

Mitteilungen

des

Deutschen Wetterdienstes

Nummer 10

Bad Kissingen

Februar 1955

DK 551.509 : 061.3

Die Synoptiker-Tagung in Frankfurt a. M.

vom 1. bis 3. November 1954

Vorwort

Vom 1. bis 3. November 1954 fand bei der Zentralstelle des Deutschen Wetterdienstes in Frankfurt a. M. eine Tagung der Synoptiker statt. Als Teilnehmer trafen sich die im praktischen Vorhersagedienst stehenden Meteorologen aller Wetterämter mit den Meteorologen der Zentralstelle. Hinzugezogen wurden die Leiter der Wetterwarten Göttingen und Koblenz, die einen Überblick über die Arbeitsweise auf kleineren Dienststellen gaben.

Auf dieser Tagung wurde in offener Aussprache über alle Probleme diskutiert, die den praktischen Dienstbetrieb auf den Wetterämtern und Wetterwarten und die Zusammenarbeit mit der Analysenzentrale und der Gruppe Mittel- und Langfrist betreffen. Es wurde außerdem ein Überblick über die Entwicklungsmöglichkeiten des synoptischen und mittelfristigen Dienstes gegeben.

Der dritte Tagungstag wurde gemeinsam mit den Leitern der Flugwetterwarten abgehalten, die vom 3. bis 5. November 1954 tagten.

Die anregenden Diskussionen wurden jeweils durch Referate eingeleitet, die in nachfolgenden Aufsätzen auch für alle diejenigen festgehalten worden sind, die nicht an der Tagung teilnehmen konnten.

Dr. R. Benken d o r f f

Inhalt

	Seite
Teilnehmerverzeichnis	4
Anschriften der Vortragenden.....	5
Vorträge:	
H. Mollwo: Durchführung des synoptischen Dienstes beim Wetteramt Frankfurt	6
F. Hummel: Verwendung des über Fernschreiber eingehenden Materials	11
R. Lehmen: Aufgaben und Arbeitsweise der Wetterwarte Koblenz	19
H. K. Meyer: Arbeitsunterlagen der Analysenzentrale	24
G. Schmidt: Wetterkartenanalyse	31
J. Bartsch: Fragen der Topographien	38
K. Jacobi: Fragen der Vorhersagekarten Boden	41
H. Piper: Die Höhenvorhersagekarten	45
P. Heß: Probleme der Mittelfristvorhersage	50
A. Hofmann: Entwicklungsarbeiten zur Mittelfristvorhersage ..	59
A. Hofmann: Monatsvorhersagen	61
J. Grunenberg: Wetternachrichtenverbreitung auf den Fern- schreibkanälen des Deutschen Wetterdienstes	62
G. Roediger: Aus der Praxis des Sturmwarndienstes	69
G. Roediger: Erfahrungen im Fernsehdienst	70
W. Piersig: Erfahrungen im Vorhersagedienst für das Alpen- gebiet	72
H. Flohn: Zur Entwicklung der Wettervorhersage	80
H. Faust: Studien zur Wettervorhersage	88
G. Hollmann: Probleme der numerischen Wettervorhersage	96
G. Reymann: Über qualitative Anwendungen theoretischer Er- gebnisse im synoptischen Dienst	101
P. Wüsthoff: Moderne Bildübertragungsverfahren für Wetter- karten	110

Teilnehmerverzeichnis

Zentralstelle:

Präsident	Dr. Benkendorff		
Abt. Z	Dr. Wegeleben	Abt. S	Dr. Meyer
	Baumgärtner		Dr. Attmannspacher
	Dr. Beck		Dr. Bartsch
	Grunenberg		Brauer
	Dr. Kottwitz		Dr. W. Buschner
	Dr. Schäfer		Dr. Dölling
	Dr. Wüsthoff		Jacobi
Abt. F	Prof. Dr. Flohn		Killermann
	Diehl		Nissen
	Dr. H. Faust		Piper
	Dr. Heß		Dr. W. Regula
	Hofmann		Dr. Reymann
	Hußlein		Schmidt
			Schramm

Seewetteramt Hamburg:

Wetteramt Bremen:

Wetteramt Essen:

Wetteramt Frankfurt a. M.:

Wetteramt Freiburg:

Wetteramt Hannover:

Wetteramt München:

Wetteramt Neustadt/Weinstraße:

Wetteramt Nürnberg:

Wetteramt Schleswig:

Wetteramt Stuttgart:

Wetterwarte Göttingen:

Wetterwarte Koblenz:

Prof. Dr. Seilkopf

Dr. Roediger

Dr. Brand

Dr. Maaß

Dr. Christians

Dr. Mollwo

Dr. Pernice

Dr. Wagemann

Dr. Piersig

Dr. Engelmann

Müldner

Dr. Seifert

Leypoldt

Dr. Hummel

Lehmen

Nur am 3. November 1954 waren zusätzlich anwesend:

BMV Bonn:

Min.-Rat Dr. Bell

Zentralstelle:

Dr. Dammann

Abt. Z

Dr. Sebastian

Rumbaum

Abt. F

Dr. Hollmann

Flugwetterwarte Berlin-Tempelhof:

Dr. Fritz

Flugwetterwarte Düsseldorf:

Dr. R. Faust

Flugwetterwarte Frankfurt a. M.:

Dr. Brinkmann

Flugwetterwarte Hamburg-Fuhlsbüttel:

Dr. Disselkamp

Flugwetterwarte Hannover:

Dr. Blickhan

Flugwetterwarte München-Riem:

Dr. H. K. Müller

Flugwetterwarte Stuttgart:

Dr. Kuhn

WA (Flugwetterdienst) Nürnberg:

Thierolf

Anschriften der Vortragenden

Dr. J. Bartsch	Frankfurt a. M., Bockenheimer Landstraße 42 Deutscher Wetterdienst, Zentralstelle
Dr. H. Faust	" " "
Prof. Dr. H. Flohn	" " "
Dipl. Met. J. Grunenberg	" " "
Dr. P. Heß	" " "
Dipl. Ing. A. Hofmann	" " "
Dr. G. Hollmann	" " "
Dr. F. Hummel	Göttingen, Pumpstation Stegemühle Deutscher Wetterdienst, Wetterwarte
K. Jacobi	Frankfurt a. M., Bockenheimer Landstraße 42 Deutscher Wetterdienst, Zentralstelle
R. Lehmen	Koblenz, Hochhaus, Zimmer 801 Deutscher Wetterdienst, Wetterwarte
Dr. H. K. Meyer	Frankfurt a. M., Bockenheimer Landstraße 42 Deutscher Wetterdienst, Zentralstelle
Dr. H. Mollwo	Frankfurt a. M., Feldbergstraße 47 Deutscher Wetterdienst, Wetteramt
Dr. W. Piersig	München - 15, Bavariaring 10/III Deutscher Wetterdienst, Wetteramt
Dr. Piper	Frankfurt a. M., Bockenheimer Landstraße 42 Deutscher Wetterdienst, Zentralstelle
Dr. G. Reymann	" " "
Dr. G. Roediger	Hamburg - 4, Bernhard-Nocht-Straße 76 Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt
G. Schmidt	Frankfurt a. M., Bockenheimer Landstraße 42 Deutscher Wetterdienst, Zentralstelle
Dr. P. Wüsthoff	" " "

Durchführung des synoptischen Dienstes beim Wetteramt Frankfurt

von Hans Mollwo

Das im laufenden Dienst eines Wetteramtes verarbeitete synoptische Material stellt bezüglich Auswahl und Umfang immer eine Kompromißlösung dar. Von der rein meteorologischen Seite her besteht der Wunsch, aus einem horizontal wie vertikal möglichst ausgedehnten Bereich laufend alle verfügbaren Werte in Karten und sonstigen Darstellungen zusammenzufassen und von Termin zu Termin in ihrer Entwicklung zu verfolgen. Nur so kann man sich vor Überraschungen im Wettergeschehen einigermaßen schützen. Die riesige Fülle von Beobachtungen, die im Laufe eines Tages verbreitet werden, würde dafür aber einen jedenfalls bei einem Wetteramt nicht realisierbaren Personalaufwand erfordern. So sind es auf der anderen Seite die personellen Möglichkeiten, die dem Wunsch nach unmittelbarer Kenntnis des weltweiten Wettergeschehens erheblich engere Grenzen setzen. Es muß daher eine Auswahl getroffen werden, wobei zu entscheiden ist, auf welche Unterlagen bei der Vorhersagetätigkeit keinesfalls verzichtet werden kann, inwieweit eigene Arbeiten durch Übernahme von fertigen Resultaten der Analysenzentrale ersetzt werden können und auf was vielleicht schweren Herzens verzichtet werden muß. Ausschlaggebend bei dieser Entscheidung müssen immer die Erfordernisse des praktischen Dienstes sein, also die Durchführung der einem Wetteramt im öffentlichen Interesse übertragenen Aufgaben. Diese sind zwar im Prinzip bei allen Wetterämtern die gleichen, doch bringen die je nach Lage im Bundesgebiet wechselnden orographischen Verhältnisse, die besonderen Wünsche der Öffentlichkeit und die zu ihrer Berücksichtigung notwendigen Nebenarbeiten Unterschiede im synoptischen Programm der einzelnen Dienststellen mit sich. Wenn also im folgenden von der Durchführung des synoptischen Dienstes beim Wetteramt Frankfurt die Rede ist, soll damit keine allgemein gültige Lösung vorgetragen werden. Es handelt sich lediglich um eine Darstellung des hier den örtlichen Bedürfnissen angepaßten Arbeitsprogramms.

Als Grundlage der Vorhersagetätigkeit und als Hauptkarten werden die Bodendruckkarten von 00 und 06 Uhr gezeichnet. Als Unterdruck wird zum 00-Uhr-Termin die Karte im Maßstab 1:10 Mill. Europa/Atlantik verwendet. Ihre großen Vorteile für die Arbeit eines Wetteramtes haben sich seit Jahren immer wieder herausgestellt. Sie umfaßt einerseits ein Gebiet, dessen Beachtung zur Beurteilung der allgemeinen Wetterentwicklung unbedingt notwendig ist. Andererseits gestattet der Maßstab aber auch, Meldungen in einer Zahl und Ausführlichkeit einzutragen, wie sie zur Kenntnis des regionalen Wetters erforderlich ist. Diese beiden Bedingungen muß gerade die Karte, die der Meteorologe morgens bei Dienstantritt um 05 Uhr vorfindet, unbedingt erfüllen. Die Anfertigung von Spezial- oder Ausschnittkarten ist nämlich infolge der schwachen Nachtbesetzung mit technischem Personal nicht möglich, so daß bei Beginn der Vorhersagetätigkeit neben dieser 00-Uhr-Karte als letzte Ausarbeitungen nur die Topographie der 500-mb-Fläche von 15 Uhr des Vortages und die Vorhersagekarte der AZ (Analysenzentrale) für den 18-Uhr-Termin vorliegen, die beide nach Kenntnis der inzwischen eingetretenen Entwicklung gewisser Korrekturen bedürfen. Bei der Analyse 00 Uhr, die innerhalb kürzester Zeit durchgeführt werden muß, wird für die entfernteren Gebiete die Ansicht der AZ weitgehend übernommen, da auf eigene Karten vom Vortermin nicht zurückgegriffen werden kann. Auf diese Unterlagen bauen sich die ersten Vorhersagen für 24 Stunden auf, die um 05.30 und 06 Uhr über den Rundfunk verbreitet werden. Auch die Außenstellen werden bereits zu dieser Zeit

vororientiert. Das Material ist verhältnismäßig gering und die Vorhersage wird — wie jeder Synoptiker weiß — noch dadurch erschwert, daß gerade in der zweiten Nachthälfte, teilweise durch zweifelhafte Nachtbeobachtungen vorgetäuscht, manchmal unerwartete Sprünge im Wetterablauf auftreten. Die Abgabe der Prognosen mit der gebotenen Schnelligkeit wird nur dadurch möglich, daß diese Arbeit von demselben Meteorologen erledigt wird, der am Vortag Spätdienst hatte. Nur so wird das für jeden anderen zeitraubendere Einarbeiten in die Wetterlage vermieden. Eine erfreuliche Hilfe ist dabei die seit einiger Zeit um 04.20 Uhr von der AZ gelieferte vorläufige Entwicklungsübersicht.

Ab 06 Uhr ergeben sich dann u. U. schon wertvolle neue Erkenntnisse mit dem Eintreffen der ersten Werte aus der freien Atmosphäre und der 24-stdg. Luftdruckänderung. Beide Sendungen werden sofort in Karten 1:20 Mill. eingetragen und bereits eine erste 500-mb-Topographie vom Ostatlantik bis Mitteleuropa skizziert. Nach Beendigung dieser Arbeiten muß um 06.30 Uhr der erste Zeitungswetterbericht mit Vorhersage für den nächsten Tag und weiteren Aussichten angefertigt werden, leider also schon zu einem Zeitpunkt, wo die neue Vorhersagekarte für 00 Uhr noch nicht vorliegt. Diese steht erst kurz vor 07 Uhr zur Verfügung, womit dann allerdings auch die Vorhersagetätigkeit ihren ersten Höhepunkt erreicht. Es ist nicht notwendig, auf alle Arbeiten im einzelnen, Berichte für Rundfunk, in ausführlicherer Form für die Außenstellen, Fernsprechanagedienst, Spezialberichte für Einzelabonnenten und Vorhersagen für einen größeren Kundenkreis, sämtlich mit Vorhersagen für 2 Tage, einzugehen. Erwähnt werden soll aber eine Vorhersage der Temperaturentwicklung für mindestens 3 Tage im Bundesgebiet, die im Winterhalbjahr täglich ab 07.45 Uhr von einer großen Zahl Bau- und Transportfirmen abgerufen wird. Bereits zu diesem frühen Zeitpunkt ist also eine Prognose anzufertigen, die durchaus als „mittelfristig“ zu bezeichnen ist. Sie gründet sich im wesentlichen auf die mittelfristigen Überlegungen des Vortages, ergänzt durch die neue vorläufige Mitteilung der AZ von 06.50 Uhr. Unerläßlich ist aber natürlich auch ein eingehendes Studium der großräumigen Vorgänge, wie sie sich auf der 00-Uhr-Karte zeigen, die damit in der benutzten Form als unentbehrlich anzusehen ist. Zugleich wird ersichtlich, wie sehr der Wetteramtsmeteorologe gezwungen ist, über die Tagesvorhersage hinaus stets auch sehr genaue Vorstellungen von den großräumigen Wettervorgängen, etwaigen Umstellungen in der allgemeinen Zirkulation und ihren Auswirkungen auf die weitere Entwicklung im regionalen Bereich zu haben.

Inzwischen gehen die Eintragungen der Einzelmeldungen in die 06-Uhr-Karte, die 03-Uhr-Topographie der 500-mb-Fläche und später auch die relative Topographie 1000/500 mb mit möglichster Beschleunigung voran. Der Meteorologe, der seinen Arbeitsplatz neben dem Zeichner hat, orientiert sich laufend über den neuesten Stand. Bei den zahlreichen telefonischen Auskünften, die im Laufe des frühen Vormittags zu geben sind, klebt er also nicht an der morgens früh schriftlich niedergelegten Ansicht, sondern korrigiert sie, falls notwendig, schon jetzt auf Grund der neuesten Meldungen. Es ergibt sich so ein Zeitgewinn von 1 — 2 Stunden gegenüber einer Arbeitsweise, die sich stärker auf die AZ abstützt. Es erscheint als unverantwortlich dem Kunden gegenüber, mit eventuellen Korrekturen der Frühvorhersage bis zur Fertigstellung der Analyse und Topographie zu warten und Mängel, die sich bereits erkennen lassen, erst dann zu beseitigen.

Um 10 Uhr wird die Analyse der 06-Uhr-Karte in Angriff genommen. Dieser verhältnismäßig frühe Termin ist notwendig, um die gedruckte Wetterkarte so rechtzeitig herauszubringen, daß sie den Frankfurter Abonnenten noch mit der Nachmittagspost zugestellt werden kann. Als unentbehrliche Hilfe bei der Analyse werden die absolute und die relative Topographie der 500-mb-Fläche benötigt. Da diese aber erst zu diesem Zeitpunkt auf dem Fernschreibnetz verbreitet werden, kann auch aus diesem Grunde nicht auf die Einzelwerte in diesen beiden Karten und auf eine eigene Auszeichnung wenigstens in den wesentlichen Teilen verzichtet werden. Ungeachtet der frühzeitigen Drucklegung wird die Analyse später auf Grund des dann vollständig vorliegenden Materials und unter Berücksichtigung der Ansicht der AZ nochmals überprüft und in die endgültige Form gebracht.

Der zweite Höhepunkt in der Vorhersagetätigkeit kommt dann zwischen 11.45 und 12.30 Uhr. Im Gegensatz zu dem Morgentermin steht dem Meteorologen jetzt aber ein verhältnismäßig reichhaltiges Material zur Verfügung. Neben Analyse 06 Uhr, absoluter und relativer Topographie 500 mb und 24-stdg. Druckänderung sind es die Karte der 3-stdg. Luftdrucktendenz, eine nahezu fertiggestellte Ausschnittkarte West- und Mitteleuropa 1:10 Mill. von 09 Uhr und als letzten Endes entscheidende Hilfe die von der AZ gelieferte Vorhersagekarte für 06 Uhr des Folgetages mit der zugehörigen ausführlichen Entwicklungsübersicht. Auf diese Unterlagen bauen sich die vorerst abschließenden unter äußerstem Zeitdruck stehenden Überlegungen zur voraussichtlichen Wetterentwicklung in regional-kurzfristiger wie auch in großräumig-mittelfristiger Beziehung auf. Sie finden ihren Niederschlag in den zahlreichen Berichten für die Wetterkarte, an Außenstellen, Rundfunk und Zeitungen, wobei sich die letzteren z. T. nicht nur auf den unmittelbaren Wetteramtsbereich beschränken, sondern räumlich auf das ganze Bundesgebiet und zeitlich bis auf 3 Tage ausdehnen.

An dieser Stelle soll auf die große Bedeutung der Sendungen „Analoge Fälle“ und „Begründung zur Mittelfristvorhersage“ hingewiesen werden. In den letzten Jahren hat die Nachfrage nach Wettervorhersagen über längere Zeiträume, zumindest mittelfristiger Art, in ständig steigendem Maße zugenommen. Anfragen von Tageszeitungen spielen dabei nur eine untergeordnete Rolle, da sich derartige Veröffentlichungen an ein meist nur oberflächlich am Wetter interessiertes Publikum wenden, von dem sie kaum richtig gelesen und im allgemeinen schon nach erstaunlich kurzer Zeit vergessen werden. Anders liegen die Verhältnisse schon bei Anfragen von Fachzeitschriften stark wetterabhängiger Wirtschaftszweige (Landwirtschaft, Textilindustrie, Früchteimport). Von tatsächlich sehr weittragender Bedeutung sind aber die Auskünfte, die unmittelbar von Baufirmen, landwirtschaftlichen Betrieben o. ä. angefordert werden. Sie spielen bei der Arbeitsplanung u. U. eine ausschlaggebende Rolle und bleiben daher während des gesamten Vorhersagezeitraumes unter einer sehr genauen Kontrolle. Um nun solche Anfragen so weit wie irgend möglich beantworten zu können, wobei es nicht mit einer stichwortartigen Vorhersage getan ist, sondern die Verhältnisse im einzelnen diskutiert werden müssen, muß der Wetteramtsmeteorologe so gut wie nur irgend möglich über alle mittel- und langfristigen Argumente unterrichtet sein. Das geschieht z. Z. eben mit den erwähnten beiden Fernschreibsendungen. Bei aller Sorgfalt, die auf ihre Ausarbeitung verwendet wird, vermögen sie den Wetteramtsmeteorologen nicht immer zu befriedigen. Das mag zum Teil daran liegen, daß die Möglichkeit einer eigenen kritischen Mitarbeit, wie sie bei der Kurzfristvorhersage gegeben ist, weitgehend fehlt. Aber auch davon abgesehen, sollte unter dem von der Wirtschaft ausgeübten Druck die Arbeit auf diesem Forschungsgebiet mit allen Mitteln gefördert und ausgebaut werden.

Bezüglich des am Nachmittag zu verarbeitenden Materials besteht die Wahl zwischen einer vollständigen Karte Atlantik/Europa von 12 Uhr oder Ausschnittkarten West- und Mitteleuropa von 12 und 15 Uhr. Die Praxis hat gezeigt, daß die zweite Lösung für den weiteren Vorhersagedienst im Rahmen der unvermeidlichen Beschränkung gewisse Vorteile hat, so sehr auch die Weiterführung der großräumigen Analyse vom meteorologischen Standpunkt wünschenswert ist. Diese wäre zweifellos notwendig, wenn sie für die restlichen Vorhersagen des Tages wesentliche Erkenntnisse bringen würde, die nicht auch die Ausschnittkarten liefern. Das ist meist bezüglich der Prognose für 36 Stunden nicht der Fall. Im Gegenteil muß die Ergänzung der Karte von 12 Uhr durch die von 15 Uhr in dieser Beziehung vielfach als erheblich vorteilhafter angesehen werden. In mehreren Fällen gerade der letzten Zeit hat erst die 15-Uhr-Karte eindeutig erkennen lassen, in welcher Richtung die Wetterentwicklung weitergeht. Auch an sommerliche Gewitterlagen ist zu denken. Für Überlegungen mittelfristiger Art kann die große 12-Uhr-Karte vielleicht manchmal neue Hinweise geben. Es wird aber wohl kaum vorkommen, daß man die wenige Stunden vorher unter Beachtung synoptischer und mittelfristiger Argumente festgelegten „Weiteren Aussichten“ auf Grund der einen oder anderen „verdächtigen“ Meldung über Bord wirft und durch eine neue Auffassung ersetzt. Am Nachmittag geht es u. E. in erster Linie darum, Tempo und Intensität der für das regionale Wettergeschehen

unmittelbar wirksamen Vorgänge zu verfolgen. Und dazu dürften die Ausschnittkarten ausreichen.

Die 15-Uhr-Karte ist die letzte, die noch für den Vorhersagedienst des Tages Verwendung finden kann. Eine Karte mit den 18-Uhr-Meldungen würde erst nutzbar werden, wenn die bis 20 Uhr herauszugebenden Berichte fertiggestellt sein müssen. Die kartenmäßige Verarbeitung der Bodenmeldungen wird daher mit dem 15-Uhr-Termin abgeschlossen. Es erfolgt zwar noch eine schnelle Durchsicht der 18-Uhr-Wetter durch den Meteorologen, im übrigen werden im Laufe des Abends aber nur noch die Topographie 500 mb von 15 Uhr und die Vorhersagekarte für 18 Uhr gezeichnet, bis dann um 00 Uhr das bereits geschilderte Programm wieder seinen Anfang nimmt.

Wie schon gesagt, erreicht die Vorhersagetätigkeit einen der beiden Höhepunkte morgens um 07 Uhr. Die Öffentlichkeit verlangt mit Recht früh morgens bereits eine eingehende Orientierung über die voraussichtliche Wetterentwicklung. Diesem Zwang kann sich das Wetteramt nicht entziehen. Gerade früh morgens liegt aber, wie gezeigt wurde, zunächst nur ein spärliches Material vor. Es besteht also für ein Wetteramt die absolute Notwendigkeit, sich ohne Zeitverlust einen Überblick über die aktuelle Lage zu verschaffen. Das ist aber nur möglich, indem es sich sofort bei Eintreffen der neuesten Meldungen mit eigenen Kräften an die Ausarbeitung der erforderlichen Arbeitsunterlagen heranmacht. Die frühzeitige Kenntnis weniger, manchmal einer einzigen Meldung ist bisweilen wertvoller als eine ausführliche Übersicht, die 1 oder 2 Stunden später geliefert wird.

In diesem Zusammenhang soll auf Erfahrungen eingegangen werden, die im letzten Sommer beim Wetteramt Frankfurt gesammelt wurden. Anlaß dazu war letzten Endes die vorherige Überprüfung des Amtes durch den Bundesrechnungshof, dem es damals als unverständliche und unnötige Doppelarbeit erschien, daß in Frankfurt an 2 oder 3 Stellen gleichzeitig etwa dieselben Karten gezeichnet werden.

Um die Möglichkeit zu prüfen, ob in diesem Punkte vielleicht wirklich etwas geändert und vereinfacht werden könnte, wurde beispielsweise eine Zeitlang nicht mehr die 00-Uhr-Karte, wie anfangs erwähnt, für den Bereich Atlantik/Europa gezeichnet, sondern nur noch die Ausschnittkarte West- und Mitteleuropa 1:10 Mill. und als Ergänzung ohne Einzelmeldungen die Analyse der AZ. Es ergab sich dabei ein geringfügiger Zeitgewinn, der anderen Arbeiten zugute kam, aber sehr bald zeigten sich auch die erheblichen Nachteile dieses Verfahrens. Schon im einfachen Auskunftsdienst konnten Anfragen von Firmen und Agenturen nach dem augenblicklichen Wetterzustand in den Gebieten, die außerhalb des Kartenausschnittes liegen (Mittelmeerländer, Nord- und Osteuropa) nicht mehr beantwortet werden. Noch mehr wurde aber die Vorhersagetätigkeit erschwert. Die Analyse einer Karte ohne Einzelmeldungen stellt im wesentlichen nur das Bild einer Luftdruckverteilung dar. Trotz der Angabe der Fronten fehlt das Entscheidende, das Wetter in all seinen Erscheinungsformen. Es fehlen die Temperaturen, die Bewölkungsverhältnisse, die Tendenzangaben, die zur Beurteilung der wirksamen Energien nicht zu entbehren sind. Die Abgabe einer Temperaturvorhersage für 3 Tage, wie sie erwähnt wurde, ist z. B. ohne Kenntnis dieser Dinge nicht zu beantworten. Wie oft treten die Fälle auf, wo in der Fronten- und Luftdruckverteilung noch keine Besonderheiten zu erkennen sind, aber das Feld der 3-stdg. Luftdruckänderungen eindeutige und schon für die kurzfristige Vorhersage entscheidende Hinweise liefert. Schließlich läßt aber auch das Frontensymbol allein noch keine ausreichenden Schlüsse auf die mit der Front verbundenen Wettererscheinungen zu. Die Änderungen der meteorologischen Elemente mit Durchzug einer Front können in so weiten Grenzen schwanken, daß sie auch nicht mit einer Charakterisierung als „schwach“, „stark“, „abschwächend“ usw. eindeutig beschrieben werden können. Entscheidend für das Erkennen einer Wetterlage und die zu erstellende Vorhersage ist letzten Endes die Kenntnis der Dynamik, die den gesamten Vorgängen innewohnt, nicht nur im engen regionalen, sondern fast mehr noch im großräumigen Bereich. Die mit Durchgang einer Front auftretenden Änderungen der meteorologischen Elemente, ob eine Kaltfront bereits von Luftdruckanstieg überholt ist, ob der Luftdruck hinter ihr weiter fällt, die Temperaturverhältnisse in der freien Atmosphäre, die Unterschiede

zwischen Luft- und Wassertemperaturen, all diese und zahllose andere Dinge geben erst die Einblicke in die Dynamik des Wettergeschehens, die für die Wettervorhersage wie auch für die selbständig weiterzuführende Analyse unentbehrlich sind. Schon im Hinblick auf die eigene Analyse der 06-Uhr-Karte ist also eine ausführliche Vorkarte notwendig. Aber auch darüber hinaus ist die Anfertigung gleicher Karten an den einzelnen Wetterdienststellen nicht als unnötige Doppelarbeit anzusehen. Das Wettergeschehen spielt sich leider nicht in eindeutig klarer Weise ab und die Entscheidung, welche Vorgänge für die weitere Entwicklung ausschlaggebend sind, ist z. Z. nur in seltenen Fällen mit objektiv einwandfreien Methoden möglich. Infolgedessen besteht immer die Gefahr, subjektiven Fehlschlüssen zum Opfer zu fallen. Um diese Gefahr nach Möglichkeit auszuschalten, müssen alle im synoptischen Dienst tätigen Meteorologen in der Lage sein, an dem jeweiligen Problem mitzuarbeiten, sich selbst ein Bild von der Lage zu machen und Für und Wider gegeneinander abzuwägen, um dann letzten Endes das Bestmögliche an die Öffentlichkeit weiterzugeben. Diese eigene Meinungsbildung des Meteorologen beim Wetteramt ist auch unter einem anderen Gesichtspunkt wichtig. Kaum ein anderer Beruf ist in dem Maße dauernden stärksten Belastungen ausgesetzt wie der synoptische Dienst, der täglich mehrmals vor der breitesten Öffentlichkeit Rechenschaft ablegen muß über seine Arbeit. Die ihm damit zufallende Verantwortung als Repräsentant des gesamten Wetterdienstes dem Publikum gegenüber erfordert eine Sicherheit im Erkennen der jeweiligen Lage, die der in vorderster Front stehende Wetteramtsmeteorologe nur gewinnen kann, wenn ihm alle Informationsquellen zur Verfügung stehen. In diesem Sinne ist die Anfertigung großräumiger Arbeitskarten bei den Wetterämtern nicht als Doppelarbeit, sondern schlechthin als notwendige technische Voraussetzung für die Durchführung des Dienstes überhaupt anzusehen.

Verwendung des über Fernschreiber eingehenden Materials

von Fritz Hummel

(mit 3 Abbildungen im Text)

Angeregt durch die Erfahrungen, die ich während des Krieges an zentraler Stelle mit der Versorgung kleiner, mit einem Meteorologen besetzter Wetterwarten machen konnte, schien es mir eine notwendige und lohnende Aufgabe, die Möglichkeiten einer synoptischen Arbeitsweise an einer solchen Wetterwarte auch einmal unter den heutigen Verhältnissen einer systematischen Entwicklung und Überprüfung zu unterziehen. Die Tatsache, daß heute an Stelle der kurzfristigen Vorhersage des Flugwetters mehr die mittelfristige Vorhersage des allgemeinen Witterungscharakters getreten ist sowie die gegenüber der Kriegszeit geradezu als ideal zu bezeichnenden Gegebenheiten und Möglichkeiten auf nachrichtentechnischem Gebiet bedeuteten dabei eine entscheidende Vereinfachung der zu lösenden Aufgabe.

Wenn ich Ihnen heute über die „Verwendung des über Fernschreiber eingehenden Materials bei der Wetterwarte Göttingen“ berichten soll, so möchte ich Ihnen dabei die Arbeitsweise aufzeigen, die sich auf Grund langjähriger Versuche und Erprobungen als die für eine Wetterwarte rationellste Arbeitsweise auf synoptischem Gebiet herauskristallisiert hat. Um das vorliegende Problem klar zu umreißen und vor allem um nicht mißverstanden zu werden, möchte ich einige grundsätzliche Erwägungen vorausschicken.

So vielgestaltig sich auch Aufgabenkreis und Tätigkeit unserer Wetterwarten heute abzeichnen (und wir werden anschließend von Herrn Lehmen darüber noch ausführlicher hören), so haben sie alle doch als gemeinsamen Schwerpunkt ihrer Tätigkeit den Wirtschaftswetterdienst. Im Mittelpunkt des Wirtschaftswetterdienstes steht aber die Wettervorhersage, und die Treffsicherheit dieser Vorhersagen ist und bleibt eine notwendige Voraussetzung für die Entwicklungs- und Wirkungsmöglichkeiten einer Wetterwarte, hinsichtlich deren Nutzbarmachung wir nach meiner Überzeugung erst am Anfang einer erfolgsversprechenden Entwicklung stehen. Selbst der Wetterwartenleiter, der glaubt, sich mangels genügender Unterlagen von der Wettervorhersage distanzieren zu müssen und der sich aus diesem Grunde einer ausschließlichen Betätigung auf den angewandten Gebieten unserer Wissenschaft zuwendet, wird bald erkennen, daß auch hierbei — zumindest in der praktischen Nutzbarmachung der gewonnenen Erkenntnisse — die Wettervorhersage letztlich wieder das Zentralproblem darstellt, dessen Lösung man aber von ihm als Meteorologen in allererster Linie erwartet. Aus diesem Grunde benötigt eine Wetterwarte einen synoptisch interessierten und erfahrenen Meteorologen, dessen Personal so bemessen sein muß, daß er auch in Urlaubszeiten des Personals für die ihm zufallenden meteorologischen Aufgaben zur Verfügung steht und nicht zusätzlich etwa noch einen turnusmäßigen Beobachtungsdienst durchführen muß. Ein solcher synoptisch interessierter und erfahrener Meteorologe muß nun aber auch die volle Verantwortung für die von ihm ausgegebenen Vorhersagen übernehmen können. Zu diesem Zwecke bedient er sich heute noch — ich möchte sagen traditionsgemäß — der erlernten synoptischen Arbeitsweise, deren Kernstück die eigene Erarbeitung der Diagnose, das eigene Analysieren der jeweiligen Wetterlage bildet. So finden wir heute auf unseren Wetterwarten, wo man in richtiger Erkenntnis der eben geschilderten Zusammenhänge synoptisch tätig ist, die kuriose Tatsache, daß man dort mit einem Mindestmaß an technischen Hilfskräften methodisch in genau der gleichen Weise synoptisch zu arbeiten sich müht wie an jeder größeren oder großen Dienststelle, nur mit dem einzigen Unterschied, daß man sich dabei hin-

sichtlich der Zahl und vielleicht auch des Umfanges der erstellten Karten eben mehr oder weniger bescheiden muß. Die damit erzielten Ergebnisse, die durchaus nicht immer schlecht zu sein brauchen, scheinen mir in mehrfacher Hinsicht beachtenswert; andererseits muß festgehalten werden, daß eine synoptische Arbeitsweise dieser Art, bei der nur zu oft eine gewisse Improvisation das fehlende Material ersetzen muß, nicht nur in hohem Grade unrationell, sondern für einen echten Meteorologen letzten Endes auch unbefriedigend ist. Der Gedanke, der Meteorologe an einer Wetterwarte könnte unter Beibehalt der bisherigen Arbeitsmethodik mit weniger Arbeitsunterlagen, dafür aber unter Ausnutzung örtlicher Gegebenheiten und Erfahrungen grundsätzlich treffsichere Vorhersagen erteilen als der mit umfangreichem Material an einer größeren Dienststelle tätige Kollege, ist in dieser Form völlig abwegig und absurd. Nein —, wenn wir hier auf breiter Front weiterkommen wollen, muß etwas ganz Neuartiges, eine völlig andersartige Arbeitsmethodik Platz greifen. Es ist hier ähnlich wie etwa bei der Zeitungswetterkarte. Wenn wir sie der Aktualität der Zeitung anpassen wollen, so werden wir bei Beibehalt der beobachteten Karte trotz aller Bemühungen dieses Ziel nie ganz erreichen können. Erst dadurch, daß wir an Stelle der beobachteten Karte etwas anderes, nämlich die vorhergesagte Karte veröffentlichen, erreichen wir das gesteckte Ziel.

Worin besteht nun die neue Arbeitsmethodik? Der an einer Wetterkarte tätige Meteorologe übernimmt auszugsweise die an zentraler Stelle gefertigte Kartenanalyse. Was in der bisherigen Form somit von einem Kartentermin gewissermaßen das Endprodukt der synoptischen Betätigung des an zentraler Stelle tätigen Meteorologen darstellt, wird für den an der Wetterwarte tätigen Meteorologen zum Ausgangspunkt seiner Betrachtungen. Das eigentliche „Patent“ der neuen Arbeitsmethodik liegt nun in der Tatsache begründet, daß neben der fertigen Kartenanalyse auch noch eine Mindest-Auswahl von Einzelmaterial übermittelt wird, daß auf Grund langjähriger, im täglichen Dienst gewonnener Erfahrungen so ausgewählt ist, daß es dem an einer Wetterwarte tätigen Meteorologen eine selbständige Beurteilung und Ausdeutung der Kartenanalyse und damit den gedanklichen Anschluß ermöglicht. Darüber hinaus bietet dieses Material ausreichende Unterlagen und Voraussetzungen für eigene zusätzliche Untersuchungen. Bei der Suche nach der geeignetsten Auswahl dieser wenigen Einzelwerte hat sich als entscheidend fruchtbar die strenge Beachtung der ursprünglich aus einer gewissen Not- und Zwangslage heraus notwendigen Forderung erwiesen, mit geringstem Arbeits- und Materialaufwand einen größtmöglichen Nutzeffekt zu erzielen. Eine stetige und sorgfältige Beachtung dieser Forderung sollte überall oberstes Gebot sein. Sie sichert nicht nur eine rationelle Arbeitsweise, sondern führt erfahrungsgemäß auch viel rascher und unmittelbarer zur Lösung der damit zusammenhängenden Probleme.

Sofern an einer Wetterwarte nicht ausgesprochen kurzfristige detaillierte Auskünfte verlangt werden, sondern überwiegend mittelfristige Anfragen anfallen, ist für die laufende Beratungstätigkeit die Darstellung der Wetterlage eines Kartentermines in Verbindung mit 1 oder 2 Vorhersagekarten ausreichend. Am zweckmäßigsten hat sich in mehrfacher Hinsicht der Termin von 0 Uhr Z erwiesen, nicht zuletzt auch deshalb, weil dann die notwendigen Unterlagen zum morgendlichen Beginn der Beratungstätigkeit bereits verwertbar vorliegen. Die im einzelnen erforderlichen synoptischen Arbeitsunterlagen sind nachstehend zusammengestellt, und zwar getrennt für das von der Analysenzentrale und das von dem zuständigen Wetteramt zu liefernde Material.

Synoptische Arbeitsunterlagen für Wetterwarten auf Grund der Erfahrungen der Wetterwarte Göttingen

Von der A n a l y s e n - Z e n t r a l e :

1. Analyse 0 Uhr Z mit Angabe der Niederschlagsgebiete und Luftmassen.
2. 3-stdg. Tendenzverteilung 0 Uhr Z in Form der „Tendenzspinne“ (21 Werte) mit Koordinatenangaben der Zentren der Steig- und Fallgebiete.
3. Frühübersicht für den laufenden Tag.

4. Kurzwetter 0 Uhr Z von 40 Stationen in gegenüber bisher erweiterter Form: NDDff TTwwW.
5. Vorhersagekarte 0 Uhr Z mit zugehöriger Wetterübersicht und mittelfristigen Aussichten.
6. Vorhersagekarte 06 Uhr Z mit zugehöriger Wetterübersicht und mittelfristigen Aussichten.
7. Begründung.
8. Je nach Lage und Entwicklung zusätzliche Entwicklungshinweise.

Von dem zuständigen Wetteramt:

1. Temp der nächstgelegenen Raso in üblicher Verschlüsselung.
2. Auswahl Hoekawerte 500 mb von 03 Uhr Z (31 Stationen) in folgender Form:
z. B. 384 542 73 36 45 = Oslo 542 gdm, -23° , 360/45 km/h.
Für den Bereich des Wetteramtes:
3. a) Frühbericht mit kurzem Text über Wetterlage und detaillierte Vorhersage für den laufenden und folgenden Tag (auch für Techniker).
b) Wetterübersicht auf Grund der 06 Uhr Z Karte mit mittelfristigen Aussichten (für Meteorologen).
c) Abendbericht mit Aussichten für den folgenden Tag (auch für Techniker).
4. Laufender Warndienst über besondere Wettererscheinungen (auch für Techniker).

Ohne den im weiteren Tagungsprogramm vorgesehenen Besprechungspunkten vorzugreifen zu wollen, seien in diesem Zusammenhang hierzu schon einige Erfahrungen und Wünsche mitgeteilt.

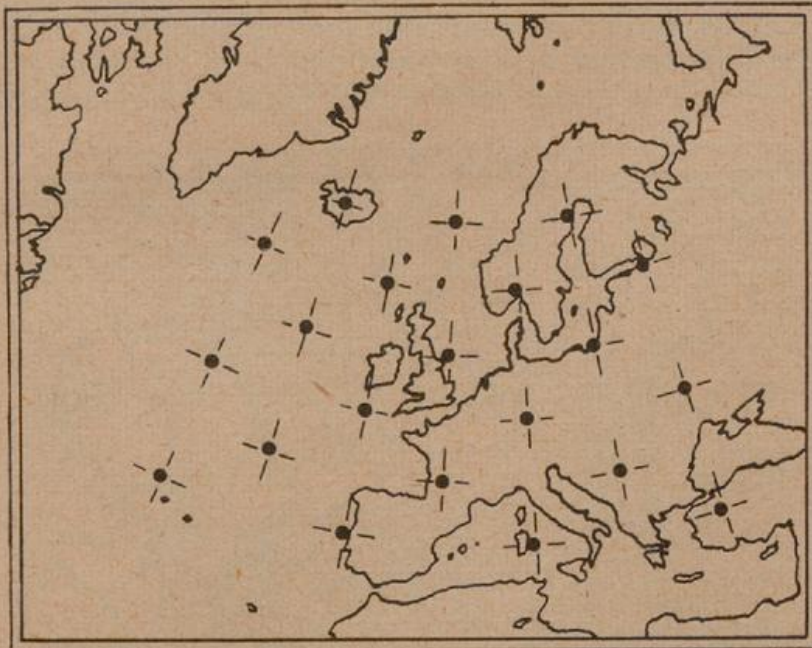


Abb. 1 Gitternetz der „Tendenzspinne“

Bemerkungen zum Sendeprogramm der Analysen-Zentrale:

Zu 1.) Eine regelmäßige Erweiterung der Analyse auf den gesamten Kartenausschnitt (DW — DA 3, 1 : 20 Mill.) sowie zusätzliche Angaben über die voraussichtliche Verlagerung der Druckgebilde wären erwünscht. Hierzu könnte u. U. die im Schlüssel vorgesehene, aber bislang nicht benutzte Gruppe m ds ds fs fs benutzt werden, wobei unter „m“ auch Angaben über Bewegungsänderungen (wie: Tief wird stationär oder verlagert sich rascher u. dgl.) gemacht werden könnten.

Hinsichtlich der Fronten erweisen sich die im Schlüssel möglichen, aber nur teilweise gemachten Angaben über Intensität und Charakter der Front als nicht

ausreichend. Erforderlich wäre eine Charakterisierung der Front hinsichtlich ihrer derzeitigen und ihrer zu erwartenden Wetterwirksamkeit, die aber ausschließlich auf die für die Beratung entscheidendsten Faktoren des Niederschlags und der mit der Frontpassage zu erwartenden Temperaturänderung zu beschränken wäre. Fronten ohne diese Merkmale sollten im Interesse einer Vereinfachung und größeren Übersichtlichkeit des Kartenbildes — u. U. auch unter Aufgabe einer formal-analytisch vielleicht besseren und „eleganteren“ Frontenanalyse in Wegfall kommen. Da bei der derzeitigen Handhabung in erster Linie die Angaben der Niederschlagsgebiete zur Beurteilung der Wetterwirksamkeit einer Front herangezogen werden, sollten diese möglichst vollständig (in Koordinaten oder Klartext) gemacht werden. Isoliert auftretende Niederschläge sollten dabei nicht vergessen, sondern etwa in folgender Form angegeben werden: „Über Norddeutschland strichweise leichter Regen.“ Im Winter wären gelegentliche Angaben über den ungefähren Verlauf des Gebietes mit einer geschlossenen Schneedecke wertvoll und erwünscht.

Zu 2.) Die 3-stündige Tendenzverteilung von 0 Uhr Z sollte in der bisherigen, sehr bewährten Form der „Tendenzspinne“ von der Analysenzentrale im Anschluß an die 0 Uhr Z Analyse verbreitet werden. Sie enthält für das in Abb. 1 dargestellte Netz von 21 Koordinatenschnittpunkten die aus der Originalkarte entnommenen Tendenzwerte. Bei der Durchgabe werden negative Werte durch Addition der Zahl 50 als solche kenntlich gemacht. Außerdem werden Lage und Intensität der Zentren der Steig- und Fallgebiete in der üblichen Koordinatenangabe mitgeteilt. Diese Sendung kann geradezu als Musterbeispiel dafür gelten, welcher optimaler Nutzeffekt für den Meteorologen mit einem Mindestaufwand an Zahlenmaterial erzielt werden kann.

Zu 4.) Mit Rücksicht auf den wohl noch weiter sich dezentralisierenden Dimophon-Fernsprechauftragsdienst gewinnt auch die kurzfristige Beurteilung des örtlichen Wetterablaufes für den an einer Wetterwarte tätigen Meteorologen an Bedeutung. Wenn sich dieser örtliche, im Fernsprechauftragsdienst verbreitete

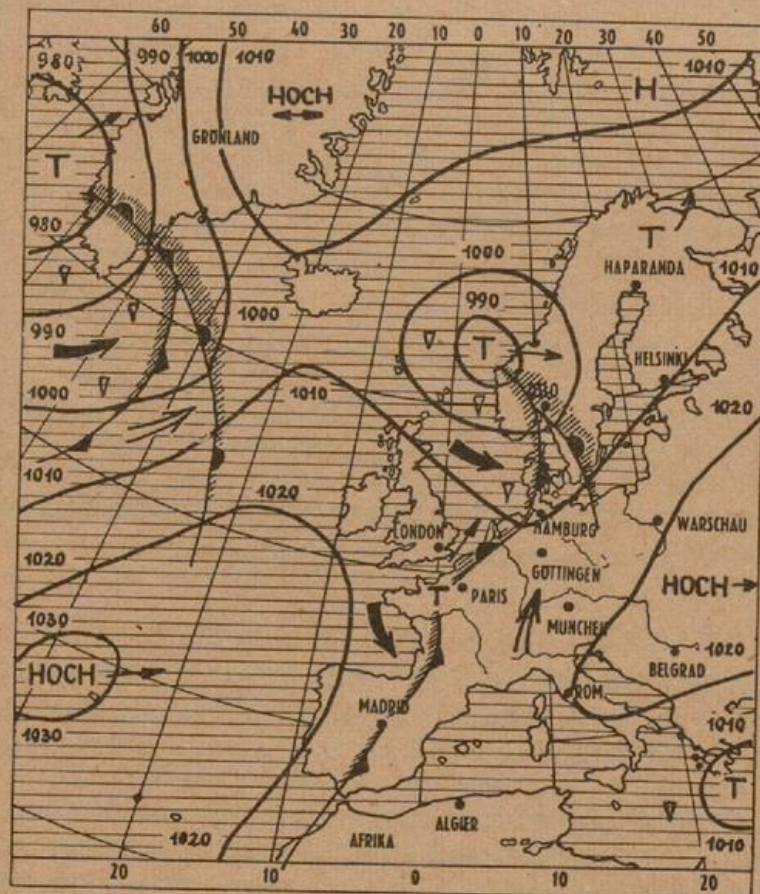


Abb. 2 Vorhersagekarte für Sonnabend, den 30. 10. 1954

Wetterbericht auch von zentraler Stelle aus fertigen läßt, so wird doch der am Ort den Wetterablauf miterlebende Meteorologe vor allem hinsichtlich der für die Wirkung sehr entscheidenden stilistischen Fassung des Berichtes hierbei die größeren Möglichkeiten haben. Um ihm hierzu einige Unterlagen zu bieten, sollten die als Kurzwetter bisher nur für Aushangzwecke verbreiteten Wettermeldungen von 0 Uhr Z von 40 Stationen künftig in folgender erweiterter Form verbreitet werden:

N D D ff TT ww W

(Bedeutung der Schlüsselsymbole wie im internationalen Schlüssel).

Zu 5.) und 6) Die Vorhersagekarte 0 Uhr Z ist für den morgens in größerem Umfang anlaufenden Beratungsdienst besonders wertvoll.

Die Vorhersagekarte 6 Uhr Z wird u. a. zur Erstellung einer Tuschzeichnung für die Klischeeherstellung der Zeitungswetterkarte (Abb. 2) benötigt.

Zu 8.) Ohne festgelegten Zeitplan sollten nach Erkennung wesentlich neuartiger Gesichtspunkte in der Entwicklung der Großwetterlage diese sofort über das Fernschreibnetz an alle Dienststellen verbreitet werden (z. B. „Sturmtief Ostatlantik wird stationär, Frontensystem greift damit nicht auf Mitteleuropa über“ oder „Hoch Mitteleuropa verlagert langsamer als erwartet ostwärts“). Eine Sicherstellung der sofortigen Ausgabe solcher Hinweise von zentraler Stelle würde auch an den Wetterämtern das Zeichnen mancher Zwischenkarten überflüssig machen, die — wie wir gerade hörten — dort nur erstellt werden, um nicht von unerwarteten Entwicklungen der Großwetterlage überrascht zu werden.

Bemerkungen zum Sendeprogramm des zuständigen Wetteramtes:

Zu 1.) Der Temp von Hannover-Langenhagen, dessen Durchgabe in der Originalverschlüsselung erfolgt, wird in der üblichen Weise in ein Adiabatenpapier gezeichnet, in das zum Vergleich bis zu 3 Aufstiege aufeinanderfolgender Tage in verschiedener Farbe eingetragen werden.

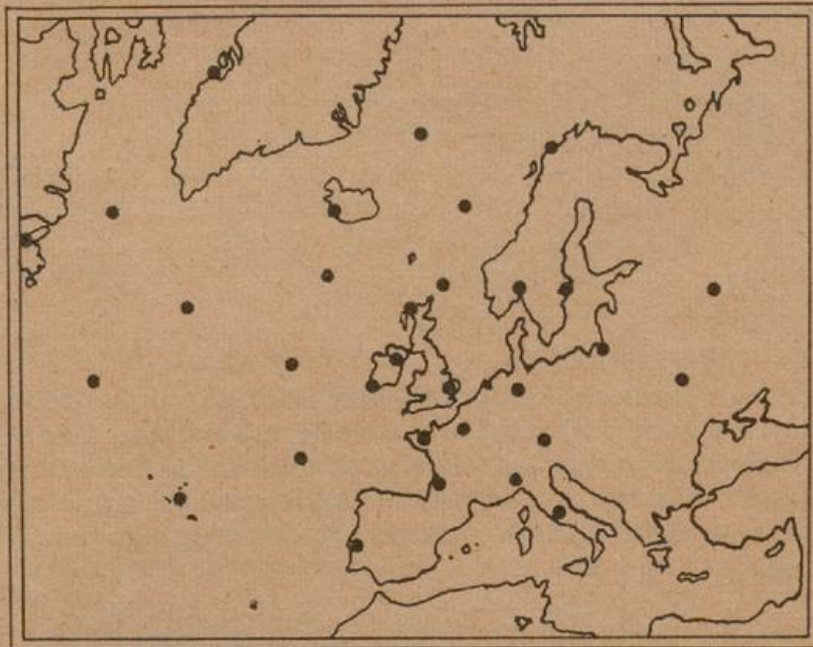


Abb. 3 Auswahl der Hoeka-Meldungen

Zu 2.) Temperatur und Wind in 500 mb werden mit rotem Farbstift in die Analyse 0 Uhr Z eingetragen. Die Auswahl von 31 Stationen (Abb. 3) war erforderlich, um auch bei gelegentlich vorkommendem Ausfall einiger Meldungen jeweils noch ein ausreichend dichtes Netz sicherzustellen.

Zu 3.) folgt nachstehend als Muster die Textfassung der Sendungen durch das Wetteramt Hannover am 29. 10. 1954:

Frühbericht: 29. 10. 54

Schlagzeile: Zunächst heiter, später unbeständig.

Wetterlage: Zwischen einem Hoch über Süddeutschland und tiefem Druck über der Nordsee verstärkt sich am Freitag die milde Strömung.

Vorhersage für Freitag:

Heiter bis wolkig, Temperaturen über 16 Grad, auffrischende südliche Winde. Kommende Nacht Durchzug eines Regengebietes.

Vorhersage für Sonnabend:

Wechselnd wolkig und Abkühlung. Mittags 12—14 Grad. Auffrischende westliche Winde. In Lüneburg und im südlichen Niedersachsen einzelne leichte Schauer.

Harzwetter:

Vorhersage für Freitag:

Wolkig bis heiter und sehr mild. Auffrischende Südwinde. Abends Eintrübung und nachfolgend Regen bei Windstärke 6 aus Süd, später West.

Vorhersage für Sonnabend:

Anfangs noch einzelne Schauer, nachmittags Aufheiterung und nachlassende Westwinde. Temperaturen 3—5 Grad niedriger als am Freitag.

= Hn / S / Lf. +

Übersicht des Wetteramtes Hannover, 29. 10. 54

Der Tiefausläufer — jetzt 990 mb Irische See — zieht unter Vertiefung rasch in die nördliche Nordsee. Ebenso stark ist aber der nachfolgende Druckanstieg, der bereits mit 3 mb die Scillys erreicht hat. Aufstiege Wiesbaden oberhalb 600 mb beginnendes Aufgleiten und Paris schon durchweg recht feucht mit Westwind 100 km/h in 300 mb. Die Temperaturgegensätze sind an der Kaltfront mittlere Biscaya recht groß und verstärken sich über dem Festland heute nachmittag.

Wetter Niedersachsen:

Am Freitag gegen 18 Uhr von Westen her bei uns Durchzug einer Schauerfront mit Windstärke 6—8, Richtung von Süd auf West umspringend. Gleichzeitig Temperaturrückgang um 5 Grad. Am Sonnabend wegen des großräumigen Druckanstieges auf dem Atlantik vermutlich wenig Schauer, sondern mehr Aufheiterung und auch rasch nachlassende Westwinde, da Höhentrog vor der irischen Küste — nach meiner Meinung nicht besonders kräftig entwickelt — am Sonnabend über Holland liegen dürfte.

Betrifft Wochenvorhersage:

Alle Unterlagen geben übereinstimmend häufige, aber geringe Niederschläge. Also in der Auswirkung ähnlich wie nördliche Westlage. Das ist auch synoptisch durch das höhere Druckniveau über Rußland und Mittelatlantik erklärbar. Die Aussagen scheinen somit gut gesichert. Andererseits wurde die Großwetterlage Südwestlage um diese Jahreszeit nach Katalog immer von Westdrift gefolgt.

= Wa Hn / S / Lf. +

Abendbericht 29. 10. 54, 1805 Z, gültig bis Sonnabend abend.

Leicht veränderlich. Im Laufe des Tages zunehmende Schauerneigung, kühler als heute. Nach West, später Nordwest drehende Winde, meist Stärke 3. — Im Harz ziemlich trübe, besonders im Westharz, zunächst einzelne schwache, später mäßige Schauer. Temperaturen im ganzen sinkend. — Die Wetterentwicklung am Sonntag ist unsicher. Es könnte sich evt. eine Vb-artige Schleifzone entwickeln.

= Wa Hn / Dr. Wg. +

Die Eintragung der geschilderten Arbeitsunterlagen wird von dem Techniker vorgenommen, und zwar erfolgt die Eintragung der Analyse, der Hoekawerte und späterhin auch der Kurzwetter in eine Karte im Maßstab 1:20 Millionen. Für die Darstellung der Tendenzverteilung wird eine zweite Karte im gleichen Maßstab benutzt. Der Meteorologe, der zwischen 7 und 8 Uhr seinen Dienst antritt, findet so bereits soviel verarbeitetes Material vor, daß er gedanklich sehr rasch die Diagnose und damit auch die Prognose übersieht. Dabei wirkt sich die Tatsache vorteilhaft aus, daß die Beratungstätigkeit an einer Wetterwarte immer von dem gleichen Meteorologen mit der gleichen Arbeitsmethodik durchgeführt wird. Dadurch wird eine Homogenität der Betrachtungsweise erreicht, die — wie wir alle wissen — für die Erfassung der Wettervorgänge und damit auch für die Güte unseres Vorhersagedienstes von ganz entscheidender Bedeutung ist. Der an einer Wetterwarte in dieser Hinsicht sich zwangsläufig ergebende Idealzustand (wenigstens in rein fachlicher Hinsicht kann man von einem solchen sprechen!) kann bei größeren Dienststellen wohl in irgend einer Form angestrebt, aber nie voll erreicht werden. — Der Meteorologe übernimmt die Auszeichnung der Tendenzkarte und beginnt mit dem Vergleich der 0 Uhr Z-Analyse des Vortages, wobei ihm die Eintragung der Zugbahnen der wichtigsten Druckgebilde, die 24-stündige Änderung im Kern der Tiefdruckgebiete und ein Vergleich der eingetragenen Hoekawerte dabei schon die wesentlichsten Vorgänge der Großwetterentwicklung erkennen lassen. Ein geschickt angestellter Vergleich der vorhergesagten mit der eingetretenen Lage vermag in vielen Fällen weiterhin wertvolle Fingerzeige für die weitere Extrapolation zu geben. Schließlich ist das laufende Studium des örtlichen Wetterablaufs unter besonderer Beachtung des Luftdruckverlaufs und der Bewölkung ein prognostisches Hilfsmittel, das im Sinne einer indirekten Synopsi heute — nicht aus Unkenntnis, sondern aus Zeitnot — m. E. viel zu wenig ausgenutzt wird.

