

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

**Nr. 40**  
**(Band 6)**

DK 551.509.25 : 551.509.317

**Betrachtungen über Höhenvorhersagekarten**

von

**Hans Klaus Meyer**

(mit 15 Abbildungen und 9 Tabellen im Text)

## Inhalt

	Seite
1. Über die Güte der 500-mb-Vorhersagekarten .....	3
2. Anfertigung von aktuellen und Vorhersagetopographien in 300 und 200 Millibar .....	8
2.1. Hilfsmittel zur Konstruktion der 300-mb-Fläche und ihrer Vorhersage .....	8
2.2. Hilfsmittel zur Konstruktion der 200-mb-Fläche und ihrer Vorhersage .....	13
2.3. Schlußbemerkung .....	19
Literatur .....	20

Anschrift des Verfassers:

Dr. H. K. Meyer, Offenbach/M., Deutscher Wetterdienst,  
Frankfurter Straße 135

### 1. Über die Güte der 500-mb-Vorhersagekarten

Bei der Synoptiker-Tagung im November 1954 war ein Überblick gegeben worden über die Konstruktion der Bodenvorhersagekarte (BVK) und über ihre Prüfung (1). Es wurde ein Kurvenzug gezeigt, der die Güte der BVK über 6 Jahre — von 1949 bis 1954 — darstellte. Die Folgerung, die sich aus diesem Kurvenzug ergab, war, daß — von kleineren Schwankungen in den einzelnen Monaten abgesehen — die Güte der BVK in den angegebenen Jahren praktisch gleich geblieben war.

Da auch in den folgenden Jahren dieselben Methoden angewandt wurden und die Bearbeiter der BVK nur wenig wechselten, waren umwälzende Änderungen in ihrer Güte nicht zu erwarten. Daher wurde die Prüfung am 31. 12. 1954 eingestellt.

Statt dessen wurde ab 1. 1. 1955 die Höhenvorhersagekarte 500 mb (HVK) derselben Prüfung unterzogen wie vorher die BVK. Dieser Schritt geschah aus dem Erkenntnis, daß die 500-mb-Vorhersage bereits seit einiger Zeit für den Flugwetterdienst von größerer Bedeutung ist als die BVK. Entsprechend dieser Auffassung war es notwendig, ein klares Bild zu gewinnen über die Güte der HVK und über die Möglichkeiten ihrer Verbesserung.

Das Verfahren zur Konstruktion der HVK (2) ist allgemein bekannt. Mit Hilfe der 24stündigen Änderung der relativen Topographie 500/1000 mb vom Vortag zum Stichtag und einer Advektionskarte, die die Bodenisobaren und relative Topographie 500/1000 mb enthält, wird die 24stündige Änderung der relativen Topographie 500/1000 mb zum Folgetag vorhergesagt und zu der relativen Topographie des Stichtages addiert. Die Addition von vorhergesagter Bodenkarte und vorhergesagter relativer Topographie ergibt die Vorhersagetopographie 500 mb. Da diese Vorhersagetopographie ähnlich wie die aktuelle Topographie vom Boden her aufgebaut wird, sei die Methode hier kurz „Aufbaumethode“ genannt. Dieses Verfahren beinhaltet, daß sich der Meteorologe ein genaues Bild machen muß über den vertikalen Temperaturenbau der Atmosphäre. Boden- und Höhenvorhersagekarte sind in guter Kontinuität. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist es, daß durch die graphische Addition an gewissen Stellen Besonderheiten der 500-mb-Fläche verloren gehen können. Aus diesem Grunde hat es sich im laufenden Dienst als vorteilhaft erwiesen, die vorhergesagte 500-mb-Fläche zu vergleichen mit derjenigen Vorhersagetopographie, die sich durch Verlagerung der Keile und Tröge aus dem Vortermin ergibt (Verlagerungsmethode!). Stimmen beide Vorhersagekarten überein, so ist die endgültige Fassung rasch ermittelt. Weichen aber beide Karten voneinander ab, so ist eine Entscheidung über den endgültigen Linienverlauf bisweilen nicht ganz einfach. Gerade an dieser Stelle setzt dann die persönliche Erfahrung des Meteorologen ein. Der Meteorologe muß insbesondere die Leistungsfähigkeit der Aufbaumethode und der Verlagerungsmethode genau kennen. Ganz grob läßt sich als Regel sagen, daß bei normaler Verlagerung der Druckgebilde die etwas primitivere Verlagerungsmethode der Aufbaumethode mindestens ebenbürtig ist. Hingegen erweist sich bei Umstellungslagen allgemein die Aufbaumethode als überlegen.

Die Frage, welche der beiden Methoden überlegen ist, läuft praktisch auf die Frage hinaus: führt die 500-

mb-Fläche ein Eigenleben oder ist sie gekoppelt mit den Änderungen unterhalb und oberhalb 500 mb. Aus der Praxis und auch aus theoretischen Überlegungen wissen wir, daß eine Kopplung der 500-mb-Fläche mit den Schichten darunter und darüber vorhanden ist. Man muß aber wohl auch zugeben, daß die 500-mb-Fläche bis zu einem gewissen Grade ein Eigenleben führt. Dies beweist die numerische HVK nach dem barotropen Modell, in die als Ausgangsgrößen nur die Geopotentialwerte der 500-mb-Fläche eingehen.

Mit welchem Erfolg sich manchmal die einfache Extrapolation von Druckgebilden in der 500-mb-Fläche anwenden läßt, zeigt die Entwicklung des Tiefs vom 8. 5. bis 11. 5. 1955 über dem Nordmeer. In der ersten Reihe der Abb. 1 ist das Verhalten der Kernisohypse des Tiefs in 500 mb dargestellt worden. In der zweiten Reihe ist die zugehörige relative Topographie 500/1000 mb mit Kernwert und der Isohypse 516 Dekameter abgebildet, und in der dritten Reihe wurde die Entwicklung des zugehörigen Bodentiefs durch die Isobare 1005 mb und den Kernwert dargestellt.

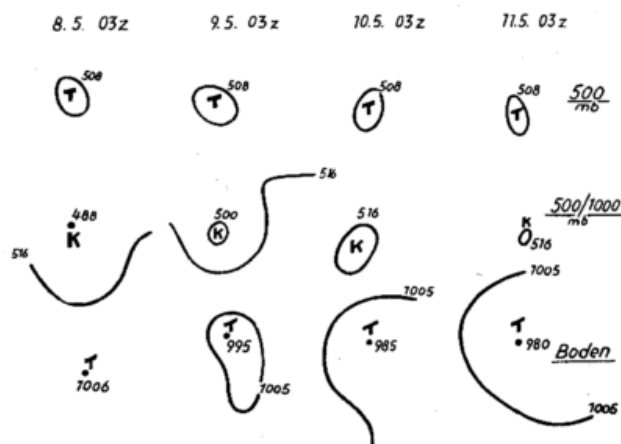


Abb. 1  
Entwicklung des Tiefs vom 8. 5. — 11. 5. 1955

Während der Tiefkern in 500 mb über 3 Tage nur ganz geringe Schwankungen aufweist, wird der Kaltlufttropfen über den Ausläufern des Golfstromes um 28 Dekameter erwärmt, bei gleichzeitiger Vertiefung des Bodentiefs um 26 mb. Bei dieser Zyklogese spielte neben anderen Vorgängen die Erwärmung vom Untergrund her die Hauptrolle, da die Aufstiege ein Absinken nicht erkennen lassen.

In diesem Falle wäre es für die 500-mb-Vorhersage gut, wenn von dem verwickelten Vorgang, der sich unter 500 mb abspielt, gar nichts bekannt wäre. Andererseits gibt es aber genügend andere Beispiele, wo in der 500-mb-Fläche Neuentwicklungen auftreten, die nur mit Hilfe der vorhergesagten Bodenkarte und der vorhergesagten relativen Topographie 500/1000 mb erkannt werden können.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Güte  $r$  der HVK im wesentlichen eine Funktion von 3 Größen ist:

$$r = f(M, P, Z)$$

Hierbei ist  $r$  der Korrelationsfaktor zwischen der vorhergesagten und eingetretenen 24stündigen Höhenänderung,

- M = die benutzte Methode
- P = der die HVK bearbeitende Meteorologe (Personalfaktor)
- Z = die zur Verfügung stehende Zeit (Zeitfaktor)

(Bei der numerischen Methode ist die Güte  $r'$  der Vorhersagekarte eine Funktion des verwendeten Modells:

$$r' = f(M).$$

Alles weitere leistet die Elektronenrechenmaschine, die zwar auch eine bestimmte Zeit zur Ausführung der Rechenoperationen benötigt, aber keine Fehler infolge Zeitnot begeht oder unüberlegt handelt.)

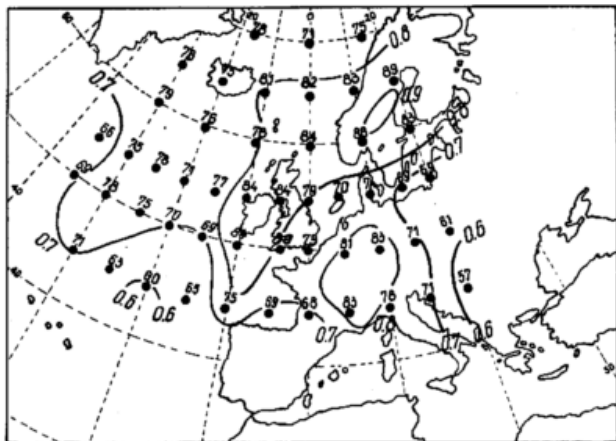


Abb. 2  
50 Punkte des Korrelationsbereiches

An 50 Punkten, wobei etwa  $\frac{1}{3}$  dieser Punkte über Europa und  $\frac{2}{3}$  über dem Atlantik liegen, (vgl. Abb. 2) wurde die vorhergesagte Änderung mit der eingetretenen korreliert. Als Monatsmittelwerte wurden folgende Korrelationskoeffizienten erzielt:

Tab. 1  
Monatliche Korrelationskoeffizienten zwischen 24stdg. vorhergesagten und eingetretenen Änderungen in 500 mb

1955	deutsche HVK	englische HVK	Differenz dt./engl.
I	0.64	0.67	-3
II	0.55	0.63	-8
III	0.64	0.71	-7
IV	0.64	0.70	-6
V	0.65	0.69	-4
VI	0.68	0.67	+1
VII	0.68	0.68	0
VIII	0.66	0.74	-8
IX	0.75	0.77	-2
X	0.72	0.71	+1
XI	0.62	0.61	+1
XII	0.66	0.71	-5
1956			
I	0.70	0.69	+1
II	0.62	0.60	+2
III	0.63	0.63	0
IV	0.71	0.72	-1
V	0.71	0.73	-2
VI	0.70	0.66	+4
VII	0.71	0.68	+3
VIII	0.67	0.64	+3
IX	0.71	0.75	-4
X	0.76	0.74	+2
XI	0.79	0.80	-1
XII	0.78	0.70	+8

Faßt man diese Werte zu Halbjahreswerten zusammen, so ergibt sich:

Tab. 2

	deutsche HVK	englische HVK
1. Hälfte 1955	0.63	0.68
2. Hälfte 1955	0.68	0.70
1. Hälfte 1956	0.68	0.67
2. Hälfte 1956	0.74	0.72

Bemerkenswert ist, auf Grund welcher Maßnahmen  $r$  im Laufe der Jahre 1955/56 gesteigert werden konnte.

Zunächst wurde im Juni 1955 die Abgabezeit der vorhergesagten 500-mb-Fläche von 10.50 Z auf 11.15 Z verlegt. Dadurch gewann der die HVK bearbeitende Meteorologe 25 Minuten mehr Zeit. Das Ergebnis war eine Steigerung von 0.63 auf 0.68. In dem gleichen Zeitraum wurde die englische Vorhersagekarte um 2 Punkte verbessert.

Bis zum 31. 12. 55 waren alle Meteorologen der Analysenzentrale an der Höhenvorhersagekarte beteiligt. Das hatte den Nachteil, daß jeder Meteorologe nur etwa alle 12 Tage eine Vorhersagekarte anzufertigen hatte und nur wenig Erfahrungen sammeln konnte. Daher wurde ab 1. 1. 1956 nur noch die Hälfte aller Meteorologen zur HVK eingesetzt. Hierbei blieb der Korrelationsfaktor zwar gleich, aber im Halbjahresdurchschnitt war die deutsche Vorhersagekarte erstmals einen Punkt besser als die englische Karte.

In der zweiten Hälfte des Jahres 1956 konnte die Güte der deutschen HVK weiter bis auf  $r = 0.74$  gesteigert werden. Allerdings war in diesem Zeitraum auch die englische HVK mit 0.72 ganz beachtlich gut, aber immerhin 2 Punkte schlechter als die deutsche Karte.

Bei der Zusammenfassung der Ergebnisse zu Jahreswerten ergibt sich:

Tab. 3

	deutsche Karte	englische Karte	Differenz
BVK 1949/1954	0.72	0.66	+6
HVK 1955	0.65 <sub>5</sub>	0.69	-3 <sub>5</sub>
HVK 1956	0.71	0.69 <sub>5</sub>	+1 <sub>5</sub>

Während die englische HVK in den beiden Jahren 1955 und 1956 im Mittel dieselbe Güte aufweist, ist bei der deutschen Karte eine deutliche Verbesserung festzustellen.

Zum Vergleich ist in Tabelle 3 der Korrelationskoeffizient für die Bodenvorhersagekarte (BVK) gemittelt über 6 Jahre (1949 bis 1954) eingetragen worden. Während die HVK im Jahre 1955 noch deutlich abfiel gegenüber der Güte der BVK aus den Vorjahren, konnte im Jahre 1956 für die HVK etwa das gleiche Niveau erreicht werden wie für die BVK. Damit scheint die Auffassung der Meteorologen widerlegt zu sein, die besagte, daß sich die Fehler für die HVK aus vorhergesagter Bodenkarte und vorhergesagter relativer Topographie addieren und damit die HVK nicht die Güte der BVK erreichen könne.

