagekarten für 300 und 200 mb gehört. Hier zeigt sich die enge Kopplung der Güte der einzelnen Vorhersagekarten nach den zugrunde gelegten Gleichungen. Grundsätzlich kann festgestellt werden, daß mit einer guten Vorhersagekarte 500 mb auch eine gute Vorhersagekarte 300 und 200 mb erzielt wird.

Für die 700-mb-Vorhersage genügt eine gute 500-mb-Karte allein noch nicht, da, wie oben gezeigt, die Bodenvorhersagekarte einen ebenso großen Anteil an der Güte

\* Nach Abschluß dieser Untersuchung wurde das Ergebnis einer maschinellen Güteprüfung der 850-mb-Karten bekannt. Hierbei zeigte sich, daß der Fehler Fw in 850 mb etwa doppelt so groß ist wie in 500 mb. Damit sinkt die Qualität der 850-mb-Vorhersage aber auf die „Erhaltung“, d. h. Übernahme der Ausgangsanalyse als Vorhersage, ab.

der 700-mb-Vorhersage hat wie die 500-mb-Vorhersage. Daher kommt es bei der 700-mb-Vorhersage auch häufiger vor, daß zu einer guten 500-mb-Vorhersage eine relativ schlechte 700-mb-Vorhersage gehört.

Was für die 700-mb-Vorhersage gilt, trifft in noch stärkerem Maße für eine Vorhersagekarte in 850 mb zu. Diese Karte kann nach den oben entwickelten Gleichungen erst dann erfolgreich berechnet werden, wenn eine zuverlässige Bodenvorhersagekarte zugrunde gelegt wird.

#### 4. Betrachtung der Fehler der Höhenvorhersagekarten in einem Einzelfall

##### 4.1. Allgemeines

Die mitgeteilten Ergebnisse geben einen Überblick über die Güte der maschinellen Vorhersagemethode. Letzten Endes bleibt bei der angewandten Prüfmethode unklar, wo die eigentlichen Fehler in den Vorhersagekarten liegen, da das Gütemaß  $F_w$  einen Summenwert über das gesamte Gebiet liefert. Es bleibt dabei verborgen, an welchen Stellen der Karte die Vorhersage gut ist und wo die Hauptfehler liegen. Um die Verteilung der Fehler besser zu erkennen, wurden die verschiedenen Höhenvorhersagekarten eines einzelnen Tages einer genauen Kritik unterzogen. Ausgewählt wurden die Vorhersagekarten vom 23. zum 24. August 1966 00 Uhr. Der Fehler  $F_w$  betrug in diesem Falle bei den einzelnen Maschinenkarten in 700 mb 39%, in 500 mb 41%, in 300 mb 43% und in 200 mb 42%. Es handelt sich also um Vorhersagekarten, die etwa von mittlerer Güte sind. Wir

betrachten in den Abbildungen 15 bis 19 in jeder Druckstufe die vorhergesagte Karte (ausgezogene Linien), worin zusätzlich die Abweichungen von der wirklich eingetretenen Lage eingetragen wurden. Eine negative Abweichung (gestrichelte Linien) bedeutet, daß die Werte tiefer eingetreten als vorhergesagt sind. Entsprechend bedeuten punktierte Linien eine positive Abweichung und strichpunktierte Linien die Abweichung Null.

Berechnet man aus den Abweichungsgebieten geostrophisch die Winde, so können diese Werte auch als Windabweichungen gedeutet werden, nämlich als  $V_I - V_0$ . Dies ist aber gerade der Zähler in dem Gütemaß  $F_w$ , das bei allen Güteberechnungen zugrunde gelegt wurde. Die Abweichungskarten vermitteln also anschaulich einen Überblick, wo in dem Gütemaß  $F_w$  die Hauptfehler in der Vorhersagekarte liegen.