Wie außerordentlich rationell diese neue Arbeitsmethodik ist, beleuchtet folgende Tatsache: Das Zahlenmaterial einer Originalkarte, wie sie an vielen Wetterwarten heute noch gezeichnet wird, beträgt etwa das 10-fache dessen, was nach der neuen Methode die Übermittlung der fertigen Analyse einschließlich einer Auswahl von Einzelwerten vom gleichen Termin beansprucht. Neben einer wesentlichen Entlastung des technischen Dienstes, bedeutet das nun aber auch für den Meteorologen, daß sich seine gedankliche Arbeit schon rein blick- und verarbeitungsmäßig gesehen auf gewisse Schwerpunkte konzentrieren kann, wodurch die Ausbeute naturgemäß wesentlich größer sein muß, zumal wenn es sich dabei um eine wirklich repräsentative Auswahl handelt. Bei dieser gedanklichen Verarbeitung des vorliegenden Materials erhalten die vom Wetteramt gelieferten textlichen Vorhersagen, die in erster Linie zur Sicherstellung der notwendigen Beratungsunterlagen für den diensttuenden Techniker dienen, auch für den Meteorologen eine große, nicht zu unterschätzende Bedeutung: Der sie lesende Meteorologe wird auf Grund seiner eigenen Gedankengänge über die jeweilige Wetterentwicklung sofort erkennen können, ob die erwarteten Wetterauswirkungen auch seiner Auffassung über die weitere Wetterentwicklung entsprechen oder nicht. Besteht keine Übereinstimmung in der Auffassung über die weitere Wetterentwicklung, so wird er auf Grund des ihm vorliegenden und dazu erfahrungsgemäß in den meisten Fällen auch ausreichenden Materials seine Gedanken und Schlußfolgerung nochmals einer gründlichen Nachprüfung unterziehen. Die eintretende Wetterentwicklung wird dann die entscheidende Kritik ermöglichen. So kann die laufende gedankliche Verarbeitung der vom Wetteramt ausgegebenen Vorhersagen für den an einer Wetterwarte tätigen Meteorologen im Sinne einer prognostischen Schulung genutzt werden, einer Schulung, wie sie einem an einer größeren Dienststelle im Routine-dienst tätigen Meteorologen in gleicher oder ähnlicher Form kaum geboten wird.

Während sich die bislang geschilderte Arbeitsweise an einer Wetterwarte bei Gegebenheit der personellen Voraussetzungen im Prinzip überall mit Erfolg schematisieren lassen wird, sollte die Vielzahl der möglichen zusätzlichen Untersuchungen, die letztlich auf eine Verbesserung und größere Wirkungsmöglichkeit unserer Vorhersagen abzielen müssen, an jeder Wetterwarte bewußt individueller und damit verschiedenartiger Natur sein. Entscheidend sollte dabei nur sein, daß auch hierbei der Forderung „Kleiner Arbeits- und Materialaufwand bei größtem Nutzeffekt“ genügend Rechnung

getragen wird. Außer dem täglich übermittelten synoptischen Material bietet hierzu der Tägliche Wetterbericht, dessen frühzeitigeres Erscheinen allerdings sehr erwünscht wäre, ausreichende Möglichkeiten. So werden an der Wetterwarte Göttingen unter nur geringem Arbeitsaufwand schon seit Jahren verschiedene Hilfsmittel laufend erstellt und mit gutem Erfolg verwandt, oder neue auf ihre Verwendung hin erprobt, ohne daß ich hier im Rahmen dieses Referates näher darauf eingehen kann. Aber selbst wenn ein Meteorologe die durch die Aufgabe der bisherigen Arbeitsmethode gewonnene Zeit nur dazu nutzen würde, um sich intensiver als es im routinemäßigen Dienst bei der üblichen Arbeitsweise leider möglich ist, der Frage der wirkungsvollsten stilistischen Abfassung seiner Vorhersagen zu widmen, so wäre das allein schon nicht mehr als Doppelarbeit, sondern als ein erfreulicher und erfolgreicher Fortschritt zu werten. Welche Aufgaben und Schwierigkeiten rein auf dem Gebiete der stilistischen Fassung unserer Erkenntnisse vorliegen, erkennt man, wenn man sich rückblickend einmal die Frage vorlegt, in welcher kurzen, prägnanten und wirkungsvollsten Form etwa ein 3—5tägiger, sehr vielgestaltiger Wetterablauf hätte fixiert werden müssen.

Mein Erfahrungsbericht wäre nicht vollständig, wenn ich Ihnen nach Schilderung der zahlreichen erwiesenen Möglichkeiten einer erfolgreichen und durchaus befriedigenden synoptischen Arbeitsweise an einer Wetterwarte nicht abschließend auch kurz noch die Schwierigkeiten aufzeigen würde, die der wünschenswerten Verbreitung und Nutzbarmachung dieser, auch für die Organisationsform unseres Dienstes bedeutungsvollen Gedankengänge heute noch hindernd im Wege stehen. Sie liegen m. E. mehr auf menschlichem als auf sachlichem Gebiet: Der an einer Wetterwarte tätige Meteorologe muß sich zunächst von der weit verbreiteten Ansicht frei machen, daß das Analysieren einer Wetterkarte die einzig mögliche und wichtigste Betätigung für einen Synoptiker darstellt, und daß kein Kollege diese Analyse so gut zu fertigen versteht, wie er das von sich im allgemeinen anzunehmen pflegt. Aus eigener Erfahrung weiß ich, daß die restlose Überwindung dieser beiden Ansichten und Vorurteile nicht einfach ist; wer aber den Sprung in das Neuland einmal getan hat, wird es nie bereuen!

Meine Ausführungen haben u. a. wohl auch erkennen lassen, in welchem starkem Maße unsere Tätigkeit gerade auf synoptischem Gebiet eine Gemeinschaftsarbeit darstellt, eine Gemeinschaftsarbeit, bei der der an zentraler Stelle geleisteten Arbeit naturgemäß die größte Bedeutung und Verantwortung zufallen. Eine solche Gemeinschaftsarbeit kann aber nur gedeihen auf dem Boden gegenseitigen Vertrauens und einer echten Kameradschaft. Deshalb lassen Sie mich schließen mit der Bitte: Sehen Sie in dem Meteorologen und seiner Außenstelle nie so etwas wie einen kleinen Konkurrenten, sondern einen Kollegen und eine Dienststelle, die sich zum Nutzen unseres Dienstes ehrlich mühen, letztlich auch Ihre, an zentraler Stelle geleistete Arbeit in wirkungsvoller Form einem möglichst großen und vielseitigen Interessentenkreis dienlich zu machen.

Aufgaben und Arbeitsweise der Wetterwarte Koblenz

von Robert Lehmen

(mit 1 Abbildung im Text)

Einleitend will ich die Wirtschaftsstruktur des von der Wetterwarte Koblenz erfaßten Raumes, — das Mittelrheingebiet zwischen Bacharach und Remagen, Untere Mosel und Lahn, Osthunsrück, Osteifel und Unterwesterwald — kurz umreißen.

Koblenz, mit 83 000 Einwohnern die größte Siedlung, ist das Zentrum, nach dem dieser Raum verkehrsmäßig ausgerichtet ist. Industrie ist hier nur durch einige kleinere und mittlere Betriebe vertreten. Großindustrie fehlt ganz. Dafür hat aber die Lage innerhalb der westdeutschen Weingebiete hier eine Konzentrierung des Weinhandels und der Getränkeindustrie bedingt. Die günstige Verkehrslage hat ihrerseits Baubetriebe, Großtankstellen, Genossenschaften und Behörden aller Art in Koblenz ansässig werden lassen. Besondere Bedeutung hat Koblenz als Fremdenstadt erlangt.

In dem nördlich angrenzenden Neuwieder Becken haben die dort vorkommenden Bimslager die Industrie für Bimsbaustoffe entstehen lassen, ein Industriezweig, der das Neuwieder Becken und die benachbarten Teile von Eifel und Westerwald in eine Industrielandschaft verwandelt hat. Zahlreiche größere, in der Mehrzahl aber kleinere Betriebe sind hier entstanden mit einem Schwerpunkt im Neuwieder Becken selbst und der Pellenz, der sich nach Westen anschließenden Landschaft am Laacher See. Hier treffen wir auch einige Werke mittlerer Größe anderer Industriezweige.

Während im übrigen Mittelrheintal und an der Mosel Weinbau, Weinhandel und Fremdenindustrie die Wirtschaftsstruktur bestimmen, sind Hunsrück, Eifel und Westerwald im wesentlichen land- und forstwirtschaftlich genutzt, wenn auch hier die Fremdenindustrie mehr und mehr an Bedeutung gewinnt.

Durch intensive Werbung im Laufe der letzten 5 Jahre ist es uns gelungen, die verschiedensten Wirtschaftszweige für unsere Dienste zu interessieren. Das wird wohl am besten dadurch dokumentiert, daß wir heute mit einem Kundenstamm von etwa 45 Kunden aus der Wirtschaft rechnen können.

Von den von uns erfaßten Wirtschaftszweigen steht an erster Stelle die Bimsbaustoffindustrie. Die frisch geformten Steine und sonstigen Erzeugnisse werden im Freien zum Trocknen aufgesetzt. Im Sommer geht der Abtrocknungsprozeß schnell und ungestört vor sich, im Winter dagegen wesentlich langsamer, mitunter bis zu sechs Wochen Dauer. Daher ist die Kenntnis der zu erwartenden Witterung für diesen Industriezweig zur Arbeitsdisposition sehr wichtig, vor allem aber auch deshalb, weil die frisch geformten Steine sehr frostempfindlich sind, und schon leichte Nachfröste Schäden verursachen können. Hinzu kommt noch, daß gerade dieser Raum durch seine Wannenform und seine Waldarmut wesentlich frostanfälliger ist als die benachbarten Gebiete, die Betriebe außerdem noch in verschiedenen Höhenlagen zwischen 65 m und 300 m ü. NN. anzutreffen sind. Vor allem im Winterhalbjahr besteht also ein besonderes Interesse für Wetterberatung. Deshalb sind auch die meisten Kunden vom Oktober bis April bei uns abonniert, einige sogar seit Jahren ganzjährig.

An zweiter Stelle steht die Bauwirtschaft, die auch zur Vermeidung von Frostschäden und zur Arbeitsdisposition ebenfalls vor allem in den Wintermonaten Wetterberatungen in Anspruch nimmt. Nicht nur in Koblenz, sondern auch aus der weiteren Umgebung haben wir Kunden dieser Branche.

Die Frostschadenverhütung ist auch bei dem Weinbau, der außerdem im Sommer für die Schädlingsbekämpfung auf Wetterberatung Wert legt, bei Weinhandel, Getränkeindustrie (Sektkellereien, Brauereien, Mineralbrunnen), Gartenbau und Forstbauschulen mit ein Hauptgrund für den Abschluß von Beratungsabonnements im Winterhalbjahr oder in den durch Nachtfroste gefährdeten Übergangsjahreszeiten. In diesen Wirtschaftskreisen konnten wir unseren Kundenkreis bis Bacharach, Traben-Trarbach und Rheinbrohl ausdehnen.

Die Brauereien nehmen nun insofern noch eine Sonderstellung ein, als diese ihren Bierausstoß, vor allem im Sommer nach dem zu erwartenden Wetter einrichten, weshalb diese auch ganzjährige Abonnements abgeschlossen haben.

Von den wenigen größeren Industriebetrieben gehören ein Eisen- und Hüttenwerk und eine chemische Fabrik zu unseren Dauerkunden. Das gleiche gilt auch von den größten Verkehrsbetrieben in Koblenz.

Die Landwirtschaftliche Hauptgenossenschaft in Koblenz ist auch schon seit Jahren zur Sicherung ihrer Kartoffel- und sonstiger frostempfindlicher Transporte Abonnent.

Die Landwirtschaft nimmt vor allem im Frühjahr und Sommer unsere Dienste in Anspruch, doch sehen die meist mittel- und kleinbäuerlichen Betriebe wegen der Gebühren von Abonnementsabschlüssen ab.

Koblenz bringt uns als Fremdenstadt im Sommer besondere Aufgaben. So finden z. B. von Juni bis September viermal wöchentlich Freilichtspiele, die sogenannten Operettenfestspiele, statt. Diese werden seit 1950 regelmäßig von uns beraten. Auch in der Umgebung finden im Sommer an verschiedenen Orten Freilichtspiele statt, deren Leitung sich ebenfalls bei kritischen Wetterlagen an uns wendet. Für die Operettenfestspiele in Koblenz setzt die Bundesbahn regelmäßig Sonderzüge ein, für die dann das Bundesbahnverkehrsamt wieder Wetterberatungen einholt.

Welchen Umfang die Beratungstätigkeit für die Wirtschaft allein im Winter annimmt, dürfte am besten folgende Statistik dartun.

Höchstzahl der Abonnenten in den Wintern 1949/50 bis 1953/54

Winter	1949/50	1950/51	1951/52	1952/53	1953/54
Zahl der Abonnenten	39	72	52	67	66

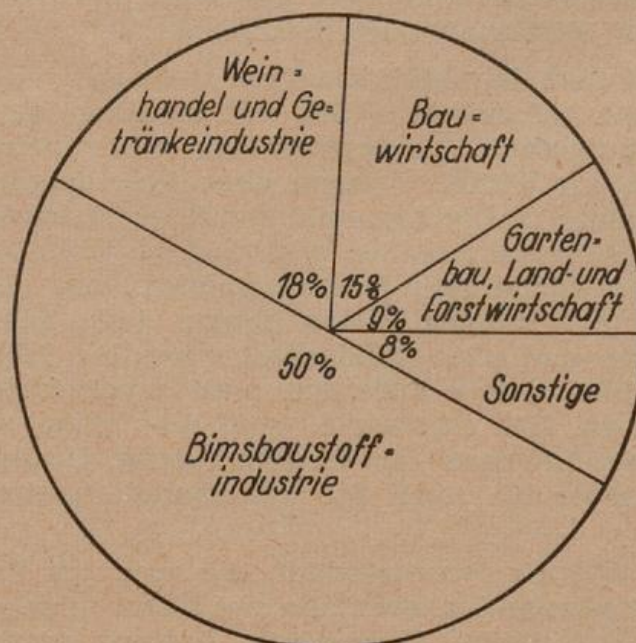


Abb. 1 Prozentuale Verteilung der Abonnenten auf die einzelnen Wirtschaftszweige.

Am 30. Oktober 1954 waren für den Winter 1954/55 bereits 46 Abonnements abgeschlossen.

Die prozentuale Verteilung auf die einzelnen Wirtschaftszweige zeigt die Abbildung 1.

In den Monaten November bis Februar der letzten Winter wurden allein an die Wirtschaft durchschnittlich 700 bis 800 Auskünfte im Monat erteilt.

Zu diesem Kundenkreis aus der Wirtschaft kommt nun noch der Zeitungswetterdienst für 3 Zeitungen und der Postauftragsdienst.

Auch von einer Anzahl Behördendienststellen werden laufend unsere Dienste in Anspruch genommen, von denen ich nur die wichtigsten anführen will.

Die Landesstraßenverwaltung von Rheinland-Pfalz, Direktion. Das Forsteinrichtungsamt von Rheinland-Pfalz, zwei Wasserstraßenämter, das Wasserwirtschaftsamt, die Bundesanstalt für Gewässerkunde, die Landesbildstelle und das Landespflanzenchutzamt. Auch zwei französische Dienststellen gehören seit einigen Jahren zu unseren Kunden.

In den letzten beiden Jahren hat auch die Beratung der Segelfliegervereine von Koblenz und Umgebung merklich an Umfang zugenommen.

Mit 7 höheren Schulen aus Koblenz und Umgebung, mit Landwirtschaftsschulen und der Lehrerinnenakademie konnte durch wetterkundliche Vorträge und durch Bereitstellung von Klima- und Anschauungsmaterial für den Unterricht ein guter Kontakt hergestellt werden.

Daß aus unserem Kundenkreis, sowie von den in Koblenz und Umgebung ansässigen Versicherungsgesellschaften und Gerichtsbehörden laufend Aufträge für Klimaauskünfte und Gutachten eingehen, sei nur nebenbei erwähnt. Auch die Prüfung von 28 Niederschlagstabellen aus unserem Bereich, sowie die Bearbeitung von Klimakreisbeschreibungen gehören zu unserem Aufgabenbereich.

Die aus diesem Kundenkreis an uns herangetragenen Anforderungen stellen uns sowohl klimatologische, als auch zur Hauptsache synoptische Aufgaben. In diesem Zusammenhang will ich mich auf die Erläuterung der synoptischen Aufgaben beschränken.

Es werden Vorhersagen jeder Art gewünscht, wobei neben kurzfristigen auch mittelfristige Vorhersagen eine dominierende Stellung einnehmen. Seit 1949 wird vom Wetteramt Neustadt dienstags und freitags eine für 3 bis 4 Tage befristete Vorhersage herausgegeben, die sich gut eingeführt hat. Für diese Vorhersage hatten wir in den vergangenen Wintern bis zu 40 Abonnenten. Im Winterhalbjahr, eigentlich vom September bis Mai, nimmt die Frostwarntätigkeit einen beachtlichen Raum innerhalb unseres Aufgabenbereiches ein. Mittelfristvorhersagen und Frostwarnungen sollen sich ergänzen. Zum Schutze frostempfindlicher Waren vor Schäden auf dem Transport erhalten Versandfirmen, z. B. für Wein- oder Kartoffelversand, eine Zusammenstellung von Temperaturminima einer Städteauswahl aus dem Bundesgebiet, die den Firmen zur Orientierung über eventuelle Gefahrenzonen dienen soll.

Da die Transporte meist über die Landstraßen laufen, besteht von seiten der Kunden auch ein großes Interesse für den Straßenwetterdienst. Da die Landesstraßenverwaltung von Rheinland-Pfalz ihren Sitz in Koblenz hat, werden die Straßenzustandsberichte von Rheinland-Pfalz fernschriftlich von der Wetterwarte Koblenz an das Wetteramt Neustadt weitergeleitet. Deshalb liegt dieser Bericht schon früh bei uns vor, was für den Kundendienst sehr wertvoll ist.

Es sei noch erwähnt, daß wir an verschiedene Stellen auch Wind-, Gewitter- und Unwetterwarnungen geben müssen.

Aus der unterschiedlichen Treffsicherheit der Vorhersagen und Warnungen ergibt sich, daß aus dem Kundenkreis je nach Wetterlage mehr oder weniger häufig wieder Anfragen über die Wetterentwicklung erfolgen. Wir müssen also laufend über den neuesten Stand der Wetterentwicklung orientiert sein, um den Anforderungen im Rahmen des Möglichen gerecht werden zu können.

Nun kann es aber nicht die Aufgabe einer Wetterwarte sein, selbst mittel- und langfristige Vorhersagen zu erarbeiten. Deshalb werden die von der Zentralstelle bzw. von dem Wetteramt Neustadt herausgegebenen Mittel- und Langfristvorhersagen übernommen, müssen aber von uns doch jeweils für den gebrauchten Zweck abgestimmt werden, wobei naturgemäß auch eigene Überlegungen mitverwertet werden. Außer den Übersichten und Vorhersagen der Zentralstelle gibt das Wetteramt Neustadt noch folgende Übersichten mit Vorhersage an die Wetterwarten seines Bereiches:

Übersicht und Vorhersage bis zum nächsten Abend: 06.30 MEZ.

Übersicht und Vorhersage bis zum übernächsten Tag: 12.30 MEZ.

Übersicht und Vorhersage bis zum übernächsten Tag: 17.00 MEZ.

Dienstags und freitags Mittelfristvorhersage (s. o.).

Dienstags und samstags Wochenvorhersage.

Warnungen von Fall zu Fall.

Eine Wetterwarte muß aber in der Lage sein, kurzfristige Vorhersagen selbst zu erarbeiten, da diese oft auf ganz bestimmte Zeitspannen und lokal begrenzte Gebiete abgestimmt werden müssen, was auch in vielen Fällen für Warnungen gilt.

Nun ist es natürlich schon allein aus rein personellen Gründen unmöglich, die Unterlagen zu erarbeiten, die einem Wetteramt für diesen Zweck zur Verfügung stehen. Ein Minimum an Karten ist aber unumgänglich notwendig. Es genügen nicht nur ein oder zwei Analysen, Vorhersagekarten und Topographien, wie sie von der Zentralstelle über das Ringnetz verbreitet werden, sondern, um brauchbare kurzfristige Vorhersagen machen zu können, ist nach meiner Erfahrung zumindest eine selbst angefertigte Analyse mit eingetragenen Wettermeldungen aus Mittel-, West- und Nordeuropa und den festen Schiffen auf dem Ostatlantik in einem Kartenausschnitt des Kartenvordruckes DW — DA3 erforderlich. Am besten sind nach meiner Meinung die 06-z-Meldungen geeignet, da diese auch die Temperaturminima und andere Werte enthalten, deren Kenntnis z. B. für den Frostwarndienst eine wichtige Arbeitsunterlage darstellt. In vielen Fällen reicht diese 06-z-Karte aus, doch muß sie in kritischen Fällen durch einen ähnlichen, meist aber noch begrenzteren Kartenausschnitt von 12 z oder 15 z je nach den anstehenden Belangen ergänzt werden. Außerdem müssen mindestens die 00-z-Analyse, die 03-z-Absolute Topographie der 500-mb-Fläche und die Vorhersagekarten als Arbeitsunterlagen zur Verfügung stehen. Wünschenswert ist auch ein Überblick über den vertikalen Aufbau der Atmosphäre wenigstens in dem für die Entwicklung der nächsten 24 Stunden maßgeblichen Einzugsraum, den man sich aus den MESRAN-Meldungen von Mittel- und Westeuropa und ein oder zwei Temps erarbeiten kann. Die Erarbeitung dieser für notwendig gehaltenen Unterlagen steht und fällt aber mit der Besetzung der Dienststelle. Der Techniker ist durch den laufenden Dienst (Beobachtungsdienst, Wetteraufnahme von Wetterposten Fuchskauten und Weiterleitung zum Wetteramt, Zeichnen der Aushangkarte, Schreiben, Stanzen und Weitergeben der Wetterberichte an die Kunden usw.), dann durch das Zeichnen der 00-z-Analyse, der Topographie und Vorhersagekarte 06 z voll in Anspruch genommen. Die oben genannte 06-z-Karte wird vom Meteorologen selbst gezeichnet, und zwar nach einem vereinfachten Eintragungsschema. Die für die Beurteilung der Wetterlage nicht unbedingt notwendigen Wetterelemente werden dabei weggelassen. Diese Beschränkung ist notwendig, da diese Karte möglichst schnell fertiggestellt werden muß. In die analysierte Karte werden dann noch aus den MESRAN-Meldungen die Höhenwinde der 500-mb-Fläche eingetragen, um schon vor Eingang der Topographie ein vorläufiges Bild über die Höhenströmung zu bekommen. Dann werden die interessierenden Teile der 00-z-Vorhersagekarte noch hineinskizziert. Wenn es die Zeit zuläßt, erfolgt auch noch eine weitere Auswertung der MESRAN-Meldungen und des Temps Wiesbaden oder Emden, je nach Wetterlage. Vom Wetteramt Neustadt werden wir nun zu den Zeiten in die Wetter-Ringsendung eingeschaltet, an denen die oben angeführten Analysen, Wettersendungen, Übersichten usw. gesendet werden. Bei Ausfall eines

der insgesamt drei Angestellten, bei Urlaub, Krankheit, Dienstreisen, Freizeit für Sonntagsdienst usw. ist die Durchführung dieses Programmes nur mit wesentlichen Einschränkungen möglich, da dann die Dienststelle nur mit einem Angestellten besetzt werden kann, und der Leiter sich in den technischen Dienst voll einschalten muß. Bei Abwesenheit des Meteorologen müssen sich die technischen Angestellten naturgemäß ganz auf die vom Wetteramt Neustadt und der Zentralstelle gelieferten Vorhersagen abstützen. Nur gewandte Techniker mit einer langen Erfahrung sind dann den ihnen gestellten Anforderungen gewachsen. Schon allein die Durchführung des Warndienstes, vor allem des Frostwarndienstes, erfordert eigentlich immer die Anwesenheit eines Meteorologen. Wohl wird dieser in enger Zusammenarbeit mit dem Wetteramt Neustadt durchgeführt, doch muß bei der Abfassung der Warnungen und Abstimmung auf die Belange der einzelnen Interessentenkreise die im eigenen Raum gewonnene Erfahrung maßgeblich mitberücksichtigt werden. So konnten z. B. durch Rundfragen bei den Firmen, durch das Studium der Temperaturminima von Koblenz, Niedermendig und Oberbieber bei Neuwied, drei für das Bimsindustriegebiet charakteristischen Stationen, wertvolle Anhaltspunkte dafür gefunden werden, mit welcher Frostanfälligkeit und mit welchen Frostspannen innerhalb des Bimsindustriegebietes zu rechnen ist.

Es muß aber auch erwähnt werden, daß außer den rein synoptischen auch noch klimatologische und andere Aufgaben anfallen. Schon allein der Schriftverkehr, der sich aus dem umfangreichen Kundendienst ergibt, ist recht beachtlich. So wurden z. B. von Oktober 1953 bis September 1954 allein 543 Rechnungen an Kunden ausgestellt. Diese Arbeiten müssen neben dem laufenden Dienst auch bewältigt werden.

Abschließend möchte ich meine Ausführungen dahingehend zusammenfassen, daß eine Wetterwarte mit den Aufgaben, wie sie der Wetterwarte Koblenz gestellt sind, unbedingt in der Lage sein muß, mindestens kurzfristige Vorhersagen und Warnungen selbständig erarbeiten zu können. Diese Möglichkeit ist aber nur dann gegeben, wenn regelmäßig mindestens das oben dargestellte synoptische Arbeitsprogramm auch durchgeführt werden kann.

Arbeitsunterlagen der Analysenzentrale

von Hans Klaus Meyer

(mit 4 Abbildungen im Text)

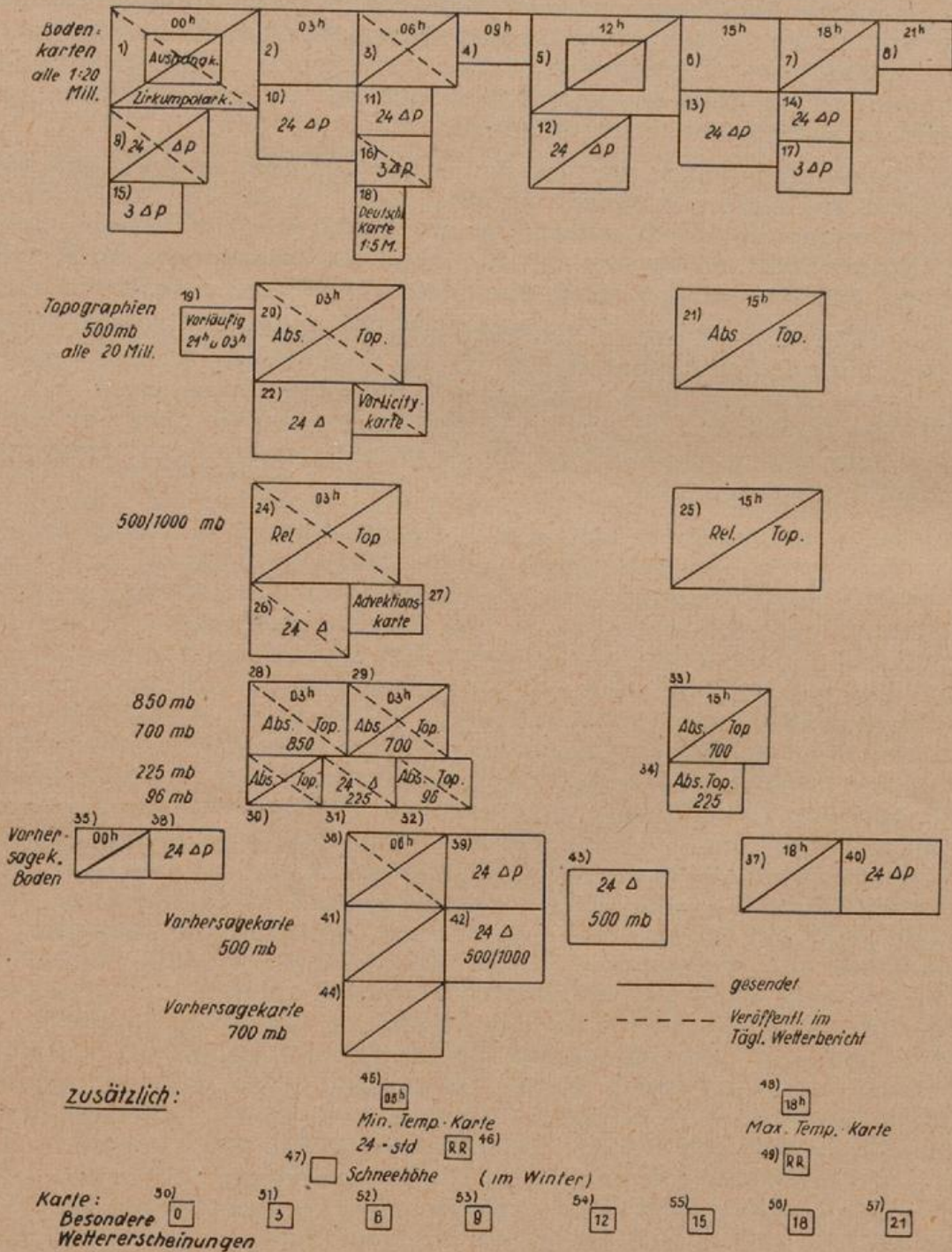


Abb. 1 Bei der Analysenzentrale gezeichnete Karten.
Aufbewahrung aller Karten: unbegrenzt im Klima-Archiv in Bad Kissingen.

Die wesentlichsten Aufgaben der Analysenzentrale sind:

1. Einsteuerung von Einzelmeldungen in die deutschen und internationalen Kanäle (gemeinsam mit den Nachrichtenzentralen der Zentralstelle).
2. Erarbeitung großräumiger Analysen und Topographien.
3. Konstruktion von Vorhersagekarten.
4. Herausgabe des Täglichen Wetterberichts.
5. Schaffung von Grundlagenmaterial für mittel- und langfristige Vorhersagen und für Forschungsarbeiten.

Zur Erfüllung dieser Aufgaben müssen zahlreiche Karten gezeichnet und ausgewertet werden, die in Abbildung 1 für einen Tag zusammengestellt sind.

Von Einzelfällen abgesehen, werden sämtliche Karten im Maßstab 1:20 Mill. gezeichnet. Dies hat den Vorteil, daß die Karten unmittelbar miteinander vergleichbar sind und mit der Verschlüsselungsmaschine verschlüsselt werden können. Besonders bei der Konstruktion der Vorhersagekarten hat es sich als zweckmäßig erwiesen, daß alle Karten im gleichen Maßstab vorliegen.

Bodenkarten werden alle 3 Stunden gezeichnet, wobei der Ausschnitt allerdings häufig wechselt.

Bei der Erarbeitung der 00-Uhr-Zirkumpolarkarte (1*), die im Täglichen Wetterbericht veröffentlicht wird, hat es sich als notwendig erwiesen, auch eine Zirkumpolarkarte von 12 Uhr (5) zu zeichnen, um die Änderungen in den Oktanten 1 und 2 besser überblicken zu können. Der Ausdruck „zirkumpolar“ ist für diese Karte natürlich recht schmeichelhaft. Eine wirkliche Zirkumpolarkarte, die in zunehmendem Maße gefordert wird, ist bei der Abt. S in Vorbereitung.

Für den Bereich Europa-Atlantik ist die 00-Uhr-Karte außerdem die Grundkarte zur 00-Uhr-Vorhersagekarte.

Die 03- (2) und 06-Uhr-Karte (3), die im Ausschnitt DWD A 2 gezeichnet werden, sowie die 09-Uhr-Karte (4) im DWD-A-3-Ausschnitt dienen im wesentlichen zur Konstruktion der 06-Uhr-Vorhersagekarte. Dabei wird die 03-Uhr-Karte über dem Nordatlantik und Europa gleichzeitig als 1000-mb-Karte genommen zur Konstruktion der absoluten Topographien. Zur 18-Uhr-Vorhersagekarte wiederholt sich das gleiche wie am Vormittag.

Wie die Abbildung 1 zeigt, werden zu den Bodenkarten verhältnismäßig viel Druckänderungskarten gezeichnet, und zwar 24-stündige (9-14) und 3-stündige (15-17). Der Grund hierfür sind wiederum die Vorhersagekarten. Das Verfahren der Konstruktion von Vorhersagekarten kann bekanntlich kurz so formuliert werden: Man stellt fest, was in den vorhergehenden 24 Stunden erfolgte, und überlegt sich, was in den kommenden 24 Stunden passieren wird. Man extrapoliert also — grob gesprochen — 24-stündige Änderungen. Zur Abschätzung von Intensitätsänderungen der vorherzusagenden 24-stündigen Druckfall- und -steiggebiete sind neben vielen Erfahrungsregeln die dreistündigen Druckänderungen von großer, häufig sogar von entscheidender Bedeutung.

Für genauere Punkt- und Gebietsvorhersagen sind die Bodenkarten im Maßstabe 1:20 Mill. im allgemeinen nicht ausreichend. Für diese Aufgabe müßten eigentlich zusätzliche Karten im Maßstabe 1:5 Mill. angefertigt werden. Da Detailvorhersagen jedoch die Hauptaufgabe der Wetterämter und Flugwetterwarten sind, werden bei der Analysenzentrale mit Ausnahme des 06-Uhr-Termines (18) keine 1:5-Mill.-Karten gezeichnet. Um dennoch den Wetterablauf über Deutschland etwas eingehender zu überwachen, wurden im letzten Sommer Kärtchen (50-57) eingeführt, in die nur die Elemente eingetragen werden, die als besondere Wettererscheinungen gelten (vgl. Abb. 2). Hierzu gehören markante Windgeschwindigkeiten der Sondergruppen 911ff, 912ff und alle Erscheinungen der Schlüsselziffern ww und W, sofern sie Nebel, Niederschläge oder gefahrbringende Elemente enthalten (Blitz, Donner, Glatteis usw.).

*) Die in Klammern stehenden Zahlen beziehen sich auf die schematische Darstellung in Abb. 1.

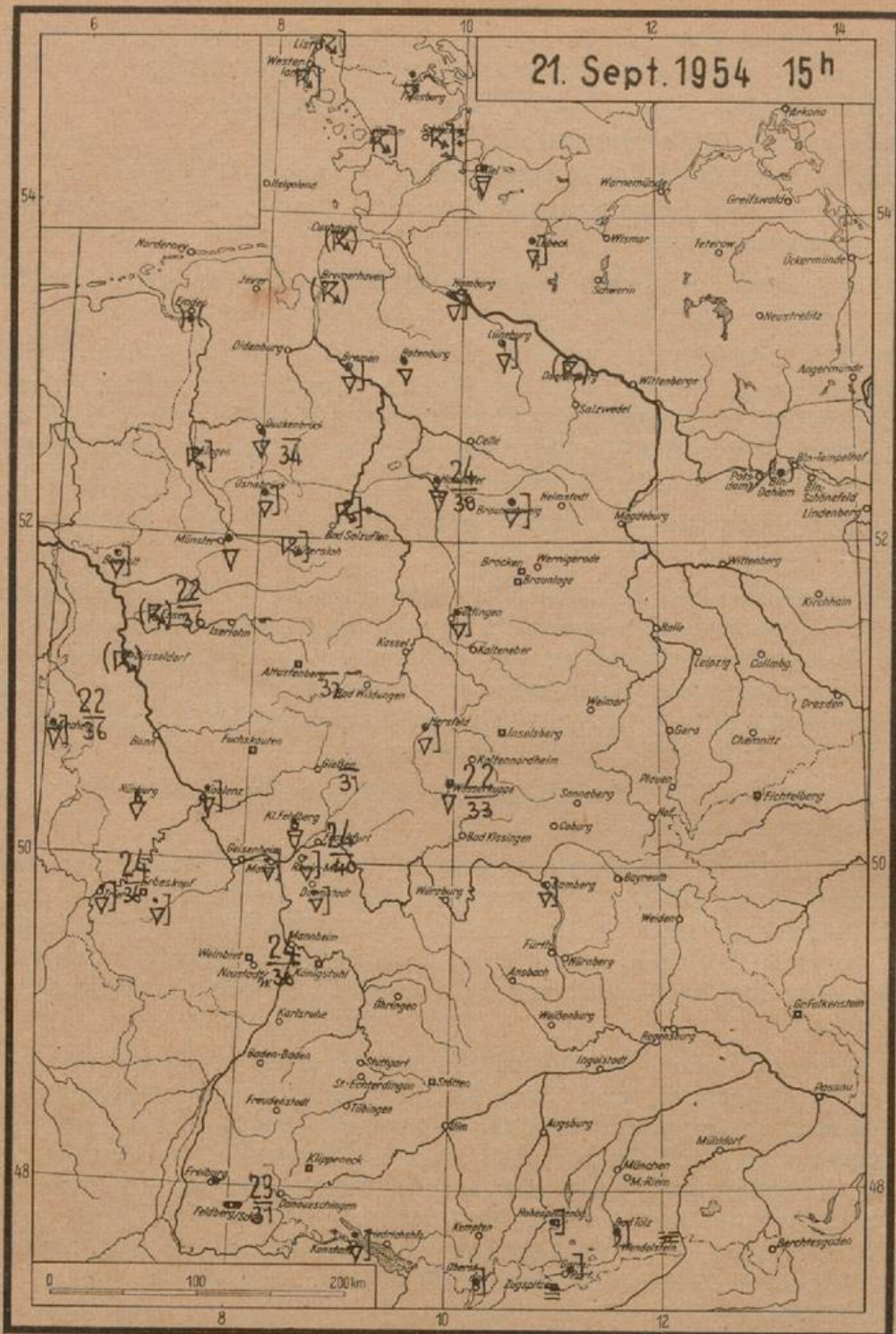


Abb. 2 Beispiel für Deutschland-Kärtchen.
 24 Zahlen über dem Strich: höchste mittlere Windgeschwindigkeit.
 38 Zahlen unter dem Strich: höchste Spitzenböen.

Dieses Kärtchen ist etwa in 8 bis 10 Minuten fertiggestellt und gibt dem Meteorologen in kürzester Zeit einen Überblick über alle wesentlichen Wettererscheinungen in Deutschland. In gesonderte Kärtchen gleicher Größe werden ferner eingetragen: Höchsttemperatur (48), Tiefsttemperatur (45), 24-stündiger Niederschlag um 06 Uhr (46), 12-stündiger Niederschlag um 18 Uhr (49) und schließlich im Winter die Schneehöhe (47).

Nachdem im Mai 1954 in Zürich beschlossen wurde, daß von jedem Land ausgewählte Stationen ab 1. 1. 55 die Gruppe 2T_gT_g Es melden, wird bei der Analysenzentrale von diesem Zeitpunkt an zweimal die Woche eine Schneedeckenkarte gezeichnet und in einer noch festzulegenden Form veröffentlicht werden.

Bei den **Höhenkarten** werden die 500-mb-^(20, 21) und 500/1000-mb-Karte^(24, 25) als Zirkumpolarkarte gezeichnet. Um die Kontinuität auch hier zu wahren, ist es — entsprechend wie bei den Bodenkarten — erforderlich, diese Karten in ihrem ganzen Umfange zweimal pro Tag zur Verfügung zu haben. Zur 00-Uhr-Vorhersagekarte wird eine vorläufige 500-mb-Fläche von 03 Uhr⁽¹⁹⁾ verwendet, die durch 21-Uhr-Werte von Micksfield, Santa Maria und den Schiffen des Westatlantiks vervollständigt wird und gegen 05.30 Uhr MEZ vorliegt. Da zur Konstruktion der 00-Uhr-Vorhersagekarte auf diese Topographie auf keinen Fall verzichtet werden kann, liegt die 00-Uhr-Vorhersagekarte entsprechend später vor als die Vorhersagekarte von 06 und 18 Uhr.

Zur Konstruktion der Höhenvorhersagekarten sind ähnlich wie für die Bodenvorhersagekarten 24-stündige Änderungen der absoluten⁽²²⁾ und relativen Topographie⁽²⁶⁾ erforderlich. Leider gibt es für die Topographien keine 3-stündigen Änderungen, die die Konstruktion der Höhenvorhersagekarte erleichtern würden. Als Ersatz für 3-stündige Änderungen dient bis zu einem gewissen Grad die Advektionskarte⁽²⁷⁾, die die relative Topographie 500/1000 mb und Bodenisobaren in einer Karte vereinigt und einen ausgezeichneten Überblick gibt über die momentane Zufuhr von Kalt- oder Warmluft. Ähnlich wie die Advektionskarte für die relative Topographie gibt die Advektion der Vorticity⁽²³⁾ einen Anhaltspunkt für die momentanen Änderungen der 500-mb-Fläche. Da die Vorticity-Karte erst am Nachmittag fertig wird, fällt sie für die Konstruktion der Vorhersagetopographie aus und hat daher nur Wert für nachträgliche Betrachtungen. Bei der numerischen Vorhersagemethode spielt die Vorticity eine große Rolle. Daher erschien es wertvoll, diese Größe für ein Jahr lang täglich für die 500-mb-Fläche zu zeichnen und im Täglichen Wetterbericht zu veröffentlichen.

An weiteren Höhenkarten werden die 850-⁽²⁸⁾, 700-⁽²⁹⁾, 225-⁽³⁰⁾ und 96-mb-Fläche⁽³²⁾ gezeichnet, die aus dem Täglichen Wetterbericht bekannt sind. Alle Topographien zusammen vermitteln ein anschauliches Bild über die Strömungsverhältnisse in der Troposphäre und der unteren Stratosphäre. Da in die einzelnen Topographien zusätzlich die entsprechenden Temperatur- und Feuchtwerte eingetragen werden, geben diese Karten gleichzeitig einen Überblick über die Temperaturverteilung in den einzelnen Schichten. Erfahrungsgemäß liefern die relativen Topographien und Isothermen in den einzelnen Hauptdruckflächen großzügig betrachtet dasselbe Bild. Aus diesem Grunde wird darauf verzichtet, die Isothermen der Hauptisobarenflächen auszuzeichnen. Neben der relativen Topographie 500/1000 mb haben sich die Temperaturen in 850 mb als ein gutes Analysenhilfsmittel erwiesen, da diese Werte vom Untergrund im allgemeinen unbeeinflusst sind. Dort, wo selbständig Analysen angefertigt werden, sollte nie auf dieses Hilfsmittel verzichtet werden.

Die bei der Analysenzentrale erarbeiteten **Vorhersagekarten**^(35, 36, 37, 41, 44) für Boden und Höhe sind bekannt. Auf einige Einzelheiten wird noch in den folgenden Referaten eingegangen. Bei der Konstruktion jeder Vorhersagekarte wird grundsätzlich mit Hilfe des vergangenen Ablaufes die 24-stündige Änderung zuerst vorhergesagt und die Vorhersagekarte selbst durch graphische Addition von augenblicklichem Zustand plus vorhergesagter 24-stündiger Änderung gewonnen. Ganz grob kann diese Methode als eine Extrapolation höherer Ordnung bezeichnet werden. Auch die in anderen Diensten angewandten Verfahren sind grundsätzlich Extrapolationen. Einen ganz anderen Weg versucht das numerische Verfahren zu gehen, bei welchem nur der Zustand des Ausgangsfeldes vorgegeben zu sein braucht. Die Werte dieses Ausgangsfeldes werden in physikalische Gleichungen eingesetzt, die mit Hilfe numerischer Methoden gelöst werden. Das Gedankengut, das in dieser Methode steckt, wird qualitativ auch in einigen Erfahrungsregeln angewendet, wie z. B. im Delta-Effekt bei Frontalzonen. Heute wissen wir, daß Krümmung und Scherung diesen Druckfall bewirken.

Einige weitere Karten, die jedoch nur Arbeitskarten oder Entwürfe darstellen, sind in der Aufstellung der Abb. 1 nicht enthalten. Zu solchen Karten gehören z. B. diejenigen, die zur Konstruktion der absoluten Topographien dienen, in denen die 1000-mb-Fläche enthalten ist und nach Entwurf der relativen Topographie die absolute Topographie durch graphische Addition gewonnen wird. Hierher gehören ferner einige Hilfskarten für die Konstruktion der Vorhersagekarte usw.

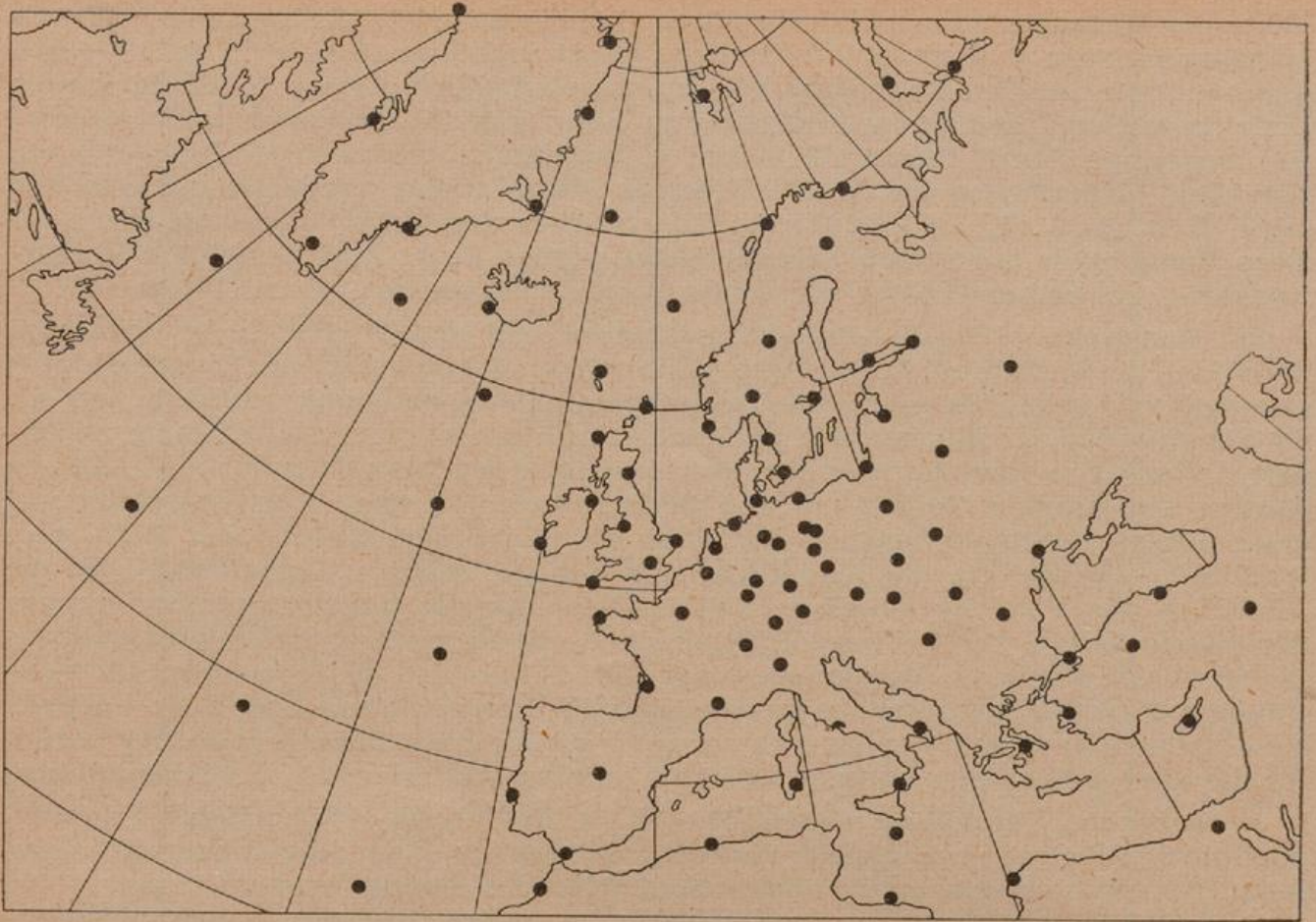


Abb. 3 Aerologische Aufstiegsstationen, die im St ü v e - Diagramm gezeichnet werden.

In Abb. 3 sind alle Aufstiegsstellen eingezeichnet, von denen der Temp im St ü v e - Diagramm vollständig aufgetragen und gerechnet wird. Bekanntlich hat der deutsche Wetterdienst die internationale Verpflichtung, 1. die MESRAN-Werte für einen großen Teil Europas zu sammeln und über Fernschreiber nach Amerika zu geben, 2. die MESRAN-Werte der gesamten Nordhalbkugel über den Sender DDF zu verbreiten. Aus diesem Grunde ist eine genaue Kontrolle einer großen Anzahl von Aufstiegen erforderlich. Zugleich bilden die gezeichneten Temps ein gutes Grundlagenmaterial für wissenschaftliche Bearbeitungen.

Alle in den Abbildungen 1, 2, 3 erwähnten Karten und Temps werden bei der Analysenzentrale in Frankfurt etwa ein halbes Jahr aufgehoben und infolge Platzmangels dann in das Zentralarchiv der Abteilung K nach Bad Kissingen gegeben. In ähnlicher Weise werden aufgehoben: die zweimal täglich von der Analysenzentrale herausgegebenen MESRAN-Werte der Nordhalbkugel, sowie das gesamte Nachrichtenmaterial, das über Funk und Fernschreiber täglich eingeht. Für wissenschaftliche Untersuchungen kann das Material angefordert und zur Verfügung gestellt werden.

Textsendungen der Analysenzentrale

In Abb. 4 sind oben sämtliche Textsendungen aufgeführt, die von der Analysenzentrale herausgegeben werden. Sie gliedern sich in Entwicklungsvorhersagen und aerologische Übersichten.

Die Entwicklungsvorhersagen werden entweder im Anschluß an eine Vorhersagekarte gegeben und ergänzen diese, oder aber sie werden zu einer Zeit ausgegeben, wo auf Grund neuerer Meldungen etwaige Änderungen oder Zusätze zu erwarten sind (0320 Z und 1640 Z).

Im allgemeinen steht für die Entwicklungsvorhersage bereits die Karte des folgenden 3-stündigen Termins in gewissem Umfange zur Verfügung, so daß diese Meldun-

03²⁰ z Frühübersicht

05⁴⁵ z Übersicht und weitere Aussichten (gemeinsam mit Abt. F)

06¹⁵ z Aerologische Übersicht

09¹⁰ z UKW-Bericht (für FTZ Darmstadt)

10⁴⁰ z Übersicht, weitere Aussichten (gemeinsam mit Abt. F)

11²⁰ z Begründung

16⁴⁰ z Übersicht und weitere Aussichten

18¹⁵ z Aerologische Übersicht

22⁴⁰ z Übersicht und weitere Aussichten

Gültigkeitsdauer der Vorhersagen

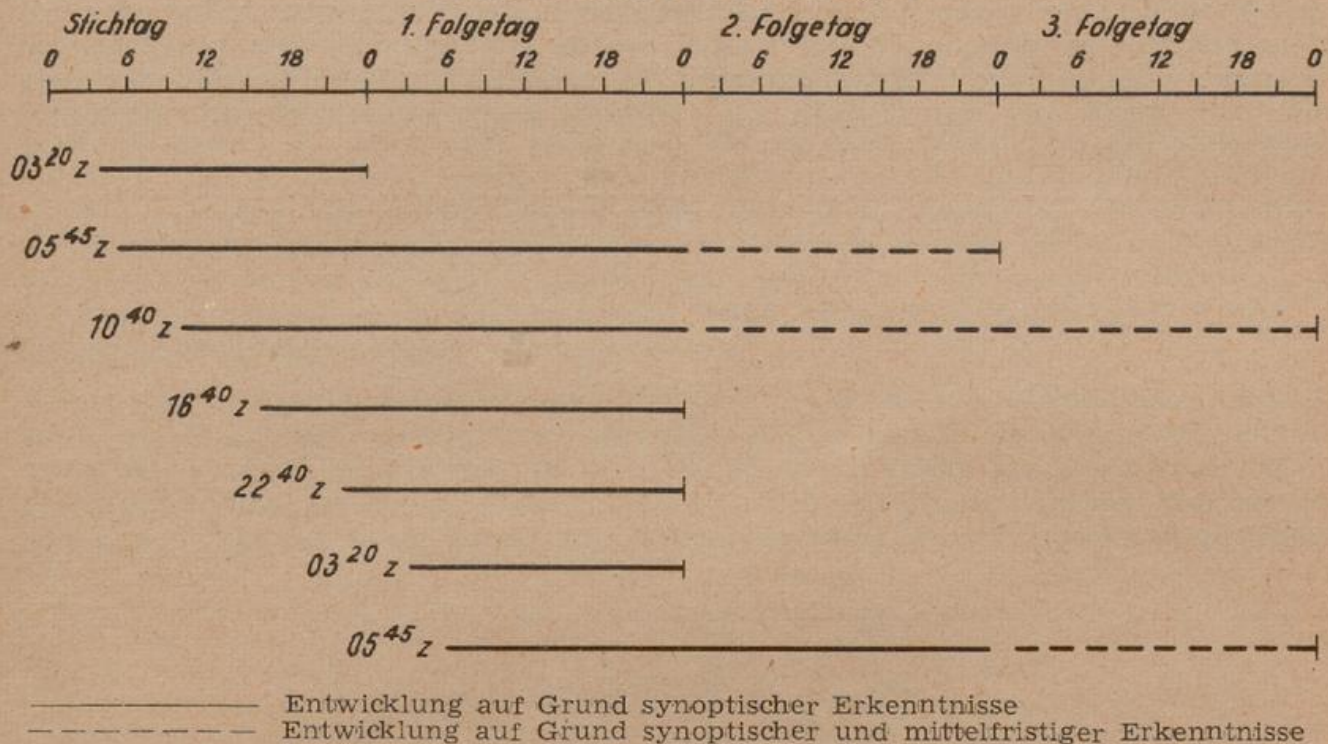


Abb. 4 Zusammenstellung sämtlicher Textsendungen.

gen mit verwertet sind. Bei der 0320-Z-Übersicht liegt der Abgabetermin jedoch gerade so, daß die 03-Uhr-Wetter nicht mehr eingesehen werden können.

Die Gültigkeitsdauer der Entwicklungsvorhersagen mit weiteren Aussichten ist in der Abbildung 4 schematisch dargestellt worden. Während bis 15. 7. 54 erst mit Vorliegen der 06-Uhr-Vorhersagekarte weitere Aussichten möglich waren, wird seit Einführung der 00-Uhr-Vorhersagekarte bereits um 0545 Z — also 5 Stunden früher — die Wetterentwicklung bis zum 2. Folgetag formuliert, obwohl zu diesem Zeitpunkt auch bei der Analysenzentrale das aerologische und mittelfristige Material noch recht lückenhaft vorliegt. In Einzelfällen kann es daher vorkommen, daß auf Grund der 06-Uhr-Vorhersagekarte die früh vertretene Ansicht abgeändert werden muß. Hinzu kommt, daß die 00-Uhr-Vorhersagekarte im Turnusdienst, d. h. von jedem Meteorologen angefertigt werden muß, während zum 06-Uhr-Termin nur besonders erfahrene Meteorologen eingesetzt sind.

Die Abfassung der 0545- und 1040-Uhr-Entwicklungsvorhersagen geschieht in Gemeinschaft mit den Meteorologen der Gruppe Mittelfrist, während die übrigen Textsendungen von der Analysenzentrale allein erarbeitet werden. Die Begründung der Mittelfristvorhersage erfolgt indessen von einem Meteorologen der Gruppe Mittelfrist.

Sämtliche Entwicklungsvorhersagen nehmen Bezug auf die aktuelle Wetterlage, oder aber es werden bereits Gebilde aus der Vorhersagekarte oder Höhenvorhersagekarte angesprochen. Es empfiehlt sich daher z. B. beim Lesen der 1040-Z-Entwicklung neben der aktuellen Lage auch die Vorhersagekarte Boden und Vorhersagekarte 500 mb

mit einzusehen. Mit der mittelfristigen Begründung sollte ähnlich verfahren werden. Sie stellt eine Erweiterung der Entwicklungsvorhersage dar.

Bei der Abfassung der Entwicklungsvorhersage leiten den Meteorologen verschiedene Grundsätze:

1. Der Text soll so kurz wie möglich sein und gleichzeitig möglichst viel aussagen.
2. Jeder Satz muß eine Vorhersage enthalten.
3. Nach Möglichkeit sollen Begründungen eingeflochten werden.

Die sehr ausführliche Diskussion über den Punkt Textvorhersagen ergab, daß von den Wetterämtern Angaben über Unsicherheiten in der Wetterentwicklung oder Vorhersagekarten gewünscht werden. Ferner wurde angeregt, Hinweise zu geben auf weniger wahrscheinliche Entwicklungen, die zwar noch keinen Umstoß der herrschenden Auffassung rechtfertigen, aber doch zu einem späteren Termin Bedeutung erlangen können.

Wetterkartenanalyse

von Georg Schmidt

(mit 6 Abbildungen im Text)

Bei einem Vergleich der Bodenwetterkarten mehrerer Wetterämter kann man feststellen, daß sie in Bezug auf die Lage der Fronten im allgemeinen recht gut übereinstimmen. So wurde z. B. im August 1954 an 10 Tagen gute, an 15 Tagen ziemlich gute und an 4 Tagen wenig Übereinstimmung erzielt. Zur Verfügung standen die Wetterkarten von 29 Tagen. Es wurden diejenigen Karten der Ämter miteinander verglichen, die zum gleichen Termin veröffentlicht werden. Es bedeutet gut: Die Wetterkarten zeigen nur kleine, kaum nennenswerte Abweichungen, ziemlich gut: In einzelnen Gebieten merkliche, jedoch keine krassen Abweichungen, wenig: In mehreren Gebieten merkliche Abweichungen.

