

promet

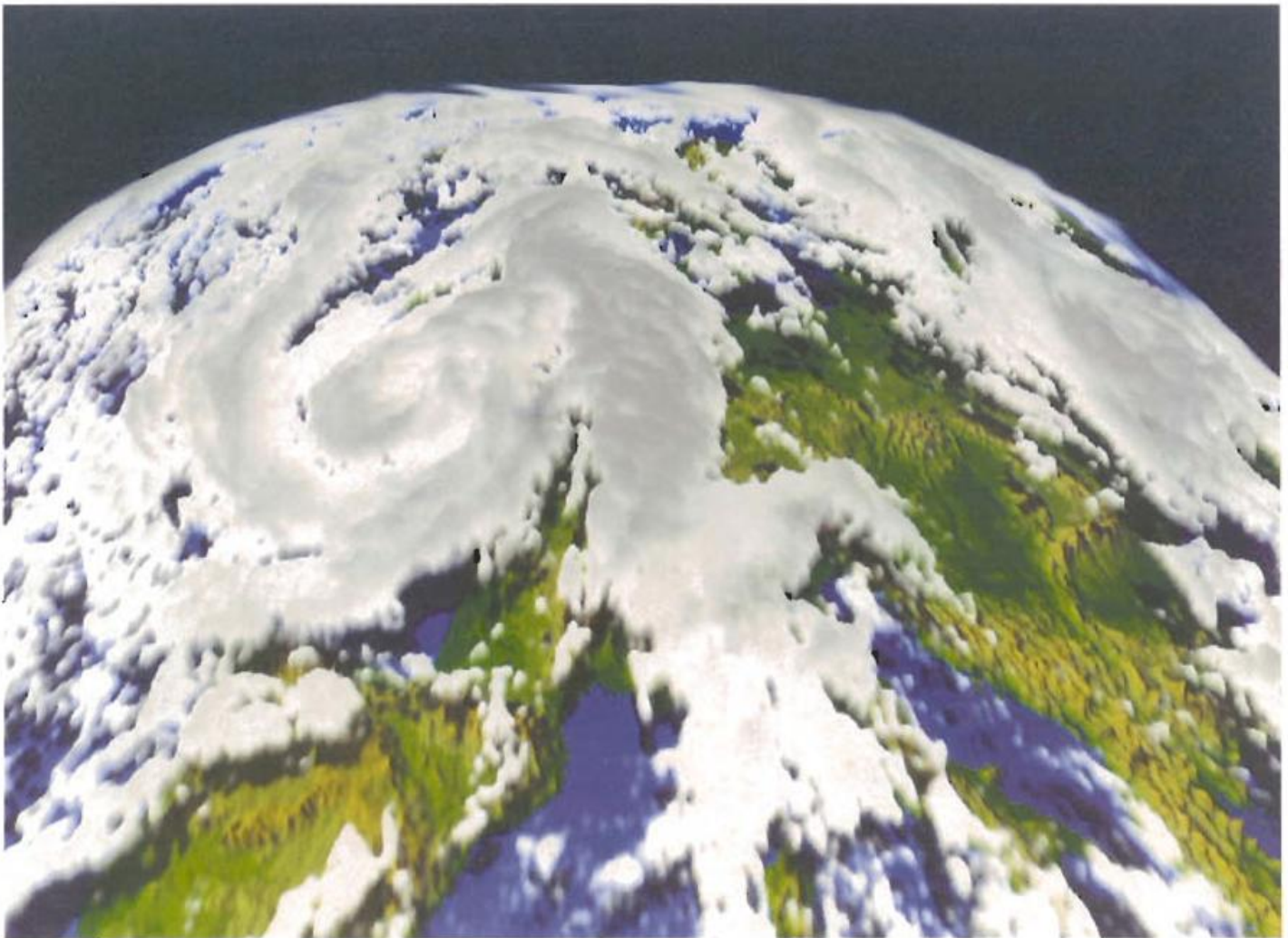
Jahrgang 24
Heft 4

meteorologische fortbildung

DWD



Wettervorhersagedienst II



Herausgeber

Deutscher Wetterdienst

Hauptschriftleiter

Dipl.-Met. H.-D. Kirch

Redaktionsausschuß

Dipl.-Met. U. Gärtner (Offenbach a. M.)

Prof. Dr. J. Egger (München)

Prof. Dr. F. Fiedler (Karlsruhe)

Prof. Dr. G. Groß (Hannover)

Dipl.-Met. H. Kruse (Traben-Trarbach)

Dr. E. Müller (Offenbach a. M.)

Dr. J. Neisser (Lindenberg)

Prof. Dr. Chr.-D. Schönwiese (Frankfurt a.M.)

Dr. R. Simonis (Langen/Hess.)

Prof. Dr. G. Tetzlaff (Leipzig)

Zum Titelbild:

Das Titelbild zeigt Ex-Hurrikan IRIS am Eingang des Kanals am 7. September 1995. Die Visualisierung wurde mit dem DWD-Visualisierungssystem für Fernsehanstalten TriVis gemacht. Das Satellitenbild wurde dabei unter Beachtung der Wolkenhöhen auf ein Gitter übertragen, fraktal aufbereitet, über eine Kugel gefaltet und dreidimensional visualisiert (s. a. Beitrag 7).

promet erscheint im Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes – Zentralamt – Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach am Main. Bezugspreis pro Jahrgang (4 Hefte) im Abonnement DM 44,-, Einzelheft DM 12,-, Doppelheft DM 24,-, Dreifachheft DM 36,-. Für den Inhalt der Arbeiten sind die Autoren verantwortlich. Alle Rechte bleiben vorbehalten.

Druck: Weppert GmbH & Co. KG,
97422 Schweinfurt,
Zehntstraße 17

ISSN 0340-4552

Meteorologische Fortbildung

24. Jahrgang, Heft 4, 1995

Thema des Heftes:

Wettervorhersagedienst II

(Fachliche Redaktion: M. Kurz)

Inhalt	Seite
Zur Einführung	85
W. KUSCH, M. POGODA	
5 Das Meteorologische Applikations- und Präsentationssystem für den dezentralen Wettervorhersagedienst	85
T. BRUNS, K. DITTMER	
6 Weltweite meteorologische Schiffsroutenberatung im Seewetteramt	96
H.-J. KOPPERT	
7 Visualisierung meteorologischer Daten für Fernsehanstalten: Das System TriVis	106
K. BALZER	
8 Automatische Wettervorhersage mittels statistischer Interpretation	110
K. BALZER	
9 Prognosenprüfung - Ziele, Methoden, Ergebnisse	119
Habilitationen, Promotionen und Diplom-Hauptprüfungen im Jahr 1994	124
Buchbesprechungen - Neuerscheinungen	128
Vorausschau Tagungen	105

Thema des Heftes: Wettervorhersagedienst II

Zu diesem Heft

Mit diesem Heft endet der 24. Jahrgang. Damit ist aber das wichtige Thema Wettervorhersage noch nicht abschließend behandelt. Deshalb wird im nächsten, dem 25. Jahrgang, ein drittes Heft zu diesem Thema erscheinen. Im Anschluß daran wird ein Heft vorbereitet, das Beiträge vom Observatorium Hohenpeißenberg des Deutschen Wetterdienstes enthält. Es wird, ähnlich wie schon früher gelegentlich, nicht unter einem übergeordneten fachlichen Thema stehen.

Im 26. Jahrgang könnten dann die numerische Wettervorhersage und andere schon länger geplante Themen behandelt werden. Damit Mißverständnisse vermieden werden, sei hier noch einmal darauf hingewiesen, daß die Jahrgänge der Zeitschrift nicht mehr an die Kalenderjahre gekoppelt sind.

Der Schriftleiter

W. KUSCH, M. POGODA

5 Das Meteorologische Applikations- und Präsentationssystem für den dezentralen Wettervorhersagedienst (MAP)

1 Einleitung

Das IT-Zeitalter für den Wettervorhersagedienst begann im Deutschen Wetterdienst mit der Installation der ersten Großrechner (Cyber 3400,3800) und dem Start der numerischen Wettervorhersage (anfangs barotropes, später baroklines Modell) im Jahre 1965 (EDELMANN u. REISER 1976) (EDELMANN 1986). Seitdem haben die rasanten Entwicklungen auf dem IT-Sektor wesentliche Impulse für die Entwicklung der numerischen Vorhersagemodelle und für die IT-Ausstattung des Zentralamtes gegeben. So hatte der Meteorologe im Zentralamt immer einen erheblichen Informationsvorsprung gegenüber den regionalen Dienststellen des Wettervorhersagedienstes. Erst mit der Entwicklung dezentraler Hardware wie Personal Computer, Workstation und neuen Kommunikationstechniken wurden die Möglichkeiten zur Beseitigung der Defizite an den regionalen Dienststellen geschaffen.

2 Notwendigkeit von MAP-Systemen

Die wichtigste Aufgabe des regionalen Wettervorhersagedienstes sind neben der Kurzfristvorhersage die Wetterüberwachung, der Warndienst, Nowcasting und die Kurzzeitvorhersage. Um diese Aufgaben zeitkritisch erfüllen zu können, bedarf es moderner Kommunikationstechnik sowie dezentraler IT-Technik zur Präsentation von Beobachtungs- und Modelldaten, zum Einsatz von numerischen Auswertemethoden und numerischen Modellen.

2.1 Kundenanforderungen

Im Wettervorhersagedienst sind die Kundenanforderungen aus allen Bereichen der Wirtschaft, der Öffentlichkeit, den Medien, dem Flugwetterdienst und dem Seewetterdienst in den vergangenen Jahren erheblich gestiegen. Im Medienbereich ist die Entwicklung besonders durch die Privatisierung der Medienlandschaft gekennzeichnet. Eine Vielzahl regionaler und überregionaler Rundfunk- und Fernsehanstalten bedarf der ständigen Versorgung mit Beobachtungsdaten, Texten, lokalen Vorhersagen und bereits graphisch aufbereiteten Vorhersageprodukten. Dabei gewinnt der Aspekt der Aktualität immer mehr an Bedeutung. Aus den Bereichen von Industrie und Handel werden statt allgemeiner Texte zunehmend Vorhersagen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung gewünscht. Auch hier nimmt die Dringlichkeit der Forderung nach rechtzeitigen und räumlich detaillierten Warnungen ständig zu.

In der Luftfahrt besteht ein dringender Bedarf nach individueller nutzerorientierter Datenaufbereitung. Im Seewetterdienst wird besonderer Wert auf Beratungs- und Warndienst für das Küstenvorfeld und eine Verbesserung der Routenberatung für die Großschifffahrt gelegt.

2.2 Zunahme des Datenvolumens

Produzierte das numerische Vorhersagemodell BKL anfangs noch relativ wenige Vorhersagekarten, so nahm das Datenvolumen bereits 1978 mit der neuen Modell-

kette BKF/BKN um den Faktor 10 zu. Wie die nachstehende Tabelle ausweist, hat die Datenzunahme mit jeder neuen Modellgeneration exponentiellen Charakter. In der Tabelle 1 ist der Informationszuwachs bezogen auf eine 24stündige Vorhersage dargestellt:

Modell	BTP/BKL	BKF/BKN	GM/ EM/DM	GM_E/LM
Zeitraum	1966-1977	1978-1990	1991/93	ab 1998
Datenvolumen in MByte	.46	4.4	300	70.000
Faktor	10	70	230	

Tab. 1: Datenvolumen für eine 24stündige numerische Wettervorhersage. BTP=Barotropes Modell; BKL=Baroklines Modell; BKF/BKN=feuchtbarokline Modelle; GM/EM/DM=Modellkette aus Globalen Modell, Europa Modell und Deutschland Modell; GM_E/LM=Neues Globales Modell und Regional Modell.

Um die existierende und die zu erwartende Datenfülle rechtzeitig zu übermitteln sowie informativ zu präsentieren, bedarf es eines leistungsfähigen Kommunikations- und Präsentationssystem. Als neues Datenübermittlungssystem wird Ende 1995 das Satellitenverteilsystem in Betrieb genommen. Die zeitkritische und nutzergerechte Datenpräsentation erfolgt mit dem MAP-System.

3 MAP-Zielsetzung

Ziel der Entwicklung des *Meteorologischen Applikations- und Präsentationssystem* (MAP) für den regionalen Wettervorhersagedienst ist es, alle zentral bereitgestellten Informationen zu empfangen, zu speichern, zu verarbeiten und die Ergebnisse zeit- und nutzergerecht zu präsentieren. MAP umfaßt folgende Komponenten:

- IT-gestützte Wetterüberwachung und Nowcasting (0-2 Stunden)
- IT-gestützter Warndienst
- Einsatz lokaler Modelle für die Kurzfristvorhersage (2-12 Stunden)
- IT-gestützte objektive (numerische) Auswerte- und Vorhersagemethoden
- Automation der Flugwetterberatung (TAF, GA-FOR- und Routenvorhersagen, Segelflug und Ballonfahrten)
- Graphische Aufbereitung und Verbreitung der meteorologischen Informationen entsprechend den Kundenwünschen.

Mit MAP-Arbeitsplätzen sollen alle Dienststellen des Wettervorhersagedienstes ausgestattet werden, wobei die Zahl der Arbeitsplätze sich nach dem Aufgabenprofil der jeweiligen Dienststelle richtet.

4 MAP-Historie

Mit dem Projekt *Meteorologisches Applikations- und Präsentationssystem* werden einzelne IT-Projekte und

-Verfahren zu einem System zusammengefaßt. Ausgelöst wurde die Entwicklung der ersten dezentralen Komponente durch das Münchner Hagelunwetter im Juli 1984 (KURZ 1986). Dieses Ereignis führte 1985 zum Projektstart *Automatische Tempauswertung*, kurz AUTOTEMP. Damit sollte eine rasche und umfassende Auswertung von Vertikalsondierungen mit Betonung der Gewittervorhersage erreicht werden. Eine erste Basisversion wurde im Frühjahr 1987 fertiggestellt. Operationell wird das Programm seit März 1990 genutzt.

Die Entwicklung für ein zentrales *Interaktives Graphisches System* begann 1987. Primäres Ziel war es, die für die Erarbeitung thematischer Karten, wie z.B. der *Significant Weather Chart (SWC)*, zur Verfügung stehenden umfassenden Beobachtungs- und Modellinformationen automatisch auszuwerten, auf einem Graphikschirm zu präsentieren und interaktiv zu kontrollieren, zu verändern und zu ergänzen. Die interaktive Erstellung der SWC wird in der Analysen- und Vorhersagezentrale seit September 1990 durchgeführt (KOPPERT 1991).

Die Satellitenbildverarbeitung begann im DWD 1966. Seit 1984 ist die Darstellung der Bilder auf Bildschirmen möglich. 1987 begann die Entwicklung im Rahmen des Interaktiven Graphischen Systems. 1990 wurde ein Pilotprojekt gestartet, um die Möglichkeit der Bildübertragung mit Hilfe eines Datex-P-ähnlichen Netzes und die Darstellung auf einer IGS-Workstation an einer Außenstelle (Seewetteramt Hamburg) zu testen. Seit 1988 wurde im Meteorologischen Dienst der ehemaligen DDR ein Daten-Präsentations-System (DPS) für konventionelle Boden- und Höhenbeobachtungen entwickelt. Im Februar 1990 wurde der operationelle Betrieb dieses Moduls aufgenommen (KUSCH u. KOPPERT 1992).

Nach der Wiedervereinigung wurde begonnen, alle verfügbaren Softwarekomponenten in dem Meteorologischen Applikations- und Präsentationssystem zu integrieren. Diese Aufgabe soll bis Dezember 1995 beendet werden.

5 Funktionalität von MAP

MAP besteht aus einem System von Softwarekomponenten. Diese Komponenten können in Anwendungssoftware und Software für die Infrastruktur unterteilt werden. Merkmal der Anwendungssoftware ist, daß es sich hierbei um interaktive Applikationen handelt. Bei der Software für die Infrastruktur (Systemsoftware) handelt es sich im Gegensatz dazu um permanente Prozesse, die im Hintergrund ablaufen. Sie sind für die Datenübernahme, Erkennung und Speicherung zuständig.

5.1 MAP-Anwendungssoftware

5.1.1 MAP-Hauptanwendung

Die zentrale Applikation ist das Programm *map*. Mit dieser Anwendung können verschiedene Datenarten überlagert und diverse Auswerteverfahren gestartet werden. Das Ziel hierbei ist der schnelle Zugriff auf die Daten, die schnelle Wahl der Darstellungsform und die

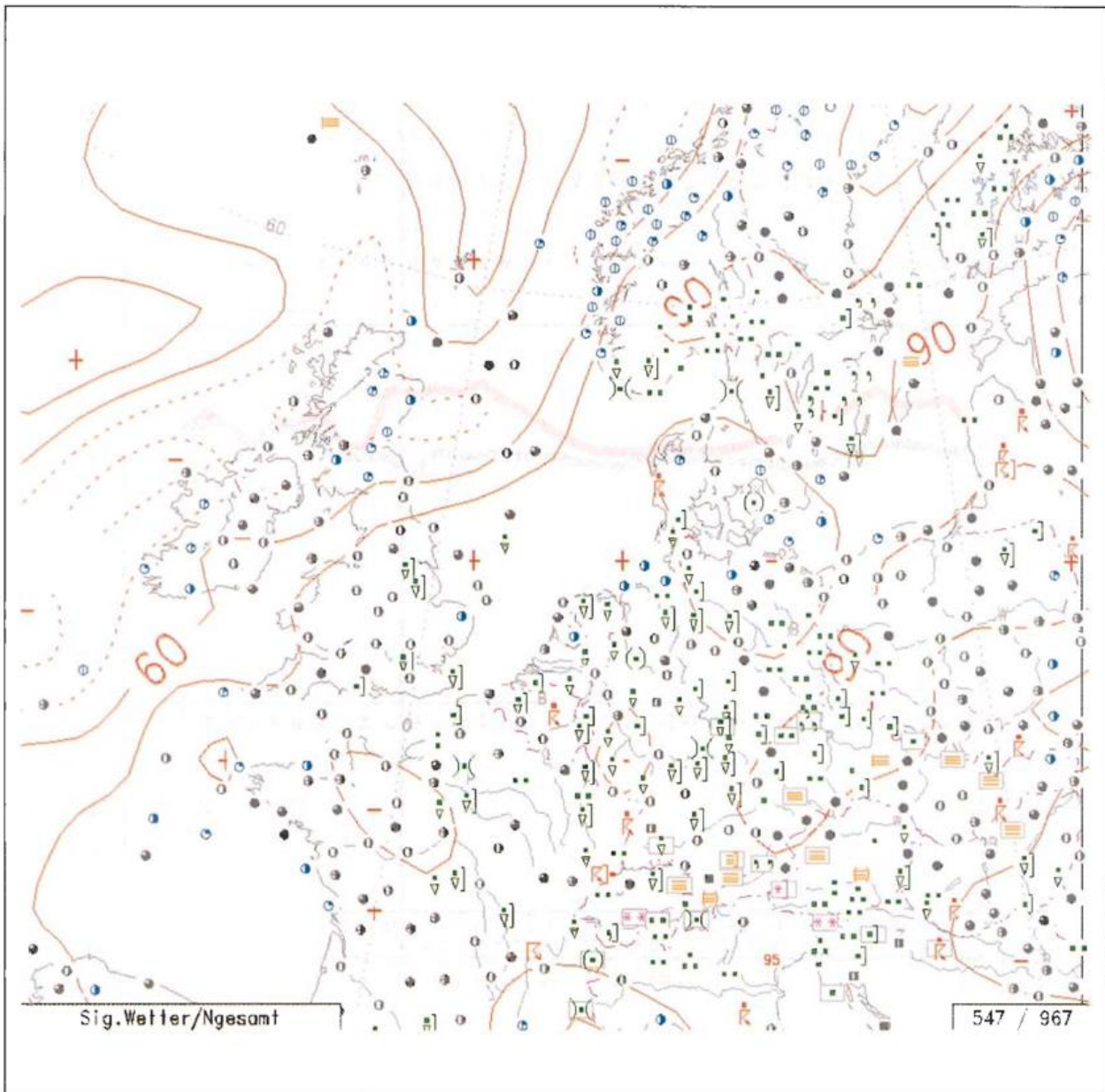


Bild 1: Signifikantes Wetter und relative Feuchte in 850 hPa

einfache Kombinationsmöglichkeit der verschiedenen Datenarten. Unterstützung in der Bedienung erfährt der Nutzer durch die graphische Benutzeroberfläche. Siehe hierzu den Abschnitt 5.1.4.

map leistet die geographische Darstellung von Boden-, Schiffs- und Höhenbeobachtungen sowie die Darstellung lokaler Modellvorhersagen DMO (Direct Model Output, auch KALMAN-gefiltert) aus Europa- und Deutschlandmodell, Modell- und Analyse-GRIDs und Isolinienfeldern auf der Basis von GRIDs und GKS-Metafiles des IGS (Bild 1). Weiterhin sind die Daten der Sondermeßnetze SWIS, STURMWARN und BLITZ integriert.

Diese Daten können bei einfacher Karten- und Terminwahl überlagert und gezoomt werden. Neben der geographischen Darstellung können ortsbezogene Daten auch als graphische Zeitserie dargestellt werden (Bild 2).

Als Zeitserie können auch die Mittelfristvorhersagen der statistischen Interpretation (AFREG) (Bild 3) sowie die Meteogramme aus dem IGS dargestellt werden. Neben den graphischen Darstellungen können Daten auch alphanumerisch dargestellt werden.

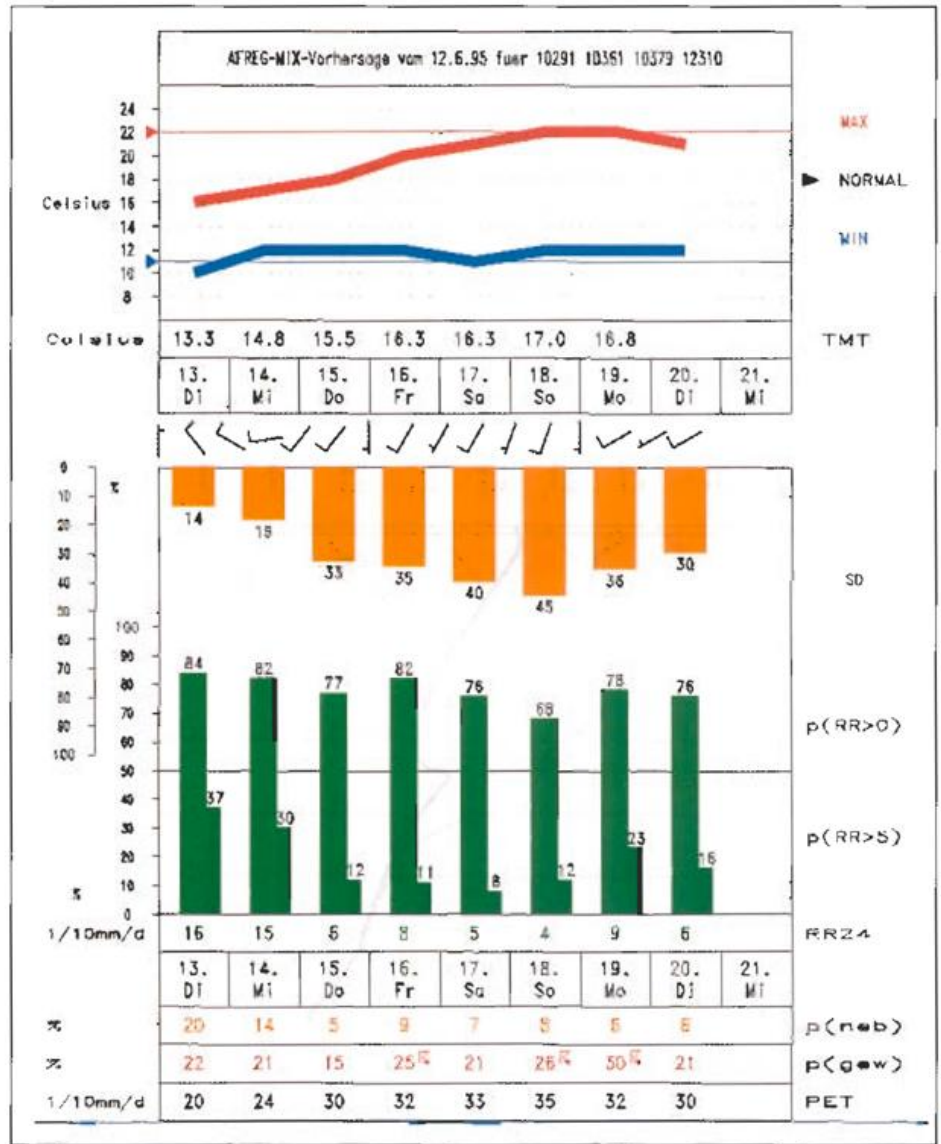
Folgende Funktionen sind für die Bodenbeobachtungen, DMO, SWIS und STURMWARN realisiert:

- Darstellung von Wetterelementen der Stationen eines wählbaren Gebiets als Zeitserien
- Darstellung von Wetterelementen einer Station
- Berechnung räumlicher Mittelwerte, Extremwerte, Druckgradient.

Mit **map** stehen wichtige Auswerteverfahren für Vertikalsondierungen zur Verfügung. Folgende Funktionen sind realisiert:

- Templisting
- Höhe der Druckflächen, Extrema und Vertikalverlauf der pseudopotentiellen Temperatur
- Berechnung des niederschlagbaren Wassers

Bild 3: AFREG-Vorhersage für Berlin-Brandenburg



Ort, Zeitpunkt und Wert des gewarnten Elements werden protokolliert. Je Termin und Warnelement wird bei Eintreten des Ereignisses akustisch und optisch darauf hingewiesen. Das akustische und optische Signal ist für einzelne Warnelemente abschaltbar (ohne Einfluß auf das Protokollieren). Alle protokollierten Warnungen können bequem nach verschiedenen Kriterien (Warnelement) tabellarisch angezeigt werden.

5.1.3 Interaktives Graphisches System

Der derzeitige Entwicklungsstand des zentralen Interaktiven Graphischen Systems enthält folgende Funktionen:

- Interaktive Bearbeitung thematischer Karten auf der Basis automatischer Entwürfe:
 - Signifikante Wetterkarten für Europa und den Fernostbereich
 - Bodendruckvorhersage mit der interaktiven Konstruktion von Fronten sowie der Möglichkeit der Einfügung von Boguswerten
 - Zeitungswetterkarte
 - eine durch ein Administratortool zu definierende

thematische Karte wie z.B. Warnkarten sowie Darstellung signifikanter Wetterparameter

- Präsentation der Modelldaten in Form von Standardfeldern, diagnostischen Parametern, Meteorogrammen, Vertikalschnitten und Trajektorien
- Animation von Modellfeldern
- Überlagerung von Isolinienfeldern, Eintragungskarten, Satelliten- und Radarbildern
- Präsentation und Auswertung der Satellitenbilddaten von METEOSAT und NOAA
- Animation der Bilddaten

5.1.4 Benutzeroberfläche

Eine wichtige Aufgabe des MAP-Projektes ist die Harmonisierung der Benutzeroberfläche der verschiedenen vorhandenen Einzelanwendungen. Für alle neu zu entwickelnden Applikationen gilt, daß sie dem Nutzer mit einem einheitlichen Erscheinungsbild entgegenzutreten sollen. Dadurch soll den Nutzern die Einarbeitung in neue Anwendungen wesentlich erleichtert werden, da nur noch die Funktionalität, nicht aber die Handhabung neu ist. Als Richtlinie für die Gestaltung des Layouts

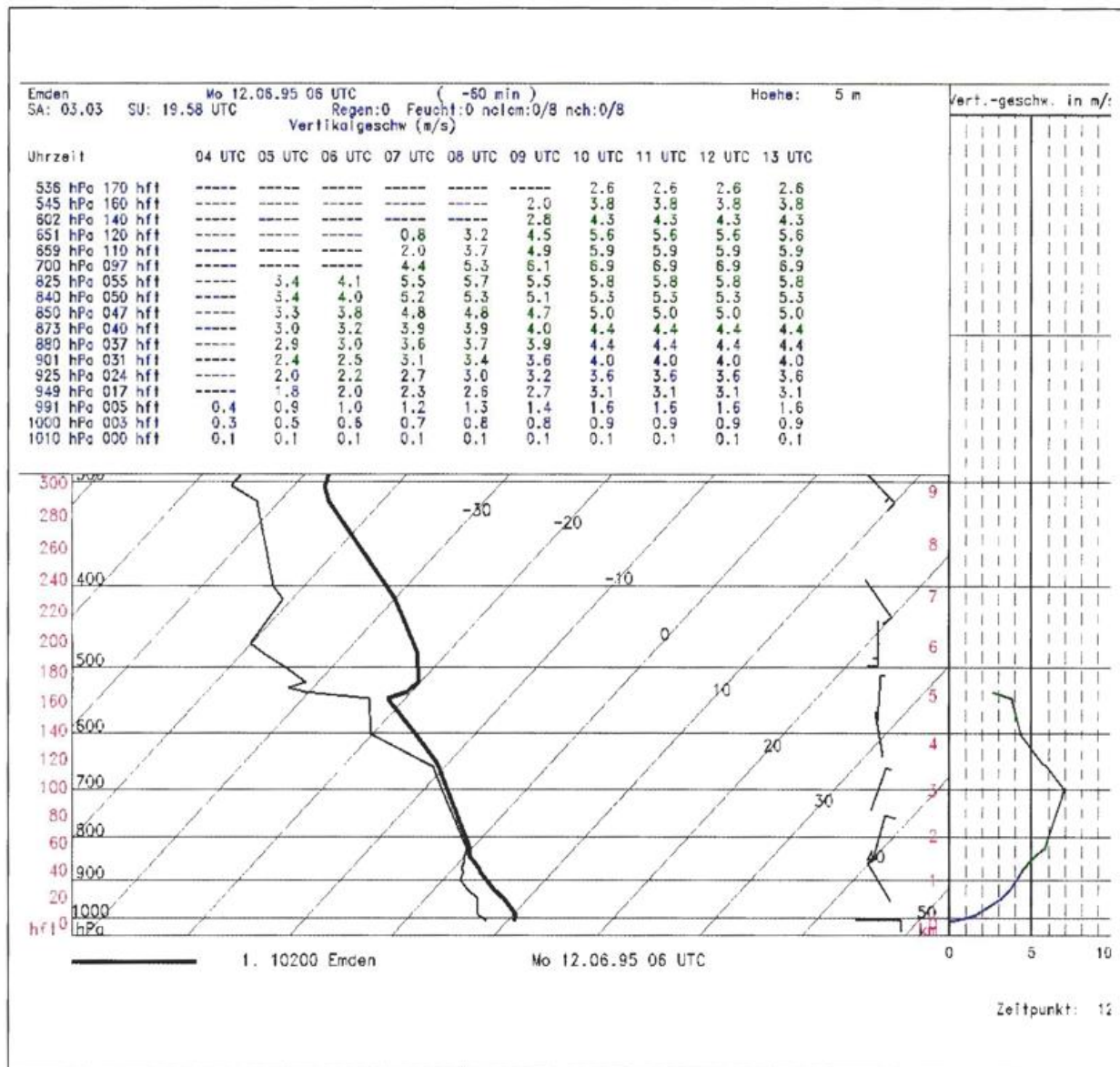


Bild 4: Tagesgang der Konvektion

wird der *OSF/Motif Style Guide* zugrunde gelegt. Damit wird nicht nur die Konsistenz der MAP-Anwendersoftware gewährleistet, sondern auch die Konsistenz zu *Microsoft Windows*, dem *Presentation Manager* und *Common User Access (CUA)*.

Somit sollte einem Nutzer, der mit einer Standardsoftware vertraut ist, der Einstieg in die MAP-Software nicht schwer fallen. In dieser Erwartung wurden die Entwickler seit der Installation durch die Nutzer bestätigt. Der typische Aufbau einer solchen Anwendung wird anhand des map-Programms erläutert. Hier sind die immer wiederkehrenden Fensterelemente erkennbar:

- der Menübalken am oberen Fensterrand,
- eine Statuszeile am unteren Fensterrand,
- ein Formular zwischen Menübalken und Statuszeile (hier bestehend aus einer Darstellungsfläche und weiteren Schaltern am linken und rechten Fensterrand).

Die Menüs der Menübalken sind maximal zweistufig und können in der zweiten Stufe gegebenenfalls in eine Dialogbox verzweigen. Diese Vorgabe und das Ziel einer Bedienung mit möglichst wenigen Mausklicks führten zu den Schaltflächen neben der Darstellungsfläche im Beispiel des Bildes 7.

Grundsätzlich werden z.Z. nicht verfügbare Optionen nur schattiert dargestellt. Die Auswahl eines solchen Menüpunkts ist nicht möglich.

5.1.5 Softwareausbau

Im Sommer 1995 erfolgte die Installation der Version 2.3. Diese Version enthält die Datenarten BLITZ und STURMWARN und kann damit den Warndienst noch besser unterstützen. Ganz wesentlich ist auch die vollständige Integration der RADAR- und Satellitenbilddaten. MAP ist ein modulares System und offen für die Einbindung neuer Anwendungen. Für 1995 ist die Inte-

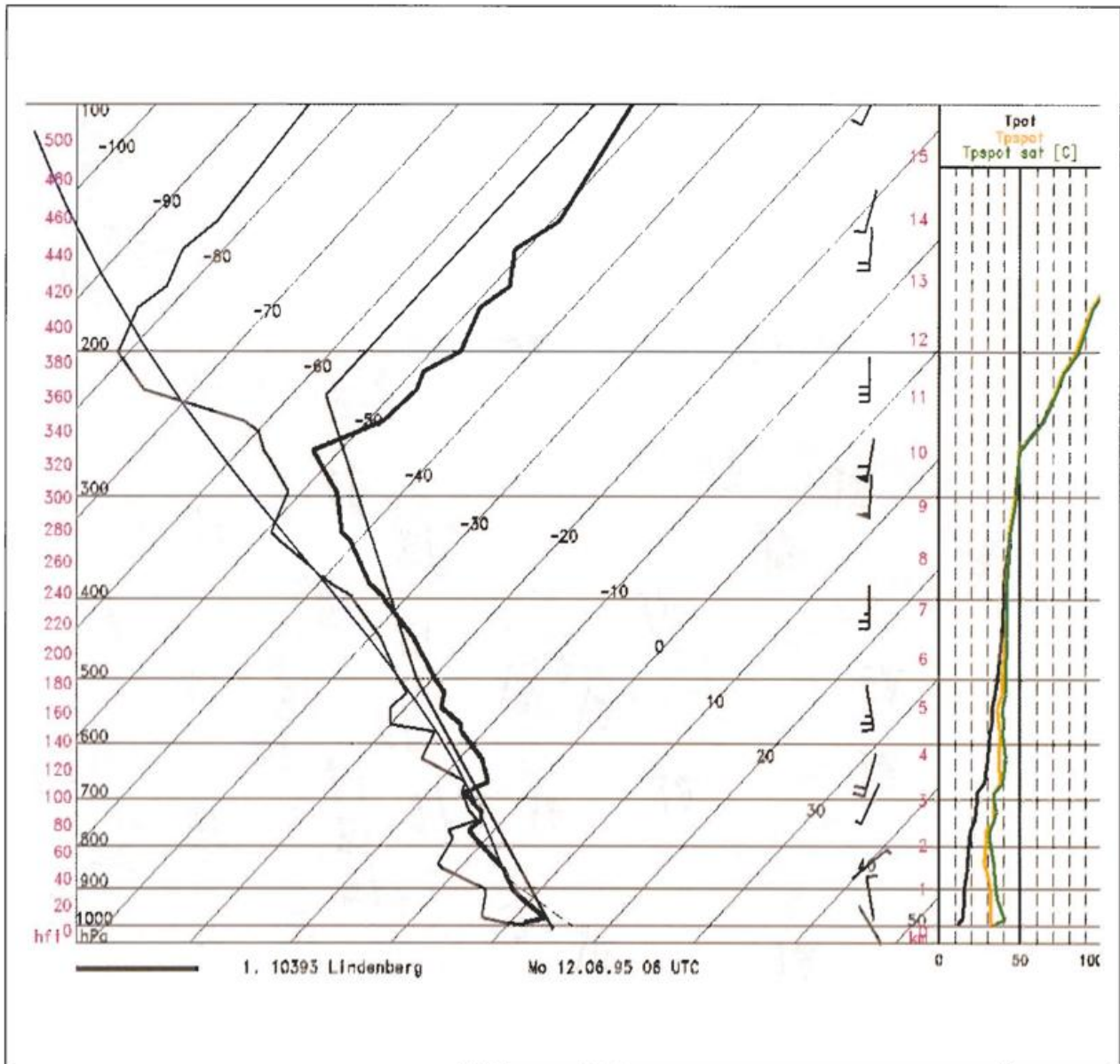


Bild 5: Tempdiagramm Lindenberg

gration von in der Entwicklung befindlichen Verfahren wie z.B. die Automatische TAF-Vorhersage (AUTO-TAF) lokaler Modelle für NOWCASTING und Kurzfristvorhersage sowie als weiteres Teilvorhaben MAP/BERICHTE vorgesehen. MAP/BERICHTE ist die teilautomatisierte Integration aktueller Beobachtungs- und Meßwerte sowie abgeleiteter Größen in Textbausteine, so daß Wetterberichte, Warnungen und andere Dokumente mit Rechnerunterstützung (Berichte-PC) erstellt werden können. Ebenfalls in das MAP-System integriert ist das Straßenzustands- und Wetterinformationssystem SWIS. Ausführlich ist SWIS im Beitrag von Raatz im nächsten Heft dargestellt.