In dem Nenner des Gütemaßes  $F_w$  steht das Mittel des Windes aus der Ausgangskarte und Vorhersagekarte. Schwache Winde bzw. Geopotentialgradienten in beiden Karten vergrößern das  $F_w$ , während starke Winde bzw. Drängung der Isohypsen das  $F_w$  vermindern. Auch dieser Anteil an dem Gütemaß  $F_w$  ist großzügig aus den Abbildungen 15 bis 19 zu erkennen, da zumindest in den höheren Topographien Gebiete mit starker (schwacher) Strömung meist auch Gebiete mit starker (schwacher) Strömung in der Vorhersagekarte sind.

##### 4.2. Bodenvorhersagekarte (Abb. 15)

Im gesamten europäisch-ostatlantischen Gebiet sind die Abweichungen gering und erreichen nur in kleineren Zellen mehr als 5 mb. Über dem mittleren Nordatlantik,

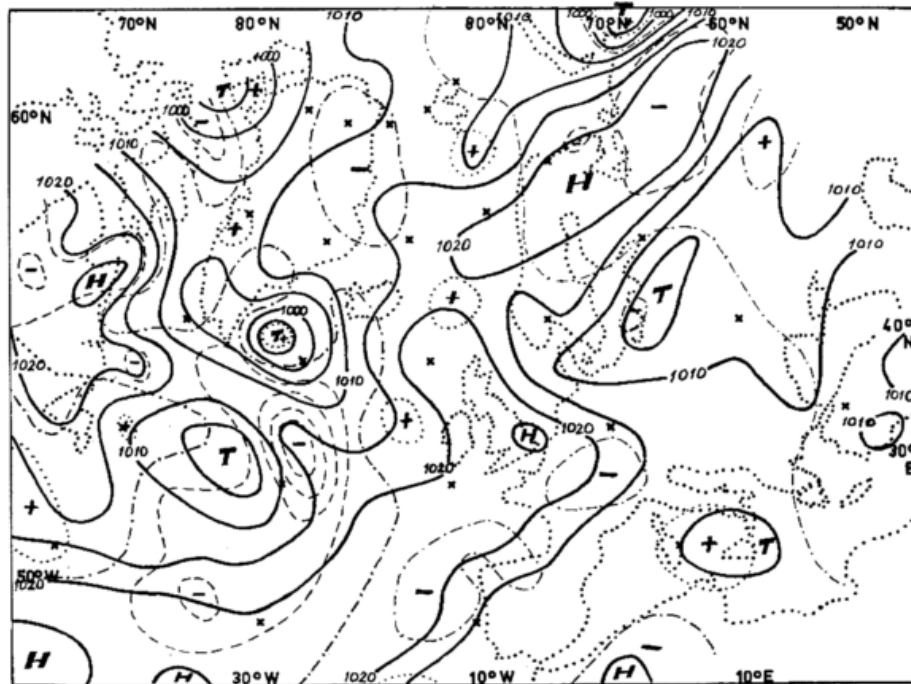


Abb. 15  
Bodenvorhersage zum 24. 8. 1966 (ausgezogene Linien)  
mit Abweichungen (--- = tiefer eingetreten,  
..... = höher eingetreten, - . - . = Abweichung Null)

wo größere Abweichungen zu verzeichnen sind, war eine schwer erkennbare Umstellung der Wetterlage im Gange. Ein Tief westlich Islands füllte sich auf, was nicht genügend erkannt wurde. Außerdem entwickelte sich bei 51°N/29°W ein neues Tief, das in der Vorhersagekarte mit einem schwachen Hochkeil zusammenfiel. Daß diese Zyklogese nicht erkannt wurde, darf nicht überraschen, da in dem Vorhersageverfahren derartige Vorgänge nicht enthalten sind. Ein am Vortag über dem Westatlantik liegendes Resttief ist in der Vorhersage-

karte noch deutlich vorhanden, während es in der aktuellen Karte nur noch als schwacher Ausläufer des neu entstandenen Tiefs in Erscheinung tritt. Über dem Westatlantik und Grönland sind wiederum geringe Abweichungen vorhanden.