Die Abbildungen 1, 2 und 3 zeigen Analysen, bei denen die Auffassungen zum Teil recht erheblich auseinandergingen; so hat z. B. bei Abb. 1 das Band, auf dem die Kaltfronten liegen, eine Breite von über 350 km. Noch größer ist die Abweichung bei den Warmfronten in Abb. 2. Dabei handelt es sich um Räume, die mit Wetterbeobachtungen recht gut belegt sind. Eine Übereinstimmung ist sehr schwer zu erreichen,

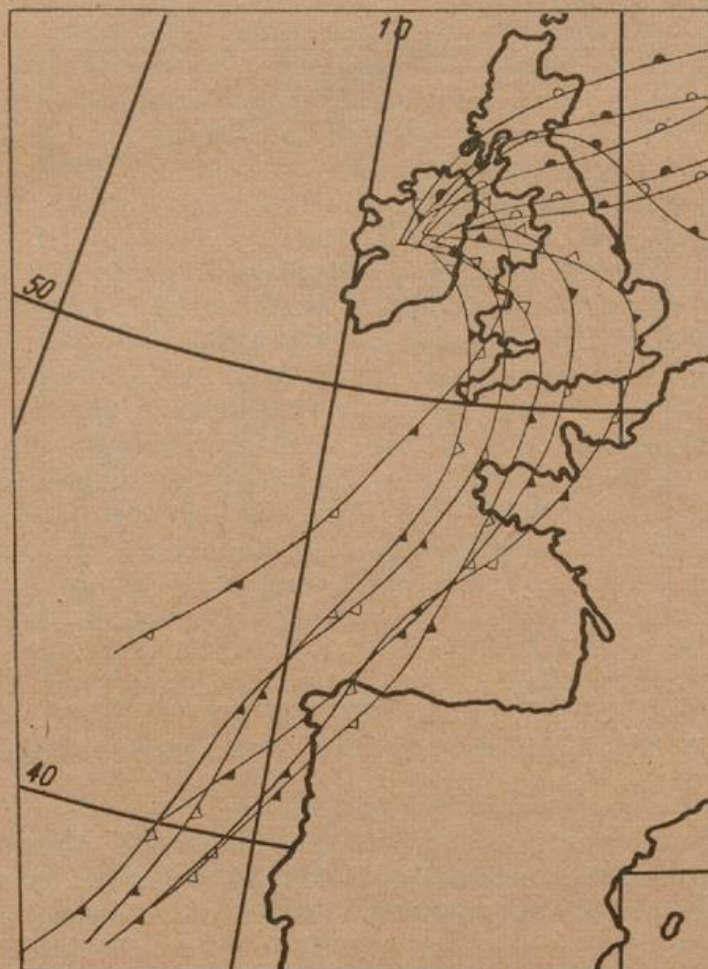


Abb. 1 Abweichung bei einer Kaltfront am 3. 9. 1954.

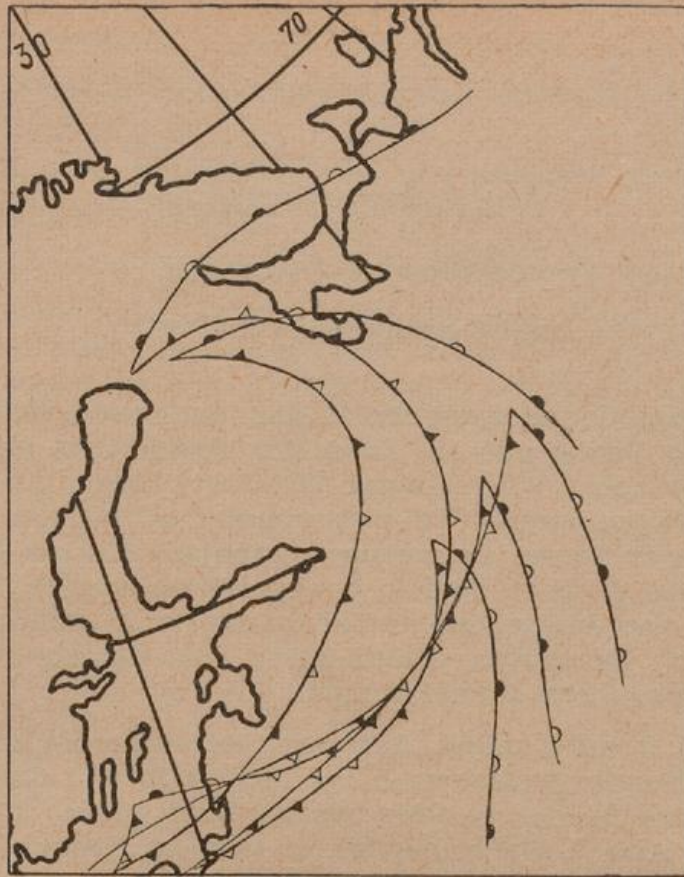


Abb. 2 Abweichung bei einer Warmfront am 4. 8. 1954.

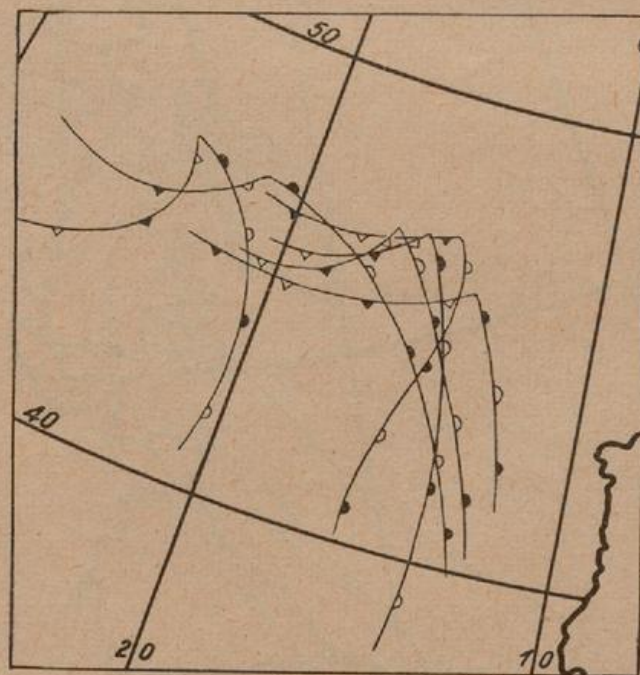


Abb. 3 Lokalisierung einer Welle am 7. 8. 1954.

wenn, wie in Abb. 3, nur wenig Beobachtungen vorhanden sind. Hier konnte man im Zweifel sein, ob man das Wetterschiff auf 45 N, 16 W bereits in den Warmsektor legen oder die Warmfront gerade passieren lassen sollte, zumal aus den Meldungen des Vorterminals noch nichts zu ersehen war. Eine genaue Lokalisierung des Scheitelpunktes ist in solchen Fällen überhaupt unmöglich und zunächst auch nicht von großer Bedeutung. Wesentlich bei dieser Lage war, eine Welle überhaupt einmal auf-

zunehmen. Auf dem Atlantik wird mangels ausreichender repräsentativer Beobachtungen eine gute Übereinstimmung nur selten erreicht werden.

Ohne auf Einzelheiten einzugehen, sollen die Merkmale, die an der Analysenzentrale und wahrscheinlich auch an den meisten Wetterämtern bei der Festlegung der Fronten berücksichtigt werden, genannt werden. Es werden betrachtet

- a) auf der Bodenwetterkarte: Windkonvergenz, aktuelle Temperatur, Taupunkt, Tendenz, Niederschlag, Bewölkung, auf See noch die Wassertemperatur,
- b) bei den Höhenkarten: die Temperaturen oberhalb der Bodenstörungsschicht (850 mb) und die relative Topographie.

Hinzu kommt in vielen Fällen noch die Betrachtung einzelner Temps. Als wichtigstes Kriterium wird die Konvergenz angesehen. Wo diese vorhanden ist, werden unter Berücksichtigung der anderen genannten Argumente Fronten 1. u. 2. Ordnung oder bei Fehlen von Temperaturunterschieden Konvergenzlinien gezeichnet. Ist eine Übergangszone zwischen zwei Luftmassen noch erkennbar, ein Windsprung jedoch nicht mehr feststellbar, so wird diese Zone als Massengrenze bezeichnet. In zweiter Linie werden die Temperaturen am Boden und vor allem diejenigen in 850 mb als verhältnismäßig sicherer Index herangezogen. Die Festlegung der Warmfront ist oftmals recht schwierig, vor allem wenn die Temperaturzunahme kontinuierlich vor sich geht. Man nimmt eine Linie als Warmfront dort an, wo bei gleicher Bodenbeschaffenheit die Erwärmung aufhört.

Auf das Tendenz-, Feuchte, und Sichtfeld soll nicht eingegangen werden, da hierbei sicherlich an allen Ämtern die gleichen Betrachtungen angestellt werden. Über das Bewölkungs- und Niederschlagssystem lohnt es sich jedoch, noch einige Worte zu sagen. Diese Felder eilen häufig der Frontenlage am Boden voraus. Fallen sie dabei mit einer im Bodendruckfeld erkennbaren Konvergenz zusammen, so wird diese Linie als Höhenfront bezeichnet und die Bodenfront dort angegeben, wo sich die neue Luftmasse bis unten hin durchgesetzt hat, sofern dort wenigstens noch eine zweite schwache Konvergenzlinie erkennbar ist. Zuweilen machen sich in der Höhe durchziehende Fronten am Boden nicht durch eine Konvergenzlinie bemerkbar, sondern deuten sich nur durch das sie begleitende Wolken- und Niederschlagssystem an. Große Gegensätze in der Temperatur- und Strömungsverteilung sind Vorbedingung für diese Wetterlage. Dabei bleibt z. B. in den unteren Schichten eine östliche Kaltluftströmung erhalten, während sich mit einer oberen westlichen Luftbewegung ein Frontensystem darüber hinwegbewegt. Als weiteres Beispiel einer Höhenfront soll angeführt werden: Bei Vorliegen einer geeigneten vertikalen Windschichtung kann es vorkommen, daß Kaltluft nur oberhalb einer gewissen Höhe herantransportiert wird. Dabei kann diese Kaltluft aus einer Richtung einfließen, die gegenüber der bodennahen Windrichtung zurückgedreht ist. Hierbei ist nicht eine starke meridionale Komponente der bodennahen Strömungen (NW oder NNW) nötig, sondern oft handelt es sich dabei um Kaltluft, die um ein Höhentief oder einen Höhentrog herumgeführt ist. Im Sommer findet man sie oft, wenn bei südwestlicher Bodenströmung über der Biscaya ein Höhentief liegt. Kaltfronten in der Höhe können sich jedoch nur ausbilden, wenn die vorgelagerte Warmluft stabil geschichtet ist. Bei labiler Warmluft kommt es sofort zu einem heftigen Umsturz bis zum Boden und es entsteht eine Kaltfront vom labilen Typ (Klassifikation nach H. Faust). Die Rückdrehung des Windes mit der Höhe verhindert ein weites Voreilen der oberen Kaltfront vor der Bodenfront, so daß man erstere meist in einem Abstand von 100 bis 200 km vor der letzteren findet.

Auf maskierte und stationäre Fronten soll im Rahmen dieser Ausführungen nicht eingegangen werden, da in den Fällen, wo diese auftraten, ziemlich gute Übereinstimmung bestand. Es soll vielmehr noch einiges über aerologische Betrachtungen gesagt werden. Für den aerologischen Aufbau einer Front besteht ein eindeutiges Merkmal darin, daß man die Höhentemperaturen vor und hinter der Front miteinander vergleicht und danach feststellt, ob es sich um eine Warm- oder Kaltfront handelt. Bei der echten Okklusion muß noch eine Warmluftzunge im Frontbereich

vorhanden sein. Ein leicht zu handhabendes Kriterium stellt die relative Topographie dar. Allgemein läßt sich sagen, daß sich die Drängungszone der Isopotentialen stets innerhalb des von der Kaltluft eingenommenen Gebietes befindet. Dabei soll hervorgehoben werden, daß an der Kaltfront im allgemeinen nicht nur die Temperaturgegensätze größer sind als an der Warmfront, sondern auch die Neigung der Front steiler ist. Daher hört die starke Drängung der Isopotentialen schon in geringerem Abstand hinter der Front auf. Da vor allen Kaltfronten vielfach eine intensive Warmluftadvektion im Gange ist, werden meist kurz vor der Grenzlinie die Höchstwerte der relativen Topographie erreicht. Wie schon oben erwähnt, zeichnet sich im Bilde der relativen Topographie die Okklusion dadurch aus, daß eine ausgeprägte Warmluftzunge längs der Front am weitesten in die Kältezone hineinreicht. Bei zunehmender Alterung der Okklusion verschwindet die Warmluftzunge immer mehr, und die relativen Isopotentialen nehmen den Verlauf wie an einer Kaltfront an.

Bei umgekehrtem Verlauf der relativen Isopotentialen haben wir es mit einem Tiefdrucktrog zu tun. Dabei ist es über dem Zentrum des Troges am kältesten. Ein Trog ist jenes Gebilde der Zyklone, wo der Druckgradient sein größtes Ausmaß erreicht und wo zugleich die Wettererscheinungen bei meist labiler Schichtung am

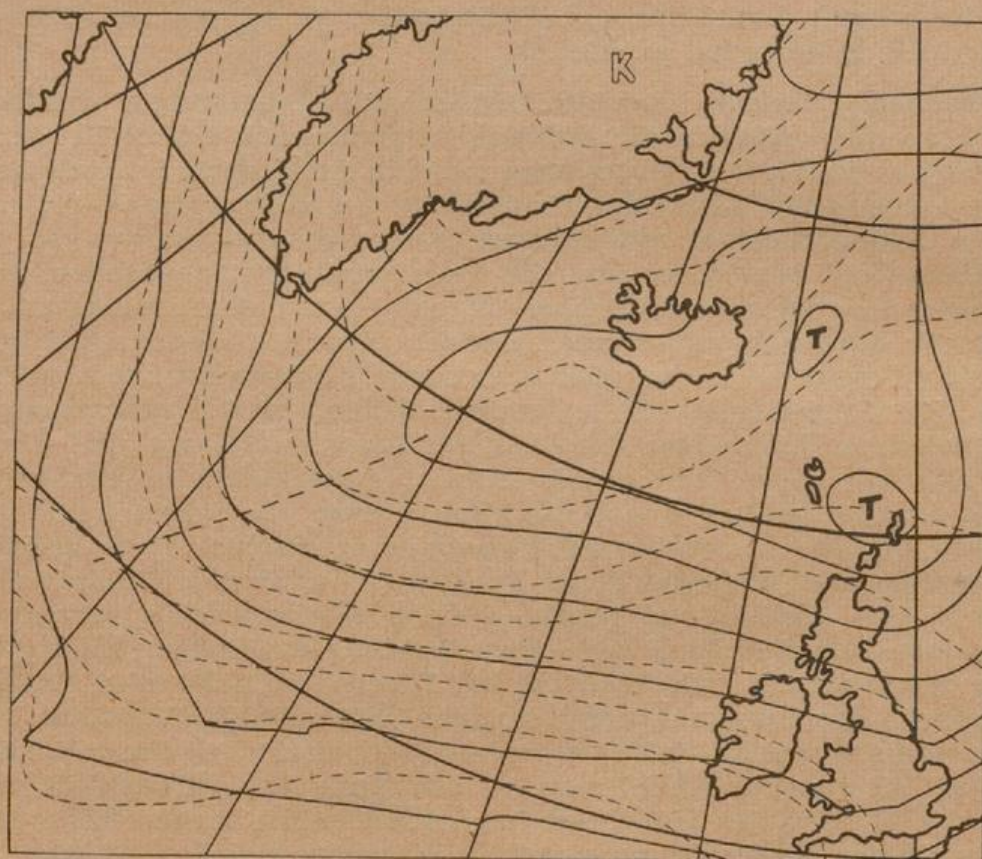


Abb. 4. Der Tiefdrucktrog am 15. 9. 1954.
 ----- rel. Topographie, ————— Isobaren (Boden)

kräftigsten entwickelt sind. Palmén hat einwandfrei nachgewiesen, daß im Trog keinerlei Luftmassengegensätze vorhanden sind, während Druckänderungen wie beim Durchzug einer Front eintreten. Sie können daher nur dynamisch verursacht worden sein, worauf jedoch im Rahmen dieser Ausführungen nicht eingegangen werden soll. Enthält der Tiefdrucktrog eine scharfe Winddrehung, so ist er als Konvergenzlinie anzugeben. Daß gerade bei der Betrachtung der Tiefdrucktröge noch Uneinheitlichkeit festzustellen ist, zeigen die Abbildungen 4 und 5. In Abbildung 4 ist in 3 von 11 betrachteten Wetterkarten eine Kaltfront, in 2 eine Konvergenzlinie

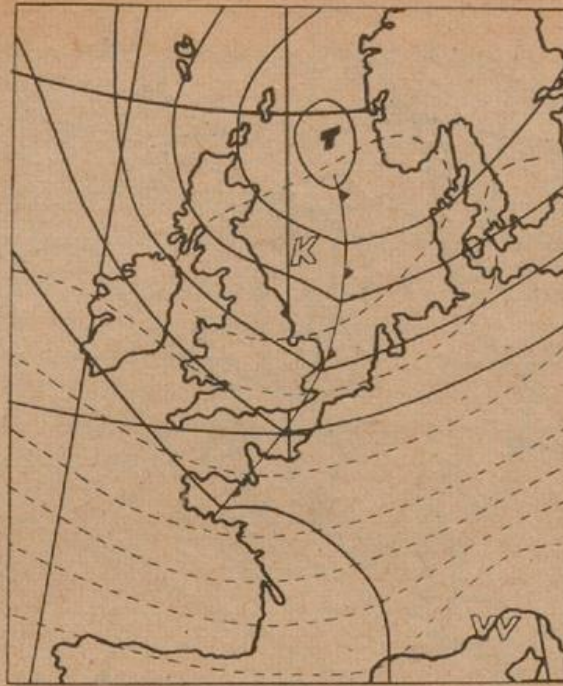


Abb. 5 Der Tiefdrucktrog am 21. 9. 1954. Beispiel einer unmöglichen Front.
 ----- rel. Topographie, ————— Isobaren (Boden)

und in den übrigen nichts eingezeichnet worden. Bei der Betrachtung der zugehörigen relativen Topographie läßt sich feststellen, daß wir es in diesem Gebiet mit einer einheitlichen Luftmasse zu tun haben und die Isohypsenführung die Trogform zeigt. Da jedoch ein Windsprung vorhanden ist, läßt sich eine Konvergenzlinie vertreten. In Abb. 5 ist vereinzelt eine Kaltfront von der nördlichen Nordsee bis zur Bretagne gelegt worden. An der relativen Topographie läßt sich jedoch erkennen, daß wir es mit einem Tiefdrucktrog zu tun haben. Auch die Temperaturen in 850 mb zeigen vor und hinter der eingezeichneten Kaltfront keine nennenswerten Unterschiede, so daß man sagen kann, daß wir es mit einer einheitlichen Luftmasse zu tun haben. Es kann sich ergeben, daß in der weiteren Entwicklung eine Kaltfront entsteht, jedoch wird diese erst dann aufgenommen, wenn man dies aus der relativen Topographie erkennen kann.

Hat sich der Zyklonenkern bis in die obere Troposphäre entwickelt, so kann die in der Höhe noch vorhandene Warmluft auf die Rückseite des Tiefs und zuweilen von dort sogar wieder auf seine Südflanke gelangen. In einem solchen Fall wird bei der Analysenzentrale dieses Frontenstück als rückkehrende oder umgebogene Okklusion eingezeichnet (vgl. Abb. 6). Sie wurde früher häufig und wird auch heute noch mit dem Tiefdrucktrog verwechselt und an dessen Stelle gesetzt. Es muß daher mit Hilfe der Höhenkarte festgestellt werden, ob tatsächlich wärmere Luft um den Tiefdruckkern herumgeführt wird. Bei einer echten rückkehrenden Okklusion fehlt die Schauerform des Niederschlags, die den Trog auszeichnet. Es kommt zu vertikal sehr mächtiger, stratiformer Bewölkung und anhaltenden Regenfällen, obwohl die Temperaturgegensätze dabei meist nicht besonders groß sind.

Nach diesen kurzen Ausführungen über die Festlegung der Fronten muß aber immer wieder gesagt werden, daß es eine Generalisierung nicht gibt. Das läßt sich deutlich an den o. a. Abweichungen erkennen. Es soll hier ein kurzer Abschnitt aus einer von Sutcliffe im „Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 78, 291 (1952) veröffentlichten Arbeit wiedergegeben werden, wo er u. a. schreibt: „Wir mögen uns vielleicht über die Definition einer idealen Front oder einer idealen Frontfläche als eine Dichtediskontinuität die durch eine große Schicht der Troposphäre reicht, einigen. Aber obwohl diese Definition gleichzeitig eine Diskontinuität des Druckes und Windfeldes bedeutet, entsprechend der Margules - Fläche, schließt

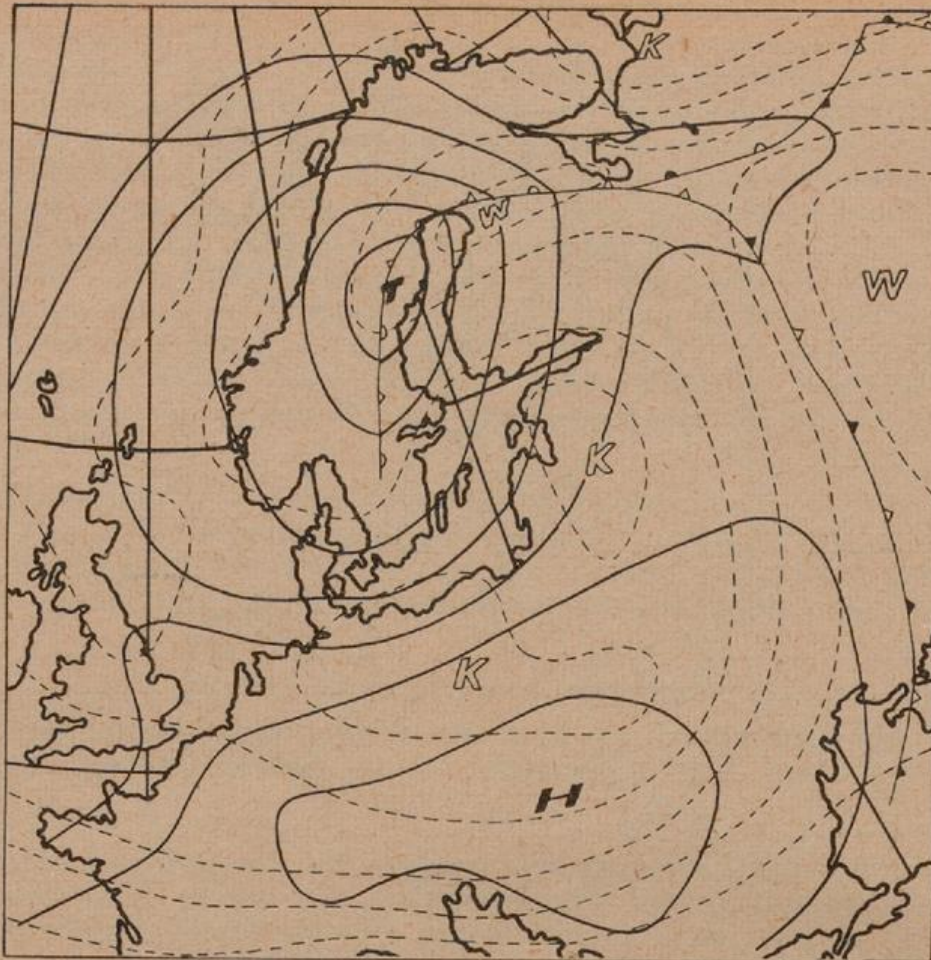


Abb. 6 Fall einer umgebogenen Okklusion am 12. 8. 1954.
 - - - - rel. Topographie, ——— Isobaren (Boden)

sie noch keine Beziehung zu Wolken und Niederschlag ein und beachtet nicht die Hauptschwierigkeit der Praxis, nämlich: Was soll als Diskontinuität in einer Atmosphäre genommen werden, die keine mathematischen Idealisierungen zuläßt? Dann wiederum wurde die wissenschaftliche Konzeption fast hoffnungslos verwirrt durch die Popularisierung der Begriffe bei den Kunden des Synoptikers. Warm- und Kaltfronten wurden von dem früheren Modell übernommen und besonders in der Anschauung des Luftfahrers mit Wolken- und Niederschlagssystemen gleichgestellt. Diese Anschauung war also völlig abwegig mit der Grundidee einer Dichtediskontinuität. Eine Front, die dem Dichte- oder Temperaturkriterium genügte, wurde weggelassen, wenn sie kein „Wetter“ zeigte, und jedes Wolken- oder Niederschlagsfeld erforderte eine Front, selbst wenn der Luftmassenwechsel unbedeutend war.“ Und an anderer Stelle: „Es ist zweifellos wahr, daß es viele bedeutende Fronten gibt, die von jedem geübten Analytiker akzeptiert werden, und diese Fronten sind für die allgemeine Vorhersage äußerst wichtig. Die Schwierigkeiten entstehen in den Übergangsfällen.“

Nur kurz soll noch einiges über die Luftmassen gesagt werden. Auf die verschiedenen Definitionen wird nicht eingegangen. Die Auffassungen weichen stark voneinander ab und Kämpfe darüber sind schon in genügend großer Zahl ausgefochten worden. Die Anzahl der Luftmassen schwankt sehr und ist bei manchen Autoren sehr groß. Chromow nennt 14 verschiedene Luftmassen als die wichtigsten für Mitteleuropa, Willet (1944) kommt auf 20 Typen für Nordamerika und Scherhag gibt 12 Hauptluftmassen für Europa an. Eine Zusammenstellung der in letzter Zeit in den Wetterkarten des Deutschen Wetterdienstes enthaltenen Luftmassenbenennungen zeigt deutlich, daß einheitliche Bezeichnungen in den weitaus meisten Fällen nicht zu finden sind. So lassen sich in 5 verschiedenen Wetterkarten eines

Tages oftmals 5 verschiedene Luftmassenbenennungen für ein und dieselbe Luftmasse feststellen. Folgende Beispiele sollen dafür gegeben werden:

grönl. PL,	grönl. KL,	kühle ML,	frische PL,	frische ML
oder warme ML,	atl. TL,	WL,	atl. WL,	warme TL

Eine Zusammenstellung ergab, daß an 30 Tagen (Sept. 1954) die Luftmassenbenennungen für ein und dieselbe Luftmasse nicht ein einziges Mal übereinstimmten.

Auf die Frage, ob man 1. einheitliche Luftmassenbezeichnungen für die Hauptluftmassen schaffen und nur in eindeutigen Fällen veröffentlichen oder 2. die Luftmassenbezeichnungen vollkommen wegfallen lassen solle, einigte man sich auf der Synoptikertagung dahingehend, daß man das bisherige Verfahren beibehält, da sich die Bezieher an die Bezeichnungen gewöhnt haben und noch keinerlei Änderungswünsche eingegangen sind.

Fragen der Topographien

von Joachim Bartsch

(mit 1 Abbildung im Text)

Als Grundlage für die Konstruktion der Topographien liegt auf der Analysenzentrale folgendes Material vor: Im Bereich des den größten Teil der Nordhemisphäre umfassenden Kartenausschnitts DW-DA1 2mal täglich ca. 350 Höhenmeldungen, teils in Form der ausführlichen Temps, teils in Form von MESRAN-Meldungen. In Stüve-Diagramme werden laufend etwa 110 Aufstiege aus dem europäisch-atlantischen Raum und dessen polaren, afrikanischen und klein-asiatischen Randgebieten eingetragen, außerdem von Fall zu Fall solche Aufstiege, deren Meßwerte oder Höhenberechnungen zweifelhaft erscheinen. Die Termine, zu denen das Material — eingetragen in die Kartenunterdrucke bzw. in die Stüve-Diagramme — dem bearbeitenden Meteorologen vorliegt, sind für die Frühaufstiege in der Abbildung 1 in grober Übersicht dargestellt.

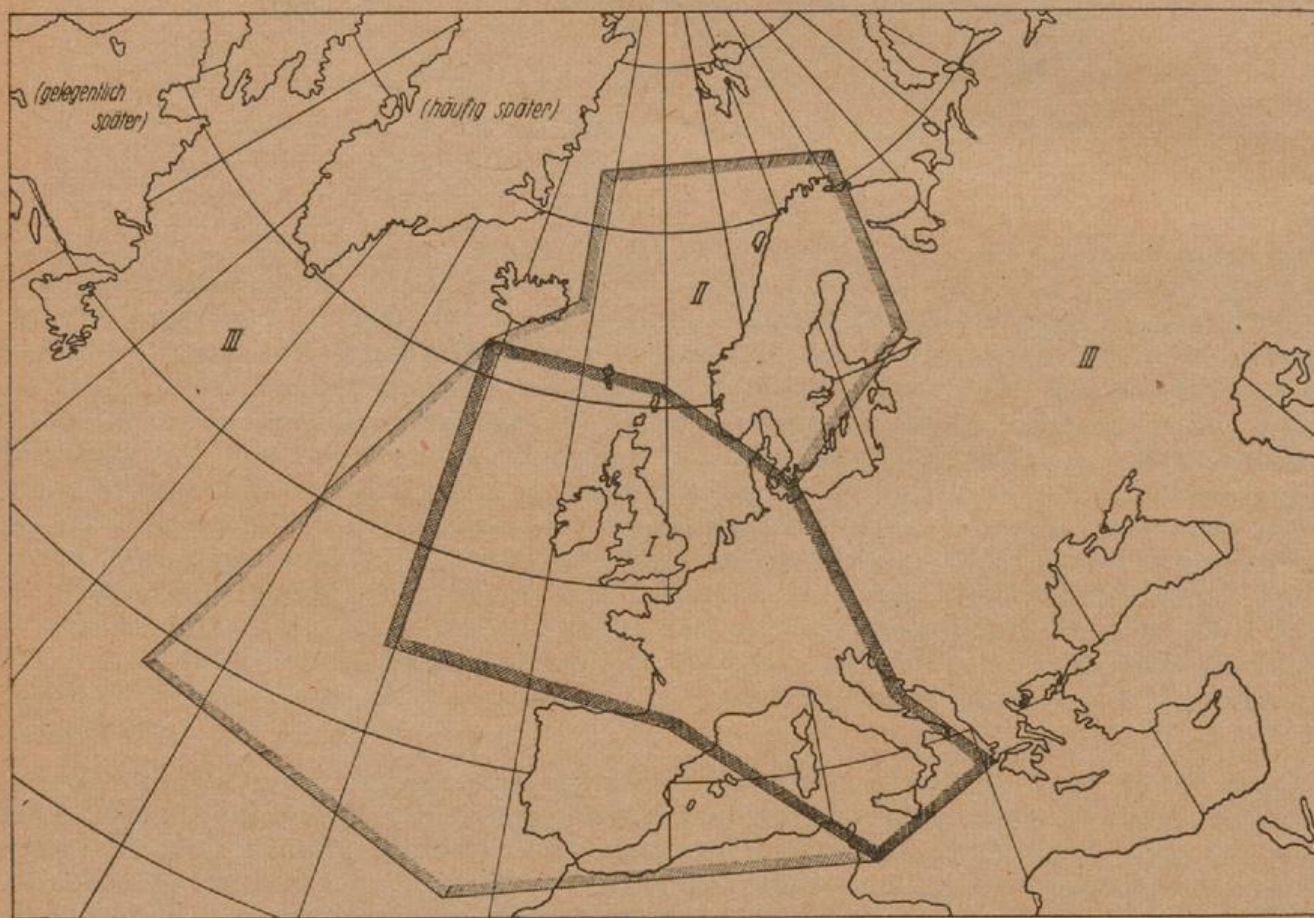


Abb. 1 Darstellung der Gebiete, aus denen das aerologische Material zu bestimmten Terminen dem bearbeitenden Meteorologen fertig eingetragen vorliegt.

- I = 05.30 MEZ (vorläufig abs. Top. 500 mb für Konstruktion der Bodenvorhersagekarte 00.00 Uhr)
- II = 06.45 MEZ (aerolog. Übersicht)
- III = 08.45 MEZ (850-, 700- und 500-mb-Topographien)

Bei der Konstruktion der Topographien wird grundsätzlich das Verfahren des Aufbaus auf einer tiefer gelegenen Fläche unter Heranziehung der relativen Topographie der Zwischenschicht angewandt. In Gebieten mit wenig dichtem aerologischem Netz (dazu gehört u. a. der für die Wetterentwicklung in Europa so wichtige Atlantik) läßt sich nämlich der Isohypsenverlauf der relativen Topographie, d. h. also die Temperaturverteilung, auf Grund von Advektionsbetrachtungen noch verhältnismäßig am sichersten festlegen. Die bei diesem Verfahren resultierende absolute Topographie weist daher hinsichtlich ihres Linienverlaufes in solchen Gebieten im allgemeinen eine bessere Annäherung an den tatsächlichen Zustand auf als eine direkt konstruierte absolute Topographie.

Die bei dem genannten Verfahren notwendige graphische Addition wird zunächst auf einer Arbeitskarte durchgeführt, dann die gewonnenen Linien unter Berücksichtigung der eingetragenen Höhenwerte und -winde auf die Originalkarte übertragen. Eine gewisse Glättung, deren maximales Ausmaß etwa einer Temperaturabweichung von ± 1 Grad entspricht (d. h. in 700 mb ± 1 dkm., in 500 mb ± 2 dkm., in 225 mb ± 4 dkm., in 96 mb ± 6 dkm), wird für zulässig und zweckmäßig erachtet; es muß allerdings vermieden werden, daß hierdurch beispielsweise „jets“, scharfe Tröge etc. verwischt werden.

Die Topographien der unteren Troposphäre — 850, 700 und 500 mb — sollen möglichst früh und dabei etwa gleichzeitig vorliegen. Aus diesem rein praktischen Grunde werden die genannten 3 Topographien sämtlich auf der 1000-mb-Fläche aufgebaut. Dabei muß der Nachteil in Kauf genommen werden, daß diese Topographien von 3 verschiedenen Bearbeitern konstruiert werden. Durch enge Zusammenarbeit wird aber dafür gesorgt, daß eine einheitliche Auffassung auch in den weniger durch Meldungen belegten Gebieten der Konstruktion zugrunde gelegt und bei zweifelhaften Werten ein einheitlicher Entschluß bezüglich Streichung oder Berücksichtigung gefaßt wird.

Die 225-mb-Fläche wird auf der 500-, die 96- auf der 225-mb-Fläche aufgebaut. Bei der Konstruktion der 96-mb-Fläche werden die von Scherhag mit „normaler Kompensation“ bezeichneten Zusammenhänge zwischen Stratosphären- und Troposphären-temperatur sowie die im Einzelfall auftretenden Abweichungen von dieser „normalen Kompensation“ mit benutzt (näheres siehe Scherhag: Wetteranalyse und Wetterprognose, S. 84 ff.). Diese Methode erleichtert die Ausmerzung fehlerhafter Aufstiege und gestattet bis zu einem gewissen Ausmaß eine Extrapolation in Gebiete hinein, in denen zwar noch Meßwerte aus der oberen Troposphäre, aber nicht mehr solche aus der Stratosphäre vorliegen.

Neben den Topographien selber werden laufend 24-stündige Änderungen der 225-mb-Fläche, der 500-mb-Fläche und der relativen Topographie 500/1000 mb konstruiert. Eine tägliche kartenmäßige Darstellung der Tropopausenhöhe befindet sich z. Z. noch im Versuchsstadium. Es sei erwähnt, daß ab 1. 1. 55 die 225- und die 96-mb-Flächen durch die 300-, 200- und 100-mb-Flächen ersetzt werden.

Schwierigkeiten bei der Konstruktion von Topographien macht auch heutzutage noch immer die mangelnde Homogenität des europäischen Radiosondennetzes. Vergleiche verschiedener Sondentypen bzw. verschiedener Teilnetze sind bereits nach mannigfaltigen Methoden durchgeführt worden ((1) (2) (3) (4) (5) u. a.). Wie aus der Beilage zum Täggl. Wetterbericht vom 5. 9. 52 hervorgeht, wird bei der Analysenzentrale zur Erleichterung der Konstruktion der höher gelegenen Topographien eine Angleichung der verschiedenen Netze vorgenommen, indem die Werte der osteuropäischen Sonden erniedrigt, die Werte der an einigen Aufstiegsstellen im westlichen Europa verwendeten amerikanischen Sonden erhöht werden. Die in der erwähnten Beilage genannten Angleichungsbeträge sind ab 16. 1. 53 z. T. etwas verändert worden. Die Erniedrigung bei den osteuropäischen Sonden beträgt jetzt in 500 mb 2 dkm, in 225 und 96 mb 4 dkm. Die Erhöhung bei den amerikanischen Sonden wird weiterhin nur in 225 und 96 mb vorgenommen mit einem Betrag von 3 dkm. Durch laufende Konstruktion von monatlichen Mittelkarten der 225-mb-Fläche (03-Uhr-Termin) wird die Gültigkeit der benutzten Angleichungsbeträge überwacht. Ab 1. 1. 55 wird an Stelle der 225- die 300-mb-Fläche als Kontrollfläche herangezogen werden.

Außer diesen, größere Teilnetze umfassenden Abweichungen, treten noch Abweichungen von Einzelstationen innerhalb dieser Netze auf. Eine Angleichung dieser Einzelstationen läßt sich aus arbeitstechnischen Gründen im täglichen Routinebetrieb nicht durchführen. Es seien aber an dieser Stelle die markantesten Abweichungen, die im Jahre 1954 aufgetreten sind, erwähnt: Brüssel, Warschau, in geringerem Maße De Bilt, wahrscheinlich auch Schiff 45/16 zu warm; Rom, in geringerem Maße auch Brest, wahrscheinlich auch Lagens zu kalt. Die mitteldeutschen Aufstiege scheinen in den letzten Monaten ihre Unterschiede gegenüber dem westlichen Netz verringert zu haben.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß die Arbeitskarten der Analysenzentrale ebenso wie die im „Täglichen Wetterbericht“ veröffentlichten Karten die nach dem oben geschilderten Verfahren angeglichenen Werte enthalten. Dementsprechend basieren auch die über Funk und Fernschreiber verbreiteten und im „Täglichen Wetterbericht“ abgedruckten Isohypsen auf diesen angeglichenen Werten. Im Gegensatz dazu enthalten jedoch die von der Wetternachrichtenzentrale als „MESRAN“ verbreiteten Meldungen selbstverständlich die nicht-angeglichenen Originalwerte (hier werden vor der Verbreitung lediglich offensichtliche Rechen- oder Übermittlungsfehler ausgemerzt).

Literatur

- (1) OMI, Sous-commission pour la comparaison des radiosondes (CR VI Europe): Comparaison mondiale des radiosondes. Acte finale de la première expérience à la Station Aérologique de Payerne, Suisse (8 au 30 Mai 1950). Zürich (1951). Siehe dazu auch: Müller, H.: Die internationalen Radiosonden-Vergleichsaufstiege in Payerne (Schweiz) vom 8. bis 30. Mai 1950. Mitt. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 12 (1951).
- (2) Malet, L.: Etude de l'homogénéité des données aérologiques dans une partie du réseau le l'ouest de l'Europe. Publ. Inst. Roy. Météor. de Belgique B No. 7 (1953).
- (3) Bartsch, J.: Vergleich einiger europäischer Aufstiege. Beilage Tägl. Wetterbericht Dt. Wetterd. US-Zone v. 20. 4. 50.
- (4) Bartsch, J.: Zur Verbesserung der Vergleichbarkeit aerologischer Meßergebnisse. Beilage Tägl. Wetterbericht Dt. Wetterd. US-Zone v. 5. 9. 52.
- (5) Karlsson, K. E.: A study of the homogeneity of the European radiosonde station network. Notiser and prel. rapp. Sverig. Meteor. Hydrol. Inst. 1, Nr. 2 (1953).

Fragen der Vorhersagekarten Boden

von Karl Jacobi

(mit 2 Abbildungen im Text)

Bei der Analysenzentrale werden die Bodenvorhersagekarten im wesentlichen nach dem von Scherhag entwickelten Verfahren konstruiert. Es hat sich aber im Laufe der Jahre als nützlich erwiesen, gleichzeitig zwei weitere Konstruktionsmethoden zu Hilfe zu nehmen und dann je nach Wetterlage mehr Gewicht auf die Ergebnisse des einen oder anderen Verfahrens zu legen.

Der einfachste und den geringsten Zeitaufwand erfordernde Weg, um zu einer Vorhersagekarte zu gelangen, besteht darin, daß man mit Hilfe einer sog. „Verlagerungskarte“ die künftige Lage der Druckgebilde und Fronten extrapoliert. Man zeichnet in eine Karte die Lage der Druckzentren, Hochkeile, Tiefdrucktröge und Fronten während der letzten 24 Stunden ein. Dann wird deren künftige Lage unter Berücksichtigung der bisherigen Verlagerungsgeschwindigkeit und Intensitätsänderung extrapoliert. Wenn man dabei auch die letzten vorliegenden 3-stündigen Druckänderungen und die herrschende Höhenströmung beachtet, liefert diese Extrapolation häufig schon recht brauchbare Ergebnisse.

Ein wesentlich verfeinertes Extrapolationsverfahren stellt die von Scherhag entwickelte Methode dar. Bei ihr werden die 24-stündigen Druckänderungen mit der Strömung im 500-mb-Niveau verlagert. Die so vorhergesagte Druckänderung zur Bodenkarte addiert liefert die künftige Druckverteilung. Für die entscheidende Arbeit, das Verlagern der Änderungsgebiete, wird eine sog. „Arbeitskarte“ gezeichnet. Diese enthält die Isohypsen der 500-mb-Topographie und die 24-stündigen Druckänderungen. Da als Verlagerungsgeschwindigkeit für letztere etwa 50 % des Gradientwindes in 500 mb angesetzt werden und da die Maßzahl der in Knoten gemessenen Windgeschwindigkeit angenähert gleich 50 % der in km/h gemessenen Windgeschwindigkeit ist, werden in die Arbeitskarte die Höhenwinde — in Knoten — eingezeichnet. Das erspart vielfach ein Feststellen der Verlagerungsgeschwindigkeit mit Hilfe des Gradientwindlineals. Außerdem wird in der Arbeitskarte durch verschiedenfarbige Pfeile die Zugrichtung der Druckänderungsgebiete während der letzten 24 und 12 Stunden gekennzeichnet. Die Länge der Pfeile gibt oftmals einen Hinweis, ob während der letzten 12 Stunden eine Beschleunigung oder Verzögerung eingetreten ist.

Die Scherhagsche Methode versagt, wenn gleichartige Druckänderungsgebiete in einem zeitlichen Abstand von nahezu oder weniger als 24 Stunden aufeinanderfolgen. Dann muß man die Vorhersagekarte mit Hilfe der 3-stündigen Druckänderungen konstruieren. Der Grundgedanke ist dabei folgender: Man läßt über einen Punkt der Ausgangskarte mit der Höhenströmung — Verlagerungsgeschwindigkeit wieder 50-60 % — die 3-stündigen Druckänderungsgebiete hinwegziehen und berechnet die Summe der hierbei in den nächsten 24 Stunden auftretenden Druckänderungen. In der Praxis geschieht das folgendermaßen: Man zeichnet sich folgenden Maßstab:

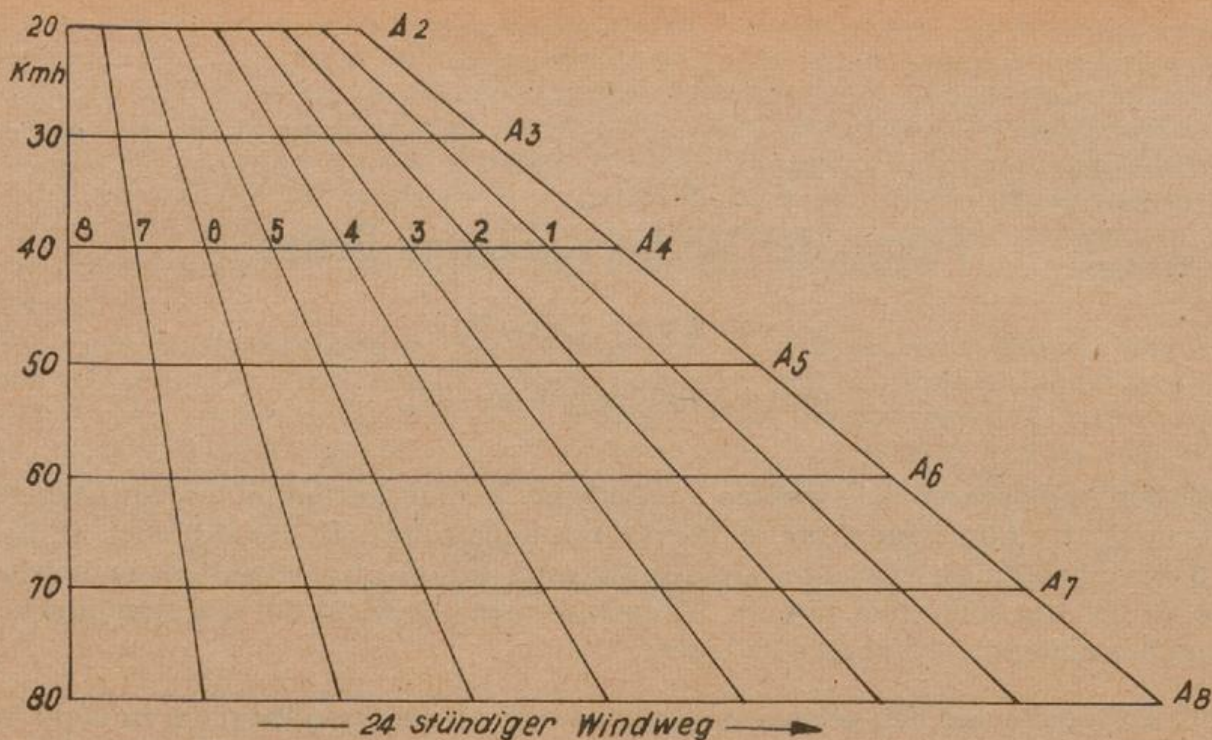


Abb. 1

Beispiel: Über Frankfurt herrsche ein Südwestwind von 80 km/h Stärke. Dann müßte man die 3-stündigen Änderungsgebiete mit 50 % also 40 km/h darüber hinwegziehen lassen. Man legt also den Maßstab parallel zur Windrichtung im Punkte A₄ auf der Tendenzkarte in Frankfurt an und liest an den Punkten 1, 2 usw. ab, welche Änderung nach 3 Stunden jeweils eintritt. Die Summe dieser Änderung ergibt angenähert die zu erwartende 24-stündige Druckänderung.

Eine andere, auf der gleichen Grundüberlegung beruhende Methode hat W a g e m a n n in den Annalen der Meteorologie 3, 171 (1950) angegeben. Voraussetzung für die Anwendung beider Verfahren ist natürlich, daß man gut belegte 3-stündige Änderungen hat. Leider ist das gerade auf dem Atlantik sehr oft nicht der Fall. Auf der anderen Seite darf man nicht übersehen, daß die 3-stündigen Änderungen gleichsam der letzte Hinweis auf die kommende Entwicklung sind und daß man sich eines wertvollen Hilfsmittels begeben würde, wenn man sie außer acht ließe. Bei der Analysenzentrale hat sich im Laufe der Jahre folgendes Verfahren als nützlich erwiesen. Erst wird mit Hilfe der Verlagerungskarte eine vorläufige Vorhersagekarte entworfen, so daß der Meteorologe eine ungefähre Vorstellung von der kommenden Entwicklung erhält. Dann wird die endgültige Vorhersagekarte mit Hilfe des S c h e r h a g - Verfahrens konstruiert, wobei laufend die 3-stündigen Änderungen beachtet werden oder bei unsicheren Lagen die Konstruktion stellenweise nur mit Hilfe der 3-stündigen Änderungen durchgeführt wird. Ist dann durch die Addition das Druckbild gewonnen, so werden noch die Fronten in der allgemein bekannten Weise verlagert.

Die größten Schwierigkeiten bereitet bei der Konstruktion der Vorhersagekarten die Vorhersage von Intensitätsänderungen und von Richtungsänderungen, die dadurch bedingt sind, daß sich die absolute Topographie in den kommenden 24 Stunden laufend ändert. Hier ist man immer noch auf die richtige Anwendung der verschiedenen Regeln, eine genaue Analyse der letzten Tendenzen, sowie auf Erfahrung und ein gewisses Fingerspitzengefühl angewiesen. Es wird seit einiger Zeit versucht, der oben erwähnten Schwierigkeiten durch Zuhilfenahme der 24-stündigen Änderungen der 500-mb- und 225-mb-Topographien und der relativen Topographie 500/1000 mb Herr zu werden. Befriedigende Ergebnisse konnten damit bisher noch nicht gewonnen werden.

Im folgenden soll eine kurze Zusammenstellung den zeitlichen Ablauf eines Vorhersagekartendienstes zeigen. Die in diesem Dienst zu erledigenden Arbeiten sind so ausgewählt, daß der Meteorologe durch die Bearbeitung einer Anzahl von Karten einen möglichst umfassenden Einblick in die Wetterlage bekommt.

Der 06-Uhr-Vorhersagekartendienst:

- 06⁰⁰: Analyse der 03-Uhr-Karte, 24-stündige Druckänderung von 03⁰⁰ (graphisch).
- 07⁰⁰—08³⁰: Vorarbeiten zur Vorhersagekarte (Studium der 18- und 00-Vorhersagekarte — Konstruktion der vorläufigen Vorhersagekarte).
- 08³⁰: Konstruktion der 700-m²-Topographie.
- 09³⁰: Übernahme der 500-mb-Topographie und der Höhenwinde in die Arbeitskarte, auszeichnen der 3- und 24-stündigen Druckänderungen 06-Uhr.
- 10⁰⁰—10⁴⁵: Hauptarbeit: Verlagern der 24-stündigen Druckänderungen, wobei ab 10³⁰ die ersten Tendenzen von 09-Uhr zur Verfügung stehen.
- 10⁴⁵—11⁰⁰: Vorhergesagte Δp zur Bodenkarte addieren, Fronten verlagern, anschließend fertige Vorhersagekarte verschlüsseln.
- bis 13⁰⁰: Abfassen des Berichtes, der im „Täglichen Wetterbericht“ veröffentlicht wird.

Seit 6 Jahren wird jede von der Analysenzentrale herausgegebene Vorhersagekarte geprüft. Für 50 Punkte werden die vorhergesagten mit den eingetretenen Druckänderungen korreliert. Aus dem Korrelationsfaktor und einem den mittleren relativen Fehler in bez. auf die Änderung berücksichtigenden Zusatzglied wird das sog. „Gütemaß“ gewonnen. Das ist natürlich nur ein relatives Maß, da die Lage der Fronten unberücksichtigt bleibt, diese aber für die Güte einer Vorhersagekarte von ausschlaggebender Bedeutung ist. Die Ergebnisse, gemittelt über 6 Jahre, sind folgende:

Vorhersagekarten	06 ⁰⁰	18 ⁰⁰
Korrelationsfaktor	0,72	0,68
Gütemaß	0,49	0,44

Eine entsprechende Prüfung der englischen 06-Uhr-Vorhersagekarte ergab:

Korrelationsfaktor	0,66
Gütemaß	0,41

Im folgenden sind die einzelnen Monatsmittel des Gütemaßes aufgetragen:

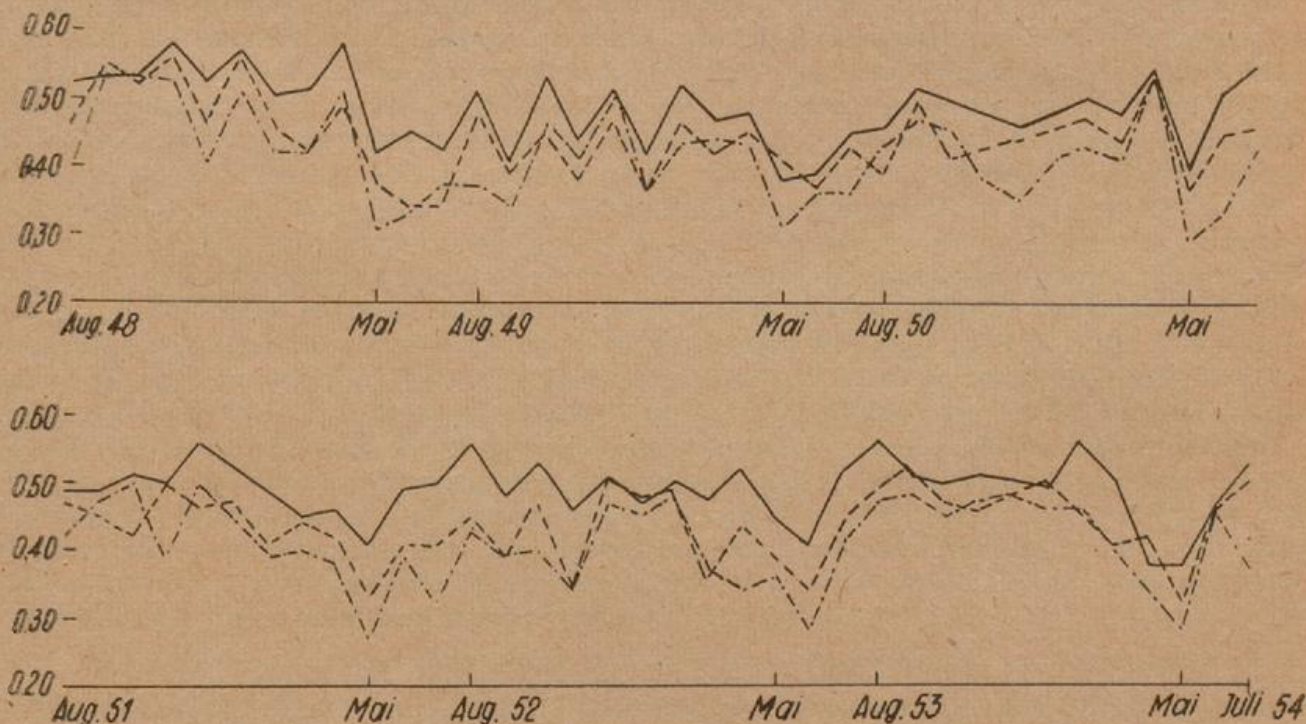


Abb. 2 Monatsmittel des Gütemaßes für die Zeit August 1948 — Juli 1954.

- Deutsche 06-Vorhersage-Karte
- - - Englische 06-Vorhersage-Karte
- · - Deutsche 18-Vorhersage-Karte

Der Verlauf der Kurven zeigt, daß im Großen gesehen, die deutschen Karten zwar etwas besser sind als die englischen, daß aber die angewandten Methoden ziemlich gleichwertig sind. Auffallend ist das jeweils im Mai auftretende Minimum. In diesem Monat, in dem meist geringe Druckänderungen auftreten, werden die schlechtesten Vorhersagekarten gemacht. Ferner scheint auf Grund der Darstellung die Annahme berechtigt zu sein, daß mit unseren jetzigen Methoden eine nennenswerte Steigerung der Güte unserer Vorhersagekarten nicht mehr möglich ist.

Die Höhenvorhersagekarte

von Horst Piper

Vor etwa 3 Jahren wurde bei der Analysenzentrale des Deutschen Wetterdienstes die frühere Methode fallen gelassen, bei der man zu einer fertigen Boden-Vorhersagekarte unter Berücksichtigung der Frontenlage eine relative Topographie 500/1000 mb durch Verschiebung der Ausgangslage entwarf, um dann durch graphische Addition die Höhenvorhersagekarte in 500 mb zu gewinnen. Die Ergebnisse waren bei dieser Methode wenig befriedigend. Die schnelle Konstruktion hob den Nachteil nicht auf, daß stets erst die Bodenvorhersagekarte vorliegen mußte.

Die gegenwärtige Methode hat den großen Vorteil, daß die Vorhersagekarten für den Boden und die Höhe gleichzeitig fertig werden und beide für die textliche Fassung der Entwicklungsvorhersage sofort benutzt werden können.

Da sich im allgemeinen die 24-stdg. Änderungsgebiete besser verfolgen lassen als die Zentren der Ausgangskarten, wird folgender Weg beschritten: Zur vorhergesagten Bodendruckänderung addiert man graphisch die vorhergesagte Änderung der relativen Topographie. Auf diese Weise erhält man die vorhergesagte Änderung der absoluten Topographie, die nun ihrerseits nur zu der aktuellen absoluten Topographie graphisch addiert zu werden braucht, wenn man die Vorhersagekarte der absoluten Topographie in 500 mb erhalten will.

Für den Konstrukteur der Höhenvorhersagekarte gilt es demnach, die 24-stdg. Änderung der relativen Topographie möglichst genau vorherzusagen. Die vorhergesagte Bodendruckänderung bekommt er bereits fertig vom Konstrukteur der Bodenvorhersagekarte geliefert. Der Umstand, daß auf diese Weise zwei Meteorologen in getrennter Arbeit an der Konstruktion der Höhenvorhersagekarte beteiligt sind, hat sich nicht als nachteilig herausgestellt, denn eine allgemeingültige Kopplung zwischen den Änderungsgebieten des Bodendruckes und der relativen Topographie hat sich bisher leider noch nicht nachweisen lassen, wenn auch manchmal die Zentren der einen Karte auf den Nulllinien der anderen zu liegen kommen. In der praktischen Arbeit hat sich von selbst ergeben, daß der Meteorologe, der die Änderung der rel. Topographie vorhersagen muß, vorher die 24-stdg. Bodendruckänderung von 00 GMT anfertigt, damit er durch die mit Pfeilen erfolgende Zuordnung der Änderungsgebiete entsprechend der Höhenströmung bereits selbst erkennt, was druckmäßig ungefähr zu erwarten ist. Umgekehrt gestattet manchmal eine richtig vorhergesagte thermische Änderung eine richtigere Beurteilung der zu erwartenden Bodendruckänderung, vor allem bei in Gang kommenden Kaltluftausbrüchen, die häufig einen großräumigen Druckfall auslösen. Eine enge Zusammenarbeit beider Konstrukteure gehört ohnehin zum Wesen der Synoptik. Daß die in der Bodenvorhersagekarte gemachten Fehler automatisch in die Höhenkarte mit eingehen, ist unvermeidlich. Beide Karten müssen selbstverständlich aufeinander abgestimmt werden, und dabei hat nach Lage der Dinge die Bodenkarte den Vorrang, da die Bewegung der Bodendruckänderungen mit der Höhenströmung verhältnismäßig eng gekoppelt ist, während die Vorhersage der Änderungsgebiete der relativen Topographie meist schwieriger ist.