Zusätzlich zu dem hier vorgestellten Grundsystem ist die Entwicklung und die Implementierung spezieller standardisierter Arbeitsplatzkonfigurationen (z.B. Flugwetterberatung, Wetterüberwachung und Warndienst, Allgemeine Wettervorhersage, Medientvorhersage)

gen) mit einer an der Funktionalität des Arbeitsplatzes ausgerichteten Bedieneroberfläche, die zeitgesteuert automatisch Produkte zur Bearbeitung bereitstellen, bis Ende 1995 vorgesehen.

5.2 Systemsoftware

5.2.1 Erkennung und Entschlüsselung

Die Datenversorgung der MAP-Arbeitsplätze mit Beobachtungsdaten erfolgt durch das AFW. Dazu werden über eine PC-Schnittstelle des AFW die Daten i.a. seriell mit 9600 bit/sec zum Datenserver-Rechner übertragen.

Die IT-Vorhaben DWDNET und FAX_E eröffnen neue Kommunikationswege (nähere Erläuterungen hierzu siehe unten). Es wird hier angenommen, daß die mit Hilfe der genannten Verfahren übertragenen Daten auf einem Server verfügbar sind. Dieses Datenmaterial kann grundsätzlich in zu entschlüsselnde (d.h. zu „erkennende“) und direkt speicherbare Daten unterschieden wer-

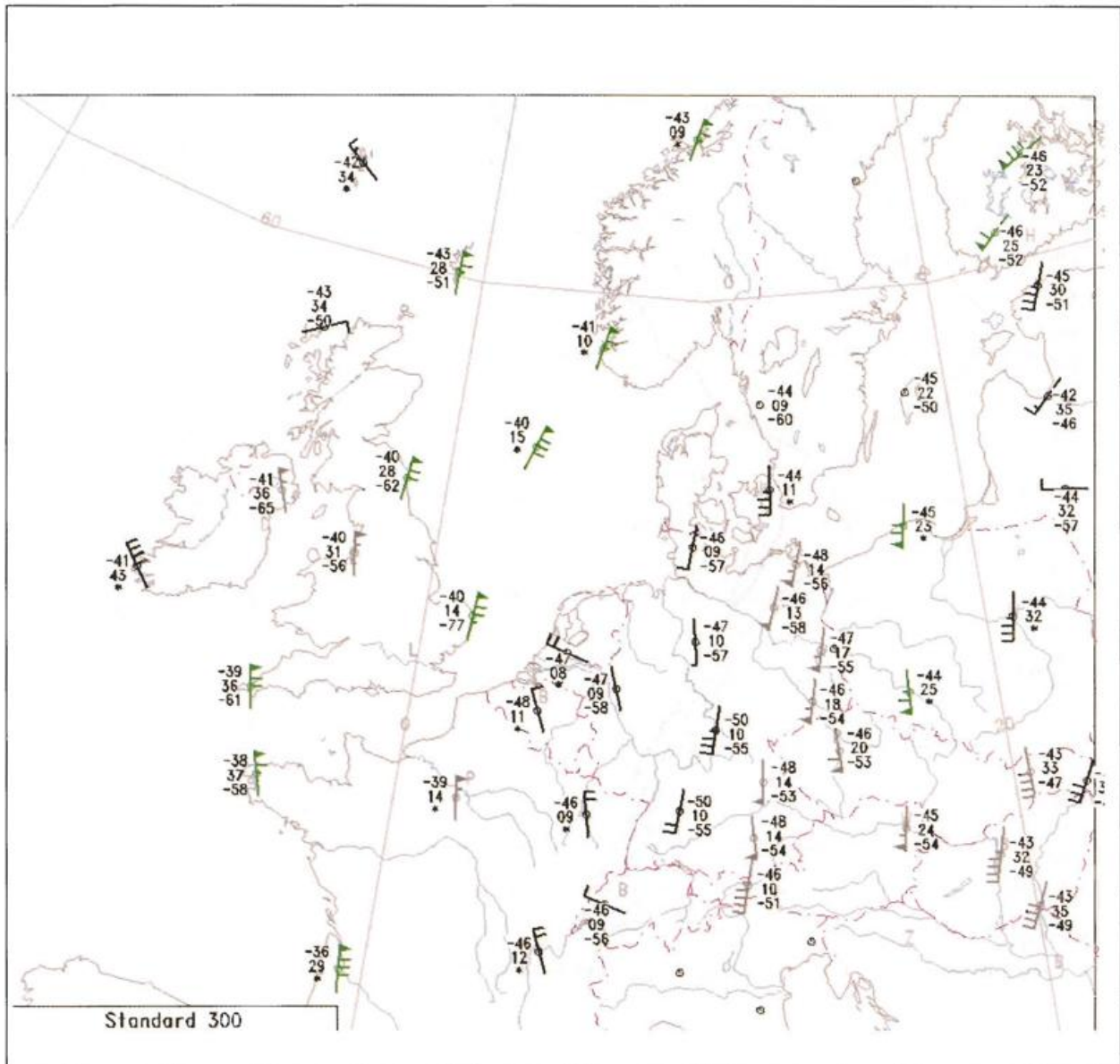


Bild 6: Standard-Tempeintragung 300 hPa

den. Jeder Eingangsdatenstrom wird von einem „Filter“ überwacht, der das eingehende Datenmaterial hinsichtlich der nötigen Arbeitsschritte (Erkennung oder direkte Speicherung) selektiert (siehe Bild 8).

Die im Bulletinformat übertragenen Daten werden einer zweistufigen Erkennung zugeführt, deren 1. Stufe eine Sortierung und Syntaxprüfung durchführt. Die 2. Stufe führt neben der Entschlüsselung eine Prüfung des Datenmaterials durch. Dabei werden neben Plausibilitätstests vor allem Tests auf warnwürdige Ereignisse durchgeführt. Liegen solche Ereignisse vor, werden diese Daten an das Warnmodul übergeben. Der Meteorologe wird optisch und akustisch aufgefordert, diese Information zur Kenntnis zu nehmen und entsprechende Aktionen auszulösen.

Beide Teile der Erkennung erzeugen Statistiken über das eingehende Datenmaterial (Anzahl der eingehenden Meldungen, Fehler im Meldungsformat, erkannte Fehler bei der Plausibilitätsprüfung, erkannte kritische Zustände). Diese Statistiken sind abrufbar und helfen so

dem Routineadministrator (siehe 5.2.4) bei der Systemüberwachung. Die erkannten Daten werden an den Datenserverprozess DSP zur Speicherung auf der Festplatte weitergereicht.

5.2.2 Datenbasis

Das MAP-System arbeitet mit zwei unterschiedlichen Datenarten, Daten mit Datensatzstruktur (z. B. Beobachtungsdaten, DMO) und großen Binärobjekten (z. B. Metafilis, Bilder).

Diese unterschiedlichen Datenarten führten zur Implementierung zweier Datenserver, die nach dem gleichen Prinzip arbeiten. Richtschnur für die Implementierung einer lokalen Datenbasis ist das Erreichen von kürzesten Antwortzeiten.

Als Maßstab wurde die vom Geophysikalischen Beratungsdienst definierte maximale Antwortzeit von 10 Sekunden angenommen. Die Europäische Arbeitsgruppe

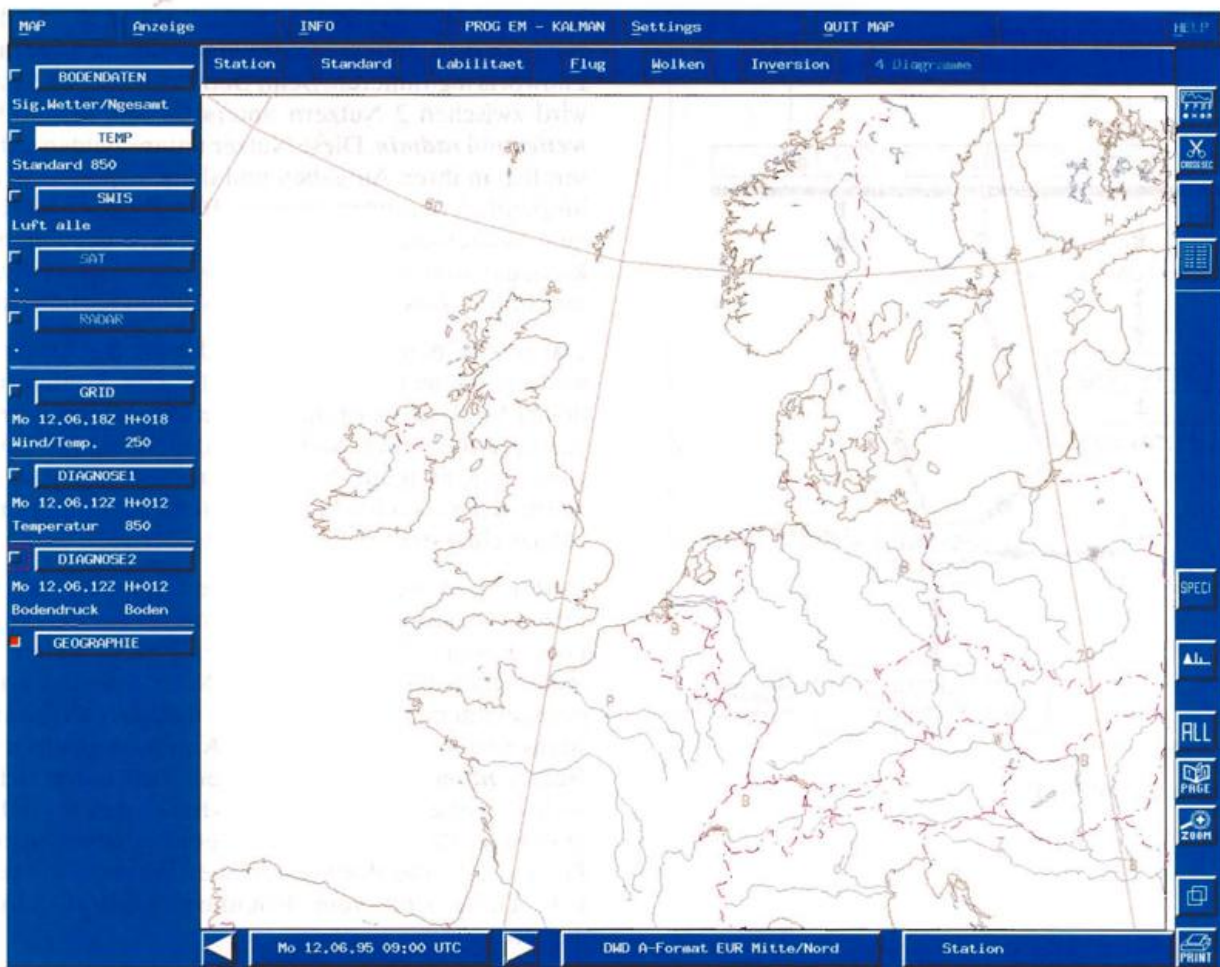


Bild 7: map-Hauptfenster

Meteorologische Workstations setzt als „Idealwert“ eine Antwortzeit von 2 Sekunden an. Diese Richtwerte führten zwangsläufig zu einer Eigenentwicklung, die UNIX-Standardwerkzeuge benutzt.

Für die Datenhaltung wurde ein Client-Server-Modell implementiert. Der oben genannte DSP bildet den Kern der Meldungsdatenhaltung. Er fungiert als Server und ist der einzige Prozeß, der über direkten Zugriff zur Datenbasis verfügt, wodurch die Konsistenz der Daten gewährleistet ist.

Die Interprozeßkommunikation zwischen Server und Klienten erfolgt lokal (d.h. innerhalb eines Computers) über „message queues“ und „shared memory“, die Standardwerkzeuge des Betriebssystems UNIX System V sind. Bei netzübergreifenden Anfragen an den Server (d.h. innerhalb des lokalen Netzes einer Dienststelle) fungiert der Daemon als Schaltstelle zwischen entfernten Klienten und Server. Zwischen ihm und dem Serverprozeß werden die bereits benannten lokalen Kommunikationsmittel benutzt. Zwischen dem Klienten und dem Daemon wird eine Verbindung, basierend auf TCP/IP (Transport Control Protocol/Internet Protocol), aufgebaut. Dieser Mechanismus ermöglicht es, die Daten des Servers allen Klienten im lokalen Netz zur Verfügung zu stellen.

Die Daten selbst werden in sortierter Form binär in einem rechnerunabhängigen Format (Netzwerkformat) abgelegt. Dieses Netzwerkformat ist nötig, da neben RISC-Workstations (MIPS-CPU) auch Intel-PC betrieben werden, die unterschiedliche Byte-Ordnungen benutzen. Die Daten können sonst nicht zwischen diesen beiden „Rechnerwelten“ ausgetauscht werden.

5.2.3 Datenübertragung

Wie bereits oben erwähnt wurde, ist ein wichtiger Übertragungsweg das AFW. Die Datenübertragung zwischen AFW und MAP-Hardware erfolgt über eine PC-Schnittstelle des AFW. Die zweite Säule der Datenübertragung bildet der Dateitransfer über das Wissenschaftsnetz (WiN). Mit der Verfügbarkeit von WiN-Anschlüssen ist es möglich, zu den angeschlossenen Dienststellen IGS-Metafiles und Satellitenbilder zu übertragen. Perspektivisch (Ende 1995) wird der Satellitenverteildienst (FAX_E) eine tragende Säule der Datenübertragung werden, da hier die Übertragung sowohl eines breiteren Datenspektrums als auch eines größeren Datenvolumens möglich ist.

5.2.4 Routineadministrator für MAP

Der Nutzerzugang zum MAP-System wird entsprechend der UNIX-üblichen Sicherheitsstandards ge-

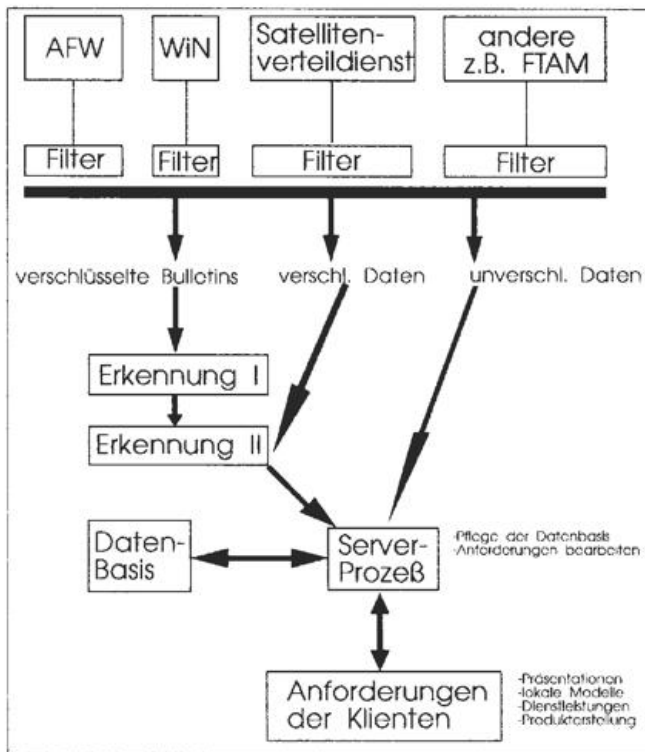


Bild 8: Datenfluß im MAP

handhabt. Wer das System nutzen will, muß sich durch Eingabe des Nutzernamens und des dazugehörigen Paßworts legitimieren. Beim Betrieb des MAP-Systems wird zwischen 2 Nutzern unterschieden, den Nutzern **wetter** und **radmin**. Diese Nutzer unterscheiden sich wesentlich in ihren Aufgaben und dementsprechend auch hinsichtlich der ihnen erteilten Berechtigungen. Hinter dem Nutzernamen **wetter** verbirgt sich der Personenkreis, der wetterdienstliche Aufgaben am MAP-System durchführt. Das sind die MvD, BvD und Fachdienste.

Dabei wird dem Nutzer **wetter** die für die Arbeit notwendige Umgebung bereitgestellt. Das Konfigurieren des MAP-Systems ist diesem Nutzerkreis nur sehr eingeschränkt möglich. So können die Nutzer nur ihre eigene Umgebung für den nächsten Programmstart speichern, d.h. sie finden beim nächsten Programmstart die zuletzt eingestellten Parameter wieder vor.

Hinter dem Nutzer **radmin** verbirgt sich der Einführungsbeauftragte/Routineadministrator. Er verfügt über größere Privilegien als der Nutzer **wetter**. Alle Routineaufgaben innerhalb des MAP-Systems, d.h. alle permanenten Prozesse innerhalb des MAP-Softwaresystems und alle zeitgesteuerten Aktionen gehören dem Nutzer **radmin**. Aus dieser Eigenschaft leiten sich die Aufgaben dieses Nutzers ab. So hat er den Betrieb des Systems zu überwachen. Zu diesem Zweck erzeugen die Prozesse, die die Routineaufgaben bearbeiten, Statistiken. Diese sind vom Routineadministrator auszuwerten.

Außerdem kann er das MAP-System konfigurieren. So kann er spezielle Produkte erstellen (Kartenhintergrün-

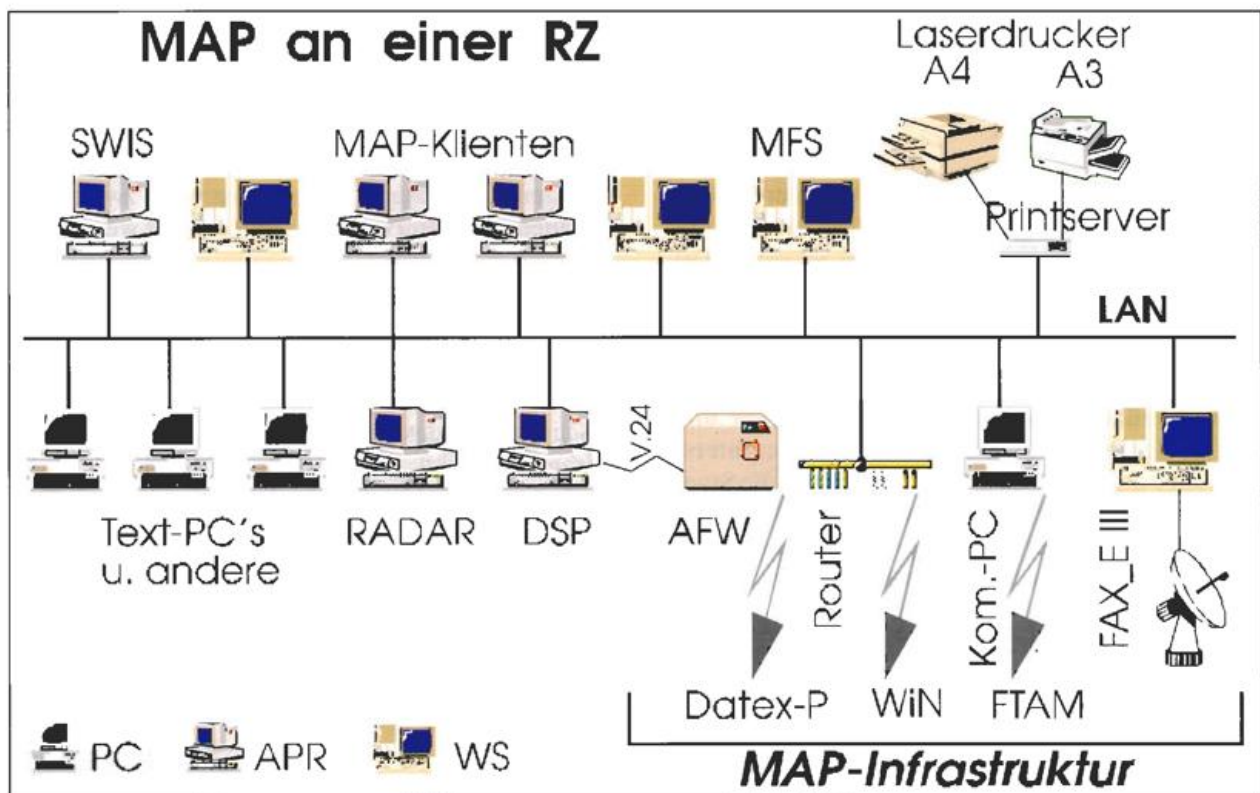


Bild 9: Lokales Netz (LAN) einer Regionalzentrale (RZ), WS = Workstation (24-Bit-Graphik)
APR = Arbeitsplatzrechner (Low-End-Workstation), PC = Intel-Pc

de, Darstellungsformen, Standardprodukte). Weiterhin obliegt ihm die Pflege des Zeitplans für zeitplangesteuerte Aktionen. In diesen Aufgaben wird er während der Entwicklung und Einführung von MAP durch die MAP-Gruppe unterstützt, später durch die zentrale Systembetreuung (T25).

5.3 IT-Standards

Ausgehend von so wichtigen Forderungen wie Portabilität der Software und Austauschbarkeit der Daten leiten sich die Forderungen nach Einhaltung von IT-Standards ab. Stichworte sollen das jeweils untersetzen:

- Betriebssystem UNIX
 - auf nahezu allen Hardware-Plattformen verfügbar (vom PC bis zum Mainframe)
- GKS als graphische Grundsoftware
 - portable Software
 - Datenaustausch über Metafiles
- Graphics Library von Silicon Graphics für Satellitendarstellung
- Industrie Standard
 - hohe Performance
- Verwendung von X-Windows und OSF/Motif
 - Industriestandard
 - konsistent mit anderen graphischen Nutzeroberflächen
- Kommunikation mit OSI-Produkten, falls verfügbar, bzw. TCP/IP
 - OSI-Produkte z.Z. nur eingeschränkt verfügbar
 - TCP/IP Industriestandard, auf allen Hardware- und Softwareplattformen verfügbar und ausgereift.

5.4 MAP-Hardwareausstattung für den Wettervorhersagedienst

Als Standardausstattung für eine Regionale Vorhersagezentrale waren 2 Arbeitsplatzrechner für die Präsentation alphanumerischer Daten, Gridfelder und Bilddaten ohne Animation, 2 Workstations für die Präsentation komplexer Graphik, Satellitenbilddaten, Produktion thematischer Karten sowie Animation von Graphik und Bilddaten (Satelliten-, Radarbilder) geplant. An Peripherie gehören DIN A4- und A3-Laserdrucker zur Ausstattung (Bild 9).

Die Hardware ist durch ein lokales Netz (LAN) miteinander verbunden, so daß die MAP-Datenbasis z.B. nur auf einem Gerät gehalten werden muß. Der Ausstattungsplan für die Regionalen Zentralen wird z.Zt. gemäß dem zukünftigen Aufgabenprofil auf Grund der Neuorganisation überarbeitet. MAP-Arbeitsplätze erhalten außer den Regionalen Zentralen Hamburg, Potsdam, Leipzig, Essen, Frankfurt, Stuttgart und München alle Flugwetterwarten. Ebenfalls mit MAP sind die Wetterdienstschule Langen, die Zentrale Vorhersage und das Medien-Service-Zentrum in Offenbach ausgestattet.

6 Ausblick

Mit der Hardware- und Softwareausstattung der Regionalen Zentralen und der Flugwetterwarten mit MAP wird die Grundlage für eine Effizienzsteigerung des Wettervorhersagedienstes geschaffen. Allein der wesentlich verbesserte Informationsfluß und die vielfältigeren Auswertemöglichkeiten werden zur Steigerung der Vorhersageleistung vor allem im Warn- und Kurzfristbereich führen. Wichtig wird sein, weitere lokale Modelle und Verfahren zur Verfügung zu stellen. Die Automation von Vorhersagen und deren Einbindung (z.B. TAF-Automation) ist ebenfalls ein notwendiger Beitrag. Dennoch wird die Einführung der IT-Technik im regionalen Bereich nicht automatisch zu einer wesentlich veränderten Arbeitsmethodik führen. Hier ist noch wesentliche Entwicklungsarbeit zu leisten. Ziel muß es sein, das System so weiterzuentwickeln, daß Technik und zur Verfügung stehende Informationen zu einer Entlastung des Beraters bzw. des Meteorologen führen. Dazu ist es notwendig, die Systeme so zu konfigurieren, daß automatisch alle Informationen zusammengeführt, intelligent ausgewertet werden und den Diensthabenden Berater oder Meteorologen in seiner Arbeit leiten.

Wie eine Fülle von Modelldaten automatisch zu einem informativen Produkt verdichtet werden kann, zeigt KOPPERT im Beitrag 7 dieses Hefts über die kundenorientierte Produkterstellung. Ein Blick auf die Entwicklungen anderer Länder zeigt, daß der Wetterdienst den richtigen Weg beschritten hat. Er zeigt, daß auch hier zunächst die vorhandenen Arbeitsmethoden und Verfahren 1:1 auf die IT-Technik portiert werden. Der Schritt zu einem „intelligenten“ System steht noch allen bevor.

Literatur

- EDELMANN, W.; REISER, H.: Das barokline Vorhersagemodell des Deutschen Wetterdienstes. Promet 6 (1976) Nr. 3, S.22-26.
- EDELMANN, W.: Die Entwicklung der operationellen numerischen Wettervorhersage im Deutschen Wetterdienst. Promet 16 (1986) Nr. 4, S. 21-25.
- KOPPERT, H.-J.: The Interactive Graphical System of DWD, Third Workshop on Meteorological Operational Systems, Reading, 1991, ECMWF Workshop Proceedings, 209.
- KURZ, M.: Die Entwicklung der Wetterlage des Münchner Hagelunwetters vom 12. Juli 1984. Ber. d.Dt. Wetterd. 170, 1986, 60 S.
- KUSCH, W.; KOPPERT, H.-J.: Der Einsatz eines interaktiven grafischen Systems (IGS) für den zentralen und dezentralen Wettervorhersagedienst. Annalen der Meteorologie (1992) 27, S. 39-40.

Weltweite meteorologische Schiffsroutenberatung im Seewetteramt

1 Einleitung und historischer Rückblick

Etwa 70 Prozent der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt. Der Güterverkehr wird weltweit zu ca. 2 Dritteln über die Meere abgewickelt. Bei großen Warenmengen und Distanzen ist der Wasserweg sowohl der kostengünstigste als auch häufig der einzig mögliche. Die Seeschifffahrt ist somit das wichtigste Transportmedium der Weltwirtschaft. Die Transportkosten beim Seeverkehr sind zwar – relativ gesehen – im Vergleich zu Bahn und Flugzeug niedrig, aber für den Unternehmer doch ein bedeutender Faktor (MALCHOW et al. 1993).

Bei fast allen Seereisen ist die Fahrtzeit wetter- und stromabhängig. Durch die Berücksichtigung der Kenntnisse der meteorologischen Navigation und Optimierung sowohl der Schiffsroute als auch der Geschwindigkeit lassen sich in vielen Fällen signifikante Ersparnisse erzielen. Neben Wirtschaftlichkeit und Pünktlichkeit sollte der Sicherheitsaspekt nicht unerwähnt bleiben, da durch Routenberatungen Schäden an Schiff und Ladung oder sogar Totalverluste vermieden werden können. Die meteorologische Sicherung der Seefahrt ist im Wetterdienstgesetz festgeschrieben und findet auch im Schiffssicherheitsvertrag (SOLAS) Berücksichtigung. Die IMO (International Maritime Organization) hat – ausgelöst durch den Untergang des MS „München“ – eine Empfehlung zur Annahme von meteorologischen Routenberatungen herausgegeben.

Die Routenberatung soll der Schiffsführung Entscheidungshilfen für die meteorologische Navigation geben. Ziel ist vor allem die Bestimmung optimaler Routen, und zwar möglichst vor dem Auslaufen eines Schiffes. Der Begriff der optimalen Route wird in Abschnitt 4 näher erläutert.

Vor gut 30 Jahren wurden in den USA die ersten kommerziellen, in Europa von einigen staatlichen Wetterdiensten Routenberatungsdienste eingerichtet. Zuvor konnten längere Seereisen wegen fehlender Mittelfristprognosen nur auf klimatologischer Basis optimiert werden. „Segelanweisungen“ werden auch heute noch bei transozeanischen Reisen von Yachten berücksichtigt. Bei langsamen Frachtschiffen, Schlepptzügen bzw. sehr langen Reisen finden klimatologische Routenbewertungen ebenfalls noch Anwendung.

Das Seewetteramt (SWA) erstellt seit 1959 meteorologische Schiffsroutenberatungen. Man begann mit der sogenannten Witterungsnavigation im Nordatlantik, bei der jeweils die Großwetterlage und deren zu erwartender Verlauf eine grobe Routenplanung möglich machten. Die kurzfristige Wetternavigation an Hand von Faksimileprognosen oder Seewetterberichten blieb der Schiffsführung überlassen.

Die ersten numerischen, zum Teil noch barotropen Vorhersagen lieferten zwar nur Karten der Höhenströmung und keine genaue Druckverteilung am Boden, konnten aber doch erfolgreich für die Routenberatung in der Nordatlantikkfahrt eingesetzt werden. Hier ging es bei Reisen von Häfen im Bereich der Deutschen Bucht nach Nordamerika meist darum, zu entscheiden, ob die Route durch den Englischen Kanal oder nördlich von Schottland günstiger war. Die Entfernungsdifferenzen zwischen den Routen nördlich bzw. südlich der Britischen Inseln macht Bild 1 deutlich. Die Auswertung einer Routenberatung aus den 60er Jahren mit einer Zeitersparnis von etwa 24 Stunden zeigt Bild 2.

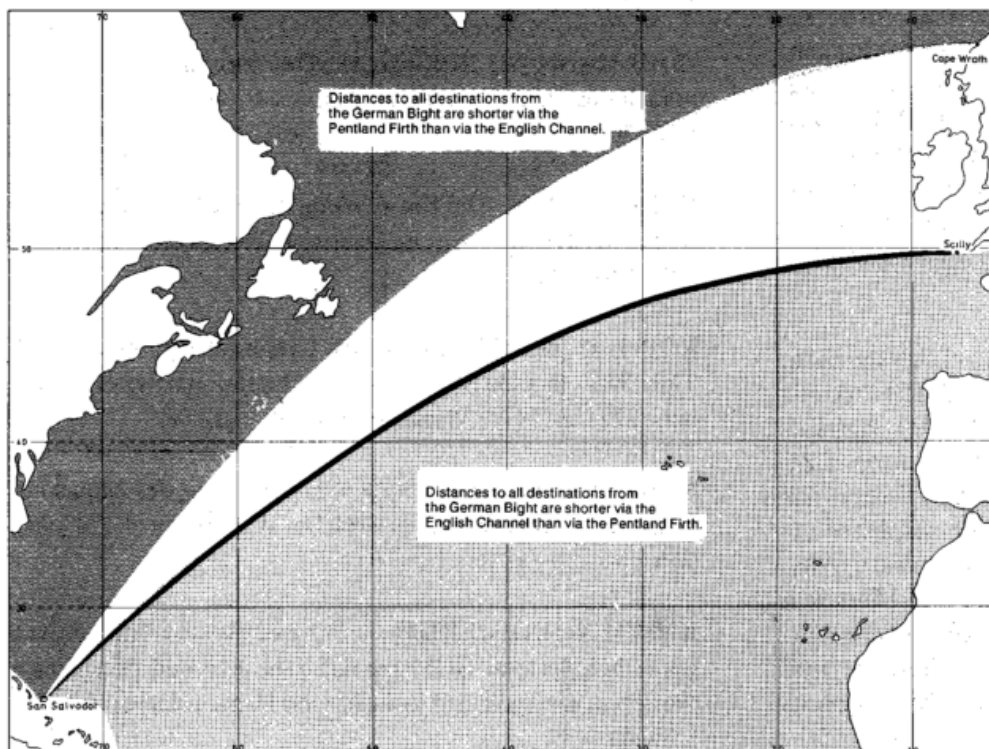


Bild 1: Vergleich der Reisenentfernungen von der Deutschen Bucht. Demnach sind alle Ziele an der nordamerikanischen Ostküste über Schottland auf kürzerem Wege zu erreichen als über den Englischen Kanal.

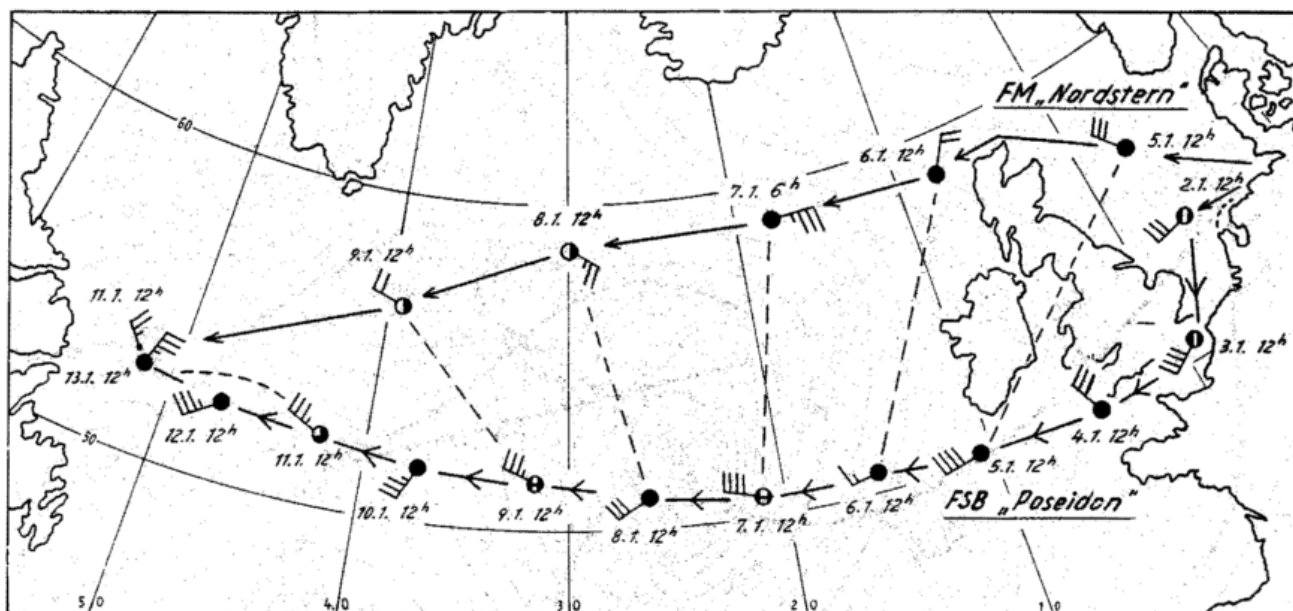


Bild 2: Auswertung der Reisen des Fischereimotorschiffs „Nordstern“ und des Fischereischutzbootes „Poseidon“ von der Deutschen Bucht zum Fangplatz Sundaibank 1961 (KRUHL 1981). Aufgrund einer vorhergesagten Zyklonzugbahn südlich von 60° N war FM „Nordstern“ die Nordroute über Schottland empfohlen worden. FSB „Poseidon“ widerfuhr dagegen auf der Südroute schwere See von vorne und eine 24-stündige Verspätung.