##### 4.3. Barotrope 500-mb-Vorhersage (Abb. 16)

Neben der Bodenvorhersage ist die barotrope Vorhersage die zweite unabhängige Karte, aus der alle übrigen Höhenvorhersagekarten abgeleitet werden.

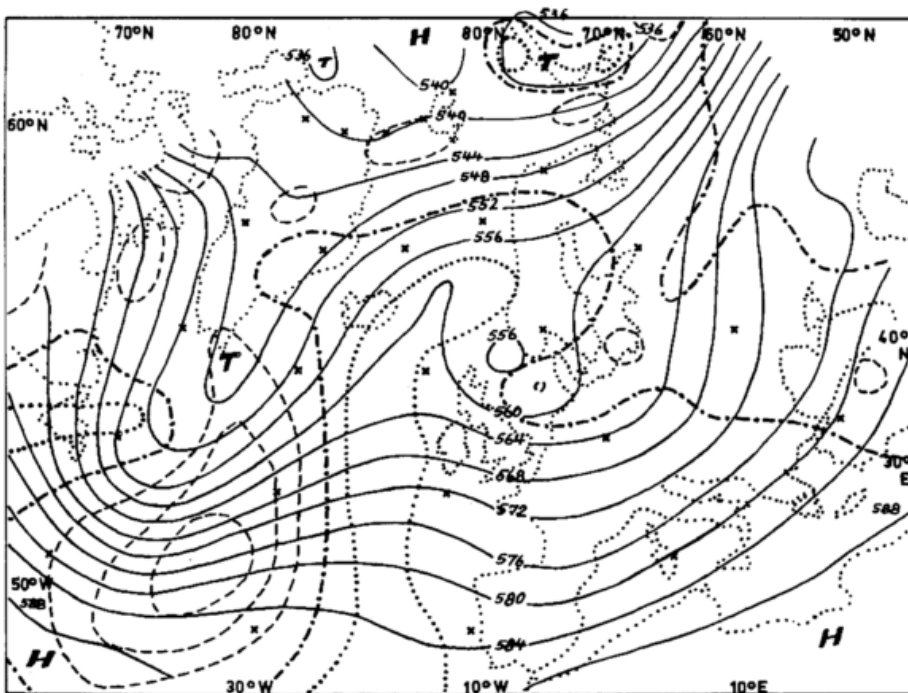


Abb. 16  
Barotrope Vorhersagekarte 500 mb zum 24. 8. 1966  
mit Abweichungen

Wie aus Abbildung 16 zu ersehen ist, sind die Abweichungen im europäischen Raum sehr klein. Hingegen treten über dem mittleren Nordatlantik größere Differenzen auf, und zwar werden Trog und Keil beide zu flach vorhergesagt. Offenbar wird die oben erwähnte Zyklonogenese im Meeresniveau, bei der barokline Kräfte wirksam sind, nicht berücksichtigt. Insbesondere wird auf der Rückseite des Bodentiefs Kaltluft nach Süden und auf der Vorderseite Warmluft nach Norden geführt, wodurch im wesentlichen die Abweichung in der barotropen Vorhersage zustande kommt. Diese Erklärung ist rasch einzusehen bei Zuhilfenahme der 24stündigen Änderung der relativen Topographie 500/1000 mb, in

der sich ein großes Abkühlungsgebiet fast mit der negativen Abweichung der barotropen Vorhersage deckt. Auch das Erwärmungsgebiet über dem östlichen Nordatlantik und dem Nordmeer stimmt annähernd mit der positiven Abweichung der barotropen Vorhersage überein (Vgl. Täglicher Wetterbericht des Deutschen Wetterdienstes vom 24. 8. 1966).