Wie läßt sich nun die Änderung der relativen Topographie vorhersagen ?

Bei Driftwetterlagen kann man in ganz grober Annäherung eine einfache Extrapolation der bisherigen Weglängen der Änderungsgebiete vornehmen. Grundlage des Verfahrens ist also die aktuelle 24-stdg. Änderung der rel. Topographie und ihre Vorentwicklung. Es ist gerade der große Vorteil der deutschen Methode, die Änderungskarte der rel. Topographie als Ausgangskarte zu benutzen, da in ihr sowohl die ad-

vektiven als auch alle nicht advektiven Vorgänge komplex drinstecken. Für die Vorhersage selbst gilt es nun, die einzelnen Anteile der thermischen Änderung möglichst genau abzuschätzen.

Für den advektiven Anteil hat sich die sogenannte Advektionskarte von großem Wert erwiesen. Es hat sich durch zahlreiche Versuche ergeben, daß für Advektionsbetrachtungen in der unteren Troposphäre die Kombination zwischen rel. Topographie 500/1000 und der Bodenkarte den besten Anhalt bietet. Die Isohypsen werden von 4:4 Dekametern und die Isobaren von 5:5 mb gezeichnet.

Je nachdem nun, ob Erwärmung oder Abkühlung advektiv zu erwarten ist, kennzeichnet man die Schnittpunkte der Solenoide am einfachsten mit einem blauen oder roten Punkt, entsprechend der in der deutschen Analysenzentrale allgemein geübten Darstellung, wonach Anstieg grundsätzlich blau, Fall grundsätzlich rot gezeichnet werden. Aus der Punktverteilung ergibt sich dann zwanglos die Nulllinie, die großzügig Erwärmungsgebiete von Abkühlungsgebieten trennt.

Die Größe der Solenoide ist ein Maß für die Advektion: Je kleiner ein Solenoid, um so größer die Advektion und umgekehrt. In der Annahme, daß der in der Karte gegebene Zustand anhält, lassen sich aus dem Flächeninhalt die Beträge für eine 3-stdg. zu erwartende Änderung der relativen Topographie bestimmen. Durch Verhältnisbildung kann man leicht Flächen darstellen, denen entsprechend 3-stdg. Änderungen der relativen Topographie zugeordnet sind. Durch Flächenvergleich läßt sich zu jedem Solenoid der Advektionskarte der 3-stdg. Betrag in geopotentiellen Dekametern ermitteln und in das Solenoid hineinschreiben. W. R e g u l a hat in anderer Weise einmal einen Advektionsmaßstab geschaffen, bei dem die Anzahl der Solenoidschnittpunkte einer Kreisfläche als Maß für die 3-stdg. Advektion benutzt wird.

Die so gefundene Advektionskarte spielt zu der 24-stdg. Änderung der rel. Topographie eine ähnliche Rolle wie die 3-stdg. Tendenzkarte zur 24-stdg. Bodendruckänderungskarte. Verstärkungen und Abschwächungen können mit ihr hinreichend gut erfaßt werden, sofern nicht die nicht-advektiven Vorgänge vorherrschen. Auf Richtungsänderungen wird sogar besser als in der Bodendrucktendenzkarte hingewiesen, da die Advektionskarte künftige Massenversetzungen angibt, während die Drucktendenzkarte dagegen die vergangenen 3 Std. erfaßt.

In der täglichen Arbeit genügt es oft schon, das kleinste Solenoid zu suchen, um das Gebiet der stärksten Advektion zu lokalisieren, damit Richtungs- und Intensitätsänderungen der 24-stdg. Änderungsgebiete abgeschätzt werden können.

Es soll hier nicht verschwiegen werden, daß es einige Fälle gibt, bei denen die Advektionskarte mehr oder weniger versagt:

Erfahrungsgemäß ist die 3-stdg. Warmluftadvektion an der Nordflanke von Zentraltiefs wenig repräsentativ. Auch durch die Orographie, z. B. der Alpen, wird starke Advektion nur vorgetäuscht, die aber in der 24-stdg. Änderung kaum in Erscheinung tritt. Dagegen kommt die Verstärkung von Abkühlungsgebieten bei dem Durchbruch von Hochdruckbrücken, also bei völliger Umgestaltung der Bodenkarte, beim Ersatz von hochreichender, durch Absinken stark erwärmter Luft durch Kaltluft in der Advektionskarte meist schlecht zum Ausdruck. Das gleiche gilt von der Neuentstehung oder Verstärkung von Erwärmungsgebieten bei der Ablösung von Hochzellen. Die 3-stdg. Advektionswerte versagen auch dann, wenn weiter westlich eine wesentlich intensivere Entwicklung im Gange ist. Beispielsweise wird auf der Rückseite einer Warmfrontwelle Kaltluftadvektion nur vorgetäuscht. In Wirklichkeit tritt in der 24-stdg. Änderung der relativen Topographie wegen des Überwiegens der Warmluftadvektion knapp westlich davon allgemein nur Erwärmung ein.

Es wurde auch schon daran gedacht, die Advektionskarte durch die 700-mb-Fläche mit eingezeichneten Isothermen zu ergänzen, um den advektiven Anteil der thermischen Änderung noch besser erfassen zu können. A t t m a n n s p a c h e r hat in dieser Richtung einige verheißungsvolle Versuche unternommen.

Den nicht advektiven Anteil der thermischen Änderung, also die adiabatische und die nicht adiabatische Komponente, zu erfassen, ist ungleich schwieriger.

Eine Möglichkeit der quantitativen Abschätzung für Hebungsabkühlung und Absinkerkühlung hat uns Faust in seiner Arbeit über „Änderung der Rel. Topographie durch Vertikalbewegungen“ gegeben, die eine Folge allein der zyklonalen oder antizyklonalen Bodenströmung sind. Für diese Abschätzung, die in Extremfällen ± 5 Dekameter ausmachen kann, steht uns die vorhergesagte Bodenkarte für den Zwischentermin 18 Uhr zur Verfügung, die uns einen Hinweis auf die mittlere Strömung des Vorhersageintervalles gibt.

Ungleich wichtiger für die Vorhersage der thermischen Änderung sind die nicht-adiabatischen Vorgänge, z. B. die Konvektion in einen Kaltlufttropfen über dem Meere, wobei im Winter eine Abschwächung eines Kaltlufttropfens um 16 Dekameter in 24 Std. durch Aufheizung über dem relativ warmen Wasser keine Seltenheit ist. Dabei ist genau zu beachten, ob ein Kaltlufttropfen parallel oder senkrecht zu den Meeresisothermen wandert, wovon die Stärke der Aufheizung abhängt.

Über all diese Vorgänge ließe sich noch viel sagen. Es kann hier nur den Hinweis geben, daß man all diese Überlegungen anstellen muß, wenn man das komplexe Gebiet einer 24-stdg. Änderung der rel. Topographie vorhersagen will.

Aus der Erfahrung ergaben sich einige Regeln, von denen hier die drei besten genannt werden sollen.

1. Erwärmung ist meist dort zu erwarten, wo in der rel. Topo. KL - Zungen liegen, Abkühlung ist meist dort zu erwarten, wo in der rel. Topo. WL - Zungen liegen.

Im Grunde genommen ist das nichts weiter als eine Abart der Guilbert-Großmann-Rodewaldschen Regel, die sehr gut bei alternden Tiefdruckfurchen, bzw. Höhenrücken in 500 mb stimmt und vor allem bei zügiger Westdrift einen sicheren Anhalt bietet.

2. Das Zentrum der vorherzusagenden Änderung liegt oft auf der Nulllinie der Advektionskarte.

Diese Regel kann vor allem bei einer ausgeprägten Frontalzone mit gutem Erfolg benutzt werden.

3. Intensive Änderungsgebiete neigen dazu, ihre Richtung beizubehalten, es sei denn, daß viele kleine Solenoide der Advektionskarte, mithin die 3-stdg. Advektion, in eine andere Richtung weisen.

Diese Regel ist recht brauchbar, wenn man darauf achtet, daß die Advektionskarte auch wirklich repräsentativ genug ist, d. h. daß die Strömungsverhältnisse der unteren Troposphäre weitgehend durch die Bodenkarte dargestellt werden.

Die bisher geschilderten Überlegungen und Regeln waren völlig unabhängig von den Annahmen, die der Konstrukteur der Bodenvorhersagekarte macht.

Es ist klar, daß man sich nicht nur um bessere qualitative oder gar quantitative Regeln für die Vorhersage der Änderung der rel. Topographie ständig bemüht, sondern daß man zur Kontrolle der auf dem soeben geschilderten Weg gewonnenen Höhenvorhersagekarten auch andere Methoden benutzt, die irgendwelche Hinweise oder gar Verbesserungen geben.

Dabei leistet als Vorarbeit eine Verlagerungskarte gute Dienste, in der man in 12-stdg. Abstand von Termin zu Termin die Tröge, Höhenkeile und Tiefdruck- bzw. Hochdruckzentren der absoluten Topographie selbst verfolgt, was insbesondere auf dem Ozean, wo Blockierungen oder sonstige Verzögerungen seltener vorkommen, Sinn hat. Auch dafür gibt es gute Regeln, wenn man von der formelhaften Berechnung solcher Verlagerungen zunächst absieht; z. B. ist bekannt, daß die Bahn der Zentren immer dann zu rückläufiger Bewegung oder gar Schleifenbildung neigt, wenn die Höhenzentren in die Nähe starker Bodenzentren kommen, aus denen sich unter Umständen Teilstörungen abspalten.

In die Verlagerungskarte kommt auch als Vorschau die Lage der Änderungsgebiete der absoluten Topographie 500 mb, und zwar von vorgestern, gestern und heute, mit Pfeilen und Intensitäten. Bei gut ausgeprägter Frontalzone, vor allem bei Westdriften,

kann die reine Extrapolation der Änderung der absoluten Topographie manchmal der oben geschilderten Methode, die den Umweg über die Änderung der rel. Topographie nimmt, sogar überlegen sein.

Ein weiteres gutes Hilfsmittel für das Auffinden der richtigen Lage der Änderungsgebiete der relativen Topographie sind aber immer wieder die Fronten, die der Konstrukteur der Bodenvorhersagekarte zunächst durch reine Extrapolation in seiner Vorschau annimmt, wobei die Hauptwärmung oft in der Spitze des vorhergesagten Warmsektors eintritt, allerdings bei gewissen Lagen auch schon vor der eigentlichen Bodenwarmfront zu beobachten ist, während die Nulllinie zur Abkühlung häufig mit der Kaltfront zusammenfällt. Das hat natürlich nur Sinn, wenn man von der Lage der vorhergesagten Fronten überzeugt ist.

Als Kontrolle wird man diese Hilfsmittel sich nicht entgehen lassen, denn das Ergebnis der Addition der vorhergesagten Bodendruckänderung und der vorhergesagten Änderung der rel. Topographie muß selbstverständlich auf eine sinnvolle Verlagerung der Änderung von 500 mb abs. hinauskommen. Markante Umgestaltungen der Höhenströmung sind in der Regel doch nur dann zu erwarten, wenn auch am Boden starke Auffüll- oder Vertiefungsprozesse im Gange sind.

Eine Abgleichung der gewonnenen Höhenvorhersagekarte mit der Bodenvorhersagekarte ist selbstverständlich, wobei, wie schon oben gesagt, der Bodenkarte fast stets der Vorrang gegeben wird, was allerdings nicht immer eine Verbesserung der konstruierten Höhenkarte bedeutet.

Im Westatlantik und in Amerika wird soweit wie möglich an die 36-stdg. Höhenvorhersagekarte der Amerikaner vom Vortag 15 GMT angeglichen, die für diese Gebiete stets mit zu Rate gezogen wird.

Ein Beispiel für eine im laufenden synoptischen Dienst durchgeführte Konstruktion einer Vorhersagekarte in 500 mb befindet sich in der im beigefügten Literaturverzeichnis unter (10) angeführten Veröffentlichung. Auf die Berichtigung einer darin abgedruckten Karte in der Meteor. Rundschau 5, 160 (1952) wird besonders hingewiesen.

Die Vorhersagekarte der 700-mb-Fläche, die die Analysenzentrale verbreitet, wird aufgefaßt als das arithmetische Mittel der Höhen der 1000-mb- und 500-mb-Fläche. Diese Auffassung ist jedoch nicht ganz richtig und erfordert eine Korrektur, die mit nachfolgender Rechnung ermittelt worden ist.

Unter der Annahme eines Temperaturgradienten von $6^{\circ}/\text{km}$ und einer Temperatur von 10° Grad im 1000-mb-Niveau erhält man aus der integrierten barometrischen Höhenformel

$$z_2 - z_1 = \frac{R}{g} \cdot T_v \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right), \text{ wenn } p_1 = 1000 \text{ mb angenommen wird,}$$

die Höhe der 500-mb-Fläche mit 541,4 Dekameter und die Höhe der 700-mb-Fläche mit 286,7 Dekameter, wobei für die mittlere virtuelle Temperatur $T_v = 267^{\circ}\text{K}$ für die Gesamtschicht und 274°K für die Schicht zwischen 1000 mb und 700 mb eingesetzt worden sind. Das arithmetische Mittel der Höhen der 1000-mb- und 500-mb-Fläche weicht demnach von der errechneten Höhe der 700-mb-Fläche um 16,0 Dekameter ab.

In der Praxis werden zur Konstruktion der 700-mb-Vorhersagekarte die Bodenvorhersagekarte (in geopotentielle Dekameter $-12, -4, +4, +12$ usw. umbeziffert) und die vorhergesagte 500-mb-Karte, ebenfalls im Abstand von 8 zu 8 Dekameter, graphisch addiert. Die auf diese Weise gewonnenen Isohypsenwerte werden entsprechend der oben angeführten Rechnung nach der Halbierung jeweils um 16 Dekameter erhöht.

Nennenswerte Fehler treten dabei nur dort auf, wo die Atmosphäre durch Inversionsbildung vom normalen Aufbau abweicht, also meist in Hochdruckgebieten, deren schwache Luftbewegungen für die Höhenwindvorhersage ohnehin nur untergeordnete Bedeutung haben.

Es muß zugegeben werden, daß die soeben geschilderte Methode, die 500-mb- und 700-mb-Fläche vorherzusagen, mit zahlreichen Mängeln behaftet ist. Etwas Besseres

konnte bis jetzt jedoch nicht gefunden werden. Selbstverständlich werden alle Veröffentlichungen verfolgt, die zur Verbesserung der Höhenvorhersage führen können. Aber gerade für die Konstruktion der Höhenvorhersagekarten sind auch vom Auslande her nur geringe Fortschritte bekannt geworden.

Ob es in Zukunft gelingen wird, die Höhenkarte in 500 mb mit Hilfe der Vorticityadvektion zeitgerecht vorherzusagen, bleibt völlig offen. Numerische Methoden im Ausland lieferten in Einzelfällen recht überzeugende Ergebnisse, doch waren qualitative Versuche mit den in der Analysenzentrale hergestellten Vorticityadvektionskarten nicht gerade ermutigend.

Literatur

- (1) Hollmann, G.: Luftdruckänderung in der Höhe durch isobare Vertikalbewegung bei advektiven Temperaturänderungen. Z. Meteor. **2**, 161 (1948).
- (2) Faust, H.: Änderungen der rel. Topographie durch Vertikalbewegungen. Z. Meteor. **4**, 356 (1950).
- (3) Hoinkes, H.: Die interdiurnen Änderungen von Druck und Temperatur in der unteren Troposphäre bis 5 km Höhe und ihre gegenseitigen Beziehungen in statistisch synoptischer Betrachtungsweise. Arch. Meteor. Geophys. Biokl. A **2**, 239 (1950).
- (4) Sutcliffe, R. C. and Forsdyke, A. G.: The theory and case of upper air thickness patterns in forecasting. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. **76**, 189 (1950).
- (5) Craddock, J. M.: Advective temperature change in the 1000-700 mb and 700-500 mb layers. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. **77**, 51 (1951).
- (6) Lingelbach, E.: Advektion und Luftdrucktendenz. Meteor. Rdsch. **4**, 209 (1951).
- (7) Reuter, H.: Zur numerischen Methode der Vorhersage von Änderungen der 500-mb-Fläche nach Charney u. Eliassen. Arch. Meteor. Geophys. Biokl. A **4**, 122 (1951).
- (8) Weber, S.: Die Änderung der rel. Topographie durch Advektion. Meteor. Rdsch. **4**, 16 (1951).
- (9) Dahler, H.: Eine neue Formel für die Änderung der relativen Topographie durch Advektion. Meteor. Rdsch. **5**, 87 (1952).
- (10) Piper, H.: Eine bewährte Methode zur Konstruktion der Vorhersagekarte in 500 mb. Meteor. Rdsch. **5**, 90 (1952).
- (11) Regula, W.: Untersuchungen über die Grundlagen einer Vorhersagetopographie. Meteor. Rdsch. **5**, 164 (1952).
- (12) Regula, W.: Berechnung eines Advektionsmaßstabes, Meteor. Rdsch. **5**, 48 (1952).
- (13) Meyer, H. K.: Der Einfluß des vertikalen Impulsaustausches auf synoptische Druck- und Temperaturgebilde. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 2 (1953).
- (14) Visconti, I.: La previsione di una topografia relativa. Riv. Meteor. Aeron. **13**, Nr. 4, 26-28 (1953).
- (15) Cameron, H. and Robertson, C. M.: Short period and long period components of the geopotential change at the 500 mb level. Meteor. Div. Canada CIR - 2416 TEC - 175 (1954).

Probleme der Mittelfristvorhersage

von Paul Heß

(mit 5 Abbildungen im Text)

Eine wesentliche Voraussetzung für die richtige Wertung und Auswertung von Vorhersagemethoden ist die Kenntnis ihrer Grundlagen und der Grenzen ihrer Anwendungsmöglichkeiten. Deshalb sollen im folgenden die heute angewandten Methoden der Mittelfristvorhersage erläutert werden, wobei vor allem die Grenzen ihrer Anwendungsmöglichkeiten zur Diskussion gestellt werden sollen.

Jede Wissenschaft, die sich einem Kollektiv zahlreicher Wirkfaktoren gegenübergestellt sieht, deren Zusammenhänge nicht durch einfache und immer lösbare mathematische Gleichungen gegeben sind, muß mit einer zielbewußten statistischen Untersuchung der Zusammenhänge beginnen. Eine statistische Bearbeitung hat jedoch nur dann einen Sinn, wenn das Kollektiv genügend groß ist; deshalb müssen allen statistischen Untersuchungen die Wetterentwicklungen möglichst vieler zurückliegender Jahre zugrunde gelegt werden. Man kann dabei die Wetterlage eines jeden Tages als ein Individuum auffassen und versuchen, einen gleichen oder doch ähnlichen Ablauf in früheren Jahren wiederzufinden; dies ist die Methode der „Vergleichsfälle“. Man kann jedoch auch die räumliche Verteilung und den zeitlichen Gang bestimmter meteorologischer Elemente (z. B. Luftdruck, Druckänderungen usw.) an einzelnen festen Punkten herausgreifen und versuchen, diese Werte untereinander und mit der Folgeentwicklung in Beziehung zu setzen, zu „korrelieren“. Dies geschieht in einfachen Fällen durch Beziehungsgleichungen, meist jedoch bei der Vielzahl der Wirkfaktoren durch „Mehrfachkorrelationstabellen“. Schließlich kann man die einzelnen Wetterlagen typisieren und eine Anzahl mehr oder weniger häufig auftretender Großwetterlagen definieren und deren Häufigkeit und mittlere Andauer statistisch erfassen. Diese Methode kann eventuell vorhandene „Großwettersingularitäten“ aufzeigen.

Neben diesen statistischen, also auf früheren Beobachtungen aufbauenden Methoden treten aber mehr und mehr Versuche in den Vordergrund, die Wetterentwicklung physikalisch-mathematisch aus der augenblicklichen Ausgangslage heraus zu berechnen bzw. zu extrapolieren. Während die Vorausberechnung ganzer Druckfelder für einen Zeitraum von mehr als 24 Stunden heute noch nicht mit ausreichender Genauigkeit durchführbar ist, gelingt es in besonderen Fällen, beim Vorhandensein großräumiger Luftdruckwellen oder -rhythmen, ein großzügiges Bild der Druckverteilung bestimmter Gebiete zu entwerfen. Mit diesem Problem befaßt sich die Wellenanalyse des Druckgangs einzelner Stationen oder ganzer Felder (Punkt- oder Feldanalyse).

Da alle genannten Methoden nur noch bedingt ausbaufähig sind, muß es das Ziel aller mittelfristiger Entwicklungsarbeiten bleiben, die Berechnung meteorologischer Felder aus den Daten der Ausgangslage auf theoretischer Grundlage soweit als möglich voranzutreiben. Es steht jedoch zu befürchten, daß auch dieser Methode praktische Grenzen gesetzt sind, die in der Natur der Sache liegen und grundsätzlich nicht überschritten werden können. Es folgt nun eine kritische Betrachtung der einzelnen heute angewandten Methoden der Mittelfristvorhersage.

I) Vergleichsfälle.

Das Ziel dieser wohl ältesten Methode ist das Auffinden von Wetterlagen vergangener Jahre, die in Vorentwicklung und Lage am Ausgangstag („Stichtag“) eine möglichst große Ähnlichkeit mit der aktuellen Entwicklung zeigen. Bei der großen Zahl von Kombinationsmöglichkeiten der meteorologischen Faktoren ist es ziemlich aus-

geschlossen, daß sich eine einmal aufgetretene Wetterentwicklung in allen Einzelheiten wiederholt. Wenn man jedoch nur fordert, daß die großzügigen Merkmale einer Lage übereinstimmen sollen, so zeigt die Erfahrung, daß es sehr wohl ähnliche Entwicklungen gibt. Für eine mittelfristige Aussage genügt es meist, das Verhalten der Steuerungszentren und der Grundströmung, mit a. W. die Großwetterlage zu erfassen und aus den Vergleichsfällen Anhaltspunkte für die wahrscheinlichste Weiterentwicklung der aktuellen Lage zu gewinnen. Der große Wert der Vergleichsfälle liegt darin, daß sie erkennen lassen, welche Entwicklungen in den nächsten 2 bis 5 Tagen bei gegebener Ausgangslage überhaupt möglich sind und worauf gegebenenfalls in der Folge am meisten geachtet werden muß; nur die Vergleichsfälle liefern dem Meteorologen eine integrale Darstellung der möglichen Weiterentwicklung in einer Darstellungsart (Wetterkartenfolgen mehrerer Tage), die ihm geläufig ist. Dies bedeutet jedoch nicht, daß man allein auf Grund eines Vergleichsfalles schon eine einigermaßen gesicherte Mittelfristvorhersage geben kann; das wird nur in den seltensten Fällen möglich sein.

Wenn mehrere Vergleichsfälle nach ähnlicher Vorentwicklung und Ausgangslage eine weitgehend übereinstimmende Folgeentwicklung erkennen lassen, so besagt das, daß diese Richtung wohl physikalisch begründet ist und die Natur uns selbst die schwierige Integration der Lage vorführt.

Sowohl theoretische Überlegungen als auch praktische Erfahrungen haben erwiesen, daß der Vergleichsraum um so größer sein muß, je weiter die Prognose zeitlich ausgedehnt werden soll. Für eine 3 bis 5 Tage überdeckende Vorhersage sollte mindestens ein Gebiet verglichen werden, das von Nordamerika bis zum Ural und vom

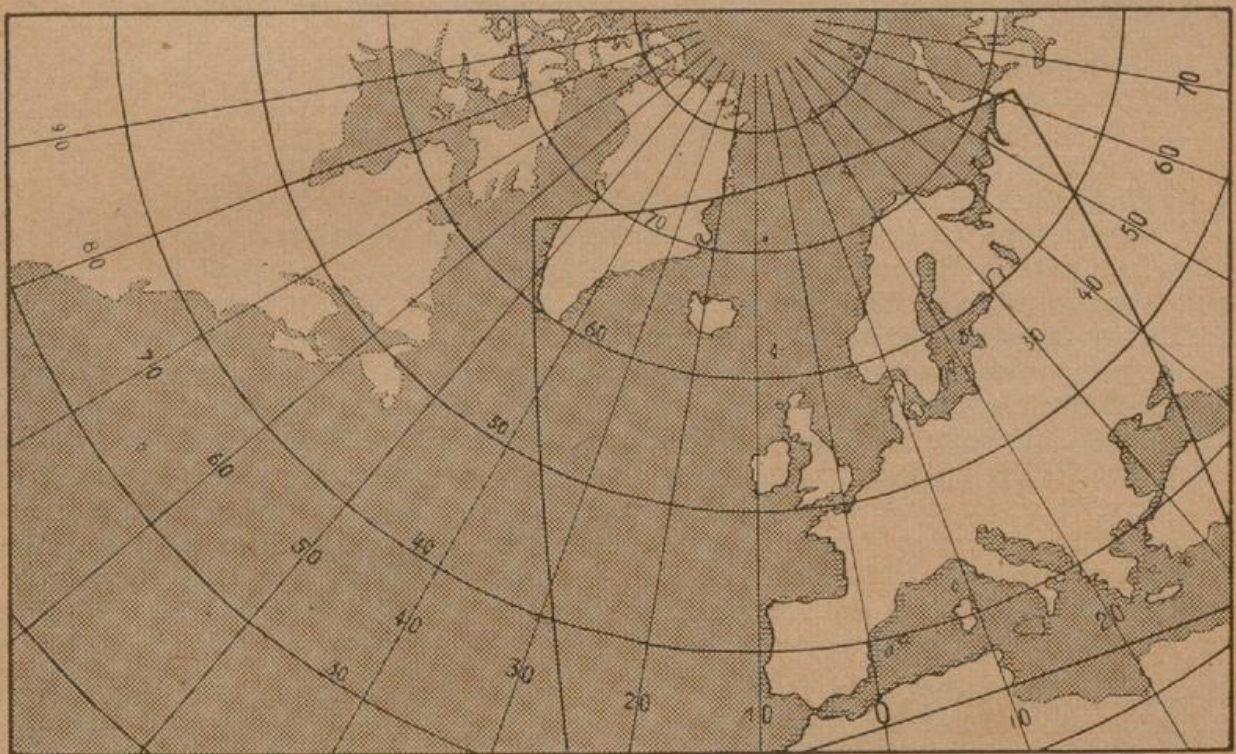


Abb. 1 Kartenausschnitte für Vergleichsfälle: kleiner Ausschnitt zur Zeit in Gebrauch, großer Ausschnitt zur Verbesserung der Methode erwünscht.

Polargebiet bis zum südlichen Nordatlantik reicht (Abb. 1); es muß jedenfalls das gesamte Gebiet der normalen nordatlantischen Frontalzone einschließlich ihres Einzugsgebietes im Golf von Mexiko enthalten. Ein einigermaßen erschöpfender Vergleich sollte grundsätzlich dreidimensional erfolgen, also mindestens eine Höhenkarte, die Abs. Top. 500 mb einbeziehen. Leider entspricht das Kartenmaterial, das der Gruppe Mittelfrist zur Verfügung steht, bei weitem nicht diesen Forderungen. Wohl stehen Vergleichskarten seit dem 1. Januar 1881 zur Verfügung, bis zum Jahr 1945 jedoch nur

für das Meeresniveau und dazu noch in einem Kartenausschnitt, der nur den Ostatlantik und Europa einschließt, also viel zu klein ist. Auch die Abs. Top. 500 mb, die vom Jahre 1946 ab vorliegen, sind nur im gleichen kleinen Ausschnitt gezeichnet. Eine Verwendung der gezeichnet oder gedruckt vorliegenden synoptischen Karten größeren Formats ist zum Ausschuchen der Vergleichsfälle kaum möglich, da dies zu zeitraubend ist. Deshalb wurden alle benötigten Kartenunterlagen der vergangenen Jahre in zwei Größen umgezeichnet, in ein Kleinstformat (3,6 x 3,2 cm) zum raschen Ausschuchen der Fälle und ein etwas größeres Arbeitsformat (9,5 x 8,5 cm).

Die kleinen Suchkärtchen wurden auf große Holztafeln aufgezogen, die jeweils einen halben Monat von 30 Jahren enthalten, in der Waagerechten sind die Monatstage, in der Senkrechten die Jahre der Reihe nach angeordnet. Die Isobaren sind farbig ausgezogen, blau für hohe, rot für tiefe Luftdrucke, und in den Jahren, deren Karten noch in mm Hg gezeichnet sind (1881 bis 1930), schwarz die Isobare 760 mm Hg. Die einzelnen Grenzwerte sind:

Zeit	Druckmaß	blau	schwarz	rot
1. 1. 1881 — 28. 2. 1930	mm Hg	≥ 765	760	≤ 755
ab 1. 3. 1930	mb	≥ 1015	—	≤ 1010

Diese Farbgebung hat nur den einen Zweck, ein rasches und das Auge weniger ermüdendes Ausschuchen ähnlicher Lagen zu ermöglichen. Als aktuelle Suchkarte des Stichtags wird täglich die 03-Uhr-Karte der Abt. Synoptik in der gleichen Weise umgezeichnet, und zwar in beiden genannten Formaten. Durch Aneinanderreihung der Kärtchen der letzten 4 bis 5 Tage ist ein Überblick über die letzte aktuelle Entwicklung gegeben, die als Ganzes beim Ausschuchen von Vergleichsfällen berücksichtigt wird. Das Ausschuchen selbst erfolgt rein visuell, da nur auf diese Art Einzelheiten der Entwicklung und Lage, die von Bedeutung sein können, in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit berücksichtigt werden können. Es ist wohl durchaus denkbar und zum Teil auch durchgeführt worden, die Lage am Stichtag durch einige charakteristische Werte (Luftdruck verschiedener Stationen, Druckänderungen, Druckgradienten usw.) festzulegen und mittels Hollerithmaschinen oder Tabellen Lagen mit ähnlichen Eingangskordinaten zu finden; um eine hinreichende Genauigkeit zu erhalten, müssen aber viele Werte entnommen werden, was wieder eine Bearbeitung sehr erschwert. Will man auf die gleiche Art auch noch die Vorentwicklung mehrerer Tage erfassen, so wird dieses Suchverfahren so kompliziert, daß es in der täglichen Praxis einfach nicht durchführbar ist. Beim Fehlen von Höhenkarten kommt der Vorentwicklung eine besondere Bedeutung zu, da nur bei weitgehender Übereinstimmung in Vorentwicklung und Lage eine gewisse Gewähr dafür gegeben ist, daß auch die Höhenströmungsverhältnisse und Lagen der Frontalzonen ähnlich sind. Nur aus diesem Grunde ist man überhaupt berechtigt, auch die alten Jahre ohne Vorliegen von Höhenkarten zum Vergleich heranzuziehen. In den neueren Jahren wird selbstverständlich auch die 500-mb-Fläche verglichen.

Da für das Ausschuchen von Vergleichsfällen in der Praxis nur etwa eine Stunde zur Verfügung steht und andererseits auch jahreszeitliche Besonderheiten (Singularitäten) berücksichtigt werden sollen, wird im allgemeinen nur ein Zeitraum von ± 10 Tagen, in manchen Fällen von ± 20 Tagen und nur im Hochsommer und im Hochwinter gelegentlich ein bis zu zwei Monaten reichender Zeitraum durchsucht. Die an Hand der Tafeln gefundenen Vergleichsfälle werden nun im größeren Arbeitsformat so untereinander auf einen großen Tisch aufgelegt, daß die jeweiligen Stichtage untereinander liegen und einen direkten Vergleich der einzelnen gefundenen Entwicklungen erleichtern. Im Mittel findet man vier bis fünf Fälle, oft ist die Übereinstimmung nur mäßig, manchmal auch gut. Die erste Aufgabe des Meteorologen ist eine Überprüfung, ob die kurzfristige Folgeentwicklung der einzelnen Fälle mit der synoptisch wahrscheinlichen Entwicklung der kommenden 24 Stunden vereinbar ist; Fälle, die bereits zum ersten Folgetag eine merklich davon abweichende Lage zeigen, werden, sofern nicht gewich-

tige Gründe Zweifel an der vermuteten synoptischen Entwicklung berechtigen, zweckmäßig sofort ausgeschaltet. Häufig divergieren die verschiedenen Folgeentwicklungen trotz anfänglicher Übereinstimmung nach wenigen Tagen; in solchen Fällen müssen andere mittelfristige Argumente (s. u.) herangezogen werden, um zu entscheiden, welche der aufgelegten Folgeentwicklungen am wahrscheinlichsten eintreffen wird. Dieses Auseinanderlaufen der Vergleichsfälle hat vielfach Anlaß zur Kritik der gesamten Methode gegeben, einer Kritik, die in vielen Fällen unberechtigt ist, da sie auf falschen Voraussetzungen oder auch mangelnder Kenntnis der Auswertungsweise beruht. Vollkommen gleiche Entwicklungen gibt es praktisch nicht, man spricht ja auch nicht von „gleichen“, sondern nur von „ähnlichen“ Fällen. Der Mittelfristmeteorologe verlangt von dieser Methode nur, daß sie ihm die Möglichkeiten der Entwicklung in einer synoptischen Kartenfolge vor Augen führt und ihm eine wetterkartenmäßige Vorstellung der Weiterentwicklung ermöglicht. Diese Forderung wird bis heute von keiner anderen mittelfristigen Methode erfüllt. Deshalb werden auch sämtliche aufgefundenen Vergleichsfälle (Schlüssel siehe unten¹) mit den Daten ihrer Stichtage an die Außenstellen gegeben; auch die Meteorologen dieser Stellen sollen einen Überblick über die Entwicklungsmöglichkeiten der Ausgangslage erhalten. Mit dieser Übermittlung ist jedoch noch in keiner Weise eine Prognose gegeben, es ist noch nicht einmal gesagt, ob der Mittelfristmeteorologe überhaupt einen der genannten Fälle zur Prognose heranzieht. Divergierende Fälle sind im Sinne von Warnzeichen aufzufassen, daß eine vorgegebene Entwicklung auch einen anderen als den synoptisch wahrscheinlichen Ablauf nehmen kann. Gerade die unerwarteten Umgestaltungen bedingen die meisten Fehlprognosen; leider gibt es noch keine Methode, die mit einigermaßen Sicherheit auf eine mittelfristige Umsteuerung hinweist. Von allen Methoden versprechen die Vergleichsfälle bei sorgfältiger Bearbeitung mit ausreichendem Material noch am ehesten eine Annäherung an dieses Ziel. Auch aus diesem Grund wird nochmals auf die Notwendigkeit einer Erweiterung des Kartenausschnittes nach Westen hingewiesen. Man sollte deshalb wenigstens mit einer Umzeichnung aller Boden- und Höhenkarten seit 1946 auf das größere Format (s. o.) beginnen, da von diesem Jahre ab einwandfreie synoptische Karten des benötigten Raumes vorliegen.

Die mit dem vorliegenden kleinen Kartenausschnitt gefundenen Fälle sind im Mittel etwa 5 bis 6 Tage ähnlich. Da aber ein Fall erst erkannt wird, wenn seine Vorentwicklung mindestens zwei bis drei Tage parallel läuft, hat er oft bereits am Stichtag den Höhepunkt der Ähnlichkeit erreicht und läuft schon in den nächsten Tagen wieder aus dem Ähnlichkeitsbereich hinaus. So beträgt die prognostische Verwertbarkeit oft nur wenige Tage. Es gibt aber auch Vergleichsfälle, die überraschend lange „mitlaufen“; ein schönes Beispiel wurde im Bericht: „Die Großwetterlagen Mitteleuropas“, August 1954, S. 57, veröffentlicht. Die Ähnlichkeitsdauer betrug bei verschiedenen Wechseln der Großwetterlagen 12 Tage.

II) Mehrfachkorrelationstabellen (MKT).

Die Anwendung von Mehrfachkorrelationstabellen (im folgenden stets als MKT abgekürzt) beruht auf der theoretisch fundierten Annahme, daß mehr oder weniger enge Beziehungen zwischen Vor- und Folgeentwicklung in einem begrenzten Kartenraum bestehen. Wie bereits eingangs betont, ist es zweckmäßig, bei der Vielzahl der Wirkfaktoren und Einwirkmöglichkeiten sowie der gegenseitigen Abhängigkeiten, MKT zur statistischen Ermittlung der Beziehungen einzusetzen. Dabei muß man sich in der Praxis auf die als wichtig erkannten Faktoren beschränken. (s. u.)

Prinzip und Aufbau einer MKT sei an einem einfachen Beispiel erläutert (Abb. 2). Es wird angenommen, daß 5 unabhängige Veränderliche X_1 bis X_5 der Ausgangslage gegeben seien. X_1 sei der Luftdruck, X_2 bis X_5 seien vier Druckänderungen verschiedener Zeitdauer an einer bestimmten Station. Der Einfachheit halber sei X_1 nur in die beiden Klassen: Luftdruck höher oder gleich 1015 mb und Luftdruck niedriger als

1) Analog-Schlüssel: ANALOG YYyaa

Erläuterung: YY = Monatstag, y = Monat (Januar bis September 1 bis 9, Oktober O, November /, Dezember :), aa = Zehner- und Einerziffer der Jahreszahl.

d^2p/dt^2). Diese nur für die Sommermonate ausgearbeitete Tabelle mit der Bezeichnung „RT5“ (Rhythmen-Typen-Tab. Nr. 5) ist die umfangreichste aller Tabellen, sie enthält die Beobachtungen von Potsdam, Münster, Karlsruhe und Bamberg für die Jahre 1887 bis 1940. Die Zahl der Beobachtungen beträgt somit 33 048, die Zahl der Felder 128 000, die der besetzten Felder 16 483 und die mittlere Besetzung eines Feldes mit Werten 2,01.

Nach dieser RT 5 wurden zahlreiche weitere, allerdings einfachere und kleinere Tabellen aufgebaut, die statt der Bewölkungsverhältnisse und der Änderungen der Druckänderungen Druckgradienten nach Westen und Norden, von der betreffenden Station aus gemessen, enthalten. Die zuletzt fertiggestellten MKT dieser Art bauen auf vier Gradienten in zonaler Richtung, einem mittleren meridionalen Gradienten, den letzten 24- und 6-stündigen Druckänderungen sowie dem Luftdruck selbst an der Station auf. Eingehende Untersuchungen haben ergeben, daß man die Tabellen nicht nur für die Station auswerten kann, deren Beobachtungsreihen in der Tabelle enthalten sind, sondern daß man auch mit den Koordinaten benachbarter Stationen in die Tabellen eingehen kann. Mit Hilfe mehrerer MKT, die auf den Beobachtungen von Brest, Paris, Potsdam, Kopenhagen und Bad Kissingen aufbauen, wird täglich das in der Karte (Abb. 3) eingezeichnete Netz bearbeitet.

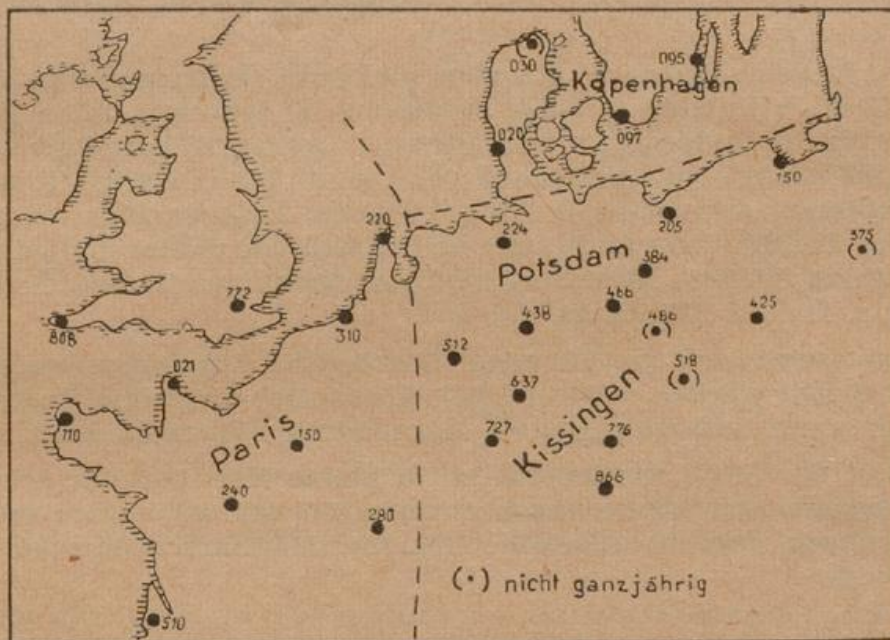


Abb. 3 Übersicht über die mit den verschiedenen MKT (Paris, Potsdam usw.) bearbeiteten Stationen (Kennziffern).

Die Auswertung erfolgt so, daß man für jeden Prognosenpunkt (Ort) aus den Beobachtungsergebnissen der Ausgangslage die einzelnen Koordinaten X_n berechnet, mit ihnen in die MKT eingeht, das zugehörige Feld aufsucht und die darin enthaltenen Druckänderungen herausschreibt. Liegen einzelne X_n -Werte dicht an der betreffenden Klassengrenze, so kann man auch durch Übergang in die Nachbarklasse Nebenfelder aufsuchen und deren Werte berücksichtigen. Als Prognose wird der arithmetische Mittelwert der ein-, zwei- und dreitägigen Druckänderungen ermittelt. Streuen die Vorzeichen zu mehr als 30 %, so wird keine Prognose gegeben. Liegt die Streuung zwischen 30 und 10 %, oder sind weniger als fünf Werte vorhanden, so wird die Prognose als unsicher gekennzeichnet.

Daß in den Tabellen die ein-, zwei- und dreitägigen Änderungen und nicht eine Folge von drei 24-stündigen Änderungen enthalten sind (was synoptisch erwünschter wäre), hat darin seinen Grund, daß letztere erheblich stärker streuen als die übergreifenden Druckänderungen. Ein Beispiel möge das Verständnis erleichtern. (Abb. 4). Gegeben sind vier Druckgänge (I bis IV); in den ersten 24 Stunden steigt der Druck in

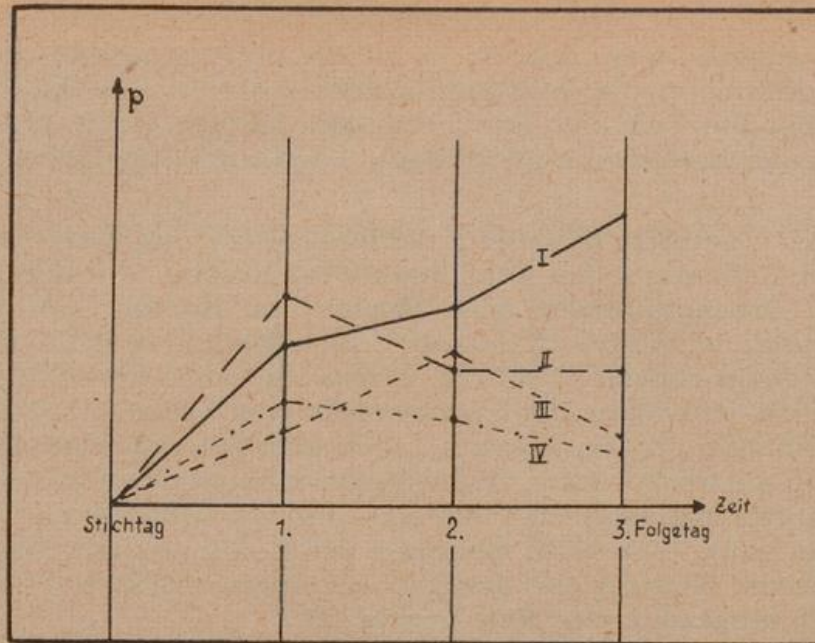


Abb. 4 Vier verschiedene, durch eine MKT gegebene Druckgänge.

allen Fällen an, in den zweiten 24 Stunden sind zwei Änderungen positiv (I u. III), zwei negativ (II u. IV), die 48-stündige Änderung ist jedoch in allen Fällen positiv. Das gleiche gilt für die Änderungen zum dritten Folgetag. Während also die einzelnen 24-stündigen Änderungen mit Ausnahme des ersten Tages stark streuen und keine Prognose ermöglichen, erlauben die übergreifenden Änderungen noch eine Aussage, nämlich, daß das Druckniveau auch am zweiten und am dritten Folgetag höher sein wird als am Stichtag. Weitere Beispiele dieser Art findet man in den „Großwetterlagen Mitteleuropas“, z. B. Juli 1953, S. 53.

Die Erfahrung zeigt, daß großräumige, überlagerte Druckänderungen am besten durch die MKT erfaßt werden, während bei Westwetter durch die Zusammenfassung rascher und langsamer Entwicklungen die Einzelwerte allgemein stark streuen.

Die Ergebnisse der MKT werden täglich in kleine Kärtchen der erwarteten ein-, zwei- und dreitägigen Druckänderungen eingetragen und später den wirklich eingetretenen Änderungen gegenübergestellt. Die Eintreffwahrscheinlichkeit beträgt im Mittel 65 bis 70 %.

III) Luftdruckschwingungen.

Neben diesen statistischen, fast stets anwendbaren Methoden steht die Extrapolation meteorologischer Elemente, die nur die Ausgangslage individuell berücksichtigt. Für den täglichen Dienst von Bedeutung ist lediglich die Untersuchung des Luftdruckgangs über verschiedenen Orten oder Gebieten auf Rhythmen oder Wellen. Grundsätzlich kann man jede beliebige Luftdruckkurve durch eine Summe von Sinusschwingungen annähern. Diese rein formale mathematische Analyse entscheidet jedoch in keiner Weise, ob die einzelnen Sinuswellen auch reell, geschweige denn, ob sie persistent sind. Man kann die Realität einer Welle wahrscheinlich machen, wenn sich bei der Analyse verschiedener Zeitabschnitte, z. B. von zwei zu zwei oder von vier zu vier Tagen immer wieder die gleiche Wellenlänge, Amplitude und die entsprechende Phase ergibt. Die strenge mathematische Analyse ist recht zeitraubend, so daß sie am täglichen Dienst für eine größere Anzahl von Stationen kaum durchführbar ist; außerdem steht der Aufwand in keinem rechten Verhältnis zum erzielten Ergebnis. Denn wenn auch auf Grund der langjährigen Erfahrungen an der Existenz mehr oder weniger großräumiger Luftdruckschwingungen wohl nicht zu zweifeln ist, so muß man doch leider feststellen, daß persistente Wellen, die mehrere Wellenlängen hindurch anhalten, recht selten sind. Außerdem gibt es keine Möglichkeit, zu erkennen, ob eine als reell erwiesene Schwingung persistent bleibt oder ob und wann sie abbricht. Die pro-

gnostische Auswertung von Druckwellen ist deshalb nur von Fall zu Fall möglich und dann noch immer mit Unsicherheit behaftet. Grundsätzlich soll man höchstens bis zu einer halben Wellenlänge extrapolieren, so daß nur Wellen von mindestens 10tägiger Länge mittelfristige Bedeutung haben. Im Winter treten häufig Wellen oder Rhythmen von 20 bis 24 Tagen Länge auf; dauern sie während der ganzen Jahreszeit dominant an, so bringen sie längere Kälteperioden, zumal, wenn ihr Schwingungsmaximum im Nordmeer oder über Fennoskandien liegt. Im Sommer beobachtet man häufig eine 10- bis 12-tägige Welle. (Vergl. auch „Großwetterlagen“ mit zahlreichen Beispielen für Druckwellen).

Da im praktischen Dienst nur dominante Schwingungen, also gut ausgeprägte Wellen stärkerer Amplitude und nahezu konstanter Länge ausgewertet werden können, die im Luftdruckgang direkt erkennbar sind, genügt eine laufende Verfolgung der Luftdruckkurven einer Reihe von Punkten, die über das Kartenbild sinnvoll verteilt sind.

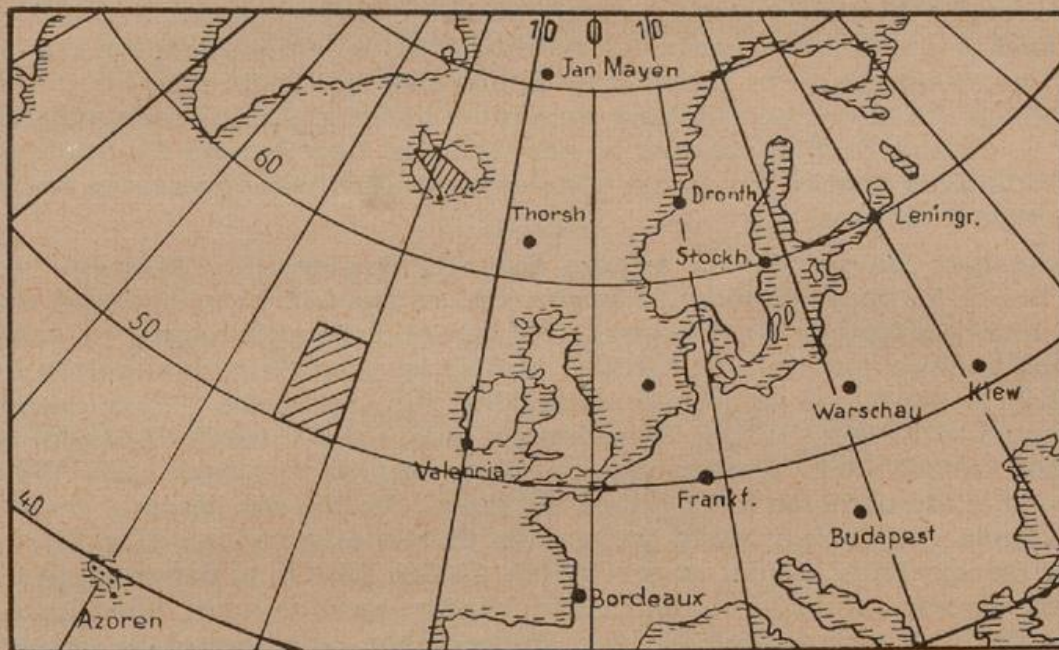


Abb. 5 Übersicht über die Stationen, deren Druckgänge auf Schwingungen untersucht werden, (Schraffierte Gebiete werden durch Flächenmittel erfaßt).

Die Abb. 5 zeigt die täglich bearbeiteten Stationen. Die Wahrscheinlichkeit, daß es sich um eine reelle Druckwelle handelt, ist um so größer, je weiträumiger die Welle mit annähernd gleicher Phase bzw. bei einer wandernden Welle mit entsprechender Phase auftritt. Die Extrapolation erfolgt dann in der leider nicht bewiesenen Annahme, daß die Welle für eine weitere halbe Wellenlänge persistent bleibt.

Die bekannten Symmetriepunkte sind nichts anderes als eine Folge der Überlagerung mehrerer Wellen, für die an einem bestimmten Tag — eben dem Symmetriedatum — Maxima oder Minima zusammenfallen. Auch hierfür findet man schöne Beispiele in den „Großwetterlagen“; dort (Juni 1951, S. 41) ist ein guter Symmetriepunkt im Azorenraum analysiert und in seine Teilschwingungen zerlegt dargestellt. Für die prognostische Verwertung von Symmetriepunkten gilt das gleiche wie für die Luftdruckschwingungen.

Aufstellung einer Mittelfristprognose.

Wenn die Ergebnisse aller genannten Methoden vorliegen, beginnt die Arbeit des Prognostikers. Er muß abwägen, wie weit die durch Vergleichsfälle, MKT und Wellenuntersuchungen gelieferten Hinweise übereinstimmen, wo sie sich widersprechen und welchem Argument von Fall zu Fall das größere Gewicht beizulegen ist. Dies ist im allgemeinen nur möglich, wenn der Meteorologe die synoptische Lage weitgehend beherrscht. Aus diesem Grunde muß der Mittelfristmeteorologe in erster Linie Synop-

tiker, dann erst Statistiker sein, denn nur ein solcher kann entscheiden, ob ein mittelfristiges Ergebnis synoptisch sinnvoll und erklärbar ist oder nicht. Es muß bei der Bewertung der mittelfristigen Argumente stets unter Berücksichtigung der synoptischen Vorhersagekarte nachgeprüft werden, ob diese Argumente mit der synoptischen Lage vereinbar sind. Ist dies nicht der Fall, so ist für die ersten Folgetage den synoptischen Gesichtspunkten der Vorrang zu geben, selbst wenn es schon vorgekommen ist, daß die mittelfristigen Argumente entgegen der Synoptik eine bessere Prognose geliefert hätten.

Die Formulierung der „weiteren Aussichten“, die stets an die Kurzfristvorhersage anschließen, also erst vom zweiten Folgetag an Geltung haben, erfolgt in engster Zusammenarbeit mit den Meteorologen der Abt. Synoptik, so daß es eigentlich unmöglich sein sollte, daß „Sprünge“ oder gar Widersprüche zwischen synoptischer Einleitung und mittelfristiger Fortsetzung festgestellt werden. In der nachfolgenden Begründung werden dann allerdings auch die Ergebnisse genannt, die nicht mit der synoptischen Meinung in Einklang stehen, damit auch die Meteorologen der Außenstellen einen Einblick in die Schwierigkeiten und Unsicherheiten einer Prognose erhalten. Dadurch dürfte es ihnen leichter fallen, eine Fehlvorhersage frühzeitig als solche zu erkennen und auf die in der Begründung genannten anderen Entwicklungsmöglichkeiten besonders zu achten. Deshalb ist auch in der täglichen Begründung die Stelle gegeben, an der Alternativmöglichkeiten zu der als wahrscheinlich vorhergesagten Entwicklung genannt werden können.

Die bisherigen Betrachtungen zeigen, daß alle Argumente allgemein nur einen Zeitraum bis zu 5 Tagen überblicken lassen, daß es deshalb beim heutigen Stand der Methoden nicht vertretbar ist, Wochen- oder gar 14-Tagevorhersagen zu geben. Deshalb werden letztere auch von der Gruppe Mittelfrist grundsätzlich abgelehnt. Es können lediglich in der Regel unsichere „Ausblicke“ für etwa 5 bis 7 Tage verantwortet werden, wobei selbstverständlich Einzelheiten nicht erfaßt werden können. Aus diesem Grunde wurde auch beschlossen, montags und donnerstags nach Möglichkeit „Ausblicke“ für die nächsten 5 bis 7 Tage zu geben, die für das gesamte Bundesgebiet gelten. Aufgabe der Außenstellen ist es, aus diesen allgemeinen Überblicken Aussichten für ihr spezielles Gebiet zu erarbeiten. In den Fällen, in denen an den termingemäß abgegebenen „Ausblick“ nicht festgehalten werden kann, wird im Anschluß an die Begründung auch an den übrigen Wochentagen eine Korrektur gegeben.

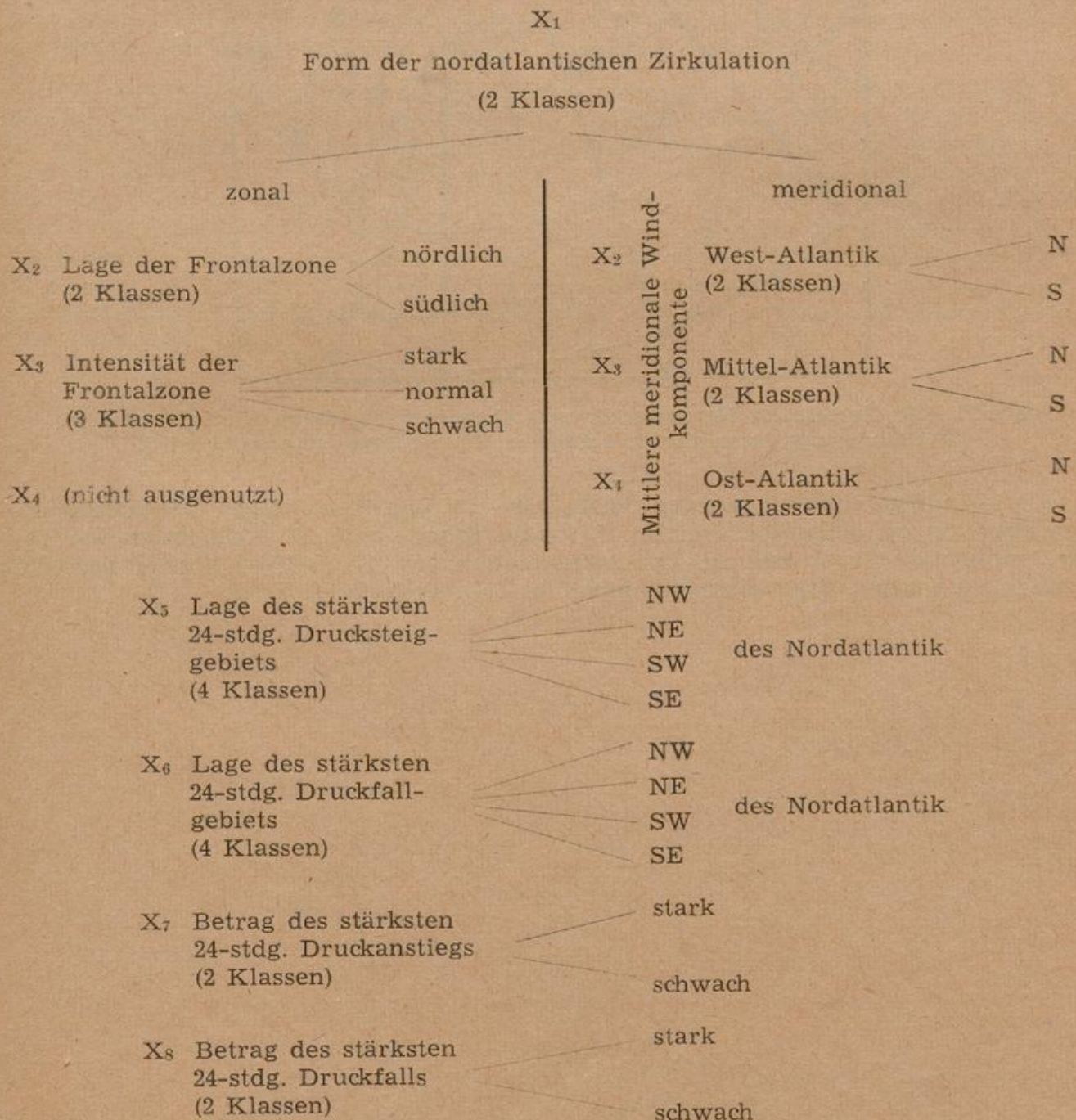
Zum Abschluß der Begründung wird täglich die Großwetterlage in der Klassifikation von Heß - Brezowsky mitgeteilt. Es wird darauf hingewiesen, daß diese Einordnung nur eine vorläufige ist, da die laut Definition geforderte Konstanz der Steuerungszentren und Grundströmungen meist erst nachträglich festgestellt werden kann. Die endgültige Klassifizierung ist jeweils im Monatsbericht „Die Großwetterlagen Mitteleuropas“ bei der Darstellung der mittleren Topographien 500 mb der einzelnen Lagen mitgegeben.