Die seit 1967 eingesetzten baroklinen Modelle des DWD lieferten für die Routenberatung im Nordatlantik, bei der im wesentlichen Prognosen bis zum 5. Folgetag Verwendung fanden, recht gute Bodendruckvorhersagen, aus denen Wind und Seegang nach empirischen Verfahren abgeleitet wurden. Ein Beispiel für eine Routenberatung bei extremen Wetterverhältnissen im winterlichen Nordatlantik zeigen die Bilder 3 und 4.

Ende der 80er Jahre wurden im Seewetteramt mit einem globalen Satz von Bodendruckvorhersagen aus dem Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (EZMW) die Voraussetzungen für eine weltweite meteorologische Routenberatung geschaffen. Seit einigen Jahren verfügt der DWD über Seegangsvorhersagen für den Nordatlantik, den Europäischen Schelf und die Ostsee. Diese Modelle der 2. Generation wurden in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und dem GKSS Forschungszentrum Geesthacht entwickelt. Seit 1992 stehen im Rahmen eines EZMW-Projektes globale Tiefwasser-Seegangsvorhersagen eines Modells der 3. Generation zur Verfügung.

2 Serviceleistungen einer Routenberatung

Routenberatungen des SWA als besondere Serviceleistung für die Schifffahrt enthalten die folgenden Produkte:

a) vor Reisebeginn:

- Darstellung und Bewertung der Wetterlage und ihrer Entwicklung.
- Berechnung der optimalen sowie alternativer Routen nach meteorologischen, ozeanographischen und nautischen Gesichtspunkten.

Kriterien für die Optimierung können Fahrtzeit, Kosten oder Sicherheitsaspekte sein, so daß z. B. vorgegebene Schwellenwerte des Seegangs nicht überschritten werden sollen, um mögliche Schäden an Schiff und Ladung zu vermeiden.

b) während der Reise:

- Überwachung (Monitoring) der gefahrenen Route und Nachberatungen auf der Grundlage neuer Optimierungsberechnungen.
- Überwachung der Bewegungen tropischer Wirbelstürme sowie der Eislage und der Sichtverhältnisse.

c) nach Abschluß der Reise:

- Auswertung der gefahrenen Route, d. h. je nach Kundenauftrag Vergleich von Fahrtzeit und Treibstoffverbrauch zwischen empfohlener und gefahrener Route.

Zum Service gehört auch die Übermittlung der Beratungen an das Schiff sowie den Auftraggeber (Charterer, Reederei, Versicherer).

Viele Kunden beim Routenberatungsdienst sind Firmen, die Schiffe für den Gütertransport gechartert haben. Diese sind zum einen an schnellen bzw. ökonomischen Reisen interessiert, zum anderen möchten sie nach Beendigung einer Reise eine Analyse haben, aus der sich Zeitverzögerungen, die nicht wetter- bzw. strombedingt sind, ablesen lassen. Diese Zeitverluste, die z. B. durch eine unzureichende Maschinenleistung, Maschinenausfälle oder Umwege entstehen, gehen zu Lasten des Eigners.

Das SWA berechnet für Charterkunden eine sogenannte *Performance Speed*. Das ist die Geschwindigkeit, die das Schiff unter normalen Wetterbedingungen (z. B. 3 Bft und 1 m Wellenhöhe von vorne) gefahren wäre. Liegt diese Geschwindigkeit unter der vertraglich festgelegten *Charterparty Speed* kann der Charterer einen *speed claim* einreichen, und wird die Charter-Gebühr nur für die den Wetterbedingungen entsprechende Fahrtzeit entrichtet.

Spezielle Auswertungen am Jahresende bzw. nach einer Saison werden zu Zwecken der Erfolgskontrolle oder für Werbezwecke angefertigt.

3

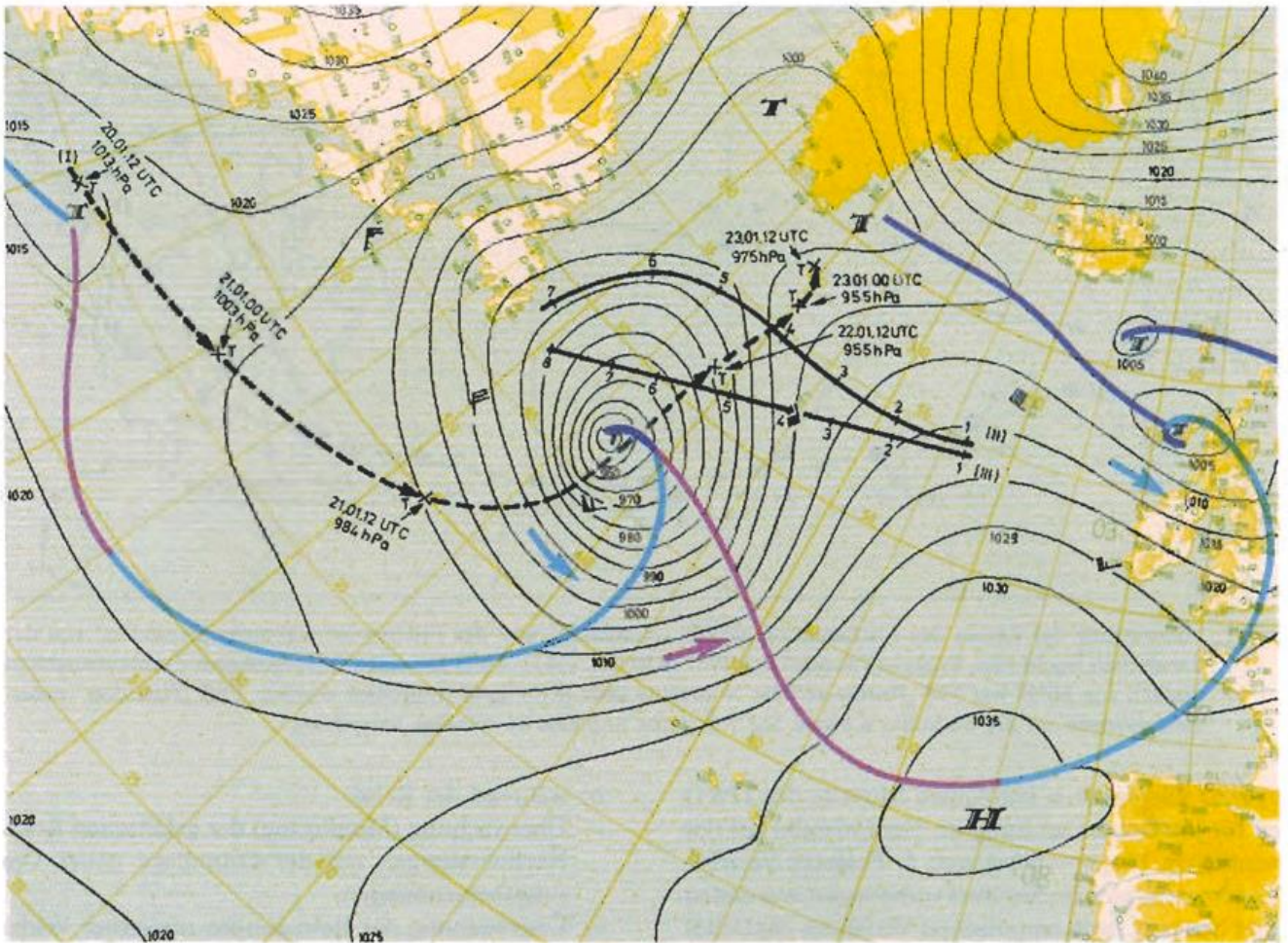


Bild 3: Zugbahn (schwarz gestrichelt), Entwicklung und Höhepunkt eines Orkans über dem mittleren Nordatlantik im Januar 1982. Die durchgezogenen schwarzen Linien stellen die zeitoptimale Route bzw. die Großkreisroute dar (Zeitdifferenz: 14 Stunden).

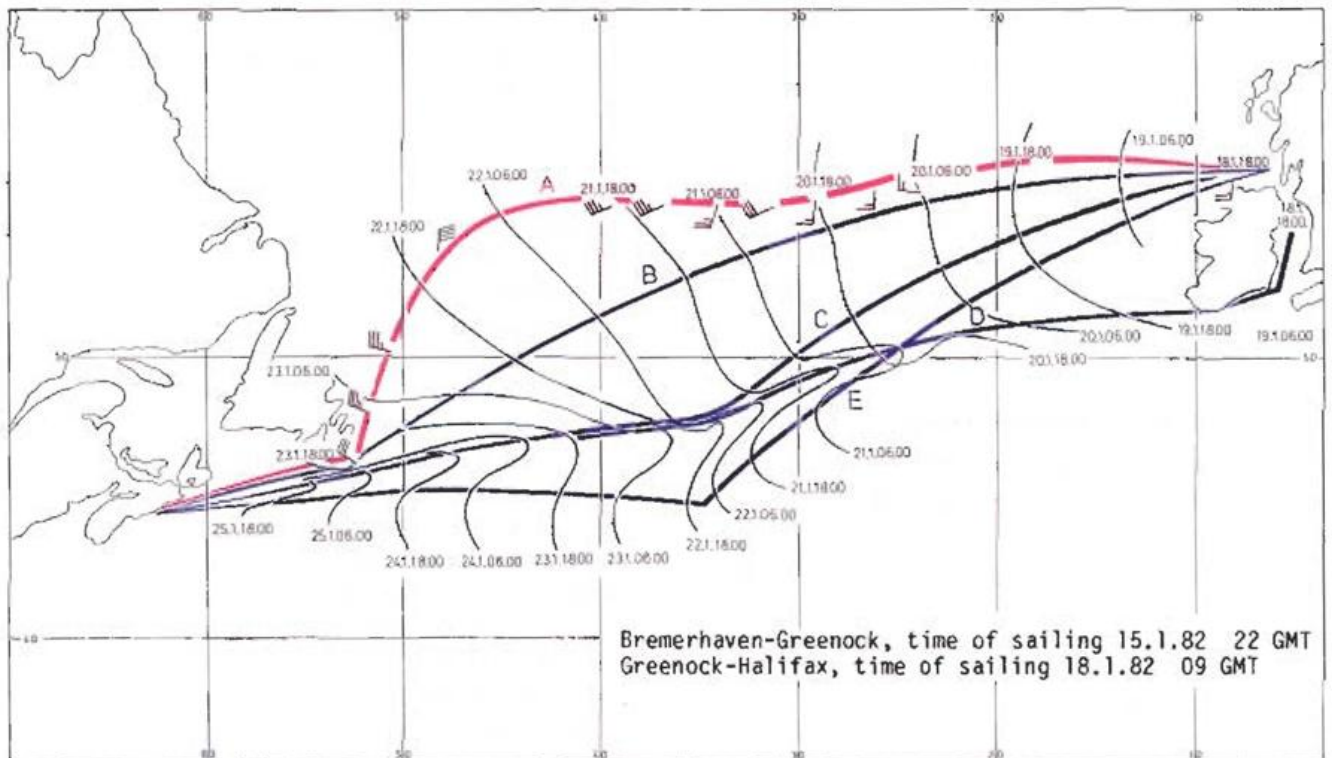


Bild 4: Vergleich verschiedener Alternativrouten zur Wetterlage in Bild 3 mittels manuell konstruierter Zeitfronten (Isochronen). Auf den Routen C, D und E gerät das Schiff in das Starkwindfeld des Warmsektors und des Trogbereichs. Hier ist eine rückwärtige Verformung der Isochronen zu erkennen. Auf der Umwegroute A legt das Schiff dagegen in gleicher Zeit weit größere Wegstücke zurück.

3 Der Nutzen der Routenberatung

Die durch die meteorologische Schiffsroutenberatung des SWA erzielte mittlere Zeitersparnis pro Schiff und Reise liegt im Nordatlantik im Winter westgehend bei 4, im Pazifik bei 7 Stunden. Generell beträgt sie bei westgehenden Reisen in den gemäßigten Breiten im Schnitt 2 bis 3 Prozent. Allein die geschätzte Einsparung von Treibstoffkosten liegt damit bei 350 beratenen Reisen im Jahr um 1 Million DM. Im Liniendienst erlaubt eine regelmäßige Routenberatung der Reederei einen wesentlich strafferen Fahrplan und senkt die Kosten.

Ausgelöst durch den Untergang des Leichterträgerschiffes „München“ im Nordatlantik am 13. 12. 1978 - hier war keine Routenberatung in Anspruch genommen worden - hat die IMO (International Maritime Organization) generell empfohlen, meteorologische Routenberatungen vor Reisebeginn einzuholen. Anhand von Auswertungen ist zu vermuten, daß etwa alle 10 Jahre durch die Routenberatungen des SWA ein Totalverlust vermieden wird.

4 Numerische Routenoptimierung

Sicherheit und Wirtschaftlichkeit spielen bei der Bestimmung der optimalen Route die wesentliche Rolle, jedoch kann das Gewicht dieser beiden Faktoren je nach Schiff und Reederei sehr verschieden sein. Nach der herkömmlichen und oft noch manuell betriebenen synoptischen Methode wird das allgemeine Optimierungsproblem auf eine Zeitoptimierung zurückgeführt. Eine effiziente Lösung dieser Aufgabe und insbesondere der Schritt von der Zeitoptimierung zur Kostenoptimierung kann aber nur unter Einsatz eines Computers gelingen. Die Anwendung von IT-Verfahren zur Unterstützung der Routenberatung gewinnt damit entscheidende Bedeutung. Im SWA wurde ein Programmsystem entwickelt, dessen Produkte seit 1991 im Routinebetrieb für die Beratung genutzt werden. Im folgenden werden die wichtigsten Komponenten des Systems beschrieben.

4.1 Seeverhalten

Das Verhalten eines Schiffes im Seegang ist ein komplexer, von Bauart und Beladung abhängiger Vorgang. Wind und Wellen erhöhen mit Einschränkungen den Fahrtwiderstand des Schiffes und führen so zu einem erzwungenen Fahrtverlust, der um so größer ist, je kleiner die Leistungsreserve der Maschine ausgelegt ist. Gefährdende Zustände können die Schiffsführung außerdem veranlassen, die Fahrt freiwillig noch weiter zu verringern. Dies ist zum Beispiel gegeben, wenn beim Eintauchen des Vorderschiffs Wasser an Deck kommt, oder wenn durch starke Bodenstöße Beschädigungen an Schiff und Ladung wahrscheinlich werden. Weitere Gefahrenmomente sind das Durchdrehen des Propellers beim Austausch sowie starke Rollbewegungen, wenn die Begegnungsfrequenz der Wellen der Rolleigenfrequenz des Schiffes nahe kommt.

Um diese Faktoren bei der Routenoptimierung berücksichtigen zu können, ist die Kenntnis einer Vielzahl schiffstechnischer Details erforderlich. Ein entsprechendes Verfahren (SCHENZLE et. al. 1974), das die Fahrt moderner Frachtschiffe (mit hochaufgeladenem Dieselantrieb) im Seegang

simuliert, ist in Zusammenarbeit mit der Hamburgischen Schiffbauversuchsanstalt (HSVA) in das Routeingmodell des SWA implementiert worden.

Mit Hilfe theoretischer Ansätze und unter Annahme idealisierter Seegangsspektren hat BLUME (1977) die kennzeichnenden Parameter des Seeverhaltens für eine Familie systematisch variiert Schiffen errechnet. Damit lassen sich für einzelne Schiffe die mittleren Bewegungs- und Beschleunigungsamplituden an ausgewählten Spanten, sowie die mittleren Widerstandserhöhungen durch Interpolation ermitteln. Ist das Seeverhalten bekannt, so kann die Geschwindigkeit des Schiffes in drei Schritten berechnet werden.

- Summation aller auf das Schiff wirkenden Widerstände als Funktion von Geschwindigkeit und Umweltbedingungen. Nach ihrer physikalischen Ursache unterscheidet man Reibungs-, Wellen- und Windwiderstand.
- Bestimmung derjenigen maximalen Geschwindigkeit, für die Maschine und Propeller den notwendigen Schub im Rahmen des zulässigen Drehzahl- und Drehmomentbereiches aufbringen können. (siehe Bild 5)
- Berechnung gefährdender Zustände, die bei der gefundenen Geschwindigkeit auftreten können und gegebenenfalls freiwillige Fahrtverminderung oder Kursänderung erfordern.

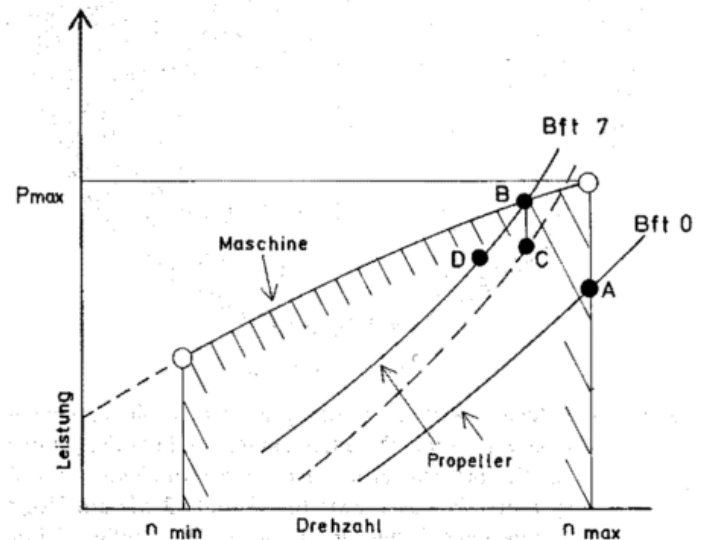


Bild 5: Schematische Darstellung der Leistungskurven von Maschine (bei maximaler Füllung) und Propeller als Funktion der Drehzahl. Unter Glattwasserbedingungen schneiden sich die Kurven in der Regel nicht innerhalb des zulässigen Drehzahlbereichs, d. h. die von der Maschine angegebene Leistung und die damit erreichbare Geschwindigkeit sind drehzahlbegrenzt. Der Abstand des Arbeitspunktes (A) von der maximalen Leistung ist die Leistungsreserve, die je nach Schiff sehr unterschiedlich bemessen sein kann. Mit wachsendem Zusatzwiderstand im Seegang steigen der Leistungsbedarf des Propellers und die abgegebene Leistung monoton an, bis das maximale Drehmoment der Maschine erreicht ist. Bei noch höherem Seegang (B) muß die Drehzahl und damit auch Leistung und Geschwindigkeit abfallen, um die Maschine nicht zu überdrehen. Die Fahrt kann freiwillig reduziert werden durch geringere Motorfüllung (C) oder durch Wahl einer kleineren Drehzahl (D). Zur Optimierung (siehe Abschnitt 4.3) des Treibstoffverbrauchs, der pro Zeiteinheit proportional zur Maschinenleistung ist, wird die Propellerdrehzahl als freie Variable verwendet.

Die Schiffsgeschwindigkeit im Seegang ist am Beispiel eines 240 m langen Containerfrachters in Bild 6 dargestellt. Für Schiffe, deren Bauart, Maschine und Propeller nicht hinreichend bekannt ist, müssen einfachere, meist empirische Verfahren zur Abschätzung der Fahrtreduktion verwendet werden. Ein aus den Tagebüchern moderner Frachtschiffe gewonnenes Fahrt-Wellen-Diagramm (siehe z. B. JAMES 1957, TEEUWEN 1988) zeigt Bild 7. Im Vergleich mit Bild 6 fällt die stärkere Fahrtreduktion im seitlichen Seegang auf, die mit dem Schiffsverhalten nach HSVA nicht zu erklären ist. Davon abgesehen sind die empirischen Reduktionskurven nur im statistischen Mittel als gültig anzusehen. Für die praktische Anwendung in der Zeitoptimierung ist daher im Einzelfall eine Modifikation der Kurven nötig.

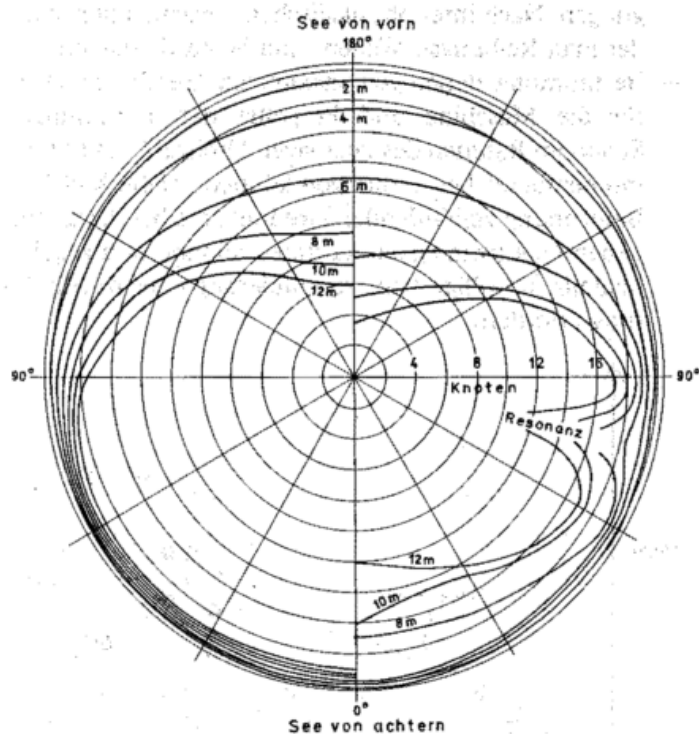


Bild 6: Geschwindigkeit im Seegang für einen 240 m langen Containerfrachter. Die linke Hälfte des Polardiagramms zeigt die maximal erreichbare Geschwindigkeit in voll ausgereifter Windsee zwischen 2 und 12 Metern Höhe aus unterschiedlichen Richtungen. Die größte Fahrtreduktion erfährt das Schiff, das im Glattwasser 20.5 Knoten erreicht, bei Seegang aus vorderlichen Richtungen. Seegang von achtern vermindert die Fahrt dagegen kaum, vielmehr „surft“ das Schiff auf den Wellen, wobei der Fahrtwiderstand durch den Windschub sogar noch etwas verringert wird. Anders sieht das Seeverhalten aus, wenn man die Gefahrenmomente im Seegang mitberücksichtigt, wie es die rechte Hälfte des Diagramms zeigt. Die freiwillige Vermeidung von Bodenstößen, starken Vertikalbeschleunigungen und Wasser an Deck reduziert die Geschwindigkeit im vorderlichen bis seitlichen Seegang. Im achterlichen Seegang ist in diesem Beispiel das Propelleraustauschen der bestimmende Faktor, der die Schubleistung im Mittel reduziert und andererseits zu momentaner Manövrierfähigkeit führen kann. Je nach Beladung des Schiffes kann es außerdem bei bestimmten (seitlichen bis achterlichen) Begegnungswinkeln zu Rollresonanz kommen, die u. U. eine Weiterfahrt auf dem eingeschlagenen Kurs ausschließt. Rollresonanz läßt sich bei seitlichem Seegang nur durch eine Kursänderung vermeiden.

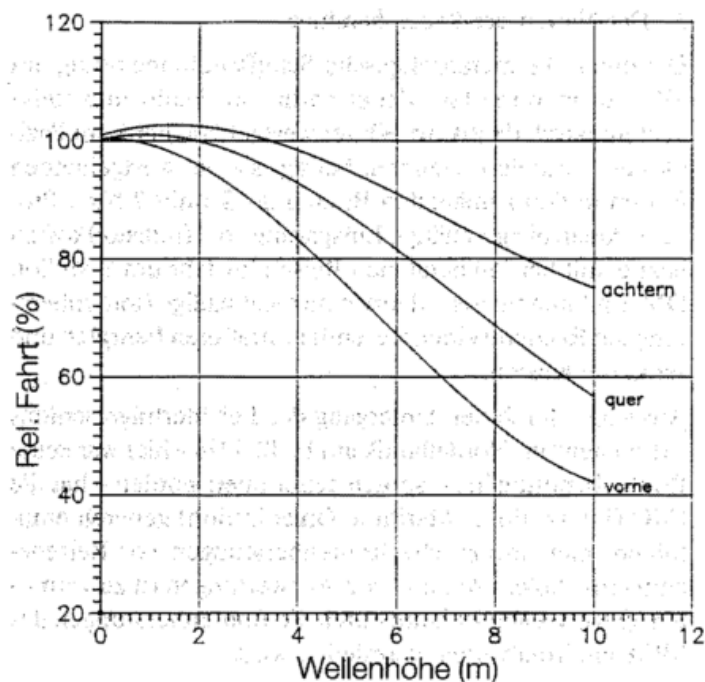


Bild 7: Fahrtverluste in Abhängigkeit von Begegnungswinkel und kennzeichnender Wellenhöhe, wie sie ein Beobachter an Bord wahrnehmen würde. Die Einflüsse des Windes, der Dünung und möglicher Gefahren sind in diesen empirischen Kurven implizit enthalten.

4.2 Fahrtreduktion im Strom

Die Oberflächenströmungen des Meeres bewirken eine Versetzung des Schiffes und tragen damit zu einer Geschwindigkeitsänderung bei. Auf längeren Strecken, aber auch in bestimmten Seegebieten, kann die Strömung zu merklichen Zeitverlusten (oder -gewinnen) führen. Bei seitlicher Versetzung muß die Schiffsführung den Kurs durchs Wasser ändern, um den Kurs über Grund auf den Ansteuerungspunkt hin zu halten. Dabei legt das Schiff einen längeren Weg durchs Wasser zurück.

Die für die Versetzung verwendeten Stromdaten stammen aus den Monatskarten der Ozeane des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie und aus den U.S. Navy Pilot Charts. Sie wurden im SWA digitalisiert und archiviert. Die Daten sind monatsweise nach 2.5 Grad großen Seegebieten sortiert und bestehen aus Stromrichtung, Geschwindigkeit und einer Angabe zur Beständigkeit. Geplant ist auch die Implementation von Gezeitenströmungen, die z. B. in der Nordsee oder im St. Lorenz-Golf eine wichtige Rolle spielen.

4.3 Das Optimierungsproblem

Eine Route sei als optimal definiert, wenn eine vorgegebene objektive Kostenfunktion

$$J = \int_{t_0}^{t_2} A(X, U, t) dt + B(t_2, t_3)$$

minimal wird. Hier bezeichnet X den Vektor der Schiffsposition, U den Vektor der Kontrollvariablen Kurs und Propellerdrehzahl. t_0 ist die Startzeit, t_2 die (unbekannte) An-

kunftszeit und t_s die planmäßige Ankunftszeit. Die Funktion $A(X, U, t)$ stellt die zu minimierende Größe pro Zeiteinheit dar. Im Falle einer Kostenoptimierung wäre dies die Summe aller im Zusammenhang mit einer Reise entstehenden Kosten, also Treibstoffverbrauch, Löhne, Versicherung, Wertzeiten etc. Die Funktion $B(t_z, t_s)$ erteilt eine Strafe bzw. eine Belohnung für verspätete bzw. verfrühte Ankunft. Im Fall der Zeitoptimierung gilt $A(X, U, t) = 1$ und $B(t_z, t_s) = 0$. Diese vereinfachte Problemstellung trägt zwar den Bedürfnissen des Kunden nicht exakt Rechnung. Von Vorteil ist aber die leichte Durchschaubarkeit der Ergebnisse.

Für die X, U sowie den Vektor M der Schiffsbewegungen (Vertikalbewegungen und -beschleunigungen etc.) gelten qualitativ die folgenden Randbedingungen:

- Das Schiff darf kein Land, kein Meereis und keine Gefahrengebiete (Meereis, Untiefen) berühren.
- Der Kurs muß auf das Ziel gerichtet sein und die Propellerdrehzahl darf bestimmte Grenzen nicht über- oder unterschreiten.
- Der erlaubte Rahmen der Schiffsbewegungen muß (großen) Schaden an Schiff oder Ladung ausschließen.

4.4 Optimierungsverfahren

Die Lösungsmethoden des beschriebenen Optimierungsproblems lassen sich grob in drei Klassen einteilen:

- Variationsrechnung:
Das Minimum der Kostenfunktion wird nach einem Newtonschen Gradientenverfahren gesucht. Diese mathematisch sehr elegante Methode findet die Lösung recht schnell, u. U. aber auch nur ein lokales Minimum. Außerdem reagiert die Lösung empfindlich auf Ungenauigkeiten bei der numerischen Differentiation, z. B. im Falle extremer Umweltbedingungen oder unstetiger Randbedingungen.
- Dynamische Programmierung (BELLMAN 1957):
Nach dem Bellman'schen Optimierungsprinzip setzt sich die optimale Route aus optimalen Teilrouten zu-

sammen. Das darauf basierende Rekursionsverfahren ist sehr aufwendig, aber auch sehr robust, d. h. es findet zuverlässig das globale Minimum der Kostenfunktion. Nachteilig ist die Sensitivität der Lösung bezüglich der räumlichen Auflösung, was letztlich einen sehr großen Rechenaufwand erfordert.

- Isochronenmethode:
Das ursprünglich von Kapitän JAMES (1957) vorgeschlagene Verfahren zur Zeitoptimierung wurde in der Schiffsroutenberatung vielfach manuell eingesetzt. Von Vorteil ist der vergleichsweise einfache Lösungsalgorithmus. Die Verallgemeinerung mit dem Ziel der Kostenoptimierung ist allerdings sehr schwierig.

Bei der Suche nach einem geeigneten Rechenverfahren für die Routenberatung im Seewetteramt fiel die Wahl primär auf eine Variante der Isochronenmethode (HAGIWARA 1986, LORENZ 1990), die im folgenden beschrieben werden soll. Sie läßt sich auf einfache Weise auch auf solche, meist gecharterte Schiffe anwenden, deren Eigenschaften nicht hinreichend bekannt sind, um die Kostenoptimierung durchzuführen. Hagiwaras Modifikation der Methode läßt jedoch mit gewissen Einschränkungen auch Kostenoptimierungen zu (siehe Abschnitt 4.6).

4.5 Die Isochronenmethode

Eine Isochrone (oder Zeitfront) ist die Einhüllende der Menge aller Punkte, die von einem Schiff vom Startpunkt aus in einer bestimmten Zeit erreicht werden können. Aus der Menge aller möglichen Routen sind die Routen, die zu einer Isochrone führen, als optimal anzusehen. Da es im Prinzip unendlich viele optimale Teilrouten zwischen je zwei Isochronen gibt, existieren auch unendlich viele optimale Teilrouten vom Start bis zur letzten Isochrone, aber nur eine einzige, die von dort zum Ziel führt. In diesem Sinne setzt sich die optimale Route aus optimalen Teilstücken zusammen. Für eine gegebene Schar von Isochronen kann deshalb die Entscheidung über die optimale Route nur vom Ziel her, nicht jedoch vom Start her, getroffen werden.

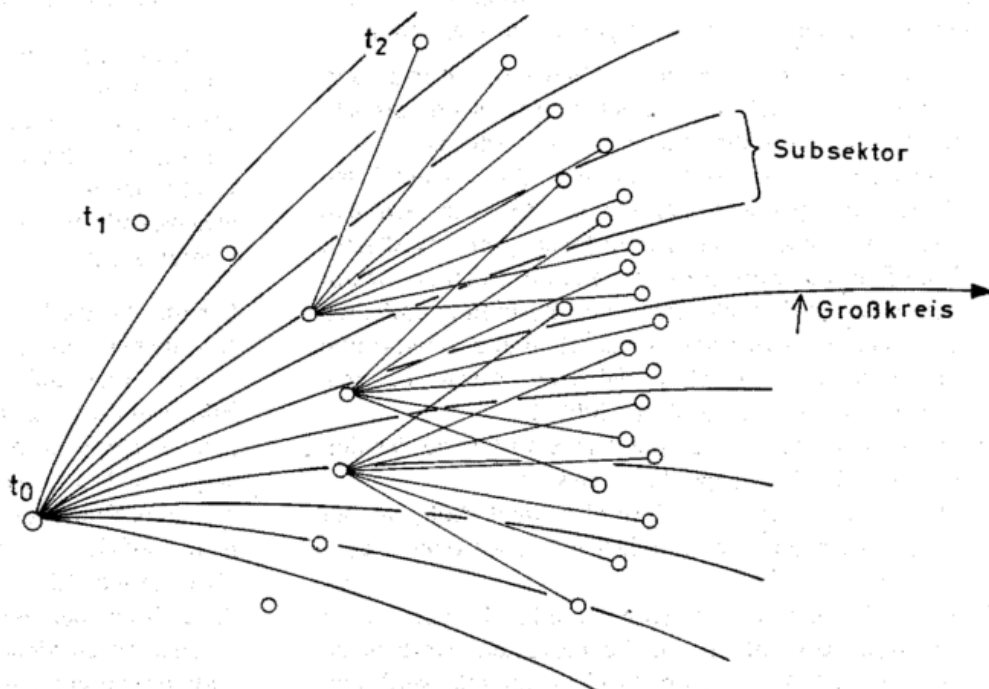


Bild 8: Skizze zur Konstruktion der Isochronen. In jedem Subsektor wird die vom Start entfernteste Position als neuer Isochronenpunkt ausgewählt.