Unabhängig von diesem Einzelfall wurde das Verhalten der Tröge und Keile in barotropen Vorhersagekarten von Washington in einer großen Anzahl von Fällen geprüft und dabei folgendes Ergebnis erhalten:

In etwa 80% aller Fälle werden Tröge zu flach vorhergesagt. Im Raum Mitteleuropa — Britische Inseln —

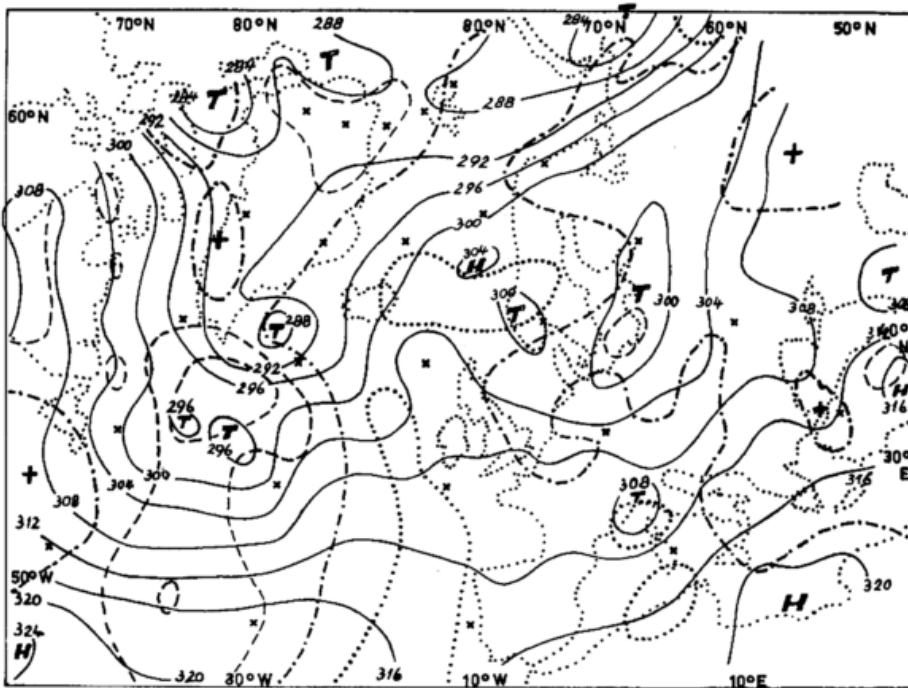


Abb. 17  
Vorhersagekarte 700 mb zum 24. 8. 1966  
mit Abweichungen

Island — Südgrönland und über Ostamerika steigert sich dieser Prozentsatz sogar bis 87, während über dem übrigen Nordatlantik und dem Mittelmeer der entsprechende Prozentsatz bei etwa 75% liegt. Bei den Höhenkeilen ist die entsprechende Abweichung nicht so klar ausgeprägt. Nur in etwa 60% aller Fälle wurden Höhenkeile zu flach vorhergesagt. Über Nordeuropa und dem Raum Ostgrönland — Barentssee steigt dieser Prozentsatz bis auf 77 an. In ähnlicher Weise treten auch Abweichungen bei den deutschen barotropen Vorhersagekarten auf.

#### 4.4. 700-mb-Vorhersage (Abb. 17)

Die Abweichungen zeigen etwa das gleiche Bild wie

die Bodenvorhersage und die barotrope Vorhersagekarte: geringe Abweichungen über Europa und größere Abweichungen über dem mittleren Nordatlantik. Über dem letzteren Gebiet werden die Fehler aus der Bodenvorhersage und der barotropen Karte sogar ein wenig abgeschwächt. Nirgends treten Fehler von mehr als 12 Dekametern auf, wie es noch in 1000 und 500 mb der Fall war. Jedoch dürfte hier die Kompensation von Fehlern in 700 mb zufallsbedingt sein.