Bei diesem Vergleich darf nicht unerwähnt bleiben, daß trotz Späterlegung des Sendetermins im Juni 1955 die deutsche HVK immer noch zeitiger verbreitet wird als die englische. Die deutsche HVK wird um 11.15 Z, die englische um 12.45 Z gesendet. Diese Zeitdifferenz von  $1\frac{1}{2}$  Stunden ist von großer Bedeutung, da bei der englischen HVK nicht der Zeitdruck vorhanden ist und häufig fehlende Meldungen gerade noch eingehen und verwertet werden können.

Eine Untersuchung darüber, wann die englische HVK besser ist als die deutsche und umgekehrt, ergab grob gesprochen folgendes: In den Fällen, wo es sich um eine normale Wanderung der Tröge und Keile handelte, war die englische HVK im allgemeinen etwas überlegen. In den Fällen von besonderen Entwicklungen (Abspaltung von Kaltlufttropfen, Ausbildung von Hochdruckgebieten, Verstärkungen von Druckgebilden usw.) war die deutsche HVK im allgemeinen besser.

Im laufenden Dienst wurde aus dieser Erkenntnis die Folgerung gezogen und seit etwa Mai 1956 ein stärkeres Augenmerk auf die einfache Extrapolation der Keile und Tröge in 500 mb gerichtet (Verlagerungsmethode). Allerdings wird für diese zusätzlichen Betrachtungen die zur Verfügung stehende Zeit wiederum recht knapp. Zusammenfassend kann aber gesagt werden, daß durch stärkere Beachtung der Verlagerungsmethode, ferner durch Auswahl des Personals und durch Verlängerung der zur Verfügung stehenden Zeit die aufgeführten Verbesserungen erzielt worden sind.

Es muß an dieser Stelle erwähnt werden, daß die erreichte Verbesserung der HVK nicht einfach war. Eine lange Zeit war erforderlich, ehe die Mühe aller beteiligten Meteorologen hinreichend belohnt wurde. Da sich das Ergebnis am deutlichsten in den Jahresmittelwerten zeigt, waren praktisch 2 volle Jahre erforderlich, um den Erfolg einwandfrei festzustellen.

Wegen des großen Arbeitsaufwandes bei der Konstruktion von Vorhersagekarten ist es bei der Analysenzentrale üblich, daß BVK und HVK von zwei verschiedenen Meteorologen angefertigt werden. Hierbei halten beide Bearbeiter engen Kontakt, und schließlich muß der HVK-Bearbeiter vollkommen auf der BVK seines Kollegen aufbauen. Wenn man weiter bedenkt, daß die entscheidende Bodenanalyse und die Konstruktion der 500-mb-Fläche von zwei weiteren Meteorologen angefertigt werden, so wird es so recht klar, daß die Herstellung von Vorhersagekarten eine ausgesprochene Gemeinschaftsarbeit ist. Voraussetzung für diese Gemeinschaftsarbeit sind gegenseitiges Vertrauen, hoher Ausbildungsstand aller beteiligten Meteorologen und einheitliche Auffassung in Fragen der Analyse und der wesentlichen Vorgänge in der Atmosphäre. Diese Erfordernisse sind bei der Analysenzentrale vorhanden; aber sie wurden erst durch langjährige Zusammenarbeit erreicht.

Bei der Bewertung der angeführten Ergebnisse muß berücksichtigt werden, daß der korrelierte Raum außerordentlich ungünstig gewählt ist, da fast  $\frac{2}{3}$  dieses Gebietes über dem Atlantik liegt. Mit den wenigen Radiosonden auf dem Atlantik ist schon die Ausgangslage unsicher. Hinzu kommt, daß die Radiosonden vom mittleren und westlichen Atlantik bisweilen gar nicht vorliegen, so daß dieser Teil der Karten schon von den Vorterminen extrapoliert werden muß. Falsche Radiosondenwerte können wegen der Weitmaschigkeit des Netzes meist nicht erkannt werden. Alles dies muß berücksichtigt werden, wenn die Korrelationskoeffizienten mit denen in anderen Gebieten verglichen werden.

Um einen Überblick zu gewinnen über die regionale Verteilung der Güte der deutschen HVK wurde über 50 Tage (vom 9. 10. bis 27. 11. 1956) der Korrelationskoeffizient in jedem Punkt der Abb. 1 berechnet und Linien gleicher Korrelationskoeffizienten (Isokorrelaten) gezogen. Der Verlauf der Isokorrelaten zeigt, daß große Gebiete Korrelationskoeffizienten über 0.8 aufweisen. Einige wenige Punkte bei 45° N 20° W, 45° N 15° W und 45° N 20° E liegen unter den übrigen Werten und drücken den Durchschnittswert über alle Punkte der Karte herab auf 0.75. Diese Werte liegen auf der südlichen Grenze des Korrelationsbereiches bei 45° N.

Da gerade über dem Nordatlantik südlich 45° wesentlich weniger aerologische und Bodenmeldungen zur Verfügung stehen, überraschen diese ungünstigen Werte nicht.

Als Überraschung könnte eigentlich die große Zahl von guten Werten über 0.75 über dem Nordatlantik bezeichnet werden. Es mag sein, daß die hohen Werte der Korrelationskoeffizienten von Mittelschweden bis zum mittleren Nordatlantik zusammenhängen mit der großen interdiurnen Veränderlichkeit der Höhe der 500-mb-Fläche, die etwa in diesen Gebieten ein Maximum hat. Mit dem richtigen Erkennen des Vorzeichens der Höhenänderung wäre ein hoher Korrelationswert gesichert, wobei der Wert der Vorhersagekarte noch recht zweifelhaft ist. Nun zeigte sich aber, daß gerade in Gebieten mit hohen (niedrigen) Korrelationskoeffizienten auch der relative Fehler der vorhergesagten Höhenänderung die besten (schlechtesten) Werte erbrachte. Man kann daraus den Schluß ziehen, daß es in Gebieten mit großen Änderungen günstiger ist, eine gute Vorhersagekarte zu konstruieren, sofern die vorhergesagten 24stündigen Änderungen zur Grundlage der Gütebewertung gemacht werden. Diese Anschauung, die hier aus einem Mittelwert über 50 Tage gewonnen wurde, gilt auch als allgemeine Erfahrung, die bei den täglichen HVK gewonnen wurde. Sobald andererseits die Änderungen über großen Teilen der Karte gering sind und in der Größenordnung 4 Dekameter liegen, werden bei den obigen Prüfmethode schlechte Werte erzielt.

Unter den Meteorologen tauchen mehrfach Zweifel auf, ob es sinnvoll ist, zur Vorhersage der 500-mb-Fläche den Umweg über BVK und relative Topographie zu gehen. Von den vielen Gründen, die jedoch für diesen Umweg sprechen, seien nur einige wenige genannt.

1. Der Aufbau der absoluten Topographien vom Boden her vermittelt einen viel besseren Einblick in den vertikalen thermischen Aufbau. Dasselbe gilt auch für die Vorhersagekarten, bei denen die vertikale Kontinuität besser gewahrt bleibt.
2. Bei der Vorhersage der relativen Topographie kann die Advektionskarte verwendet werden. Diese gibt die momentane advective Temperaturänderung an und ist für die relative Topographie etwa das, was für die Bodenkarte die 3stündige Drucktendenz ist. (Die konvektiven Vorgänge müssen nach allgemeinen Erfahrungsregeln abgeschätzt werden).
3. Mit der relativen Topographie ist praktisch auch die Temperaturverteilung in 7500 und 500 mb gegeben. Eine Untersuchung über die Abhängigkeit der Temperatur in diesen Flächen ergab einen linearen Verlauf, der in den Abb. 3 und 4 dargestellt ist. Wie weit die wirklichen Temperaturen von diesen Mittelwerten abweichen, kann meist durch eine

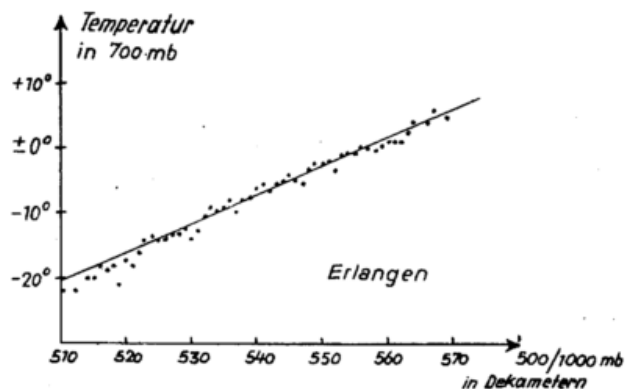


Abb. 3  
Abhängigkeit der Temperatur in 700 mb von 500/1000 mb

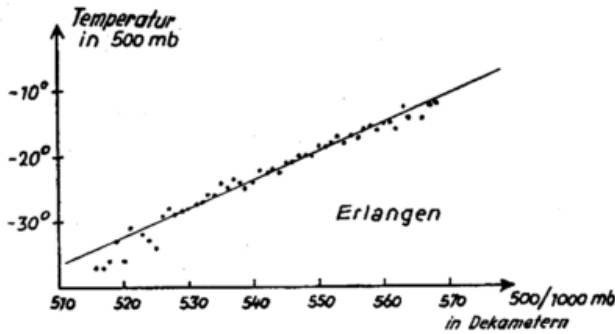


Abb. 4  
Abhängigkeit der Temperatur in 500 mb von 500/1000 mb nach den Aufstiegswerten der Station Erlangen aus den Monaten August, November 1955 und Februar, Mai 1956

Stabilitätsbetrachtung entschieden werden. In labil geschichteter Kaltluft ist z. B. die Temperatur in 500 mb 3—4° niedriger, als der Mittelwert angibt.

4. Mit dem Vorliegen der relativen Topographie 500/1000 mb ist praktisch auch die relative Topographie 300/500 mb gegeben (vgl. hierzu auch [3]). Wie statistische Auswertungen ergaben, braucht die relative Topographie 500/1000 mb nur mit einem Faktor multipliziert zu werden, um daraus die relative Topographie 300/500 mb in sehr guter Annäherung zu bestimmen. Durch graphische Addition von vorhergesagter 500-mb-Fläche und auf jene Weise ermittelter relativer Topographie 300/500 mb kann die 300-mb-Vorhersage ermittelt werden. Die ersten Versuche ergaben, daß die Güte der 300-mb-Vorhersage-Topographien in der gleichen Größenordnung liegt wie die Güte der 500-mb-Vorhersagekarten. (Vgl. hierzu den 2. Teil dieser Arbeit).

Abschließend kann festgestellt werden, daß sich die Konstruktion der HVK, die sich aus der Verlagerungsmethode und dem Aufbauverfahren zusammensetzt, bewährt hat und diese Methode vorerst beibehalten werden kann.

Da das Aufbauverfahren ähnlich wie die Verlagerungsmethode eine Art Extrapolation ist, gehört dieses Verfahren zu den Extrapolationsmethoden, die im allgemeinen auch im Vorhersagedienst anderer Länder als Grundlage dienen.

Beim Vergleich der Extrapolationsmethoden mit den Ergebnissen, die mit Hilfe von numerischen Verfahren erzielt wurden, bezeichnet man jene auch als herkömmliche oder konventionelle Methoden.

Der hier gegebene Überblick über die Güte der HVK bezog sich auf die Jahre 1955/56. Mit Zuversicht wurde

an die Aufgabe herangegangen, die Güte der HVK zu verbessern. Diese Zuversicht wurde erfüllt. Es wäre aber wohl vermessen, wenn man die Güte in gleicher Weise weiter steigern wollte. Man hat den Eindruck, daß das Optimum erreicht ist.

Eine Hoffnung, die Güte der HVK noch weiter zu verbessern, liegt bei den numerischen Methoden. Dieser noch sehr junge Zweig der Meteorologie befindet sich erst am Anfang seiner Entwicklung. Trotzdem liegen schon jetzt ganz beachtliche Ergebnisse vor.

Vom 9. 10. bis 16. 12. 1956 gingen bei der Analysenzentrale regelmäßig von Stockholm numerische HVK nach dem barotropen Modell für 24, 48 und 72 Stunden ein. Diese Karten wurden auf Grund des 15-Z-Termins berechnet, während der deutschen und der englischen HVK der 03-Z-Termin zugrunde lag. Als Einzelkarten sind die HVK also nicht vergleichbar, jedoch läßt der Mittelwert über rund 60 Karten einen Vergleich zu über die Güte der HVK mit konventionellen und mit numerischen Methoden.

In der Zeit vom 15. 11. bis 16. 12. 1956 gingen beim Deutschen Wetterdienst außerdem von Washington numerische HVK für 36 Stunden nach dem thermotropen Modell ein, deren Güte ebenfalls überprüft wurde.

Das thermotrope Modell wurde von Thompson entwickelt. Bei diesem Modell wird neben der geostrophisch approximierten Adiabatengleichung vorausgesetzt, daß der thermische Wind, der längs den Isothermen weht, seine Richtung nicht mit der Höhe ändert. Barokline Effekte werden also in vereinfachter Form berücksichtigt.

Sowohl die thermotrope als auch die barotrope HVK aus Stockholm wurden an den gleichen Punkten geprüft, die in Abb. 2 angegeben sind. Der Kartenausschnitt der numerischen Karten umfaßt zwar ein wesentlich größeres Areal, doch wurde bewußt nur der Raum der Abb. 2 geprüft, um einen Vergleich zu haben mit den Ergebnissen, die im Deutschen Wetterdienst seit August 1948 in demselben Raume nach der Korrelationsmethode errechnet wurden.

Bezüglich der thermotropen HVK wäre noch zu erwähnen, daß das Vorhersagegebiet der Abb. 2 ein Randgebiet ist und einige Punkte über Mitteleuropa und dem Mittelmeer nicht mehr in der Karte enthalten sind.

Die Ermittlung der Korrelationskoeffizienten  $r$  ergab die Werte, die in der ersten Spalte der Tabelle 4 dargestellt sind.