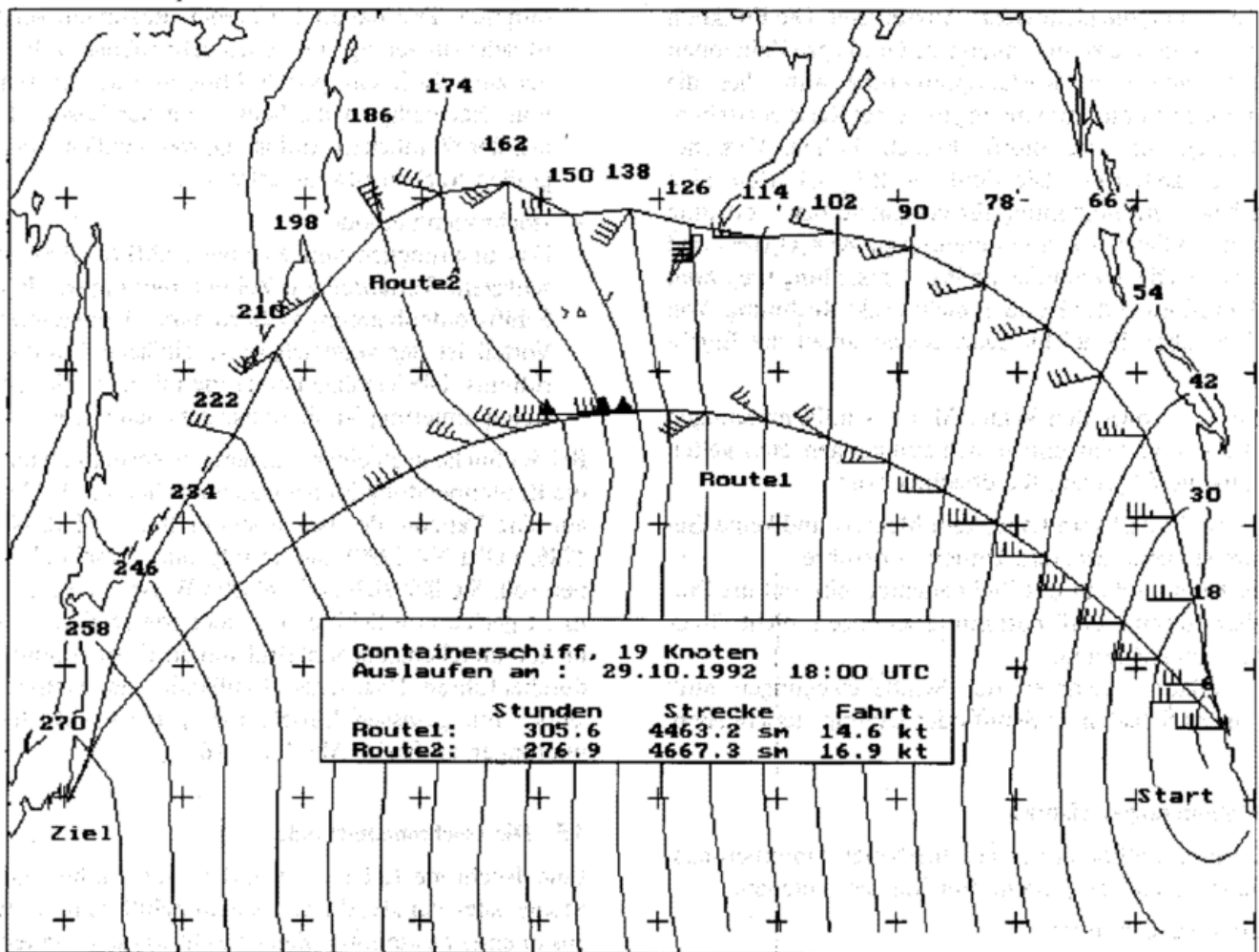


Bild 9: Ein Containershipf mit dem Ziel Yokohama lief am 29. 10. 1992 von San Francisco aus. Auf der Großkreisroute (Route 1) wäre das im Glattwasser 19 Knoten schnelle Schiff im zentralen Nordpazifik in einen schweren Sturm mit Windstärke 10 von vorn gelaufen (1 Windfieder = 2 Beaufort). Deutlich ist die Drängung der Isochronen im Sturmgebiet zu erkennen. Die optimale Route (Route 2) beschreibt einen Umweg von mehr als 200 Seemeilen über die Unimak-Passage (Aleuten), der Zeitgewinn beträgt fast 29 Stunden. Auf Pazifikrouten überschreitet die Reisezeit den Vorhersagezeitraum des globalen EZMW-Seegangsmodells, daher mußte bei der Optimierung für die letzten Tage eine konstante Schiffsgeschwindigkeit angenommen werden.

Im numerischen Verfahren wird jede Isochrone durch eine endliche Anzahl von Punkten dargestellt. Zur Berechnung dieser Punkte müssen zu jedem Zeitschritt Entscheidungen getroffen werden, um die Vielzahl der Wege, die von der vorangegangenen Isochrone ausgehen, zu reduzieren:

- Vom Startpunkt aus wird ein Fächer von Kursen aufgespannt. Die nach einem gegebenen Zeitschritt erreichten Positionen bestimmen die erste Isochrone.
- Von jedem Punkt der Isochrone wird ein neuer Kursfächer aufgespannt, so daß sich die Zahl der nach dem nächsten Zeitschritt erreichten Positionen vervielfacht.
- Vom Start aus wird in Richtung auf das Ziel ein Sektor betrachtet, in dem alle erreichten Positionen enthalten sind. Dieser Sektor wird in gleich breite Teilsektoren unterteilt. Ihre Anzahl ist gleich der Anzahl der Isochronenpunkte. (siehe hierzu Bild 8)
- In jedem Teilsektor wird die dem Start fernste Position als neuer Isochronenpunkt ausgewählt.
- Die Arbeitsgänge b bis d werden wiederholt, bis der Raum zwischen Start und Ziel mit Isochronen ausgefüllt ist.
- Vom Ziel aus wird derjenige Punkt auf der letzten Isochrone gesucht, der in der kürzesten Fahrtzeit zu erreichen ist. Von diesem Isochronenpunkt wird suk-

zessive der am schnellsten erreichbare Punkt auf der jeweils vorangegangenen Isochrone bestimmt, bis der Startpunkt erreicht ist. Die Verbindungslinie dieser Punkte ist die zeitoptimale Route.

Unter idealen Umweltbedingungen ist die optimale Route mit der kürzesten navigierbaren Route identisch. Die auf dieser Referenzroute erzielte Fahrtzeit dient als Kriterium für die Einschränkung möglicher Umwegrouten, d. h. Isochronenpunkte werden ausgeschieden, wenn ein Vergleichsschiff auf der Referenzroute nicht mehr eingeholt werden kann.

Um die Navigierbarkeit einer Route zu gewährleisten, müssen alle berechneten Positionen und auch die dorthin führenden Wege auf Landberührung abgefragt werden. Zur Erkennung von Landpunkten werden in Länge und Breite rechteckige Seegebiete in der Reihenfolge ihrer Größe abgefragt. Damit ist gewährleistet, daß über den größten Teil einer Route nur wenige Abfragen notwendig sind. Als nicht navigierbar werden auch die Gebiete nördlich der „Grenze allen Eises“ (Treibeis und Eisberge) erkannt, wenn diese durch den Benutzer bereitgestellt wurde. Aktuelle Gebiete festen Meereises sind im Datensatz der Seegangsvorhersagen enthalten.

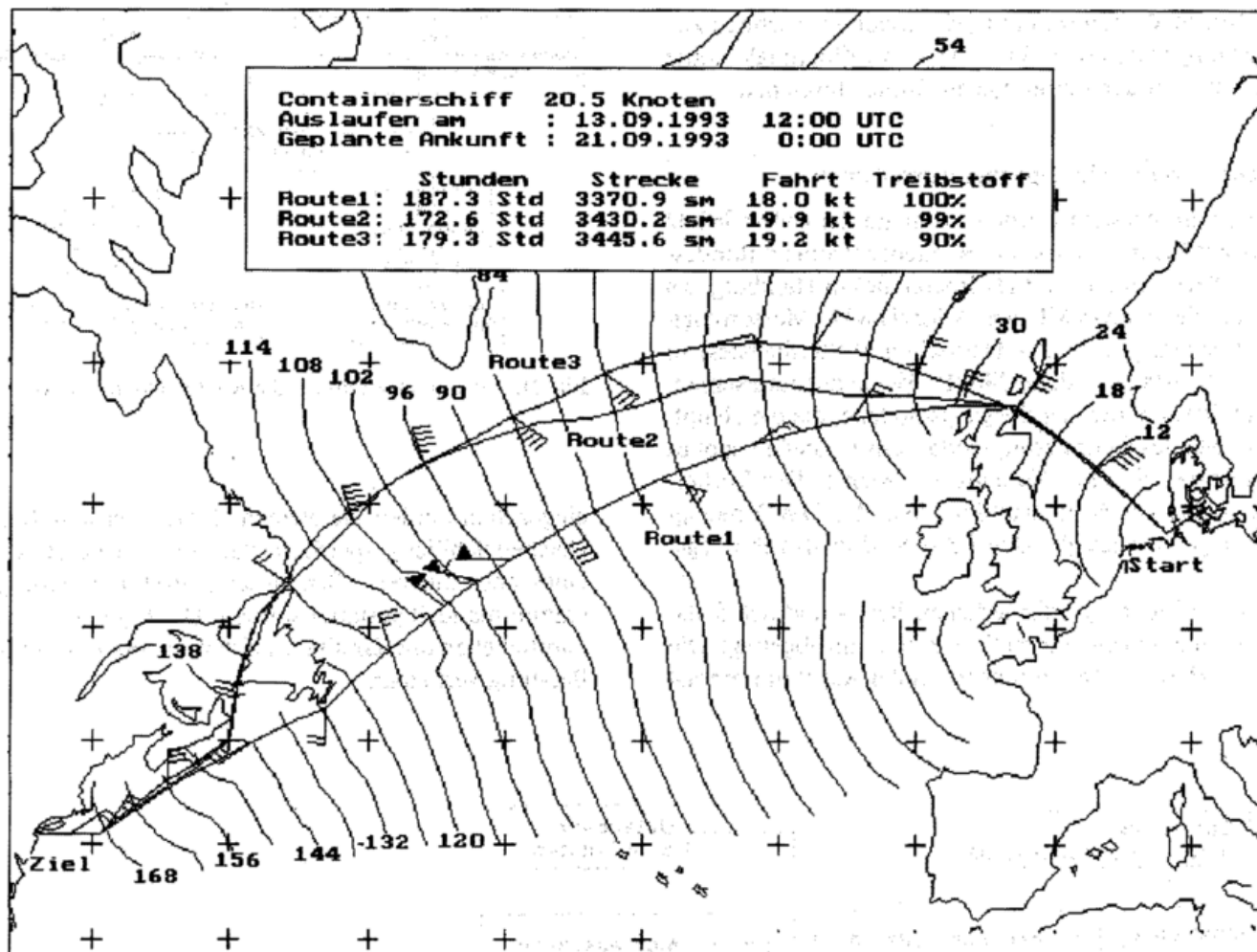


Bild 10: Ein Containerfrachter sollte am 13. 9. 1993 um 12 Uhr UTC die Deutsche Bucht mit Ziel New York verlassen. Die maximal zulässige Fahrtzeit betrug 180 Stunden auf dem über die Pentlands (Schottland) führenden kürzesten Weg. In diesem Zeitraum entwickelte sich vor der kanadischen Küste ein Sturmtief, das am 18. 9. seinen Höhepunkt erreichte und dann langsam südostwärts zog. So waren auf dem Großkreis (Route 1) zur Südspitze Neufundlands bei Windstärke 10 und zehn Meter hohen Wellen ladungsgefährdende Vertikalbeschleunigungen im Vorschiff sowie schwere Rollresonanz zu erwarten. Mit 187.3 Stunden wäre zudem die geplante Fahrtzeit deutlich überschritten worden. Wegen der großen Ausdehnung des Sturmfeldes mit Wellenhöhen bis zu 14 Metern kam nur ein großräumiges Ausweichen in Frage. Die zeitoptimale Route 2 weicht dem Sturmgebiet daher weit nördlich aus und führt über die Belle Isle Straße fast 15 Stunden schneller als Ziel. Gleichzeitig werden die höchsten Wellen gemieden und eine Treibstoffersparnis von 1% erzielt. Mit einer um 4% verringerten Drehzahl ergab sich mit Route 3 sogar eine 10%ige Treibstoffersparnis und dennoch pünktliche Ankunft in New York.

Das Ergebnis einer Zeitoptimierung mit der Isochronenmethode und empirischen Reduktionskurven zeigt Bild 9.

4.6 Treibstoffoptimierung

Fährt ein Schiff stets mit maximal möglicher Drehzahl, so kommt die treibstoffoptimale Route der zeitoptimalen Route sehr nahe. So verringert sich in schwerer See die Fahrt des Schiffes, gleichzeitig wächst aber der Treibstoffverbrauch bezogen auf die zurückgelegte Strecke und die Beschleunigungen im Seegang führen unter Umständen zu Schäden an Schiff und Ladung. Dies sind alles Faktoren, die die Kostenfunktion in der gleichen Richtung beeinflussen und deshalb bis zu einem gewissen Grad durch die Geschwindigkeit parameterisierbar sind. Daher wird auf der zeitschnellsten Route in der Regel Gefahrengebieten ausgewichen und weniger Treibstoff verbraucht. Bei Schiffen, die einen Fahrplan einzuhalten haben, also auch nicht wesentlich zu früh ihr Ziel erreichen sollen, führt aber die reine Zeitoptimierung zu unnötig hohen Kosten.

Die Treibstoffoptimierung beginnt also erst mit der Drehzahl als unabhängiger Variablen. Nach einer von Söding (1992) aufgestellten Regel wird der Verbrauch auf einer festen Route nahezu minimal, wenn die Antriebsleistung pro Zeit so konstant wie möglich gehalten wird. Danach verfolgt der Nautiker die richtige Taktik, wenn er unter günstigen äußeren Bedingungen mit einer konstanten, aber gegenüber dem Maximalwert etwas verringerten Drehzahl fährt. In erster Näherung kann also die Variation der Drehzahl auf jedem Fahrabschnitt durch eine Variation der maximalen Drehzahl ersetzt werden. Mit diesem Ansatz, den auch HAGIWARA (1986) verfolgt, liefert die iterative Anwendung der Isochronenmethode treibstoffoptimale Routen.

Ein Beispiel zeigt Bild 10. Die Erfahrung zeigt wie in diesem Beispiel, daß zeit- und treibstoffoptimale Routen sich in erster Näherung zwar in der Geschwindigkeit, kaum aber im Kurs unterscheiden. Grund sind die relativ geringen Variationen der Schiffsgeschwindigkeit bei der Optimie-

zung. Nur in Wetterlagen mit (evtl. mehreren) schnell ziehenden jungen Zyklonen kann die treibstoffoptimale Route signifikant von der zeitoptimalen Route abweichen.

4.7 Das operationelle Optimierungsverfahren

Das Programmsystem wurde sowohl auf der Cyber 962-32 des GRZ/BSH (Gemeinsames Rechenzentrum im Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) in Hamburg, als auch auf der Cray-YMP des MRZ/DWD (Meteorologisches Rechenzentrum des Deutschen Wetterdienstes) in Offenbach installiert (siehe Bild 11). Wegen der unterschiedlichen Gitterstruktur der Seegangmodelle, die die Hauptdatenquelle des Optimierungsverfahrens darstellen, gibt es eine globale und eine Nordatlantikvariante. Der Vorhersagezeitraum des Nordatlantikmodells des DWD beträgt sieben Tage, der des globalen EZMW-Modells zehn Tage.

Die zur Optimierung erforderlichen Reise- und Schiffsdaten werden durch ein interaktives Programm abgefragt. Die schiffsspezifischen Daten müssen in der Regel nur einmal

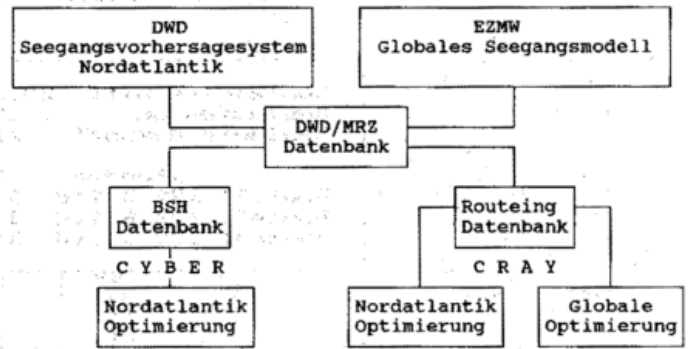


Bild 11: Programmsystem für die Routen-Optimierung

eingetragen werden, sie bleiben bis zur nächsten Reise des gleichen Schiffes gespeichert. Nach Eingabe der Reisedaten eines oder mehrerer Schiffe kann das Optimierungsprogramm manuell gestartet werden. Die Ergebnisse sind als Fahrpläne und Grafiken auf dem PC-Bildschirm für die Beratung verfügbar.

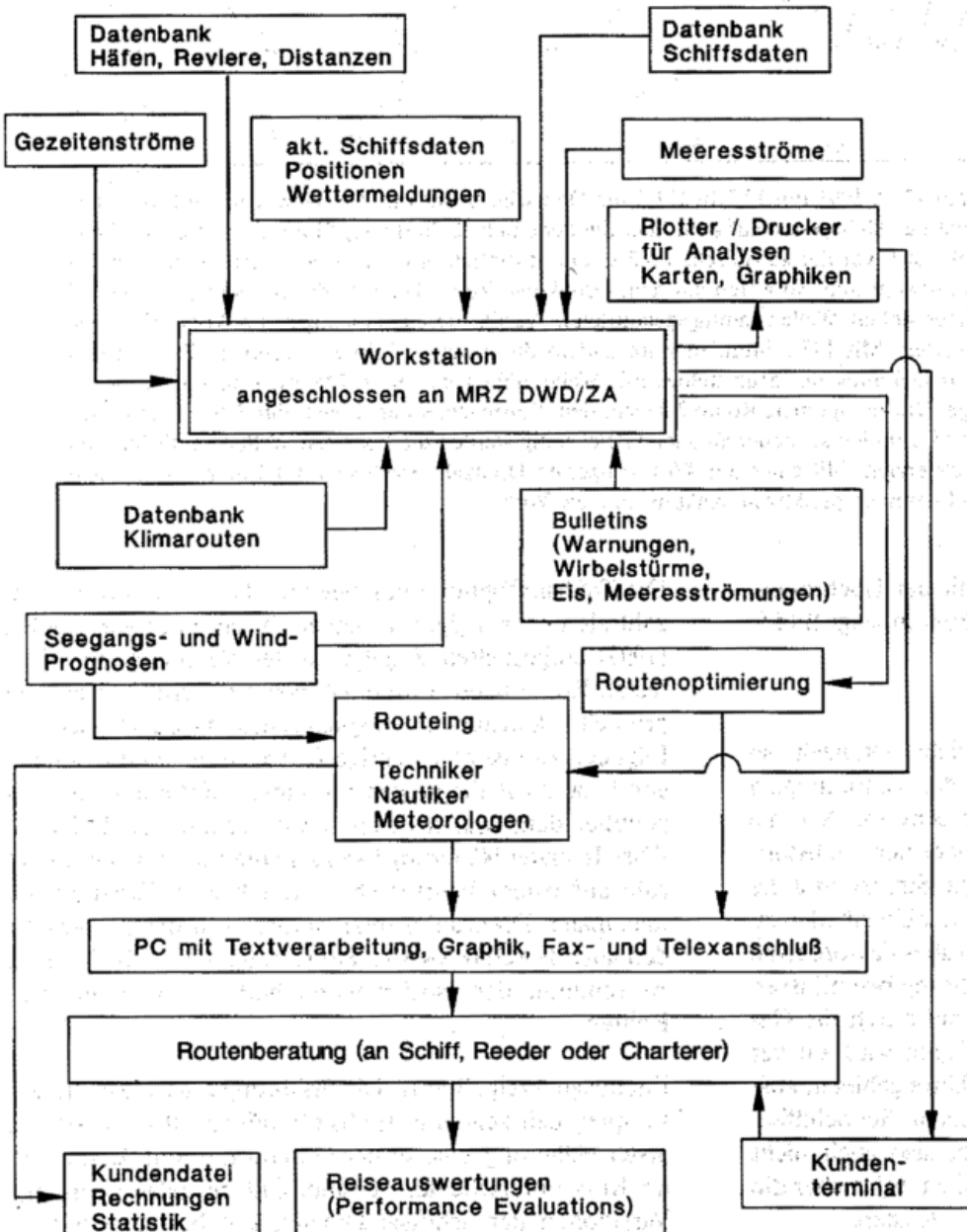


Bild 12: Routeing (Sollzustand)

Täglich nach Eintreffen der neuesten Seegangsvorhersagen startet die Optimierung, ausgehend von vorhergesagten oder ggf. von gemeldeten Schiffspositionen automatisch. Dieses Verfahren stellt eine weitgehend automatische Routenüberwachung dar.

5 Zukünftige Entwicklung

Aufbereitete meteorologische Vorhersage- oder Klima-Daten, die mit einer intelligenten Software in benutzerfreundlicher Weise auf einem Bildschirm dargestellt werden können, sind bisher vom DWD kaum vermarktet worden. Da die kommerzielle Konkurrenz insbesondere auf dem Routingsektor solche Systeme anbietet, werden zur Zeit Lösungen dieser Art vom SWA des DWD entwickelt und können zukünftig bereitgehalten werden. Im Bereich der maritim-meteorologischen Beratung haben nicht nur Terminals mit Software an Bord, sondern auch an Land, z. B. bei Reedern oder Charterern, eine Marktchance.

Parallel zu den Arbeiten auf Mainframe Systemen wurde daher ein PC-Programm mit folgenden Aufgaben eines Kundenterminals geschaffen:

- Darstellung von Ergebnissen der Routenoptimierung.
- Darstellung von Wind-, Seegang- und Stromdaten.
- Fahrtzeitberechnung auf alternativen Routen unter Verwendung von Seegangsdaten.
- Lösung einfacher Navigationsaufgaben.

In Zusammenarbeit mit einer großen Reederei wurde dieses Programm 1993 testweise an Bord zweier Containerschiffe installiert. Mit Hilfe aktueller Wind- und Seegangsvorhersagen wird die Schiffsführung in die Lage versetzt, die Beratung durch das Seewetteramt nachzuvollziehen bzw. ein umfassenderes Bild der Umweltsituation zu gewinnen.

Das SWA ist außerdem an einem Pilotprojekt beteiligt, in dessen Rahmen die globalen Seegangsprognosen des EZMW an Schiffe übertragen werden sollen, um an Bord kostenoptimale Routen zu berechnen ("Routeing an

Bord"). Neben der Unterstützung im Entwicklungsstadium besteht die Hauptaufgabe des SWA in der Bereitstellung und dem Monitoring der Seegangsvorhersagen. So ist eine Bewertung mittelfristiger Prognosen und die damit verbundene Konfidenzprüfung der berechneten Routen vorgesehen. Darunter fällt z. B. auch die Überwachung tropischer Wirbelstürme, die durch das Seegangsmodell nicht erfasst werden können.

Eine Übersicht über das gesamte geplante Routenberatungssystem des SWA zeigt Bild 12. Durch die Nutzung weitgehend IT-gestützter Arbeitsprozesse kann der Schiffsroutenberatungsdienst in naher Zukunft betriebswirtschaftlich rentabel arbeiten.

Literatur

- BELLMAN, R., 1957: Dynamic Programming, Princeton University Press, Princeton, N. J.
- BLUME, P., 1977: Berechnung des Seeverhaltens für eine systematisch variierte Formfamilie, Teile A-C: Hamburgische Schiffsbauversuchsanstalt, Bericht Nr. 1505.
- JAMES, R. W., 1957, Application of Wave Forecasts to Marine Navigation, U.S. Navy Hydrographic Office, SP-1.
- HAGIWARA, H., 1989: Weather Routing of (Sail assisted) Motor Vessels, Dissertation, Technische Universität Delft.
- KRUHL, H., 1981: Meteorologische Routenempfehlungen für Seeschiffe, Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzelveröffentlichungen Nr. 100.
- LORENZ, R., 1990: Entwicklung einer Methode zur Ermittlung optimaler Wetterrouten an Bord von Seeschiffen, Dissertation, Hochschule für Seefahrt Warnemünde.
- MALCHOW, G., D. SCHULZE, 1993: Güterverkehr über See, Stern-Verlag, Lüneburg.
- SCHENZLE, P., P. BOESE und P. BLUME, 1974: Ein Programm-System zur Berechnung der Schiffsgeschwindigkeit unter Dienstbedingungen. Inst. f. Schiffbau UniHH, Bericht Nr. 303.
- SÖDING, H., 1992: Möglichkeiten und Methoden zur Optimierung der Fahrtroute und der Geschwindigkeit von Schiffen, Vortrag zum 11. Workshop „EDV-Systeme im Schiffs- und Hafenbetrieb“, Bremen.
- TEEUWEN, J., 1988: Weerrouting in het gebruik, NTT de Zee, No 6.

Vorausschau - Tagungen

18. Internationale Polartagung, 18.-22. März 1996, Potsdam. Informationen: Alfred-Wegener-Institut f. Polar- u. Meeresforschung, Telegrafenberg A 43, 14473 Potsdam.

The 7th Global Warming, 1-3 April 1996, Wien. Informationen: GW7 International Program Committee, c/o GWIC, PO Box 5275, Wooldridge IL 60517-0275 USA.

8th SIRWEC International Road Weather Conference, 17-19 April 1996, Birmingham. Informationen: Dr. J. E. Thornes, School of Geography, University of Birmingham, Birmingham B15 2TT, UK.

European Conference on Applied Climatology, 7-10 May 1996, Norrköping, Sweden. Informationen: Mr. G. Wennerberg, SMHI, S-601 76 Norrköping.

International Conference on Urban Climatology, 10-14 June 1996, Essen. Informationen: Prof. Dr. W. Kuttler, Inst. f. Ökologie, Abt. Landschaftsökologie, Universität Essen, 45117 Essen.

14th International Congress of Biometeorology, 1-8 Sept. 1996, Essen, Informationen: Prof. Dr. A. Hocevar, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Jamnikarjeva 101, 61000 Ljubljana, Slovenia.

Seventh Conference on Mesoscale Processes, 9-13 Sept. 1996, Reading, UK. Informationen: Mr. K. Browning, Joint Center for Mesoscale Meteorol., University of Reading, P.O. Box 240, Reading RG6 2 FN, UK.

Hydroinformatics 96. Short course, exhibition, seminars, conference. 9-13 Sept. 1996, ETH Zürich. Informationen: Secretariat Hydroinformatics, Institut f. Hydromechanics and Water Resources Management. ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich.

7 H.-J. KOPPERT Visualisierung meteorologischer Daten für Fernseh- anstalten: Das System TriVis

1 Einleitung

Die Wettervorhersage ist ein wichtiger Bestandteil der täglichen Nachrichtensendungen. Der Aufbau des Wetterblocks ist meist sehr ähnlich. Einem Satellitenfilm folgt eine Wetterkarte mit Piktogrammen und Temperaturangaben. Die statische Darstellung mit Piktogrammen führt zu Fehlinterpretationen bei dem Zuschauer, da es für ihn nicht selbstverständlich ist, von dem Ort des Piktogramms auf die Fläche zu extrapolieren. Die Dynamik des Wettergeschehens ist so ebenfalls nicht vermittelbar. Diese Defizite wurden auch bei einigen Fernsehsendern erkannt. Im Frühjahr 1992 trat ein Fernsehsender mit der Bitte um eine animierte Präsentation der Wettervorhersage an den DWD heran. Eine erste Version des daraufhin entwickelten Wolkenvorhersagefilms wurde im Dezember gleichen Jahres in das Nachrichtenprogramm aufgenommen.

2 Konzeption der Vorhersagefilme

Die Konzeption des Präsentationssystems für Fernsehanstalten, das den Namen TriVis erhalten hat, beachtet im wesentlichen drei Dinge:

- animierte Darstellung der Wettervorgänge zur Vermittlung der Dynamik des Wettergeschehens
- intuitiv verständliche Visualisierung der meteorologischen Parameter
- verständliche Kartenhintergründe

Nur durch Animation der Wettervorhersage kann ein Zuschauer die Verlagerung von Wettersystemen erfassen und sich für seine geographische Region den Ablauf des Wettergeschehens klarmachen. Das gilt nicht nur für die Wolkenvorhersage, sondern u. a. natürlich auch für die Temperaturentwicklung.

Um die Darstellung so klar und verständlich wie möglich zu halten, müssen gewohnte Bilder gezeigt werden. Das bedeutet, daß der Kartenhintergrund an die Farbgebung eines gewöhnlichen Schulatlanten, z. B. des Diercke Atlas, angelehnt sein sollte. Damit erkennt der Zuschauer sofort seinen Heimatort bzw. die Region, für die er sich interessiert. Es ist sicher auch selbstverständlich, daß bei der Temperaturdarstellung, gemäß dem Wasserhahnprinzip, warme Temperaturen in rot und kalte Temperaturen in blau dargestellt werden. Aber wie soll man Wolken visualisieren? Die Darstellung in Form von Satellitenbildern wurde verworfen, da Satellitenbilder von Laien schwer zu interpretieren sind. Im infraroten Spektralbereich aufgenommene Bilder zeigen Cirren für den Zuschauer als massive weiße Wolken. Daher wurde eine Darstellung gewählt, die dem „Blick aus dem Fenster“ entspricht. Hohe dünne Wolken erscheinen transparent, Kumuluswolken sind weiß und „flauschig“ und hochreichende, wetteraktive Wolken dunkel und bedrohlich.

3 Der meteorologische Input

TriVis kann alle im DWD operationell betriebenen Wettervorhersagemodelle verarbeiten:

- Globales Modell GM
(19 Schichten, spektrale Auflösung T106, bis 168 Stunden)
- Europa Modell EM
(20 Schichten, horizontale Auflösung 0.5°, bis 78 Stunden)
- Deutschland Modell DM
(20 Schichten, horizontale Auflösung 0.125°, bis 48 Stunden)

Das GM kann für mittelfristige Vorhersagen und für außer-europäische Vorhersagegebiete benutzt werden, das EM für Europa-Vorhersagen. Das DM bietet lokalen Sendern die Möglichkeit, eine detaillierte, die Orographie berücksichtigende, auf das jeweilige Sendegebiet abgestimmte Vorhersage anzubieten.

Die Datenbasis des TriVis-Systems umfaßt Satellitenbilder, Radarbilder, beliebige skalare Größen aus den Datenbanken der oben angesprochenen Modelle (u. a. Maximum- und Minimumtemperatur, Windbetrag) und abgeleitete Größen wie Wolken (Bedeckungsgrad, Mächtigkeit, Gewitter), Niederschlagsart- und -intensität, UVB-Index und Wärmelastungs-Index (PMV).

Die Bestimmung der Wolken benutzt im wesentlichen die Parametrisierung des Europamodells für den Bedeckungsgrad und ein 1D-Wolkenmodell mit Entrainment und Wolkenmikrophysik für die Untersuchung der konvektiven Bewölkung. Die Ergebnisse der Berechnungen, die die ganze vertikale Datensäule umfassen, sind ein mittlerer Bedeckungsgrad, eine Wolkenmächtigkeit – aus dem Maximum der vertikalen Erstreckung der stabilen und konvektiven Bewölkung –, die in den Grauwert der Wolke umgesetzt wird und eine Information über das Auftreten von Gewittern. Darüberhinaus kann auf alle Punktvorhersagen (DMO oder Kalman-gefiltert) zugegriffen werden.

4 Das Visualisierungssystem

TriVis kann Animationen von Satellitenbildern, Radarbildern, vorhergesagten Wolkenbildern, skalaren Größen und Piktogrammen (animierte Niederschlagspiktogramme) in Videosequenzen umsetzen. Das System macht, über die üblichen meteorologischen Darstellungsformen wie Isolinien und Eintragungskarten hinaus, eine fernsehgerechte Aufarbeitung erst möglich. TriVis bietet ein hohes Maß an Flexibilität, das es erlaubt, den spezifischen Wünschen der Fernsehanstalten nachzukommen.

Im folgenden sollen die einzelnen Module besprochen werden.

Bild 1a: Wolkenvorhersage des Europamodells. Mittelwerte des Bedeckungsgrades (Transparenz) und der Wolkenmächtigkeit (Grauwert) für Gitterquadrate.

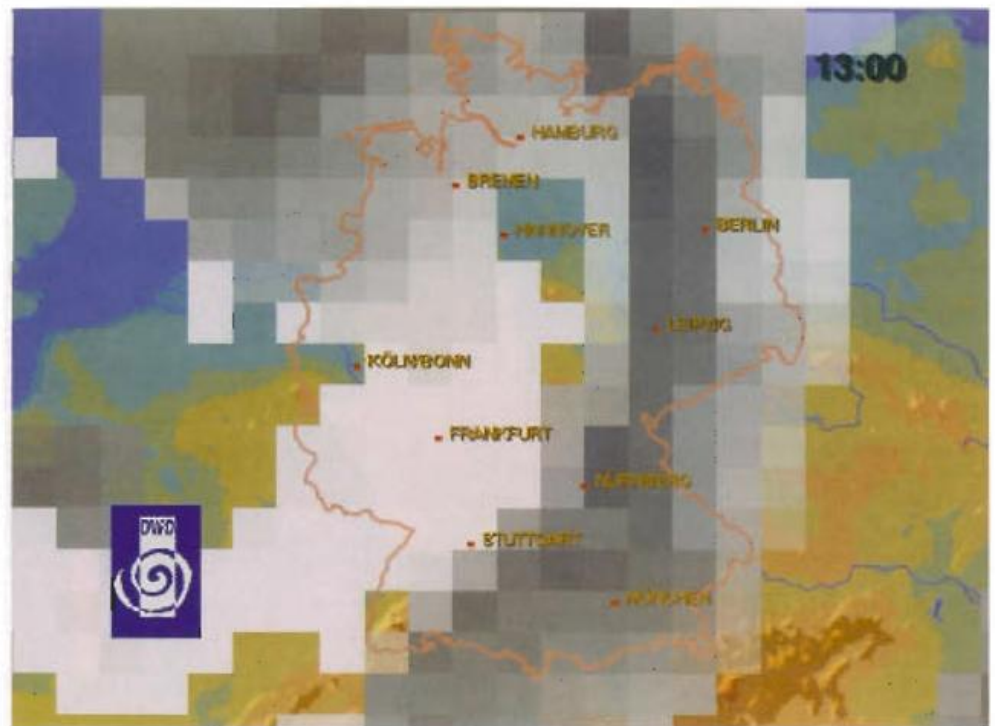
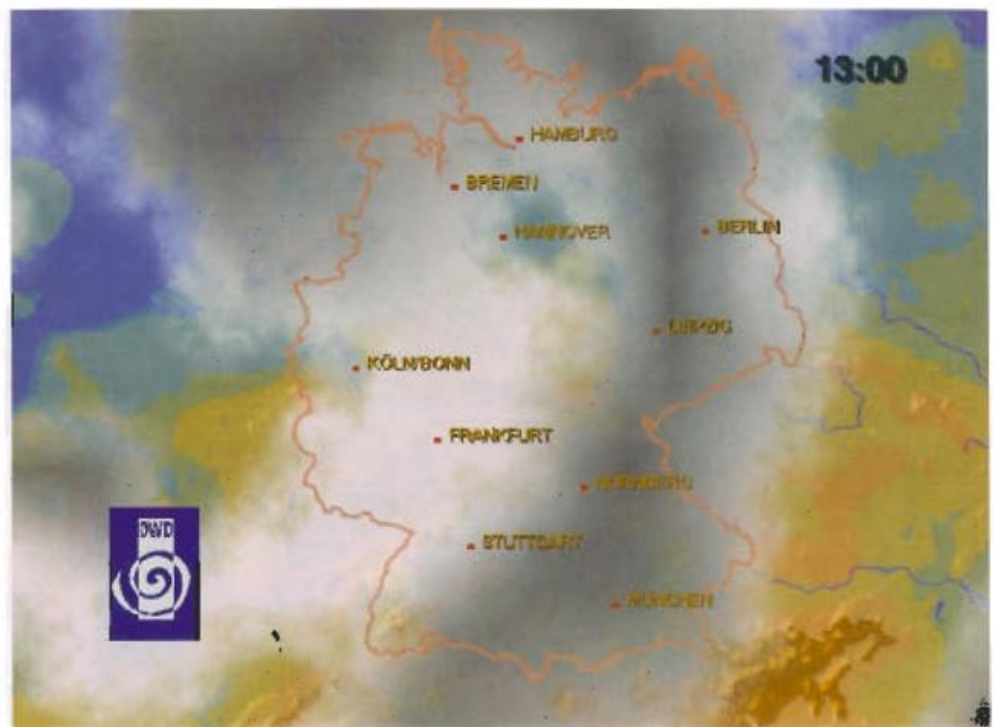


Bild 1b: Fraktal aufbereitete Wolkenvorhersage des Europamodells unter Beibehaltung der Mittelwerte der jeweiligen Parameter.



4.1 Visualisierung geographischer Daten

Geographische Daten werden benötigt, um den geographischen Bezug herzustellen, auf dem die meteorologischen Daten visualisiert werden. Die Datenbasis umfaßt digitale Geländehöhen (5'x5' global, 1 km für Deutschland), Vektordaten für Flüsse, Kontinuumrisse und politische Grenzen und Punktdaten für Städte.

Der Kunde kann die Attribute des Hintergrundbildes, z. B. die geographische Region, die Einfärbung der Höhenstufen, die gewünschte zusätzliche Information aus den Vektor- und Punktdaten, die Darstellung auf Land- und oder Meeresflächen und weiteres mehr spezifizieren. Er kann auch selbst generierte digitale Hintergrundbilder bereitstellen, die dann in TriVis integriert werden.