#### 4.5. 300-mb-Vorhersage (Abb. 18)

Es ist zu beachten, daß die Isohypsen und die Linien gleicher Abweichung in den Abb. 18 und 19 im Abstand von 8 Dekametern gezeichnet sind. Die Abweichungen

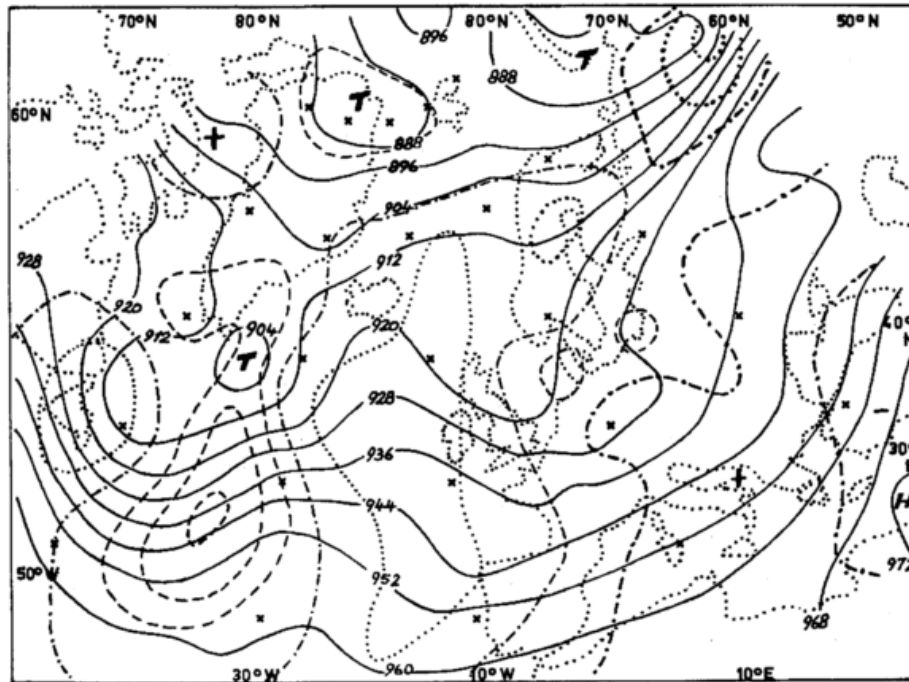


Abb. 18  
Vorhersagekarte 300 mb zum 24. 8. 1966  
mit Abweichungen

zeigen fast das gleiche Bild wie diejenigen in 500 mb, wobei allerdings der Betrag etwa auf das Doppelte angewachsen ist. Diese Tatsache ist nicht überraschend, sondern entspricht den fast doppelt so starken Gradienten und 24stündigen Änderungen in 300 mb.

Tröge und Keile wurden — wie in 500 mb — im allgemeinen zu flach vorhergesagt.

#### 4.6. 200-mb-Vorhersage (Abb. 19)

Auch bei dieser Karte treten ähnliche Abweichungen auf wie in 300 und 500 mb.

Häufig sind die Abweichungen in 200 mb geringer als die entsprechenden in 300 mb. Dies hängt damit zusammen, daß die 24stündigen Höhenänderungen in 200 mb im allgemeinen etwas kleiner sind als in 300 mb. Eine zu gering angesetzte Änderung in 300 mb nach [8] nähert sich in der 200-mb-Karte nach [10] wieder dem richtigen Wert.