Tab. 4

Höhenvorhersagekarte	$r$	$F_w$	Sendezeit	Zeitraum
24-stdg. 03 <sup>h</sup> deutsch	0.78	0.40	8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	9. 10. — 16. 12. 56
03 <sup>h</sup> englisch	0.76	0.38	9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	" "
15 <sup>h</sup> barotrop Stockholm	0.71	0.40	etwa 14	" "
36-stdg. 03 <sup>h</sup> thermotrop Washington	0.76	0.44	etwa 14	15. 11. — 15. 12. 56
72-stdg. 15 <sup>h</sup> barotrop Stockholm	0.65	0.77	etwa 14	9. 10. — 16. 12. 56

Nach der Prüfungsmethode mit Korrelationskoeffizienten hat die barotrope HVK noch nicht die Güte der mit konventionellen Methoden gewonnenen Karten erreicht.

Die HVK nach dem thermotropen Modell verzeichnet etwa den gleichen Korrelationskoeffizienten wie die englische HVK und ist nur um 0.02 schlechter als die deutsche HVK. Unter der Berücksichtigung, daß die thermotrope Vorhersage für 36 Stunden gilt, muß für diese HVK nach dem Prüfverfahren mit Korrelationskoeffizienten eine gewisse Überlegenheit über die konventionellen Methoden anerkannt werden.

Der Korrelationskoeffizient für die 72stdg. Änderungen zeigt für die barotrope HVK mit 0.65 einen beachtlich hohen Wert. Er übertrifft hiermit bei weitem die Korrelationskoeffizienten, die mit Hilfe reiner statischer Methoden mit Werten zwischen 0.35 und 0.53 erzielt werden.

Bei der Beurteilung der Güte ist es nicht unwesentlich, wann die HVK im synoptischen Dienst zur Verfügung stehen. In Tabelle 4 ist daher in der 3. Spalte angegeben, wieviel Stunden nach dem Beobachtungstermin die einzelnen HVK gesendet werden. Für die thermotrope HVK wurde dabei die Facsimilesendezeit, für alle übrigen HVK die Fernschreibendezeit zugrundegelegt.

In Washington ist es gelungen für den Raum der Vereinigten Staaten und des Westatlantiks die 36-stdg. HVK wesentlich früher fertigzustellen. Dieser sogenannte QUICKY wird bereits 4<sup>3</sup>/<sub>4</sub> Stunden nach aerologischem Termin verbreitet.

Da die Prüfungsmethode mit Korrelationskoeffizienten Mängel hat, wurden noch zwei andere Methoden angewendet. In dem gleichen Raume der Abb. 2 wurde der Ausdruck  $F_w$  berechnet, wobei

$$F_w = \frac{2 |v_f - v_o|}{|v_f| + |v_o|}$$

den relativen Windfehler aus mittlerem vorhergesagtem ( $v_f$ ) und mittlerem beobachtetem Wind ( $v_o$ ) bedeutet.  $F_w = 0$  besagt, daß das vorhergesagte Strömungsfeld mit dem beobachteten völlig übereinstimmt. Das Druckniveau bleibt hierbei unberücksichtigt (vgl. hierzu (4)).

Die Ergebnisse dieser Prüfung sind in der Tabelle in der Spalte  $F_w$  eingetragen. Nach dieser Prüfungsmethode treten in der Güte der 24-stdg. HVK kaum noch Unterschiede auf. Die 36-stdg. thermotrope HVK schneidet mit 0.44 nur unwesentlich schlechter ab als die 24-stdg. Vorhersagekarten.

Bemerkenswert ist das starke Absinken der 72-stdg. barotropen HVK, was in den Korrelationskoeffizienten nicht so deutlich zum Ausdruck kommt.

Schließlich wurde noch der relative Fehler der streckenparallelen Windkomponente  $F_w^*$  im Mittel für die 6 Flugstrecken Stockholm — Island, Frankfurt — 50° N / 40° W, Frankfurt — Azoren, Berlin — Moskau, München — Istanbul, Barcelona — Athen berechnet. Dieses Prüfungsverfahren hat besondere Bedeutung für die Praxis im Flugwetterdienst, wo für die Atlantiküberquerungen täglich die äquivalenten Gegenwindkomponenten berechnet werden. Um jedoch ein größeres Gebiet zu erfassen, wurden willkürliche Flugstrecken gewählt, so daß unter Berücksichtigung aller Strecken ganz grob betrachtet wiederum ein Gebiet geprüft wurde, das dem Kartenausschnitt der Abb. 2 entspricht.

Höhenvorhersagekarte	$F_w^*$	Zeitraum
24-stdg. deutsch	0.51	November 1956
englisch	0.50	"
numerisch (barotrop)	0.36	"

Da für alle diese Prüfungen verhältnismäßig viel Arbeitsaufwand erforderlich ist, wurde diese Prüfungsmethode auf den November 1956 beschränkt.

Welches sind nun die wesentlichen Unterschiede der einzelnen Prüfverfahren?

Das Korrelationsverfahren macht eine Aussage über die vorhergesagten und eingetretenen Höhenänderungen. Da es gerade im synoptischen Dienst wichtig ist, die richtige Änderung vorherzusagen, ist der Korrelationskoeffizient ein Maß, das sich bezüglich der synoptischen Entwicklung als gut brauchbar erwiesen hat.

Das Prüfverfahren mit dem relativen Windfehler vergleicht die vorhergesagte Windverteilung mit der wirklichen. Das Druckniveau und die vorhergesagten Änderungen können bei guten Werten von  $F_w$  hierbei erhebliche Fehler aufweisen. Da die richtige Höhenwindvorhersage gerade bei der Flugberatung von Bedeutung ist, wäre dieses Prüfverfahren besonders für den Flugwetterdienst geeignet.

Rein theoretisch kann man sich HVK ausdenken, die nach dem einen Verfahren gute Werte und nach dem anderen Verfahren schlechte Werte erzielen. Die Erfahrung mit den 24-stdg. HVK in den Monaten Oktober, November, Dezember 1956 hat aber gezeigt, daß beide Verfahren Gütewerte liefern, die annähernd parallel laufen. In den Sommermonaten, wo nur kleine 24-stdg. Änderungen auftreten, ist das aber sicher nicht mehr richtig. Für das gute Abschneiden der barotropen HVK in der Größe  $F_w^*$  kann keine plausible Erklärung angegeben werden.

Bei den 36-stdg. HVK laufen die verschiedenen Gütemaße nicht mehr so streng parallel wie bei den 24-stdg. HVK. Während der Korrelationskoeffizient etwa den gleichen Wert zeigt wie die 24-stdg. HVK, sinkt der relative Windfehler bereits etwas ab.

Eine Durchsicht der thermotropen HVK nach meteorologischen Gesichtspunkten hatte im Gebiet Ostamerika — Nordatlantik — Westeuropa folgendes Ergebnis:

1. Die Wanderung der Höhenträge wird zu schnell, ihre Intensität zu schwach vorhergesagt.
2. Abgeschlossene Höhentiefs werden i. a. mit zu hoher Verlagerungsgeschwindigkeit und zu tief vorhergesagt.
3. Höhentiefneubildungen werden mehrfach nicht erkannt.
4. Höhenhochkeile werden teils zu hoch, teils zu tief vorhergesagt.
5. Das Gesamtniveau wird häufig zu hoch vorhergesagt.

Bei den 72-stdg. HVK treten mehrfach Fälle auf, bei denen die Phase der Höhenänderung gerade noch richtig erkannt ist. Die wirkliche Windverteilung weicht aber schon häufig beträchtlich von der vorhergesagten ab. Dies mag ein Grund dafür sein, daß der Korrelationskoeffizient für 72-stdg. HVK wesentlich besser ausfiel als der relative Windfehler.

Ganz grob kann an Hand der vorliegenden Ergebnisse festgestellt werden: je größer der Zeitraum wird,

auf den sich die HVK erstreckt, um so günstiger werden sie durch Korrelationskoeffizienten beurteilt.

Auch bei einer Durchsicht der einzelnen 72-stdg. HVK mit Rücksicht auf ihre Brauchbarkeit für die Mittelfristprognose wurde festgestellt, daß der Korrelationskoeffizient ein zu günstiges Bild gibt. Beispielsweise werden Zyklongenese und Blockierungen mit dem barotropen Modell i. a. nicht erkannt. Andererseits werden blockierende Hochs oder Höhentiefs unter starker Abschwächung nach Osten verlagert, obwohl diese Gebilde in Wirklichkeit häufig stationär blieben. Die barotrope Höhenvorhersagekarte bevorzugt grob gesprochen zu stark das zonale Element, d. h. es werden häufig Umstellungen von meridionalen in zonale Lagen vorhergesagt, die nicht eintreten, und in anderen Fällen wird der Bestand zonaler Lagen vorhergesagt, bei denen in Wirklichkeit ein Abbruch erfolgt. Da die Ursachen in allen diesen Fällen weitgehend auf barokline Effekte zurückzuführen sind, die in dem barotropen Modell nicht berücksichtigt sind, wird der Theoretiker durch jene Mißerfolge nicht überrascht sein.

Es muß in diesem Zusammenhang betont werden, daß das barotrope Modell keine Temperaturverteilung, keine Bodenkarten und keine Vorentwicklung berücksichtigt und als Eingang nur die Isohypsenverteilung der 500-mb-Fläche benötigt. Mit diesen Ausgangsdaten können Neubildungen und Umbildungen im allgemeinen nicht erfaßt werden. Da aber über 72 Stunden erfahrungsgemäß sehr häufig Neubildungen und Umbildungen stattfinden, kann die 72-stdg. HVK nur einen begrenzten Wert haben.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die 24- und 36stdg. numerischen HVK noch keine eindeutige Verbesserung gegenüber den konventionellen Methoden gebracht haben. Auch die 72-stdg. numerische HVK, für die ein Vergleich mit konventionellen HVK nicht angestellt werden kann, hat sich noch nicht als zuverlässiges Argument bei der Mittelfristprognose erwiesen.

Dies ist der Stand zu Ende des Jahres 1956. Hierbei soll nicht unerwähnt bleiben, daß die Höhenvorhersagekarten mit konventionellen Methoden gerade einen Höchststand erreicht hatten. Die numerischen Verfahren befinden sich aber erst am Anfang einer noch nicht abzusehenden Entwicklung. Es ist zu hoffen, daß durch Verfeinerung der Modelle, durch Berücksichtigung barokliner, ageostrophischer und nichtadiabatischer Effekte im Laufe der Zeit eine entscheidende Verbesserung der Vorhersagekarten und damit der Vorhersagen erzielt werden kann.

## 2. Anfertigung von aktuellen und Vorhersage-topographien in 300 und 200 Millibar

### Vorbemerkungen

Die moderne Luftfahrt entwickelt sich immer mehr in der Richtung, daß für den transozeanen und transkontinentalen Verkehr Düsenflugzeuge zum Einsatz kommen. Infolge der hohen Geschwindigkeit dieser Flugzeuge werden nicht nur die Reisezeiten erheblich verkürzt werden, sondern die Flüge werden auf längere Sicht gesehen für die Luftverkehrsgesellschaften auch wirtschaftlicher durchgeführt werden können. Voraussetzung hierfür ist allerdings, daß die Flugzeuge in großen Höhen bei geeigneten Temperaturen fliegen. Die in Frage kommenden Höhen entsprechen etwa den Luftdruckwerten 300 mb und 200 mb, also etwa 8 500 und 12 000 m Höhe.

Obwohl diese Flüge im wesentlichen oberhalb der Wetterzone stattfinden, wird damit keineswegs die Flugberatung überflüssig. In internationalen Empfeh-

lungen und Beschlüssen werden daher die Wetterdienste der ganzen Welt aufgefordert, entsprechende Unterlagen für die Beratung dieser Flüge zu entwickeln. Im einzelnen beziehen sich die Forderungen auf folgende Elemente in 300 und 200 mb:

- 1) Winde
- 2) Temperatur
- 3) Böigkeit in wolkenfreier Luft
- 4) Cirren und Cumulonimben in diesen Höhen.

Auf einer Sonderkonferenz der internationalen Luftfahrtorganisation "ICAO" im Februar des Jahres 1956 sind bereits ganz konkrete Planungen angegeben worden. Danach rechnete man im Jahr 1957 bereits mit regelmäßig verkehrenden Düsenflugzeugen von Europa nach Nordamerika. Zur Vorbereitung dieser Flüge wurde empfohlen, schon jetzt mit entsprechenden Planspielen zu beginnen, um Erfahrungen zu sammeln für die Vorhersagen von Flügen in 300 und 200 mb.

Da die Deutsche Lufthansa in einigen Jahren ebenfalls zu Düsenflugzeugen übergehen wird, ist die Entwicklung von Vorhersagekarten in 300 und 200 mb eine vordringliche Aufgabe, für die in den folgenden Betrachtungen eine vorläufige Lösung angegeben werden soll.

### 2.1. Hilfsmittel zur Konstruktion der 300-mb-Fläche und ihrer Vorhersage

Es ist eine alte Erfahrungstatsache, daß Fehler in der Vorhersagekarte häufig auf Analysefehler beruhen. Über weiten Gebieten des nordatlantischen Ozeans liegen keine Meldungen vor oder die Stationsdichte ist so gering, daß falsche Meldungen nicht entdeckt werden können. Auf diese Weise ist es möglich, daß Einzelheiten des Druckbildes oder die Lage von Fronten in der Ausgangslage nicht genau erkannt werden und die Ungenauigkeiten zum Folgetag eine beachtliche Auswirkung haben können. Eine in allen Details gesicherte Analyse ist die Voraussetzung für eine gute Vorhersagekarte! Diese Erfahrung gilt nicht nur für Vorhersagekarten am Boden, sondern auch für die Höhe. Bei der Konstruktion der Vorhersagekarten von Topographien höherer Niveaus muß daher zunächst alles getan werden, um die aktuelle Karte zu sichern.