4.2 Die Visualisierung der Wolken

Die naturalistische und intuitiv verständliche Darstellung von Wolken und Gewittern spielt eine wichtige Rolle bei der Akzeptanz des Systems. Fraktale Modelle eignen sich besonders zur Generierung von 2D- und 3D-Wolken. Besonders die *Rescale And Add Methode* (SAKAS u. a. 1993) hat sich für diese Zwecke bewährt. Fraktale Wolken werden durch Überlagerung stochastischer Funktionen unterschiedlicher Skalen erzeugt. Bild 1a zeigt die Wolkenvorhersage des Europamodells. Die vorhergesagten Grauwerte gelten als Mittelwert für das jeweilige Gitterquadrat. Die RAA-Methode rauht dieses Feld nun künstlich auf, läßt den Mittelwert im Gitterquadrat aber unverändert, so daß der damit begangene Fehler gegenüber dem Vorhersage-

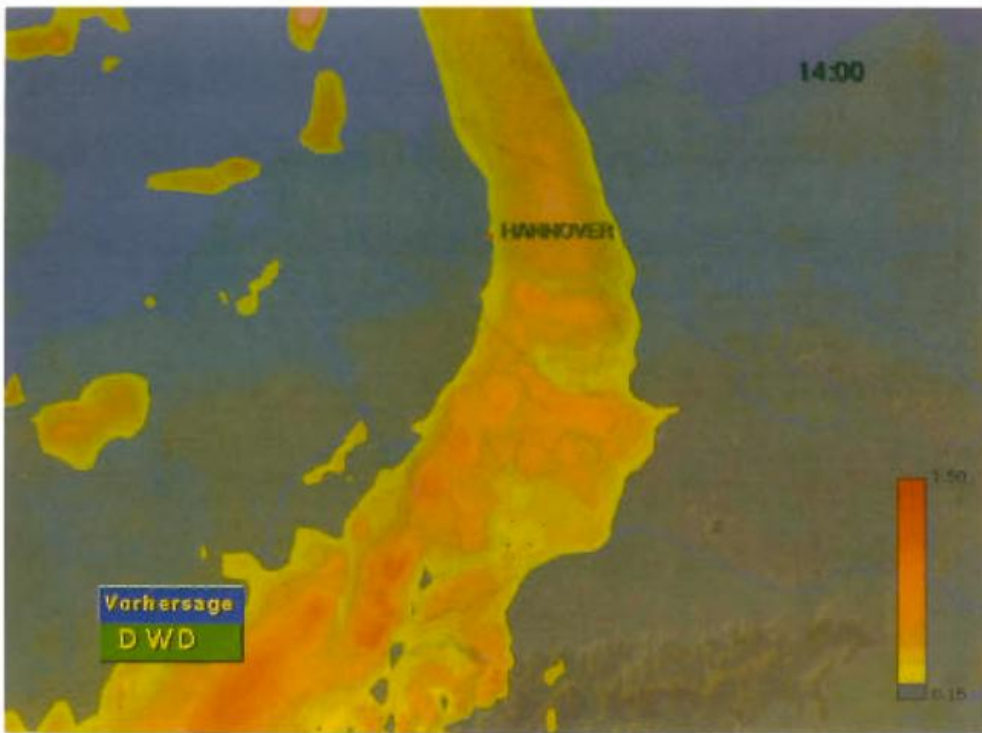


Bild 2: 1-stündige Niederschlagssummen des Deutschlandmodells. Deutlich erkennbar ist der Einfluß der Mittelgebirge.



Bild 3: Temperaturvorhersage für Europa mit überlagerten Fronten, Wetterpiktogrammen und Isothermen.

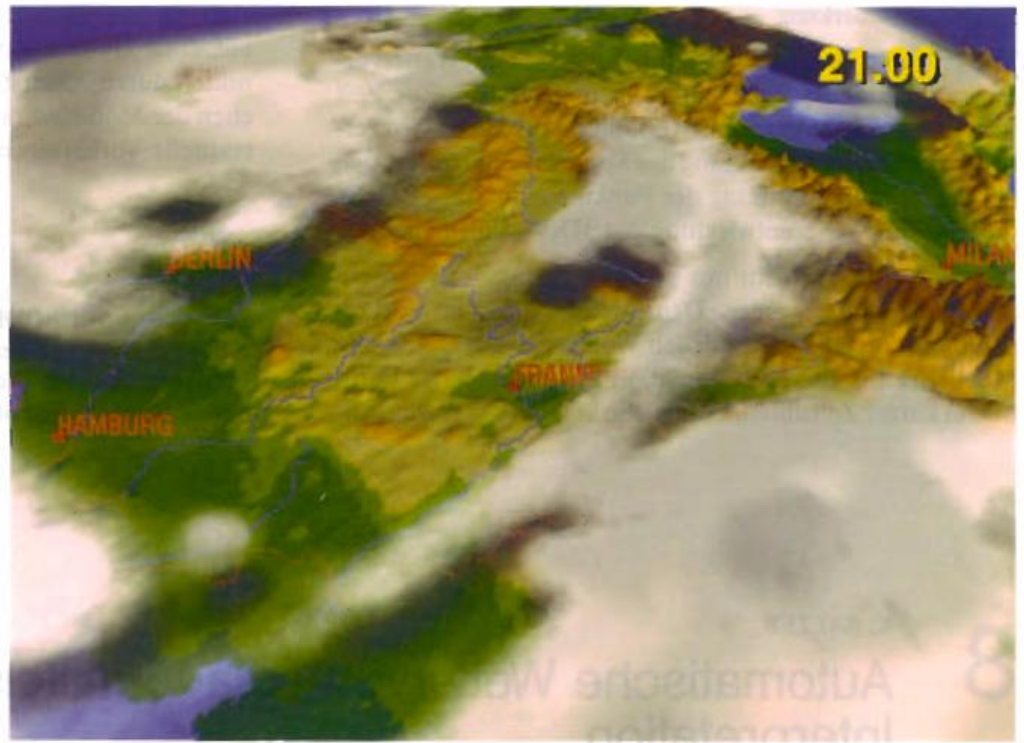
fehler vernachlässigt werden kann. Bild 1b zeigt das Ergebnis der fraktalen Aufbereitung.

Um zu diesem visuellen Ergebnis zu kommen, müssen mehrere Verarbeitungsschritte durchgeführt werden. Da das Gitter der Wettervorhersagemodelle zu grob ist, müssen die Daten zunächst auf die Pixelebene interpoliert werden. Diese interpolierten Felder werden mit der fraktalen Wolke, die den gesamten Ausschnitt bedeckt, gemischt. Der mittlere Bedeckungsgrad bestimmt die Sichtbarkeit der fraktalen Wolke, die natürlich nur dort eingeblendet wird, wo der Bedeckungsgrad von Null verschieden ist. Der letzte Schritt ist das Mischen der Wolken mit dem Hintergrund, der auch die Farbe des resultierenden Pixels definiert. Transparente Wolken erhalten einen hohen Farbanteil des

geographischen Untergrundes. Dichte Wolken hohen Bedeckungsgrades spiegeln keinerlei Hintergrundinformation wider. Sie nehmen den Grauwert an, der ihrer vertikalen Mächtigkeit entspricht. Dieser Mischprozeß führt zu dunklen „drohenden“ Wolken in Gebieten hoher Wetteraktivität und zu weißen transparenten, „freundlichen“ Wolken in Regionen mit heiterem Wetter.

Gewitter werden als blitzende Wolken dargestellt. Für jeden Vorhersageschritt werden zwei Bilder generiert. In dem ersten wird die Gewitterwolke mit einem Grauwert entsprechend ihrer vertikalen Mächtigkeit visualisiert. In dem zweiten wird die Gewitterwolke weiß dargestellt, so daß beim Filmlauf eine blinkende (= blitzende) Wolke zu erkennen ist.

Bild 4: Wolkenvorhersage des Deutschlandmodells. Die virtuelle Kamera befindet sich über London mit Blick auf die Alpen.



Der Medienmeteorologe kann das Aussehen des Fraktals bestimmen, in dem er bestimmte Parameter global variiert. Die Dichte und der Kontrast, ein Maß für die Wolkenlücken, lassen sich lokal variieren. Zusätzlich können Wolken hinzugefügt und gelöscht werden.

4.3 Die Visualisierung von Skalaren

Skalare können als diskret oder kontinuierlich schattierte Farbflächen und/oder Isolinien dargestellt werden, wobei dies wahlweise auch nur über dem Meer oder nur über dem Land geschehen kann. Der Abstand der Farbflächen, die Farbtabelle, die Genauigkeit der Darstellung und weitere Attribute sind interaktiv einstellbar. Bild 2 zeigt eine DM-Niederschlagsvorhersage für Deutschland. Durch die Animation skalarer Felder lassen sich lokale Effekte, die durch die Orographie hervorgerufen werden, deutlich machen. Dies ist nicht nur für die Präsentation im Fernsehen interessant, sondern kann auch dem Meteorologen im Vorhersagedienst wesentliche zusätzliche Informationen bieten. Als Beispiel sei die Animation von stündlich vorliegenden Niederschlagssummen des Deutschlandmodells genannt. Diese zeigen deutlich stationäre Effekte an exponierten Mittelgebirgen, wie dem Harz oder dem Schwarzwald.

Eine besondere Form der Darstellung ist die Animation von Piktogrammen einiger Niederschlagselemente (Niesel, Regen, Schnee). Dazu werden fallende Niederschlagselemente einem Wolkenbild überlagert. Der Verlagerungsvektor kann interaktiv verändert werden.

4.4 Überlagerung weiterer Informationen

Dieser Programmteil erlaubt die Einbindung von Piktogrammen, Fronten, textuellen Informationen an bestimmten Orten und Isolinien mit den Satellitenbildern, den Wolkenvorhersagen und der Skalarvisualisierung. Piktogramme können aus kommerziellen Paint-Systemen übernommen werden. Dadurch wird die Integration von Gra-

phik-Elementen leicht möglich, die der Kunde selbst auf seinen Systemen erzeugt hat. Die Fronten werden aus dem IGS-Programm „Thematische Karte“ (TK) übernommen.

Alle graphischen Attribute sind interaktiv konfigurierbar. Ein Editor erlaubt das Korrigieren, Löschen, Verschieben und Hinzufügen von Piktogrammen und textueller Information. Piktogramme können zusammen mit anderen Größen animiert werden. Dadurch wird es möglich, einzelne graphische Objekte über die Karte ziehen zu lassen.

In Bild 3 wird eine Europakarte mit Temperaturflächen, Fronten und überlagerten Piktogrammen wiedergegeben.

4.5 Dreidimensionale Visualisierung

Die Visualisierung in TriVis beschränkt sich nicht auf die kartographische zweidimensionale Darstellung. Alle meteorologischen Größen können auch über einer dreidimensionalen Landschaft gezeigt werden. Skalare Größen, wie die Temperatur, werden dabei auf das dreidimensionale Gelände projiziert. Wolken schweben entsprechend ihrer vorhergesagten Wolkenuntergrenze über dem Gelände. Da im dreidimensionalen Fall die Blickrichtung nicht mehr vorgegeben ist, wie bei der orthogonalen Draufsicht im zweidimensionalen Fall, muß die Position des Betrachters variabel sein. Das ermöglicht es, die Szenerie zu durchfliegen, zu umfliegen oder zu überfliegen. Nur eine Veränderung des Standorts des Betrachters ermöglicht einen wirklich dreidimensionalen Eindruck. Der Betrachter kann dadurch hinter die Wolken sehen, neue Landschaften und Wettersituationen tauchen hinter dem Horizont auf. Bild 4 zeigt eine Wolkenvorhersage des Deutschlandmodells. Der Betrachter befindet sich in 20 km Höhe über London und blickt auf die Alpen.

5 Schlußbemerkung

Mit TriVis ist es möglich, intuitiv verständliche Wettervorhersagen für Fernschanstalten zu produzieren. Zur Zeit werden die ARD, Arte und PRO7 mit TriVis-Produkten versorgt. Die Weiterentwicklung des Systems konzentriert sich auf die Vervollkommnung der Funktionalität des 2D-Teils und auf die Weiterentwicklung der 3D-Visualisierung.

Das System kann nicht nur zur Versorgung der Fernsehanstalten genutzt werden. Dem Meteorologen im Vorhersagedienst bietet sich durch den Wolkenvorhersagefilm die Möglichkeit, sehr viel Information in kondensierter Form und in kurzer Zeit aufzunehmen. So können die Wetterakti-

vität, dargestellt durch Wolkendichte bzw. Grauwert und blitzende Gewitterwolken, und der zeitliche Verlauf, vermittelt durch Animation, mit dem Wissen um die Schwächen der Modellvorhersage und der Visualisierung auch in textuelle Vorhersagen umgesetzt werden.

Literatur

SAKAS, G., SCHRÖDER, F., KOPPERT, H.-J., 1993: Pseudo-Satellitenfilm Using Fractal Clouds to Enhance Animated Weather Forecasting, Proceedings EUROGRAPHICS'93, Barcelona, Spanien, August 1993.

8

K. BALZER

Automatische Wettervorhersage mittels statistischer Interpretation

1 Was ist 'statistische Interpretation'?

Zunächst, was meint im Zusammenhang mit Wettervorhersage der Begriff 'Interpretation'? Von den ersten Tagen noch empirisch erzeugter Vorhersagekarten an bedeutete Interpretation vor allem die Fähigkeit, vom prognostizierten Druckfeld auf das zukünftige wirkliche Wetter zu schließen, ein Können also, das auch und erst recht dann gefragt war, als Ende der 50er Jahre die allerersten numerischen Höhenwetterkarten mittels nicht-geostrophischer, barotroper, hydrodynamischer Modelle auf den Tisch des Vorhersagemeteorologen kamen: Tröge, Rücken, Frontalzonen – von *Wetter* keine Rede!

Noch Anfang der 70er Jahre ging es im DWD, wenn man über die Chancen der Weiterentwicklung der *Wettervorhersage* nachdachte, vornehmlich um schnellere Rechner, feinere Gitter, Verbesserung der irreversiblen Physik und des Konvektionsmechanismus und der Verwertung von Satellitendaten (K. HINKELMANN in Essen auf der 36. Physiker-tagung, 1971). Doch H. REISER erkannte damals zu recht, daß ein Problem der numerischen Wettervorhersage auch nach der Verbesserung der Kurzfristprognose-Modelle ungelöst bleiben würde – die Vorhersage lokalen *Wetters*. Als Ausweg erblickte er die Interpretation mit numerisch-empirischen Verfahren als naheliegende Umkehroperation zur weithin üblichen Technik der Parametrisierung. Sie, die Parametrisierung, erfaßt ja „den mittleren Einfluß der numerisch nicht mehr auflösbaren Vorgänge auf die im Modell explizit geführten Zustandsgrößen, die als repräsentative Mittelwerte für ein Raumbitterelement (z. B. 300 x 300 x 2 km) interpretiert werden können“ (REISER). 'Interpretation' ist folglich nichts anderes als die Transformation großräumiger (höher-skaliger) Modelloutputs in kleinräumiges (subskaliges) wirkliches Wetter – eine Fähigkeit, die der 'Synoptiker' auch heute noch beherrscht und beherrschen muß, auch wenn ihm diese Transformationsarbeit durch die Routinemodelle der *statistischen* Interpretation teilweise abgenommen wird.

2 Kurze historische Anmerkung

Ohne voneinander zu wissen, begannen Mitte der 60er Jahre W. H. KLEIN (1966) in den USA, O. LÖNNQVIST (1971) in Schweden und H. MAEDE im Meteorologischen Dienst der DDR mit ersten Experimenten einer 'objektiven', besser: algorithmisierten 'statistisch-dynamischen' Wettervorhersage auf der Grundlage numerischer Vorhersagekarten (des Geopotentials), für die später der Begriff der statistischen Interpretation weltweit verwandt wurde.

MAEDE's Ausgangspunkt war Anfang der 60er Jahre die Objektivierung der Wetterlagenklassifikation für die Zwecke einer prinzipiell automatisierbaren Wettervorhersage für den Kurz- und Mittelfristzeitraum. Von ganz ähnlichen Gedanken ließen sich übrigens auch sowjetische Meteorologen um GRUZA in Taschkent leiten.

Zur großen Überraschung können wir aber feststellen, daß ein Hamburger Meteorologe, SEEMANN, schon 1890 an der Deutschen Seewarte den Plan einer Objektivierung der Wettervorhersage auf der Grundlage der viel später 'Mustererkennung' (pattern recognition) genannten statistischen Technik faßte. Die allerersten 10 Jahre europäischer Wetterkarten von 1876-1885 dienten ihm als Grundlage für ein Wetterlexikon in Form eines Kataloges, in dem jede Wetterlage einer bestimmten Zahlenkombination entsprach, die aus 3 horizontalen Luftdruckunterschieden (von Hamburg aus in Richtung NW, SW und NE) berechnet wurde. Seine Idee war einfach, einleuchtend und großartig zugleich:

„Um aus einem europäischen Wetterbild das kommende Wetter annähernd vorausbestimmen zu können, ist nichts geeigneter als der Anhalt, den ein früherer ähnlicher Zustand im Luftmeer über Europa uns bietet. Es ist daher wünschenswert, einen solchen ähnlichen Zustand aus der verflossenen Zeit, soweit die Wetterkarten zurückreichen, in leichter und übersichtlicher Art, wie aus einem Lexikon, entnehmen zu können.“

So faszinierend dieses Experiment auch war, die erhofften Erfolge blieben aus. Heute wissen wir, warum. Erstens sind 10 Jahre zu wenig, um für jeden Tag einer bestimmten Jahreszeit einen befriedigend ähnlichen Fall im Wetterkatalog aufzuspüren. Zweitens wird eine Bodenwetterlage anhand von nur 3 Parametern äußerst unzulänglich charakterisiert. Drittens fehlten seinerzeit Wetterinformationen aus der freien Atmosphäre etwa in Gestalt der ebenfalls an der Deutschen Seewarte im Jahre 1936 von SCHERHAG eingeführten Höhenwetterkarten der Absoluten Topographie (AT) 500 hPa, die plötzlich zeigten, daß ähnliche Bodenwetterlagen durchaus mit sehr verschiedenen Höhenwetterlagen einhergehen können.

Diese Tatsache schien dem Analogieprinzip beinahe den Boden unter den Füßen zu ziehen, denn es wurde immer klarer, daß es – ähnlich wie bei den Fingerabdrücken – unmöglich ist, ein und dieselbe Wetterlage zweimal anzutreffen, selbst wenn wir noch 400 Jahre warten sollten.

Daraus folgte: die Anforderungen an die Ähnlichkeit dürfen ein bestimmtes Maß sowohl nicht überschreiten (keine ähnlichen Fälle) als auch nicht unterschreiten (zu geringe charakteristische Informationen). Viertens zeigte sich, daß nur ein Bruchteil der Erfahrungen des synoptisch arbeitenden Vorhersagemeteorologen objektivierbar bzw. zu algorithmisieren war. Bis weit in die 60er Jahre unseres Jahrhunderts herrschte deshalb die Meinung vor, daß es um die Erfolgsaussichten einer objektiven und dadurch im Prinzip auch automatisierbaren *Wettervorhersage* sehr schlecht bestellt sei.

3 Das Modell AFREG

stellt die ständig vervollkommnete Version eines Ende der 60er/Anfang der 70er Jahre im MD entwickelten Grundmodells der statistischen Interpretation dar (BALZER 1984, 1991). Seine praktisch außerordentlich flexible Handhabung eröffnete von Anfang an die Möglichkeit eines Routineinsatzes sowohl für die Kurz- als auch für die Zwecke der Mittelfristvorhersage. Da es unabhängig von einem speziellen Modell der numerischen Wettervorhersage konzipiert wurde, eignet es sich zur statistischen Interpretation jedes NWP-Modells, von dem lediglich einige Gitterpunkt-daten des Geopotentials der AT1000 und AT500 hPa bekannt sein müssen. Diese wurden anfangs rein manuell verarbeitet (hoher Personalbedarf), später bewirkte der Einsatz der maschinellen Datenverarbeitung (Vor-Selektion mittels Lochkarten) eine merkliche Beschleunigung der praktischen Prognosestätigkeit, doch bereits ab 1971 verhalf die EDV (BESM-6) und der internationale Prognoseaus-tausch mittels GRID schrittweise zu einer vollständigen Automatisierung der Vorhersagen wirklichen, lokalen Wetters.

3.1 AF wie 'Analoge Fälle'

Das Modell AFREG ist methodisch zweistufig angelegt. Je nach Blickwinkel kann man von einer mittels Regressions-rechnung verbesserten Analogiemethode sprechen oder von einer *bedingten* Regressionsanalyse ('stratified regression technique'), wobei die Bedingungen durch eine automatische Klassifikation oder Gruppierung von Objekten –

das sind die durch den interpretierten Teil des NWP-Modell-outputs beschriebenen 'Wetterlagen' – definiert werden. Normalerweise werden Klassen, Gruppen oder Typen anhand einer Stichprobe (Lernmenge) und ausgewählter (heuristischer) Prinzipien a-priori, ein für allemal etabliert, so daß ein neues 'Object' einem festen Typ, manchmal nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit, zugeordnet werden kann (siehe z. B. die Großwetterlagen nach HEB/BREZOWSKY).

Die Analogiemethode jedoch umgeht die unliebsamen Probleme jeglicher (fester) Klassifizierung, wie Anzahl der Klassen und Diskriminanzkriterien, indem sie, von einem beliebigen Objekt ausgehend, lediglich die ihm ähnlichsten Objekte anhand eines Archivs historischer Objekte zuordnet. Insofern hat dieser Ansatz sehr viel Ähnlichkeit mit den modernen Methoden der Mustererkennung.

Welche Merkmale nun charakterisieren bei AFREG ein 'Object'? Wie schon ausgeführt, werden, aus historischen Gründen und um ein statistisch robustes Modell zu betreiben, die 'Wetterlagenmuster' nur durch Geopotentialdaten an 13 regulären Gitterpunkten beschrieben (Bild 1).

Um den Informationswert dieser Daten zu erhöhen (räumliche Autokorrelation!) und damit die Analogiesuche 'schärfer' durchzuführen, werden 16 horizontale Geopotentialdifferenzen d gebildet, und zwar anhand der folgenden 4 (Vorhersage)Karten, die sowohl vertikal als auch zeitlich verknüpft sind und eine Art vier-dimensionale Mustererkennung ermöglichen (Bild 2).

Eine 'Wetterlage' wird also durch ihr Bodendruckfeld und das Temperaturfeld der unteren Troposphärenhälfte charakterisiert. Der Gitterpunkt-Abstand beträgt rund 400 km. Sonst werden keine weiteren NWP-outputs, wie z. B. AT850 hPa, oder Feuchte-, Vorticity- bzw. Vertikalbewe-

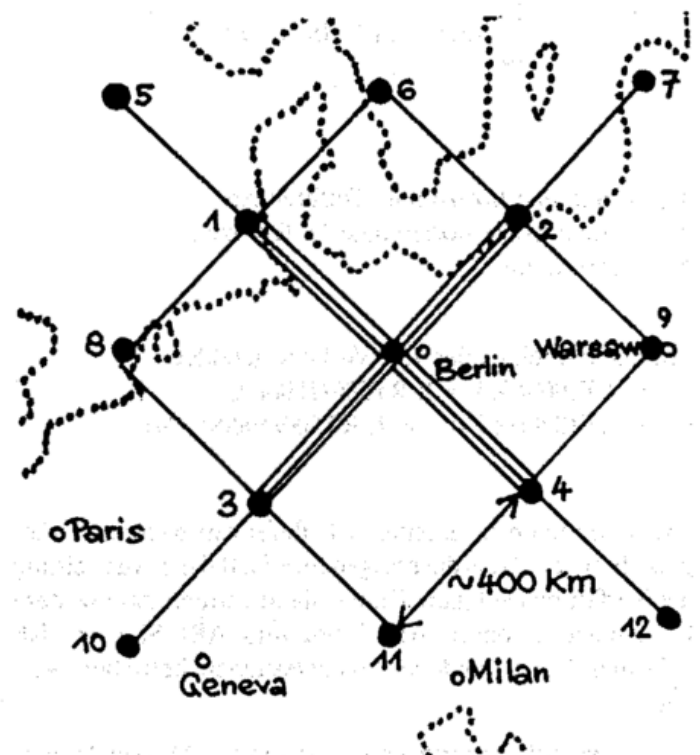


Bild 1: Die Lage der Gitterpunkte zur Mustererkennung (Analogiesuche) für Ostdeutschland

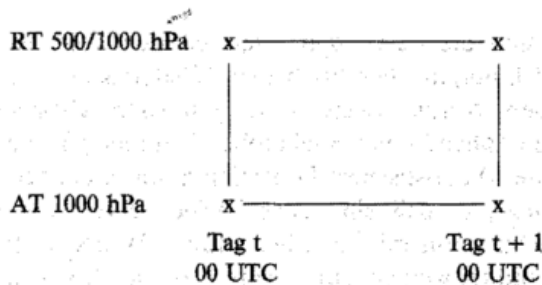


Bild 2: Das 'Muster' eines 'Wetterlagenprozesses'

gungsprognosen interpretiert, was in der Wahl des statistischen Grundmodells (perfect prog) begründet ist. Perfect-prog-Ansätze erfordern, wenn sie ihre Stärken optimal zur Geltung bringen sollen, die Verwendung hinreichend verlässlicher, stabiler Prediktoren, wie z. B. das makro-skalige Geopotentialfeld im Niveau 1000 und 500 hPa. Demgegenüber gehören (mittelfristig!) vorhergesagte Feuchte-, Vorticity- und ähnliche Felder, sowie vertikale Differenzen geringer Schichtdicke oder meso-skalige Strukturen einer wesentlich niedrigeren Klasse der Vorhersagbarkeit mit deutlich eingeschränkter Interpretationsfähigkeit an.

Das historische Datenarchiv beginnt mit dem Jahr 1970 und wird ständig aufgefüllt. Innerhalb einer Zeitspanne von ± 30 Tagen um den aktuellen Tag der Vorhersageausgabe werden die $N^* = 35$ ähnlichsten Fälle gemäß folgendem Distanzmaß (S1-Score) selektiert:

$$s1 = \sum_{j=1}^4 s(j)$$

mit

$$s(j) = \frac{\sum_{i=1}^{16} (|da_{ij} - dh_{ij}| \cdot a_i)}{\sum_{i=1}^{16} (\max(|da_{ij}|, |dh_{ij}|) \cdot a_i)}$$

da_{ij} = aktuelle horizontale Differenzen
 dh_{ij} = historische horizontale Differenzen
 a_i = Gewichte

j bezeichnet eines der vier Vorhersagefelder
 $j = 1$: AT1000(t), $j = 2$: RT500/1000(t),
 $j = 3$: AT1000(t+24), $j = 4$: RT500/1000(t+24)

Die 4 zentralen horizontalen Differenzen werden stärker gewichtet ($a = 3$) als die übrigen ($a = 1$). Bei der Ausweitung des Verfahrens auf ganz Deutschland wurden zwei weitere Gitternetze etabliert, ABL-Nord und ABL-Süd, so daß jedesmal 3 verschiedene Analogiesuchen betrieben werden.

$S1 = 0$ bedeutet, bezüglich der gewählten Merkmale, perfekte Identität zwischen aktueller und historischer Wetterlage, die trotz extremer Beschränkung der auf Ähnlichkeit

zu prüfenden Merkmale praktisch nicht vorkommt. Die Analogie zur Individualität menschlicher Fingerabdrücke liegt sehr nahe.

Schon nach diesem ersten Schritt ist es möglich, Vorhersagen von (allen möglichen!) lokalen Wetterelementen zu erzeugen, indem zu den N^* analogen Kalendertagen die zugehörigen, gesuchten Wetterelemente beigeordnet werden. Durch einfache Mittelwert- oder Medianbildung bzw. durch Bestimmen relativer Häufigkeiten lassen sich sowohl Aussagen in kategorischer, als auch in Wahrscheinlichkeitsform ableiten. Dieses Vorgehen war im MD Standard bis zu Beginn der 80er Jahre. Danach wurde versucht, die Güte der Interpretationsvorhersage durch einen 2. nachfolgenden Schritt zu erhöhen.

3.2 REG wie Regressionsanalyse

Die REG-Komponente von AFREG führt anhand der **wetterlagen-spezifischen** Ministichprobe der N^* analogen Fälle eine lineare Regressionsanalyse durch, um die Wirkung von drei zusätzlichen Einflußgrößen (Prediktoren) auf den Prediktanden y zu berücksichtigen. Infolge der räumlichen Differenzbildung (1. Ableitung!) der AT- und RT-Felder im 1. AFREG-Schritt geht ja die nicht unwichtige Information der Höhe des Bodendruckniveaus und der durch die Relative Topographie RT 500/1000 hPa bestimmten troposphärischen Mitteltemperatur verloren. Sie finden sich im Prediktor x_1 und x_2 wieder.

$$y_{ijk} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$$

Prediktor x_1 = Bodendruckniveau (AT1000) am zentralen Gitterpunkt 0

Prediktor x_2 = Schichtdicke (RT500/1000) am zentralen Gitterpunkt 0

Prediktor x_3 = der letzte bekannte Wert des Prediktanden als wichtige, nun sogar wetterlagen-abhängige(!) Persistenzinformation.

Im 1. Wetterlagenprozess (Ausgabetag 00 und 24 UTC) stellt x_3 die letzte Beobachtung/Messung des Prediktanden dar, z. B. MAX_1 zur Vorhersage von MAX_0 (= Maximumtemperatur am Ausgabetag). In allen weiteren Prognosezeitabschnitten stellt x_3 die von AFREG für den jeweiligen *Vortag* geschätzte Prognose des Prediktanden dar, also z. B. MIN_5 für die Prognose von MIN_6 (= Minimumtemperatur für den 6. Folgetag).

Index i = vorherzusagende Wetterelemente

Index j = Ort (= Punktprognose) bzw. Gebiet (nur bei Mittelfrist)

Index k = Vorhersagezeitraum

Aus Gründen einer 3fach zu sichernden Konsistenz bezüglich der i, j, k werden die drei Prediktoren obligatorisch verwendet, d. h. es findet keine 'lokale Optimierung' mittels 'screening' statt, einer Selektion von jeweils unterschiedlichen Prediktoren aus einer größeren Anzahl potentieller Einflußgrößen.

Nach der Schätzung von y_{ijk} werden die partiellen Regressionskoeffizienten a_m , $m = 0, 3 \dots$ wieder vergessen und bei dem nächsten Routinelaufer von AFREG neu berechnet.

Nicht in jedem Fall gelingt eine stabile, zuverlässige Verbesserung der Prognosegüte mit den drei o. g. (Zwangs-)Prädiktoren gegenüber einer Prognosestrategie, die nur den Analogieschritt benötigt. Dies ergaben gezielte Verifikationen. Daher werden zur Zeit (September 1993) die Interpretationsvorhersagen der Niederschlagsmenge (RR), sowie Niederschlagswahrscheinlichkeiten W_0 und W_5 (siehe 5.2) nur mittels der analogen Fälle (AF, nicht AF + REG) bestimmt.

4 Einiges über MOS

Fälschlicherweise wird der Begriff 'MOS' (= model output statistics) manchmal als Synonym für die statistische Interpretationsvorhersage schlechthin verwendet. Dies ist sehr irreführend, bezeichnet 'MOS' doch nach ihren 'Erfindern' H. R. GLAHN & LOWRY (1972) lediglich einen im Vergleich mit den bis dahin bekannten Ansätzen anderen Typ der Prädiktoren. Es hat sich international eingebürgert, die historisch frühere Interpretationsvariante 'perfect prog' (oder P. P.) zu nennen, weil das Interpretationsmodell auf perfekten, d. h. beobachteten oder gemessenen, jedenfalls nicht vorhergesagten Prädiktorendaten aufbaut. Ob das statistische 'Werkzeug' nun aus Klassifikation, Regression oder anderem besteht, tut dabei nichts zur Sache.

Auch AFREG gehört dem P. P.-Typ der statistischen Interpretation an, da im Prädiktorenarchiv *Analysedaten* der zu interpretierenden Felder archiviert sind. Auf der anderen Seite bedeutet P. P. aber auch, daß die NWP-Prognoseprodukte so interpretiert werden, als seien sie völlig fehlerfrei; wenn also vom NWP-Modell A für den 7. Folgetag ein Trog über Mitteleuropa modelliert wird, dann wird genau dieses Muster in lokales Wetter transformiert, unabhängig davon, wie sicher man sein darf, daß genau am 7. Folgetag ein Trog über Mitteleuropa zu liegen kommt.

Anders bei MOS. Hier werden, wie auch immer *vorhergesagt*, mit zunehmendem Vorhersagezeitraum immer fehlerhaftere Prädiktoren aus den NWP-Modellen mit dem lokalen Wetter in Verbindung gebracht, mit dem Ergebnis, daß gegen Ende der Prognosefähigkeit des NWP-Modells nur noch das klimatologische Signal ausgegeben und damit eine extreme, falsche Sicherheit in der Erwartung bestimmter meteorologischer Ereignisse vermieden werden.

Neben der direkten Berücksichtigung des NWP-Modellfehlers durch den MOS-Ansatz, verfügt MOS noch über den interessanten Vorteil, daß auch nicht meßbare oder nicht gemessene/archivierte meteorologische Variable, wie z. B. Vertikalbewegungen, Feuchte, Vorticity und vieles andere mehr, von quasi jedem Ort für die statistische Interpretation zur Verfügung stehen.

Leider sorgen die immer noch anhaltenden, relativ häufigen Wechsel bzw. Veränderungen der NWP-Modelle für störende Instabilitäten in den zuvor entwickelten, ganz spezifischen statistischen Relationen der MOS-Modelle. Sofern man keine selbstlernenden, adaptiven Modelle, wie z. B. die von W. ENKE (1984) entwickelten, einsetzt, müs-

sen in der Regel neue Stichproben der in der Fehlerstruktur mehr oder weniger veränderten NWP-Modell-Outputs angehäuft und neue MOS-Modelle entwickelt werden – oder man verwendet die alten weiter und nimmt mehr oder weniger große Interpretationsverluste in Kauf.

Von dieser Art Aufwand und Mängel sind die P. P.-Ansätze völlig frei – im Gegenteil: die immer perfekter werdenden NWP-Modelle sorgen 'von selbst' dafür, daß diese Differenz immer kleiner und unwesentlicher wird. Sogar im Mutterland von MOS, dem US-Wetterdienst, wird seit geraumer Zeit eine stärkere Hinwendung zum P. P.-Prinzip diskutiert (GLAHN, 1991).

Außerdem eröffnet die perfect-prog-Interpretation numerischer Vorhersagekarten *verschiedener* Modelle bzw. Zentren und die nachfolgende Kombination der (meist) unterschiedlichen Aussagen zum gleichen Prediktanden einen konstruktiven und sehr erfolgreichen Zugang zur Lösung des Problems der 'Zufälligkeit' einzelner, deterministischer NWP-Lösungen. Insofern nahm und nimmt die eben skizzierte AFREG-MIX-Strategie schon nützliche Elemente der modernen und sehr viel aufwendigeren Ensemble-Vorhersagetechnik vorweg (PALMER, T., 1992 und EMM-RICH, P./BALZER, K., 1993).

5 Routineaspekte

5.1 Die interpretierten NWP-Modelle

Das zeitigste Interpretationsangebot stammt vom EZMW-Modell aus Reading (Start: 12 UTC des Vortages). Wegen der gewählten Definition eines 'Wetterlagenprozesses' von 00 UTC bis 00 UTC des Folgetages und der deswegen im historischen Datenarchiv abgespeicherten 00 UTC-Geopotentialdaten der numerischen Analysen, wird beim EZMW-Modell der

- Ausgabetag der Interpretationsvorhersage durch die NWP-Prognosen +12 und 36 Stunden,
- der 1. Folgetag durch die NWP-Prognosen +36 und +60 Stunden usw bis zum 8. Folgetag (+204/+228 Stunden) definiert.