Entwicklungsarbeiten zur Mittelfristvorhersage

von Alfred Hofmann

(mit 1 Abbildung im Text)

Die Arbeit der nächsten Zeit wird auf die Ausarbeitung einer neuen Mehrfachkorrelationstabelle konzentriert, in welcher die bisherige synoptische Erfahrung bei Mittelfristvorhersagen exakt statistisch belegt werden soll. Die Tabelle wird 10 Eingänge $X_1 \dots X_{10}$ aufweisen. Aufbau und Klasseneinteilung ergeben sich aus nachstehendem Schema:



- | | |
|---|-----------------------------------|
| <p>X₉ Blockierendes Hoch
östlich 0° Länge
(2 Klassen)</p> | <p>ja
nein</p> |
| <p>X₁₀ 24-stdg. Änderung
500 mb Mittel
5 Punkte Skandinavien
(3 Klassen)</p> | <p>minus
um Null
plus</p> |

Die Abbildung 1 zeigt die 4 Felder auf dem Nordatlantik, aus welchen die Werte für X₁ bis X₈ der Höhe der 500-mb-Fläche entnommen werden. X₁₀ wird aus den 5 eingezeichneten Punkten über Skandinavien berechnet, X₉ wird dem Kalender der Großwetterlagen von Heß - Brezowsky entnommen.

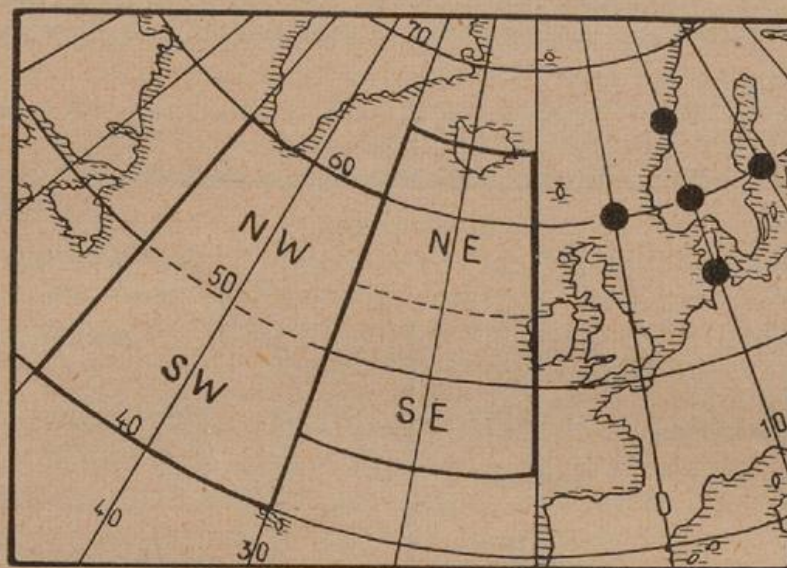


Abb. 1 Die Gebiete im Nordatlantik und Skandinavien, deren Einfluß auf die Druckänderung der nächsten 4 Tage in Mitteleuropa untersucht wird.

Als abhängige Variable werden die 24-, 48-, 72- und 96-stündigen Druckänderungen über Europa eingeführt werden. Falls die Tabelle befriedigende Prognosen liefert, sollen ihre Ergebnisse mit der Extrapolation der 24-stündigen Vorhersagekarte kombiniert werden. Ergebnisse sind nicht vor Jahresfrist zu erwarten.

Monatsvorhersagen

von Alfred Hofmann

Die Gruppe F/2 der Zentralstelle in Frankfurt gibt jeweils am Anfang des Monats eine Vorhersage des Temperatur- und Niederschlagsgepräges des ganzen Monats heraus, die sich auf das Bundesgebiet einschließlich Berlin bezieht und nur ausnahmsweise räumliche und zeitliche Details enthält. Diese Monatsvorhersagen gründen sich auf Beziehungen, die zu charakteristischen Erscheinungen der vorhergehenden Witterung vorhanden sind (chronologische Methode) und auf den Vergleich mit ähnlichen Zirkulationsanomalien des oder der vorangehenden Monate, beurteilt nach den Abweichungen der Monatsmittel der Luftdruckverteilung. Diese Methode wurde am Beispiel der Novembervorhersage vorgeführt. Diese ist bereits in „Die Großwetterlagen Mitteleuropas“ 1954, Seite 13 und 80, veröffentlicht worden.

Ein Treffersatz bei diesen Monatsvorhersagen kann nur im Zusammenhang mit der Blindlingsleistung genannt werden. Bei 42% Blindlingstreffern in den letzten 5 Jahren wurden 47% Treffer erzielt. Das bedeutet 5% mehr als Zufallstreffer. Werden die Aussagen allgemeiner gehalten, dann steigen sowohl Blindlingsleistung als auch Trefferprozente an, ohne daß sich an dem Übermaß von 5% viel ändert. Bei Kurzfristvorhersagen und in abnehmendem Maße auch bei Mittelfristvorhersagen kommt zur Blindlingsleistung noch die große Erhaltungsneigung hinzu, so daß hier schon bei gleicher wissenschaftlicher Leistung wie bei Monatsvorhersagen (Leistungsüberschuß) der Trefferprozentsatz wesentlich höher liegt und praktisch voll verwertbar ist.

Wetternachrichtenverbreitung auf den Fernschreibkanälen des Deutschen Wetterdienstes

(Stand: 26. Oktober 1954)

von Josef Grunenberg

(mit 5 Abbildungen im Text)

Der Deutsche Wetterdienst betreibt zur Versorgung seiner Dienststellen mit Wetternachrichten zwei Wetterfernschreibnetze, deren Leitungsführung in Abb. 1

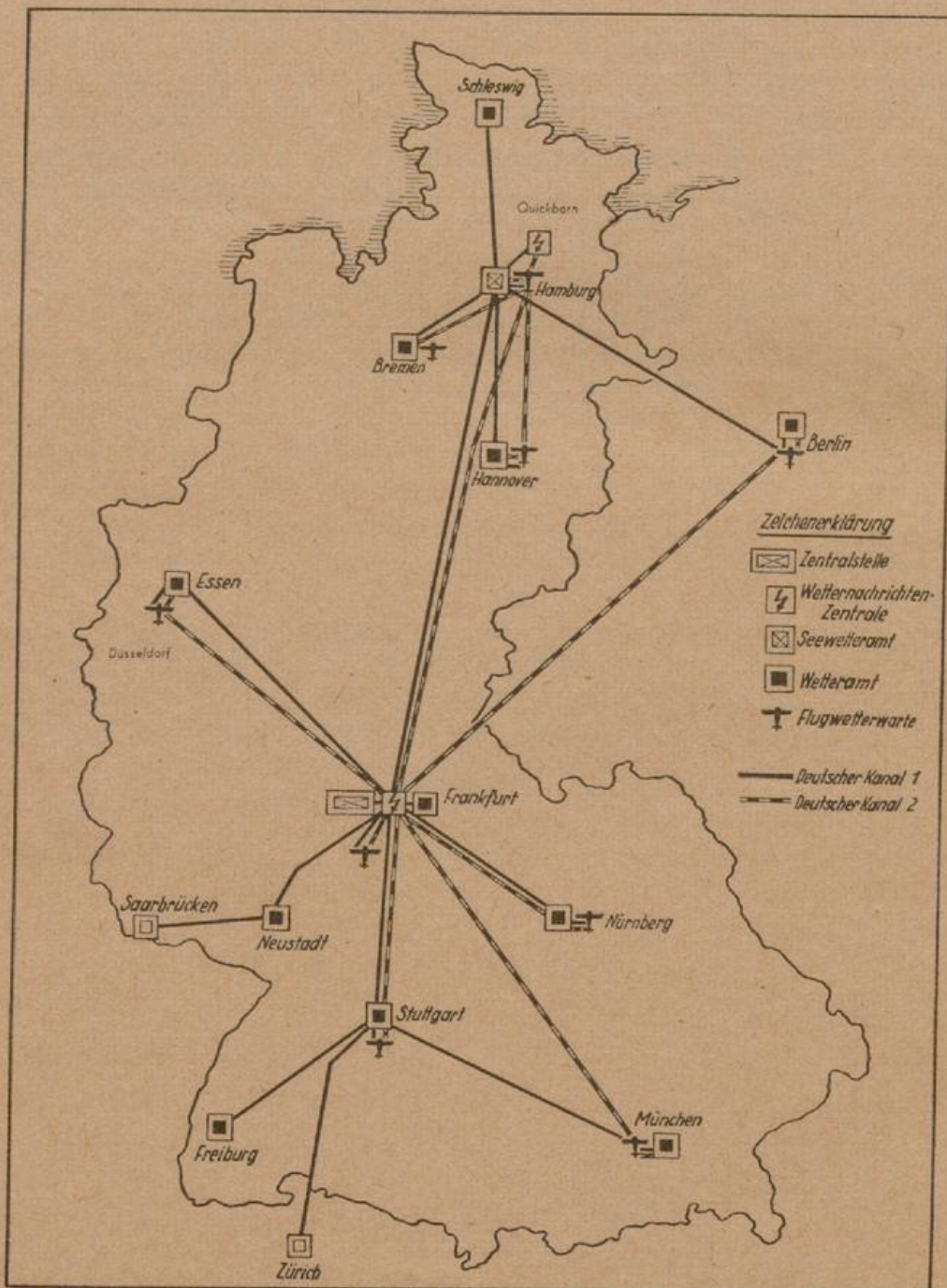


Abb. 1 Kanäle 1 und 2 des Deutschen Wetterfernschreibnetzes.

dargestellt ist. An den deutschen Kanal 1 (ausgezogene Leitungen) sind alle Wetterämter und Flugwetterwarten angeschlossen. Der Kanal 2 (gestrichelte Leitungen) verbindet die Flugwetterwarten und die Wetterämter — außer Schleswig, Neustadt/Weinstraße, Freiburg — miteinander.

Durch Kontrollen mit Hilfe von Betriebsstundenzählern wurde festgestellt, daß die tägliche Betriebsdauer

für den Kanal 1	21,7 Stunden und
für den Kanal 2	19,3 Stunden

beträgt. Sie ist im Vergleich zu den entsprechenden Zeiten der Kanäle des Internationalen Wetterfernsehnetzes in Europa (IWE), dessen Verbindungen die Abb. 2 zeigt, sehr hoch. So sind z. B.

der Kanal Paris FMMN 1a nur	13,7 Stunden,
der Kanal London GAIA nur	13 Stunden und
der Kanal Paris FMMN 1b nur	10,2 Stunden

täglich in Betrieb.

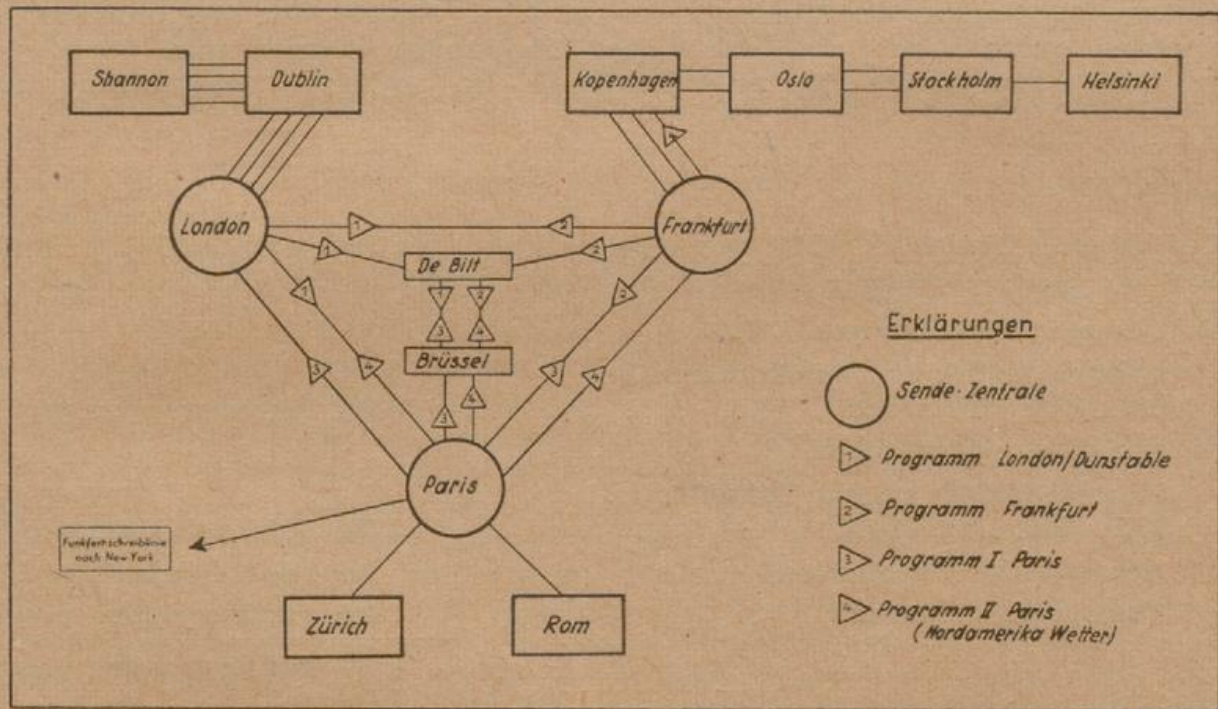


Abb. 2 Internationales Wetterfernsehnetz in Europa (IWE).

Kanal 1

Auf dem deutschen Kanal 1 wird für die Frankfurter Sammelsendungen eine tägliche Sendezeit von 13,4 Stunden in Anspruch genommen. 30 900 Fünfergruppen werden gesendet, die sich auf folgende Sendungen aufschlüsseln:

490 synoptische Meldungen Europa - Atlantik - Nordamerika - Sibirien viermal täglich zu den Terminen 0000, 0600, 1200, 1800Z	= 12 740 Fünfergruppen pro Tag
298 synoptische Meldungen Europa - Atlantik viermal täglich zu den Terminen 0300, 0900, 1500, 2100Z	7 748 Fünfergruppen pro Tag

190 MESRAN-Meldungen	
zweimal täglich zu den Terminen 0300, 1500Z	3 420 Fünfergruppen pro Tag
18 Temps	
zweimal täglich zu den Terminen 0300, 1500Z	1 800 Fünfergruppen pro Tag
4 Analysen 0000, 0600, 1200, 1800Z	1 560 Fünfergruppen pro Tag
3 Vorhersagekarten 0000, 0600, 1800Z	660 Fünfergruppen pro Tag
2 Analysen Sibirien mit Nordamerika	260 Fünfergruppen pro Tag
5 Topographien 0300, 1500Z (500, 500/1000, 225 mb)	1 100 Fünfergruppen pro Tag
2 Vorhersagetopographien 0600Z	440 Fünfergruppen pro Tag
2 Druckänderungskarten 0000, 1200Z	600 Fünfergruppen pro Tag
6 Übersichten 0330, 0550, 1040, 1120, 1640, 2240Z	600 Fünfergruppen pro Tag
	<hr/>
	30 928 Fünfergruppen pro Tag

Weitere 8,3 Stunden des Kanals 1 werden durch die von den Wetterämtern eingesteuerten synoptischen und stündlichen Meldungen, Temps und Piloten von Deutschland sowie durch Sonderberichte und den täglichen Telegrammaustausch belegt.

Kanal 2

Der deutsche Kanal 2 enthält nur wenige Sendungen (von insgesamt 2,8 Stunden Dauer) der Analysenzentrale bzw. der Wettersendezentrale Frankfurt, und zwar

155 synoptische Meldungen	
viermal täglich zu den Terminen 0000, 0600, 1200, 1800Z	= 4 028 Fünfergruppen pro Tag
146 synoptische Meldungen	
viermal täglich zu den Terminen 0300, 0900, 1500, 2100Z	3 824 Fünfergruppen pro Tag
2 Aerologische Übersichten	200 Fünfergruppen pro Tag
2 Topographien 700 mb	440 Fünfergruppen pro Tag
	<hr/>
	8 492 Fünfergruppen pro Tag

Rund 10 Stunden Sendezeit werden für die Flugwettermeldungen benötigt, die in München, Berlin und Frankfurt durch Funk empfangen oder den internationalen Fernschreibkanälen entnommen werden. Durchschnittlich werden gesendet:

53 Aero-Meldungen	
stündlich von 0000 bis 2400Z	10 076 Fünfergruppen pro Tag
49 Kurzzeit-Tafots	
stündlich von 0000 bis 2400Z	17 640 Fünfergruppen pro Tag
31 Langzeit-Tafots	
viermal täglich	2 976 Fünfergruppen pro Tag
	<hr/>
	30 692 Fünfergruppen pro Tag

Die restlichen 6,5 Stunden sind durch die halbstündlichen Aeros von Deutschland, die deutschen Kurz- und Langzeit-Tafots sowie Alpenwetterübersichten und Sonder-sendungen belegt.

Zusammensetzung der Wetterauswahlen

Für die Steuerung der deutschen und internationalen Kanäle ist die Wettersendezentrale Frankfurt verantwortlich. Hier laufen über Fernschreiber alle synoptischen Meldungen zusammen, die aus der Funkaufnahme bei den Wetternachrichtenzentralen Nord und Mitte/Süd stammen. Außerdem gehen hier Wetter aus den Kanälen des Internationalen Wetterfernschreibnetzes in Europa ein. Die Wettersendezentrale im Frankfurter Fernmeldehochhaus stellt aus diesem Meldegut die Auswahlen

- für die deutschen Kanäle 1 und 2,
- für den Frankfurter Sendekanal des IWE und
- für die Skandinavien-Kanäle 1 und 2

zusammen.

Wollte man den naturgemäß recht verschiedenartigen Ansprüchen aller Wetterämter und Flugwetterwarten gerecht werden und gleichzeitig die internationalen Forderungen voll erfüllen, so müßten bei der Wettersendezentrale Frankfurt mehrere inhaltlich verschiedene Wetterauswahlen zusammengestellt werden. Der hierdurch entstehende betriebliche Arbeits- und Personalaufwand wäre nicht mehr vertretbar. Die Wetterauswahlen aller deutschen und internationalen Kanäle sind deshalb so aufeinander abgestimmt, daß keine Meldung zweimal gestanzt wird. Für die meisten Länder erfolgt die Sendung in zwei Teilen, für einige Länder in drei Teilen. Der Teil 1 wird auf dem deutschen Kanal 1 und der Teil 2 (Verdichtung des Teils 1) auf dem deutschen Kanal 2 verbreitet. Beide Teile werden entweder in den Frankfurter IWE-Kanal und nach Skandinavien oder nur in den IWE-Kanal bzw. nur nach Skandinavien eingesteuert. Der Teil 3 befriedigt Sonderwünsche ausländischer Wetterdienste.

Die Wettersendezentrale Frankfurt verbreitet also von jedem Land 2, höchstens 3 Wetterauswahlen.

Die enge innere Verbindung der 3 verschiedenen Auswahlen im Zusammenhang mit dem Eingang der Meldungen über Funk und Fernschreiber und ihre Weitergabe auf den verfügbaren Nachrichtenwegen veranschaulicht die Abbildung 3. In der oberen linken Hälfte dieser Darstellung sind diejenigen Länder bzw. Gebiete genannt, aus denen die Wettermeldungen über Fernschreiber bei der Wettersendezentrale Frankfurt eingehen. Daneben sind die Funkaufnahmebereiche der Wetternachrichtenzentralen Nord (Quickborn) und Mitte/Süd (Frankfurt) aufgeführt. Die untere Hälfte dieser Aufstellung gibt einen Überblick über die Wetterauswahlen aus allen Gebieten der Nordhalbkugel, welche für die Funk- und Fernschreibverbreitung beim Deutschen Wetterdienst zusammenzustellen sind. Anhand dieses Schemas wird verständlich, daß Einzelwünsche der Wetterämter oder Flugwetterwarten bezüglich der Durchgabe bestimmter Stationen nicht immer erfüllt werden können. Denn die Erfüllung solcher Forderungen zieht Änderungen nicht nur für die deutschen Netze, sondern auch für die internationalen Funk- und Fernschreibkanäle nach sich. Der Inhalt der internationalen Kanäle ist jedoch zwischenstaatlich vereinbart und kann ohne Zustimmung der außerdeutschen Teilnehmer nicht geändert werden.

Auf der Tagung der Synoptiker und der Flugwetterdienstbesprechung des Deutschen Wetterdienstes in Frankfurt/Main vom 2. bis 5. November 1954 wurden mit Zustimmung aller Wetterämter und Flugwetterwarten Kürzungen der synoptischen und aerologischen Sammelsendungen auf den deutschen Kanälen neu festgelegt. Diese Kürzungen beschränken sich hauptsächlich auf die Randgebiete der im Deutschen Wetterdienst gezeichneten Arbeitswetterkarten, auf Nordamerika und Sibirien.

Abb. 4 gibt die Bereiche wieder, aus denen zu den synoptischen Haupt- und Zwischenterminen Bodenwetter auf dem deutschen Kanal 1 weiterhin rundgeschrieben werden. Auf dem deutschen Kanal 2 werden in Zukunft nur Verdichtungsmeldungen für England, Frankreich, Belgien, Holland, die Schweiz und Dänemark verbreitet.

E i n g a n g

über Fernschreiber von London (GAIA)	Paris 1a (FMMN)	Paris 1b (FMMN)	Skandinavien (OYCH)	Sonstige Kanäle	über Funk von Wetternachrichtenzentrale Nord	Wetternachrichtenzentrale Mitte/Süd
Holland England Gibraltar Malta	Belgien Schweiz Frankreich Saar Fr. N-Afrika	N-Amerika	Schweden Norwegen Dänemark Finnland	Deutschland Österreich	Grönland, Island, Spanien, Portugal, Ost- und Südost- europa, Italien, Östliches Mit- telmeer, Naher Osten, Nord- afrika, Arabien, Irak, Paki- stan, Indien, Burma, Siam, Indochina, Atlantik-Standort- schiffe	Türkei, Rußland, Sibirien, Hong-Kong, Japan, Pazifik- Inseln, Ostindien, Formosa, Standortschiffe-Pazifik

A u s g a n g

über Fernschreiber Deutscher Kanal 1	Deutscher Kanal 2	IWE-Sende- kanal DDFM	Skandinavien- kanal 1	Skandinavien- kanal 2	über Funk DDH (subkontinental)	DDJ (Schiffahrt)
E+SE-Europa 1	E+SE-Europa 2	E+SE-Europa 1 + 2	E+SE-Europa 1 + 2	E+SE-Europa 1 + 2	Besondere Auswahl für die gesamte Nordhemisphäre	Besondere Auswahl für die Nordseekarte und Meldungen Kanada
Skandinavien Grönland 1	Skandinavien 2	Skandinavien 1 + 2 Grönland	Sibirien 1A			
Sibirien 1A		Sibirien 1A	Sibirien 1A			
W+SW-Europa Italien Türkei 1	W+SW-Europa Italien Türkei 2	W+SW-Europa Italien Türkei 1 + 2	W+SW-Europa Italien Türkei 1 + 2			
Rußland, A, B Nordamerika Nordafrika 1		Sibirien 1B	Sibirien 1B	Alle Meldungen von Nord- Amerika von Paris		
			Nordafrika 1			
			Nordafrika 2AB			

Abb. 3 Eingang und Verbreitung der synoptischen Wettermeldungen beim Deutschen Wetterdienst.

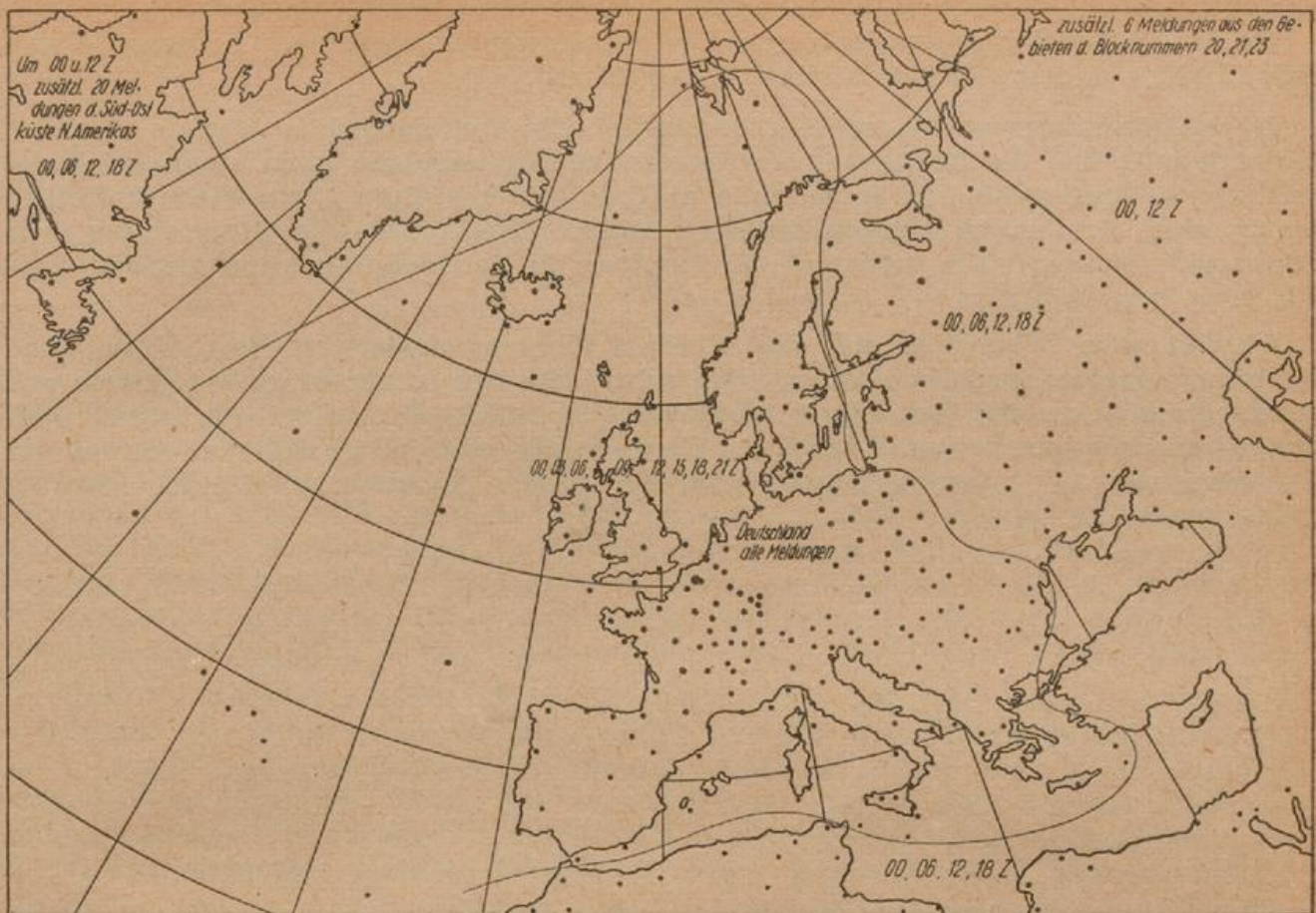


Abb. 4 Geographische Verteilung der synoptischen Wettermeldungen auf dem Deutschen Wetterfernsehnetz, Kanal 1, Stand: 20. 11. 1954.

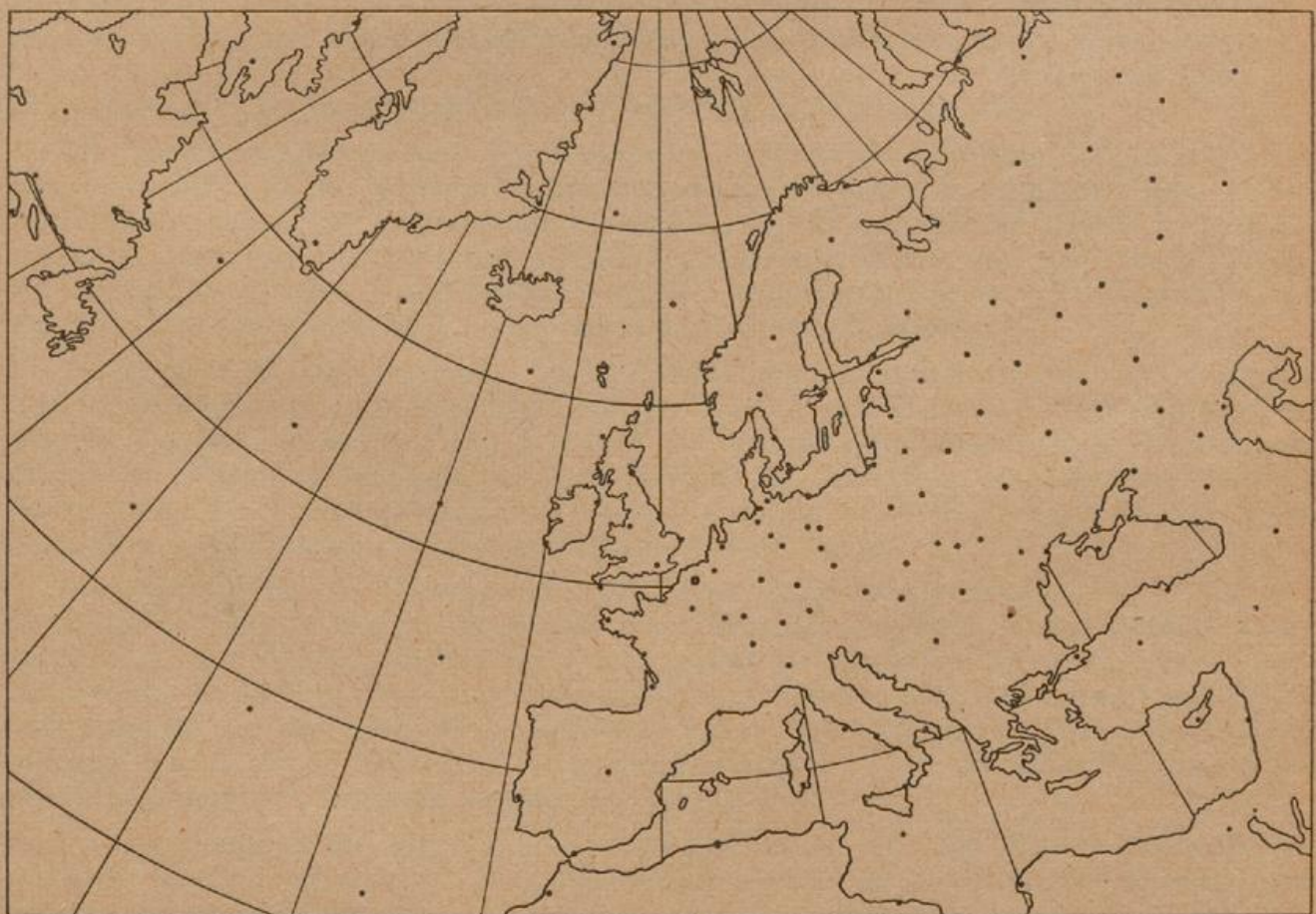


Abb. 5 Geographische Verteilung der abgekürzten aerologischen Meldungen (MESRAN) auf dem Deutschen Wetterfernsehnetz, Kanal 1, Stand: 20. 11. 1954.

In Abb. 5 wird die geographische Verteilung der aerologischen Kurzmeldungen (MESRAN) auf dem deutschen Kanal 1 dargestellt.

Nach Durchführung dieser Kürzungen ist für die deutschen Kanäle 1 und 2 sichergestellt, daß die Betriebsabwicklung zeitgerecht erfolgen kann. Auch bei kurzzeitigen Störungen können selbst in den Hauptbetriebszeiten noch Wiederholungen bestimmter Sendungen vorgenommen werden. Ebenso ist die Herstellung von Sonderverbindungen für dringende Nachrichten in Sendepausen ohne größere Verzögerung durchführbar. —

Vorstehender Überblick soll die Vielfalt der gegenwärtigen Beschaffung und Verteilung meteorologischer Nachrichten zeigen. Er soll ferner erkennen lassen, wie genau die Zweige des Wetternachrichtendienstes inhaltlich und zeitlich aufeinander abgestimmt werden müssen, damit im Fernschreib- und im Funkdienst sowohl auf deutscher wie auf internationaler Ebene ein rascher Nachrichtenaustausch gewährleistet wird.

Aus der Praxis des Sturmwarndienstes

von Geert Roediger

Zu den wichtigsten Aufgaben des Seewetterdienstes gehört seit jeher der Sturmwarndienst für die deutsche Küste und die vorliegenden Seegebiete. In erster Linie richten sich die Warnungen an die Schifffahrt und Seefischerei. Kleineren Fahrzeugen, wie Küstenmotorschiffen, Fischkuttern, Schleppzügen u. ä. m., kann bereits Windstärke 6 gefährlich werden, besonders wenn in Tidengebieten Wind und Strom entgegengesetzt gerichtet sind. Es werden daher, wenn Windstärke 6—7 zu erwarten ist, sog. „Windwarnungen“ herausgegeben. Eine „Sturmwarnung“ gilt für Stärke 8—10. Steht eine Verstärkung auf 11—12 bevor, so ergeht eine „Orkanwarnung“ insbesondere an die Feuerschiffe. Bei ihnen besteht dann Gefahr eines Ankerkettenbruchs.

Eine Warnung soll nicht früher als 12 Stunden und möglichst nicht später als 6 Stunden vor Eintritt der Gefahr gegeben werden. Die Übermittlung einer Warnung erfolgt teils fernmündlich, größtenteils aber drahtlich an die ca. 30 Sturmwarn-Signalstellen längs der Küste. Dort werden dann an den Rahen hoher Masten die entsprechenden Signale gesetzt, bei Windwarnung ein Ball (nachts eine rote Lampe), bei Sturmwarnung ein Kegel. Hierbei werden 4 Windrichtungen unterschieden:

Sturm aus SW	ein Kegel mit Spitze nach unten,	nachts zwei weiße Lampen
Sturm aus NW	ein Kegel mit Spitze nach oben,	nachts zwei rote Lampen
Sturm aus NE	zwei Kegel mit Spitzen nach oben,	nachts eine rote über einer weißen Lampe
Sturm aus SE	zwei Kegel mit Spitzen nach unten,	nachts eine weiße über einer roten Lampe

Für Orkan gibt es im deutschen Dienst keine besonderen Signale.

Die gesamte deutsche Küste von Memel bis Borkum war vor dem Kriege in 8 Gruppen unterteilt, für die getrennt Warnung gegeben werden konnte. Seit dem Kriege fallen die Gruppen 1-4 (Ostpreußen bis Mecklenburg) für unseren Dienst fort und es bestehen unter Beibehaltung der alten Gruppennumerierung nur noch die 4 Gruppen 5-8 (Westliche Ostsee, Nordfriesische Küste, Helgoländer Bucht mit Unterelbe und Ostfriesische-oldenburgische Küste einschließlich Unterweser).

Wind- und Sturmwarnungen werden außerdem funktelegrafisch und funktelephonisch in deutscher und englischer Sprache über Norddeich- und Kiel-Radio an die Schiffe auf See verbreitet. Die Nordsee ist ebenfalls in verschiedene Warnbezirke aufgeteilt: Nördliche Nordsee, mittlere Nordsee, Südwestliche Nordsee und Deutsche Bucht (über Norddeich-Radio). Die Ostseewarnbereiche sind: Mittlere Ostsee, Westliche Ostsee, Kattegatt und Skagerrak (über Kiel-Radio).

Bei Beendigung der Sturmgefahr wird eine Entwarnung erlassen. Wichtige Hilfsmittel für das Erkennen einer Sturmgefahr sind die 3stündigen Drucktendenzen, aus denen sich die zu erwartenden Druckgradienten bestimmen lassen. Außerdem ist auch zu beachten, ob an dem kommenden Sturm Warmluft oder Kaltluft beteiligt ist. Bei gleichen Gradienten zeigt bekanntlich die Kaltluft höhere Windstärken wegen ihrer Labilität. Auch wirft sie durch ihre stärkere Böigkeit einen wesentlich höheren Seegang auf als die Warmluft.

Da der Seegang die eigentliche Gefahr bei Sturm für die Schiffe darstellt, soll versucht werden, in Zukunft Seegangsvorhersagen zu geben. Hierüber werden z. Zt. Untersuchungen angestellt.

Erfahrungen im Fernsehdienst

von Geert Roediger

Im Frühjahr 1951 wurden in Hamburg die ersten Versuchssendungen mit der Wetterkarte im Fernsehstudio auf dem Heiligengeistfeld gestartet. Es wurde zunächst eine von einem Lithographen fertiggestellte Wetterkarte gezeigt, dazu las ein Meteorologe einen geschriebenen Text vor und ein anderer zeigte mit einem Stock auf die jeweils erwähnten Druckgebilde oder Fronten. Nach einigen Monaten Pause wurde dann die Wetterkarte im November 1951 in neuer Form herausgebracht, wie sie sich bis heute im wesentlichen erhalten hat. Nach einer Idee des Berliner Studios sollte nun der Meteorologe während seines Vortrages die Wetterlage auf der Karte mit Kohlestift entwerfen. Diese Art des Vortrages wirkt wesentlich lebendiger, da das Publikum die Wetterkarte entstehen sieht. Für den Meteorologen erfordert dies natürlich eine wesentlich intensivere Vorbereitung. Er muß vollkommen frei sprechen, weil er nicht gleichzeitig zeichnen und ablesen kann, und er muß seinen Vortrag so aufbauen, daß die Zeichnungen zeitlich gut im Vortrag verteilt sind, daß also nicht etwa eine Zeitlang nur gesprochen oder nur gezeichnet wird, weil so etwas auf dem Fernsehbildschirm stets ungeschickt wirkt. Es sollen zu Anfang nur ein bis zwei einleitende Sätze gesprochen werden, mit denen auf das vergangene Wetter oder die letzte Wetterlage Bezug genommen wird. Während dieser Einleitung ist der Meteorologe mit dem Gesicht zur Kamera gewandt im Bild zu sehen. Während des Zeichnens sieht man nur die Karte und den Arm des Meteorologen.

Zur Erleichterung des Zeichnens kann sich der Meteorologe die Linien, die er bringen will, ganz dünn vorzeichnen. Bei einiger Übung erweist sich dies aber meist als unnötig, da der Meteorologe, der gerade aus dem Dienst kommt, das Isobaren- und Frontenbild genau im Kopf hat. Es empfiehlt sich, nur eine Auswahl von Isobaren zu zeichnen, um das Bild nicht zu überladen, höchstens von 10 zu 10 mb oder größere Abstände, je nachdem, wie es die Klarheit des Bildes erfordert. Oft genügt es, Hoch und Tief nur durch eine Isobare zu kennzeichnen, nur bei Sturmtiefs tritt die Stärke des Wirbels durch mehrere Isobaren besser hervor. Millibar-Angaben unterbleiben am besten ganz, denn diese Zahlen sagen dem Laien gar nichts. Auch Fachausdrücke, wie Okklusion, Schleifzone, Inversion usw., sollte man möglichst vermeiden oder gegebenenfalls kurz erklären oder umschreiben. Temperaturzahlen sollten in der Karte möglichst sparsam verwandt werden, nur um besondere Gegensätze oder Extremwerte herauszustellen. Strömungspfeile wirken immer sehr anschaulich.

Da die Vortragsdauer etwa 3 Minuten betragen soll, muß sich der Meteorologe auf diejenigen Druckgebilde beschränken, die auf das kommende Wetter seines Vorhersagebereichs Einfluß gewinnen können. Die Vorhersage soll sich am Schluß gewissermaßen von selbst aus der Erklärung der Wetterlage ergeben. Hierbei hat der Meteorologe die Möglichkeit, auf Schwierigkeiten und Unsicherheiten einer Wetterlage hinzuweisen und sich mit mehr oder weniger Eleganz aus der Affaire zu ziehen. Es hat sich, wie aus zahlreichen Publikumsäußerungen hervorgeht, auch hierbei gezeigt, daß es gar nicht so darauf ankommt, was gesagt wird, sondern wie es gesagt wird, und daß in solchen Fällen dem Meteorologen eine Fehlvorhersage gar nicht so übel genommen wird. Es ist der große Vorteil dieser Sendung, daß der Meteorologe menschlichen Kontakt mit dem Publikum gewinnt und dadurch mehr Verständnis für die Schwierigkeit einer Wettervorhersage erreichen kann.

Die von allen Seiten immer wieder betonte Beliebtheit der Hamburger Wetterkartensendung beruht nicht zuletzt darauf, daß auf eine streng wissenschaftliche Dar-

stellung der Wetterlage bewußt verzichtet wurde. Vielmehr wird der Vortrag als aufgelockerte Unterhaltung geführt, wobei der Standpunkt des Laien weitgehend berücksichtigt wird und sein Interesse und Verständnis durch Vergleiche aus dem täglichen Leben geweckt wird.

So wurde beispielsweise einmal das Wettergeschehen mit sportlichen Wettkämpfen verglichen (Kampf zwischen Hoch und Tief, Warmluft und Kaltluft) oder ein andermal als Verkehrsproblem (Ost-West- oder Nord-Süd-Verkehr) dargestellt.

Die Wetterkarte im Fernsehen wird z. Z. jeden Montag und Freitag im Anschluß an die Tagesschau gebracht, wobei am Montag ein Ausblick auf das Wetter der Woche, am Freitag eine Vorhersage für das Wochenende gegeben wird. Der Vorhersagebereich, der ursprünglich nur Nordwestdeutschland und Berlin umfaßte, ist im Laufe des letzten Jahres auf ganz Süddeutschland ausgedehnt worden. Seit 1. November 1954 teilen sich die nord- und süddeutschen Sender in das gesamte Fernsehprogramm des Bundesgebietes. Vorerst sollen Tagesschau und Wetterkarte noch von Hamburg aus gebracht werden, doch ist damit zu rechnen, daß spätestens im Frühjahr noch andere Sender die Wetterkarte übernehmen. Ob dabei der jeweilige Sender die Vorhersage für das ganze Bundesgebiet bringt, oder ob die Sendung in parallel laufende regionale Sendungen aufgeteilt wird, ist noch nicht entschieden. Für den Wetterdienst wäre die letztere Möglichkeit vorteilhafter, da ein kleinerer Vorhersagebereich den Kontakt mit dem Publikum wesentlich erleichtert. Im anderen Falle müßte jedesmal genaue Absprache zwischen den betreffenden Wetterämtern erfolgen, damit die Einheitlichkeit der Sendung gewahrt bleibt.

Erfahrungen im Vorhersagedienst für das Alpengebiet

von Walter Piersig

(mit 3 Abbildungen im Text)

Mit Südbayern einschließlich des Donaugebietes gehört auch das gesamte deutsche Alpengebiet zum Vorhersagebereich des Wetteramtes München. Nicht selten wird bei Anfragen, besonders von auswärts, „Oberbayern“ gesagt, aber „Südbayern“ oder „bayerisches Hochland“ gemeint. Deshalb sei daran erinnert, daß diese Begriffe keineswegs identisch sind: Auch die Regierungsbezirke Niederbayern, Schwaben und Teile der Oberpfalz (Regensburg!) gehören zu Südbayern, andererseits reicht Oberbayern bei Ingolstadt nordwärts über die Donau hinweg.

Im Wirtschaftswetterdienst hat sich die Fragestellung von seiten der Interessenten im Laufe der Zeit merklich geändert. Noch vor 20 Jahren war es befriedigend, wenn sich die Vorhersage als Ganzes weitgehend erfüllte. Heute sind die einzelnen Wirtschaftsgruppen oft hauptsächlich oder ausschließlich an **einem** Wetterelement und dessen möglichst präziser Vorhersage interessiert. Als charakteristisches Beispiel für den alpennahen Bereich seien die Vorhersagen für die Wasserwirtschaft, eng gekoppelt mit der Energiewirtschaft, genannt. Gefordert werden dabei Niederschlagsvorhersagen für das Einzugsgebiet der Flüsse, also für Bayern und Teile Österreichs, um die voraussichtliche Wasserführung der einzelnen Flüsse abschätzen zu können, und dies wieder zwecks Planung der Wasser- und Stromwirtschaft. Letztere ist z. B. nach längeren Trockenperioden vor die Entscheidung gestellt, ob ein Vertrag auf Einfuhr von Fremdstrom (aus dem Ausland) abzuschließen ist oder ob in Kürze ausreichende Regenfälle (oder im Winter Tauwetter bis in größere Höhen) erwartet werden. Es ist einleuchtend, daß eine richtige oder falsche Vorhersage mit beträchtlichem Nutzen oder Schaden für die Volkswirtschaft verbunden ist, zumal in dem genannten Beispiel der Fremdstrom nach Vertragsabschluß auch abgenommen werden muß, wenn bald stärkere Wasserführung der eigenen Flüsse einsetzt.

Die dabei notwendige Vorhersage der Niederschlagsmengen kann vom Wetterdienst in vielen Fällen durchaus gegeben werden, wenigstens in der Größenordnung, die dabei ausreichend ist. Der Prognostiker muß sich allerdings etwas auf diese Fragestellung spezialisieren und die Erfahrungen vertiefen können, etwa durch besondere Kartendarstellungen bei größeren Regenfällen, wobei die synoptischen Meldestellen allein natürlich nicht ausreichen.

Die zahlreichen, in Geiseltal bei München arbeitenden Filmgesellschaften des In- und Auslandes stellen den Wirtschaftswetterdienst häufig vor die Frage, ob und wann helles, für Filmaufnahmen geeignetes Wetter herrschen wird, denn ein fehl-angesetzter „Drehtag“ bringt große Unkosten für die Bezahlung von Darstellern und technischem Personal. Städtische „Obus“-Linien benötigen rechtzeitige Rauhreifwarnungen, um durch Vorheizung des Fahrdrahtes den Kontakt des Stromabnehmers zu verbessern. Zahlreiche Auskünfte sind für den Fremdenverkehr zu geben, insbesondere auch im Rahmen des Wintersportwetterdienstes, wobei es häufig gilt, einen geeigneten Termin (oder Ausweichort) für Ski- oder Eisveranstaltungen zu finden. Am Gewitter- und Sturmwarndienst sind u. a. zahlreiche Seilbahnen sowie die Wasserpolizei der oberbayerischen Seen interessiert; dabei sei an die vor 3 Jahren auftretende Sturmkatastrophe erinnert, die trotz rechtzeitiger Warnung auf dem Chiemsee noch 7 Menschenleben forderte: nach Aussage der amtlichen

Stellen wäre diese Zahl ohne die Sturmwarnung sicher merklich größer gewesen, weil dann Mannschaften und Geräte für die Rettungsmaßnahmen nicht schon bereit gewesen wären.

Neben solchen Besonderheiten des Interessentenkreises weist natürlich das Wettergeschehen des alpennahen Gebietes manche Eigenheiten auf. Gemeinsam mit anderen Vorhersagebereichen dürfte die Tatsache sein, daß nicht so sehr die markanten Wetterlagen, wie sie in zahlreichen Bearbeitungen vorliegen, sondern die häufigeren, wenig ausgesprochenen Rand- und Übergangslagen den Meteorologen beschäftigen. Diese Lagen sind dadurch gekennzeichnet, daß kein „Aktionszentrum“ oder sonstiger Wettervorgang eindeutig vorherrscht. Hierher gehören die gradient-schwachen Lagen, die den Meteorologen hauptsächlich im Mai oft über längere Zeit hinweg beschäftigen. Dabei ist eine 24- bis 36-Stunden-Punktvorhersage (im Gegensatz zur Gebietsprognose) manchmal eine aussichtslose Angelegenheit, weil sich schon auf geringe Entfernungen so starke Wetterunterschiede entwickeln können, daß für den betr. Ort „eigentlich alles möglich“ ist.

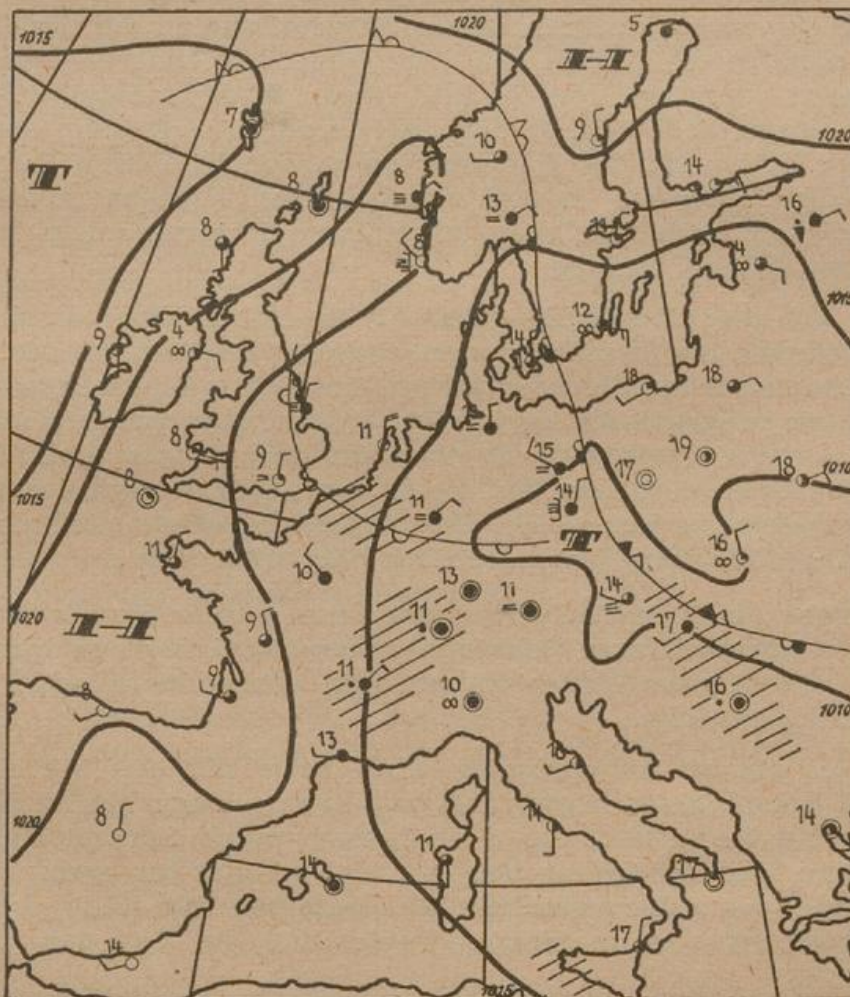


Abb. 1 Wetterlage 20. Mai 1949, 7 Uhr

Als Beispiel dafür, daß bei solchen Lagen auch in einiger Entfernung vom Alpengebiet noch viel Überraschendes geschehen kann, sei der 20. V. 1949 genannt (Abb. 1). Am Abend dieses Tages setzte in München und Umgebung mit Gewittern ein Starkregen ein, der die ganze Nacht hindurch anhielt und bis 7 Uhr 111 mm, im nahen Erding sogar 170 mm ergab. In der gleichen Zeit fiel in Augsburg nur $\frac{1}{2}$ mm Regen!

In diesem Falle lag das Hoch über den Britischen Inseln, am häufigsten treten aber solche unterschiedlichen, schwer abschätzbaren Verhältnisse bei Lagen mit dem

Hoch über dem Nordmeer auf, in Mitteleuropa ist die Strömung dabei schwach und teils antizyklonal, teils zyklonal.

Soweit wir Synoptiker unsere fachliche Ausbildung im mittleren oder nördlichen Deutschland erhalten haben, müssen wir uns im südlichen Bayern bei den Hochdrucklagen in unserer Blickrichtung weitgehend umstellen, denn diese bringen für das Alpengebiet und sein Vorland oft überhaupt kein Hochdruckwetter! Absink- und Abgleitvorgänge werden entscheidend durch die auf das Gebirge gerichteten N- und NE-Winde gestört. Dann kann in ganz Mitteleuropa, oft südwärts bis über die Donau hinaus beständiges, sonniges Wetter herrschen, in den Alpen bleibt dagegen die Bewölkung stark oder geschlossen, und nicht selten regnet es sogar anhaltend. Dreht dann der Wind schließlich, mit Verlagerung des Hochs nach Polen oder Ungarn, auf SE, dann kann es geschehen, daß höhenkältere oder zumindest feuchte Luft vom Mittelmeer herangeführt wird, und die Hochdrucklage ist für das Alpengebiet ohne einen einzigen schönen Tag vorübergegangen.

Besonders bei den bisher erwähnten Wetterlagen werden im Alpenraum, zum Teil auch im Mittelmeergebiet, oft die Grenzen der Möglichkeiten überschritten, die uns die Methode der vorhergesagten Luftdruckverteilung an die Hand gibt. In diesen Gebieten kann nämlich ein Irrtum von 2 mb, der über anderen Meeresteilen sowie im Flachland meist kaum ins Gewicht fällt, schon einen grundlegenden Unterschied in der Strömungsform bedeuten. Andererseits sind zu Erfassung solcher Vorgänge eine sehr genaue Zeichnung der Höhenkarten gerade in diesem Gebiet, einschließlich Beachtung der Meßwerte in den verschiedenen Niveaus, sowie zeitliche und räumliche Verfolgung auch scheinbar unwichtiger Deformationen im Störungsfeld höherer Schichten äußerst wichtig.

Selbst wenn sich der Hochdruckeinfluß bis ins Alpengebiet durchgesetzt hat, ist die Vorhersage für die Berge nicht immer eindeutig festzulegen. Die Konvektion ist besonders bei sommerlichen Hochdrucklagen im Gebirge keineswegs völlig unterbunden, und wo sie orographisch begünstigt wird, können Haufenwolken mit großer Beharrlichkeit einzelne Berggipfel für Stunden oder länger einhüllen. Kommt es auch in den Gipfellagen nicht zur Wolkenbildung, so kann doch das Vorstadium zur Kondensation mit seiner schon hohen Feuchtigkeit tagsüber stärkere Dunsttrübung zur Folge haben und die Bergsicht wesentlich beeinträchtigen.

Für die oft nicht günstigen Auswirkungen sommerlicher Hochdrucklagen wird das Alpengebiet in fortgeschrittener Jahreszeit, besonders im Herbst und Winter, oft durch sonniges und klares Wetter entschädigt, wenn das Flachland unter einer grauen Hochnebeldecke liegt.

Weniger schön, als oft angenommen wird, zeigt sich das Wetter auf höheren Bergen auch bei Föhn. Oft ist dieser dort mit Sturm, hoher Luftfeuchte und herabgesetzter Sichtweite verbunden, die vielfach noch durch Schneetreiben weiter verringert wird. Vom Tal aus schaut sich das viel schöner an, wenn die Gipfel eine Haube oder „Fahne“ von aufgewirbeltem Schnee zeigen. Die föhnig bedingte Wetterbesserung wird häufig erst in einiger Entfernung, im Lee der höchsten Berge, angetroffen.

Oft lassen sich aus den Wettermeldungen der wenigen deutschen Alpen-Hochstationen (Zugspitze und Wendelstein) wichtige Hinweise auf gewisse Phasen des Wettergeschehens entnehmen, die auch für den Vorhersagedienst weiter entfernter Gebiete von Interesse sein dürften, da Tiefdrucksysteme vom Mittelmeer gar nicht selten über die Alpen hinweg bis nach Mittel- und Norddeutschland wetterbestimmend werden. Erwähnt sei dabei der Gang der relativen Feuchte bei sich senkender Inversion oder beim Auftreten lokaler Einflüsse (Schneekar auf der Zugspitze): Auf diese Besonderheiten ist H. H a u e r in „Klima und Wetter der Zugspitze“ (1) bereits näher eingegangen.

Bei Strahlungswetter, das gar nicht durch eine ausgesprochene Hochdrucklage bedingt sein muß, zeigt der Wind im alpennahen Gebiet oft einen ausgeprägten

täglichen Gang. Der Wechsel der Windrichtung entspricht dabei dem lokalen Berg- und Talwind der Alpen mit Wind aus S bis SW während der Nacht, aus N bis NE am Tage, und reicht weit ins Vorland hinaus. Bei antizyklonalen Südwestlagen ist also beispielsweise tagsüber im Alpenvorland keineswegs eine südliche, sondern eine nördliche Luftströmung zu erwarten. Andererseits muß der Prognostiker diesem überlagerten Windsystem auch bei Lagen Rechnung tragen, die schon dem Gradient nach Nordostwind erwarten lassen und der nun bei Strahlungswetter, besonders im Sommer, um etwa 2 Beaufort verstärkt und dabei recht böig sein kann, was sich auch auf den Temperaturgang auszuwirken pflegt. Dieser Wechsel zwischen Berg- und Talwindkomponente ist auch in München oft gut nachweisbar und findet eine praktische Auswirkung z. B. bei Lagen mit winterlichem Hochdruckgebiet über dem Alpengebiet: Heiteres, föhniges und tagsüber mildes Wetter reicht dann oft bis in die südlichen Stadtteile, während im übrigen Stadtbereich neblig-trübes, kaltes Wetter herrscht.

Die bisher besprochenen Wettererscheinungen sind eher durch die Lage von Hochdruckgebieten bestimmt. Beim zyklonalen Geschehen hat der Süden in erster Linie die Tiefdruckgebiete der Zugstraße Vb als nicht zu häufigen, oft aber recht eindrucksvollen Beitrag zu bieten. Einzelheiten über solche Entwicklungen liegen in zahlreichen Arbeiten vor (2). Die Erfahrungen des synoptischen Dienstes lassen sich dahin zusammenfassen, daß jedes Vb-Tief einen ganz und gar individuellen Vorgang darstellt. Zwar sind an der Niederschlagsbildung jedes Mal, aber in immer wechselndem Ausmaß, unterschiedlicher Intensität und manchmal wechselnder Reihenfolge beteiligt: die Aufgleitvorgänge von SE oder S her, der Stau innerhalb der unteren Kaltluftströmung am Gebirge, das Verdrängen der Warmluft in der Höhe durch kältere westliche Luft, und in der wärmeren Jahreszeit in manchen Fällen — wenn sich nämlich das Tief langsam genug fortbewegt — die auf der Nordseite des Tiefs herumgreifende östliche Warmluft, die dann mit nördlichen Winden gegen das Gebirge geführt wird und, als Folge der Stauwirkung und des besonders hohen Wasserdampfgehaltes dieser Luft, zu besonders ergiebigen Niederschlägen führt. Dieser letztere Vorgang wird oft erst dann wirksam, wenn die Niederschlagstätigkeit bereits ihrem Ende zuzugehen scheint. Alle diese Erscheinungen schwanken in weiten Grenzen, zwischen nur vorübergehender Störung und Hochwasserkatastrophe; sie bewirken, daß jedes dieser Tiefdruckgebiete auch vorhergesagemäßig als Individuum behandelt werden will.

Ähnlich wie bei anderen Goßwetterlagen neigen manche Jahre gar nicht zu Vb-Entwicklungen, in anderen Jahren treten sie dagegen immer wieder auf. Die Vorbedingungen für diese Neigung oder Abneigung zu ergründen, scheint mir eine Aufgabe der Zirkulationsforschung und der langfristigen Vorhersage zu sein.

Das erste Anzeichen für das Übergreifen eines Tiefs vom Mittelmeer auf die Alpennordseite ist hier ein Wolkenaufzug (ci - cis - as) von S oder SE her, der sich oft sehr schnell verdichtet und zu der Annahme verleiten kann, daß es nun endgültig trübe bleibt und das Einsetzen von Niederschlägen nur mehr eine Frage weniger Stunden sein kann. Statt dessen pflegt schon nach kurzer Zeit wieder merkliche Wolkenauflockerung, ja völliges Aufheitern zu folgen, und dieser Wechsel wiederholt sich meist mehrere Male, während der Luftdruck mehr oder weniger stark, und oft in ausgeprägter Stufenform, fällt. Erfahrungsgemäß erfolgt also der Vorstoß feuchter Warmluft in der Höhe in einzelnen Pulsationen, die durch Abschnitte des Erlahmens dieser Vorstöße, oft auch durch föhnige Vorgänge deutlich voneinander abgesetzt sind. Nicht immer muß sich diese Entwicklung auf den Alpengipfeln durch Südostwind anzeigen, wie Hauer erwähnt hat (1, S. 122). Besonders im Winter und Frühjahr ist diese Windrichtung vor Mittelmeerstörungen keineswegs die Regel.

Ein wirksames Aufgleiten der Warmluft hat zur Voraussetzung, daß nicht nur diese Luftmasse, sondern auch die darunter befindliche Kaltluft eine größere vertikale Mächtigkeit aufweist. Die vorherzusagende räumliche Verteilung der Nieder-

schlagsintensität wird also häufig die größten Regenmengen nicht in unmittelbarer Warmfrontnähe, sondern viel weiter westlich zeigen.

Auch wenn einem über Oberitalien oder der Adria liegenden, noch lebenskräftigen Tief der Weg auf der eigentlichen Zugstraße Vb blockiert wird — etwa durch gleichzeitigen Druckanstieg nördlich der Alpen bzw. über Österreich und Ungarn — entsteht für Alpen und -vorland oft noch eine Schlechtwetterlage. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn mit dem Druckanstieg ein vom Azorenhoch nach Nordeuropa weisender Keil südwärts schwenkt, weil dann die Strömung zumindest in den unteren 2000 bis 3000 m eine Nord- bis Nordostkomponente erhält. Wenn dabei östliche Warmluft einbezogen wird, können selbst bei hohem Druckniveau noch recht beträchtliche Niederschläge fallen.

Zu den zahlreichen Möglichkeiten, mit denen Kaltfronten wetterwirksam werden können, gesellen sich im Alpengebiet noch einige weitere, die durch Stau oder Föhn bedingt werden. Dabei entscheidet oft eine Änderung der Windrichtung um 10 bis 20° darüber, ob eine Föhn- bzw. Staulage zustandekommt oder nicht. Darin liegt für die Vorhersagen manchmal eine ganz wesentliche Fehlerquelle, denn die Schwankungsbreite von 20° in der Windrichtung liegt außerhalb der prognostischen Erfassbarkeit.

Dagegen kann dem Verhalten des Windes auf Bergen bei Kaltfrontdurchgang durchaus eine prognostische und praktische Anwendbarkeit zukommen. Kaltfronten

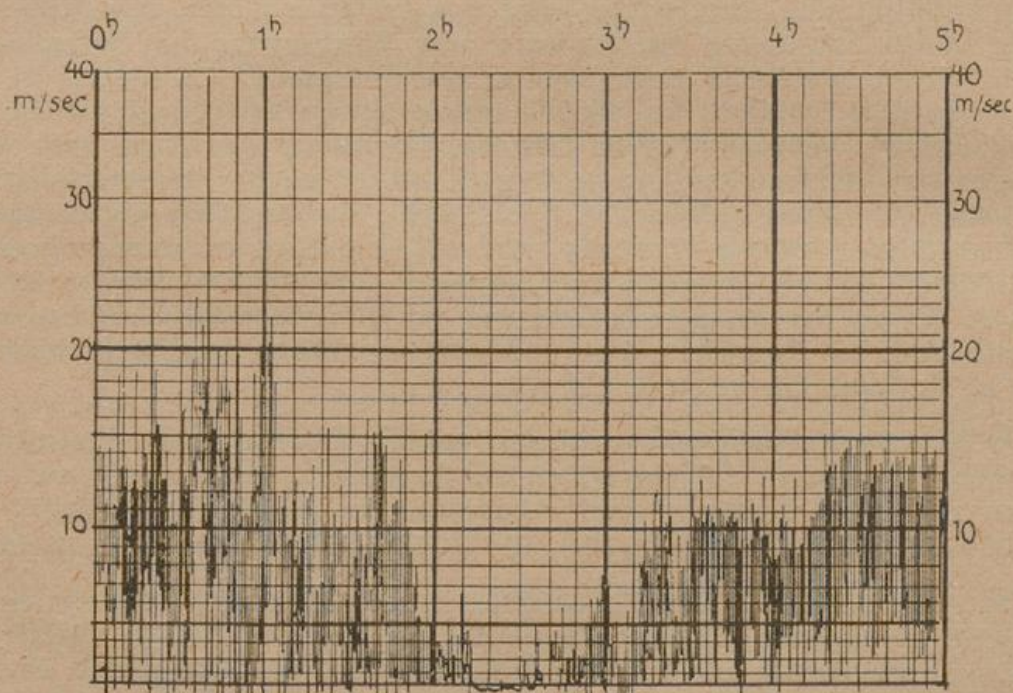


Abb. 2 Windgeschwindigkeit auf der Zugspitze am 10. II. 1949

sind in freien Hochlagen oft von einer deutlichen Geschwindigkeitsabnahme des Windes begleitet oder gefolgt. Diese Abnahme der Windstärke, die auch bei Sturmlagen häufig sehr ausgeprägt ist, erstreckt sich auf eine Größenordnung von 1 bis 2 Stunden und reicht vielfach gerade aus, um mit den Bergbahnen einen größeren Teil der Fahrgäste wieder zu Tal zu bringen. Andererseits gilt es für den Vorhersagedienst, bei der Betriebsleitung der Bergbahn nicht die Annahme aufkommen zu lassen, daß der Sturm mit diesem Abflauen überhaupt vorüber sei, denn anschließend frischt der Wind meist erneut stark auf, oft auf Sturmesstärke, und ähnelt damit in seinem Verlauf den bekannten Vorgängen auf See und im Küstengebiet, wo der Wind nach Kaltfrontdurchgang ebenfalls abflaut und der eigentliche Sturm oft erst später, mit Annäherung des „Drucktroges“, losbricht. Als Beispiel zeigt

Abbildung 2 das Abflauen des Windes auf der Zugspitze bei der Sturmlage vom 10. II. 1949, der Kaltfrontdurchgang erfolgte gegen 2 Uhr.

Um diese Erscheinung für Vorhersagen und Warnungen wirklich ausnutzen zu können, ist leider das synoptische Netz im Alpenraum zu weitmaschig. Man müßte ja möglichst schnell erfahren, wann die Front den einzelnen Ort — in Nähe einer Bergbahn — passiert hat, und dabei kann man in den Alpen nicht so großzügig zwischen zwei Punkten zeitlich interpolieren wie im Flachland. Wer einmal einen Kaltlufteinbruch im Hochgebirge, aus der Gipfelperspektive, erlebt hat, wird diesen Vorgang sein ganzes Meteorologendasein lang nicht vergessen. In seiner Plastik gleicht er oft einem Modellversuch von sehr großen Ausmaßen, wenn sich ein Tal nach dem anderen von unten her mit der Kaltluft anfüllt, bis es dieser gelingt, auf das nächste Tal „überzugreifen“, über den trennenden Bergrücken hinweg, der 1000 oder 1500 m hoch dazwischenliegen mag. Und dabei treten die verschiedensten Modifikationen auf, deren Grenzfälle durch die Lage des trennenden Gebirgsstockes parallel oder quer zur eigentlichen Bewegungsrichtung der Kaltluft gegeben sind.

Auch wer im Gebirge von einer kräftigen Kaltfront überrascht worden ist, wird das Erlebnis nicht so leicht vergessen. Für eine Stunde oder länger kann das begleitende Gewitter im benachbarten Tal wüten und sich talab und talauf bewegen, so daß man schon hoffen mag, es kommt überhaupt nicht in das eigene Tal oder auf die eigene Bergseite. Wenn aber die Kaltluft mächtig genug angewachsen ist, dann braucht sie nur einige Minuten und manchmal noch weniger, bis sie das eigene Tal und die gegenüberliegende Bergseite erreicht hat.

Diese Vorgänge zeigen, daß der Meteorologe an die Dichte des synoptischen Stationsnetzes am oder im Hochgebirge andere Anforderungen stellen muß als im Flachland, wenn er an sich bekannte und durch Erfahrungen bestätigte Erscheinungen prognostisch verwerten will. Eine zeitliche Interpolation ist kaum durchführbar, wenn zwischen Iller und Isar, zwischen Oberstdorf und Garmisch keine weitere Station liegt, wenn es im gesamten deutschen Alpengebiet vom Allgäu bis zum Berchtesgadener Land nur 4 Talstationen gibt, und die Zugspitze die westlichste Bergwetterwarte dieses Bereichs ist.

Unwetter, also Schwergewitter, Hagel und orkanartige Böen, sind im Alpenraum, wie überhaupt in Mitteleuropa, zumeist an Südwestlagen und an Lagen mit „Höhentrog über Westeuropa“ gebunden. Entscheidend ist dabei das Heranführen bzw. „Überschwappen“ der höhenkalten Luft von SW und W bei gleichzeitig weiterer Erhitzung, advektiv oder durch Einstrahlung, der unteren Luftschichten. Der vor zwei Jahren von der Öffentlichkeit an das Wetteramt München herangetragene Wunsch, örtliche Hagelwarnungen auszugeben, dürfte kaum erfüllbar sein, wiederholt konnte aber schon in den Vorhersagen auf den möglichen oder voraussichtlichen Unwettercharakter von Gewittern hingewiesen werden. Bei diesen Lagen bilden die sommerlichen (Höhen-)Kaltfronten für den Warndienst besonders dann große Schwierigkeiten, wenn sie sich über einige Kartentermine hinweg „totstellen“. Wiederholt konnte beobachtet werden, daß sich solche Fronten bis in das Gebiet zwischen Augsburg und München auch bei sorgfältigster Analyse kaum noch verfolgen ließen, um dann nach ausreichender Aufheizung der unteren Schichten schlagartig zu einer starken Gewitter- und Böenfront aufzuleben. Das letzte Beispiel war dafür der 12. IX. 1954, dem Sturm fiel auf dem Chiemsee trotz rechtzeitiger Warnung ein Menschenleben zum Opfer.

Bei den Warnungen für die oberbayerischen Seen ist die Frage des richtigen Zeitpunktes oft recht schwierig, auch wenn der Zeitpunkt des erwarteten Frontdurchganges sicher erscheint. Wird verhältnismäßig früh gewarnt, so wird die Öffentlichkeit dazu verleitet, die Warnung wieder zu vergessen oder nicht ernst zu nehmen. Bei spät ausgegebener Warnung besteht dagegen die Gefahr, daß die Segler das Ufer nicht mehr rechtzeitig erreichen, da den Stürmen häufig eine ausgesprochene Flaute vorausgeht. Dem wiederholt geäußerten und verständlichen Wunsch, auch Entwarnungen zu geben, kann bei der heutigen Dichte des Stationsnetzes leider nicht entsprochen werden.

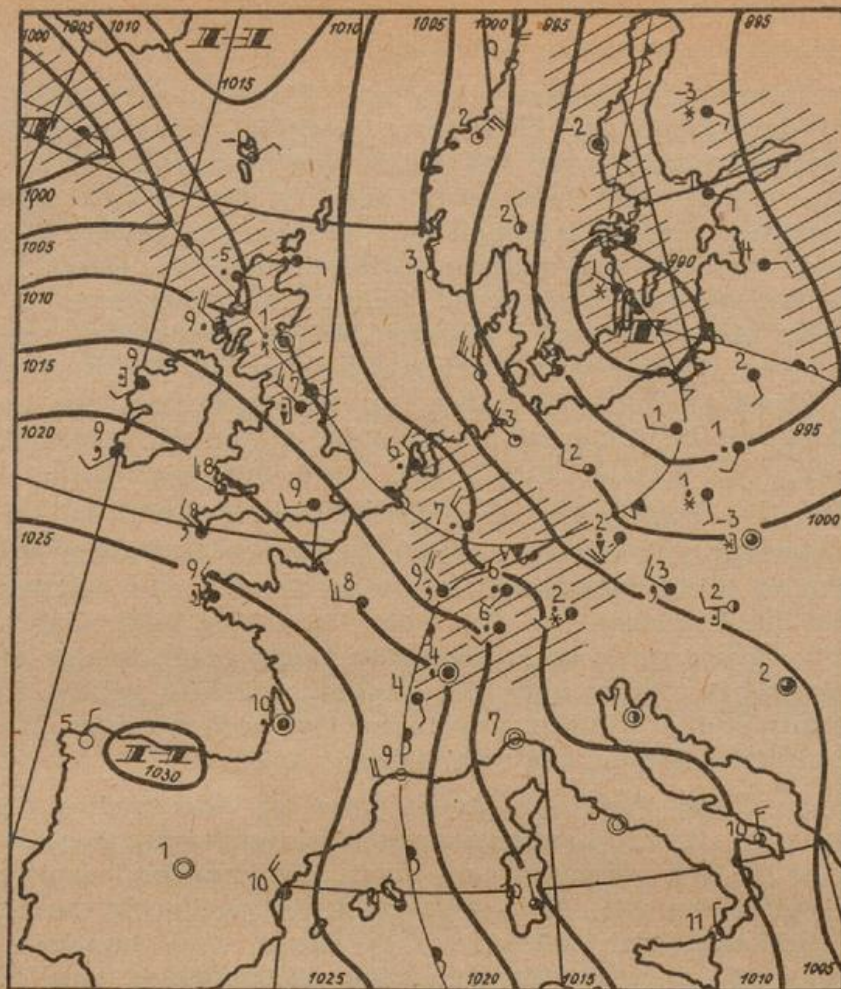


Abb. 3 Wetterlage 20. Januar 1951, 7 Uhr

Wichtig ist auch der winterliche Warndienst bei Lawinengefahr, die sich besonders bei starken Schneefällen, großen und schnellen Temperaturschwankungen sowie bei raschem Wechsel zwischen Regen und Schneefall einstellt. Diese Bedingungen sind meist an West- und Nordwestlagen mit schnell aufeinanderfolgendem Einströmen von Luftmassen subtropischen und polaren Ursprungs gebunden. Die Voraussetzungen waren z. B. in den Tagen vom 20. bis 22. I. 1951 erfüllt (Abb. 3), als die 24stündige Niederschlagsmenge in den Alpen bis zu 125 mm erreichte! Dieser Warndienst ist einer der Gründe, die es ratsam erscheinen lassen, die täglichen Schneemeldungen des Wintersportwetterdienstes wenigstens für das Alpengebiet in der Hand des Wetterdienstes zu behalten, so daß diese frühzeitig und regelmäßig vorliegen und laufend auf ihre Zuverlässigkeit überwacht werden können.

Daß der Straßenwetterdienst oft einen beträchtlichen Umfang annimmt, ist bei der Ausdehnung, dem Straßennetz sowie den ausgeprägten winterlichen Wettererscheinungen des Vorhersagebereichs (Südbayern) nicht verwunderlich. An manchen Tagen waren hierzu schon mehr als hundert Anfragen zu beantworten.

In zahlreichen Fällen gehen die Aufgaben des Vorhersagedienstes weit über die Grenzen des Wetteramtsbereiches hinaus. Neben häufigen Auskünften für den ins Ausland gerichteten Reiseverkehr und für Auslandsgastspiele von Circusunternehmen sind für Exportfirmen regelmäßige Vorhersagen für zahlreiche europäische Länder sowie Nordafrika zu geben. Darüber hinaus hat sich bei den Vorhersagekarten, die in Zeitungen veröffentlicht werden, die Notwendigkeit ergeben, neben den Fronten und Isobaren etwas zu geben, was auch dem nicht an Wetterkarten gewöhnten Leser etwas sagt, nämlich die Temperaturen. Seit einigen Jahren werden daher in diese Zeitungskarten auch vorhergesagte Temperaturen für 14 Orte eingetragen. Als mittlere Abweichung der vorhergesagten von der tatsächlichen Tempe-

ratur ergab sich für den Sommer ± 1.6 , im Winter $\pm 2.3^0$. Wenn man bedenkt, daß die 14 Orte sich über ganz Europa verteilen, kann dieses Ergebnis kaum als ungünstig bezeichnet werden.

Zu den hauptsächlichen Aufgaben eines Vorhersagedienstes wird es aber weiterhin gehören, das Wettergeschehen im eigenen Bereich in seinen vielfältigen Eigenheiten zu erfassen sowie Erfahrungen darüber zu sammeln und — anzuwenden.

Literatur

- (1) Hauer, H.: Klima und Wetter der Zugspitze. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 16 (1950), S. 51.
- (2) Neuerdings z. B. Reichel, E.: Die Hochwasserregen im Donaugebiet vom 7. bis 11. Juli 1954. Beil. z. Schnellber. Dt. Wetterd. f. Südbayern, Juli 1954.

Zur Entwicklung der Wettervorhersage*)

von Hermann Flohn

(mit 2 Tabellen im Text)

Die systematische Entwicklung der Methoden der numerischen Wettervorhersage, die in den USA, England und in den skandinavischen Ländern in Gang gekommen ist, und an der sich der Deutsche Wetterdienst nach Maßgabe seiner Kräfte beteiligt, ist vielleicht das markanteste Ereignis der Meteorologie des 20. Jahrhunderts. Schauen wir zurück auf den Stand der Meteorologie zu Beginn dieses Jahrhunderts, so erscheint das berühmte Programm von Wilhelm Bjerknes (1), vor 50 Jahren in der Meteorologischen Zeitschrift veröffentlicht, von faszinierender Kühnheit. Damals war gerade unabhängig voneinander von Aßmann und Teisserenc de Bort die „obere Inversion“, die Stratosphäre, gefunden worden; noch fehlte jedes Verständnis für dieses Phänomen. Ekholm führte erstmals — nach kaum beachteten Versuchen von Brownow — in die Synoptik die Druckänderungskarten ein, Margules leitete die Energie der Stürme aus der horizontalen Luftdruckverteilung ab, und primitive klimatographische Betrachtungen füllten die Spalten unserer Zeitschriften. Da konzipiert ein Theoretiker der Physik die Wettervorhersage als Problem der klassischen Mechanik: Das Problem der Voraussage der künftigen Zustände der Atmosphäre kann mathematisch formuliert und gelöst werden, ohne daß hierzu die Kapazität eines Laplace'schen Dämons herangezogen werden muß. Wie kühn diese Auffassung war, wurde eigentlich erst viel später klar, als man mit Hilfe der dreidimensionalen Analyse einen Einblick in den vierdimensionalen Ablauf des atmosphärischen Geschehens erhielt (mit der Zeit als vierter Koordinate).

Ernsthaften Einspruch gegen die grundsätzliche Form dieser Hypothese erhoben nur Schmauß und Wigand (2) (1929), die die kolloidal-instabile Natur atmosphärischer Vorgänge in den Vordergrund stellten, die in der heutigen Entwicklung einer quantitativen Wolkenphysik eine Rolle spielt. Alle übrigen Einwände betrafen nicht die Grundvorstellung von V. Bjerknes, sondern nur die Frage der praktischen Durchführbarkeit des Programms, das zuerst (nach Exner) der Engländer L. F. Richardson 1922 — wenn auch mit unzureichenden Hilfsmitteln — in Angriff nahm.

Inzwischen ging die Synoptik ihren kurvenreichen Weg weiter. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts sah man meteorologische Fragen — ebenso wie der heutige Laie — meist eindimensional, mit der Zeit als einziger Veränderlichen; Goethe glaubte, aus dem Vergleich mehrerer gleichzeitiger Luftdruckkurven eine Änderung der Schwerkraft als Ursache erschließen zu können. Die (zweidimensionale) Isobarensynoptik der Zeit nach Dove hatte ihre Möglichkeiten zu Beginn des ersten Weltkrieges erschöpft. V. Bjerknes selbst führte dann mit seinen Mitarbeitern die Begriffe „Front“ und „Luftmasse“ zum Siege, der in den 30er Jahren bereits vollständig schien. Aber die zunehmende Kenntnis der dreidimensionalen Vorgänge führten allmählich zwingend zu einer Modifikation dieser Vorstellungen. Das Luftmassenschema aus der Epoche der indirekten Aerologie erwies sich als revisionsbedürftig. Die einst weitverbreitete Vorstellung von Luftsäulen, die über weite Strecken hin mit nur unwesentlichen Änderungen verschoben werden, ist unhaltbar geworden, seit wir die großen vertikalen Windscherungen laufend beobachten, die sich schon aus den längst bekannten Gleich-

*) Erweiterte Fassung von „Grundsätzliche Fragen der Wettervorhersage“, zuerst als Vortrag gehalten auf der Berliner Tagung der Meteor. Gesellschaft, 30. Sept. 1953.

gewichtsbedingungen von Margules und Stüve ergeben. Heute wissen wir, daß einmal durch Strahlungs- und Austauschvorgänge die thermischen Eigenschaften der Luftmassen schnell und grundsätzlich abgewandelt werden („Alterung“), und daß zum anderen ihre vertikale Stabilität durch dynamische Vorgänge — Divergenzen und Konvergenzen und die zugehörigen Vertikalbewegungen von der Größenordnung 1-10 cm/sec — raschen räumlich-zeitlichen Änderungen unterliegt. Ein konservatives Luftmassenschema wie das der Typhomologen steht mit dieser Dynamik der wirklichen Troposphäre in unlösbarem Widerspruch, aus dem auch alle Versuche mit einem revidierten Mehr-Frontenmodell (mit 3-8 Hauptluftmassen) nicht herausführen.

Auch der Begriff der Front hat zu lebhaften Diskussionen Anlaß gegeben, im Anschluß an Scherhags dialektisch zugespitzte Frage: „Warum gibt es in der Höhe keine Fronten?“ Zweifellos gibt es in der Höhe Übergangsschichten von einigen 100 km Breite, die wir im Anschluß an Bergeron als Frontalzonen bezeichnen; sie sind häufig — wenn auch nicht immer — diskontinuierlich begrenzt. Dieser Befund, wie ihn Palmén und J. Bjerknes (3) in eindrucksvollen Analysen darstellen, ist weitgehend identisch mit dem, was man früher mit dem Ausdruck Polarfront (oder Arktikfront, Tropikfront) bezeichnet hat. Andererseits führt die starke vertikale und horizontale Windscherung, die mit der Frontalzone verknüpft ist, zu dem strahlförmigen Windmaximum knapp unter der Tropopause, das als Jet-stream (Strahlströmung) in der heutigen Literatur viel diskutiert wird. In Deutschland war dieses Windmaximum prinzipiell bekannt: es ergab sich als selbstverständliche Folge der thermischen Gegensätze in der Frontalzone im Sinne der Margules-Stüve-schen Gleichgewichtsbedingung; ein neuer Begriff erschien uns daher nicht notwendig.

Neu aber war die bewußte Umkehr in der dualen Beziehung zwischen Wind und Druckfeld, wobei Rossby die Deutung vom Stromfeld her begann. Mit dieser „Philosophie der Chicagoer Schule“ wurde die ganze neuzeitliche Entwicklung bis zur numerischen Vorhersage überhaupt erst möglich, die auf dem Wirbelsatz von Rossby, erweitert von Ertel, beruht, der eine ähnliche fundamentale Bedeutung hat wie der Zirkulationssatz von V. Bjerknes. Ein wichtiger Beitrag zur heutigen Entwicklung ergibt sich aus dem Befund von H. Faust, daß das Windmaximum unterhalb der Tropopause hypergeostrophische Werte aufweist: dieser Befund läßt zentrale Fragen der Meteorologie in neuem Licht erscheinen (4). Es ist zweifellos ein Verdienst Raethjens, schon 1942 (5) die Frage nach der Ursache der Gliederung der Atmosphäre in nahezu barotrope Luftmassen und barokline Frontalzonen aufgeworfen zu haben, nachdem man lange Jahre hindurch diese Tatsache einfach als gegeben hingenommen hatte. Diese Frage nach dem Verhältnis zwischen Luftmassen und Frontalzone, die sich erweitert zu der nach der Herkunft der kinetischen Energie der Strahlströme, beleuchtet den methodischen Übergang von einer (unzureichenden) thermischen Deutung zur Kombination dynamischer und thermodynamischer Gedankengänge.

Die Ergebnisse der Rechenexperimente mit verschiedenen Modellen der Atmosphäre, die wir als „numerische Vorhersage“ bezeichnen, lassen die Bedeutung der Diskontinuitäten in einem neuen Licht erscheinen. Ein grobes Punktnetz mit einer Maschenweite von 300 km in der Horizontalen, 200-300 mb in der Vertikalen, in dem die Diskontinuitäten selbst verschwinden, liefert bereits recht befriedigende Resultate. Alle notwendigen Korrekturen der Analyse betreffen nicht die Fronten der Bodenkarte, sondern nur die Konturen der dreidimensionalen, kontinuierlich aufgefaßten und systematisch ausgeglichenen Luftdruckfelder. Damit rückt der Begriff der Diskontinuität erster Ordnung aus dem Mittelpunkt heraus an eine zweit- oder drittrangige Stelle. Gewiß behält der Frontbegriff seine Bedeutung für die Deutung begrenzter Wolkenfelder bei, spielt aber bei der Zyklogenese und Antizyklogenese und bei der Diskussion der allgemeinen Zirkulation keine wesentliche Rolle mehr. Begriffe, die vor 15-20 Jahren in der Synoptik eine zentrale Stellung einnahmen, wie Front und Luftmasse, haben so ihren Sinn gewandelt und an Bedeutung eingebüßt; in der Praxis bedeuten sie kaum mehr als nützliche Veranschaulichungen.

Heute hat die Luftmassensynoptik der Zeit zwischen beiden Weltkriegen ihre Möglichkeiten ebenso erschöpft, wie die Isobarensynoptik zu Beginn des ersten Weltkrie-

ges. Die Entwicklung der nächsten Jahrzehnte wird — auch wenn wir zunächst noch meist geostrophisch denken und rechnen — auf dem Begriff des Strömungsfeldes aufbauen, das sich durch Vektorgrößen wie Gradient, Divergenz und Rotation charakterisieren läßt. Wir dürfen diese Richtung wohl als Stromfeldsynoptik bezeichnen. Hier beginnt der Wirkungsbereich des Laplace'schen Dämons in Gestalt der elektronischen Hochgeschwindigkeits-Rechenanlage.

Das Bjerknes-Programm der numerischen Vorhersage von 1904 besticht nicht nur durch die Klarheit und Kühnheit der Gedankenführung, sondern auch durch die weite und richtige Vorausschau der Methoden und Probleme. Die Notwendigkeit einer numerischen Differenzenrechnung ist ihm ebenso klar wie die Größenordnung der Raum- und Zeitskala (ein Meridiangrad, eine Stunde). Als Hauptschwierigkeit sieht er die mathematische Berücksichtigung der Reibung: dieses Problem erscheint auch heute noch ungelöst, und wir haben nur eine unklare Vorstellung über den Lösungsweg. Sein Optimismus im Hinblick auf die mathematischen Schwierigkeiten erwies sich jedoch als nicht ganz berechtigt. Immerhin ist jetzt — nach den grundlegenden Arbeiten von Rossby, Charney, Eliassen u. a. — schon manche prinzipielle Schwierigkeit gelöst, und die heute verwendeten Gleichungssysteme sind nach einiger Einarbeitung mathematisch nicht allzu schwer zu durchschauen.

Die Ergebnisse der Vorausberechnung des Druckänderungsfeldes für 24 Stunden sind schon mit vereinfachten — und damit zweifellos unrealistischen — Modellen der Atmosphäre vielversprechend: Die Korrelationskoeffizienten zwischen beobachteter und berechneter Tendenz liegen im Bereich 0,7 bis 0,9. Damit sind mit einem Schlag die Ergebnisse der empirischen Vorhersagemethoden (deutsches Verfahren für die 24-stündige Bodenvorhersagekarte nach Scherhag 0,72 im Mittel von 6 Jahren) erreicht. Das ist nach zwei Richtungen hin von Bedeutung:

- 1) Das empirische Extrapolationsverfahren leistet für die Praxis nicht viel weniger als die Rechnung mit stark vereinfachten Atmosphärenmodellen. Es verdient daher nicht die abfällige Bezeichnung „vorsündflutlich“, andererseits sind seine Entwicklungsmöglichkeiten nur sehr begrenzt.
- 2) Bei der großen Zahl noch nicht verwirklichter Möglichkeiten der Verbesserung der numerischen Vorhersage (Verwendung eines voll baroklinen Modells, Berücksichtigung der diabatischen — dieser Ausdruck ist sprachlich gegenüber „nichtadiabatisch“ vorzuziehen — Effekte und der regional unterschiedlichen Reibung) ist für die Zukunft die Überlegenheit eines solchen Verfahrens gesichert.

Alle Anstrengungen zur Verbesserung der Kurzfristprognose müssen also auf dieses Gebiet konzentriert werden. Ähnliches gilt auch für die Mittelfristprognose: die Stockholmer Versuche, mit dem barotropen Modell eine 48- und 72-Stundenvorhersage zu erzielen, sind überraschend gut verlaufen, wenn auch ein endgültiges Urteil noch aussteht.

Was dürfen wir von dieser numerischen Vorhersagemethode erwarten? Auf jeden Fall liefert sie eine ins Gewicht fallende Verbesserung und Erweiterung der heutigen Vorhersagekarte, behebt jedoch nicht die Schwierigkeiten einer lokalen Punktvorhersage. Ihre zeitliche Ausdehnung ist noch unsicher: das ist eine Frage der Maßstäbe in Zeit und Raum. Infolge der Turbulenz der Atmosphäre (Lettau, Sutton) übergreifen die uns interessierenden Vorgänge räumlich einen Bereich von 8 Zehnerpotenzen (von 1 cm bis 1000 km). Diese Skala führt in der Wettervorhersage zu einer charakteristischen spektralen Einteilung, wie sie ähnlich (unabhängig hiervon) kürzlich Sutcliffe (6) vorgetragen hat. Ein solches Spektrum (Tabelle 1) entspricht grundsätzlich der Einteilung der Klimatologie nach Geiger und Schmidt (1926).

Mikrosynoptik und Lokalsynoptik entziehen sich dem üblichen Beobachtungsnetz, ebenso wie Mikroklima und Lokal-(Klein-)klima. Die Vorhersage eines Gewitters ist grundsätzlich möglich, aber nur für einen Raum von vielleicht 1 km Durchmesser mit einem entsprechend dichten Netz von Beobachtungen und für eine Zeitspanne von $\frac{1}{2}$ Stunde; mit den üblichen Hilfsmitteln und in der Größenordnung der Regionalsynoptik läßt sich nur statistisch eine Gewitterbereitschaft vorhersagen. Ähnliches

Tab. 1. Einteilung der Synoptik nach den Maßstäben von Raum und Zeit.

	Charakt. Länge	Charakt. Zeit	Empirische Befunde	Physikalische Vorgänge und Begriffe	Art der Vorhersage
Mikrosynoptik	10^{-1} — 10^2 m	1—10 sec	Böigkeit	Turbulenz i. e. S., kolloidale Instabilität von Wolkenluft	—
Lokalsynoptik	10^3 — 10^4 m	10^3 — 10^4 sec	Wolkenformen, Schauer, Lokalwinde	Konvektion, thermodynamische Instabilität, kleinräumige Zirkulationen	Stundenvorhersage (1—3h)
Regionalsynoptik	1— $5 \cdot 10^5$ m	10^5 sec	Aufheiterungs- und Nieder- schlagsgebiete	Zyklogene und Antizyklogene, dynamische Instabilität	Kurzfristvorhersage (12—24h)
Makrosynoptik	1— $5 \cdot 10^6$ m	2— $5 \cdot 10^5$ sec	Steuerung, Witterung	Lange Wellen (R o s s b y-Wellen) der Westdrift	Mittelfristvorhersage (2—6d)
Globalsynoptik	10^7 m	10^6 — 10^7 sec	allgemeine Zirkulation, natürliche Jahreszeiten	Energiebilanz der Atmosphäre	Langfristvorhersage (>10 d)

gilt für andere Größenordnungen. Die Bögigkeit ist in der Größenordnung der Lokalsynoptik nur statistisch zugänglich; der einzelne Böenstoß ist grundsätzlich nicht vorhersagbar. Ebenso sind Eintrübung, Niederschlag und Aufheiterung im Bereich der Makrosynoptik nicht mehr vorhersagbar, und dasselbe gilt für Zyklogen und Antizyklogen vom Gesichtspunkt der Langfristvorhersage bzw. Globalsynoptik, wo sie als Turbulenzelemente der allgemeinen Zirkulation aufgefaßt werden. Es gibt verschiedene Größenordnungen des meteorologischen „Lärms“, wie Charney (7) die kleinräumigen Vorgänge bezeichnet hatte. Jedes Teilgebiet ist als statistisches Kollektiv in den höheren enthalten; eine ins Einzelne gehende Vorhersage ist nur unter den gegebenen zeitlich-räumlichen Einschränkungen möglich. Das Wesen der Statistik besteht (nach Schrödinger) in dem „weisen Verzicht auf Detailkenntnis“. Auf diese grundsätzlichen Schwierigkeiten der Wettervorhersage hat A. Schmauß (8) wiederholt hingewiesen; aber jede Generation von Meteorologen hat sich von neuem mit der Frage auseinandersetzen. Wir sehen dieses Problem nicht so sehr mit Schmauß als ein biologisches, sondern als ein statistisches im Sinne der Arbeiten von Kolmogoroff, Heisenberg, Lettau, Frenkiel und anderen über das Turbulenzspektrum, also als Problem der theoretischen Physik. Die hier gegebene maßstäbliche Differenzierung der Wettervorhersage hängt eng zusammen mit der Frage nach der Anwendbarkeit der bekannten Gleichgewichtsbedingungen der Physik der Atmosphäre (5), der statischen Grundgleichung (barometrische Höhenformel), dem geostrophischen Gleichgewicht zwischen Wind und Druckfeld und der Adiabatengleichung. Eine erste (nur als Diskussionsbasis gedachte) Überlegung über die volle, eingeschränkte oder fehlende Gültigkeit dieser Beziehungen (Tabelle 2) zeigt, daß jedes Glied dieser „Hierarchie der meteorologischen Systeme“ (Sutcliffe (6)) in spezieller Weise diese Gleichgewichtsbeziehungen benutzt; vielleicht liegt hierin die physikalische Begründung dieser Differenzierung.

Tab. 2 **Gültigkeit der atmosphärischen Gleichgewichtsbeziehungen**
 (+ = gültig, o = eingeschränkt bzw. teilweise gültig, — = ungültig).

Atmosph. Gleichgewicht:	statisch	geostrophisch	adiabatisch
Mikrosynoptik	—	—	o
Lokalsynoptik	o	—	—
Regionalsynoptik	+	o	o
Makrosynoptik	+	o	+
Globalsynoptik	+	o	—

Die Vorausberechnung eines künftigen Zustandes der Atmosphäre hängt — wie schon V. Bjerknes 1904 erkannt hat — ab von dem Maßstab, mit dem wir den augenblicklichen Zustand messen. Die Beziehungen zwischen Zeitskala und Raumskala hängen vom meteorologischen Standpunkt aus mit der Eigenschaft der Instabilität der Atmosphäre — der kolloidalen, der thermodynamischen und der dynamischen Instabilität — zusammen. Die kleinräumige kolloidale Instabilität der Wolkenluft hat in der numerischen Wettervorhersage keinen ins Gewicht fallenden Einfluß; sie entgeht einer Maschenweite von 300 km. Dem Einwand von Schmauß und Wigand kann heute nur mehr begrenzte Bedeutung (im Bereich der Mikrosynoptik, höchstens Lokalsynoptik) z. B. für die Niederschlagsauslösung in einer Wolke zugemessen werden. Andererseits wird die numerische Vorhersage bei der heutigen zeitlich-räumlichen Maschenweite des aerologischen Netzes wegen der thermodynamischen Instabilität niemals in der Lage sein, ein Gewitter nach Ort und Zeit vorherzusagen; ähnliches gilt für einen lokalen Nachtfrost. Zyklogenese und Antizyklogenese sind offensichtlich abhängig von der dynamischen (horizontalen) Instabilität; aus diesem Grunde erscheint

eine individualisierte Mittel- oder Langfristvorhersage, eine Wettervorhersage anstelle einer Witterungsvorhersage, auf numerischer Basis ebenfalls ausgeschlossen.

Es ergibt sich also vom Standpunkt der klassischen Mechanik aus wegen der drei Instabilitäten der Atmosphäre eine grundsätzliche zeitlich-räumliche Einschränkung der numerischen Wettervorhersage. Hierauf hat auch mehrfach in klarer Form T. E. W. Schumann (Pretoria) (9) hingewiesen, und R. C. Sutcliffe unterstrich in seiner ausgezeichneten Übersicht (10) diese natürlichen Grenzen der Vorhersage ebenso wie in allgemeinerer Sicht O. G. Sutton (11). Das Mehrkörperproblem der Himmelsmechanik, dessen geglückte Lösung man so oft dem Meteorologen entgegenhält, befaßt sich mit stabilen Systemen der Punktmechanik, bei denen eine Kraft — Die Gravitation — dominiert (11). Viel schwieriger ist die Lösung des Vielfelderproblems der Meteorologie, auch wenn es sich wegen der inneren Verknüpfung der Felder von Temperatur, Luftdruck und Wind in erster Näherung auf das Einfeldproblem der Vorhersage des dreidimensionalen Luftdruckfeldes zurückführen läßt.

Das Bjerknes-Programm kann nur innerhalb der Grenzen durchgeführt werden, die durch den vierdimensionalen (x,y,z,t) Abstand der Anfangswerte gegeben sind. Augenblicklich verwenden wir nur ein dreidimensionales System von Anfangswerten $(x,y,p = f(z))$ zur Zeit $t = t_0$. Damit verzichtet die Rechnung auf die durch Beobachtung gegebene Kenntnis der historischen Entwicklung für $t < t_0$, die in allen empirischen Vorhersagemethoden ausgiebig benützt wird. Hier ist noch eine Verbesserung denkbar, deren mathematische Form Hinkelmann (unveröffentlicht) untersucht hat; bei der Unsicherheit der Anfangswerte erscheint eine mathematische Überbestimmtheit als ein schätzungswertes Ziel.

Die numerische Vorhersage gelangt soeben erst in das Stadium der Erprobung; mit dem 1. 12. 1954 beginnt in Stockholm ein mehrmonatiger Großversuch im laufenden Dienst, Anfang 1955 ein ebensolcher in Washington. Heute können wir daher Möglichkeiten und Grenzen dieses Verfahrens noch nicht voll überblicken. Noch erscheint es zweckmäßig, bei der Aufklärung der Öffentlichkeit gegenüber zurückhaltend zu sein; der Außenstehende neigt zu einer falschen Einschätzung der Möglichkeiten. Auf dem Gebiet der Langfristvorhersage werden wir noch für absehbare Zeit auf statistische Methoden angewiesen sein, wenn auch eine Koppelung statistischer und theoretischer Verfahren aussichtsreich erscheint. Ein sehr wichtiger Punkt kommt hinzu: nach den neuen, statistisch jedenfalls im Prinzip gesicherten Untersuchungen über die Rolle der solaren Aktivität in der Troposphäre (Düll u. a.; vgl. (12)) darf die Atmosphäre nicht mehr streng als geschlossenes System mit konstanter Energieeinnahme betrachtet werden, wenn dieser Einfluß auch keinesfalls überschätzt werden darf. Dies bedeutet — neben den erwähnten Instabilitäten — eine weitere grundsätzliche Einschränkung des Bjerknes-Programmes.

Was liefert die numerische Vorhersage? Sie liefert zunächst eine Serie objektiver Vorhersagekarten, abgeleitet unter Vernachlässigung so wesentlicher Dinge wie Erwärmung und Abkühlung, Kondensation und Niederschlag, die erst in einem späteren Stadium vielleicht berücksichtigt werden können. Sie überläßt es dem Meteorologen, daraus eine Wettervorhersage zu machen; selbst die an sich mögliche Ableitung der für die Vorhersage von Bewölkung und Niederschlag so entscheidenden vertikalen Bewegungskomponente — von der Größenordnung cm/sec — hat bei einem Netz von 300 km Maschenweite so viele Fehlerquellen, daß eine substantielle Verbesserung der Wettervorhersage auf diesem Wege nicht sofort erwartet werden darf. Auch in Zukunft werden wir nicht über eine Wahrscheinlichkeitsaussage hinauskommen, deren räumlich-zeitliche Einschränkung durch die oben erwähnten Instabilitäten gegeben ist; diese grundsätzliche unüberschreitbare Schranke müssen wir dem Nichtmeteorologen immer wieder vor Augen führen.

Eine ganze Kette von Problemen für den praktischen Wetterdienst ergibt sich aus dieser Entwicklung. Wir müssen den viel zu umständlichen Weg von der Beobachtung bis zur Vorhersage beschleunigen. Hierzu gehört — von allen Nachrichtenproblemen hier einmal abgesehen — das Problem einer objektiven mechanisierbaren Analyse des dreidimensionalen Druck- oder Stromfeldes (13). Eine solche Analyse ist bei einem

dichten Netz von fehlerfreien Beobachtungen (am Boden und in der freien Atmosphäre) grundsätzlich und auch technisch möglich. Aber sind unsere Beobachtungen wirklich fehlerfrei? Die Ausschaltung der unvermeidbaren Beobachtungs- und Übermittlungsfehler durch die Maschine dürfte schwer, praktisch wohl unmöglich sein. Wichtiger aber ist der Hinweis, daß auf dem Ozean eine Verdichtung des heutigen aerologischen Netzes um einen Faktor 10 außerhalb jeder ökonomischen Möglichkeit liegt. Hier werden wir immer bei der Analyse den Zeitfaktor berücksichtigen müssen — das kann die Maschine vielleicht auch —, ebenso aber auch die empirischen Unterlagen der indirekten Aerologie. Die völlige Ausschaltung des erfahrenen Meteorologen aus dem Weg von der Beobachtung bis zur Serie numerischer Vorhersagekarten wäre nach meiner persönlichen Auffassung — über die man streiten kann — ein Fehlgriff. Eine weitgehende Objektivierung und Verfeinerung der Analysenmethoden ist aber — ebenso wie die Beschleunigung und Vereinfachung aller Übermittlungswege — eine notwendige Voraussetzung jeder künftigen Entwicklung. Wir werden in dieser Richtung keine Anstrengungen scheuen dürfen.

Heute befindet sich die Meteorologie in einem Stadium rapider Entwicklung auf fast allen Sektoren. Diese ist gekennzeichnet durch einen Übergang von der beobachtenden Meteorologie zur rechnenden Meteoronomie; über deren grundsätzliche Schranken haben wir uns hier Klarheit zu schaffen versucht. Empirie und Theorie müssen hierbei ebenso Hand in Hand gehen, wie experimentelle und theoretische Physik. Diese Forderung verlangt im Bereich der mitteleuropäischen Meteorologie — die die entschlossene Wendung zur Theorie nur zögernd mitgemacht hat — von manchem das Verlassen gewohnter Gleise, und eine solche Umstellung geht nie ohne Diskussion vor sich.

Im gegenwärtigen Stadium ist Stillstand gleichbedeutend mit Rückschritt. Neue Wege stehen offen: sehen wir zu, daß wir uns den Zutritt nicht verbauen durch Beharren auf überholten Traditionen. Die Meteorologie befindet sich mitten auf dem entscheidenden Weg zur exakten Naturwissenschaft; O. G. Sutton hat in seiner ungemein anregend formulierten Ansprache vor der Royal Meteorological Society (11) Möglichkeiten und Grenzen dieser Entwicklung geschildert. Diese Ausführungen sollen den einen oder anderen Meteorologen, der in der Anspannung des pausenlosen Betriebs abzustumpfen droht, zum Nachdenken anregen, zur Besinnung über Hintergründe und Möglichkeiten der künftigen Entwicklung. Diese wird — das darf bei aller Zurückhaltung vorausgesagt werden — weder einen Meteorologen überflüssig machen, noch andere ernsthafte Einsparungen herbeiführen. Aber sie wird im Laufe der Zeit die Leistungsfähigkeit des Wetterdienstes merklich erhöhen. Das allein muß uns veranlassen, diesen Arbeiten in den nächsten Jahren die erste Priorität zuzuteilen. Nur auf diese Weise können wir hoffen, anknüpfend an die einstige Rolle der deutschen Meteorologie, den Anschluß an die moderne Entwicklung nicht zu versäumen.

Literatur

- (1) Bjercknes, V.: Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkt der Mechanik und der Physik. Meteor. Z. **21**, 1 (1904).
- (2) Schmauß, A., u. Wigand, A.: Die Atmosphäre als Kolloid. Braunschweig (1929).
- (3) Bjercknes J., u. Palmén, E., in: Compendium of Meteorology. Boston (1951), 577.
- (4) Faust, H.: Die Strahlströme als Erscheinungen der Nullschicht. Meteor. Rdsch. **7**, 161 (1954).
Hollmann, G.: Zur Frage des Nullschichteffekts und der Strahlströme, Meteor. Rdsch. **7**, 166 (1954).
- (5) Raethjen, P.: Einführung in die Physik der Atmosphäre. Bd. II, Leipzig - Berlin (1942).

- (6) Sutcliffe, R. C.: Predictability in Meteorology. Arch. Meteor. Geophys. Biokl. A 7, 3 (1954).
- (7) Charney, J. G.: On the scale of atmospheric motions. Geofys. Publ. 17, Nr. 2 (1948).
- (8) Schmauß, A.: Das Problem der Wettervorhersage. 5. Aufl. Leipzig (1945), bes. Kap. 18.
- (9) Schumann, T. E. W.: The fundamentals of weather forecasting.. Weather 5, 220 u. 248 (1950).
- (10) Sutcliffe, R. C.: Principles of synoptic weather forecasting. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 78, 291 (1952).
- (11) Sutton, O. G.: The development of Meteorology as an exact science. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 80, 328 (1954).
- (12) Flohn, H.: Solare Vorgänge im Wettergeschehen. Arch. Meteor. Geophys. Biokl. A 3, 303 (1951).
- (13) Bellamy, J. C.: Automatic processing of geophysical data. In: Landsberg, H.: Advances in Geophysics, 1, 1 New York (1952).

Studien zur Wettervorhersage

von Heinrich Faust

(mit 3 Tabellen im Text)

Zusammenfassung: Aus den bisherigen Untersuchungen des Verfassers wurden diejenigen Ergebnisse zusammengestellt, die in der Praxis der täglichen Wettervorhersage angewandt werden können. Die Ausblicke, die sich aus dynamischen Untersuchungen über den ageostrophischen Massenfluß in der freien Atmosphäre für die Praxis ergeben, werden angedeutet.

Um eine Verbesserung der täglichen Wettervorhersage zu erreichen, ist es nötig, erst einmal zu wissen, welcher Art die Fehler sind, die bei der Abfassung der Vorhersage durchschnittlich gemacht werden. Eine statistische Untersuchung der vom ehemaligen Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone herausgegebenen Vorhersagen und Vorhersagekarten der Jahre 1951 und 1952 (1) lieferte interessante Einblicke. Danach machen die Ursachen für Fehlvorhersagen, die in einer Verkennung der Entwicklung des Druckfeldes liegen, nur 18% aller Ursachen für Fehlprognosen aus. Der weitaus größte Teil der Fehlvorhersagen hat seine Ursache in der Unmöglichkeit, Anhaltspunkte über die zu erwartenden Vertikalbewegungen zu gewinnen; dabei entstehen allein 35% aller Fehlvorhersagen infolge Verschätzung der Labilitätsverhältnisse.

In den genannten 18% sind Fehlvorhersagen auf Grund einer falsch angenommenen Frontenlage nicht enthalten. Da Fälle mit zu gering angenommener Frontgeschwindigkeit mehr als doppelt so häufig sind wie die Fälle mit zu groß angenommener Frontgeschwindigkeit, wies Prof. Scherhag in einer Diskussionsbemerkung darauf hin, daß schon eine geringe Verbesserung der Vorhersage dadurch entsteht, daß man allgemein die Frontgeschwindigkeit etwas höher ansetzt als bisher. Auch das Absinken in frisch eingeflossenen Kaltluftmassen wird im Durchschnitt zu sehr unterschätzt. Es werden dann oft Schauer zu unrecht vorhergesagt. Eingetretene, aber nicht vorhergesagte Schauer gehören zu den Seltenheiten. Dies ist eine Folge davon, daß man besonders im Sommer Kaltluftmassen als labil und Warmluftmassen als stabil ansieht (vgl. S. 90).

Da sich jedoch die wirklich in der Atmosphäre vorhandene Labilität nicht nur nach der thermischen Labilität, sondern auch nach der Feuchte in der freien Atmosphäre richtet, beschreibt die rein thermische Labilität die wahren Verhältnisse nur sehr unvollständig. Es wurde daher ein neues Maß der tatsächlich vorhandenen Labilität hergeleitet (2), das auf der physikalischen Tatsache beruht, daß die Feuchtigkeit der in trockenere Höhen aufsteigenden Wolkenluft allmählich in diese verdunstet. Dieses neue Labilitätsmaß wurde daher „Verdunstungslabilität“ genannt. Die Kurve J der „Verdunstungslabilität Null“ im Stüve-Papier, also der wirklich in der Atmosphäre vorhandenen Indifferenz, geht natürlich ebenfalls durch den Kondensationspunkt, liegt aber um so näher bei der Trockenadiabaten, je trockener, und um so näher der Feuchtadiabaten, je feuchter die umgebende Luft ist. Für den praktischen Gebrauch im täglichen Dienst wurde eine Tabelle errechnet (3), die das Kondensationsniveau einheitlich im 850-mb-Niveau annimmt. Eingänge in die Tabelle sind die mittlere Taupunktdifferenz $\Delta\tau$ zwischen 850 und 500 mb (oben) und die Temperatur in 850 mb (links). Die Tabelle liefert den Temperaturwert in 500 mb, für den die Schichtung indifferent wäre. Liegt die wirkliche Temperatur in 500 mb a Grad tiefer (höher) als der aus der Tabelle entnommene Wert, so herrscht Labilität (Stabilität) vom Betrage a.

Tab. 1

Temp. b. 850 mb	$\Delta \tau$															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
20 ⁰	0	0	-1	-2	-3	-4	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13
19	-1	-2	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14
18	-2	-3	-4	-5	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-11	-12	-13	-14	-15
17	-4	-5	-5	-6	-7	-8	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-14	-15	-16
16	-5	-6	-7	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-17
15	-7	-8	-8	-9	-10	-11	-11	-12	-13	-14	-14	-15	-16	-17	-18	-19
14	-8	-9	-10	-10	-11	-12	-13	-13	-14	-15	-16	-17	-17	-18	-19	-20
13	-10	-11	-11	-12	-12	-13	-14	-15	-16	-16	-17	-18	-19	-19	-20	-21
12	-12	-12	-13	-14	-15	-15	-16	-17	-17	-18	-19	-20	-20	-21	-22	-23
11	-13	-14	-15	-15	-16	-17	-17	-18	-19	-19	-20	-21	-21	-22	-23	-24
10	-15	-15	-16	-17	-17	-18	-19	-19	-20	-21	-21	-22	-23	-24	-24	-25
9	-16	-17	-18	-18	-19	-19	-20	-21	-21	-22	-23	-23	-24	-25	-26	-26
8	-18	-18	-19	-20	-20	-21	-21	-22	-23	-23	-24	-25	-25	-26	-27	-28
7	-19	-20	-20	-21	-21	-22	-23	-23	-24	-25	-25	-26	-27	-27	-28	-29
6	-21	-21	-22	-22	-23	-24	-24	-25	-25	-26	-27	-27	-28	-29	-29	-30
5	-22	-23	-23	-24	-24	-25	-26	-26	-27	-27	-28	-29	-29	-30	-31	-31
4	-24	-24	-25	-25	-26	-26	-27	-28	-28	-29	-29	-30	-31	-31	-32	-33
3	-25	-26	-26	-27	-27	-28	-28	-29	-29	-30	-31	-31	-32	-32	-33	-34
2	-27	-27	-28	-28	-29	-29	-30	-30	-31	-31	-32	-32	-33	-34	-34	-35
1	-28	-29	-29	-30	-30	-31	-31	-32	-32	-33	-33	-34	-34	-35	-36	-36
0	-30	-30	-31	-31	-32	-32	-32	-33	-33	-34	-34	-35	-35	-36	-37	-37
-1	-31	-31	-32	-32	-33	-33	-33	-34	-34	-35	-35	-36	-36	-37	-38	-38
-2	-32	-33	-33	-33	-34	-34	-35	-35	-36	-36	-37	-37	-38	-38	-39	-39
-3	-34	-34	-35	-35	-35	-36	-36	-36	-37	-37	-38	-38	-39	-39	-40	-40
-4	-35	-35	-36	-36	-36	-37	-37	-37	-38	-38	-39	-39	-40	-40	-41	-41
-5	-36	-37	-37	-37	-38	-38	-38	-39	-39	-40	-40	-40	-41	-41	-42	-42

Die Ungenauigkeit in der Tabelle liegt in der Festlegung des Kondensationsniveaus bei 850 mb. Nicht berücksichtigt sind Krümmungssinn der Isobaren sowie Konvergenzen und Divergenzen der Strömung. Der Einfluß derselben auf die Stärke der Verdunstungsstabilität kann nach folgendem Schema berücksichtigt werden:

Verbesserung ΔV der Maßzahl der Verdunstungsstabilität
(Boden):

	Krümmungssinn der Isobaren	Vergenz der Strömung	Intensität	ΔV
gewitterfördernd	zyklonal	Konvergenz	schwach stark	-1 -2
gewitterhemmend	antizyklonal	Divergenz	schwach stark	+1 +2

Dabei bedeutet „schwach“ („stark“) beim Krümmungssinn einen Krümmungsradius der Isobaren von > 250 (< 250) km; liegt der Krümmungsradius über 1000 km, so kann die Krümmung unberücksichtigt bleiben. Als „schwache“ Vergenzen können gelten solche zwischen 300 und 900 km²/h² pro 500 km, wobei der Vergenzwert bestimmt wird als halbe Differenz der Windgeschwindigkeitsquadrate 250 km vor und hinter der Station. Eine Abschätzung der Größe der Vergenz nach dem Augenmaß auf Grund des geometrischen Verlaufs der Isobaren ist unter allen Umständen zu vermeiden, weil sie fast immer zu Fehlschlüssen führt.