Es kann nicht das Ziel dieser Ausführungen sein, auf alle Einzelheiten einzugehen, die für die Konstruktion von Topographien höherer Druckflächen zu beachten sind. Bezüglich dieser Details muß auf die einschlägigen Lehrbücher verwiesen werden. (Scherhag (5), Riehl (6)). In den folgenden Ausführungen sollen daher nur gewisse Elemente betont werden, die bei der Konstruktion von Höhenkarten sehr leicht vernachlässigt werden. Auf einer großen Dienststelle, wo eine weitgehende Arbeitsteilung unerlässlich ist, besteht die Gefahr, daß Meteorologen, die Höhenkarten zu bearbeiten haben, nur in diesen Schichten denken. Der Überblick über den dreidimensionalen Aufbau der Atmosphäre und insbesondere die Verbindung zur Bodenkarte gehen gar zu leicht verloren. Man würde dann aber gerade ein sehr wesentliches Analysehilfsmittel aufgeben, das nicht nur zum Verständnis des Wetterablaufs beiträgt, sondern auch für die Konstruktion der Höhenvorhersagekarten von eminenter Bedeutung ist.

In den Höhen oberhalb 500 mb werden die aerologischen Messungen spärlicher und unsicherer. Daher ist es in unbelegten oder unsicher belegten Gebieten von großem Vorteil, zur Extrapolation oder Prüfung von Werten nicht nur die Vorkarten zu verwenden, sondern auch Beziehungen zu verwerten zu Karten in unteren Niveaus. Anders ausgedrückt: neben der zeitlichen Kontinuität aller Karten muß auch die räumliche (vertikale) Kontinuität erfüllt sein. Da bei der Konstruk-

tion von Höhenvorhersagekarten die zeitliche Kontinuität der Wetterlage bevorzugt wird und allgemein bekannt ist, soll im folgenden mehr die räumliche Kontinuität beschrieben werden.

Für den Linienverlauf höherer absoluter Topographien gibt es zwar gewisse Regeln wie z. B. die Achsenneigung eines Tiefdruckgebietes oder die Windzunahme mit der Höhe, jedoch sind diese Erfahrungsregeln zur Extrapolation oder zur Kontrolle des Linienverlaufes höherer Druckflächen wenig geeignet.

Ein viel besserer Zusammenhang zwischen unterer und oberer Troposphäre besteht bei den relativen Topographien. Sie ermöglichen nicht nur, durch graphische Addition die absoluten Topographien vom Boden her aufzubauen und besser und sicherer zu zeichnen, sondern sie vermitteln uns darüber hinaus einen Überblick über die dreidimensionale Temperaturverteilung in der Atmosphäre.

Es ist eine allgemein bekannte Erfahrungstatsache, daß die Luftmassen in der ganzen Troposphäre ein gleichsinniges Verhalten zeigen. Ist z. B. die Troposphäre in unteren Schichten warm (kalt), so ist sie es auch in oberen Schichten.

Im Deutschen Wetterdienst hat unter den relativen Topographien die Schicht 500/1000 mb seit Einführung der täglichen Konstruktion von Höhenkarten eine Vorzugsstellung eingenommen. Unter den verschiedenen relativen Topographien ist die Schicht 500/1000 mb jedem Synoptiker am besten bekannt, und manche Erfahrungsregeln bezüglich Analyse und Vorhersage werden von der relativen Topographie 500/1000 mb abgeleitet.

Auch bei der Konstruktion der 500-mb-Fläche hat die relative Topographie eine besondere Bedeutung, indem diese zuerst gezeichnet wird und die absolute Topographie in erster Näherung mit Hilfe der graphischen Addition aus 1000 mb und 500/1000 mb aufgebaut wird.

Bei der Herstellung der 300-mb-Fläche wird ausgegangen von der 500-mb-Fläche und dazu die relative Topographie 300/500 mb addiert.

Auf den Zusammenhang zwischen 500/1000 mb und 225/500 mb hat Scherhag (5) schon hingewiesen. Seine bekannte Beziehung, daß am gleichen Ort die Werte x der relativen Topographie 500/1000 mb etwa gleich sind den Werten y der relativen Topographie 225/500 mb

$$[1] \quad x_{500/1000} \approx y_{225/500}$$

ließ sich mit großem Vorteil bei der Konstruktion der 225-mb-Fläche benutzen.

Durch den Beschluß der WOM, als Standardflächen 850, 700, 500, 300, 200 und 100 mb zu nehmen, ließ sich die obige Beziehung leider nicht mehr verwenden, wohl aber die Grundidee dieses Zusammenhanges, daß

nämlich abgesehen von flachen Bodenstörungsschichten die Luftmasseigenschaften bis zur Tropopause erhalten bleiben, d. h. Warmluft (Kaltluft) der Schicht 500/1000 mb ist auch noch bis zur Tropopause warm (kalt).

Ein schwieriger Faktor ist hierbei die Höhenlage der Tropopause, die in weiten Grenzen variabel ist und in manchen Fällen auch den von Scherhag festgestellten Zusammenhang stört. Die Beziehung [1] ist nur dann anwendbar, wenn die Tropopause nicht wesentlich unter 225 mb absinkt. Diese Forderung ist in Kaltluftgebieten aber häufig nicht mehr erfüllt. Nach der Statistik von Wiehler (7) waren z. B. die Tropopausenhöhen 1951/52 in Berlin in 64% aller Fälle unter 220 Millibar.

Für die Probleme des heutigen Dienstes geht es darum, Beziehungen herzuleiten zwischen den relativen Topographien 500/1000 mb und 300/500 mb (3). Bedingung hierfür ist, daß die Tropopause nicht wesentlich unter 300 mb absinkt. Diese Bedingung ist aber viel häufiger erfüllt als die obige Forderung für die 225-mb-Fläche. (Nach Wiehlers Statistik in 90% aller Fälle!) Es war daher zu hoffen, eine gute Beziehung zu finden zwischen den relativen Topographien 500/1000 und 300/500 mb von der Art:

$$[2] \quad a \cdot x_{500/1000} \approx y_{300/500} + b$$

wobei a und b konstante Größen darstellen. Zur Ermittlung der Beziehung [2] wurde statistisch vorgegangen.

Für den Fall, daß ein jahreszeitlicher Einfluß in der zu erwartenden Beziehung enthalten ist, wurden die 4 Monate Februar 56, Mai 56, August 55 und November 55 ausgewählt, da Februar und August etwa die Extremwerte enthalten.

Aus jedem dieser Monate wurden im atlantisch-europäischen Raum gut belegte Karten der relativen Topographie 500/1000 und 300/500 mb herausgesucht und jeweils 2 Karten eines Termins am Leuchttisch zur Deckung gebracht. Etwa an 500 Punkten wurden dann zu den Werten der relativen Topographie 300/500 mb entsprechende Werte von 500/1000 mb ermittelt. Dies geschah im einzelnen so, daß auf einer bestimmten Isolinie der relativen Topographie 300/500 mb entlang gefahren wurde und etwa alle 500 km der entsprechende Wert auf der relativen Topographie 500/1000 mb abgelesen wurde. (Dies Verfahren hat den Vorteil, daß eindeutig falsche Radiosondenwerte nicht berücksichtigt werden, da sie bei der Konstruktion der relativen Topographie bereits gestrichen werden.) Für die einzelnen Werte der relativen Topographie 300/500 mb 332, 336, 340 . . . . ergaben sich jeweils eine Anzahl von zugehörigen Werten 500/1000 mb, aus denen das Mittel gebildet wurde.

Für die einzelnen Monate ergaben sich folgende Mittelwerte:

Tab. 5  
Beziehung zwischen relativer Topographie 500/1000 und 300/500 mb  
500/1000 mb

300/500	Februar 56	Mai 56	August 55	November 55	Jahr
332	492	—	—	—	492
336	500	—	—	501	500(1)
340	509	514	—	509	511
344	517	520	—	517	518

Fortsetzung der Tabelle 5

300/500	Februar 56	Mai 56	August 55	November 55	Jahr
348	526	527	527	525	526
352	534	534	533	533	533(4)
356	543	541	540	541	541
360	552	549	546	549	549
364	560	556	552	557	556
368	—	563	559	565	562
372	—	—	565	—	565
376	—	—	572	—	572
380	—	—	—	—	—

Bei den in der Tabelle 5 aufgeführten Werten handelt es sich um lineare Beziehungen, wie die Kurvendarstellungen in den Abb. 5 zeigen. Für die Jahreswerte ergibt sich

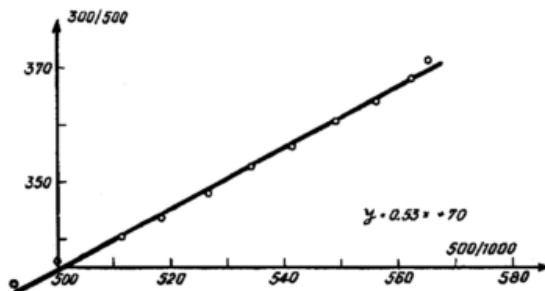
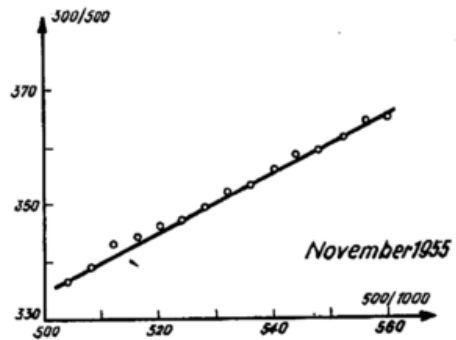
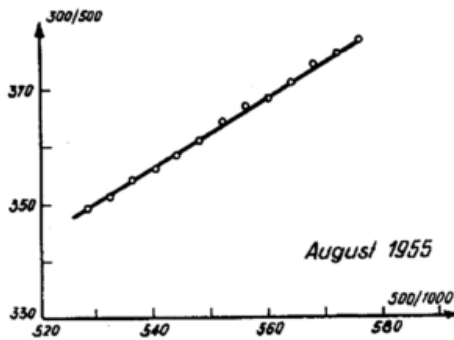
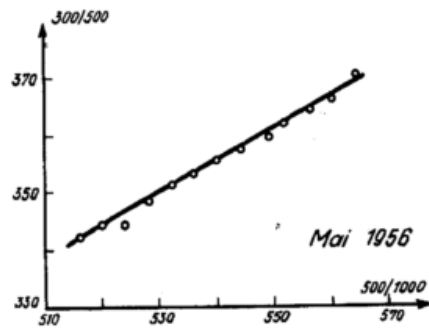
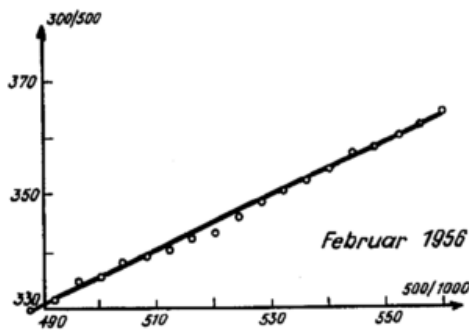


Abb. 5

Beziehung zwischen relativer Topographie 300/500 mb und relativer Topographie 500/1000 mb (Angaben in Dekametern)

[2]  $y_{300/500} \approx 0.53 x_{500/1000} + 70$   
 in der Einheit „Dekameter“.

In der Tabelle 5 zeigt sich eine geringe Jahreszeitenabhängigkeit. Es ist daher zweckmäßig, für die Monate Januar, Februar, März die Februar-Tabelle zu verwenden, für April, Mai, Juni die Mai-Tabelle, für Juli, August, September die August-Tabelle und für Oktober, November, Dezember die November-Tabelle.

Die Jahreszeitenabhängigkeit dürfte dadurch zustandekommen, daß Warmluft und Kaltluft verschiedene hohe Tropopause haben. Liegt die Tropopause unterhalb 300 mb, was in Kaltluft häufig der Fall ist, so gehört zu einem vorgegebenen Wert der relativen Topographie 500/1000 mb ein höherer Wert der relativen Topographie 300/500 mb als bei einer Tropopause oberhalb 300 mb, was in Warmluft allgemein der Fall ist. Diese Anschauung wird bestätigt durch die Tabellenwerte. So gehören z. B. im Februar zu der relativen Topographie 500/1000 mb oberhalb 540 Dekameter tiefere Werte der relativen Topographie 300/500 mb als im August. Der Grund hierfür dürfte sein, daß im Februar dieser Bereich ausschließlich aus Warmluft mit hoher Tropopause gebildet wird, während im Hochsommer die Werte in mittleren und südlicheren Breiten häufig in der Kaltluft mit tiefliegender Tropopause vorkommen. An dieser Stelle taucht die Frage auf, ob nicht in der Tabelle eine größere Genauigkeit erzielt würde, wenn sie grundsätzlich nach Warmluft und Kaltluft unterteilt würde. Es ist bekannt, daß die gleiche Isolinie der relativen Topographie Teil eines Kaltlufttropes und einer Warmluftzunge sein kann.

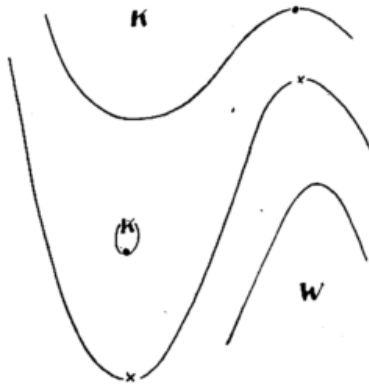


Abb. 6  
 Beispiel für gleiche Werte (• und x) in einer rel. Top.

(Vgl. Abb. 6 die Punkte x.) Auch das Zentrum eines Kaltlufttropfens kann den gleichen Wert haben, wie an anderer Stelle ein Teil einer Warmluftzunge. (Vgl. Abb. 6 die Punkte •.) Eine Unterscheidung von Warmluft und Kaltluft wurde in der Statistik zunächst auch vorgenommen, jedoch zeigte die Mittelbildung für Warmluft und Kaltluft etwa die gleichen Werte, so daß eine Aufspaltung der Tabelle keine wesentlichen Vorteile bot. Weiter unten wird noch gezeigt werden, wie extreme Verhältnisse berücksichtigt werden können.

Die gewonnene Beziehung zwischen der relativen Topographie 500/1000 und 300/500 mb läßt sich mit Erfolg verwenden bei der Zeichnung der relativen Topographie 300/500 mb. Es kann dabei so verfahren werden.

Man bringe eine Wetterkarte z. B. Februarlage mit den Werten der relativen Topographie 300/500 mb auf dem Leuchttisch mit der entsprechenden relativen Topographie 500/1000 mb zur Deckung. Dann ziehe man

die Linien 492, 500, 509 usw. der relativen Topographie 500/1000 mb und beziffere diese Linien entsprechend der gültigen Tabelle um. Die so erhaltenen Linien sind in erster Näherung gleich den Isolinien 332, 336, 340 usw. der relativen Topographie 300/500 mb.

Die Erfahrung zeigt, daß die gemessenen Werte der relativen Topographie 300/500 mb häufig stark streuen, und benachbarte Werte oder sogar benachbarte Wertepaare nicht zusammen passen. Die Entscheidung, welche Werte richtig und welche falsch sind, ist häufig nicht einfach. Hierfür kann die nach den Tabellenwerten gezeichnete relative Topographie 300/500 mb zur Lösung beitragen.

Ein ähnlicher Zusammenhang wie zwischen den Werten 500/1000 mb und 300/500 mb besteht auch zwischen den Werten 500/1000 mb und 300/1000 mb. Man braucht in den Tabellen zu den Werten von 300/500 mb nur die entsprechenden Werte von 500/1000 mb zu addieren. Der besseren Übersicht wegen sind diese Werte hier in etwas abgewandelter Form so aufgeschrieben, daß sich gleich die durch 8 teilbaren Isolinien der relativen Topographie 300/1000 mb ergeben.

Tab. 6

Beziehung zwischen relativer Topographie 500/1000 und 300/1000 mb

300/1000	Febr. 56	Mai 56	August 55	Nov. 55
	500 / 1000 mb			
824	492			
832	497			
840	503			503
848	508			508
856	514	515		514
864	519	520		518
872	525	526	525	524
880	530	531	530	529
888	536	536	535	534
896	541	542	540	540
904	547	548	545	546
912	552	553	550	551
920	557	559	555	556
928	563	565	560	561
936		571	564	566
944			569	
952			574	
960			579	

Um die relative Topographie 300/1000 mb zu erhalten, zeichne man in der relativen Topographie 500/1000 mb die Linien der in den Tabellen vorgesehenen Werte. Eine Umbezifferung dieser Werte nach den Angaben in der Tabelle ergibt die Isolinien 300/1000 mb von 8 zu 8 Dekametern.

Zur Überprüfung der Tabellenwerte wurde bei vier beliebigen relativen Topographien 500/1000 mb die zugehörige relative Topographie 300/500 mb aus den Tabellenwerten gezeichnet und diese Karte subtrahiert von derjenigen Karte, die aus den tatsächlich gemeldeten Werten ermittelt wurde.

Aus der so entstandenen Abweichungskarte ist zu entnehmen, daß zwar Abweichungen bestehen, diese aber gering sind. (Vgl. Abb. 7—10).

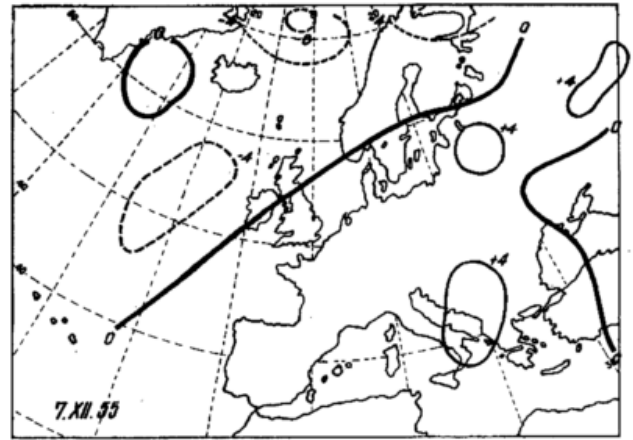
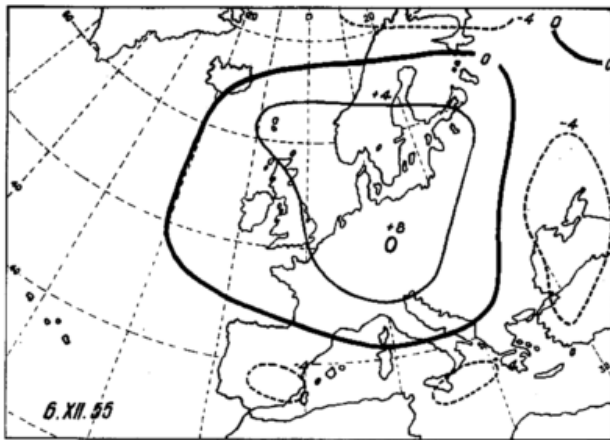
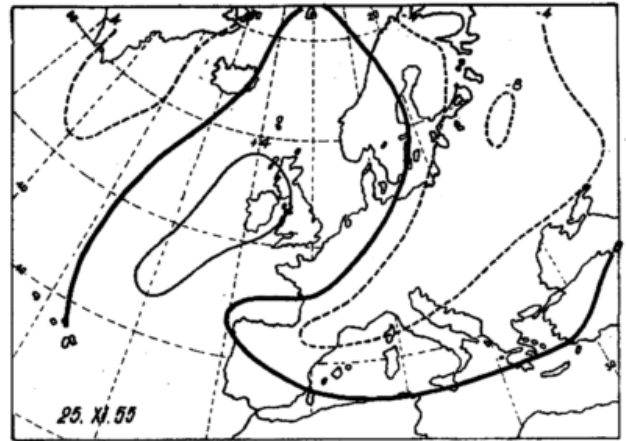
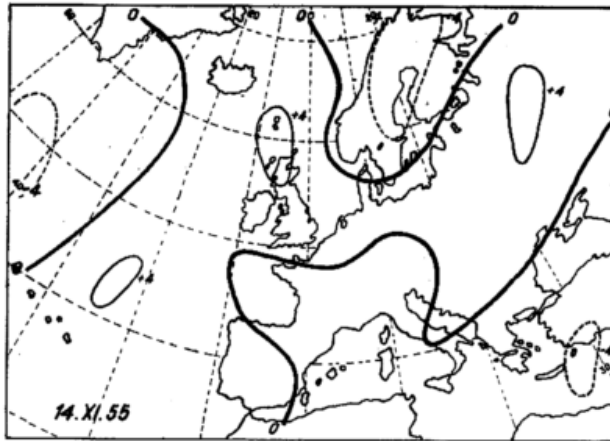


Abb. 7—10

Abweichungskarten 300/500 mb nach Radiosondenwerten minus  
300/500 mb nach Tabellenwerten

Abweichungen treten auf über sehr tief liegender Tropopause. In diesem Falle gibt die Statistik zu tiefe Werte für 300/500 mb. Kleinere Abweichungen treten ferner auf bei Warmluft- und Kaltluftzungen. Diese Gebilde sind i. a. in der relativen Topographie 300/500 mb etwas in Richtung der Bodenströmung verschoben. Eine genauere Einzeluntersuchung müßte aber noch Klarheit schaffen, ob durch eine Verschiebung der Gebilde in 300/500 mb in Strömungsrichtung generell eine Verbesserung erzielt werden kann.

Treten — abgesehen von diesen Abweichungen — noch andere Differenzen zwischen den aktuellen und Tabellenwerten auf, so empfiehlt sich in jedem Falle eine genaue Nachprüfung des aktuellen Wertes in dem gezeichneten Radiosondenaufstieg. Auch ein Vergleich mit der Vorkarte kann nützlich sein.

Eine andere Methode zur Prüfung der Güte der Tabellenwerte wurde an der Station Erlangen durchgeführt. In den 4 Monaten, Februar, Mai, August und November 1956, wurde zu jeder relativen Topographie 500/1000 mb von 03 Uhr nach der Tabelle der Wert für 300/500 mb abgelesen und mit dem tatsächlichen Wert verglichen. Die Tabelle zeigt die Abweichungen von dem Mittelwert.

Abweichung	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 Dkm.
Anz. der Fälle	16	16	23	24	15	7	9	4	4	1	1

Abweichungen bis zu 4 Dekameter, die als klein bezeichnet werden müssen, kamen 80mal (= 83%) vor.

Hieraus ergibt sich, daß die Tabellenwerte nur eine erste Näherung sind für die relative Topographie 300/

500 mb. Ein weiteres Hilfsmittel, um nach der Ermittlung der absoluten Topographie 300 mb durch graphische Addition noch Korrekturen anzubringen, sind die Höhenwinde, die mit Hilfe von Radargeräten gemessen wurden. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Radarwinde in den höheren Isobarenflächen allgemein zuverlässiger sind als die Geopotentialwerte. Es ist daher notwendig, nicht nur die Isobarenrichtung dem gemessenen Windwert anzugleichen, sondern auch den Isobarenabstand mit geeigneten Maßstäben zu errechnen.

Noch größeren Nutzen als zur Konstruktion der aktuellen 300-mb-Fläche dürfte die Beziehung zwischen 500/1000 und 300/500 mb bringen bei der Konstruktion einer Vorhersagetopographie 300 mb.

Mit Hilfe der vorhergesagten relativen Topographie 500/1000 mb und der Tabellen läßt sich leicht die entsprechende relative Topographie 300/500 mb zeichnen. Eine Addition dieser Karte und der vorhergesagten 500-mb-Fläche ergibt die Vorhersage für die 300-mb-Fläche. Eine andere Möglichkeit wäre, aus den Tabellen für 300/1000 mb direkt die vorhergesagte relative Topographie 300/1000 mb zu zeichnen. Eine Addition dieser Karte und der vorhergesagten Bodenkarte ergibt ebenfalls wieder die vorhergesagte 300-mb-Fläche. Es ist leicht ersichtlich, daß eine so gewonnene Vorhersage-Topographie in guter Kontinuität mit der vorhergesagten Bodenkarte und der 500-mb-Fläche ist. Entsprechend den Ausführungen im ersten Teil dieser Arbeit wäre diese Methode wiederum als Aufbau- methode zu bezeichnen.

Wenn es auch schon möglich ist, ein verhältnismäßig gutes Bild der Vorhersage-Topographie 300 mb in erster Näherung zu gewinnen, so sollen die Tabellenwerte nicht das einzige Hilfsmittel zur Konstruktion von Vorhersage-Topographien sein. Die Erfahrung hat gezeigt, daß nicht nur eine räumliche (vertikale) Koppelung der relativen Topographie 300/500 mb und 500/1000 mb besteht, sondern daß auch eine gute zeitliche Beziehung der relativen Topographie 300/500 mb vorhanden ist, indem gewisse Eigenschaften dieser Schicht über mehrere Tage erhalten bleiben. Hierzu gehört z. B. die tiefe Tropopause mit den entsprechend hohen Werten der Temperatur in der Stratosphäre. Wenn daher in der aktuellen relativen Topographie 300/500 mb Abweichungen dieser Art auftreten, so sind die gleichen Verhältnisse auch am Folgetag zu erwarten (zeitliche Kontinuität) und können bei der Vorhersage der relativen Topographie 300/500 mb berücksichtigt werden.

Eine andere Art der Abweichungen von den Tabellenwerten kommt in der aktuellen Karte dadurch zustande, daß die Gebilde der relativen Topographie 300/500 mb gegenüber denjenigen in 500/1000 mb etwas in Strömungsrichtung verschoben sind. Für aufgleitende Warmluft ist dies eine allgemein bekannte Tatsache, indem der Cirrenschirm, der etwa in der Schicht 300/500 mb liegt, den mittelhohen und unteren Aufgleitwolken in Strömungsrichtung vorausseilt. Für die Kaltluft wird in den relativen Topographien häufig ein ähnlicher Zusammenhang beobachtet. Um alle diese Beziehungen anwenden zu können, bleibt in jedem Falle eine ganz sorgfältige Analyse der aktuellen Karte erstes Gebot.

Es kann ferner möglich sein, daß sich durch die graphische Addition in Gebieten, wo wenig Schnittpunkte vorhanden sind, kleinere Fehler einschleichen. Um diese Fehler zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Vorhersagekarte 300 mb zunächst als erste Näherung zu verwenden und die Erfahrungsregeln über die Verlagerung von absoluten Topographien anzuwenden. Hierzu gehören die Wanderungen und Formänderungen der Keile und Tröge. Ein genaues Studium dieser Gebilde in den letzten 48 Stunden ermöglicht im allgemeinen eine gute Extrapolation für die folgenden 24 Stunden (= Verlagerungsmethode).

Ein recht schwieriges Problem ist die Temperaturverteilung und ihre Vorhersage in 300 mb. Während eine gute Beziehung vorhanden ist zwischen relativer Topographie 500/1000 mb und der Temperatur in 700 bzw. 500 mb, ist eine ähnliche Koppelung mit den Temperaturen in 300 mb nur bedingt erfüllt. Sobald die Tropopause unter 300 mb absinkt, sind die Temperaturen höher als bei vertikaler Temperaturabnahme im Normalfall zu erwarten ist.