Außerdem wird das Globale Modell des DWD (GM, Start: 00 UTC) in einem zusätzlichen, späteren AFREG-Lauf, bis zum 6. Folgetag (hier: +144/168 Stunden) statistisch interpretiert.

Durch eine interessante Extrapolationstechnik (siehe Abschnitt 7) werden darüber hinaus noch Vorhersagen für zwei zusätzliche Folgetage ermöglicht, d. h. dem Meteorologen liegen täglich automatische Mittelfristvorhersagen bis zum 10. bzw. 8. Folgetag vor.

5.2 Das Prognoseangebot von AFREG

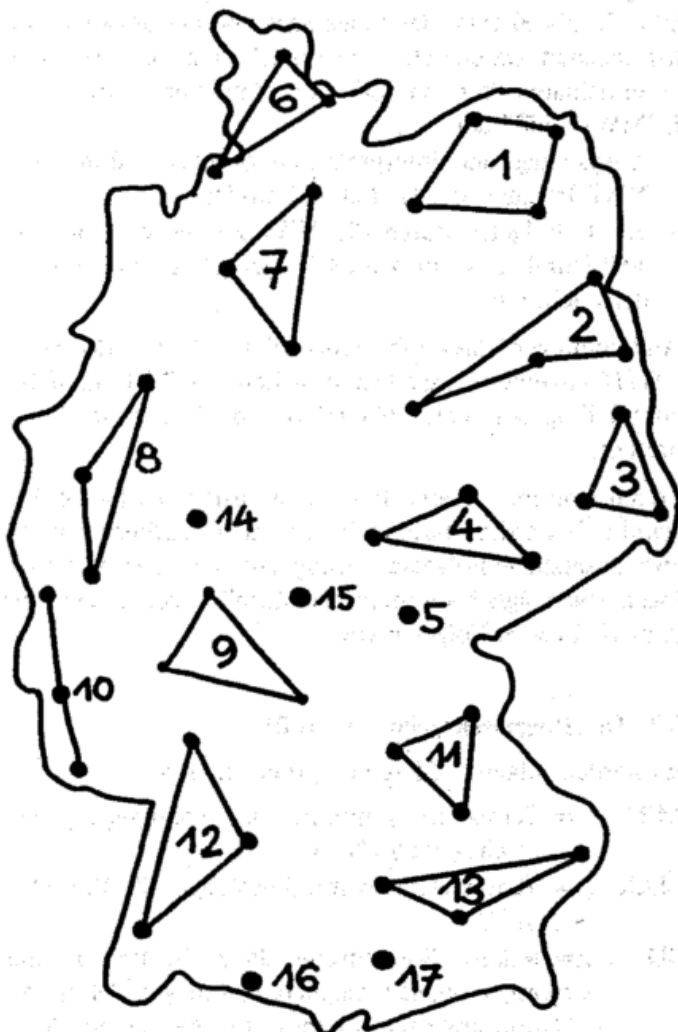
Es werden folgende Elemente prognostiziert:

- MIN = Temperaturminimum der vorangegangenen Nacht (18-06 UTC)
- MAX = Temperaturmaximum des Tages (06-18 UTC), in °C
- SD = relative Sonnenscheindauer in Prozent der astronomisch möglichen. Ein gut definierter und praktisch interessanter Prediktand, der –

verglichen mit Gesamtbedeckungsprognosen für Termine - u. a. auch über den Vorteil verfügt, hinsichtlich der zeitlichen Detaillierung leichter vorhersagbar und der mittelfristigen Prognoseaufgabe (scale!) adäquater zu sein.

- RR24 = 24stündige Niederschlagsmenge von 06 UTC bis 06 UTC des Folgetages, in mm.
- W0, W5 = Vorhersage der Wahrscheinlichkeit in Prozent, daß in einem 24stündigen (Mittelfrist) bzw. 12stündigen (Kurzfrist) Zeitraum Niederschlag schlechthin (> 0 mm) bzw. mindestens 0,5 mm erwartet wird.
- WI00, WI12 = Bodenwindrichtung in Dekagrad und -geschwindigkeit in m/s, repräsentativ für die Termine 00 und 12 UTC.
- GEW, NEB = mittlere (Punkt-) Wahrscheinlichkeit (%) für das Auftreten von Gewitter bzw. Nebel innerhalb von 24 Std., sog. Ereignistag)
- PET = potentielle Evapotranspiration in Zehntelmillimeter pro Tag auf der Grundlage einer Beziehung in die Prognosen der relativen Sonnenscheindauer, der Windgeschwindigkeit und von MIN, MAX als Variable eingehen, siehe U. WENDLING (1990).

Zur Stabilisierung der Prediktanden in der statistischen Mittelfristvorhersage wurden die meteorologischen Meßdaten von je 3 bis 4 Orten zu einer finalen Gebietsvorhersage zusammengefaßt. Die 13 Gebiete in Deutschland - und zusätzlich 5 'singuläre' Einzelstationen - zeigt Bild 3.



5.3 Ein Beispiel

Die Bilder 4 und 5 zeigen vier gewöhnliche Vorhersagekarten des Globalen Modells (GM) des DWD vom 2. September 1993 für 6 und 7 Tage im voraus, wie sie über Faksimile übertragen und empfangen werden.

Diese vier Karten definieren, wie vorher beschrieben, einen sog. 'Wetterlagenprozeß' - die Grundlage unserer 'vierdimensionalen' Mustererkennung. Im Kontext mit allen anderen verfügbaren GM-Vorhersagen ergab AFREG für das Gebiet 2 folgendes Interpretationsergebnis für den 1. bis 7. Folgetag (FT):

FT	MIN	MAX	SD	RR24	W0	W5	WI00	WI12	GEW	NEB	PET		
1	9	17	34	1.1	90	22	26	4	29	6	18	3	2.0
2	9	17	48	.5	76	11	30	4	32	6	16	2	2.4
3	8	16	49	.2	55	5	29	4	30	5	7	2	2.4
4	8	16	51	0.0	23	0	28	3	26	4	0	5	2.4
5	7	20	68	.1	17	1	13	2	15	3	1	17	2.9
6	9	22	58	.1	30	9	10	3	10	4	3	17	2.7
7	10	23	59	.1	24	4	9	4	11	4	2	19	2.7

Aber bleiben wir bei der Prognoseaufgabe für den 6. Folgetag. Eine Zusammenschau der AFREG-GM-Ergebnisse für alle Gebiete/Orte Deutschlands ergab folgende Spannweiten:

	Minimalwert	wo? (Gebiets-Nr.)	Maximalwert	wo? (Gebiets-Nr.)
MIN	9°C	2	15	10
MAX	19°C	14, 15	26	12
SD	46%	8	73	17
W0	24%	13	69	10
RR24	0,0 mm	13	0,5	8, 10
dd 12 UTC	100°	2,4	190	12, 15, 16
ff 12 UTC	1 m/s	16	7	15
GEW	1%	3,6	21%	10
NEB	5%	8, 12	46%	14, 16

Gebiet	Orte (synopt. Schlüsselziffer iii)
1	170, 184, 162, 280
2	291, 361, 379, 12310
3	488, 496, 499
4	469, 554, 577
5	558
6	035, 046, 131
7	147, 224, 338
8	315, 410, 513
9	532, 637, 655
10	501, 609, 708
11	688, 763, 776
12	729, 739, 803
13	852, 865, 893
14	427
15	544
16	929
17	962

Bild 3: Die Lage der Orte (Kurzfrist) und Gebiete (Mittelfrist), sowie der 'singulären' Stationen, für die AFREG Vorhersagen erzeugt.

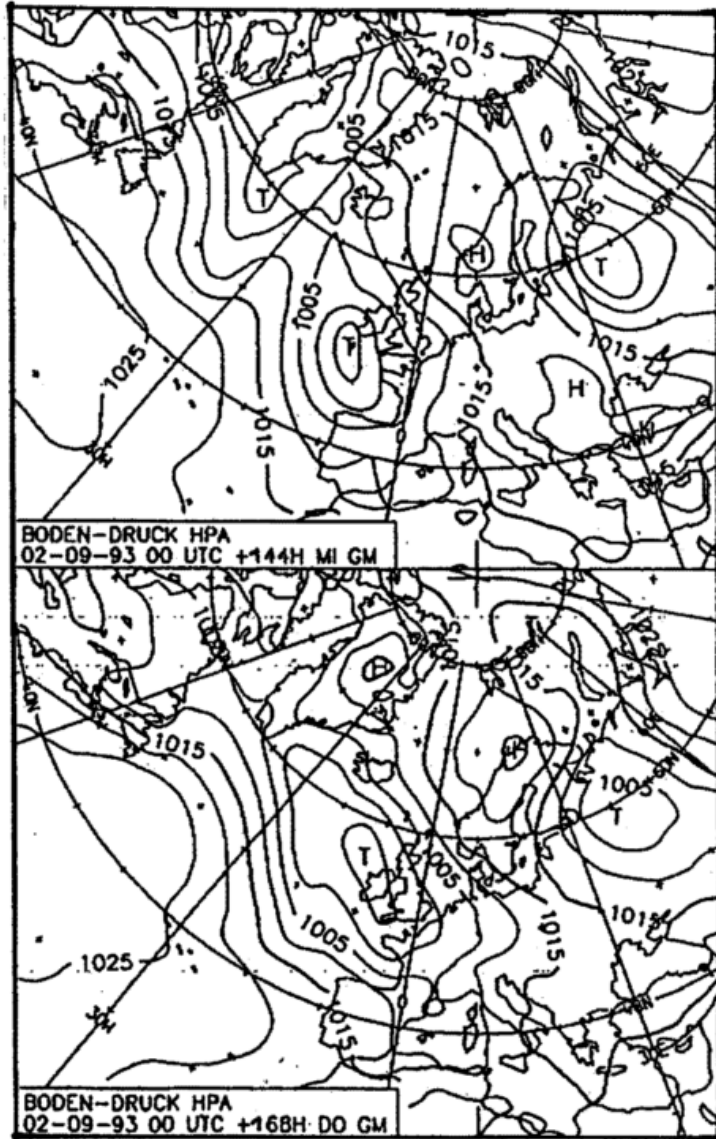


Bild 4: Bodendruckvorhersagen des DWD, GM vom 2. 9. 93 für 144 und 168 Stunden im voraus.

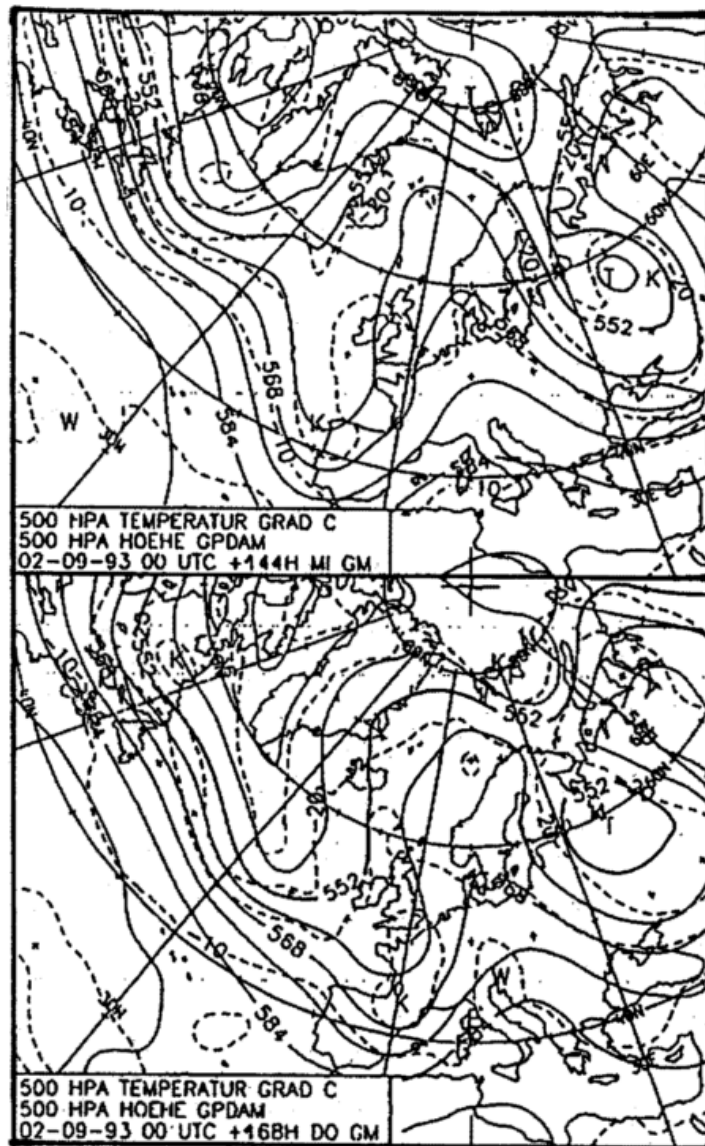


Bild 5: wie 4, AT 500 - Vorhersage.

Ein synoptisch erfahrener Meteorologe wird die für ihn mühelose 'Entwurfsarbeit' von AFREG ohne weiteres akzeptieren können.

Eine zur Zeit mitunter heftig diskutierte Frage ist aber, ob diese Empfehlung im allgemeinen noch *wesentlich* durch den Vorhersagemeteorologen verbessert werden kann oder nicht. Dazu später mehr.

Für den 6. Folgetag und das Gebiet 2 liegen dem Meteorologen am 2. 9. 93 schließlich folgende Vorhersagen vor:

	MIN	MAX	SD	W0	WI12	GEW	NEB	p fx ≥ 25 km)
A	9	22	58	30	10/09	3	17	—
B	11	24	52	44	16/03	6	17	—
C	11	22	50	40	13/03	—	—	10%
D	9	22	60	20	16/03	—	—	0%

- A Automatische AFREG-Vorhersage, auf der Basis vom GM (DWD)
- B Automatische AFREG-Vorhersage, auf der Basis vom EZMW-Modell
- C Finale (Konsens-) Vorhersage der RVZ Potsdam
- D Finalprognose des Zentralamts (AVZ)

Wenn man in obiger Tabelle, nachträglich, noch die Zeile E wie 'eingetroffenes Wetter' anbringt, kann die Verifikation vieler solcher Beispiele unter anderem entscheiden, welches Vorhersageangebot, A oder B oder C oder D, für einen Kunden am attraktivsten ist.

6 Verifikation

Seit Anfang Dezember 1992 gibt es erstmals für ganz Deutschland eine automatische Mittelfristvorhersage wirklichen Wetters. Ihre Leistungsfähigkeit wurde mittels Verifikationsmaß RV im Vergleich zur bestmöglichen Referenzvorhersage bestimmt und der Leistung gegenübergestellt, die die Meteorologen in der RVZ und AVZ erbrachten.

Stichprobe: 1. 1. - 30. 6. 1993

Orte: Punktverifikation für Hamburg, Potsdam, Essen und München für den 2. bis 7. Folgetag

RV %	MIN/MAX	SD	NW	dd*)	ff
RVZ	47	1	-2	50	0
AVZ	41	-15	-13	43	-11
AFREG + GM	40	7	1	48	8
AFREG + EC	41	7	3	40	1

*) RV relativ Persistenz, sonst relativ Klima

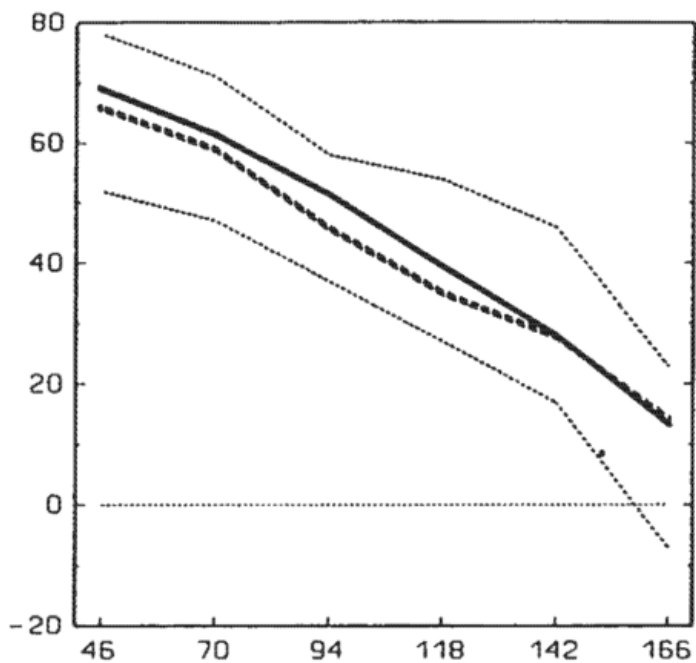


Bild 6: Ergebnisse der Routine-Verifikation für das 1. Halbjahr 1993, Ordinate: Vorhersageleistung RV(%) rel. zu Klimaprognosen, Abszisse: effektiver Vorhersagezeitraum (Stunden im voraus) dicke Linie: Güte des DWD-Finalprodukts (RVZ und AVZ) punktiert: Leistungsdifferenz zwischen besten und schlechtesten Angeboten (je nach Ort und Erzeuger) dick gestrichelt: Güte der automatischen AFREG-Vorhersage AFREG + EZMW bei MIN, MAX, und NW, sonst AFREG + GM hier: tägliche Minimum- und Maximumtemperatur.

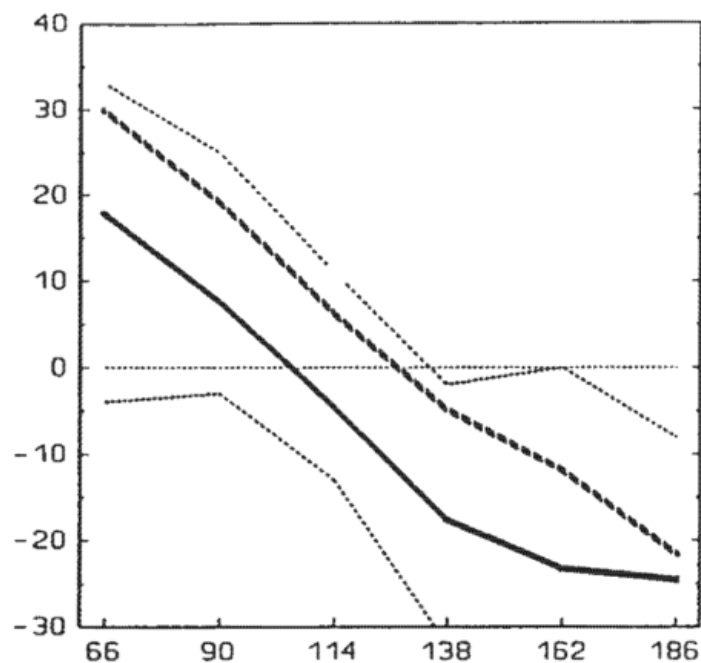


Bild 7: wie 6, Wahrscheinlichkeit für Niederschlag / 24 Std.

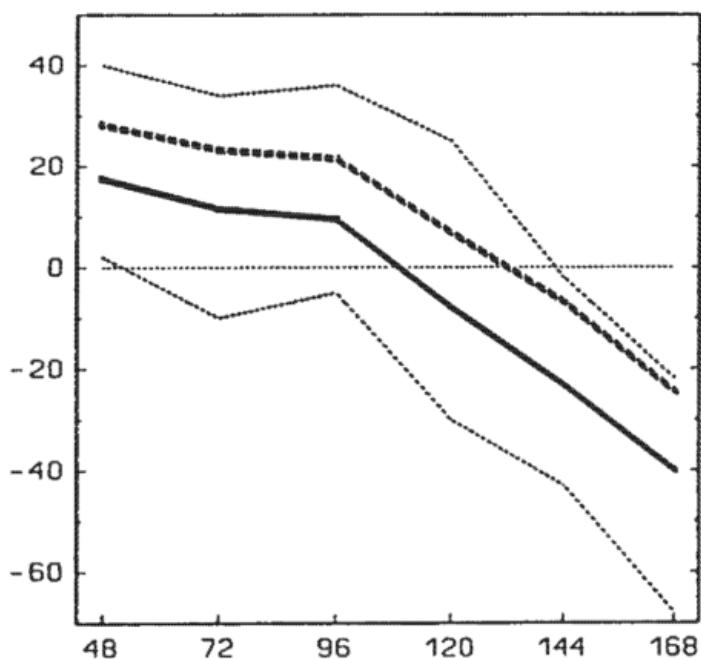


Bild 8: wie 6, Windgeschwindigkeit, 12 UTC.

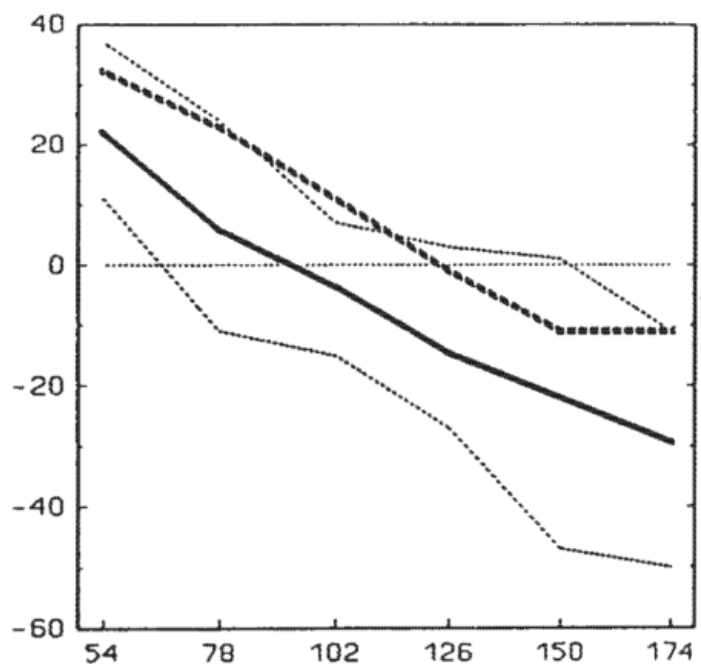


Bild 9: wie 6, Relative tägliche Sonnenscheindauer.

Fazit:

Obwohl die AFREG-Empfehlungen einige Stunden vor Abgabe der RVZ/AVZ-Finalvorhersage vorliegen und mehr oder weniger 'veredelt' werden könnten, gelang dies nur teilweise (MIN, MAX, dd); ansonsten erwies sich die publizierte Finalvorhersage im Mittel als ungenauer!

Die folgenden Bilder 6 bis 9 zeigen ausgewählte Prediktanden und deren Vorhersagbarkeit RV im Zeitraum obiger Stichprobe und in Abhängigkeit von der zeitlichen Vorhersagedistanz (Abszisse).

Schließlich soll die letzte Tabelle die Frage nach der gegenwärtigen (1. Halbjahr 1993) Grenze der Vorhersagbarkeit t je Prediktand und Methode beantworten. Dazu werden die RV-Werte (z. B. der vorangegangenen Abbildungen) einer ausgleichenden, stabilisierenden, linearen Regression unterworfen und der Schnittpunkt der Regressionsgerade mit $RV = 0$ bestimmt, der jene Zeitspanne markiert, über die hinaus (in der Stichprobe) keine echte Prognoseinformation erzeugt werden konnte.

t (Tage)	MIN/MAX	SD	NW	dd	ff
bestes	9,8	6,3	5,6	10,6	5,9
schlechtestes	6,6	2,8	2,7	7,7	2,2
mittleres	8,4	3,9	4,4	9,5	4,6
Finalprodukt					
AFREG	8,4	5,2	5,3	9,4	5,5

Einen inzwischen aktualisierten Stand der Vorhersagbarkeit t zeigt die folgende Tabelle:

t (Tage)	MIN	MAX	SD	NW	dd	ff
FIN	10.2	9.0	6.3	6.6	10.8	5.5
MIX	10.3	8.7	7.7	7.4	10.9	6.5

Stichprobe: 1/94 - 12/94

Orte: Hamburg, Potsdam, Essen, München

FIN: RVZ-Vorhersagen

MIX: AFREG-Kombi-Prognosen
= (AFREG(ECMWF) + AFREG(GM))/2

7 Erfahrungen und Ausblick

– Findet man in der Vergangenheit einen Tag j, der bezüglich bestimmter Merkmale dem heutigen Tag i ähnelt, so kann der Nachfolger j + 1 als Prognose für den aktuellen Folgetag i + 1 dienen. Von diesem Typ Analogieprinzip macht auch AFREG Gebrauch, um die Wetterelemente und -erscheinungen für zwei zusätzliche Folgetage – auf der Basis der Kalenderdaten der N* analogen Fälle für den letzten, direkt interpretierten Folgetag – vorherzusagen. Somit gelingt eine methodisch interessante und praktisch bewährte Erweiterung des mittelfristigen Vorhersagezeitraumes **jenseits des durch Vorhersagekarten belegten Zeitraums.**

– Zu den unschätzbaren perfect-prog-Vorteilen von AFREG gehört, daß es unabhängig vom zu interpretie-

renden NWP-Modell eingesetzt werden kann. Modellwechsel (EZMW, BKF, GM, EM) oder hypothetische Felder erfordern daher keine Änderungen am statistischen Interpretationsmodell, wie z. B. die Neuentwicklung von MOS-Regressionsgleichungen.

– AFREG ist in simpler Weise erweiterungsfähig hinsichtlich der Verlängerung des Vorhersagezeitraumes, wenn entsprechende NWP-outputs zur Verfügung stehen. Ebenso ist es ein Leichtes, den Prediktandenumfang, also die eigentlichen Interpretationsvorhersagen, zu erweitern, wenn die benötigten Klimadaten im historischen AFREG-Archiv verfügbar gemacht werden können.

– Auch die Wirkung zusätzlicher, numerisch vorhergesagter Prediktoren, z. B. die relative oder absolute Feuchte in einem Niveau oder in einer Schicht, könnte prinzipiell im REG-Teil von AFREG modelliert werden sofern

- für das AFREG-Archiv entsprechende Analyse- oder Meßwerte vorhanden sind und
- eine hinreichende Prognosegenauigkeit des dynamischen Modells existiert.

– Naturgemäß fallen P.P.-Interpretationsvorhersagen 'schärfer' aus als entsprechende MOS-Produkte. Dies ist, wenn man das Kriterium „mittl. quadratischer Fehler $rmse \rightarrow \min!$ “ optimieren will, durchaus unerwünscht. MOS-Prognosen gehen daher mit zunehmendem Vorhersagezeitraum tendenziell zu Klimaprognosen mit „Abweichung vom klimatologischen Erwartungswert = const. = 0“ über.

Geeignete Deflations-Techniken vermögen dies übrigens auch bei P.P.-Methoden, was vor Jahren im MD praktisch erprobt wurde. Es stellte sich aber heraus, daß der vorhersagende Meteorologe mit dieser Strategie nicht sehr zufrieden war. Ihm erschien es wichtiger, durch AFREG zu erfahren, was für Wetter zu erwarten ist, wenn die numerisch vorhergesagten Felder eintreffen, d. h. wenn die Wetterlage sich tatsächlich so entwickelt, wie vom NWP-Modell A angenommen.

Bei dieser Vorgehensweise ist es dann viel interessanter, zu erfahren, zu welchem Wetter die zusätzliche Interpretation eines zweiten NWP-Modells B kommt. Es ist nicht selten, daß unterschiedliche NWP-Prognosefelder zu durchaus ähnlichem Wetter gelangen, während ähnliche NWP-Muster lokal durchaus mit sehr verschiedenem Wetter verbunden sein können.

– Große Sorgfalt und einige Erfahrung ist aber im Zusammenhang mit P.P.-Verfahren bei der Wahl der Modellprediktoren nötig. AFREG gehört sowohl methodisch als auch hinsichtlich der interpretierten NWP-outputs zu den *robusten* Modellen mit hoher, innerer Stabilität, d. h. Fehler im input schaukeln sich im AFREG nicht auf – und präsentieren 'unvernünftiges Wetter' –, sondern sie werden gedämpft. Außerdem werden numerisch schlecht vorhersagbare Prediktoren von vornherein vermieden.

Der Vorteil der Robustheit von AFREG korrespondiert allerdings mit dem Umstand, daß geringe – und stabile! – Verbesserungen im NWP-Modell, beispielsweise bei Vertikalbewegungen, Vorticityadvektion oder Feuchte-

feld, nur bedingt in bessere Interpretationsergebnisse umgesetzt werden, es sei denn, diese Variablen können im REG-Teil von AFREG wirksam werden.

- Es sollte stets bedacht werden, daß AFREG ein Interpretationsmodell darstellt, das dem 'synoptic scale' zugeordnet ist. Zeitlich und räumlich stärkere Detaillierungen können daher nur klimatologisch über die Unterlage (lokale orografische Bedingungen der ausgewählten Orte) wirken. Die Mehrzahl aller anderen mesoskaligen Effekte wird in der Regel (nur) im Mittelwert oder einer Wahrscheinlichkeitsaussage widerspiegelt. Insofern kommt bei einer Wetterlage mit räumlich oder/und zeitlich schärferen 'Gradienten' (Frontdurchgang, Luftmassenwechsel, stationäre Diskontinuitäten, . . .) den inzwischen vorliegenden direct model outputs einschlägiger **Kurzfrist-NWP-Modelle**, wie EM und DM, in der Regel ein deutlich höheres Gewicht zu.
- In letzter Zeit werden AFREG oder Interpretationsansätze ähnlichen P. P.-Typs als willkommene Hilfsmittel eingesetzt zur Transformation der Ergebnisse von *Klima*-modellen in regionale Witterung.
- Mit dem inzwischen zuverlässigen mesoskaligen Prognoseoutput der NWP-Modelle steigt die Chance, statistische Interpretationsverfahren auch für spezielle kürzestfristige und, vor allem, flugmeteorologische Prognoseaufgaben zu entwickeln und operativ einzusetzen (z. B. AUTOTAF).
- Als Ziel eines zeitgemäßen post-processing jedoch ist eine selbstlernende Kombinationsroutine anzustreben, die nicht nur die traditionellen NWP-outputs verschiedener Modelle und Zentren verbessert – Stichworte: KALMAN-Filtertechnik und Ensemble-Vorhersage –, sondern sie ebenso kombiniert, wie ihre direct model outputs und die Ergebnisse verschiedener statistischer Interpretationsverfahren bis hin zur Wiederaufnahme und Weiterentwicklung operativer Lösungen einer Mensch-Maschine-Kombination (s. BALZER, 1986).
- Dank der Entwicklung der numerischen Wettervorhersage und Fortschritten in der Anwendung zeitgemäßer post-processing-Techniken, wie z. B. AFREG, scheint die Zeit gekommen, wo automatische, mittelfristige Vorhersagen lokalen Wetters durch den Forecaster nicht

bzw. kaum noch 'veredelt' werden können, so daß auch im DWD, wie bereits in anderen Wetterdiensten (ECMWF, 1993/RIPP-Projekt im schwedischen Wetterdienst), bestimmten Nutzern/Kunden statistische End-Produkte *direkt* übermittelt werden können.

Literatur

- BALZER, K.: Über die automatische Interpretation von Vorhersagekarten am NMC Potsdam – Ein Erfahrungsbericht, *Z. Meteorol.*, Berlin, 34 (1984) 1, S. 3-13.
- BALZER, K.: Eine selbstlernende, optimale Mensch-Maschine-Kombination von operativen Immissionsprognosen, *Z. Meteorol.*, 36 (1986) 2, 127-133.
- BALZER, K.: Methods and experiences in medium range forecasting by statistical interpretation, WMO/TD No. 421 (1991), XX-43 ff., Lectures presented at the WMO Training Workshop on the interpretation of NWP products . . . , Wageningen, The Netherlands, 29. July – 9. August 1991.
- EMMRICH, P./BALZER, K.: Progress in medium-range forecasting by means of Ensemble Forecasting, Proceedings of the Expert Meeting on the Ensemble Prediction System, Reading, July 1993.
- ENKE, W.: Ein adaptives Regressionsmodell-lernende, lineare, multiple Regression, *Z. Meteorol.*, Berlin, 34 (1984) 2, S. 66-74.
- GLAHN, H. R., LOWRY, D. A.: The use of Model Output Statistics (MOS) in objective weather forecasting, *Journ. Appl. Met.*, 11 (1972) 8.
- GLAHN, H. R.: On MOS and Perfect Prog for interpretive guidance, TDL Office Note 91-3, July 1991, Silver Spring.
- HINKELMANN, K., REISER, H.: Vorträge in: Stand und Möglichkeiten der numerischen Wettervorhersage. *Ann. Met.*, Neue Folge, Nr. 6 (1973) 36. Physikertagung, 1971, Essen.
- KLEIN, W.-H.: Objective forecasts of surface temperature from one to three days advance, *J. Appl. Meteor.*, 5 (1966), S. 137-147.
- LÖNNQVIST, O.: Über die automatische Interpretation von Vorhersagekarten, *Z. Meteorol.*, Berlin, 22 (1971) 1-5, S.54-59.
- PALMER, T.: Ensemble Prediction, ECMWF Newsletter, No. 58, June 1992, p. 5-15.
- WENDLING, U. u. a.: Neue Tabellen zur Bestimmung der potentiellen Evapotranspiration PET, MD, FIA, Halle, April 1990.

9 K. BALZER Prognosenprüfung – Ziele, Methoden, Ergebnisse

1 Wozu Verifikation?

Ganz am Anfang steht der Wunsch, etwas Zuverlässiges über die Vorhersagegüte an sich zu erfahren: Wie steht's aktuell um die Prognosekunst? Wie *gut* sind unsere Wettervorhersagen? Wie *genau* kann man das Wetter vorhersagen? Aber auch: Wie weit im voraus können die Meteorologen gegenwärtig das Wetter mit welchen Details erkennen?

Hinzu kommen laufend *Vergleiche* folgender Art:

- Welche Methode der Wettervorhersage ist am besten? Ist die Methode A (das Modell, der Meteorologe, die Wetterdienststelle, das Land) besser als die Methode B? Und warum? Was muß deshalb geändert werden? Lohnt sich die Einführung eines neuen Vorhersageverfahrens in die praktische Nutzung, wenn es nur sehr wenig genauer ist als sein Vorgänger? Und was heißt hier »sehr wenig«?
- Gibt es einen *Trend* der Prognosegüte? Wie sieht er aus? Geht es aufwärts, oder sind trotz großer internationaler Anstrengungen die erhofften Erfolge noch nicht eingetreten? Oder vielleicht nur auf bestimmten Gebieten? Ist es möglich, zu erkennen, welchen Ursachen wir einen Aufwärtstrend verdanken?
- Welche Seiten des Wetters, welche meteorologischen Elemente also, sind gegenwärtig recht gut/durchschnittlich/sehr schlecht/überhaupt (noch) nicht *vorhersagbar*? Was müßte demzufolge zur Verbesserung des Zustandes getan werden?

Wir sehen, an kritischen Fragen gibt es keinen Mangel, auch nicht an unliebsamen Antworten. Aber die Meteorologen stellten sich diesen Fragen vom ersten Tage ihrer Öffentlichkeitsarbeit an, die mit der Gründung der modernen Wetterdienste im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts begann. Es fällt schwer, zu erkennen, daß das Bemühen um diese Art praktischer Wahrheitsfindung bei ständig eingeschalteter Öffentlichkeit – Selbstkritik auf offenem Markt – inzwischen von anderen Wissenschaftsdisziplinen mit ähnlich komplexer Vorhersageaufgabe auch nur annähernd erreicht oder gar übertroffen worden wäre.

Trotzdem kann im Jahre 1993 noch keine Rede davon sein, daß überall und zu jeder Zeit den Fragen der Verifikation die nötige, zeitgemäße Aufmerksamkeit geschenkt wird, wie folgendes aktuelles Zitat belegt:

„Fragt man einen im operationellen Wetterdienst stehenden Meteorologen, wie es um die Qualität der Wetterprognose steht oder gar wie groß die Verbesserung während der letzten Jahre und Jahrzehnte war, so wird man selten eine befriedigende, quantitativ untermauerte Antwort erhalten. Dies ist durch das weitgehende Fehlen einer sorgfältigen Verifikation (oder Falsifikation) der Wettervorhersagen begründet. Um den großen materiellen Aufwand, den die heutige Wettervorhersage benötigt, vor der Öffentlichkeit zu rechtfertigen, ist aber gerade die Kenntnis der Qualität der eigenen 'Produkte' unumgänglich“ (STEINHACKER 1993).