Die Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf den Boden. Will man zur weiteren Verbesserung noch die Verhältnisse in 500 mb heranziehen, so kann man dieselbe Korrektur des Labilitätsmaßes auch noch für das 500-mb-Niveau durchführen, wobei man die ΔV -Werte etwa mit halbem Gewicht ansetzt.

Vergenzen und Krümmungssinn der Isobaren ebenso die Verhältnisse am Boden und in 500 mb können z. T. gegeneinanderwirken.

Diese angegebene Methode, die eine rasche Bestimmung der Verdunstungslabilität ermöglicht, gestattet das Zeichnen von Labilitätskarten für ein bestimmtes Gebiet. Dabei ist nie zu vergessen, daß eine Labilitätskarte die Labilitätsverhältnisse nur zum Zeitpunkt des Aufstiegstermins wiedergibt. Ein Labilitätsgebiet kann sich innerhalb eines halben Tages neu bilden oder auflösen (4). Eine Labilitätskarte kann also nur prognostisch verwertet werden, wenn man zumindest eine Abschätzung der zu erwartenden Labilitätsänderung zusätzlich verwertet.

Bei der Labilitätsvorhersage für einen einzelnen Punkt lassen sich größere Genauigkeiten dadurch erzielen, daß man die wahrscheinliche Temperatur- und Feuchteverteilung mit der Höhe zum Vorhersagetermin möglichst genau vorhersagt, wobei man die Strömungsart in den unteren und oberen Schichten sowie den täglichen Temperaturgang in den unteren Schichten berücksichtigt. Die an dieser Zustandskurve bestimmte Verdunstungslabilität liefert dann einen guten Anhaltspunkt über die Labilitätsverhältnisse zum Vorhersagetermin. Weicht die Kondensationshöhe H_c mehr als 50 mb vom 850-mb-Niveau ab, so empfiehlt sich die genaue Bestimmung der Verdunstungslabilität durch Bestimmung der Temperaturdifferenz in 500 mb zwischen der realen Temperatur und der, bei der die 500-mb-Linie von der geglätteten Kurve J der Verdunstungslabilität Null geschnitten wird (5). Die Kurve J teilt die Fläche zwischen Trocken- und Feuchtadiabate durch den Kondensationspunkt und der 500-mb-Linie nach folgendem Verhältnis φ , das definitionsgemäß eine Funktion der mittleren relativen Feuchte \bar{U} zwischen H_c und 500 mb ist:

\bar{U} in %	100	90	80	70	60	50	40
φ (\bar{U})	0	0.05	0.12	0.20	0.29	0.40	0.52

Leider sind die gemachten Angaben vorerst nur verwertbar für Labilitätsvorhersagen von weniger als 24 Stunden. Sie führten aber auch zum Ziele, wenn es gelänge, eine vermutliche Zustandskurve für 24 oder 36 Stunden anzugeben. Hierbei spielen nicht nur Krümmungssinn der Isohypsen und Vergenzen eine Rolle, sondern auch die Temperaturänderungen, denen die strömende Luft unterliegt infolge der Einwirkung der Unterlage und der Änderung der breitenkreisbedingten Strahlungsverhältnisse. Für geradlinige meridionale Strömungen sind die entsprechenden Temperaturänderungen (Europa und Nordatlantik, Januar und Juli) bereits kartenmäßig dargestellt (6).

Das neue Maß der Verdunstungslabilität wurde auf verschiedene sommerliche Wettersituationen angewandt (4). Die wichtigsten Ergebnisse, die anhand der gleichzeitigen Wettererscheinungen geprüft und bestätigt wurden, sind folgende:

1. Kaltfronten bringen im Sommer häufiger eine nachfolgende Stabilisierung als Warmfronten, letztere häufiger eine nachfolgende Labilisierung als Kaltfronten (vgl. S. 88).

2. Im Sommer ist wegen des Absinkens die Rückseite eines Tiefs im Durchschnitt stabiler als jeder der anderen Sektoren, im Hoch ist die Ostseite am stabilsten.

3. Maritime Warmluft weist im Sommer im Durchschnitt eine geringere Stabilität auf als maritime Polarluft (weitere Regeln s. (4)).

So wie in einer einheitlichen Luftmasse das Wettergeschehen in erster Linie bestimmt wird von der Stärke der Verdunstungsstabilität, so auch im Frontbereich. Wenn man bedenkt, daß der Bereich, in dem sich das frontale Wettergeschehen abspielt, bisweilen 50 oder 100 km breit, die Troposphäre dagegen nur 10 km hoch ist, hat es schon einen Sinn, von der Schichtung im Frontbereich zu sprechen. Bei Kaltfronten eilt nach einer statistischen Untersuchung (7) in 89 % aller Fälle die Kaltluft in der Höhe voraus (aktive Kaltfronten). Selbst wenn man, auf einem Berge stehend, den Eindruck hat, als steige die wolkenbringende Kaltluft von unten her an, so erweist sich in vielen Fällen diese Kaltluft als die im Cumulonimbus durch Schmelzen der festen Niederschlagsteilchen entstandene und dann unter Erzeugung der Böenwalze später nach unten abgestürzte Kaltluft (8), die sich besonders in den Tälern ausbreitet. Während die herangeführte Kaltluft in großer Höhe schon zu Wolkenbildung geführt haben kann, ist die Ursache für den Schmid'schen Böenkopf, der so lange als experimenteller Beweis für die am Boden keilförmig einbrechende frontale Kaltluft galt, eine Folge der durch die Labilisierung produzierten, abstürzenden Kaltluft.

Aber durchaus nicht alle aktiven Kaltfronten zeigen labilen Charakter. Die in der Höhe erfolgende advektive Abkühlung braucht durchaus nicht bis zur Labilisierung zu führen. Dann erfolgt der Durchgang der Kaltfront wesentlich harmloser und ohne jegliche Anzeichen von Labilität. Diese stabilen aktiven Kaltfronten mit fast konturloser Wolkendecke, gleichförmigem Regen, ohne Schauer, Gewitter und Böen wurden fälschlicherweise meist als Okklusionen angesehen.

Die Labilität im Frontbereich kann sich erst nach einer gewissen Zeit einstellen (Haupttyp der aktiven Kaltfront), oder die Labilität der vorgelagerten Warmluft ist bereits so groß, daß der Frontdurchgang sofort mit stark labilen Erscheinungen einsetzt (labile aktive Kaltfront).

Bei den passiven Kaltfronten mit zuerst unten einbrechender Kaltluft gibt es einen geringen Prozentsatz (vorgelagerte Warmluft labil), bei dem es ebenfalls zu labilen Erscheinungen kommt.

Über weitere Sonderformen der Kaltfronten s. (9)!

Auch die Warmfronten müssen eingeteilt werden in stabile (WS) und die seltenen labilen (WL), zu denen es kommt, wenn die Hebungsabkühlung der aufgleitenden Warmluft Labilität in dieser auslöst. In das Aufgleitgewölk sind dann Cb eingelagert, die oft vom Boden aus nicht erkennbar sind. Maskierte Warmfronten sind durchaus nicht selten, haben aber meist nur eine kurze Lebensdauer (10).

Die Tatsache, daß oben voreilende Kaltluft eigentlich der Normalfall bei Kaltfronten ist, muß auch zur Abänderung des auf der alten Norwegischen Frontenvorstellung beruhenden Bildes von der Okklusion führen. Ein kurzer Versuch zur Klassifizierung der Okklusionen, die aus der Vereinigung von Warmfronten und aktiven Kaltfronten entstehen, ist in (11) gemacht. Allgemein ist zu sagen, daß eine Okklusion ein Gebilde mit einer Lebensdauer von höchstens 2—3 Tagen ist. In diesem Zeitraum ist die angehobene Warmluft in Höhen abgedrängt, wo sie völlig bedeutungslos ist. Die Okklusion wandelt sich dann in eine Kalt-, seltener in eine Warmfront um.

Zur Vorhersage der Maximalstärke F der oft so gefürchteten Gewitterböen hat sich für gewisse Fälle eine Formel bewährt (12, 13):

$$F \text{ (m/sec)} = 2 \Delta T \text{ (}^\circ\text{C)},$$

unter der Voraussetzung, daß vor dem Böendurchgang vom Boden bis zur Kondensationshöhe der Warmluft ein trockendiabatischer Temperaturgradient herrscht; dabei ist ΔT der plötzliche Temperatursturz beim Absturz des im Cb entstandenen

Tab. 2 Einteilung der aktiven Kaltfronten (KI) (in der Höhe voreilende Kaltluft)

Bezeichnung	Schichtung im Frontbereich	Schlechtwetter	Wetterfolge beim Frontdurchgang	Häufigkeit	Vorkommen
Stabiler Typ (KIS)	stabil	präfrontal	Aufkommen sich verdichtender Schichtbewölkung, zunehmender gleichförmiger Niederschlag (Windauffrischung) — Rasche Wetterbesserung bei Frontdurchgang	21%	überwiegend in der kalten Jahreszeit
Haupttyp (KIH)	erst stabil, dann labil	prä- und postfrontal	Aufkommen sich verdichtender Schichtbewölkung, zunehmender gleichförmiger Niederschlag — Plötzliche Böen, Übergang der Bewölkung in Quellformen, des Regens in Schauer, (Gewitter), langsame Wetterbesserung	52%	zu allen Jahreszeiten
Labiler Typ (KIL)	labil	postfrontal	Nach heiterem Wetter plötzlichliches Herankommen einer drohenden, schwarzen Wolkenwand, plötzlichliches Einsetzen von (sehr starken) Windböen und Starkregen, (Gewitter), langsame Wetterbesserung	16%	nur in der heißen Jahreszeit

Tab. 3 Einteilung der passiven Kaltfronten (K II)

(am Boden zuerst ankommende Kaltluft)

Bezeichnung	Schichtung im Frontbereich	Schlechtwetter	Wetterfolge b. Frontdurchgang	Häufigkeit	Vorkommen
Stabiler Typ (K II S)	stabil	postfrontal	Etwas in umgekehrter Reihenfolge wie beim stabilen Warmfrontdurchgang	8%	zu allen Jahreszeiten
Labiler Typ (K II L)	labil	postfrontal	Etwas wie beim Durchgang von K I L	3%	nur in der heißen Jahreszeit

Kaltluftkörpers, also beim Durchgang der Gewitterböe (12, 13, 8). Die Temperatur unmittelbar vor dem Böeneinsatz kann gut aus dem Tagesgang vorhergesagt werden, die nach dem Böendurchgang bleibt in zur Fortschreitungsrichtung der Böenerscheinung parallelen Streifen nahezu konstant, fast unabhängig von der Tageszeit, weil bei stärkerer mittäglicher Erhitzung der vorgelagerten Warmluft die Produktion von Kaltluft im Cb entsprechend heftiger ist. An den Stellen, wo ein abstürzender Kaltluftkörper auftritt, ist die Böe am stärksten; hier gilt die Formel mit dem Gleichheitszeichen. An den Zwischenstellen, zu denen sich die abgestürzte Kaltluft hin ausbreitet, ist die Böenstärke geringer, hier gilt das Zeichen $<$ in der Formel. Je stärker der vertikale Temperaturgradient der vorgelagerten Warmluft unterhalb H_c vom trockendiabatischen abweicht (besonders nachts!), desto weiter bleibt F unter dem Wert $2 \Delta T$. Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen lassen sich besonders für die mit starken Böen verbundenen labilen Kaltfronten ziemlich genaue Werte der örtlichen maximalen Windstärken vorhersagen.

Fronten im Allgemeinen werden im Bereich von Antizyklonen in ihrer Wetterwirksamkeit meist zu schwach prognostiziert (14). Dabei spielt der absolute Kerndruck des Hochs nur eine sekundäre Rolle, für den Grad der Abschwächung kommt es in erster Linie auf den in mb gemessenen Abstand des Frontteils vom Zentrum der Antizyklone an. Im Sommer wie im Winter ändert sich die Wirksamkeit einer Front, wenn sie von einem Sektor des Hochs in den anderen gelangt, nach folgendem Schema:

Front gelangt auf	Kaltfront	Warmfront
Ostseite des Hochs	Abschwächung	Verstärkung
Westseite des Hochs	Verstärkung	Abschwächung

Weitere Regeln über Fronten im Hoch in (14).

Die gefundenen Eigenschaften der Fronten sollten auch von der bioklimatologischen Forschung berücksichtigt werden insofern, als man die verschiedenen Untertypen der Kalt- und Warmfronten getrennt nach ihrer Einwirkung auf den menschlichen Organismus untersucht (15). Da sich gezeigt hat (16), daß hinsichtlich des Vertikalaustauschs und des Oxydationswertes, also zweier Größen, die in der Bioklimatologie eine wesentliche Rolle spielen, sich die Untertypen der Kalt- und Warmfronten untereinander weit stärker unterscheiden als die Gesamtheit der Kaltfronten von der der Warmfronten, erscheint es nicht mehr angebracht, die biotrope Wirkung „der Kaltfront“ oder „der Warmfront“ zu untersuchen. Die oft sehr verwaschenen Ergebnisse derartiger Untersuchungen dürften dann wahrscheinlich wesentlich klarer werden. Der Nachteil eines erschwerten Sammelns einer genügenden Zahl von Fällen sollte hierbei in Kauf genommen werden. — Der im Vorstehenden angedeutete Vorschlag zu einer kurzen symbolischen Bezeichnung der einzelnen Fronttypen, der in (9) auch für weitere Sonderfälle von Kaltfronten ausführlich dargestellt ist, kann als Grundlage für die Führung eines Frontentagebuches dienen.

Verhältnismäßig häufig werden die Lufttemperaturen bei Aufheiterung nach einer Schlechtwetterperiode zu tief vorhergesagt (1), was dafür spricht, daß der Prognostiker trotz richtig erkannter Aufheiterung sich von den bisherigen Verhältnissen nicht genügend frei machen kann. Eine statistische Studie (17) zeigte, daß ohne Eintritt eines Luftmassenwechsels im Hochsommer die Tageshöchsttemperatur am ersten Tag einer Aufheiterung um durchschnittlich 5 Grad höher liegt als am Vortag und daß nur von Anfang November bis Mitte Februar eine Abnahme gegenüber dem Vortag eintritt. Das Temperaturminimum der ersten wolkenlosen Nacht liegt im Sommer um 4 Grad, im Winter um 8 Grad unter dem Minimum der letzten bedeckten Nacht.

Zur Vorhersage der absoluten Topographie wird eine Vorhersage der relativen Topographie benutzt. Die Änderungsgebiete der relativen Topographie werden aber weitgehend beeinflußt einerseits von Absink- und Aufsteigbewegungen und andererseits von Einflüssen, die durch die Unterlage und die Änderungen der breitenkreisabhängigen Strahlungsverhältnisse bei meridionaler Luftversetzung entstehen. Die 24stündige Änderung der relativen Topographie 1000—500 mb kann bei hochreichender zyklonaler (antizyklonaler) Krümmung der Isohypsen —8 (+7) Dekameter überschreiten (18). Um Werte ähnlicher Größenordnung kann sich die relative Topographie bei geradliniger Meridionalbewegung ändern (19).

Die Unmöglichkeit der Erkennung von Vertikalbewegungen der Luft bildet den Hauptanteil der Ursachen für Fehlvorhersagen (S. 88). Vertikalbewegungen stehen in Zusammenhang mit ageostrophisch-horizontalen Bewegungen der Luft. In der Grundschicht findet infolge der Bodenreibung ein derartiger ageostrophischer Massenfluß statt, der vom hohen zum tiefen Druck gerichtet ist und daher die Druckgegensätze auszugleichen bestrebt ist. In nach oben abnehmender Stärke reicht dieser Fluß bis etwa $4\frac{1}{2}$ km Höhe (divergenzfreies oder äquivalentbarotropes Niveau); darüber setzt der entgegengesetzte ageostrophische Massenfluß (vom tiefen zum hohen Druck) ein, der in der Nullschicht, der Schicht des hochtroposphärischen Windmaximums, sein Maximum hat und der bestrebt ist, Druckgegensätze zu schaffen oder zu verstärken (20). Oberhalb der Tropopause kehrt sich die Richtung der strömungssenkrechten ageostrophischen Komponente erneut um, so daß hier ein zweites divergenzfreies Niveau liegt (21). Dem Maximum des ageostrophischen Flusses zum hohen Druck in Nullschichthöhe, dem Nullschichteffekt, entspricht der Befund, daß die Winde in der Nullschicht und ihrer Umgebung übergradientisch sind (Grundschicht: untergradientisch). Ebenso erweist sich der Wind in einem scharfen Maximum der vertikalen Windverteilung im Mittel als übergradientisch (22). Eine weitere Untersuchung bestätigte die Vermutung, daß dann auch folgerichtigerweise rechts von einem Windmaximum durch die Massenzufuhr Druckanstieg im gleichen Niveau, links durch die Massenabfuhr Druckfall eintritt (23). Damit scheint ein Weg zur praktischen Verwertung des Nullschichteffekts gewiesen zu sein. Es zeigt sich jedoch, daß die Stärke des Nullschichteffekts im Einzelfall nicht nur proportional der Stärke des horizontalen Druckgradienten ist (22, 24), sondern auch der Schärfe des Windmaximums (25) und einer weiteren noch unbekanntem Größe, die wahrscheinlich eine Funktion der Isohypsenanordnung ist. Erst wenn diese funktionale Abhängigkeit gefunden ist, läßt sich eine praktische Verwertbarkeit des Nullschichteffekts in der Praxis des Einzelfalls erhoffen, wobei man dann auch die für die Praxis der täglichen Wettervorhersage so wichtigen Intensitätsänderungen der Fall- und Steiggebiete des Luftdrucks im Hinblick auf die Stärke des Nullschichteffekts untersuchen müßte. Der Zusammenhang des Nullschichteffekts mit Vertikalbewegungen zeigt sich eindeutig in dem Ergebnis (23), nach dem auf der rechten Seite eines Windmaximums Absinken, auf der linken Seite Aufsteigen unterhalb des Niveaus des Windmaximums herrscht.

Infolge der ageostrophischen Strömungskomponente zum tiefen Druck unterhalb $4\frac{1}{2}$ km, besonders am Boden, müßten sich die Luftdruckgebilde innerhalb kürzester Zeit aufgelöst haben, wenn nicht der Nullschichteffekt die entgegengesetzte Wirkung hätte. Die Reibung am Boden ist (außer bei Windstille) immer vorhanden; die zum Tief einströmende Masse schwankt in gewissen Grenzen. Weit stärker sind aber die Schwankungen in der Stärke des Nullschichteffekts — er kann nicht nur fehlen, sondern scheint bisweilen sogar negative Werte anzunehmen. Dann kommt es zu einem raschen Ausgleich der Druckgegensätze. Der Massenhaushalt der Luftdruckgebilde ist fast ausschließlich eine Funktion der Differenz zwischen Nullschicht- und „Grundschichteffekt“. Da beide Effekte nicht antiparallel laufen, entstehen am Boden starke Druckschwankungen.

Daß die Nullschicht als Sitz des hochtroposphärischen Windmaximums und der Strahlströme auch von Bedeutung für die moderne Fliegerei ist, liegt auf der Hand.

Diese Gedankengänge zeigen die Wichtigkeit einer weiteren Erforschung des Nullschichteffekts.

Literatur

- (1) Faust, H.: Untersuchungen über Vorhersagekarte und Vorhersage. Meteor. Rdsch. 6, 82 (1953).
- (2) : „Verdunstungsstabilität“ — ein neues Maß der atmosphärischen Stabilität. Z. f. Meteor. 4, 97 (1950).
- (3) : Eine einfache Methode zur Bestimmung der Verdunstungsstabilität. Z. f. Meteor. 5, 66 (1951).
- (4) : Erfahrungen mit Karten der Verdunstungsstabilität (Sommer 1951). Meteor. Rdsch. 6, 20 (1953).
- (5) : Statistische Untersuchungen an Gewittern im frontfreien Raum. Ber. Dt. Wd. US-Zone Nr. 24, 43 (1951).
- (6) : Monatsmittel der Lufttemperatur am Boden und in den 850-, 700- und 500-mb-Höhen bei geradliniger Nord- und Südströmung. Ber. Dt. Wd. US-Zone Nr. 42, 230 (1952).
- (7) : Kaltfronten und Kaltfronttypen. Ber. Dt. Wd. US-Zone Nr. 12, 151 (1950).
- (8) : Über Entstehung und Energiequelle der Gewitterböen. Ber. Dt. Wd. Nr. 24, 25 (1951).
- (9) : Über Kaltfronten und ihre Einteilung. Ber. Dt. Wd. US-Zone Nr. 24, 3 (1951).
- (10) : Maskierte Warmfronten. Meteor. Rdsch. 5, 93 (1952).
- (11) : Die Notwendigkeit einer Revision unserer Anschauungen über die atmosphärischen Fronten. Pyramide 4, 95 (1954).
- (12) : Über einen Zusammenhang zwischen der Stärke der Spitzenböe beim Kaltfrontdurchgang und den beim Böenvorgang eingetretenen plötzlichen Temperatursturz. Meteor. Rdsch. 2, 217 (1949).
- (13) : Böenstärke und Temperaturfall bei Wärmegewittern. Meteor. Rdsch. 4, 68 (1951).
- (14) : Über die Wetterwirksamkeit von Fronten im Hochdruckgebiet. Meteor. Rdsch. 3, 170 (1950).
- (15) : Die Mannigfaltigkeit der atmosphärischen Fronten. Umschau 53, 225 (1953).
- (16) : Atmosphärische Fronten und Vertikalaustausch. Geofis. pura e appl. 19, 52 (1951).
- (17) : Extremtemperaturen bei Aufheiterungen nach einer Schlechtwetterperiode. Meteor. Rdsch. 4, 99 (1951).
- (18) : Änderung der relativen Topographie bei meridionaler Advektion und ein Vergleich zwischen advektiv und konvektiv bedingten Temperaturänderungen. Meteor. Rdsch. 6, 49 (1952).
- (20) : Die Nullschicht, der Sitz des troposphärischen Windmaximums. Meteor. Rdsch. 6, 6 (1953).
- (21) : Übergradientische Winde in der Nullschicht und das Problem der Strahlströme. Arch. Meteor. Geophys. Biokl. A (im Druck).
- (23) : Vertikale Änderung der skalaren Windstärke und Luftdruckänderungen. Meteor. Rdsch. (im Druck).
- (24) : Nullschichteffekt und Frontalzonen. Arch. Meteor. Geophys. Biokl. A 6, 334 (1954).
- (25) : Der Nullschichteffekt als Funktion der Schärfe des Maximums in der vertikalen Windverteilung. (Als Manuskript abgeschlossen.)

Probleme der numerischen Wettervorhersage

von Günther Hollmann

(mit 1 Abbildung im Text)

Einleitung

In den letzten Jahren hat sich ein neuer Zweig der angewandten Meteorologie sehr rasch entwickelt, die numerische Wettervorhersage. Sie beruht auf der numerischen Vorausberechnung von für die Wettergestaltung maßgebenden Feldgrößen mit Hilfe von der dynamischen Meteorologie entnommenen Differentialgleichungen. Der Gedanke einer numerischen Wettervorhersage ist keineswegs jüngerer Datums, sondern hat auch früher alle Meteorologen beschäftigt, die versucht haben, mit Hilfe der Methoden der mathematischen Physik Einblick in die atmosphärischen Prozesse zu gewinnen.

Viele Versuche sind von seiten der Theoretiker in der Vergangenheit unternommen worden, dem Prognoseproblem rechnerisch beizukommen, jedoch blieben sie erfolglos, so daß sich die Wettervorhersage gänzlich auf die sog. synoptischen Methoden stützen mußte, Methoden, die auf der Anwendung empirisch gewonnener, jedoch wissenschaftlich-theoretisch nur z. T. begründeter Regeln beruhen. In der Folge wurde daher ein sicher sehr gefährvolles Element in die Entwicklung der Gesamtmeteorologie hineingetragen, theoretische und synoptische Meteorologie gingen ihre eigenen Wege, bedienten sich verschiedener wissenschaftlicher Sprachen. Erst in neuester Zeit, seitdem die numerische Wettervorhersage einen wichtigen Platz in der Meteorologie einnimmt, beginnt sich der Gegensatz beider Arbeitsrichtungen auszugleichen.

Daß die numerische Wettervorhersage in der letzten Zeit einen Aufstieg erlebte, hat verschiedene Gründe, die teils wissenschaftlicher, teils technischer Natur sind. Hier sind vor allem folgende Faktoren maßgebend:

1. Wir besitzen heute ein recht gut entwickeltes, dreidimensionales Beobachtungsnetz, ohne das keine numerische Vorhersage erstellt werden kann.
2. Die Grundlagenforschung der dynamischen Meteorologie ist so weit fortgeschritten, daß sie in Form vereinfachter Differentialgleichungen sog. Modellatmosphären schaffen konnte, die die reale Atmosphäre weitgehend wiedergeben.
3. Durch die Entwicklung elektronischer Rechengерäte können die recht schwierigen und umfangreichen Rechnungen in einer für die synoptische Praxis annehmbaren Zeitspanne bewältigt werden.

Zeitproblem und Ausgangsmaterial

Die eigentlichen Probleme der numerischen Vorhersage kann man gliedern in ein Zeitproblem und ein Fehlerproblem.

Das Zeitproblem ist vorläufig nur hinsichtlich der eigentlichen Berechnungszeit befriedigend gelöst, indem die Berechnung einer vereinfacht baroklinen Vorhersage für 24 Stunden mit 400 Gitterpunkten keine 30 Minuten in Anspruch nimmt. Hingegen benötigt man zur Gewinnung des für die Rechnung notwendigen Ausgangsmaterials aus den Analysen gerechnet vom synoptischen Termin zur Zeit noch mehrere Stunden. Die Einführung neuer objektiver Analysenmethoden (numerical analysis) verspricht hier Abhilfe zu schaffen. Das Fehlerproblem umfaßt:

1. Fehler des Ausgangsmaterials wegen zu ungenauer Kartenanalyse,
2. physikalische Fehler wegen der Verwendung von Modellatmosphären,
3. mathematische Fehler wegen der Ersetzung der Differential- durch Differenzgleichungen.

Um Fehler des Ausgangsfeldes einzuschränken, benötigt man eine gut analysierte Karte im Sinne der Forderungen, wie sie die numerische Vorhersage verlangt, d. h. das Feld muß räumlich in der Größenordnung richtig sein, wie es durch die Maschenweite des verwendeten Gitternetzes erfaßt wird. Diese Maschenweite beträgt heute allgemein 300 km. Kleinräumige meteorologische Phänomene, deren räumliche Wiederkehr unter 300 km beträgt, können in der Analyse unterdrückt werden, obwohl sie für die Beurteilung des Einzelwetters von Bedeutung sind. Die Zielsetzung der derzeitigen numerischen Wettervorhersage besteht lediglich in der Erfassung jener großräumigen Vorgänge, die sich über einem wesentlich ausgedehnteren Areal als 300 mal 300 km² abspielen.

Aber auch die Beschaffung einer Analyse mit diesen nicht so großen Genauigkeitsansprüchen bereitet Schwierigkeiten. Der Synoptiker arbeitet mehr oder weniger gut ein Teil seiner persönlichen Meinung in die Karte hinein. Erleichtert wird ihm dies dort, wo wenige oder widersprechende Beobachtungsdaten vorliegen, also besonders über den ausgedehnten Seegebieten. Doch auch auf dem europäischen Kontinent gibt es Schwierigkeiten durch die Inhomogenität der aerologischen Daten wegen der in den einzelnen Staaten verwendeten unterschiedlichen Radiosondentypen. Die z. Z. nicht zu entbehrende „Meinung“ des Synoptikers beim Kartenanalysieren schafft eine nicht zu unterschätzende Fehlerquelle im Ausgangsmaterial, denn an den analysierten Karten werden anschließend mathematische Operationen vorgenommen. Es müssen interpolierend an den einzelnen Gitterpunkten die verlangten Daten, vor allem die geopotentielle Höhe der Isobarenflächen entnommen werden. Die mathematischen Operationen bestehen aber in der Bestimmung von Differenzenquotienten bis zur dritten Ordnung, die natürlich gegenüber Fehlern viel anfälliger sind als nicht-differenzierte Quantitäten.

Die Forderung nach besseren Kartenanalysen könnte z. T. durch Verdichtung des aerologischen Netzes über den Seegebieten und durch eine Standardisierung der aerologischen Meßgeräte erfüllt werden. Um aber zu einer objektiven Analyse zu gelangen, müßte die persönliche Auffassung des Meteorologen beim Analysieren ausgeschaltet werden, und in diesem Zusammenhang wird sogar von einigen Forschern radikal die Ausschaltung des Menschen bei der Erstellung der Analyse bzw. der Gewinnung der für die Rechnung erforderlichen Daten verlangt. Numerische Analyse nennt sich diese Arbeitsrichtung der numerischen Vorhersage und zielt auf ein „Objektivieren“ der Analyse ebenfalls mit Hilfe maschinell angewandter mathematischer Methoden ab. Wieweit sich dieses Vorhaben realisieren läßt, ist z. Z. nicht zu übersehen.

Vereinfachung der Gleichungen

Das vom meteorologisch-wissenschaftlichen Standpunkt wichtigste Problem ist das des zu verwendenden Modells. Die hydro-thermodynamischen Grundgleichungen sind derart kompliziert, daß ohne einschränkende Vereinfachungen auch mit den heute zur Verfügung stehenden Rechenautomaten eine Vorhersage nicht in der gewünschten Zeitspanne zu bewältigen ist. Daher war es sowohl vom theoretischen wie vom praktischen Standpunkt betrachtet von grundsätzlicher Bedeutung, ein handliches Gleichungssystem aus den Grundgleichungen zu entwickeln, welches einer praktischen Anwendung zugänglich ist und die tatsächlichen atmosphärischen Vorgänge möglichst gut wiedergibt.

Folgende zwei Gesichtspunkte waren für die neuere Dynamik richtungweisend:

- a) In der Vertikalen herrscht praktisch hydrostatisches Gleichgewicht. Diese Tatsache kommt mathematisch in der barometrischen Höhenformel zum Ausdruck und findet praktisch ihren Niederschlag in der Methode der Konstruktion der Topographien von Isobarenflächen, Berechnung von Druckhöhenkurven usw.

b) In mittleren Breiten sind die Abweichungen vom geostrophischen Gleichgewicht sehr klein. Die sog. geostrophische Approximation der horizontalen Geschwindigkeitskomponenten war die mathematische Konsequenz dieser Beobachtungstatsache. Physikalisch entspricht sie unter anderem der Elimination der kurzperiodischen, synoptisch weniger wichtigen Lärmvorgänge wie Gravitations-, Schall- und Trägheitswellen aus den Grundgleichungen.

Die Bedingung des hydrostatischen Gleichgewichts ermöglichte es, den Luftdruck p als unabhängige Koordinate an Stelle der vertikalen Raumkoordinate einzuführen und damit die horizontalen Bewegungsgleichungen

$$[1] \quad \begin{aligned} \frac{du}{dt} &= - \frac{\partial \varphi}{\partial x} + fv \\ \frac{dv}{dt} &= - \frac{\partial \varphi}{\partial y} - fu \end{aligned}$$

und die Kontinuitätsgleichung

$$[2] \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0$$

auf die gleiche Form zu bringen, wie die entsprechenden Gleichungen für inkompressible und homogene Flüssigkeiten. (Die in [1] und [2] verwendeten Symbole haben die folgende Bedeutung: u, v = Geschwindigkeitskomponenten in der x, y -Richtung, φ = Geopotential, f = Coriolisparameter, $\omega = \frac{dp}{dt}$). Dabei hat im „ p -System“ der individuelle Operator die Bedeutung

$$[3] \quad \frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \omega \frac{\partial}{\partial p}$$

Das barotrope Modell

Ein weiterer Schritt zur Vereinfachung war die Einführung des barotropen Modells durch Rossby. Barotropie bedeutet streng ein Verschwinden der Temperaturunterschiede auf den einzelnen Isobarenflächen, woraus hydrostatisch folgt, daß alle über einem Ort liegenden Isobarenflächen dieselbe Neigung haben. Dann ist der geostrophische Wind

$$[4] \quad \begin{aligned} u_g &= - \frac{1}{f} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \\ v_g &= + \frac{1}{f} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \end{aligned}$$

von der Höhe unabhängig. Der Gedanke der Einführung des barotropen Modells gewinnt aber erst praktische Bedeutung, wenn man gleichzeitig das oben erwähnte geostrophische Gleichgewicht als weitgehend erfüllt ansieht. Man gewinnt aus [1] unter der Bedingung $\frac{\partial u}{\partial p}, \frac{\partial v}{\partial p} = 0$ und $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$ die barotrope Vorticitygleichung

$$[5] \quad \frac{\partial \eta}{\partial t} + v \cdot \nabla \eta = 0$$

$$[6] \text{ mit } \eta \equiv \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} + f$$

als absoluter Vorticity (Vertikalkomponente des Wirbels der Absolutgeschwindigkeit), indem man die erste Gleichung von [1] nach y , die zweite nach x differenziert und beide subtrahiert.

Die barotrope Vorticitygleichung [5] läßt folgende Interpretation zu: Eine barotrope Atmosphäre verhält sich unter quasigeostrophischen Verhältnissen so, daß sie die aus dem räumlich unterschiedlichen Druckfeld folgenden (ageostrophischen) Di-

vergenzen im Windfeld durch eine zeitliche Änderung des Druckfeldes zu zerstören trachtet, wodurch allein aus der räumlichen Struktur des Feldes seine zeitliche Änderung bestimmt ist. Deswegen benötigt man zur numerischen Vorhersage keine Tendenzbeobachtungen.

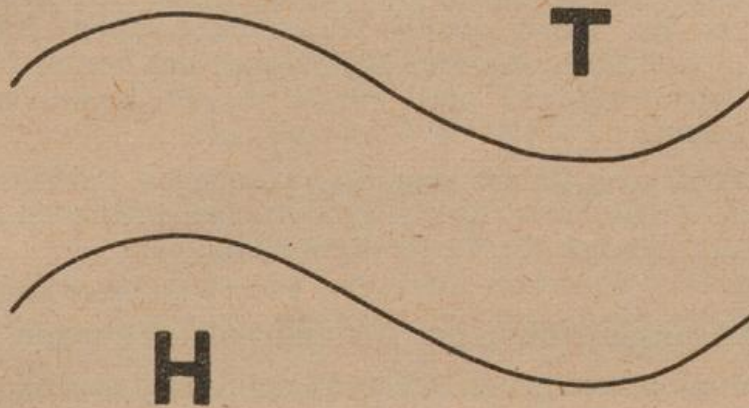


Abb. 1

Veranschaulichen läßt sich der Vorgang an folgendem Beispiel: Auf dem Rücken in Abb. 1 weht der Wind wegen der Zentrifugalkraftwirkung stärker als im Trog, solange dieses Feld stationär ist. Das würde zwischen Rücken und Trog eine Konvergenz bedingen. Wenn aber das gesamte System nach rechts wandert, liegt rechts vom Rücken ein Drucksteiggebiet; dieses beeinflußt das Windfeld im Sinne einer Divergenz (isallobarischer Wind) derart, daß die zyklostrophische Konvergenz weitgehend kompensiert wird. In großen Zügen läßt sich so das barotrope Modell interpretieren.

Die wirkliche Atmosphäre ist jedoch keineswegs barotrop, denn immer besteht ein mehr oder weniger großes isobares Temperaturgefälle. Es war nun das große Verdienst von R o s s b y und C h a r n e y, E l i a s s e n u. a., die Existenz einer divergenzfreien Schicht in der „Mitte“ der Atmosphäre zu erkennen, auf die sich die barotrope Vorticitygleichung anwenden läßt. Diese Schicht befindet sich im Mittel nahe 600 mb. Aus technischen Gründen hat man die barotropen Rechnungen auf die 500-mb-Fläche angewandt. Die Korrelationskoeffizienten für eine 24-stündige Vorhersage zwischen beobachteter und berechneter Tendenz mit Hilfe des barotropen Modells liegt bei 0,8, z. T. aber auch höher. Kürzliche Rechnungen mit der Stockholmer „BESK“ ergaben selbst bei komplizierteren Lagen Korrelationen bis zu 0,9, dieses mit einer zweidimensionalen Rechnung, bei der also gewissermaßen die Vorgänge auf der 500-mb-Fläche als unabhängig von denen auf anderen Isobarenflächen angesehen werden.

Der Einfluß der Baroklinität

Grundsätzlich kann gesagt werden, daß das barotrope Modell nur die entwicklungs-freien Vorgänge der Atmosphäre erfaßt, also z. B. keine Vertiefung einer Zyklone wiedergibt. Derartige Prozesse werden durch Divergenzen und Konvergenzen des Windfeldes erzeugt. Mit diesen verknüpft sind Vertikalbewegungen, die ein Ineinandergreifen der Vorgänge in den verschiedenen Schichten bewirken: Das Prognoseproblem wird dreidimensional.

Das barotrope Modell ist rein dynamisch und nimmt auf thermodynamische Zustandsänderungen keinen Bezug. Der Übergang zu baroklinen Modellen verlangt eine Einbeziehung thermodynamischer Zustandsänderungen; z. Z. setzt man adiabatische Zustandsänderungen voraus. Mit der baroklinen Vorticitygleichung und der Adiabatengleichung gewinnt man dann ein Simultansystem von Differentialgleichungen für die Druckänderung und die Vertikalbewegung.

Im zweidimensionalen barotropen Modell wird ein horizontales Gitternetz zugrundegelegt. Dieses ist bei baroklinen Rechnungen in vertikaler Richtung zu erweitern. K. H i n k e l m a n n entwickelte für die Rechnungen in der Forschungsabteilung des Deutschen Wetterdienstes ein 5-Schichten-Modell, die 100-, 300-, 500-, 700- und 850-mb-Fläche umfassend. Es zeigte sich später bei den Rechnungen, daß die 100-mb-Fläche praktisch keinen Einfluß auf die unteren Schichten hat, somit ein 4-Schichten-Modell ausreicht. Bei den verschiedenen Forschungsgruppen sind unterschiedliche barokline Modelle in Gebrauch. Welches Modell sich am besten für die numerische Vorhersage eignet, wird sich erst nach vergleichender Anwendung auf dieselben Wetterlagen sagen lassen.

Außer der Druckänderung liefert aber die numerische Vorhersage sozusagen als Beiprodukt noch eine Größe, über die mit synoptischen Methoden keine quantitative Aussage zu machen ist, nämlich die Vertikalbewegung.

Lösungsmethode der Differentialgleichungen

Die zur Verwendung kommenden Differentialgleichungen sind in allen Modellen bezüglich der gesuchten Tendenz $\tau \equiv \frac{\partial \varphi}{\partial t}$ vom elliptischen Typ, führen also auf ein Randwertproblem (erster Art). Mithin muß die Tendenz am Rande des Vorhersagegebietes bekannt sein. Selbstverständlich weiß man hierüber nichts, sondern ist genötigt, willkürliche Randwerte (meist $\tau = 0$) vorzugeben. Dadurch wird die Vorhersage verfälscht, jedoch hat sich gezeigt, daß die Randeinflüsse nicht sehr tief ins Innere des Vorhersagegebietes eindringen, so daß das vorherzusagende Gebiet nur etwas weiter auszudehnen ist, um die Randwirkung weitgehend auszuschalten.

Die Lösung der Differentialgleichung wird durch Übergang zur Differenzgleichung auf die Lösung eines Systems von linearen algebraischen Gleichungen zurückgeführt. Ein Relaxationsverfahren erleichtert den Lösungsprozeß. Nun gewinnt man aber lediglich die augenblickliche Tendenz, z. B. aus der barotropen Vorticitygleichung

$$\Delta \tau = J\left(\frac{\Delta \varphi}{t} + f, \varphi\right),$$

Die gewonnene Tendenz τ ist aber nur für einen kurzen Zeitabschnitt repräsentativ. Anschließend ist der inhomogene Term der rechten Seite obiger Gleichung durch Addition der Tendenz neu zu bestimmen und eine neue Tendenz auszurechnen. Als Zeitschritt wird im barotropen Modell ein bis zwei Stunden gewählt. Beim 1-Stundenschritt ist also die Differentialgleichung für eine 24-stündige Vorhersage 24mal zu lösen.

Durch die Ersetzung der Differentialgleichung durch eine Differenzgleichung gelangen Fehler in die Rechnung (Truncationerror), denn anschaulich gesehen entspricht die Rechnung etwa der Ersetzung einer Kurve durch einen Polygonzug. Räumliche und zeitliche Maschenweite müssen bestimmte Bedingungen erfüllen, um die Rechnung mathematisch „stabil“ zu erhalten.

Da dem Deutschen Wetterdienst noch keine elektronische Rechenmaschine zur Verfügung steht, mußten die bisherigen Rechnungen in der Forschungsabteilung nach einem abgekürzten Verfahren vorgenommen werden, welches, mit einer Reihe weiterer Fehlerquellen behaftet ist. Trotzdem lagen die Ergebnisse verhältnismäßig gut (Kkf. $\sim 0,7$), auch hinsichtlich der Intensität der berechneten Tendenzen.

Im Rahmen dieses Vortrags konnte nur ein roher Überblick zu dem in Rede stehenden Fragenkomplex gegeben werden. Wegen der Einzelheiten muß auf die zahlreichen Veröffentlichungen, vor allem in der Zeitschrift Tellus verwiesen werden.

Über qualitative Anwendungen theoretischer Ergebnisse im synoptischen Dienst

von Georg Reyman

(mit 7 Abbildungen im Text)

Im gegenwärtigen Stadium der neuerdings in raschem Fortschritt begriffenen theoretischen Entwicklung ist es nicht möglich, ihre Ergebnisse schon unmittelbar in der synoptischen Praxis nutzbar zu machen. Denn zum einen haben die numerischen Verfahren noch nicht die Form angenommen, die eine Anwendung im täglichen Vorhergesagedienst gestattet, und zum anderen fehlen als notwendigste Voraussetzung die erforderlichen maschinellen Rechenhilfsmittel, die es überhaupt erst ermöglichen würden, mit dem wirklichen Wetterablauf Schritt zu halten. Trotzdem erscheint der Versuch gerechtfertigt, wenigstens in geeigneten Einzelfällen qualitative Resultate des mathematisch-physikalischen Vorgehens vorwegzunehmen, um dem Prognostiker zusätzliche Argumente zu liefern. Dafür sollen im folgenden nach einem kurzen Überblick über die Grundzüge der neuen Entwicklung einige Beispiele gegeben werden.

Das vor 50 Jahren aufgestellte Bjerknes-Programm hatte sich zum Ziel gesetzt, die atmosphärischen Vorgänge mit Hilfe mathematischer Methoden zu beschreiben. Das Kernstück des hierzu erforderlichen Gleichungssystems bilden die hydrodynamischen Bewegungsgleichungen in der Eulerschen Fassung, die — wenigstens prinzipiell — eine zeitliche Extrapolation eines gegebenen Anfangszustandes gestatten. Das System ist, obwohl vollständig, insofern einseitig, als es nur die translatorischen Bestandteile des Bewegungsfeldes in expliziter Form erfaßt. Die rotatorischen Anteile werden zwar nicht vernachlässigt, sondern nur mittelbar über die Feldgrößen des Anfangszustandes berücksichtigt. In den letzten 10 — 15 Jahren ist darin eine grundlegende Wandlung eingetreten, indem nach dem Vorgange von C. G. Rossby das Wirbelfeld auch explizit zu stärkerer Beachtung gekommen und gleichberechtigt neben das Translationsfeld getreten ist. Die Vorteile dieses Ansatzes liegen darin begründet, daß gerade dem Wirbelanteil der Bewegung unter bestimmten Bedingungen konservative Eigenschaften zukommen, die ihn als Grundlage für eine zeitliche Extrapolation prädestinieren. Außerdem ist es möglich geworden, durch eine gesonderte Behandlung des für die Druckänderung so wichtigen Divergenzgliedes bei der geostrophischen Approximation kurzperiodische, dem großzügigen Druckverlauf überlagerte Schwingungen — den sog. meteorologischen Lärm — auszuschalten und damit ein störendes Phänomen zu beseitigen, dem noch vor 30 Jahren Richardson bei seiner numerischen Vorhersage zum Opfer gefallen war. So ist es nicht verwunderlich, daß auf dem neuen Wege wesentlich raschere Fortschritte in der Behandlung atmosphärischer Probleme erzielt wurden, als es in den Jahrzehnten zuvor auf Grund des zu speziell formulierten Systems von Bjerknes der Fall war.

Zur Vereinfachung beziehen sich die folgenden Betrachtungen zunächst nur auf horizontale Felder. Die an sich notwendige 3-dimensionale Behandlung überschreitet im allgemeinen die Möglichkeit qualitativer Anwendung und wird im letzten Abschnitt nur andeutungsweise herangezogen. Solange man sich in einem Strömungsfeld auf die reine Fortbewegung beschränkt, ist der grundlegende Begriff die Geschwindigkeit, die mathematisch als Vektor (meist „ v “) erscheint. Nun führt jedes Flächenelement bzw. Massenelement bei seiner Ortsveränderung im allgemeinen Fall auch eine drehende Bewegung um eine zur Strömungsebene senkrechte Achse aus. Auch diese Rotation ist ein Vektor (als „rot v “ bezeichnet), der sich aber in einer 2-dimensionalen

Strömung auf seine Vertikalkomponente reduziert. Ihr Betrag ist die (aus mathematischen Gründen doppelte) Dreh- oder Winkelgeschwindigkeit mit der Dimension einer reziproken Zeit $[1/t]$. Dabei ist der Zähler als Bogenmaß zu verstehen, also $\pi = 180^\circ$ bzw. $1 \approx 57^\circ$, und so bedeutet z. B. die Bezeichnung $1/6 \text{ h}$ eine Drehung um ca. 57 Bogengrad in 6 Stunden. In der amerikanischen Literatur wird der Ausdruck „rot v“ als „vorticity“ bezeichnet, eine Bezeichnung, die infolge der fundamentalen Bedeutung dieses Begriffes weite Verbreitung gefunden hat. Da diese Vorticity nichts weiter ist als eine Maßzahl für die Wirbelbewegung einer Strömung, liegt es nahe, im Deutschen dafür das Wort „Wirbelmaß“ zu verwenden. Für die häufig vorkommenden Zusammensetzungen Vorticity-Gleichung, Vorticity-Advektion u. a. m. ergeben sich dann sinngemäß die Bezeichnungen Wirbelgleichung, Wirbeladvektion usw.

Da sich die bisherigen Überlegungen auf ein ruhendes Koordinatensystem beziehen, erhält man auf diese Weise nur ein relatives Wirbelmaß, das üblicherweise mit ζ bezeichnet wird. Läßt man das System jedoch mit der Erde rotieren, dann führt es in der geographischen Breite φ eine Drehbewegung aus, deren Vertikalkomponente in bezug auf die Erdoberfläche durch $2\omega \sin \varphi$ (mit „f“ abgekürzt) gegeben ist. In einem absoluten Koordinatensystem („Inertialsystem“) ergibt sich somit ein absolutes Wirbelmaß η als

$$\eta = \zeta + f$$

Darin kann ζ positiv (zyklonale Strömung) oder negativ (antizyklonale Strömung) sein, während der Coriolisparameter f vom Äquator abgesehen stets positive Werte annimmt (am Pol $4 \pi / 24 \text{ h} = \pi/6 \text{ h}$, in 50° Breite $\approx 2,4 / 6 \text{ h}$). Das absolute Wirbelmaß $\eta = f$ stellt mithin die Grenze zwischen zyklonalen und antizyklonalen Verhältnissen dar.

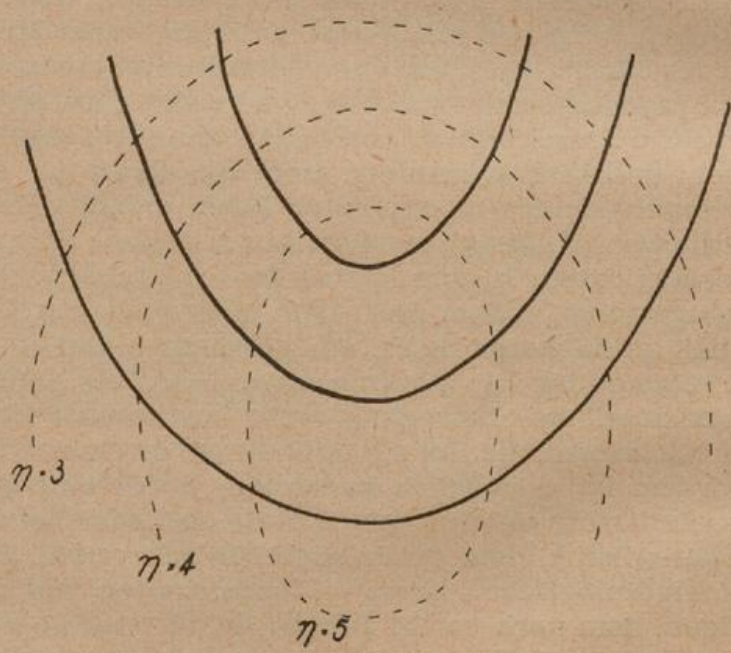


Abb. 1 Absolutes Wirbelfeld $[1/6\text{h}]$ eines Troges (schematisch)

Geometrisch betrachtet kommt das Wirbelmaß aus einem Krümmungs- und einem Scherungsanteil der Stromlinien zustande, bzw. wenn wir geostrophische Verhältnisse annehmen, der Isopotentialen. Für eine kreisförmige Strömung fallen die Linien gleichen Wirbelmaßes mit den Isohypsen zusammen, wobei die inneren und äußeren Bezirke der Kreisbewegung durchaus verschiedene Drehgeschwindigkeiten haben können.

Für trogartige Ausbuchtungen von Tiefdruckgebieten konzentriert sich das Maximum der Wirbelbewegung an der stärksten Krümmung des Troges (Abb. 1). Bei Frontalzonen tritt dagegen der Scherungsanteil in den Vordergrund (Abb. 2). Dabei ist hervorzuheben, daß die Scherung auf der zyklonalen Seite prinzipiell beliebig

große Werte annehmen kann, woraus sich ein entsprechend hohes Wirbelmaß ergibt. Auf der antizyklonalen Seite darf nach dem Stabilitätskriterium von Klein-schmidt der Absolutbetrag der Scherung jedoch den Wert des Coriolisparameters nicht überschreiten, d. h. es muß $\zeta \geq -f$ sein, bzw. η stets ≥ 0 . So darf also z. B. in

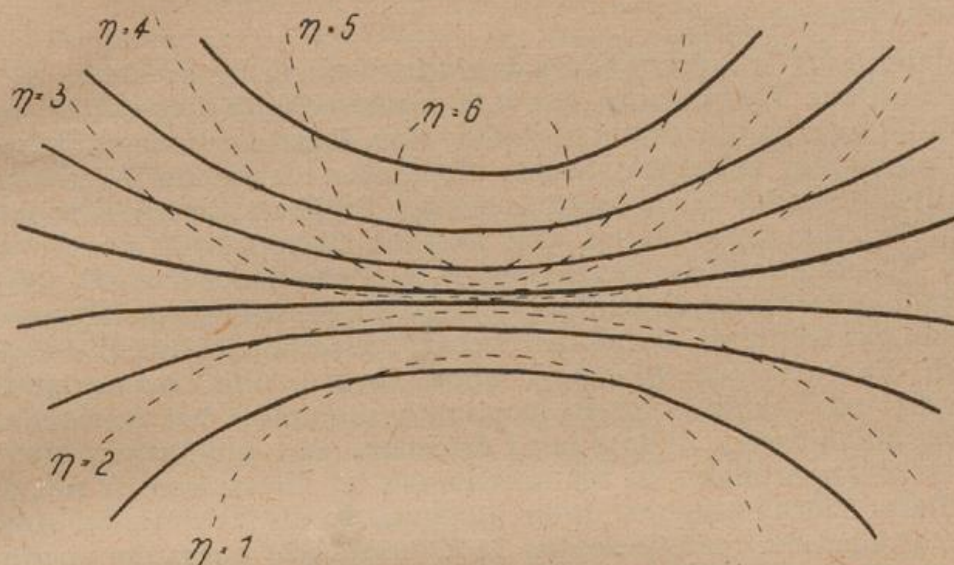


Abb. 2. Absolutes Wirbelfeld $[1/6h]$ einer Frontalzone (schematisch)

50 Grad Breite das relative Wirbelmaß ζ großräumig betrachtet nicht unter den Wert $-2,4/6h$ sinken („Grenzhoch“), da ebenso wie in statischer auch in dynamischer Hinsicht über größeren Gebieten stabile Verhältnisse angenommen werden müssen. Damit ist die zyklonale Seite einer Frontalzone dynamisch begünstigt, was sich auch in der synoptischen Praxis bestätigt.

Nach dieser einführenden Übersicht erscheint die Frage berechtigt: Was ist nun eigentlich mit dieser neuen Hilfsgröße „vorticity“ oder Wirbelmaß gewonnen? Als Beitrag zur Beantwortung dieser Frage werden seit Anfang 1954 bei der Analysenzentrale versuchsweise Vorticity-Karten der 500-mb-Fläche gezeichnet. Diese Fläche wurde gewählt, weil die Atmosphäre durchschnittlich zwischen 500 und 600 mb ein barotropes Verhalten zeigt, d. h., daß die auftretenden Druckänderungen in erster Linie dynamisch bedingt und von thermischen Einflüssen weitgehend unabhängig sind. Die zugrunde liegende mathematische Beziehung leitet sich her aus der Eulerschen Bewegungsgleichung, die durch einen Differentiationsprozeß in eine Wirbelgleichung („Vorticity-Gleichung“) übergeht, in der die (translatorische) Beschleunigung der Eulerschen Form als Wirbelbeschleunigung erscheint. Für eine barotrope Atmosphäre bzw. eine „äquivalent-barotrope“ Schicht der wirklichen Atmosphäre macht die Wirbelgleichung die einfache Aussage, daß die Wirbelbeschleunigung verschwindet, oder m. a. W. daß das absolute Wirbelmaß eine konservative, von der Zeit unabhängige Eigenschaft der Strömung ist. Ganz primitiv ausgedrückt läßt sich der Sachverhalt in diesem Spezialfall so darstellen, daß das Wirbelmaß als selbständige Eigenschaft des Kontinuums mit der Strömung wandert und unter Aufrechterhaltung der Gleichgewichtsbedingungen laufend zur Umgestaltung des Strömungsfeldes beiträgt. Vorticity alias Wirbelmaß, ist etwa soviel wie Zyklonalität: Wo diese zunimmt, muß das Feld zyklonaler, wo sie abnimmt, muß es antizyklonaler werden, was jeweils mit entsprechender Höhenschwankung der Druckfläche (Druckfall, bzw. -anstieg) einhergeht. Im Falle kreisrunder oder völlig geradliniger Isopotentialen ist demnach aus dynamischen Gründen keine Druckänderung zu erwarten, da Strömungsfeld und Wirbelmaß im Gleichgewicht sind. Bei einem Trog (Abb. 1) wird aus den inneren Bezirken nach der Vorderseite ein höheres Wirbelmaß herangeführt, als es hier dem Stromfeld entspricht. Dieses muß also zyklonaler Krümmung oder Scherung annehmen. Auf der Rückseite sind die Verhältnisse umgekehrt, und im Endeffekt wird sich der ganze Trog in Strömungsrichtung verlagern. Die resultierenden Druckänderungen sind um

so größer, je stärker die Wirbeladvektion ist, d. h. je kleiner die von den Isopotentialen und der Linien gleichen Wirbelmaßes gebildeten Solenoide sind. Die gleichen Überlegungen gelten für die Frontalzone (Abb. 2), in der aus den genannten Gründen auf der zyklonalen Seite die größeren Effekte zu erwarten sind, also im Delta links stärkerer Druckfall und rechts schwächerer Anstieg, im Einzugsgebiet analog stärkerer Anstieg und schwächerer Fall.

Die Wirbelgleichung ist physikalisch betrachtet nur eine spezielle, auf das Kontinuum zugeschnittene Fassung des Newtonschen-Trägheitsgesetzes, aus dem sie sich über die Euler'sche Gleichung herleitet. Nun dient die Massenträgheit bekanntlich zur Begründung der Divergenztheorie von Scherhag. Im Delta einer Frontalzone tritt bei abnehmender Strömung infolge der Trägheit ein ageostrophischer Massenfluß vom tiefen zum hohen Druck ein, weil die Corioliskraft stärker wird als die Gradientkraft. So resultiert das beschriebene Viererfeld der Druckänderungen. Die konsequente und quantitative Beschreibung dieses Vorgangs ist bei Vernachlässigung der Reibung für ein mittleres, thermisch wenig beeinflusstes Niveau der Atmosphäre nun tatsächlich die barotrope Wirbelgleichung. Ihre exakte Lösung ist freilich nur durch eine numerische Integration zu gewinnen, die selbst bei Anwendung graphischer Methoden einen hohen Zeitaufwand erfordert. Ein qualitatives Maß für die zu erwartenden Druckänderungen im 500 mb-Niveau ist jedoch bereits mit der Wirbeladvektion in dieser Fläche gegeben, da im allgemeinen die Zentren der Advektion mit den höchsten Beträgen der resultierenden Tendenzen recht gut zusammenfallen. Wenn wir unter diesem Gesichtspunkt die Vorticitykarten der 500 mb-Fläche betrachten, so läßt sich aus ihnen eine Art Drucktendenz für dieses Niveau ablesen, bzw. in anderer Ausdrucksweise: ein gewisses Maß für den Scherhag'schen Divergenzeffekt. Damit bietet sich dem Synoptiker ein Hilfsmittel, das in seinen Karten nicht ohne weiteres enthalten ist.