Häufig liegt die Tropopause in Kaltlufttropfen weit unter 300 mb. Das hat zur Folge, daß die Temperaturen in 300 mb im Zentrum dieser Gebilde etwa die

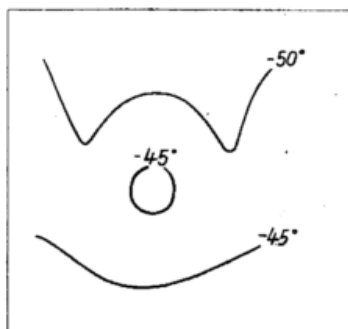


Abb. 11

Temperaturverteilung über einen Kaltlufttropfen in 300 mb

selben oder sogar höhere Werte haben als in der Tropikluft. Abb. 11 zeigt ein Beispiel einer typischen Temperaturverteilung in 300 mb über einem Kaltlufttropfen mit tiefer Tropopause. Die Temperaturgegensätze in der Strahlströmung der 300-mb-Fläche sind häufig weitgehend ausgeglichen. (Vgl. z. B. 15. 5. bis 17. 5. 1956). In anderen Fällen kommt es aber, besonders im Winterhalbjahr, vor, daß die Tropopause in den Kaltlufttropfen über 300 mb liegt oder aber die Temperatur nach schwach angedeuteter Tropopause innerhalb der Stratosphäre weiter abnimmt. (Vgl. 4. bis 7. 4. 1956). In diesen Fällen ist in der Strahlströmung in 300 mb noch ein starker isobarer Temperaturgradient vorhanden und die Strömung nimmt dann oberhalb 300 mb noch zu.

Im allgemeinen gehört zu einer bestimmten Isohypsenverteilung in 300 mb eine in gewissen Grenzen zeitlich gleichbleibende Temperaturverteilung. In dem gleichen Sinne, wie sich Keile und Tröge in 300 mb verlagern, wandert auch die Temperaturverteilung in jenen Gebilden mit. Durch zeitliche Extrapolation ist daher auch eine grobe Vorhersage der Temperatur in 300 mb zu gewinnen.

In diesem Zusammenhang sei jedoch hingewiesen auf eine Abweichung von dieser Regel. Es wurde ein Fall beobachtet, wo ein Kaltlufttropfen über Mitteleuropa in 300 mb warm war. Bei der Wanderung nach Süden ging diese Eigenschaft verloren und schlug ins Gegenteil um (1. bis 3. 5. 1956). Es bedarf also noch einer genaueren Untersuchung, unter welchen Bedingungen die Temperatur in 300 mb extrapoliert werden kann, und wann dies nicht möglich ist.

## 2.2. Hilfsmittel zur Konstruktion der 200-mb-Fläche und ihrer Vorhersage

Zur Konstruktion der 200-mb-Fläche wird bei der Analysenzentrale des Deutschen Wetterdienstes ausgegangen von der 300-mb-Fläche und dazu die relative Topographie 200/300 mb addiert. Ein Verfahren, von der 500-mb-Fläche auszugehen und dazu die relative Topographie 200/500 mb zu addieren, hat sich nicht bewährt, da die relative Topographie 200/500 mb nur noch in schwacher Beziehung steht zur relativen Topographie 500/1000 mb. Außerdem gingen in wenig mit Meldungen belegten Gebieten Eigenheiten der 300-mb-Fläche vielfach wieder verloren infolge falscher Extrapolationen der relativen Topographie 200/500 mb. Diese Schicht ist zu dick und läßt sich zu wenig übersehen.

Diese Mängel werden beseitigt durch Verwendung der 300-mb-Fläche, auf der die relative Topographie 200/300 mb aufgebaut wird.

Was für die 300-mb-Fläche gilt, trifft in noch höherem Maße zu für die 200-mb-Fläche: Zuerst müssen alle Möglichkeiten zur Konstruktion und Verbesserung der aktuellen Karte ausgeschöpft werden. Erst dann kann das Problem der Vorhersagekarte 200 mb in Angriff genommen werden.

Wie die täglich eingehenden Radiosondenaufstiege zeigen, erreicht ein Teil nicht mehr die Höhe 200 mb. Indessen wird die Tropopause in diesen Fällen häufig noch gemeldet. Um auch diese Werte zur Konstruktion der 200-mb-Fläche zu verwenden, wurde eine Tabelle angefertigt die gestattet, aus den Temperaturen in 300 mb und an der Tropopause die relative Topographie 200/300 zu berechnen.

Der Berechnung der Werte liegt dabei die vereinfachende Annahme zugrunde, daß der Aufstieg bis zur Tropopause adiabatisch und darüber isotherm verläuft. In Tabelle 7 sind die von 5 zu 5 Grad berechneten Werte aufgeführt. Alle Zwischenwerte können hieraus leicht interpoliert werden. In Abb. 12 sind

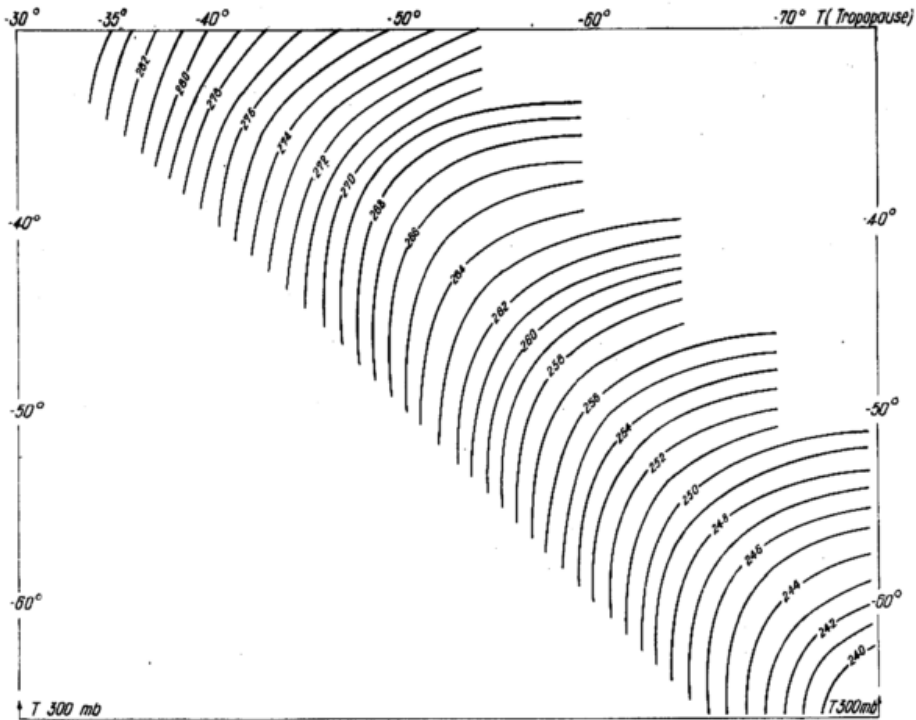


Abb. 12

Relative Topographie 200/300 mb in Abhängigkeit von der Temperatur in 300 mb und der Temperatur an der Tropopause

außerdem die Werte der Tabelle 7 graphisch dargestellt. Im täglichen Dienst hat sich diese Darstellung besser bewährt.

Die hier mitgeteilten Werte sind natürlich nur als

Wetterlage vom 3. 1. 1956, 03 Z, die Differenz zwischen wirklich gemessenem Wert und den Werten eingetragen wurde, die nach obigen Verfahren ermittelt wurden. Bis zum 15. 7. 1956 konnten die mitgeteilten Werte

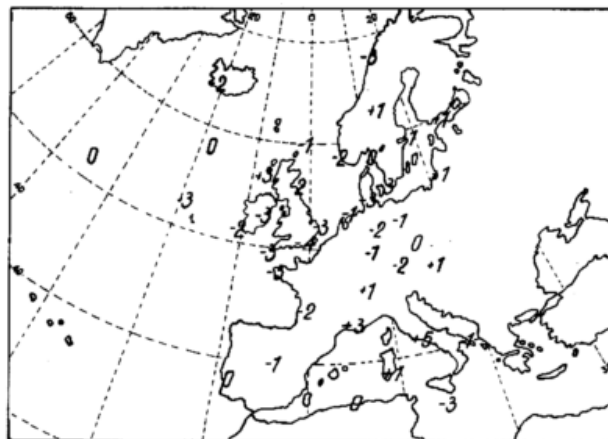


Abb. 13

Differenz in der relativen Topographie 200/300 mb zwischen gemessenem und nach Abb. 12 gemitteltem Wert in Dekametern

eine grobe Näherung zu betrachten, doch dürfte die beste Möglichkeit einer Extrapolation ausgenutzt worden sein. Ist der Typ der Tropopause angegeben, so kann der Tabellenwert noch korrigiert werden. Wie groß die entstehenden Fehler im einzelnen sein können, ist in Abb. 13 dargestellt worden, wo bei der

mit Erfolg zur Konstruktion der 200-mb-Fläche über Rußland verwendet werden. Von diesem Datum ab werden jedoch über den russischen Sender auch die Werte in 200 und 100 mb ausgestrahlt, so daß nunmehr nur noch vereinzelt die obige Tabelle Verwendung findet.

Tab. 7

Relative Topographie 200/300 mb in Abhängigkeit von der Temperatur in 300 mb und der Temperatur an der Tropopause.

Temperatur in 300 mb	Tropopausentemperatur										
	-30	-35	-40	-45	-50	-55	-60	-65	-70	-75	-80
-30	289	284	280	277	275	273					
-31		283	279	276	274	272					
-32		283	279	275	273	271					
-33		283	279	275	272	270					
-34		283	278	274	271	269	269				
-35		283	278	274	270	268	268				
-36			278	273	269	267	267				
-37			277	273	268	266	266				
-38			277	272	268	266	265				
-39			277	272	268	265	264	264			
-40			277	272	267	265	264	263			
-41				272	267	264	263	262			
-42				271	267	264	262	261			
-43				271	266	263	261	259			
-44				271	266	263	260	258			
-45				271	266	262	259	257	257		
-46					266	262	258	257	256		
-47					266	261	258	256	255		
-48					265	261	257	255	254		
-49					265	260	256	254	253		
-50					265	260	256	253	252		
-51						259	255	252	251	250	
-52						259	255	252	250	249	
-53						259	254	251	249	248	
-54						259	254	250	248	247	
-55						259	254	250	247	246	
-56							254	249	246	245	
-57							253	249	245	244	244
-58							253	248	245	244	243
-59							253	248	244	243	242
-60							253	248	244	242	241
-61								248	243	241	240
-62								247	243	240	239
-63								247	242	239	238
-64								247	242	238	237
-65								247	242	237	236

Es erhebt sich die Frage, ob die relative Topographie 200/300 mb in ähnlicher Weise aus der relativen Topographie 500/1000 mb extrapoliert werden kann wie die relative Topographie 300/500 mb. Diese Frage ist viel schwieriger zu lösen, da die Tropopause bei den verschiedenen Wetterlagen sehr großen Schwankungen unterworfen ist. Zu unterscheiden sind hierbei 3 Fälle:

1. Die Tropopause liegt oberhalb 200 mb (etwa 12 000 m). Dies ist in hochreichender Warmluft i. a. erfüllt. Da erfahrungsgemäß die Luftmasseneigenschaften bis zur Tropopause erhalten bleiben, ist in diesem Falle innerhalb der Warmluft eine ähnliche Beziehung zwischen 200/300 mb und 500/1000 mb zu erwarten, wie sie oben bereits zwischen 300/500 mb und 500/1000 mb hergeleitet wurde.

In den Mittelkarten liegt die Tropopause in den Subtropen etwa südlich 40° Breite oberhalb 200 Millibar. Aus dem synoptischen Dienst ist aber bekannt, daß häufig hochreichende Warmluftmassen aus den Subtropen in die gemäßigten teilweise sogar bis in die polaren Breiten vordringen und die Eigenschaft der hohen Tropopause in diese Gebiete mitbringen. Dies ist im allgemeinen der Fall auf der Westseite von meridional angeordneten Bodenhochkeilen oder aber im Bereich von steuernden Hochdruckgebieten.

Zur Gewinnung einer Beziehung wurde folgendermaßen vorgegangen: Im zentralen Gebiet einer ausgeprägten Warmluftzunge der relativen Topographie 500/100 mb wurde der Isopotentialenwert abgelesen und dazu der entsprechende Wert der re-

lativen Topographie 200/300 mb notiert. Da jahreszeitliche Unterschiede vermutet wurden, wurde die Untersuchung wiederum für die Monate Februar 56, Mai 56, August 55 und November 55 angestellt. Als Mittelwerte ergaben sich folgende Werte für Warmluftvorstöße zwischen 40 und 60° Nordbreite:

Tab. 8

Beziehung zwischen relativer Topographie 500/100 und 200/300 mb über Warmluftvorstößen:

500/1000 mb	Febr. 56	Mai 56	August 55	Nov. 55
	200/300 mb			
528	251			
532	252			
536	253			250
540	254			254
544	254	257		256
548	255	258		258
552	256	258		258
556	257	259	262	260
560		260	264	
564		264	267	
568			268	
572			267	
576			267	

Aus der Tabelle 8 ist zu entnehmen:

In der Warmluft zeigen relative Topographie 200/300 mb und 500/1000 mb gleichsinniges Verhalten. Einer Temperaturzunahme in der Schicht 500/1000 mb entspricht eine geringe Temperaturzunahme in der Schicht 200/300 mb. Da im inneren Bereich von Warmluftzungen oder Warmluftinseln in 500/1000 mb im allgemeinen schon ein schwacher horizontaler Temperaturgradient vorhanden ist, herrscht in dem entsprechenden Gebilde der Schicht 200/300 mb praktisch der gleiche Wert.

Zur Konstruktion der 200-mb-Fläche können diese Werte in solchen Gebieten zur Extrapolation verwendet werden, wo nur wenige Aufstiege vorliegen oder diese nicht bis 200 mb reichen.

Ein anderes Hilfsmittel zur Extrapolation der Werte für die relative Topographie 200/300 mb ist die synoptische Karte selbst. Mit Hilfe eines ähnlichen Warmluftvorstoßes in der relativen Topographie 500/1000 mb im gut belegten Raum kann der Wert für 200/300 mb ermittelt und entsprechend im unbelegten Raum eingesetzt werden.

- Die Tropopause liegt tiefer als 300 mb. Dies ist in den zentralen Teilen troposphärischer Kaltluft allgemein erfüllt. In diesem Falle wirkt sich deutlich die Gegenläufigkeit der Temperatur aus, in der eine Beziehung zwischen der relativen Topographie 500/1000 mb und der relativen Topographie 200/300 mb vorhanden ist in dem Sinne, daß über den Kältegebieten der Troposphäre Wärmegebiete der Stratosphäre liegen. Diese Beziehung ist jedoch nur qualitativ gültig, da die Tropopause unterhalb 300 mb großen Schwankungen unterworfen ist. Infolge dieser Eigenschaft ist auch die Temperatur der Substratosphäre um so höher, je tiefer die Tropopause unterhalb 300 mb liegt. Eine quantitative, in Tabellen faßbare Beziehung von Mittelwerten ist hier wertlos, da die Schwankung der Einzelwerte zu groß ist.

Aus 1. und 2. zusammen ist zu entnehmen, daß in der Schicht 200/300 mb Troposphärenluft (in Warmluftzungen) und Stratosphärenluft (über Kaltlufttropfen und Kaltluftzungen) horizontal nebeneinander liegen. Hierbei ist die troposphärische „Warmluft“ kälter als die über troposphärischen Kaltlufttropfen oder Kaltluftzungen liegenden stratosphärischen Luftmassen. Das kommt daher, weil die Temperatur in der Warmluft in der Vertikalen noch stark abnimmt, während in gleicher Höhe über Kältegebilden der Troposphäre die vertikale Temperaturschichtung bereits isotherm ist. (Vgl. Abb. 14, wo im Stüve-Diagramm ein Warmluft- und ein Kaltluftaufstieg ——— neben-einander eingetragen sind.)

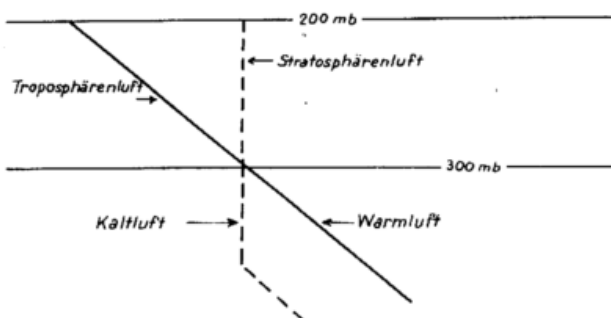


Abb. 14

Warmluft- und Kaltluftaufstieg zwischen 300 und 200 mb

- Die Tropopause liegt zwischen 300 mb und 200 mb. Ist in diesem Falle die Tropopause erreicht so kann nach dem obigen Verfahren die relative Topographie 200/300 mb abgeschätzt werden. Schwierigkeiten treten jedoch auf, wenn die Tropopause in der Radiosonde nicht erreicht wurde. Eine Extrapolation der relativen Topographie 200/300 mb aus der darunter liegenden relativen Topographie 500/1000 mb ist in diesem Falle nicht möglich.

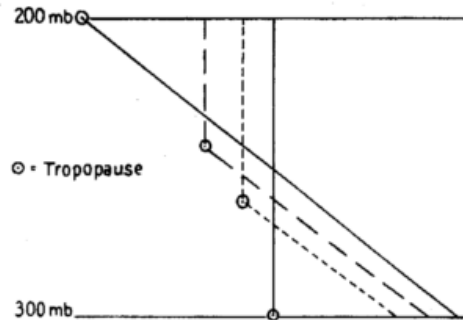


Abb. 15

4 verschiedene Aufstiege mit gleicher relativer Topographie 200/300 mb

Wie Abb. 15 zeigt, kann zu ganz verschiedenen Luftmassen, die in 300 mb 12 Grad Temperaturdifferenz aufweisen, stets die gleiche relative Topographie 200/300 mb = 263 Dekameter gehören, wenn nur die Tropopause geeignet liegt. Wenn das in Wirklichkeit in einem größeren Gebiet so wäre, so hätte die relative Topographie 200/300 mb gar keine Temperaturgradienten mehr. Dies scheint auch in den Breiten zwischen 40 und 50° häufig der Fall zu sein.

Nördlich von 45° Nordbreite ist die Schichtung im allgemeinen so, daß bereits das Gegenläufigkeitsgesetz erfüllt ist. Südlich davon zeigen die Luftmassen im allgemeinen gleichsinniges Verhalten, d. h. über einer Warmluftzunge in der relativen Topographie 500/1000 mb liegt eine Warmluftzunge in der relativen Topographie 200/300 mb.

Die Lage von Warm- und Kaltluftinseln in der relativen Topographie 200/300 mb im Vergleich zu den entsprechenden Gebilden in 500/1000 mb wurde in den gemäßigten Breiten (45—65°) etwas näher untersucht. Einige allgemein bekannte Erfahrungstatsachen seien zunächst vorangestellt:

Hochdruckgebiete sind in der Stratosphäre kalt, und Tiefdruckgebiete sind in der Stratosphäre warm. Etwas entsprechendes gilt für Warmluft- und Kaltluftvorstöße: Hochreichende troposphärische Warmluft (Kaltluft) ist in der Stratosphäre kalt (warm).

Eine weitere Erfahrungsregel besagt, daß sich in einem Radiosondenaufstieg eines Ortes bei einem Warmluftvorstoß die hohe kalte Tropopause zuerst ankündigt. Sie eilt mit anderen Worten der Bodenvarmfront weit voraus. Bei einem Kaltluftvorstoß in der Troposphäre ist etwas Ähnliches i. a. nicht der Fall.

Es war zu klären, ob diese Erfahrungsregeln schon in der Schicht 200/300 mb erfüllt sind. Eine Antwort auf diese Frage ist keineswegs trivial, da die Tropopause teils unter 300 mb, teils über 200 mb liegt.

Aus den Monaten April, Mai 1956 wurden alle gut ausgeprägten und belegten Warmluftzungen, Wärmeinseln, Kaltluftzungen und Kaltlufttropfen herausgesucht und das Verhalten der entsprechenden Gebilde in 200/300 mb geprüft.

Hierbei ergab sich:

Tab. 9

	Gebilde in 500/1000 →	WZ	WL	KZ	KT
	Gesamtzahl	61	4	26	50
Gebilde in 200/300 mb	eilt voraus	52 (85%)	—	15 (58%)	+31 (62%)
	gleichzeitig	9 (15%)	4 (100%)	9 (35%)	+16 (32%)
	bleibt zurück	0	—	-2 (8%)	-3 (6%)

Diese Statistik bedeutet folgendes:

- 1) Es kamen 61 Warmluftzungen (WZ) in 500/1000 mb vor. In 52 Fällen (= 85%) war das entsprechende Kaltluftgebilde in 200/300 mb in Richtung der Bodenströmung bzw. in Richtung des vorangehenden Bodenhochs verschoben. In den restlichen 9 Fällen (= 15%) lag das entsprechende Kaltluftgebilde in 200/300 mb über der Warmluft in 500/1000 mb. Darüberhinaus wurde festgestellt, daß sich in keinem Falle über einer gut ausgeprägten Warmluftzunge in 500/1000 mb ein Wärmegebiet in 200/300 mb befindet.
- 2) Es gab 4 Fälle von abgeschlossenen Wärmeinseln in 500/1000 mb. In allen 4 Fällen lag darüber in 200/300 mb ein Kältegebiet.
- 3) Alle 26 vorkommenden Kaltluftzungen in 500/1000 mb hatten in 200/300 mb ein Wärmegebilde in 200/300 mb, das zum Teil (15 Fälle = 58%) in Richtung der Bodenströmung verschoben war, zum Teil (9 Fälle = 35%) über der Kaltluftzunge in 500/1000 mb lag trotz vorhandener Bodenströmung und zum Teil (2 Fälle = 8%) entgegengesetzt der Bodenströmung verschoben war.
- 4) Entsprechendes gilt für die 50 Kaltlufttropfen in 500/1000 mb. In 31 Fällen (= 62%) war die Wärmeinsel in 200/300 mb in Richtung der Bodenströmung verschoben., in 16 Fällen (= 32%) lag die Wärmeinsel in 200/300 mb über dem Kaltlufttropfen trotz vorhandener Bodenströmung und in 3 Fällen (= 6%) war die Wärmeinsel in 200/300 mb entgegengesetzt der Bodenströmung verschoben.

Hinzugefügt werden muß noch, daß der Linienverlauf in 200/300 mb nicht mehr so gut mit der relativen Topographie 500/1000 mb übereinstimmt, wie es bei der relativen Topographie 300/500 mb der Fall war. So wird häufig über einer Kältezunge in 500/1000 mb bereits eine abgeschlossene Wärmeinsel in 200/300 mb angetroffen, und zwar ist dies häufig der Fall in der Nähe sich vertiefender Bodentiefs. Gelegentlich kommt es auch vor, daß der Kaltlufttropfen in 500/1000 mb schon aufgelöst ist, während die Wärmeinsel in 200/300 mb noch fortbesteht.

Analoges gilt für Warmluftzungen der relativen Topographie 500/1000 mb. Darüber liegen in 200/300 mb häufig abgeschlossene Kälteinseln.

Die hier getroffenen Feststellungen sind in guter Übereinstimmung mit den oben erwähnten Erfahrungstatsachen. Sie gelten allgemein nur für die gemäßigten Breiten. In den Subtropen südlich 35—40° liegt die Tropopause i. a. über 200 mb, und die relative Topographie 200/300 mb zeigt über Warmluftzungen in 500/1000 mb ebenfalls Warmluftzungen. Diese Luftmassen sind eben so warm, daß sie trotz weiterer vertikaler Temperaturabnahme in der Schicht 200/300 mb noch warm erscheinen. Dringen jedoch Kaltlufttropfen oder Kältezungen der relativen Topographie 500/1000 mb bis in die Subtropen vor, so bringen sie die Eigenschaft der tiefen Tropopause im allgemeinen mit und sind daher in der Schicht 200/300 mb ebenfalls warm. In diesen Fällen entsteht dann ein recht verwachsener Isopotentialenverlauf der relativen Topographie 200/300 mb ohne wesentliche Temperaturgradienten. Gerade dieser uneinheitliche gradientschwache Isobarenverlauf ist aber auch sehr bedeutsam. Er besagt nämlich, da der Scherwind sehr schwach ist, daß sich die Strömung in 200 mb nur unwesentlich von derjenigen in 300 mb unterscheidet.

Die obige Statistik gilt nur für den untersuchten Zeitraum April, Mai. Die Ergebnisse lassen sich aber wahrscheinlich auf das ganze Sommerhalbjahr verallgemeinern. Für den Spätwinter bleibt zu beachten, daß aus dem polnahen Gebiet häufig Kaltluftvorstöße erfolgen, bei denen die Tropopause hoch (in oder über 300 mb) liegt. Man könnte diese Gebilde Kaltlufttropfen bzw. Kaltluftzungen mit kalter Stratosphäre nennen. Im europäisch-atlantischen Raum kommen sie in Nordskandinavien und Grönland vor. Bei diesen Gebilden ist die relative Topographie 200/300 mb auch noch kalt und weist tiefere Werte auf als die relative Topographie 200/300 mb über Wärmegebilden. Die Strömung nimmt dann oberhalb 300 mb noch zu. Es sind daher die Kaltlufttropfen mit warmer und diejenigen mit kalter Stratosphäre sehr wohl zu unterscheiden. Die Unterschiede dieser Gebilde sind in nachfolgender Darstellung zusammengefaßt.

	Tropo- pau- sen- höhe	Tropo- pau- sen- temp.	Temp. in 300 mb	Temp. in 200 mb	rel. Top. 300/500	rel. Top. 200/300	Strömung über, 300 mb	Vorkommen
KT mit warmer Stratosphäre	unter 300 mb	hoch um -45°	hoch	hoch	höher als Tabelle	hohe Werte	nimmt ab	im Sommer überall, im Winter gemäßigte oder subtropische Breiten
KT mit kalter Stratosphäre	über 300 mb	tief um -60°	tief	tief	tiefere als Tabelle	tiefe Werte	nimmt zu	im Sommer selten, im Winter Arktis und subpolare Breiten (in Europa besonders über Nordskandinavien), selten in Mitteleuropa

Während bisher nur die räumliche (vertikale) Kopplung der relativen Topographie 200/300 mb mit der relativen Topographie 500/1000 mb beschrieben wurde, muß schließlich auch hier die zeitliche Kopplung der relativen Topographie 200/300 mb erwähnt werden.

Die einzelnen Wärme- und Kältegebilde lassen sich in dieser Schicht genau so über die einzelnen Kartentermine verfolgen, wie es von der relativen Topographie 500/1000 mb her bekannt ist.

Teilweise konnte sogar festgestellt werden, daß Wärmeinseln in 200/300 mb größere Erhaltung zeigen als die entsprechenden Kaltlufttropfen in 500/1000 mb. In mehreren Fällen hatte sich der Kaltlufttropfen in 500/1000 mb bereits aufgelöst, während die entsprechende Wärmeinsel in 200/300 mb mit konstant bleibenden Werten noch 1—3 Tage länger erhalten blieb. (Beispiel 20. — 22. 4.)

Wenn man nur den letzten Tag dieser Kartenserie zur Verfügung hätte, so würde man feststellen, daß die Schicht 200/300 mb ein Eigenleben führt. Bei der Betrachtung der ganzen Kartenserie könnte man aber eher sagen, daß die relative Topographie 500/1000 mb ein Eigenleben führt, indem durch Aufheizung vom Untergrund her der Kaltlufttropfen verschwand, während im Gegensatz dazu die Wärmeinsel in 200/300 mb noch erhalten blieb.

Über diese Feststellungen hinaus wurde von K. Friedrich eine Untersuchung durchgeführt über die 24stündigen Änderungen der relativen Topographie 200/300 mb. Diese Untersuchung, die sich zunächst auf die Monate April, Mai 1956 erstreckte, hatte folgendes Ergebnis. Über Mittel-, West- und Nordeuropa, sowie auf dem mittleren und östlichen Atlantik liegt im allgemeinen über einem Abkühlungsgebiet in 500/1000 mb ein Erwärmungsgebiet in 200/300 mb. Über Grönland und dem russischen Raum kam dieser Zusammenhang häufig nicht zum Ausdruck. Genauere Untersuchungen müßten hier noch folgen, ob dies auf mangelhaftes oder fehlendes Beobachtungsmaterial zurückzuführen ist, oder ob speziell über Grönland die arktische Atmosphäre sich anders verhält. Bezüglich der Intensitätsänderungen konnte Friedrich feststellen, daß in 55% aller Fälle gleichsinnige Änderungen in 500/1000 mb und 200/300 mb auftraten. In 29% blieb die Änderung in 200/300 mb gleich, wenn in dem Gebilde darunter die Intensität zu- oder abnahm. In 9% aller Fälle traten gegensinnige Änderungen auf.

Die Änderungen südlich 40° Nordbreite sind in der Schicht 200/300 mb recht gering, im allgemeinen unter 6 Dekameter. In den wenigen Fällen größerer Änderung (8—12 Dekameter) schien eine inverse Änderung in der relativen Topographie 500/1000 vorhanden zu sein. Offenbar handelte es sich hier um Fälle, bei denen Kältegebilde mit niedriger Tropopause bis in die Subtropen vorstießen.

Mit diesen Ergebnissen kann nun der Versuch einer Vorhersage der 200-mb-Fläche unternommen werden. Nehmen wir an, daß die Vorhersage der relativen Topographie 500/1000 mb und ihrer 24-stdg. Änderung bereits vorliegt. Ferner sei schon die Vorhersage der 500- und 300mb-Fläche abgeschlossen. Es bleibt dann übrig, zu der vorhergesagten relativen Topographie 500/1000 das entsprechende Gebilde in 200/300 mb nach den obigen Feststellungen vorherzusagen. Eine Addition, von vorhergesagter 300-mb-Fläche und der vorhergesagten 200/300-mb-Fläche ergibt die erste Näherung der 200-mb-Vorhersage (= Aufbaumethode). Ein Nachteil dieses Verfahrens ist die mehrfache graphische Addition, die bei jedem Schritt eine gewisse Ungenauigkeit bedingt.

Eine andere Möglichkeit zur Konstruktion der 200-mb-Vorhersagekarte wäre gegeben durch 24-stdg. Än-

derungen dieser Fläche. Eine Untersuchung von G. Neutard ergab:

- 1) Die Druckänderungsgebilde der 200-mb-Fläche sind denen der 300-mb-Fläche phasengleich.
- 2) Die Amplituden der Wellen sind in der weitaus überwiegenden Anzahl der Fälle in der 200-mb-Fläche um 1—3 Stufen, also 4—12 Dekameter kleiner als in 300 mb.
- 3) Das Anschwellen und die Dämpfung der Wellen verläuft etwa proportional.

Hierbei handelte es sich um Material aus den Monaten April, Mai 1956. Die in 2) getroffene Feststellung erscheint also plausibel. In den Wintermonaten würden wegen des Auftretens der Kaltlufttropfen mit kalter Stratosphäre auch Fälle auftreten, in denen die Amplitude der 24-stdg. Änderung in 200 mb stärker ist als in 300 mb.

Die Vorhersage der 200-mb-Fläche würde so vor sich gehen. Mit der bereits vorhandenen 300-mb-Vorhersage wird die 24-stdg. Änderung (heute/morgen) gewonnen. Durch einen Vergleich der Änderungsgebilde in 300 mb vorgestern/gestern, gestern/heute mit den entsprechenden Änderungen in 200 mb kann die 24-stdg. Änderung der 200-mb-Fläche heute/morgen mit Hilfe der bereits vorliegenden Änderung in 300 mb extrapoliert werden. Bei diesem Verfahren wird die vertikale Kontinuität der 24-stdg. Änderungen der 300- und 200-mb-Fläche zeitlich extrapoliert, so daß als Ergebnis eine 200-mb-Vorhersagekarte herauskommt, die in guter zeitlicher und vertikaler Kontinuität mit der Ausgangskarte 200 mb bzw. Vorhersagekarte 300 mb ist. Bei einigen Versuchen hat sich dies Verfahren als durchaus brauchbar erwiesen.

#### Temperaturverteilung in 200 mb.

Die Temperaturverteilung in 200 mb zeigt im allgemeinen das gleiche Bild wie die relative Topographie 200/300 mb. Über Kaltlufttropfen der relativen Topographie 500/1000 mb mit niedriger Tropopause (unter 300 mb) liegen Wärmegebiete mit Temperaturen um  $-45^{\circ}$ , und über Kaltlufttropfen der relativen Topographie 500/1000 mb mit hoher Tropopause (in oder etwas über 300 mb) liegen Kältegebiete mit Temperaturen um  $-60^{\circ}$ . Im allgemeinen bleibt die Temperatur in diesen Gebilden, die in den Isobarflächen als Tiefdruckgebiete in Erscheinung treten, von 300 bis 200 mb konstant oder nimmt sogar um einige Grad wieder zu.

Über ausgeprägten Warmluftgebilden der relativen Topographie 500/1000 mb sind die Temperaturen in 200 mb in den gemäßigten Breiten sehr tief. Ihr Betrag schwankt um  $-60^{\circ}$ . Als ganz grobe Faustregel kann gelten, daß in Warmluftgebilden die Temperaturen in 200 mb etwa  $20^{\circ}$  kälter sind als in 300 mb.

Für Strahlströmungen gilt für die Temperaturverteilung in 200 mb sinngemäß:

Wird die Strahlströmung auf der Nordseite durch einen Kaltlufttropfen in 500/1000 mb mit niedriger Tropopause begrenzt, so sind die Temperaturgegensätze groß, indem die warme Temperatur im Norden, die kalte im Süden liegt. In diesem Falle nimmt die Strömung von 300 bis 200 mb ab. In dem anderen Falle, wo die Strahlströmung auf der Nordseite durch einen Kaltlufttropfen mit hoher Tropopause begrenzt wird, sind die Temperaturgegensätze in 200 mb gering (13.—16. 1. 55), während sie in 300 mb noch groß sind mit tiefen Temperaturen im tiefen Druck und hohen Temperaturen im hohen Druck. Hierdurch wird bewirkt, daß die Strömung von 300 bis 200 mb noch zunimmt. Mit diesen Erfahrungstatsachen ist es möglich, in der 200-mb-Vorhersagekarte ganz grob einige Temperaturangaben zu machen. Ganz allgemein gilt

auch für die Temperaturen in 200 mb, daß zu einer bestimmten Isohypsenverteilung eine in gewissen Grenzen zeitlich gleichbleibende Temperaturverteilung gehört. Mit der Verlagerung von Keilen und Trögen in 200 mb wandert die zugehörige Temperaturverteilung mit. Durch zeitliche Extrapolation ist daher auch in 200 mb eine angenäherte Temperaturvorhersage möglich.

Für detaillierte Angaben in der Temperaturverteilung ist eine eingehende Untersuchung über die Tropopause erforderlich. Als erster Schritt auf diesem Gebiete wurde zunächst festgestellt, ob die Tropopause in irgendeiner Beziehung steht zur relativen Topographie 500/1000 mb. Dabei wurde untersucht, ob sich über dem Kaltlufttropfen in der relativen Topographie 500/1000 mb ein Tropopausentief befindet, und zwar

wurde unterschieden, ob sich das Tropopausentief direkt über dem Kaltlufttropfen befand oder in irgendeiner Richtung verschoben war. Eine Verschiebung bis 200 km wurde als klein angesehen und alle diese Fälle zur ersten Gruppe gezählt. In die zweite bzw. dritte Gruppe wurden alle die Fälle genommen, bei denen das Tropopausentief 200—500 km, bzw. über 500 km gegenüber dem Kaltlufttropfen verschoben war. Zu der vierten Gruppe wurden alle die Fälle gezählt, wo zwischen Kaltlufttropfen in 500/1000 mb und Tropopausentief keine Beziehung vorhanden war. Alle unsicher belegten Fälle wurden ausgeschlossen, so daß im wesentlichen der Raum Ostatlantik — Westhälfte Europa übrig blieb. Als Untersuchungsmaterial wurden alle Karten aus den Monaten Februar, Mai, August, November 1955 genommen. Das Ergebnis ist in folgender Tabelle dargestellt:

Tropopausentief verschoben:

Gesamtzahl	0—200 km	200—500 km	500 km	negativ
Kaltlufttropfen 147	108(=73 <sup>o</sup> / <sub>o</sub> )	21(=14 <sup>o</sup> / <sub>o</sub> )	7(=5 <sup>o</sup> / <sub>o</sub> )	11(=7 <sup>o</sup> / <sub>o</sub> )

In 87% aller Fälle lag also über dem Kaltlufttropfen in 500/1000 mb ein Tropopausentief, das weniger als 500 km in horizontaler Richtung verschoben war. In 7% aller Fälle, die meist im Winter vorkamen, bestand keine Beziehung zwischen Kaltlufttropfen und Tropopausentief.

Eine ähnliche Untersuchung wurde mit den Warmluftzungen der relativen Topographie 500/1000 mb und den Tropopausenhochs durchgeführt. Das Ergebnis zeigt folgendes Bild:

Tropopausenhoch verschoben:

Gesamtzahl	0—200 km	200—500 km	500 km	negativ
Warmluftzungen 87	49(=57 <sup>o</sup> / <sub>o</sub> )	33(=38 <sup>o</sup> / <sub>o</sub> )	1(=1 <sup>o</sup> / <sub>o</sub> )	4(=5 <sup>o</sup> / <sub>o</sub> )

In 95% aller Fälle lag also über einer Warmluftzunge der relativen Topographie 500/1000 mb ein Gebiet hoher Tropopause, das mit seiner Achse weniger als 500 km in horizontaler Richtung verschoben war.

Eine weitere Untersuchung von W. Buschner befaßt sich mit abnorm tiefen Tropopausen, den sogenannten Tropopausentrüchern, und hatte folgendes Ergebnis.

1. Die Tropopausentrücher zeigen eine große Beständigkeit über viele Tage.
2. In fast allen Fällen zeigt sich eine gute Koppelung zwischen Tropopausentrücher und Kaltlufttropfen bzw. Kaltluftzungen der relativen Topographie 500/1000 mb. Die Verbindungslinie zwischen beiden Gebilden steht meist senkrecht. Zu den Ausnahmefällen gehört, daß nicht über jedem Kaltlufttropfen ein markanter Tropopausentrücher vorhanden ist und umgekehrt nicht unter jedem Tropopausentrücher ein Kaltlufttropfen liegt.
3. Die Kopplung mit dem Höhendruckfeld ist weit weniger gut. In einigen Fällen ist die Strömung im 500-mb-Niveau noch fast ungestört geradlinig.
4. Ein Zusammenhang zwischen der zeitlichen Änderung der Kernwerte der Kältegebiete und der Tropopausentrücher ist nicht eindeutig. Zwar zeigt sich im Mittel eine deutliche Proportionalität zwischen beiden Größen, jedoch ist in den Einzelfällen — besonders im Winter — oft ein inverses Verhalten festzustellen.

5. Ein Zusammenhang mit dem Bodendruckfeld oder den Bodendruckänderungen konnte nicht festgestellt werden.

### 2.3. Schlußbemerkung

Die hier angedeuteten Gedankengänge können nur als ein erster Schritt auf diesem bisher noch wenig bekannten Gebiet angesehen werden. Bezüglich der Vorhersage der 300- und 200-mb-Flächen müssen die in der Praxis gewonnenen Ergebnisse zeigen, wie weit das beschriebene Verfahren noch präzisiert werden kann. Erfahrungen müssen noch gesammelt werden über Isotachen in den vorliegenden und vorhergesagten Topographien. In diesem Zusammenhang muß auch die Lage von Strahlströmungen genannt werden, deren genaue Erfassung über dem Atlantik mangels ausreichenden Beobachtungsmaterials schon in der Ausgangslage zur Zeit gar nicht möglich ist.

Eine Besserung dieser Verhältnisse ist jedoch zu erwarten, wenn der Düsenluftverkehr Wirklichkeit geworden ist. Die einzelnen Flugzeuge werden dann regelmäßig die erflogenen Winde melden, die nach der Verarbeitung in Wetterkarten zur Festlegung und Vorhersage von Strahlströmungen dienen können.

Da die Düsenmotoren in ihrer Leistung sehr temperaturabhängig sind, ist auch die Temperaturvorhersage besonders wichtig. Diese ist aber gerade für 300 und 200 mb wegen der großen Höhenänderungen der Tropopause sehr schwierig. Nur in Gebieten, die

sich oberhalb der Tropopause befinden, dürfte die Temperaturvorhersage einfacher sein, da hier in vertikaler Richtung etwa Isothermie herrscht.

Recht schwierig ist es ferner, Vorhersagen abzugeben über Turbulenz und Bewölkung (Cirren oder Cumulus-Schirme) in den Höhen oberhalb 300 mb. Diese Spezialaufgabe wird in einem besonderen Forschungsprogramm von der Deutschen Forschungsanstalt für Segelflug bearbeitet.

#### Literatur

- (1) Jacobi, K.: Fragen der Vorhersagekarten Boden. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 10, 41—44 (1955)
- (2) Piper, H.: Die Höhenvorhersagekarten. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 10, 45—49 (1955)
- (3) Murray, R.: Some correlations concerning the thickness of the 500-/300- mb. layer Meteor. Mag. 78, 263—266 (1949)
- (4) Reymann, G.: Ein Verfahren zur Beurteilung von Vorhersagekarten. (Erscheint in Meteor. Rdsch.)
- (5) Scherhag, R.: Wetteranalyse und Wetterprognose. Berlin 1948.
- (6) Riehl, H. a. o.: The Jet Stream. Meteor. Monogr. 2, No 7 (1954)
- (7) Wiehler, J.: Die Ergebnisse der Berliner Radio-sonde-Hochaufstiege der Jahre 1951—1953. Meteor. Abh. Freie Univ. Berlin 3, H. 1 (1955)