Im langwierigen Prozeß der Suche des Menschen nach Erkenntnis der Wirklichkeit führt aber auf lange Sicht kein Weg an der Verifikation vorbei. Erst die Probe aufs Exempel, erst der Test der Theorie, das Überprüfen eines Modells der Wirklichkeit an der Wirklichkeit selbst, verschafft uns die notwendige Sicherheit im Einschätzen dessen, was das Modell leistet, welche Testergebnisse wir schon jetzt praktisch anwenden dürfen und sollten, welche Seiten der Realität uns noch verborgen sind und was am Modell, an der Theorie verändert werden muß.

2 Probleme

Aus der Fülle der eben genannten verschiedenen Attribute, die mit Vorhersagen verbunden sind und die die Verifikation beschreiben oder sogar quantifizieren soll, folgt schon, daß es zwar 'universell *anwendbare Gütemaße*' (WEINGÄRTNER 1990) geben mag, aber mit Sicherheit keine *universellen*. Mit anderen Worten: Es gibt kein allgemeines, mit *einer Zahl* zu beschreibendes Urteil über (prognostische) Aussagen, das allen Aspekten der Erkenntnis gerecht werden kann (BALZER 1972).

Daneben spielen kundenspezifische Interessen, wie z. B. der unterschiedliche Grad der *Abhängigkeit* von einer bestimmten meteorologischen (Prognose-)Information, eine Rolle bei ihrer Bewertung.

Auch die *Häufigkeit* der Nachfrage ist sehr verschieden und prägt ganz wesentlich die Meinung über den Wert der Meteorologie im allgemeinen und der Wettervorhersage im besonderen. Eigentlich vermittelt nur eine ständige Nutzung beim Kunden den mehr oder weniger sicheren Eindruck, daß er, wenn auch nicht in jedem Einzelfall, so doch im Mittel, gut beraten ist, meteorologische Prognosen mit ins Kalkül seiner Entscheidung einzubeziehen. Die Beurteilung der Meteorologie und ihres Könnens bleibt hingegen dann dem Zufall überlassen, wenn etwa nur einmal im Jahr eine bestimmte Wettervorhersage benötigt wird und diese entweder voll danebengeht oder sich zu 100% als richtig erweist. Verständlicher Zorn auf der einen, grenzenlose Hochachtung auf der anderen Seite trüben dann den Blick auf das Wahre. Aus dieser Erfahrung heraus sind beim Vorhersagemeteorologen vor allem Feiertage, wie Ostern und Pfingsten, gefürchtet.

Aus all dem wird klar, daß wir uns besonderer, eben *wissenschaftlicher* Methoden bedienen müssen, wenn wir die vorhin aufgeworfenen theoretisch wie praktisch gleichermaßen wichtigen Fragen zuverlässig beantworten wollen. Und das heißt zuallererst: systematisch vorgehen, Nachprüfbarkeit sichern und möglichst geringe Willkür walten lassen!

Ein naheliegendes Beispiel solcher Willkür stellen die sog. *Trefferprozente* dar, die aus Gedankenlosigkeit und Bequemlichkeit leider immer noch in einschlägigen Äußerungen, auch den Medien gegenüber, anzutreffen sind.

Wenn heutzutage ein Meteorologe vor Mikrofon und Kamera gefragt wird, wie genau man eigentlich das Wetter vorhersagen könne, dann wird er fast immer irgend etwas in der Nähe von 85% sagen oder auch schon einmal die 90% erwähnen. Aber fragen Sie ihn ja nicht, *wie* er zu dieser Zahl gekommen ist! Schon vor mehr als 100 Jahren offerierte die Seewetterwarte Hamburg 'Trefferprocente' von anfangs 80, später 83%. Und jeder vernünftige Interessierte fragt sich nun verwundert, wieso die Leistungssteigerung der Wettervorhersage in 100 Jahren nur 2 oder 7 Prozentpunkte betragen soll, wo doch regelmäßig in den letzten Jahrzehnten von beträchtlichem Fortschritt die Rede war, immer dann, wenn ein neuer Super-Computer für die Meteorologen angeschafft wurde oder neue Wettersatelliten im Verbund der 'Weltwetterwacht' das Wissen vom Augenblickszustand der Atmosphäre wesentlich erweiterten.

Die Lösung des Widerspruchs liegt in einer unverbindlichen Definition dessen, was 'richtig' und was 'falsch' sein soll. Diese Festlegungen waren nie einheitlich und unveränderlich. Es ist höchste Zeit – man muß es heutzutage so konsequent formulieren – sich von dieser willkürlichen Zahlenspielerei zu trennen.

Bild 1 enthält z. B. die Häufigkeiten von Fehlern (= Betrag der Differenz zwischen Beobachtung und Prognose) der gegen 15 Uhr ausgegebenen Vorhersage der morgigen Höchsttemperatur aller 17 deutschen Wetterämter im Zeitraum 12/91 bis 2/92. In 67% aller Fälle betragen die Fehler ≤ 2 K, in 92% der Fälle waren sie ≤ 4 K. Bei dem gesetzmäßig glatten Verlauf der Fehlerkurve ist es unmöglich, 'natürliche' Toleranzen für 'richtig' und 'falsch' zu erkennen.

Das ist auch gar nicht notwendig, weil die Information der ganzen Kurve in einer objektiven Maßzahl zusammengefaßt werden kann, sofern die Fehler einigermaßen 'normal' verteilt sind (Dichte- und Verteilungsfunktion vom

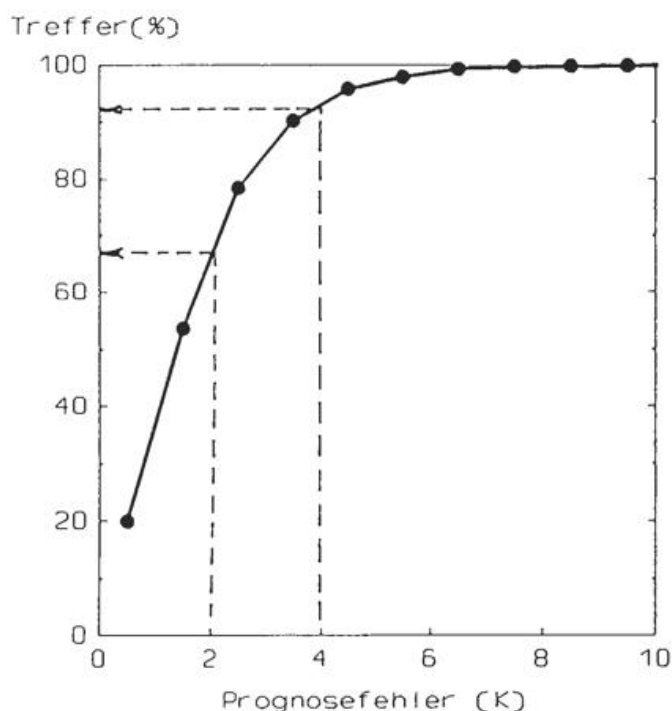


Bild 1: Relative Summenhäufigkeiten von Prognosefehlern (s. auch Text)

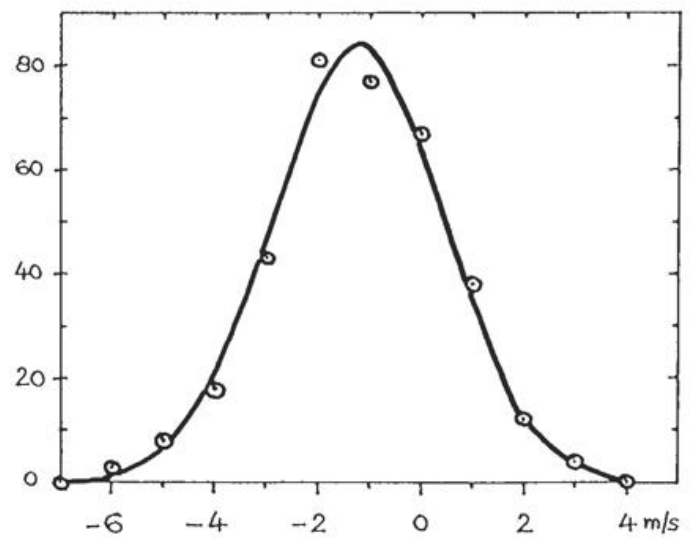


Bild 2: Empirische absolute Häufigkeitsverteilung (⊙) der Prognosefehler (EIN-VOR), Windgeschwindigkeit 00 UTC in Hamburg (10147), Kurzfrist, 1/92-12/92, Bias = -1.21 m/s, d. h. im Mittel wurde der Wind überschätzt. Fehlerstreuung $s = 1.68$ m/s (s. Abschnitt 3.2)

GAUSS-Typ sind durch Mittelwert und Streuung bzw. Bias und rmse (siehe 3.2) vollständig bestimmt), was bei sehr vielen Prognoseaufgaben der Fall ist (Bild 2).

An dieser Stelle wird auch klar, daß der Schlüssel zum entscheidenden Fortschritt auf dem Felde der Verifikation in der Abkehr von zwei früher üblichen Selbstverständlichkeiten lag. Statt verbal formulierten Vorhersagetexten wird jetzt Zahlen der Vorzug gegeben, und an die Stelle von Definitionen und Analysen von Begriffen und Bedeutung (»vereinzelte«, »örtliche«, »richtig«, »danach allmählicher Bewölkungsrückgang«, »wärmer als bisher«, »naßkalt«, »um 22°C «, »halbfalsch«, . . .) tritt die mathematisch-statistische Berechnung von Fehlermaßen, die weitgehend frei von vermeidbarer Willkür sind und sowohl die *Genauigkeit* als auch die *Leistung* und sogar den *Nutzen* von Vorhersagen zu beurteilen gestatten.

An diesem Punkt der Überlegung muß man sich natürlich im klaren sein, daß der Durchbruch zu einer weitgehend objektiven Verifikation von Vorhersagen nur um den Preis einer totalen Zerstückelung, Quantifizierung, Digitalisierung nach Raum und Zeit und meteorologischem Element eines eigentlich Ganzen, Unteilbaren – eben des Wetters – zu haben war. Oder gar nicht!

Man ahnt den Aufwand, um über die Teile das Ganze beurteilen zu können, wenn man etwa an einen dem herkömmlichen Prognosetext »Morgen Übergang zu naßkaltem Wetter« adäquaten Sachverhalt denkt: Das Vorhersagegebiet muß in einzelne Punkte (Orte), der Vorhersagezeitraum in einzelne Zeitpunkte oder/und kleinere Zeitintervalle aufgelöst werden. Der informative, gleichzeitig aber auch unscharfe Begriff »naßkalt« wird in faßbare Teile (Niederschlag, Luftfeuchte, Temperatur) zerlegt, wohl wissend, daß der Begriff mehr enthält als seine nachprüfbar Teile.

Jetzt verstehen wir vielleicht auch besser, daß – strenggenommen – die berechnete, aber auch naive Frage nach der Güte der Wettervorhersage unbeantwortet bleiben muß.

3 Methoden

Allgemeine Grundlage jeglicher Verifikation ist ein Vergleich von 'Vorhersage' und (darauffolgender) 'Wirklichkeit'.

Eine Einzelfall-Prüfung hat den Vorteil, die konkreten Fehler (und Ursachen) einer bestimmten (Fehl-) Prognose intensiver zu untersuchen, jedoch bietet sie in der Regel keinen Zugang, allgemeines, typisches Fehlerverhalten eines Modells oder eines Forecasters zu erkennen. Da wir hier gerade an letzterem interessiert sind, kommt nur eine statistische, d. h. an der Analyse einer Vielzahl von Einzelfällen (Stichprobe) orientierte Arbeitsweise in Frage.

Über grundsätzliche Anforderungen an ein Verifikationsmaß findet der Leser bei BALZER, 1976 und 1989 einigen Aufschluß. Hier nur zwei Anmerkungen.

3.1 Die Referenzvorhersage

Bei der Beurteilung von Vorhersagen sind neben dem schwierig zu bestimmenden (ökonomischen) Nutzen, die Kategorien *Genauigkeit* (accuracy) und *Leistung* (skill) klar zu unterscheiden. Letztere bedarf zu ihrer Bestimmung einer vergleichenden Basis. Die theoretisch wie pragmatisch überzeugendste Referenz stellt die Simulation eines Zustandes ohne jegliche, staatliche oder private, Wettervorhersage dar.

In solch einer Situation stehen zwei 'Ersatz' strategien zur Verfügung, erstens die Persistenz („Morgen so wie heute“, allgemeiner: Wetter (t + Δt) = Wetter (t)), zweitens das Klima (klimatologischer Normalwert). In der Regel liefert die Persistenz im Kurzfristzeitraum, die Klimastrategie im Mittelfristbereich genauere Vorhersagen. Bei Wahrscheinlichkeitsvorhersagen sind stets klimatologische Erwartungswerte für das Eintreffen des Ereignisses E die Strategie der Wahl. Im Zweifelsfall sind die Fehlermaße beider Referenzvorhersagen zu berechnen und das genauere zugrunde zu legen.

3.2 Kontinuierliche und diskrete Variable

Wetterelemente wie Temperatur, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer, Windrichtung usw. sind kontinuierliche Größen insofern, als problemlos eine Differenz d = EIN-VOR als Maß des Abstands zwischen beobachteter bzw. gemessener Wirklichkeit und Vorhersage definiert werden kann. Daraus werden folgende Prüfmaße berechnet:

- Systematischer Fehler

$$\text{Bias} = \left(\sum_{i=1}^N d_i \right) / N,$$

N = Anzahl der überprüften Vorhersagen

$$\text{rmse} = \left(\left(\sum_{i=1}^N d_i^2 \right) / N \right)^{1/2}$$

Davon zu unterscheiden sind der

$$\text{mittlere absolute Fehler} \left(\sum_{i=1}^N |d_i| \right) / N$$

und die Fehlerstreuung oder Standardabweichung s bzw. die Fehlervarianz s². Dann und nur dann ist rmse = s, wenn Bias = 0, sonst ist rmse > s. Da (für den Kunden) der Bias in der Regel unbekannt ist und außerdem keine Konstante, kommt als problemadäquates Prüfmaß für die meist nicht-linear wirkenden Fehler nur eine Prüfgröße vom Typ rmse in Frage.

$$\text{rmse (EN) od. rmse (PER)} = \left(\sum_{i=1}^N D_i^2 \right) / N^{1/2},$$

D = EIN (t + Δt) - EIN (t), EN = Erhaltungsneigung, PER = Persistenz

$$\text{rmse (Klima)} = \left(\sum_{i=1}^N F_i^2 \right) / N^{1/2},$$

F = EIN - K, K = klimatologischer Erwartungs- bzw. Normalwert

- Vorhersageleistung

$$RV = 1 - (\text{rmse} / \text{rmse}(R))^2,$$

R = EN oder Klima, je nachdem, welches rmse kleiner ist.

Auf das Beispiel in Bild 1 angewendet, ergibt sich ein rmse von 2.07 m/s, was deutlich über der Fehlerstreuung s = 1.68 m/s liegt. Der Grund liegt im vergleichsweise hohen Bias von -1.21 m/s.

Die (kostenlose) Referenz'vorhersage' gemäß Erhaltungsneigung (Persistenz) ergibt hier ein rmse (EN) = 2.58 m/s, wenn der 24 Stunden zuvor beobachtete Wind als Prognose fortgeschrieben worden wäre. Daraus resultiert eine Vorhersageleistung RV = 1 - (2.07/2.58)² = 36%. Gelänge es jedoch, den systematischen Fehler ganz zu vermeiden (Bias = 0), stiege RV um 22 Prozentpunkte auf 1 - (1.68/2.58)² = 58%!

Wetterereignisse sind entweder 'natürliche' Alternativerrscheinungen, wie Gewitter: ja/nein, konvektiver/nichtkonvektiver Niederschlag, meistens aber durch Klassifikation von eigentlich kontinuierlichen Variablen gewonnene zweiwertige, binäre Erscheinungen, wie Nebel: ja/nein, Frost: ja/nein, Sturm: ja/nein oder k-wertige (k > 2) Gruppen mit mehr als 1 Schwellenwert, wie verschiedene Klassen von Niederschlagsmengen, Sichtweite, Wolkenuntergrenze, usw.

Beispiel eines Binäreignisses

Synoptische Vorhersage aller 17 Wetterämter des DWD, 1.1-31. 12. 1992 Niederschlag ja/nein, morgen 06-18 UTC, ausgegeben heute nachmittag.

		EIN		
		n	j	Σ
VOR	n	a 2169	b 512	g
	j	c 660	d 2175	h
	Σ	e	f	N

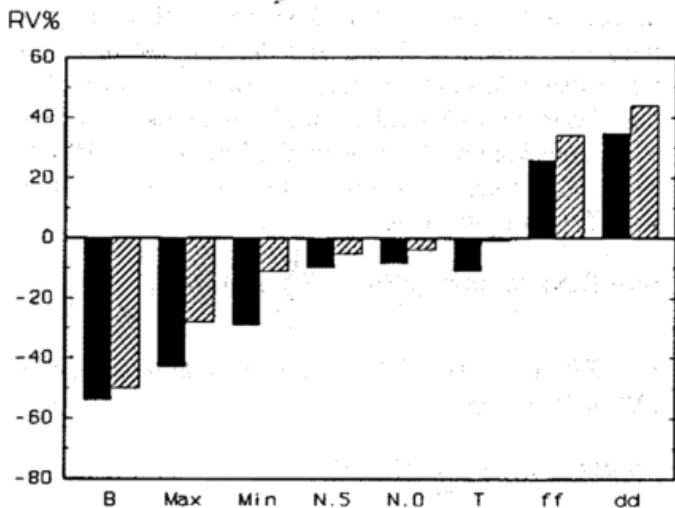


Bild 3: Leistungsvergleich DMO (EM, 00 UTC, schwarze Balken) und DMO (EM, 12 UTC, schraffierte Balken) mit den (Final-) Vorhersagen der 17 DWD-Wetterämter. Kurzfristvorhersage für Folgetag, stets gleiche Prediktanden, d. h. die zeitliche Vorhersagedistanz bei EM 12 ist 12 Stunden kürzer als bei EM 00.
 B = Bedeckung, MAX = Maximumtemperatur, MIN = Minimumtemperatur, T = Termintemperatur, N.0(N.5) = Niederschlag, binär > 0 (> 0,5) mm/12^h, dd, ff = Windrichtung und -geschwindigkeit
 RV = 0 entspricht der Leistung synoptischer Vorhersagen
 RV > 0 DMO genauer als Synoptik
 Stichprobe: 9/91 bis 9/92

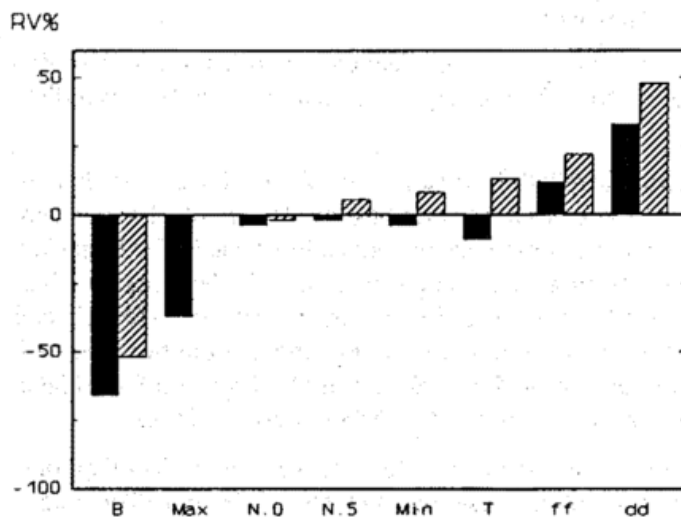


Bild 4: wie Bild 3, aber Stichprobe: 4/93 bis 6/93
 Schon optisch zeigt der Vergleich mit der vorangegangenen Teilstichprobe weitere Fortschritte des EM relativ zum 'Synoptiker'! Besonders auffällig die gute EM12-MAX-Vorhersage (hier: RV = 0, d. h. nicht mehr ungenauer als SYN!) und eine höhere Glaubwürdigkeit der Vorhersagen *geringer* Niederschlagsmengen (N.0 im Vergleich mit den schon immer recht attraktiven N.5-Prognosen).
 Andererseits belegt diese Grafik, daß die Akzeptanz der EM-Windvorhersagen durch die Forecaster (im Mittel) noch zu wünschen übrig läßt, obwohl die Überlegenheit des EM bei der lokalen Windvorhersage seit längerem bekannt ist.

Anhand dieser 2x2 Prüfmatrix werden folgende Verifikationsmaße berechnet:

- TSS = True Skill Statistic (DWD, 1993) = $d/f - c/e = 58\%$ (ideal = 100%)
- POD = probability of detection = $d/f = 81\%$ (ideal = 100%)
- FAR = false alarm rate = $c/h = 23\%$ (ideal = 0%)
- Bias = $h/f = 1,06$ (ideal = 1)

Aus k-wertigen Prüfmatrizen lassen sich k-1 zweiwertige Tabellen ableiten, auf die sukzessive obige Verifikationsprozedur angewandt werden kann.

4 Ergebnisse

Es kann hier nicht der Ort sein, um alle, nicht einmal alle wesentlichen Ergebnisse der im DWD durchgeführten Routineverifikation lokaler *Wettervorhersagen* zu präsentieren, die nunmehr nicht nur die wichtigsten meteorologischen Elemente des *Kurz- und Mittelfristzeitraums* umfassen, sondern auch *kürzestfristige, flugmeteorologische Standardvorhersagen (TAF)*. Zweimal im Jahr gibt der DWD seinen „Verifikationsbericht zur Güte lokaler Wettervorhersagen“ heraus. In ihm finden sich sowohl Ergebnisse zum aktuellen Güterstand und zum Trend, als auch vielfältige Vergleiche und Bewertungen von Vorhersagen aller möglichen Quellen: synoptische, dynamische und statistische.

Zum gegenwärtigen Stand der Mittelfristvorhersage und den derzeitigen Grenzen der Vorhersagbarkeit meteorologischer Standardelemente finden sich aktuelle Informatio-

nen in dem Beitrag dieses Heftes: Automatische Wettervorhersage mittels statistischer Interpretation, Abschnitt 6: Verifikation.

Einen Leistungsvergleich von (vollautomatischen) Elementvorhersagen eines operationellen Modells der numerischen Wettervorhersage (direct model output des DWD-

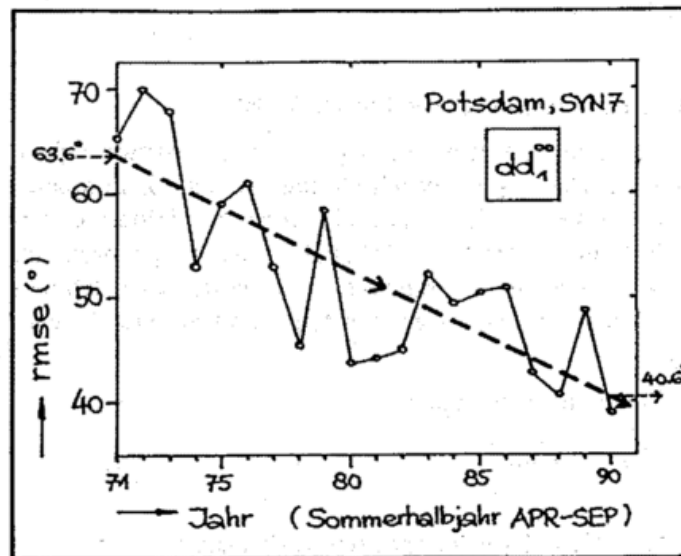


Bild 5: Trend des Vorhersagefehlers rmse bei der kurzfristigen Prognose der Windrichtung, Folgetag 00 UTC, Potsdam, 20 Sommerhalbjahre, 1971-1990. Die Ausgleichsgerade ergibt zu Beginn ein $rmse = 63,6^\circ$, nach 20 Jahren ist $rmse$ auf $40,6^\circ$ gesunken. Das ergibt eine Reduktion der Fehlervarianz im Laufe von 20 Jahren um $1 - (40,6/63,6)^2 = 59\%$

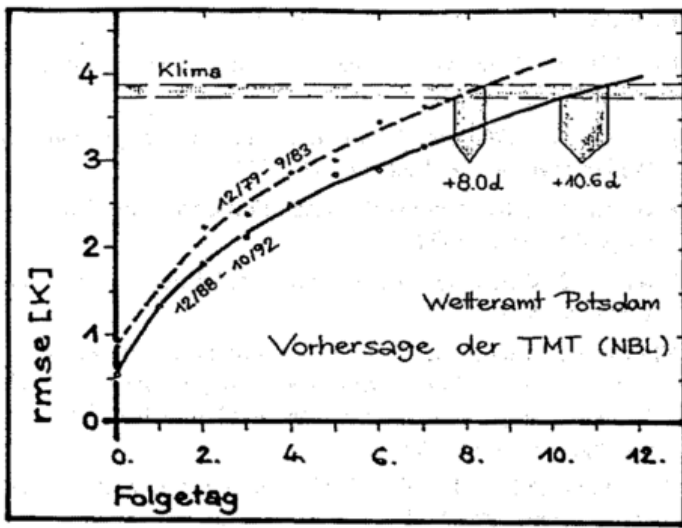


Bild 6: Prognosefehler rmse in Abhängigkeit von der zeitlichen Vorhersagedistanz (s. Text)

Europamodells) mit den (synoptischen) Finalvorhersagen aller 17 DWD-Wetterämter zeigen die Bilder 3 und 4.

Dank der beeindruckenden Erfolge der numerischen Wettervorhersage, vor allem in der Druckfeldprognose der letzten Jahrzehnte, und dem Umstand, daß der Bodenwind besonders eng mit dem Druckfeld korreliert, hat sich z. B. die Güte der kurzfristigen Windrichtungsvorhersage deutlich verbessert, wie Bild 5 erkennen läßt.

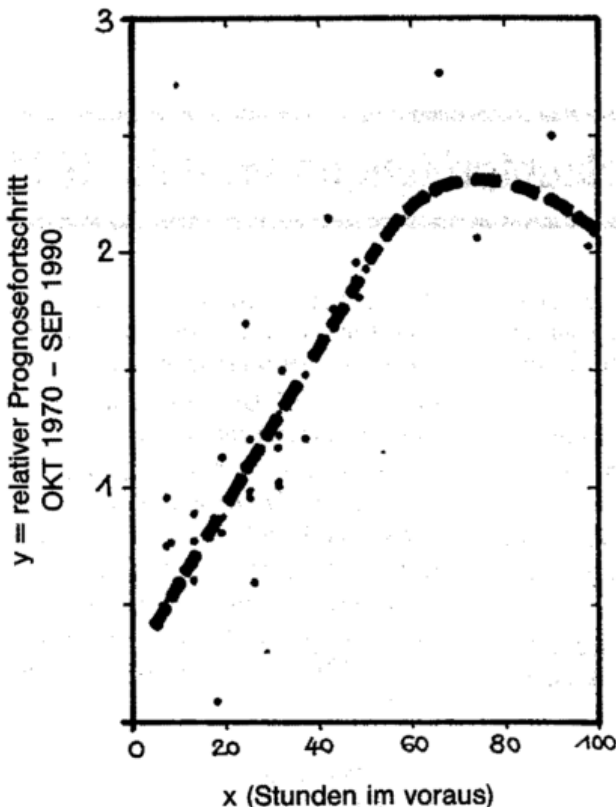


Bild 7: Relativer Prognosefortschritt während der 20 Jahre Oktober 1970 bis September 1990, Potsdam, in Abhängigkeit von der zeitlichen Vorhersagedistanz. Die Elementenabhängigkeit des Prognosefortschritts wurde dabei durch Normierung auf das jeweilige RV-Niveau einer 24-stündigen Vorhersage eliminiert. Maximale Fortschritte im Übergangsbereich von der Kurz- zur Mittelfrist, minimale Verbesserungen im Nowcasting- und Kurzfristbereich!

Das folgende Bild 6 zeigt anhand zweier, neun Jahre auseinanderliegender Stichproben den Trend in der kurz- und mittelfristigen Vorhersage eines räumlich und zeitlich ausgeglichenen Wetterelements, der Tagesmitteltemperatur Ostdeutschlands. Immerhin gelang es in diesem Zeitraum, das Ende der Vorhersagbarkeit von 8 auf $10\frac{1}{2}$ Tage im voraus zu steigern.

Analysiert man alle vorliegenden Trendaussagen im Ergebnis mehr als 25jähriger Verifikationsbemühungen, gelangt man zu einer bemerkenswerten Feststellung (Bild 7).

Die Summe aller, auch internationaler Verifikationsergebnisse führt zu folgendem Fazit:

- Mit zunehmender zeitlicher *Vorhersagedistanz* nehmen im Mittel die Prognosegenauigkeit und -leistung in ziemlich genau angegebbarer Weise gesetzmäßig ab. Die Ergänzung »im Mittel« besagt, daß auch einmal eine morgens ausgegebene Wettervorhersage für den Folgetag genauer sein kann als die erst abends erarbeitete oder daß die atmosphärischen Zirkulationsverhältnisse über Mitteleuropa für den 5. bis 7. Folgetag einmal besser erfaßt werden können als für den 3. Folgetag, aber das sind Ausnahmen, nicht die Regel.
- Die Vorhersagegenauigkeit und -leistung verringern sich ebenfalls systematisch, aber in noch nicht vollständig bekannter Weise mit zunehmendem zeitlichen oder/und räumlichen *Detailierungsgrad*; d. h., *allgemeine* Warnungen vor gefährdenden meteorologischen Erscheinungen, wie starker Nebel, Gewitter, Sturmböen, Glatteis, Platzregen usw., sind für größere Gebiete und Zeitspannen schon recht erfolgreich. Aber es sind kaum Warnungen vor solchen Ereignissen mit einer Vorwarnzeit von mehr als 1 bis 2 Stunden möglich für einen bestimmten Ort und Zeitpunkt, sagen wir für morgen 8 Uhr und das Olympiastadion in N.
- Es gibt ein ganzes *Spektrum* meteorologischer Phänomene, die sich in räumlicher Erstreckung und »Lebensdauer« außerordentlich unterscheiden. Es reicht - in für uns interessanten Dimensionen - von Sekunden und Metern (Windhosen und Staubeufel) über Stunden und 10 km (z. B. Frontendurchgang), mehrere Tage und mehrere 1000 km (z. B. ein Kaltlufteinbruch in West- und Mitteleuropa) bis hin zu Monaten und großen Teilen der Nordhalbkugel (z. B. Witterungsanomalien, wie kalte Winter oder trockene Sommer). Dabei gilt im allgemeinen, daß ein Phänomen um so länger existiert, je geräumiger seine Ausdehnung ist. Außerdem finden wir, daß die gegenwärtige Vorhersagbarkeit meteorologischer Phänomene eng mit ihrer »Lebensdauer« verbunden ist und eher darunterliegt.
- Diese Regel gilt aber noch nicht bei den zuletzt angeführten Witterungsanomalien, die vorherzusagen Aufgabe der *Langfristprognose* ist. Bei kritischer Analyse des Ist-Zustandes auf diesem für gewisse Medien und Autoren spekulativ interessantem Feld, d. h. bei Anwendung derselben Verifikationsprinzipien, wie sie bei der 'normalen' Wettervorhersage seit langem üblich sind, kommt man nicht an der Feststellung vorbei, daß Langfristvorhersagen über 10 Tage hinaus (2. und 3. Folgedekade, Jahreszeit, nächster Sommer/Winter) praktisch, d. h. mit dauerhafter und nachweisbarer Vorhersageleistung versehen, z. Zt. (1995) noch nicht möglich sind.

- Die größten und überzeugendsten Fortschritte in den letzten 15 Jahren wurden bei den *mittelfristigen* Wettervorhersagen erzielt. Die wirklich spürbare Erhöhung der Güte gründet vor allem auf folgendem:
 - Fortschritte in der mathematisch-physikalischen Modellierung globaler atmosphärischer Prozesse im synoptic scale
 - entscheidende Verbesserungen in der Meßdatengewinnung (z. B. durch Wettersatelliten), im weltweiten Datenaustausch und in der Datenverarbeitung (Supercomputer)
 - Anwendung automatischer Verfahren der statistischen Interpretation von Vorhersagekarten in interessierenden Wetter vor Ort.
- Sorgen bereitet gegenwärtig noch die Verbesserung kürzestfristiger (bis 12 Stunden) Vorhersagen (insbesondere) gefährdender Wetterereignisse, wie Glatteis, Sturmböen, Starkniederschlag, und flugmeteorologisch wichtiger Elemente, wie Sichtweite, Wolkenuntergrenze, Vereisung, Turbulenz usw.
- Der Deutsche Wetterdienst setzt auch in Zukunft seine mehr als 100 jährige Tradition fort, die Qualität und Genauigkeit seiner Vorhersagedienstleistungen wissenschaftlich einwandfrei gemäß Empfehlungen der Meteorologischen Weltorganisation (WMO) zu verifizieren, in 'Verifikationsberichten' zu publizieren und auf dieser Grundlage Rückschlüsse zur Verbesserung seiner Angebote und Dienstleistungen zu ziehen.

Literatur

- BALZER, K., 1972: Meteorologie und Operationsforschung. Z. Meteorol. 23, 131-135
- BALZER, K., 1976: Zur Theorie und Praxis der Verifikation von Wetterprognosen. Z. Meteorol. 26, 349-359
- BALZER, K., 1989: Wettervorhersage – Fortschritte und Grenzen. URANIA-Verlag, 160 Seiten
- DWD, 1993: Verifikationsberichte zur Güte lokaler Wettervorhersagen, Nr. 8, S. 5ff.
- STEINHACKER, R., 1993: Perfekte Wetterprognose: Zukunftsperspektive oder Utopie?, Antrittsvorlesung an der Universität Wien vom 26. 1. 1993, Österreichische Gesellschaft für Meteorologie, bulletin (1993), 12-16
- WEINGÄRTNER, H., 1990: Verifikation von Flugwettervorhersagen. promet 20, 35-38

zum Studium empfohlen:

- WMO (1984)
- DAAN, H.: Scoring rules in forecast verification. PSMP, Publ. Ser. No. 4
- WMO (1985)
- MURPHY, A. H.: Proposed standard procedures for verification of local weather forecasts. TD No. 31, PSMP, Publ. Ser. No. 15
- WMO (1989)
- STANSKI, H. R., et al.: Survey of common verification methods in meteorology. TD No. 358, WWW Techn. rep. No. 8

Habilitationen, Promotionen und Diplom-Hauptprüfungen im Jahr 1994

Humboldt-Universität Berlin

Promotionen

- KRAMM, Gerhard: Zum Austausch von Ozon und reaktiven Stickstoffverbindungen zwischen Atmosphäre und Biosphäre.
- MÜLLER, Frank: Zur spektralen Modellierung der Wechselwirkung wolkenchemischer und mikrophysikalischer Prozesse.

Diplom-Hauptprüfungen

- BAERENS, Christiane: Veränderlichkeit ausgewählter klimatologischer Parameter in GCM-Experimenten im europäisch-atlantischen Raum.
- GRITTNER, Susanne: Untersuchung meteorologischer Bedingungen zur Ausbildung potentieller Sommersmoglagen im urbanen Ballungsraum Berlin.
- GÜNTHER, Antje: Untersuchungen zur Bestimmung der vertikalen Ozonverteilung aus Radiosonden- und Satellitendaten auf Regressionsbasis.