Zur Berechnung des Wirbelmaßes dient die Formel

$$\eta = \frac{g}{f} \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) + f$$

worin g die Erdbeschleunigung ($= 4,58 \cdot 10^6 \text{ km}/(6 \text{ h})^2$) und $h(x,y)$ die vorgegebene Topographie bedeutet. Zur praktischen Durchführung werden die Differentialquotienten durch Differenzenquotienten ersetzt

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu^2} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 - 4h_0)$$

indem das h -Feld in einem quadratischen Gitterfeld der Maschenweite μ interpoliert und daraus der (als Laplace'sche Ableitung bezeichnete) Klammerausdruck berechnet wird, der aus dem jeweiligen Aufpunkt h_0 und seinen 4 Nachbarpunkten in der x - und y -Richtung hervorgeht, die im positiven Umlaufsinn numeriert sind. Anstatt punktweise vorzugehen, lassen sich die ersten Differenzenquotienten der x -Richtung: $h_1 - h_0$ bzw. $h_0 - h_3$ auch durch graphische Subtraktion bestimmen und durch eine Wiederholung des Verfahrens die zweiten Ableitungen: $(h_1 - h_0) - (h_0 - h_3)$. Für die y -Richtung ergibt sich analog $(h_2 - h_0) - (h_0 - h_4)$ und schließlich durch Summation die Laplace'sche Ableitung. Insgesamt sind hierfür also vier graphische Subtraktionen und eine Addition erforderlich. Die Berechnung von η aus dem entweder numerisch oder graphisch gewonnenen Laplace-Ausdruck erfolgt zweckmäßig mit Hilfe einer Tabelle, in der die Breitenabhängigkeit des Coriolisparameters und der Kartenprojektion berücksichtigt ist. Für die Maschenweite μ hat sich ein Wert von etwa 300 km als angemessen erwiesen, um einerseits die Ungenauigkeiten der synoptischen Karten auszugleichen, andererseits aber noch genügend Einzelheiten des Feldes erkennen zu lassen.

Die bisherigen Betrachtungen, die auf der barotropen Wirbelgleichung basierten, bezogen sich ausschließlich auf 500 mb und dürfen auf die übrigen Schichten nicht ohne weiteres verallgemeinert werden, weil die zugrunde liegende Wirbelgleichung dann eine kompliziertere Form annimmt. Nun sind die Vorgänge in der freien Atmosphäre wohl wichtig, aber für den Synoptiker doch zweitrangig gegenüber der Vorhersage

des Bodendruckfeldes. Um auch hierfür zusätzliche Anhaltspunkte zu gewinnen, läßt sich die thermische Advektion mit Vorteil heranziehen. Ihre anschauliche Bedeutung besteht darin, daß Warmluftzufuhr die begrenzenden Isobarenflächen voneinander entfernt, Kaltluftzufuhr dementsprechend nähert. Über die resultierenden Druckänderungen ist damit aber nicht mehr ausgesagt, als daß an den seitlichen Begrenzungen der betrachteten Schicht die Höhenänderungen gegenläufig sind, d. h. bei Warmluftadvektion oben Anstieg oder unten Fall, oder beides gleichzeitig, bei Kaltluftadvektion umgekehrt. Zu einer absoluten Bodendruckänderung gelangt man jedoch, wenn man das Zusammenwirken der Wirbeladvektion in 500 mb und der thermischen Advektion 500/1000 mb betrachtet. In den Gebieten nämlich, wo obere positive Wirbeladvektion mit Warmluftadvektion in der Schicht darunter zusammenfällt, resultiert unten sicher Druckfall; denn wenn schon in der Höhe Tendenz zu Druckfall besteht, dem infolge seiner dynamischen Bedingtheit eine gewisse absolute Bedeutung zukommt, dann muß die untere Druckfläche entsprechend stärker herabgedrückt werden. Es ist dies der Normalfall bei einer jungen Warmsektorzyklone: Die Warmluftadvektion liegt hier noch direkt vor dem oberen Trog und trägt damit zu einer wirksamen Vertiefung bei (Abb. 3). Außerdem wird in demjenigen Bereich der Kaltluftadvektion, der hinter dem Trog liegt, der Bodendruck kräftig steigen, während dazwischen je

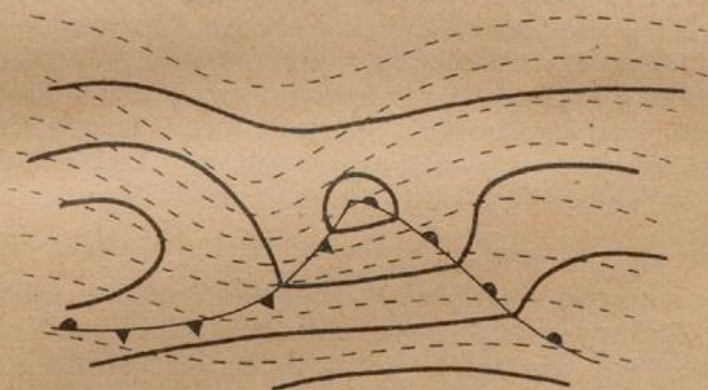


Abb. 3 Wellenstörung mit Höhenströmung (nach Palmén)

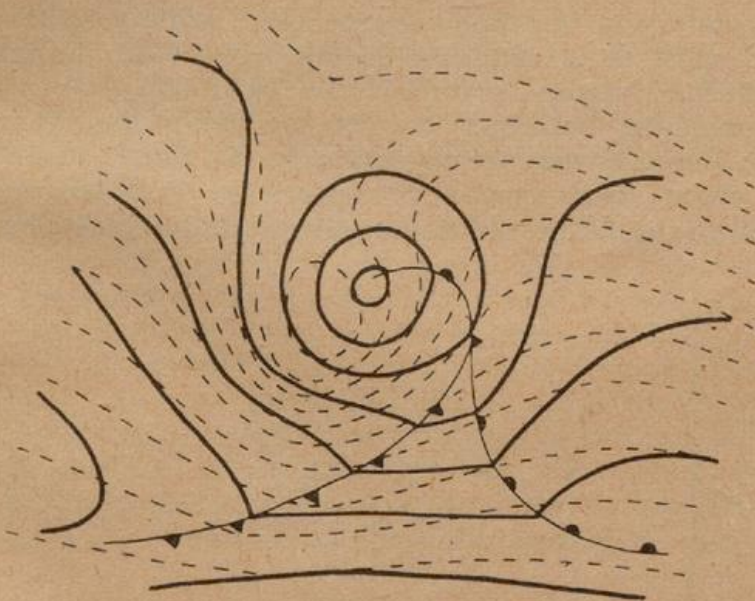


Abb. 4 Okkludierte Zyklone mit Höhenströmung (nach Palmén)

nach dem Verhältnis der beiden Advektionen noch Fall oder schon Anstieg auftreten kann. Mit dem zunehmenden Okkludieren der Zyklone gelangt die Kaltluftadvektion mehr und mehr auf die Vorderseite des Troges und vermindert den Druckfall am

Boden, da der obere Druckfall durch den Kaltlufteschub kompensiert wird (Abb. 4). Außerdem trägt der Teil der Warmluftadvektion, der den Höhenhochkeil ostwärts überholt hat, für den unteren Druckfall weniger bei, da sich hier das Höhenniveau infolge negativer Wirbeladvektion hebt.

Diese Vorstellungen führen auch zu einer Erklärung der von Scherhag angegebenen Verstärkung von Fallgebieten im Delta einer Frontalzone. Solange im Delta die thermische Advektion schwach ist, bleibt die obere Wirbeladvektion für die Bodendruckänderung im allgemeinen wenig wirksam. Sobald aber durch einen hineingewanderten Druckfall Warmluftadvektion im Delta angeregt wird, kommt es gerade auf der linken Seite im Bereich des Zentrums der oberen positiven Wirbeladvektion zu rascher Zyklogenese.

Die Darstellung der mittleren thermischen Advektion in der unteren Troposphärenhälfte erfolgt am besten durch Überlagerung der Boden- und 500 mb-Karte (bzw. der relativen Topographie). Darin wird aus der Winddrehung mit der Höhe das Vorzeichen der Advektion ersichtlich, während die reziproke Größe der entstehenden Solenoide ein Maß für den Betrag der Advektion darstellt.

Für das Zusammenwirken von thermischer und Wirbeladvektion in bezug auf die Druckänderungen bietet das synoptische Geschehen täglich Beispiele. Der prognostische Wert zeigt sich besonders bei raschen Änderungen isallobarischer Gebilde. So schwächte sich z. B. vom 10. zum 11. Okt. 1954 ein über mehrere Tage zu verfolgendes Fallgebiet über dem Nordmeer plötzlich stark ab. Am Morgen des 10. Okt. war davon in der 3-stündigen Tendenz noch nichts zu erkennen. Die Advektions-Karte zeigte jedoch, daß die Kaltluft das Tief schon weitgehend umrundet und die Warmluftadvektion den vorgelagerten Hochkeil bereits überholt hatte. Damit waren die Voraussetzungen für weiteren Druckfall nicht mehr gegeben, und tatsächlich ließ dieser bereits am Mittag desselben Tages plötzlich nach, so daß nach 24 Stunden das Fallgebiet nahezu verschwunden war.

Zu den genannten Anwendungen des Wirbeltheorems, die teilweise nur bekannte, empirisch gefundene Methoden bestätigen und theoretisch fundieren, kommt schließlich noch ein Punkt, der, wie es scheint, erstmalig in der Theorie mit besonderer Deutlichkeit zum Ausdruck gekommen ist, nämlich die Bedeutung der statischen Stabilität für den Mechanismus der Druckänderungen. Im Gegensatz zu den vorigen Abschnitten wird hier von einer 3-dimensionalen Behandlung des atmosphärischen Problems Gebrauch gemacht, die im Falle beliebig vorgegebener Anfangsfelder auch mit Vereinfachungen wie Reibungsfreiheit und Beschränkung auf adiabatische Prozesse noch einen erheblichen Rechenaufwand erfordert. Für spezielle Einzelfälle sind jedoch 3-dimensionale Tendenzfelder berechnet worden, an denen die räumliche Auswirkung eines einzelnen Störungszentrums zu erkennen ist. So hat K. Hinkelmann (Tellus 5, 499 (1953)) in einem Raumelement eine isolierte Wirbeladvektion, wie sie etwa der Vorder- oder Rückseite eines kleinen, in eine geradlinige Strömung eingelagerten

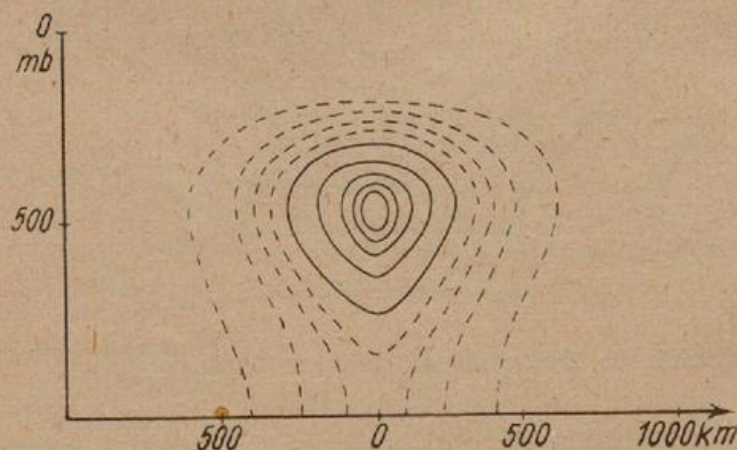


Abb. 5 Räumliche Druckänderung einer isolierten Störung in 500 mb, $\gamma = 60/\text{km}$, Tropopause in 250 mb

Troges entspricht, vorgegeben und dazu das resultierende Druckänderungsfeld bestimmt. Die Erweiterung gegenüber dem barotropen Modell besteht darin, daß ein druckändernder Prozeß, wie ihn die Wirbeladvektion darstellt, nicht nur auf die erzeugende Schicht beschränkt bleibt, sondern sich auch den benachbarten Schichten mitteilt (Abb. 5). Die Auswirkung nimmt jedoch nach oben und unten hin ab, da die Atmosphäre normalerweise stabil geschichtet ist. In diesem Beispiel ist unterhalb der in 250 mb angenommenen Tropopause ein vertikaler Temperaturgradient von $6^{\circ}/\text{km}$ zugrunde gelegt worden. Zum Vergleich zeigt Abb. 6 das räumliche Isallobarenfeld derselben Störung in einer weniger stabilen Schichtung, und zwar mit einem troposphärischen Temperaturgefälle von $9^{\circ}/\text{km}$. Hieraus ist zu ersehen (auf die Absolutbeträge soll hier nicht eingegangen werden), daß die Wirkung des oberen Prozesses mit einem größeren Anteil zum Boden durchgreift, während die stark stabile Stratosphäre auch

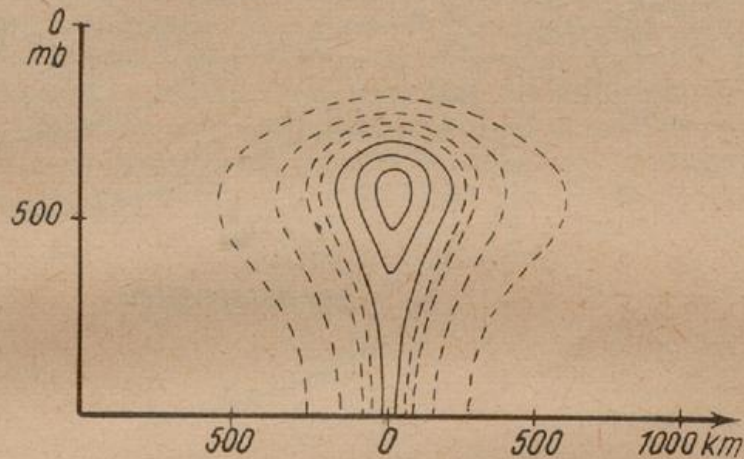


Abb. 6 Räumliche Druckänderung einer isolierten Störung in 500 mb, $\gamma = 9^{\circ}/\text{km}$, Tropopause in 250 mb

hier kaum beeinflusst wird. Das Verhalten der Troposphäre läßt sich physikalisch leicht deuten: Eine stabile Temperaturschichtung setzt einer vertikalen Ausbreitung von Störungen einen gewissen Widerstand entgegen, da die zur Übertragung notwendigen Vertikalbewegungen adiabatisch verlaufen und so thermische Kompensationen bedingen. Oberer isolierter Druckfall erzeugt in der Luftsäule darunter Aufwärtsbewegungen und damit adiabatische Abkühlung, die die obere Senkung der Isobarenflächen nur abgemildert am Boden zur Wirkung kommen läßt. Je mehr sich aber der vertikale Temperaturgradient dem adiabatischen (bzw. bei Berücksichtigung der Feuchte dem feuchtadiabatischen) Gradienten nähert, um so schwächer wird die ausgleichende Wirkung der Zwischenschichten.

Eine synoptische Anwendung ist in folgendem zu erblicken: Isolierte Druckgebilde der freien Atmosphäre, wie kleinräumige scharfe Höhenträge oder abgeschlossene Höhentiefs, können bei hinreichend stabiler Schichtung darunter (z. B. über den Kontinenten im Winter) längere Zeit ein Eigenleben führen. (Dieses kann in guter Annäherung mit einem 2-dimensionalen barotropen Modell beschrieben werden). Sobald jedoch die Stabilität der unteren Schichten abnimmt, sei es durch Warmluftadvektion, sei es durch Aufheizung vom Boden her, dann setzt sich der obere Druckfall oft recht unvermittelt nach unten durch und führt, besonders wenn die Bodendruckverteilung flach ist, leicht zu Ausbildung eines selbständigen Tiefs. Sobald dieses entstanden ist, trägt die dann eingeleitete thermische Advektion zusätzlich zur weiteren Verstärkung bei.

Ein besonders gut ausgeprägtes Beispiel dieser Art war ein kräftiges Höhentief, das vom 22. bis 25. November 1950 ohne stärkere Auswirkung am Boden vom westlichen Kanada bis über die Mississippiebene hinweg zog, dann aber über den merklich wärmeren Südoststaaten der USA ein kleines Bodentief anregte, das sich innerhalb von 24 Stunden zu dem berühmten New-York-Sturm entwickelte. Ganz allgemein kommt diese Situation am häufigsten im Winter vor der amerikanischen Ostküste vor, wenn

sich alte Tröge vom Festland her der Golfstromregion nähern. Umgekehrt bietet die Entwicklung vom 4. zum 5. Juli 1953 in Südkandinavien ein Beispiel dafür, daß das warme Festland (in der kontinentalen Warmluft wurden Mittagstemperaturen bis 29 Grad erreicht) geeignet ist, auf oberem Druckfall mit Zyklongenese am Boden anzusprechen.

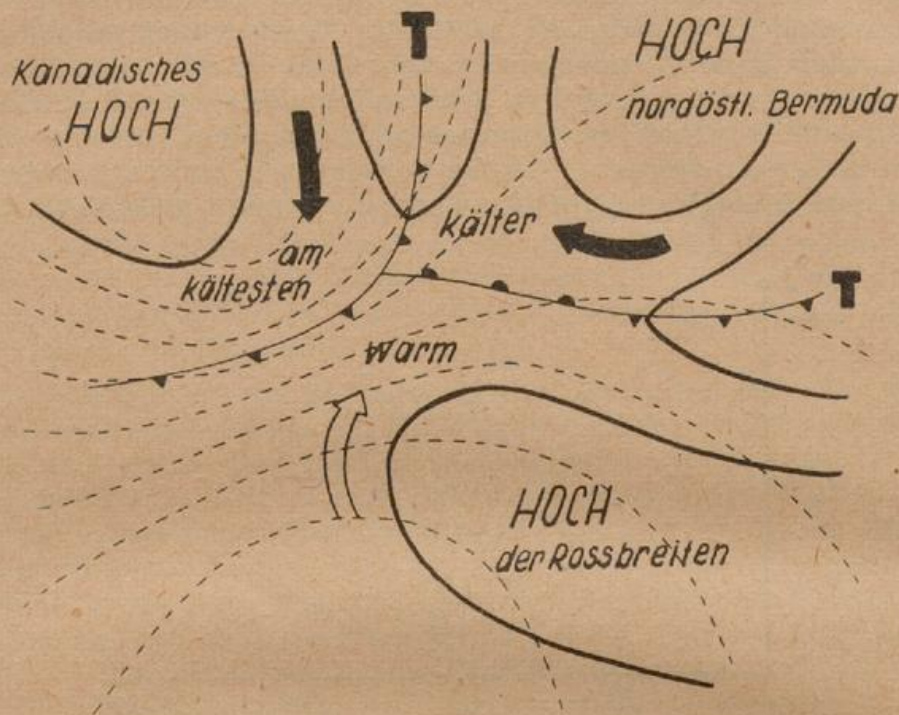


Abb. 7 Dreimasseneck nach Rodewald
(Höhenströmung skizziert)

Eine hierher gehörende Anordnung ist auch das Dreimasseneck von Rodewald (Abb. 7). Dem oberen scharfen Trog, der durch das Gegeneinanderströmen sehr verschieden temperierter Luftmassen zustande gekommen ist, wird um das Bermudahoch eine gealterte und labilisierte Kaltluft vorgelagert. Gerade diese Luftmasse begünstigt nun den Durchgriff des oberen Druckfalles zum Boden, wo es in dem gradientenschwachen Bereich zwischen den drei Hochzellen leicht zu einem abgeschlossenen Tief kommen kann, das durch eine neu eingeleitete thermische Advektion rasch an Intensität gewinnt.

Als spezieller Hinweis für den Synoptiker ergibt sich aus dem Gesagten, daß in der freien Atmosphäre, etwa in 500 mb, isoliert auftretende Druckänderungen, speziell Fallgebiete eine besondere Beachtung verdienen, da sie sich leicht mit ihrem ganzen Betrag bis zum Boden durchsetzen können, sobald die Stabilität in der Schicht darunter hinreichend abnimmt. Steiggebiete sind in dieser Hinsicht weniger wirksam, da für diese erst der trockenadiabatische Gradient den Grenzfall völligen Durchsackens darstellt und dieser wesentlich schwerer zu erreichen ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

1. Die Wirbeladvektion in der 500-mb-Fläche ist ein brauchbares Kriterium für die Höhentendenz in diesem Niveau, und zwar nicht nur in bezug auf das Vorzeichen, sondern in eingeschränktem Sinne auch für den Betrag. In scharfen Frontalzonen ist aus Gründen der dynamischen Stabilität stets die zyklonale Seite bevorzugt.
2. Für wirksamen, d. h. etwa 12-24 Stunden anhaltenden Druckfall am Boden sind in erster Linie Gebiete ausgezeichnet, in denen Warmluftadvektion in der Schicht 500/1000 mb mit positiver Wirbeladvektion in 500 mb zusammenfällt, für Anstieg analog Kaltluftadvektion mit negativer Wirbeladvektion. Hieraus ergibt sich ein Kriterium für das Okklusionsstadium einer Zyklone, das aus der Frontenführung am Boden nicht mit der gleichen Sicherheit zu erkennen ist.

3. Abnehmende statische Stabilität in der Schicht 500/1000 mb begünstigt den Durchgriff oberer Druckänderungen, vorzugsweise von Fallgebieten zum Boden, die insbesondere dann wirksam in Erscheinung treten, wenn die unteren Druckgegensätze schwach sind.

Diese Zusammenhänge sind der synoptischen Arbeitsweise entsprechend jedoch lediglich qualitativ verwendbar und außerdem insofern unvollkommen, als Vorgänge oberhalb von 500 mb sowie nichtadiabatische Prozesse und Reibung keine Berücksichtigung finden. Ihrem Ausbau in quantitativer Richtung, etwa mit Hilfe statistischer Methoden muß mit Vorbehalt entgegengesehen werden, da die Besonderheit des Einzelfalles häufig nicht mit Mittelwerten erfaßt werden kann. Außerdem lassen die synoptischen Karten, insbesondere in der freien Atmosphäre und auf dem Ozean an Genauigkeit noch manches zu wünschen übrig, was sich schon bei der Berechnung des Wirbelmaßes bemerkbar macht. In dieser Beziehung wird sich eine Verbesserung erst erzielen lassen, wenn es gelingt, die einzelne Analyse oder Topographie quantitativ enger an die Vorkarte anzuschließen, als es bisher möglich ist. Dazu sind aber rein numerische Verfahren notwendig. Solange diese im täglichen Dienst noch nicht zur Verfügung stehen, muß der Synoptiker wenigstens versuchen, sich ihren physikalischen Gehalt nutzbar zu machen, um auf diese Weise nicht nur die empirischen Methoden zu präzisieren, sondern auch neue Anhaltspunkte für die Vorhersage zu gewinnen.

Moderne Bildübertragungsverfahren für Wetterkarten

von Paul Wüsthoff

(mit 5 Abbildungen und 3 Tabellen im Text)

Die telegrafische Bildübertragung ist bereits älter als 100 Jahre. Schon 1843 meldete der Engländer Alexander Bain (1) ein britisches Patent für Aufzeichnungen an, die auf elektro-chemischem Wege telegrafisch übermittelt werden sollten. Den ersten kommerziellen Facsimile-Dienst betrieb der Italiener Giovanni Caselli im Jahre 1865 zwischen Paris und London. 1903 konstruierte Dr. Korn ein Gerät zur Ausstrahlung photographischer Bilder, und schon 1910 wurde nach einem von Belin entwickelten System eine Bildübermittlung über Draht zwischen Paris, London und Berlin eingerichtet. 16 Jahre später wurde die erste Transatlantik-Bildübertragung von Europa nach Nordamerika durch Funk vorgenommen.

Für die Bildübertragung von Wetterkarten fand im Herbst 1924 eine Reihe von Versuchen nach dem System von Prof. Dr. Dieckmann, München, (2) statt, da das Bedürfnis bestand, die Zeppelin-Luftschiffe auf ihren Ozean-Fahrten über Bildfunk mit Wetterkarten zu versorgen. — Während des 2. Weltkrieges arbeiteten der ehemalige Reichswetterdienst und der Marine-Wetterdienst mit einem mechanisch aufzeichnenden Bildübertragungsverfahren auf mehreren Drahtkanälen. Hierbei wurden Lorenz-Geräte (3) der Bildgröße 13 cm x 18 cm (bzw. 18,5 cm x 30 cm) verwandt, die mit einem elektro-mechanischen Schreibsystem ausgestattet waren.

In den letzten Jahren ist eine Bildübermittlung von Wetterkarten immer eindringlicher von vielen meteorologischen Diensten in Europa gefordert worden, denn in USA und Kanada (4) sind bereits seit längerer Zeit Facsimile-Netze für die Verbreitung von Wetterkarten in Betrieb. Sie haben sich bewährt. In Europa hingegen vollzieht sich die Facsimile-Entwicklung (5) für meteorologische Zwecke nur zögernd. England führt seit etwa einem Jahr regelmäßige Ausstrahlungen von Wetterkarten durch. Auch in Frankreich und Italien laufen interne Versuche. In Deutschland waren nach 1945 die früher auf diesem Gebiet führenden Firmen wegen der hohen Entwicklungskosten schwer für eine Neu-Entwicklung zu interessieren.

Deshalb ist es umso erfreulicher, daß nunmehr die Firma Dr. Hell, Kiel, ein Bildübertragungsgerät für Wetterkarten „HELLFAX“ fertiggestellt hat, das seine erste Probe in Versuchen, welche auf dem Funkwege und über Draht durchgeführt werden konnten, bereits gut bestanden hat.

Das HELLFAX-Gerät, das im folgenden näher beschrieben wird, gibt die Möglichkeit, fertig ausgearbeitete Wetterkarten verhältnismäßig rasch gleichzeitig an viele meteorologische Stationen zu übertragen. Die Übermittlung erfolgt selbsttätig.

Das Übertragungsprinzip soll hier nur kurz dargelegt werden. — Das zu übertragende Bild wird im Sendegerät auf eine Trommel gespannt, welche etwa 60 bzw. 90 bzw. 120 Umdrehungen pro Minute ausführt. Die Abtastung des Bildes erfolgt durch einen Lichtpunkt. Er tastet in eng aneinanderliegenden Linien (etwa 4 Zeilen pro Millimeter, also mit einer Zeilenbreite von 0,25 mm) das Bild ab. Je nachdem, ob der Lichtstrahl auf einen hellen oder dunklen Teil des Bildes trifft, wird das Licht mehr oder weniger zurückgeworfen. Die Helligkeitsschwankungen des reflektierten Lichts werden von einer Photozelle aufgenommen und in elektrische Spannungsschwankungen (Bildimpulse) umgesetzt. Diese Bildimpulse werden über Funk

oder Draht dem Bildempfänger zugeführt. Der Bildempfänger besitzt eine gleichartige Bildtrommel wie der Sender. Sie wird im Gleichlauf mit der Trommel des Senders gehalten. Die verstärkten Bildimpulse werden im Empfänger mit Hilfe eines mechanischen Schreibsystems und eines mit Farbe gespeisten Schreibrädchens aufgezeichnet. Der von Dr. Hell erdachte Schreibmechanismus erlaubt die Aufzeichnung des empfangenen Bildes auch auf Wetterkartenunterdrucke.

Spannt man auf die Empfängertrommel einen Umdrucksatz (Farbpapier mit Kunstdruckpapier) auf, so können nach beendetem Empfang mit einem der üblichen Umdruckverfahren beliebig viele Abzüge hergestellt werden.

Die Größe des Bildes, das in einem Arbeitsgang übertragen werden kann, beträgt 40 cm × 50 cm. Ein derartiges Bild wird bei 60 Trommelumdrehungen pro Minute in 34 Minuten, bei 90 Umdrehungen in 26 Minuten, bei 120 Umdrehungen in 17 Minuten übertragen.

Bildsender und Bildempfänger sind äußerlich gleichartig gebaut. Sie bestehen aus einem pultartigen Unterteil, welches einen Einschub (E) für die elektrischen Einheiten enthält. Auf der Vorderseite dieses Einschubs befindet sich eine Bedienungstafel. Das Oberteil der Geräte besteht im wesentlichen aus der Bildtrommel (T) mit Antrieb und dem Vorschub für den Abtastkopf. Die Bildtrommel hat einen Durchmesser von 132 mm. Der Abtastkopf (A) ist für Sender und Empfänger naturgemäß verschiedenartig konstruiert. Der Abtastkopf des Senders enthält das elektrooptische Tastsystem für die Aufnahme des Bildes, der Abtastkopf des Empfängers trägt die Registriervorrichtung.

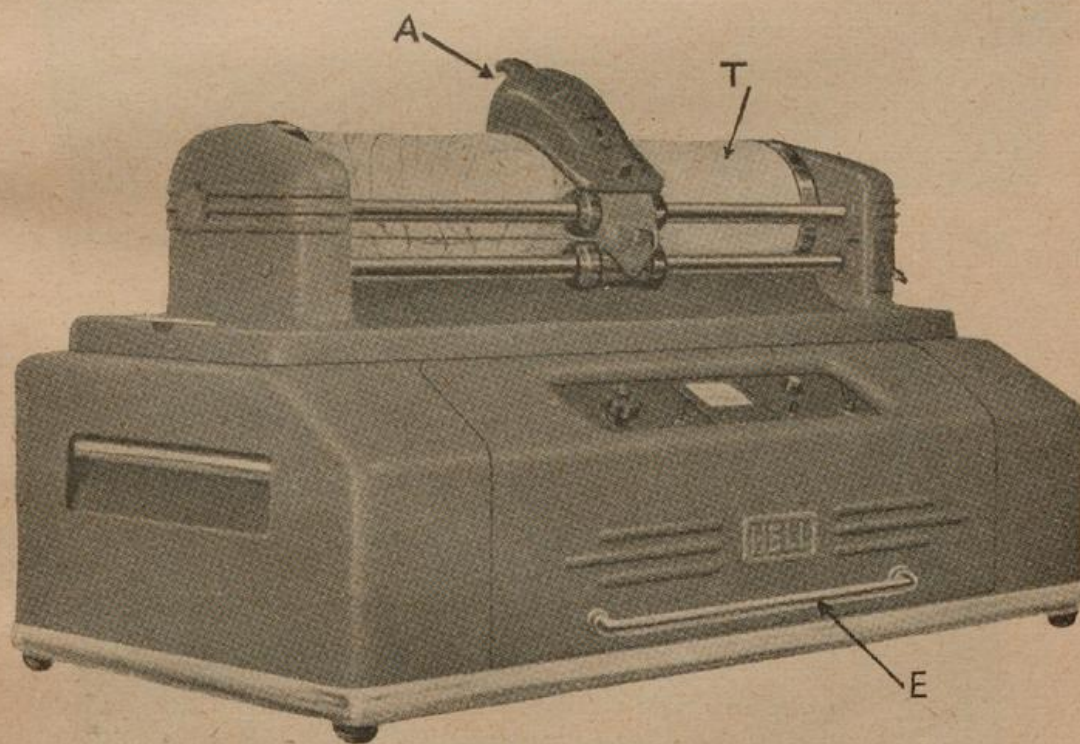


Abb. 1 Ansicht des Empfängers WF 103

Die Abbildung 1 zeigt den Hellfax-Empfänger. Der Bildsender gibt die Impulse amplitudenmoduliert ab, der Bildempfänger nimmt die amplitudenmodulierten Bildimpulse auf und besorgt mit Hilfe des Schreibsystems die mechanische Aufzeichnung.

Die wichtigsten technischen Daten der HELLFAX-Geräte sind in Tabelle 1 zusammengestellt:

Tab. 1

Bildgröße: 40 cm × 50 cm
Trommeldurchmesser: 13,2 cm
Trommellänge: 56 cm
Trommeldrehzahl: 60, 90 u. 120 Umdrehungen pro Minute
Rasterfeinheit: 4 Linien pro mm
(auch umschaltbar auf $4\frac{1}{3}$ Linien pro mm)

Übertragungszeit in Minuten:

a) bei 4 Linien pro mm: (Modul 528)	33 Min. (60 Umdr.)	22 Min. (90 Umdr.)	16,5 Min. (120 Umdr.)
b) bei $4\frac{1}{3}$ Linien pro mm: (Modul 576)	36 Min. (60 Umdr.)	24 Min. (90 Umdr.)	18 Min. (120 Umdr.)
Modulation:	Amplituden-Modulation		
Trägerfrequenz:	1900 bzw. 2500 Hz.		

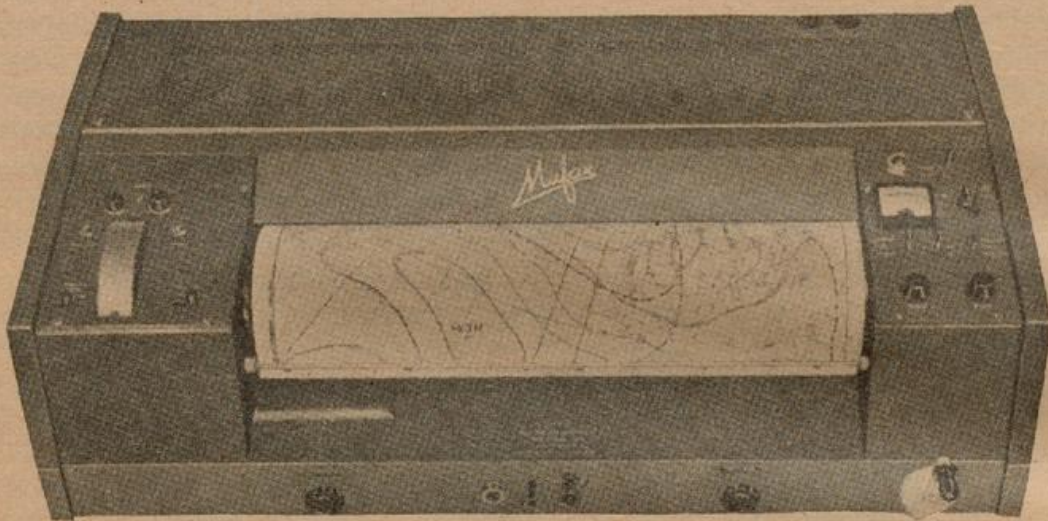


Abb. 2 Sender des Bildübertragungsgeräts der Firma Muirhead.

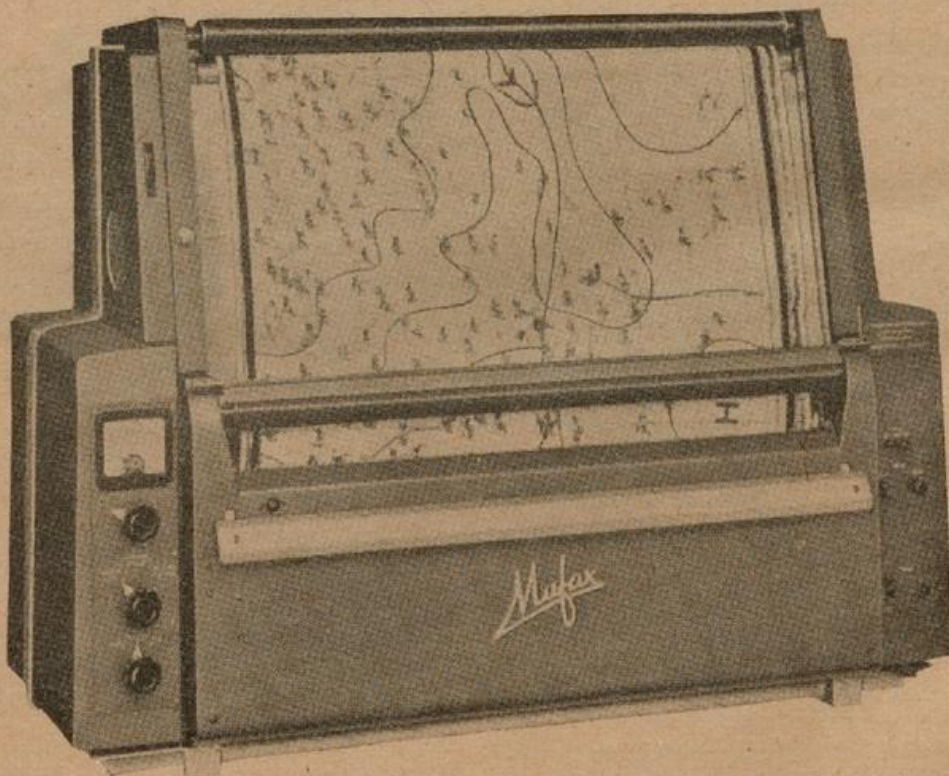


Abb. 3 Empfänger des Bildübertragungsgeräts der Firma Muirhead

Im Vergleich zum HELLFAX-Gerät werden in Abb. 2 u. 3 diejenigen Bildübertragungsgeräte gezeigt, welche in England von der Firma Muirhead, Beckenham/Kent gebaut und in England sowie in Kanada für die Bildübertragung von Wetterkarten verwandt werden.

Die Abb. 2 veranschaulicht den Sender und Abb. 3 den Empfänger, der als Blattschreiber konstruiert ist.

In den Vereinigten Staaten sind die von der Times Facsimile Corporation gebauten Bildübertragungsgeräte im Wetterdienst eingesetzt. Eine Ansicht des Empfängers gibt Abb. 4 wieder.

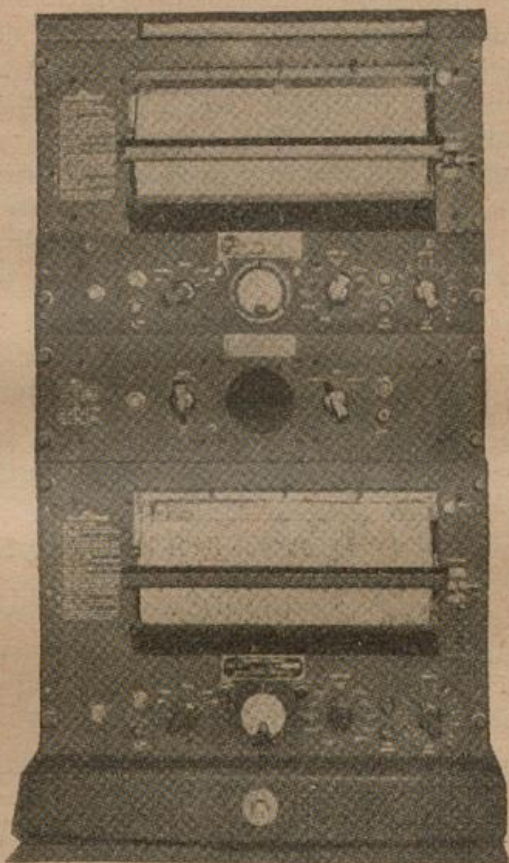


Abb. 4 Empfänger des Bildübertragungsgeräts der Times Facsimile Corporation.

Die Tabelle 2 enthält die wesentlichsten Daten für die Bildübertragungsgeräte der Firma Muirhead (MUFAX) und der Firma Times Facsimile Corporation (TIMEFAX).

Tab. 2

	MUFAX-Sender (Modul 576)	TIMEFAX-Empfänger (Modul 576)
Bildgröße:	45,7 cm × 55,9 cm	30,8 cm × 48,6 cm
Trommeldurchmesser:	15,25 cm	15,25 cm
Trommellänge:	55,9 cm	31,1 cm
Trommeldrehzahl: (Umdrehungen pro Minute)	30, 60, 120	5, 30, 45, 60, 90, 120
Rasterfeinheit: (Linien pro Millimeter)	3,76	3,76
Übermittlungszeit bei 60 Umdrehungen pro Min.	34 Minuten	19 Minuten
Modulation:	Amplituden- Modulation	Amplituden- Modulation

Sie läßt erkennen, daß beide Geräte mit der gleichen Rasterfeinheit (3,76 Linien pro Millimeter = 96 Linien pro Zoll) arbeiten. Der Modul, d. i. das Produkt aus Trommeldurchmesser und Linienanzahl pro Millimeter, ist bei beiden Geräten der gleiche, nämlich 576. Der MUFAX-Sender besitzt eine größere Trommel (Länge 59,9 cm) als das TIMEFAX-Gerät, bei welchem die Trommel nur 31,1 cm lang ist. Der Trommeldurchmesser beträgt bei beiden Geräten 15,25 cm. Wegen der längeren Trommel ist das Bildformat bei den MUFAX-Geräten größer — nämlich 45,7 cm \times 55,9 cm — als bei den TIMEFAX-Geräten (30,8 cm \times 48,6 cm). Wird das Bild mit 60 Umdrehungen pro Minute übertragen, so benötigt man beim MUFAX-Gerät 34 Minuten, beim TIMEFAX-Gerät 19 Minuten Übertragungszeit. Bei beiden Geräten erfolgt die Leitungsübertragung mit Amplituden-Modulation.

Es muß besonders darauf hingewiesen werden, daß für das englische wie das amerikanische Bildübertragungsverfahren zur Bildaufzeichnung im Empfänger besonders präpariertes Papier notwendig ist. Beim MUFAX-Empfänger muß feuchtes, mit einem Elektrolyten getränktes Papier aufgespannt werden, beim TIMEFAX wird trockenes elektrosensibles Spezialpapier für die Aufzeichnung benötigt. Demgegenüber hat das HELLFAX-Verfahren den wesentlichen Vorteil, daß jede Papierart, also auch — wie oben bereits erwähnt — eine vorgedruckte Wetterkarte für den Bildempfang verwendet werden kann. —

Mit dem HELLFAX-Gerät sind durch den Deutschen Wetterdienst bei tatkräftiger Unterstützung seitens der Deutschen Bundespost in der Zeit vom 9. bis 17. 9. 1954 die ersten Übertragungsversuche durchgeführt worden.

Für die Versuche wurde sowohl der Draht- wie auch der Funkweg gewählt. Die Funkausstrahlung erfolgte auf Langwelle (zunächst auf 106,2 kHz, später auf 106,7 kHz).

Der Bildsender befand sich in Frankfurt/Main, Bildempfänger waren in Hamburg und in Kiel aufgestellt. Die Funkübertragung wurde frequenzmoduliert (Sendart F 3) vorgenommen, da die Frequenzmodulation gegen Störungen wesentlich unempfindlicher als die Amplitudenmodulation ist. Die vom Bildsender gelieferten amplitudenmodulierten Bildimpulse mußten also für die Aussendung durch einen Umsetzer in frequenzmodulierte Impulse umgewandelt werden.

In Frankfurt-Bonames war ein 20 kW-Kurzwellensender mit einem Frequenzhub von \pm 400 Hz mit Rhombus-Antenne eingesetzt. Die Langwellenversuche liefen über einen Sender in Mainflingen mit Dreiecksflächenantenne. Hier betrug die Antennenleistung bei einem Hub von \pm 400 Hz 10 kW und bei einem Hub von \pm 200 Hz 20 kW.

Empfangsseitig war bei der Funkaufnahme der Sendungen dem HELLFAX-Bildempfänger ein Funkempfangsgerät vorgeschaltet, das bei 600 Ohm eine Ausgangsspannung von wenigstens 0,17 Volt lieferte.

Die Ergebnisse dieser ersten Versuche waren im großen und ganzen recht gut. Die übertragenen Wetterkarten, Wolkenquerschnitte — und auch die als Bild übermittelten Zahlenwetter — zeigten eine durchaus befriedigende Deutlichkeit in der Wiedergabe. Die Versuche erbrachten wertvolle Hinweise bezüglich der Übertragungstechnik. Gleichzeitig wurden manche Erfahrungen für den praktischen Wetterdienstbetrieb gewonnen über die für die Bildübertragung anzuwendende Zeichentechnik. Man erkannte u. a., daß eine Zahlenhöhe von 3 mm für eine leserliche Übertragung ausreicht.

Es ist geplant, Anfang des Jahres 1955 weitere Versuche mit einem größeren festen Sendeprogramm durchzuführen. Im einzelnen ist beabsichtigt, Wetterkarten des 0000- und 1200-GMT-Termins mit etwa 200 Einzelwettern durch Bildfunk zu verbreiten, außerdem mindestens 2 Bodenvorhersagekarten, die 3stündige- und 24stündige Druckänderung, eine aerologische Übersicht, sowie Topographien der 850, 700, 500 und 300 mb-Fläche, ebenso Vorhersage-Topographien des 700 und 500 mb-Niveaus.

In diesem Zusammenhang interessiert, daß der Britische Wetterdienst bereits jetzt täglich folgende Bildsendungen über Funk verbreitet:

3 Boden-Vorhersagekarten (von 0000, 0600 und 1200Z), 12 Höhen-Vorhersagekarten (für 700, 500, 300, 200, 100 und 500/1000 mb von 0300 und 1500Z), 2 Bodenanalysen (von 0300 und 0900Z), 5 Bodenkarten von England (von 0600, 0700, 0800, 0900 und 1300Z), 2 Pilot-Sendungen von England in Tabellenform (von 0300 und 1500Z), 2 Tempsendungen von England auf Tephigramm-Papier (von 0300 und 1500Z).

Angesichts der vielen Vorteile, welche die Bildübertragung von Wetterkarten den meteorologischen Diensten bietet, ist es nicht erstaunlich, daß schon z. Zt. auf der gesamten Nordhemisphäre mindestens 14 Facsimile-Wetterkarten-Ausstrahlungen laufend betrieben werden. Die Nordhemisphärenkarte in Abb. 5 gibt

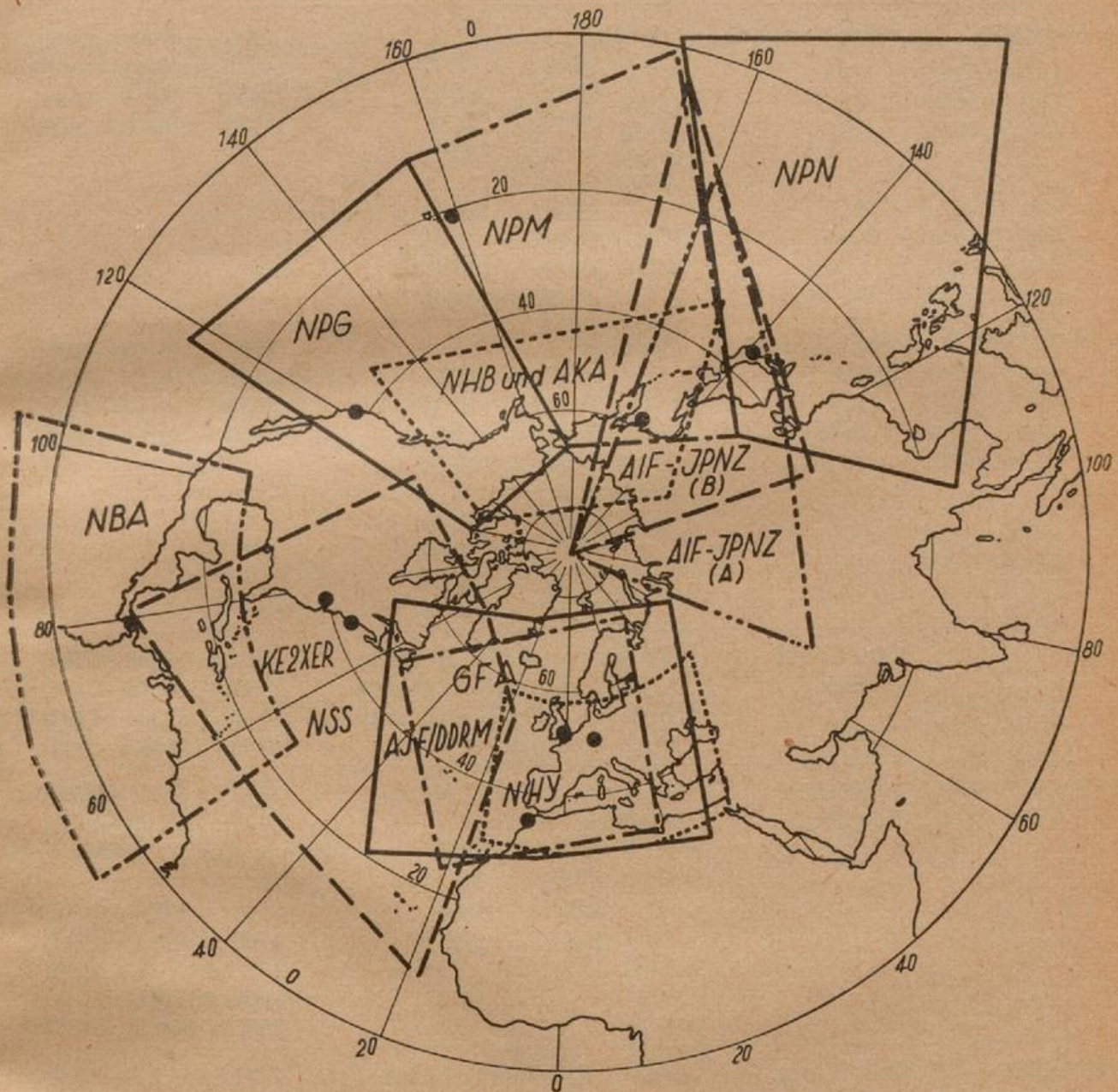


Abb. 5 Augenblicklich laufende Wetterkarten-Bildfunksendungen.

einen geographischen Überblick über diese bereits laufenden Wetterkarten-Bildfunksendungen. Die Karte zeigt gleichzeitig die Grenzen der Analysen-Bereiche, für welche die betr. Sender Wetterkarten im Bildfunk ausstrahlen. Der Gedanke liegt nahe, daß durch internationale Abmachungen die Analysen-Bereiche der Facsimile-Sender so festgelegt werden, daß sich mit geringen Überschneidungen synoptische Bildwetterkarten für die gesamte Nordhalbkugel aneinanderfügen lassen.

In der Tabelle 3 sind die Rufzeichen der Facsimile-Sender, die Analysenbereichsgrenzen und die Funk-Frequenzen nochmals im einzelnen aufgeführt. Hierdurch soll eine bessere Übersicht ermöglicht werden, als sie durch die in Abb. 5 abgebildete Karte gegeben werden kann.

Tab. 3

Rufzeichen	Standort	Wetterkartenbereich	Frequenzen der Funkausstrahlung in kHz (Sendezeiten in GMT)	
AIF-JPNZ	Tokio (Japan)	Bereich A:	3205	(0000—2400)
		36°N 70°E	6940	(0000—2400)
		90°N 160°E	13450	(0000—2400)
		36°N 128°E	15755	(0000—2400)
		13°N 160°E		
		Bereich B:		
		90°N 160°E		
		37°N 110°W		
AJF/DDRDM	Frankfurt/M. (U.S.A.F.)	Bereich 1:	2980	(0115—2400)
		65,5°N 65°E	4767	(0115—2400)
		73°N 26°W	7835	(0115—2400)
		27°N 28°E	11440	(0115—2400)
		29°N 05°W		
		Bereich 2:		
		51°N 74°W		
		73°N 26°W		
AKA	Elmendorf (Alaska)	Ostasien, nördl. Pazifik,	2066	(0300—2400)
		Arkt. Ozean, nördl. Nordamerika, Grönland und Nord-Atlantik	5742,5	(0300—2400)
			9115	(0300—2400)
			10480	(0300—2400)
GFA	Dunstable (England)	Westeuropa und Nordatlantik	3143	(0100—1730)
			4780	(0100—1730)
		72°N 42°E	sofern nur 1 Sender verfügbar:	
		47°N 56°W	3143	(0100—0930)
		32°N 19°E	4780	(0930—1730, samstags 1130)
		24°N 21°W	außerplanmäßig:	
			2655, 5840, 9485	
KE2/XER	New York (U.S.A.)	Westl. Nordhemisphäre	4797,5	(1100—2200)
			12862,5	(1100—2200)
			17310	(1100—2200)
			(nur Montag bis Freitag)	
NBA	Balboa (Panama)	Karib. Inseln und Pazifik	6439	(0000—1200)
			9285	(0500—2300)
		25°N 54°W	13572,5	(0500—2300)
		25°N 103°W	18620	(1900—0700)
		06°S 54°W		
		06°S 103°W		

Fortsetzung der Tabelle 3

Ruf- zeichen	Standort	Wetterkartenbereich	Frequenzen der Funk- ausstrahlung in kHz (Sendezeiten in GMT)				
NHB	Kodiak (Alaska)	Aläuten und Nord- Pazifik	8650	(0000—1800)			
			12817,5	(0000—1800)			
			17045,6	(0000—1800)			
			2356	(0600—1200)			
			4075	(0600—1200)			
		65°N 122°E					
		70°N 108°W					
		35°N 131°W					
		31,5°N 150°E					
NHY	Port Lyautey (Frz. Marokko)	Mittelmeer und Europa	5420	(0600—1800)			
			9105	(0400—2400)			
			13415	(0400—2400)			
			16360	(0800—2000)			
					30°N 16°W		
		30°N 34°E					
		56°N 51°E					
		58°N 25°W					
NPG	San Franzisko (U.S.A.)	Östl. Pazifik	5345	(0100—2100)			
			9455	(0100—2100)			
			14927,5	(1500—1000)			
			18080	(1800—0600)			
			21785	(1800—0600)			
		10°N 118°W					
		11°N 156°W					
		68°N 179°W					
		68,5°N 100°W					
NPM	Pearl Harbour (Hawai)	Nord-Pazifik	4802,5	(0600—1800)			
			9440	(0300—2300)			
			13862,5	(0300—2300)			
			16400	(1800—0600)			
					11°N 156°W		
		47°N 127°E					
		68°N 179°W					
		00,5°N 169°E					
NPN	Guam (Marianen- Inseln)	Südwest-Pazifik	4975	(0700—1900)			
			9282,5	(0200—2200)			
			13807,5	(0200—2200)			
			18620	(1900—0700)			
					15,8°N 100,3°E		
		47,2°N 126,9°E					
		00,5°S 168,8°E					
		19,1°S 140,7°E					
NSS	Washington (U.S.A.)	Osteil der Vereinigten Staaten (Ausstrahlung West)	3357	(0200—2200)			
			4975	(0000—1200)			
			9190	(0200—2200)			
			11065	(0200—2200)			
			16410	(1200—0000)			
					68°N 50°W		
					15°N 50°W		
					08,8°N 80,5°W		
					52,8°N 115,5°W		
					Nordatlantik (Ausstrahlung Ost)		
					68°N 50°W		
					15°N 50°W		
					08,8°N 18,8°W		
		53,2°N 16,2°W					

Betrachtet man die Tabelle 3 vom funkerischen Standpunkt, so fällt auf, daß alle derzeitigen Facsimile-Ausstrahlungen auf Kurzwelle (2 bis 21,7 MHz), also im Spektrum der kürzeren Hektometer- bis zu den längeren Dekameterwellen durchgeführt werden. Wegen des guten Empfangs der Bodenwelle von energiestarken Langwellensendern sollte man aber eine Langwellen-Übertragung nicht von der Hand weisen. Der Deutsche Wetterdienst wird jedenfalls für seine weiteren Versuche die Langwellen-Ausstrahlung auf 106,7 kHz wählen, da für diese Frequenz sehr befriedigende Ausbreitungsverhältnisse nicht nur in Deutschland sondern auch im europäischen Bereich festgestellt werden konnten. Daneben werden jedoch auch Kurz-

wellensendungen weiter erprobt. — Zwar wäre für eigene Belange eine Drahtübertragung störungsfreier als der Funkweg, doch würden bei der Übermittlung auf Leitungen (Fernsprechleitungen mit 3000 Hz Bandbreite) die Kosten hierfür nicht mehr tragbar werden.

Es steht außer Frage, daß der Facsimile-Dienst Zukunft hat. Er bringt eine zweckdienliche *M o d e r n i s i e r u n g* im Wetternachrichtendienst dadurch, daß manuelle Tätigkeit durch Technik ersetzt wird. Gleichfalls bewirkt die Bildübertragung *Z e i t g e w i n n*. Er beträgt für die Durchgabe von Wetterkarten mindestens 40 bis 60%. Für die Verbreitung von Zahlengruppen gilt allgemein, daß man durch Facsimile dreimal soviel Gruppen wie durch Fernschreiber und siebenmal soviel wie über Morsefunk übertragen kann. Ohne Zweifel muß die Bildübertragung für den internationalen wie für den innerdeutschen Wetternachrichtenaustausch als ein außerordentlich wirksames Nachrichtenmittel im meteorologischen Dienst angesehen werden.

Literatur

- (1) Ockenden, C. V.: Meteorology and facsimile. WMO Bull. 3, 30 (1954).
- (2) Dt. Meteor. Jb. Bayern 1925—28, 1. T., Ziff. 3 und Ahlgrimm, Fr.: Versuche der drahtlosen Bildübertragung der Ozeanwetterkarte an Schiffe auf dem atlantischen Ozean. Ann. Hydrogr. 54, 205 (1926).
- (3) Scheppmann, W. u. Eulenhöfer, A.: Lorenz-Laboratorium f. Bildtelegraphie 1937, 100.
- (4) Erbe, H.: Bildnetz für Wetterkarten in Kanada. Fernmeldepraxis 31, 231 (1954) und Beschreibung „Faxpro“, Meteor. Div. Kanada, Toronto (1953); s. auch Journal UIT 20, 178 u. 181 (1953).
- (5) Wüsthoff, P.: Die Gestaltung des Wetternachrichtenwesens im Deutschen Wetterdienst. Fernmeldepraxis 30, 802 (1953).