### 5. Schlußbetrachtung

Aus den Gleichungen [1] bis [17] geht hervor, daß Vernachlässigungen in Kauf genommen werden müssen. Die Güte der untersuchten Vorhersagekarten ist ein Kennzeichen dafür, ob die Vernachlässigungen tragbar sind oder nicht. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß das gewählte Prüfverfahren nicht immer eine exakte Bewertung der Karten zuläßt. Insbesondere nimmt das Prüfverfahren keine Notiz von der genauen Lage des Strahlstroms, sondern es wird ein mittlerer

Geopotentialgradient über ein größeres Gebiet (Gebiete a, b, . . . . ., f in Abb. 1) geprüft. Aus diesem Grunde täuschen die Gütewerte des Prüfverfahrens bezüglich der Brauchbarkeit der Karten in der Praxis ein zu günstiges Ergebnis vor, da sowohl die maschinellen Analysen als auch die Vorhersagekarten einen zu stark geglätteten Isohypsenverlauf aufweisen. Trotz der besseren Prüfergebnisse sind daher die maschinellen Vorhersagekarten nicht ohne weiteres für die Praxis (Flugwetterdienst) geeignet, da hierfür eine deutliche Darstellung des Strahlstromes eine unbedingte Voraussetzung ist.

Da die maschinellen Karten bis zum Abschluß dieser Untersuchung noch keine Isotachen und Temperaturen enthielten, war eine manuelle Überarbeitung ohnehin erforderlich. Immerhin zeigen aber die Prüfergebnisse, daß der Isohypsenverlauf der maschinellen 500-, 300- und 200-mb-Vorhersagekarten mit Vorteil übernommen werden kann. Beim Einbau der Isotachen, was allerdings eine recht mühsame Arbeit ist, können noch Korrekturen angebracht werden. Anders liegen die Verhältnisse, wie bereits oben erwähnt, bei der 700-mb-Vorhersagekarte. In erster Linie bedingt durch eine unzulängliche Bodenkarte, weist die 700-mb-Vorhersagekarte häufig Mängel auf, die ihre Verwendung in der Praxis in Frage stellen.

Auf die Ursache der Fehler in den einzelnen Druckstufen wurde teilweise schon hingewiesen. Hier seien noch einmal die Hauptfehlerquellen zusammengefaßt:

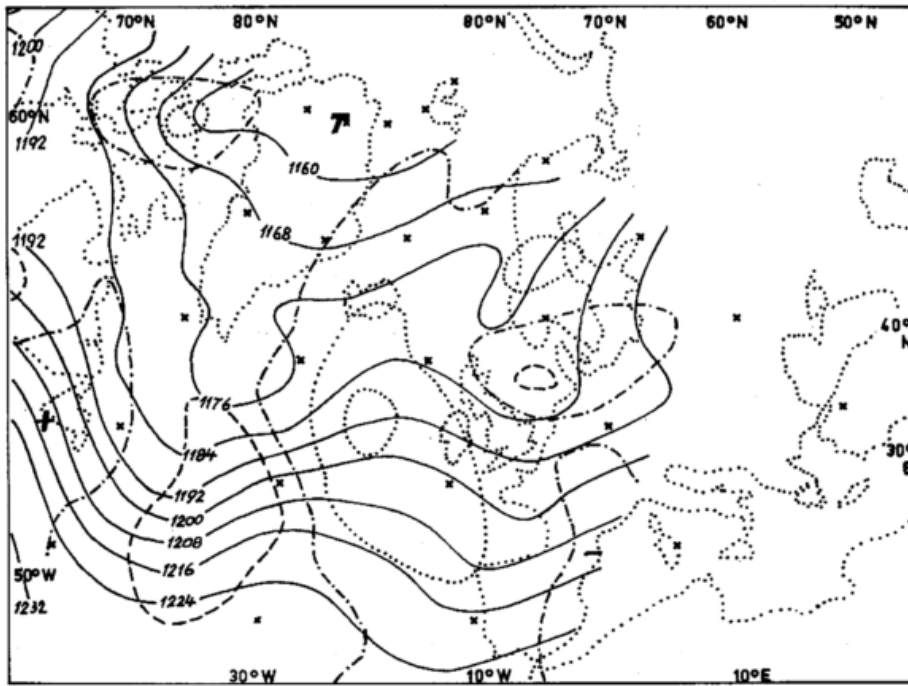


Abb. 19  
Vorhersagekarte 200 mb zum 24. 8. 1966  
mit Abweichungen

- 1.) Beim Verfahren zur Konstruktion der maschinellen Bodenvorhersage werden nur vorhandene 24stündige Änderungen verlagert. Intensitätsänderungen dieser Gebilde, die erfahrungsgemäß immer auftreten, werden nicht berücksichtigt. Auch folgen die 24stündigen Änderungsgebiete in der Richtung nicht streng der Höhenströmung, was zusätzliche Fehler hervorruft. Für den praktischen Gebrauch dürfte eine derartige Vorhersagekarte in der jetzigen Form nur begrenzten Wert haben.
- 2.) Die barotrope Vorhersagekarte 500 mb hat ebenfalls ihre Grenzen. So werden z. B. barokline Effekte und nichtadiabatische Vorgänge nicht berücksichtigt. Immerhin spricht aber die Überlegenheit dieser Karte über die manuell hergestellten Karten für ihre Verwendung sowohl für das 500-mb-Niveau als auch für Vorhersagekarten höherer Druckflächen, zumal hier die Fehler aus der Bodenkarte mit nur geringem Gewicht eingehen.
- 3.) Da den Boden- und 500-mb-Vorhersagen ganz verschiedene Verfahren zugrunde liegen, kam es mehrfach vor, daß eine verschiedene Verlagerungsgeschwindigkeit für die Druckgebilde am Boden und in der Höhe ermittelt wurde. Die dadurch entstehende Inhomogenität wirkte sich besonders in der 700-mb-Vorhersage aus, da hier die Boden- und 500-mb-Änderungen nach [12] mit gleichem Gewicht eingehen. Auch kam es gelegentlich vor, daß die Zentren der Druckgebilde in der Bodenkarte recht ungewöhnliche Werte aufwiesen oder die Druckgradienten in gewissen Gebieten in sehr auffälliger Weise verstärkt oder abgeschwächt wurden. Alle diese Fehler wirkten sich natürlich besonders nachteilig auf die 700-mb-Vorhersagekarte aus.
- 4.) Den maschinellen Vorhersagen lagen grundsätzlich maschinelle Analysen zugrunde, die insbesondere in 300 und 200 mb in den Druckzentren und in der Herausarbeitung des Strahlstroms noch Abweichungen

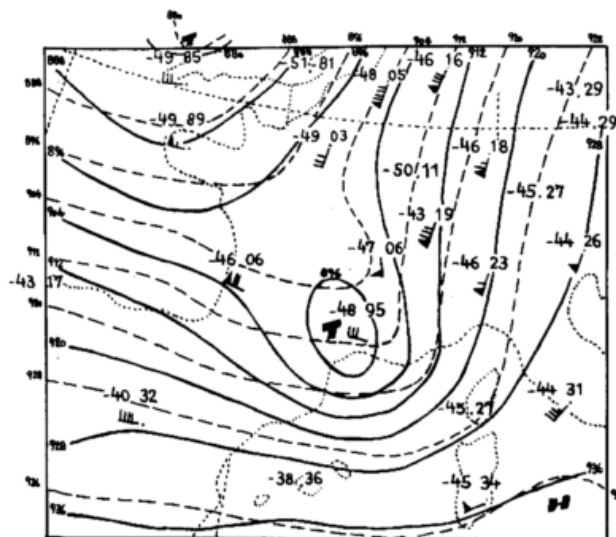


Abb. 20  
Analyse 300 mb vom 19. 10. 1966, 12 z  
maschinell —, manuell - - -

aufwiesen, wie sich durch Vergleich mit den manuellen Analysen zeigte. Auch eindeutig falsche Aufstiege, die in sich homogen und richtig berechnet waren, wurden teilweise in der Maschinenanalyse geglaubt und ergaben in dem betreffenden Gebiet eine falsche Ausgangslage. Ein Beispiel für einen Fehler der angegebenen Art zeigt Abbildung 20, welche die Analyse 300 mb vom 19. 10. 1966 12z enthält. In dieser Karte hat der Radiosondenaufstieg 07645 (Nimes) einen viel zu tiefen Wert, wie sowohl die Einzelaufstiege als auch die Analysen des Vor- und Nachtermines zeigen (vgl. Tägl. Wetterbericht vom 19. und 20. 10. 1966). Durch diesen zu kalten Wert wurde in der Maschinenanalyse ein Höhentief gezeichnet und auf der Südseite dieses Tiefs ein Strahlstrom erzeugt, der in Wirklichkeit nicht vorhanden ist. Abbildung 20 zeigt in den ausgezogenen Linien die Maschinenanalyse 300 mb und in den gestrichelten Linien die handgefertigte 300-mb-Fläche der Analysenzentrale.

Andere Abweichungen traten in den Maschinenanalysen dadurch ein, daß bis zum Abschluß der Datensammlung nicht alle Meldungen vorlagen, was häufig über dem Westatlantik und Ostamerika der Fall war.

Da für alle maschinellen Vorhersagekarten die maschinellen Analysen in den betreffenden Niveaus Ausgangspunkt waren, gehen also alle Fehler der Ausgangsanalyse in die Vorhersagekarten ein.

Zur Prüfung der Vorhersagekarten wurden, wie schon erwähnt, stets die mit vollständigen Daten ermittelten manuellen Analysen genommen.

Weitere Ungenauigkeiten kommen hinzu durch die in den Gleichungen [1] bis [17] bekannten Vernachlässigungen.

Alles in allem sind also keine fehlerfreien Vorhersagekarten zu erwarten. Lediglich die Überlegenheit des Verfahrens gegenüber den rein manuell hergestellten Karten rechtfertigt seine Verwendung so lange, bis bessere numerische Karten verfügbar sind.

Den hier erwähnten Fehlerquellen stehen einige bedeutende Vorteile gegenüber. Da die maschinellen Karten zirkumpolar gerechnet werden, ist jede beliebige Erweiterung auf der Nordhemisphäre möglich. Außerdem stehen alle großräumigen Karten wesentlich früher zur Verfügung als beim manuellen Verfahren, da die von der Maschine benötigte Rechenzeit sehr kurz ist.

Verbesserungen der nach [1] bis [17] berechneten Karten werden in Zukunft noch möglich sein, wenn nicht barokline Modelle bessere Ergebnisse liefern und die aus barotropem Modell und synoptischen Vorstellungen entwickelte Methode ganz aufgegeben werden kann. Da inzwischen Programme für die maschinelle Prüfung von Vorhersagekarten geschrieben wurden, wird es in Zukunft möglich sein, mit dem gleichen Ausgangsmaterial verschiedene Vorhersagekarten zu testen und das beste Verfahren für die Praxis ausfindig zu machen.

#### Literatur

- (1) Scherhag, R.: Wetteranalyse und Wetterprognose. Berlin 1948.
- (2) Meyer, H. K.: Betrachtungen über Höhenvorhersagekarten. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 40 (1957).
- (3) Meyer, H. K.: Techniques for high level analysis and forecasting of wind- and temperature fields. Techn. Note World Meteor. Organiz. Nr. 35 (1961).
- (4) Reymann, G.: Zur Beurteilung von Vorhersagekarten. Meteor. Rdsch. 11 (1958) Nr. 1, S. 13—19.
- (5) Jacobs, I.: 5- bzw. 40jährige Monatsmittel der absoluten Topographien der 1000-mb-, 850-mb-, 500-mb- und 300-mb-Flächen. Meteor. Abh. Fr. Univ. Berlin 4 (1957) Nr. 1.
- (6) Piper, H.: Die Höhenvorhersagekarten. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 10 (1955) S. 45—49.