HEINSS, Birger: Untersuchung des raumzeitlichen Verhaltens des Bodendruck- und des 500-hPa-Geopotentialfeldes über dem Nordatlantik.

MOLDENHAUER, André: Zur Identifikation und Veränderlichkeit von Impaktgrößen in Natur und Gesellschaft.

RIEMANN, Jörg: Mögliche Veränderungen von Zyklonenzugbahnen im europäischen Raum.

WEINHOLD, Olaf: Modellierung des Diffusionswachstums fester Wolkenpartikeln.

LESCH, Lutz: Niederschlagsbestimmung mit Hilfe von Satellitendaten und aerologischen Vertikalsondierungen.

MÜLLER, Rolf: Die Chemie des Ozons in der polaren Stratosphäre.

WANG, Risheng: A Phase-Space Approach to Atmospheric Dynamics Based on Observational Data-Theory and Applications.

ZIEHMANN-SCHLUMBOHM, Christine: Vorhersagestudien in chaotischen Systemen und in der Praxis – Anwendung von Methoden der nichtlinearen Systemanalyse.

Diplom-Hauptprüfungen

ERLEBACH, Petra: Einfluß starker Vulkanausbrüche auf die Temperaturen und die Dynamik der mittleren Stratosphäre am Beispiel des Pinatubo.

HEINEMANN, Thomas: Satellitengestützte Fernerkundung von Aerosolen.

JAGDHUHN, Sven: Bestimmung der Bodenbedo aus Landsat-TM- und NOAA-AVHRR-Daten.

Freie Universität Berlin

Promotionen

BEYRICH, Frank: Bestimmung der Mischungsschichthöhe aus Sodar-Daten unter Verwendung numerischer Modellrechnungen.

KLEY, Martin: Die Schwefeldioxidbelastung von Berlin (W) in Abhängigkeit von Wetterkriterien in den Jahren 1986-90 und ihre Entwicklung seit 1971.

MÜLLER, Beate: Untersuchungen der zeitlichen und räumlichen Variabilität des Reflexionsvermögens und des Vegetationsindex von Nordost-Deutschland von 1990 bis 1993.

MÜLLER, Katrin: Analyse der Jahres- und Halbjahreswelle in der mittleren Atmosphäre: Vergleich zwischen Beobachtungen und einem globalen Tropo-Strato-Mesosphären-Modell.

PAAPE, Katja: Einfluß dünner Cirren auf die Bestimmung spektraler Bodenalbeden aus AVIRIS und NOAA/AVHRR Daten.

Universität Bonn

Promotionen

BECKER, Andreas: Die Rolle der Turbulenz und des Bodens bei frontogenetischen Prozessen.

MÜNZENBERG-ST. DENIS, Annette: Quasilineare Instabilitätsanalyse und ihre Anwendung auf die Strukturaufklärung von Mesozykklonen im östlichen Weddellmeergebiet.

Diplom-Hauptprüfungen

BADEM, Rainer: Kanonische Korrelationen zwischen dem Bodendruck über dem Atlantik und den Niederschlägen in Europa.

GROSS, Patrick: Re-Evaluierung von Daten einer australischen Seewindfront.

KIM, Kyeong-Hoan: Berechnung der Wärmebilanz des ECHAM Modells bei gestörten Eisrandbedingungen.

OLK, Markus: Turbulenzparametrisierung mittels Schließung eineinhalb-facher Ordnung.

SCHRÖDER, Claudia: Untersuchung einer skalaren Diffusionsparametrisierung für Energiebilanz-Klimamodelle anhand von Satellitendaten.

STEINHORST, Hildegard: Stündliche Stationswerte des Niederschlags in einem regionalen Meßnetz modelliert als stochastischer Prozeß.

STEPHAN, Wiltrud: Entwicklung von Zirkulationsanomalien in einem Modell der tropischen Atmosphäre.

WÖLFLE, Klaus: Interpretation von mit Radiosonden gemessenen Luftschichtungen und ihre Auswertung anhand von Sensitivitätsstudien mit dem v. d. EMDE / KAHLIG-Wolkenmodell.

ZEHE, Erwin: Der Einfluß des Wasser- und Wärmehaushalts des Erdbodens auf die Atmosphärische Grenzschicht.

Universität Frankfurt am Main

Diplom-Hauptprüfungen:

BEINE, Stefan: Vergleich eines nulldimensionalen deterministischen Klimamodells mit entsprechenden statistischen Abschätzungen.

HERRMANN, Peter: Optische Eigenschaften atmosphärischer Partikeln auf dem Kleinen Feldberg (Taunus).

Universität Freiburg

Habilitation

JAEGER, Lutz: Klimatologie des Wärmehaushalts eines Kiefernwaldes in der südlichen Oberrheinebene.

Universität Göttingen, Institut f. Bioklimatologie

Diplom-Hauptprüfungen

MÖHLENKAMP, Maria: Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Variation der Blatt- und Nadelleitfähigkeit in Baumkronen.

SCHNITZLER, Karl-Georg: Vertikaler Ozontransport in der Prandtl-Schicht über einem Fichtenbestand im Solling-Meßmethodenvergleich und Interpretation.

WASCHEK, Ulrich: NO_x-Transfer zwischen Atmosphäre und Waldboden.

WULF, Katrin: Wirkung von atmosphärischem Ozon auf Bäume.

Göttingen, Institut f. Geophysik

Diplom-Hauptprüfungen

HARNISCH, Jochen: Vergleich von Eichverfahren in der quantitativen Analyse atmosphärischer Spurengase.

MILSCH, Harald: Mechanisches Verhalten von Eis längs des Bohrkerns aus dem „Greenland Ice Core Project“ (GRIP) in Relation zur präferentiellen Gitterorientierung der Eiskristalle.

Universität Hamburg

Promotionen

BARZEL, Georg: Optimierung eines Seegangmodells mit der adjungierten Methode.

FLUEGEL, Moritz: Untersuchungen zu Mechanismus und Vorhersagbarkeit von ENSO mit einem vereinfachten gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Modell.

HEIN, Ralf: Inverse Modellierung des atmosphärischen Methan-Kreislaufs unter Verwendung eines drei-dimensionalen Modells des Transports und der Chemie der Troposphäre.

REHFELD, Stefan: Deposition radioaktiver Tracer in einem Transportmodell der Atmosphäre.

RICHTER, Maria Carolin: Niederschlagsmessung mit dem vertikal ausgerichteten FM-CW-Dopplerradar-RASS-System.

VILLWOCK, Andreas: ENSO induzierte Variabilität im Indischen Ozean.

WEISSE, Ralf: Nordatlantische Variabilität in einem Ozeanzirkulationsmodell im Zeitbereich von Dekaden.

WINKEL, Norbert: Modellierung von Seegang in extremem Flachwasser.

WYPUTTA, Ulrike: Untersuchungen zum Spurenstofftransport in die Antarktis anhand von Messungen an der Georg-von Neumayer-Station.

Diplom-Hauptprüfungen

HERRMANN, Knut: Zum Gültigkeitsbereich des Konzepts der Blendhöhe in einem mesoskaligen Modell: ein Beitrag zur Parameterisierung bodennaher subskaliger Flüsse.

HIRSCH, Lutz: Bestimmung der horizontalen Windgeschwindigkeit mit dem Spaced-Antenna-Drift-Verfahren unter Verwendung eines Radar-RASS-Systems.

LAND, Christine: Transportberechnungen für Luftbeimengungen mit dem globalen Modell ECHAM.

LEHMANN, Stefan: Empfangssystem für Lidarsignale mit erweitertem Meßbereich.

REUTER, Andreas: Zur Ableitung von Partikelgrößenverteilungen mit einer 2D-Greyprobe.

Universität Hannover

Promotion

JACOBI, Christoph: Organisierte mesoskalige Störungen in der nächtlichen planetaren Grenzschicht.

Diplom-Hauptprüfungen

BUSCH, Udo: Bestimmung der sensiblen Wärmeströme in einer baroklinen konvektiven Grenzschicht während EFEDA '91.

CLAUSEN, Astrid: Bildung isolierter Wolkenbänder in der maritimen Grenzschicht.

DZIENUS, Silvia: Die Luftdruckänderung infolge einer Wasserdampfzunahme als Klimasignal.

HARTEL, Kai: Das verkehrsbedingte Aerosol in Städten - eine Untersuchung in Hannover.

HEINKE, Michael: Nachweis von Lee-Wellen durch Korrelation von MST-Radardaten.

NIELINGER, Jost: Instationäre Ausbreitung von Luftbeimengungen in komplexem Gelände - Numerische Simulation.

TREPTE, Sebastian: Windverhältnisse und Schadstoffausbreitung im Einflußbereich einzelner Gebäude - Numerische Simulation.

VOSSKÜHLER, Guido: Simulation von MAST-Messungen in der konvektiven Grenzschicht mit einem Grobstrukturmodell.

Universität (TH) Karlsruhe

Habilitation

EMEIS, Stefan: Bestimmung und Parametrisierung des Druckwiderstands an Hindernissen in der atmosphärischen Grenzschicht.

Diplom-Hauptprüfungen

BAUMANN, Michael: Ableitung von Spurengassäulengehalten aus MIPAS-LM-Spektren: Fehlerrechnung.

BORCHERT, Uwe: Navigation von Satellitenbildern im Subpixelbereich.

HANDT, Silke: Numerische Simulation nächtlicher Windsysteme in topographisch gegliedertem Gelände.

KARBSTEIN, Holger: Bestimmung von Säulengehalten atmosphärischer Spurengase aus mit Eigenstrahlung überlagerter IR-Spektren.

KIND, Oliver: Räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Verteilungen der Oberflächentemperatur aus NOAA- und METEOSAT-Daten.

MÜLLER, Aurelia: Numerische Simulation der Verteilung von Temperatur und Energieflüssen über orographisch gegliedertem Gelände.

NIEMANN, Volker: Numerische Simulation turbulenter Naturkonvektion mit einem Kaskadenmodell.

REBMAN, Corinna: Die Turbulenzmeßanlage - Hochfrequente psychrometrische Messungen mit Thermoelementen.

SCHELB, Dietmar: Eine einfache Ozonchemie in einem dreidimensionalen Strömungsmodell der Mittleren Atmosphäre.

SCHLIPPER, Ralph: Analyse der thermischen Eigenemissionen der optischen Komponenten des MIPAS-Flugzeugexperimentes.

SCHREIBER, Jürgen: Untersuchung und Reduktion der Eigenstrahlung des Fourierspektrometers BOMEM-DA2.

ZORN, Sabine: Ableitung von Vertikalprofilen von O₃, CH₄, N₂O und N₂O₅.

Universität Kiel

Diplom-Hauptprüfung

DRUSCH, Matthias: Zusammenhang zwischen optischer Dicke aus dem ISCCP C1 Datensatz und Flüssigwassergehalt aus SSM/I Daten.

Universität Köln

Promotionen

CHRISTOPH, Michael: Zeitliche und räumliche Variabilität hochfrequenter Fluktuationen (Stormtracks) in der realen Atmosphäre und im Modell.

ECKHARDT, Klaus: Variabilität und Anregung von Telekonnektionsmustern.

KARLIK, Gülcin: Ein schnelles und direktes Inversionsverfahren für transient elektromagnetische Daten.

TOUMANI, Antoine: Fuzzy Klassifikation von geophysikalischen Bohrlochmessungen zur Lithologiebestimmung am Beispiel des Oberkarbons.

Diplom-Hauptprüfungen

ADENACKER, Peter Konrad: Untersuchung der bodennahen Aitkenkernkonzentration in Köln.

BOCK, Hans Jürgen: Parametrisierung der trockenen Deposition mit dem EURAD-Modell, Stickstoffeintrag in die Nordsee durch die Atmosphäre.

DUHNKE, Karin: Trajektorienanalyse zur Abschätzung der durch Emission von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) verursachten Konzentrationschwankungen des bodennahen Ozons.

HOFFMANN, Guido: Untersuchung der Erzeugung von verfügbarer potentieller Energie durch die diabatischen Prozesse im Modell ECHAM2.

KOWOL, Johanna: Häufigkeit und Intensität tiefer Intrusionen in die untere Troposphäre im Bereich der Zugspitze.

LÖHMER, Oliver: Eindimensionale numerische Teilchensimulation einer elektrostatischen Stoßwelle im Sonnenwind.

MOLÉ, Franz Josef: Simulation flächendeckender Windklimatologien über inhomogenem Gelände-Modellvergleich.

SCHRÖDER, Rainer: Modellrechnungen zur Gültigkeit der 'Ebenen-Wellen-Theorie'.

STRAUSS, Monika: Schwerewellen in der Atmosphäre und ihre Identifikation mit Hilfe von Radiosondenaufstiegen.

THIELEN, Harald: Zur Turbulenz in der atmosphärischen Grenzschicht.

TILMES, Stefan: Bewertung von Transportalgorithmen für mesoskalige Modelle.

Universität Mainz

Diplom-Hauptprüfungen

KLINGBEIL, Ute: Ein Schema zur Bestimmung der residualen Zirkulation für ein zweidimensionales globales Chemie-Klimamodell der mittleren Atmosphäre.

KÜLZER, Stefan: Erweiterung des dreidimensionalen Stadtklimamodells MISKAM auf Unterströmungseffekte.

SCHRÖRS, Eva Cornelia: Messungen zur Tropfenbildung in einem expandierenden Luftstrahl mit atmosphärischem Aerosol.

Universität München

Habilitation

HEIMANN, Dietrich: Numerische Simulationen idealisierter Kaltfronten an den Alpen.

METZ, Werner: Extra-tropical low-frequency atmospheric variability: Observational evidence and theories.

Promotionen

HARLANDER, Uwe: Strömungsbedingte Klimastrukturen des Alpenraumes und deren Stabilität bei Klimaänderungen.

RUGGABER, Ansgar: Modellierung photolytischer Prozesse in der Troposphäre.

STRAUSS, Bernhard: Über den Einfluß natürlicher und antropogener Eiswolken auf das regionale Klima - mit besonderer Berücksichtigung des mikrophysikalischen Einflusses.

WEBER, Harry: Studien zur Bahnvorhersage tropischer Zyklonen.

Diplom-Hauptprüfungen

FINCKE, Andreas: Zur Normalmodeninitialisierung tropischer Strukturen, insbesondere der 30-60-Tage-Welle.

LUCKNER, Ralf: Successive Corrections als Verfahren zur objektiven Analyse atmosphärischer Daten - Eine Anwendung im Rahmen des CLEOPATRA-Experiments 1992.

LUGAUER, Matthias: Experimente zur globalen Ausbreitung von Spurenstoffen.

MENHOFER, Anita: Travelling undular bores in the lower atmosphere: An observational study of the morning glory.

PERISTERI, Maria: Mesoskalige konvektive Gewittersysteme mit zwei Squall-line-Fallstudien im Bayerischen Alpenvorland.

SCHWANDER, Harald: Auswirkungen der Verlegung einer lufthygienischen Meßstation im Stadtgebiet von München.

VOGL, Benedikt: Effekte feuchter Oberflächen bei der Fernerkundung der Bodenbede.

Universität Graz

Diplom-Hauptprüfungen

BRANDSTÄTTER, Gernot: Vergleich gemessener Elektroneninhalte der Ionosphäre mit Daten des empirischen Grazer-TEC-Modells.

LEUTSCHACHER, Thomas Christian: Absolute Absorption Cross Sections of Ozone in the 10 μm Region under Tropospheric Conditions.

Universität Innsbruck

Diplom-Hauptprüfungen

BAUER, Manfred: Modellierung der Ausbreitung und Deposition von Schadstoffen in einem Alpental.

HOFINGER, Stephan: Modellierung der Sommerbilanzen des Hintereisferners zwischen 1952 und 1993.

NIEDERMOSER, Bernhard: Vorticitydynamik bei Leezyklongenese unter besonderer Berücksichtigung der Umwandlung zwischen Krümmungs- und Scherungsvorticity.

Universität Wien Institut für Meteorologie und Geophysik

Promotionen

RUBEL, Franz: Diagnose vertikaler Niederschlagsflüsse.

WANG, YONG: Semiprognostischer Test der Cumulusparametrisierung mit dem Kuo-Schema über Europa.

WIESINGER, Thomas: Accurate measurement of snowfall-development on the analysis of two innovative precipitation gauges based on the analysis of existing errors.

Diplom-Hauptprüfungen:

BRANDNER, Karl: Synoptische Analyse von schweren Unwettern.

BREYCHA, Marina: Die atmosphärische Strahlung an der Erdoberfläche und ihre instrumentelle Erfassung.

JANN, Alexander: Untersuchung der Verwendungsmöglichkeiten der operationellen österreichischen Radardaten.

LENGER, Robert: Frontalpassagen im Alpenraum aus satellitensynoptischer Sicht.

PÖTTSCHACHER, Wolfgang: Windbeobachtungen an Bergstationen und ihre Aussagekraft bezüglich der Strömung in der freien Atmosphäre.

POTZMANN, Roland: Niederschlagsstruktur bei Starkniederschlägen.

SCHULTHEIS, Rainer: Energiebilanzen in Waldbeständen.

WIRTH, Andreas: Mikrometeorologische Aspekte der Grenzschicht über Wasserflächen.

WÖLFELMAIER, Friedrich: Advektions-schemata in mesoskaligen Modellen.

Universität für Bodenkultur Wien Institut für Meteorologie und Geophysik

Diplom-Hauptprüfung

BREYCHA, Marina: Untersuchungen der Genauigkeit von Messungen der atmosphärischen Strahlung.

ETH Zürich

Promotionen

APPENZELLER, Christof: Wave developments on surface fronts and stratospheric intrusions.

FELLER, Waldemar: Ein regionales Ausbreitungsmodell für Luftfremdstoffe.

FREI, Christoph: Excitation and modification of geophysical boundary-related flow phenomena.

KABECHE, Ahmed: Analyse Stereoradar.

LI, Li: On the use of variational analysis for determining the motion of radar echoes.

LUKASCZYK, Christian: Chlor im Grönlandeis.

MOSIMANN, Lukas: Die Bestimmung der Verreifung von Schneekristallen mittels vertikalem Dopplerradars.

PRÉVÔT, André: Photooxidantien und Primärluftschadstoffe in der planetaren Grenzschicht in der Schweiz nördlich und südlich der Alpen.

STEINER, Anton: Doppler-Radar Windprofiler.

VOLKEN, Marco: A Model for Below-Cloud Scavenging of Aerosols and Trace Gases: Results and Observations.

Universität Basel

Promotionen

BARALDI, Claudio: Modellierung von Klimazeitreihen durch stochastische Prozesse.

SCHERER, Dieter: Slush stream initiation in a high-arctic drainage basin in NW-Spitsbergen.

Diplom-Hauptprüfungen

JÄGGI, Markus: Die SODAR-Messungen beim Observatorium Basel-Binningen.

HOFFMANN, Anke: Umweltmonitoring von Waldschäden, verursacht durch Epirrita (*Oporinia*) autumnata Bkh. (Lep., Geometridae), im subpolaren Fjällbirkenwald Nordschwedens mit Hilfe hochauflösender multispektraler Satellitendaten.

SIEGRIST, Franziska: Der Einfluß der Bewölkung auf den Strahlungshaushalt als Teil des Gesamtenergiehaushaltes einer arktischen Landschaft (Liefdefjord/NW-Spitzbergen).

FEIGENWINTER, Christian: Die räumliche Variabilität des Strahlungshaushaltes im REKLIP-Meßnetz an Strahlungstagen mit besonderer Betrachtung der verwendeten Pyrradiometer.

Buchbesprechungen – Neuerscheinungen

- PIELKE, R. A.; PEARCE, R. P. (Ed.): Mesoscale modeling of the atmosphere. Amer. Meteorol. Soc. 1994, 167 S. ISBN 1-878220-15-2. Meteorol. Monogr. Vol. 25, No. 47.
- KAGAN, B. A.: Ocean – atmosphere interaction and climate modelling. Cambridge University Pr. 1995, 377 S. ISBN 0-521-44445-4. Übers. a. d. Russ.
- DESBOIS, M.; DESALMANT, F. (Ed.): Global precipitations and climate change. Berlin . . . : Springer 1994, 466 S. ISBN 3-540-58439-0. NATO ASI Ser. Vol. 26.
- RÖTH, E.-P.: Ozonloch-Ozonsmog. Grundlagen der Ozonchemie. Mannheim . . . : B.I.-Taschenbuchverlag 1994, 127 S. ISBN 3-411-10421-X. Meyers Forum 26.
- KÄRNER, O.; KEEVALLIK, S.: Effective cloud cover variations. Hampton: Deepak Publ. 1993, 210 S. ISBN 0-937194-27-1.
- GYR, A.; RYS, F.-S. (Ed.): Diffusion and transport of pollutants in atmospheric mesoscale flow fields. Dordrecht: Kluwer 1995, 216 S. ISBN 0-7923-3260-1. ERCOFTAC Ser. Vol. 1.
- WILKS, D. S.: Statistical methods in the atmospheric sciences. An introduction. San Diego . . . : Academic Pr. 1995, 464 S. ISBN 0-12-751965-3. Intern. Geophys. Ser. Vol. 59.
- WRIGHT, H. E. u. a. (Ed.): Global climates since the last glacial maximum. Minneapolis . . . : University of Minnesota Pr. 1993, 569 S. ISBN 0-8166-2145-4.
- GRIFFIN, R. D.: Principles of air quality management. Boca Raton . . . : Lewis Publ. 1994, 373 S. ISBN 0-87371-315-X.
- HOBBS, P. V.: Basic physical chemistry for the atmospheric sciences. Cambridge Univ. Pr. 1995, 206 S. ISBN 0-521-47387-X.
- MALBERG, H.; CARPENTER, C.: Das neue Guinness-Buch Wetter. Frankfurt . . . : Ullstein 1995, 160 S. ISBN 3-550-07845-5.
- FRENZEL, B. (Hrsg.): Climatic trends and anomalies in Europe 1675-1715. Stuttgart . . . : G. Fischer 1994, 479 S. ISBN 3-437-30774-6. European Paleoclimate and Man, Vol. 8.
- GATES, D. M.: Climate change and its biological consequences. Sunderland, Mass.: Sinauer Associates 1993, 280 S. ISBN 0-87893-224-0.
- HEMPEL, G. (Ed.): Antarctic science. Global concerns. Berlin . . . : Springer 1994, 287 S. ISBN 3-540-57559-6.
- McHALL, Y. L.: Geostrophic wave circulations. Beijing: China Meteorological Press 1993, 283 S. ISBN 7-5029-1585-0. China Meteorol. Pr. Foreign Language Book No. 112.
- SCHLEGEL, K.: Vom Regenbogen zum Polarlicht. Leuchterscheinungen in der Atmosphäre. Heidelberg . . . : Spektrum 1995, 180 S. ISBN 3-86025-259-3.
- VOLLAND, H. (Ed.): Handbook of atmospheric electrodynamics. Vol. 1 and Vol. 2. Boca Raton . . . : CRC Press 1995, 408 u. 516 S. ISBN 0-8493-8647-0 (V. 1), 0-8493-2520-X (V. 2).
- NEBEKER, F.: Calculating the weather. Meteorology in the 20th century. San Diego . . . : Academic Press 1995, 251 S. ISBN 0-12-515175-6. International Geophys. Ser. Vol. 60.
- Verb. d. Schweizer Armeemeteorologen: 50 Jahre Vereinigung der Armeemeteorologen. Erinnerungsschrift. Opfikon: Lenticularis 1995, 87 S. ISBN 3-906670-15-5.
- PARKER, Ph. M.: Climatic effects on individual, social, and economic behavior. Bibliography. Westport: Greenwood Pr. 1995, 291 S. ISBN 0-313-294-00-3.
- VAUGHAN, R. A.; CRACKNELL, A. P. (Ed.): Remote sensing and global climate change. Berlin . . . : Springer 1994, 495 S. ISBN 3-540-58471-4. NATO ASI Ser. I, Vol. 24.
- NESME-RIBES, E. (Ed.): The solar engine and its influence on terrestrial atmosphere and climate. Berlin . . . : Springer 1994, 561 S. ISBN 3-540-58417-X. NATO ASI Ser. I, Vol. 25.
- FLEMMING, G.: Wald, Wetter und Klima. Einführung in die Forstmeteorologie. Berlin: DLV 1995, 136 S. 3., überarb. Aufl. ISBN 3-331-00691-2.
- TAPE, W.: Atmospheric halos. Washington: AGU 1994, 143 S. ISBN 0-87590-834-9. Antarctic Research Ser. Vol. 64.
- Ultraviolet radiation. A review of environmental and health effects of UV, with reference to global ozone layer depletion. Genf: WHO 1994, 352 S. ISBN 92-4-157160-8.
- JENDRITZKY, G.: Das Bioklima in Deutschland. Bioklimakarte mit Informationsbroschüre. 2., überarb. Aufl. Gütersloh: Flöttmann 1995, 32 S. u. 1 Kte. 1:1,5 Mio.
- KIDDER, St. Q.; VONDER HAAR, Th. H.: Satellite Meteorology. An Introduction. San Diego . . . : Academic Press 1995, 466 S. ISBN 0-12-406430-2.
- HIPEL, K. W. (Ed.): Extreme values. Floods and draughts. Dordrecht . . . : Kluwer 1994, 389 S. ISBN 0-7923-2756-X. Water Science and Technology Library Vol. 10/1.
- SCHÖNWIESE, Chr.-D.: Klimaänderungen. Daten, Analysen, Prognosen. Berlin . . . : Springer 1995, 224 S. ISBN 3-540-59096-X.
- POWER, H. u. a. (Ed.): Urban air pollution. Vol. 1. Southampton . . . : Computational Mechanics Publ. 1994, 324 S. ISBN 1-85312-331-5.
- SCHÖNWIESE, Chr.-D.: Klima. Grundlagen, Änderungen, menschliche Eingriffe. Mannheim . . . : BI Taschenbuchverlag 1994, 128 S. ISBN 3-411-10391-4.
- SCHUH, A.: Angewandte medizinische Klimatologie. Grundlagen und Praxis. Stuttgart: Sonntag Verlag 1995, 185 S. ISBN 3-87758-049-1.
- EICHENBERGER, W.: Flugwetterkunde. Ein umfassender Lehrgang. 8. Auflage. Stuttgart: Motorbuch Verlag 1995, 355 S. ISBN 3-613-01683-4.
- MACHALEK, A.: Biowetter. Der praktische Ratgeber für Wetterfühlige und Umweltgestreßte. München . . . : BLV 1995, 127 S. ISBN 3-405-14794-8.
- REIBER, M.: Moderne Flugmeteorologie. Thun . . . : H. Deutsch 1995, 171 S. ISBN 3-8171-1392-7.

Anschriften (Themas des Heftes)

Dipl.-Met. Hans-J. Koppert
Dipl.-Met. Wolfgang Kusch
Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach a. M.

Dipl.-Met. Konrad Balzer
Dipl.-Mathem. Michael Pogoda
Deutscher Wetterdienst
Michendorfer Chaussee 23
14473 Potsdam

Dr. Thomas Bruns
Dipl.-Met. Klaus Dittmer
Deutscher Wetterdienst
Bernhard-Nocht-Straße 76
20359 Hamburg

Redaktionelle Hinweise für Autoren

1 Allgemeines

Promet dient der Fortbildung von Meteorologen und Wetterberatern. Die Beiträge zum Thema des Heftes sollen den neuesten Stand des zu behandelnden Spezialgebietes auf wissenschaftlicher Basis in einer verständlichen und anschaulichen Weise darstellen.

2 Äußere Form des Manuskriptes

2.1 Text

Einseitig auf durchnummerierten DIN-A4-Blättern (links 4 cm, oben 2 cm als freier Rand), Maschinenschrift, 1 1/2 zeilig, ca. 60 Anschläge/Zeile und 30 Zeilen/Seite.

2.2 Gliederung

Numerierung der Haupt- und Unterabschnitte nach dem Dezimalsystem (1, 1.1, 1.2 ..., 2, 2.1, 2.2. usw.).

2.3 Abbildungen, graphische Darstellungen

Kontrastscharfe und reproduktionsfähige

Vorlagen (Fotos mit Hochglanz, Strichzeichnungen mit schwarzer Tusche und klarer Beschriftung). Legenden zu den Abbildungen auf besonderem Blatt beifügen.

2.4 Formeln, Gleichungen

Auf das Notwendige beschränken, deutlich lesbar mit fortlaufender Numerierung in runden Klammern am rechten Textrand.

2.5 Tabellen

Nur im notwendigen Umfang, klar und übersichtlich, ggf. auch als Abbildungen.

2.6 Literaturzitate

Literaturhinweise im Text: ... MÜLLER (1980) ... oder ... (MÜLLER 1980) ...

Literaturverzeichnis:

– Autoren in alphabetischer Reihenfolge. Herausgeber werden durch den Zusatz: „Hrsg.“ gekennzeichnet.

– Zeitschriftenaufsatz:

KURZ, M., 1982: Zum Einfluß diabatischer Prozesse auf die Frontogenese in Bodennähe. Meteorol. Rdsch., 35, 21-30.

– Buch:

SCHÖNWIESE, C.-D., 1980: Klimaschwankungen. Berlin: Springer-Verlag, 181 S.

3 Korrekturen

Autoren, die das Thema des Heftes behandeln, erhalten Fahnenabzüge ihres Beitrages zur Korrektur. Die Umbruchkorrekturen werden von der Hauptschriftleitung durchgeführt.

4 Belegexemplar, Fortdrucke

Autoren des Hauptthemas erhalten je 5 Belegexemplare des betreffenden Heftes. Autoren von Kurzmitteilungen (3spaltige Texte) je 1 Heft. Zusätzliche Exemplare können gegen Erstattung der Fortdruckkosten bei der Rücksendung der Korrekturen bestellt werden.

Manuskriptsendungen werden erbeten:

Deutscher Wetterdienst
Hauptschriftleitung Promet
Frankfurter Str. 135
63067 Offenbach a. M.
Tel.: 0 69 / 80 62 22 72 / Telefax 0 69 / 80 62 24 86

Täglich nach Eintreffen der neuesten Seegangsvorhersagen startet die Optimierung, ausgehend von vorhergesagten oder ggf. von gemeldeten Schiffspositionen automatisch. Dieses Verfahren stellt eine weitgehend automatische Routenüberwachung dar.

5 Zukünftige Entwicklung

Aufbereitete meteorologische Vorhersage- oder Klima-Daten, die mit einer intelligenten Software in benutzerfreundlicher Weise auf einem Bildschirm dargestellt werden können, sind bisher vom DWD kaum vermarktet worden. Da die kommerzielle Konkurrenz insbesondere auf dem Routingsektor solche Systeme anbietet, werden zur Zeit Lösungen dieser Art vom SWA des DWD entwickelt und können zukünftig bereitgehalten werden. Im Bereich der maritim-meteorologischen Beratung haben nicht nur Terminals mit Software an Bord, sondern auch an Land, z. B. bei Reedern oder Charterern, eine Marktchance.

Parallel zu den Arbeiten auf Mainframe Systemen wurde daher ein PC-Programm mit folgenden Aufgaben eines Kundenterminals geschaffen:

- Darstellung von Ergebnissen der Routenoptimierung.
- Darstellung von Wind-, Seegang- und Stromdaten.
- Fahrtzeitberechnung auf alternativen Routen unter Verwendung von Seegangsdaten.
- Lösung einfacher Navigationsaufgaben.

In Zusammenarbeit mit einer großen Reederei wurde dieses Programm 1993 testweise an Bord zweier Containerschiffe installiert. Mit Hilfe aktueller Wind- und Seegangsvorhersagen wird die Schiffsführung in die Lage versetzt, die Beratung durch das Seewetteramt nachzuvollziehen bzw. ein umfassenderes Bild der Umweltsituation zu gewinnen.

Das SWA ist außerdem an einem Pilotprojekt beteiligt, in dessen Rahmen die globalen Seegangsprognosen des EZMW an Schiffe übertragen werden sollen, um an Bord kostenoptimale Routen zu berechnen ("Routeing an

Bord"). Neben der Unterstützung im Entwicklungsstadium besteht die Hauptaufgabe des SWA in der Bereitstellung und dem Monitoring der Seegangsvorhersagen. So ist eine Bewertung mittelfristiger Prognosen und die damit verbundene Konfidenzprüfung der berechneten Routen vorgesehen. Darunter fällt z. B. auch die Überwachung tropischer Wirbelstürme, die durch das Seegangmodell nicht erfasst werden können.

Eine Übersicht über das gesamte geplante Routenberatungssystem des SWA zeigt Bild 12. Durch die Nutzung weitgehend IT-gestützter Arbeitsprozesse kann der Schiffsroutenberatungsdienst in naher Zukunft betriebswirtschaftlich rentabel arbeiten.

Literatur

- BELLMAN, R., 1957: Dynamic Programming, Princeton University Press, Princeton, N. J.
- BLUME, P., 1977: Berechnung des Seeverhaltens für eine systematisch variierte Formfamilie, Teile A-C: Hamburgische Schiffsbauversuchsanstalt, Bericht Nr. 1505.
- JAMES, R. W., 1957, Application of Wave Forecasts to Marine Navigation, U.S. Navy Hydrographic Office, SP-1.
- HAGIWARA, H., 1989: Weather Routing of (Sail assisted) Motor Vessels, Dissertation, Technische Universität Delft.
- KRUHL, H., 1981: Meteorologische Routenempfehlungen für Seeschiffe, Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzelveröffentlichungen Nr. 100.
- LORENZ, R., 1990: Entwicklung einer Methode zur Ermittlung optimaler Wetterrouten an Bord von Seeschiffen, Dissertation, Hochschule für Seefahrt Warnemünde.
- MALCHOW, G., D. SCHULZE, 1993: Güterverkehr über See, Stern-Verlag, Lüneburg.
- SCHENZLE, P., P. BOESE und P. BLUME, 1974: Ein Programm-System zur Berechnung der Schiffsgeschwindigkeit unter Dienstbedingungen. Inst. f. Schiffbau UniHH, Bericht Nr. 303.
- SÖDING, H., 1992: Möglichkeiten und Methoden zur Optimierung der Fahrtroute und der Geschwindigkeit von Schiffen, Vortrag zum 11. Workshop „EDV-Systeme im Schiffs- und Hafenbetrieb“, Bremen.
- TEEUWEN, J., 1988: Weerrouting in het gebruik, NTT de Zee, No 6.

Vorausschau - Tagungen

18. Internationale Polartagung, 18.-22. März 1996, Potsdam. Informationen: Alfred-Wegener-Institut f. Polar- u. Meeresforschung, Telegrafenberg A 43, 14473 Potsdam.

The 7th Global Warming, 1-3 April 1996, Wien. Informationen: GW7 International Program Committee, c/o GWIC, PO Box 5275, Wooldridge IL 60517-0275 USA.

8th SIRWEC International Road Weather Conference, 17-19 April 1996, Birmingham. Informationen: Dr. J. E. Thornes, School of Geography, University of Birmingham, Birmingham B15 2TT, UK.

European Conference on Applied Climatology, 7-10 May 1996, Norrköping, Sweden. Informationen: Mr. G. Wennerberg, SMHI, S-601 76 Norrköping.

International Conference on Urban Climatology, 10-14 June 1996, Essen. Informationen: Prof. Dr. W. Kuttler, Inst. f. Ökologie, Abt. Landschaftsökologie, Universität Essen, 45117 Essen.

14th International Congress of Biometeorology, 1-8 Sept. 1996, Essen, Informationen: Prof. Dr. A. Hocevar, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Jamnikarjeva 101, 61000 Ljubljana, Slovenia.

Seventh Conference on Mesoscale Processes, 9-13 Sept. 1996, Reading, UK. Informationen: Mr. K. Browning, Joint Center for Mesoscale Meteorol., University of Reading, P.O. Box 240, Reading RG6 2 FN, UK.

Hydroinformatics 96. Short course, exhibition, seminars, conference. 9-13 Sept. 1996, ETH Zürich. Informationen: Secretariat Hydroinformatics, Institut f. Hydromechanics and Water Resources Management. ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich.