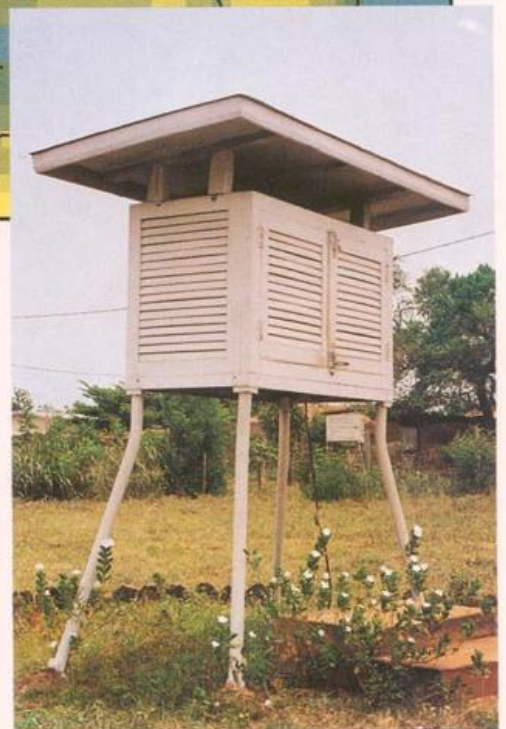
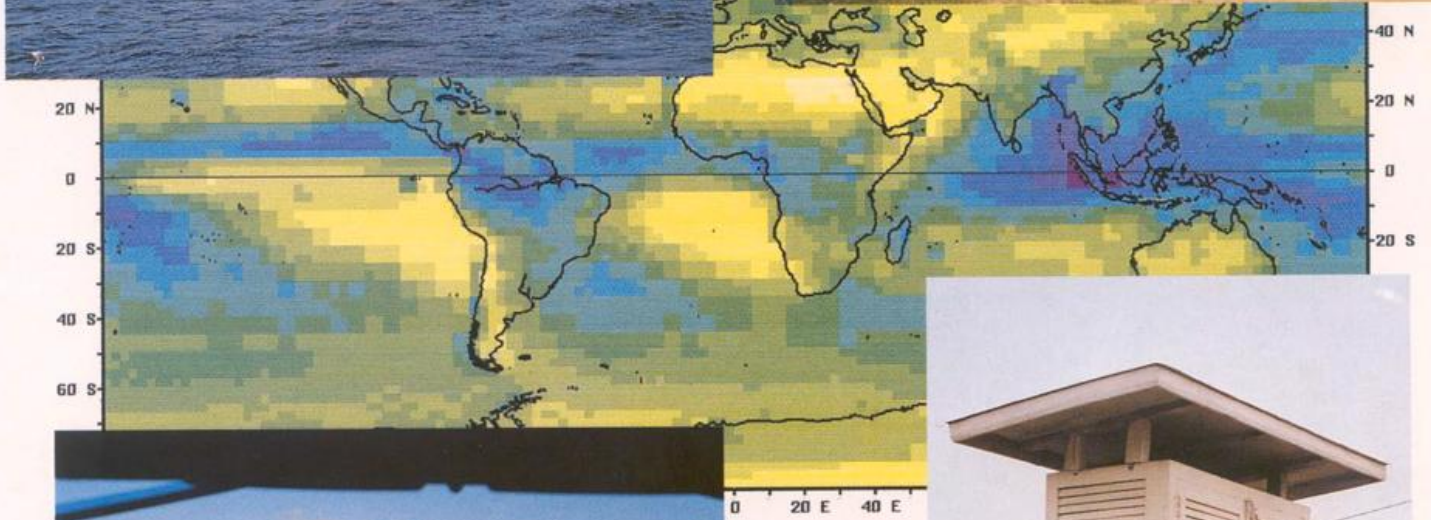


# promet

# 4 '93

meteorologische fortbildung



**Herausgeber**

Deutscher Wetterdienst

**Hauptschriftleiter**

Dipl.-Met. H.-D. Kirch

**Redaktionsausschuß**

Prof. Dr. J. Egger (München)  
 Prof. Dr. F. Fiedler (Karlsruhe)  
 Prof. Dr. H.-W. Georgii (Frankfurt a. M.)  
 Prof. Dr. H. Graßl (Hamburg)  
 Prof. Dr. G. Groß (Hannover)  
 Dr. F. Kasten (Hamburg)  
 Dipl.-Met. H. Kruse (Traben-Trarbach)  
 Dr. T. Mohr (Offenbach a. M.)  
 Dr. E. Müller (Offenbach a. M.)  
 Dr. J. Neisser (Lindenberg)  
 Dr. R. Simonis (Langen/Hess.)

**Zum Titelbild:**

Karte: Globale Verteilung der mittleren monatlichen Niederschlagshöhe im Jahr 1988. (s. Beitr. 5)

li. o.: Dienstgebäude des Seewetteramtes (SWA) (li.) und des Bundesamtes für Seeschiffahrt und Hydrographie (BSH) (re.) mit dem Forschungsschiff 'Gauß'. (s. Beitr. 1)

re. o.: Der Klimagarten der SYNOP-Station Cotonou. Im großzügig angelegten Garten befindet sich auch ein Woelfle-Windmeßgerät. (s. Beitr. 4)

l. u.: Anflug auf Salvador de Bahia. (s. Beitr. 3)

re. u.: Klimahütte in Bohicon. Beachtenswert ist das große Dach, das auch bei nördlichem Sonnenstand verhindert, daß die Sonne in die Hütte scheint. (s. Beitr. 4)

Karte: WZN, DWD/ZA.

Fotos: H. Scharrer u. A. Beffert, DWD/ZA sowie Seewetteramt.

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**

23. Jahrgang, Heft 4, 1993

Redaktion: H.-D. Kirch

<b>Beiträge</b>	<b>Seite</b>
Zu diesem Heft	97
1 G. DUENSING 125 Jahre maritime Dienste in Deutschland	97
2 H.-J. LANGE Die Chaostheorie und ihre Relevanz in der Meteorologie	104
3 H. SCHARRER Angewandte Meteorologie im Nordosten Brasiliens	112
4 A. BEFFERT Erfahrungsbericht über eine einmonatige Tätigkeit als Berater der WMO in Cotonou, Benin	121
5 B. RUDOLF Globale Niederschlagsanalysen des Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie	124
<b>Habilitationen, Promotionen und Diplom-Hauptprüfungen im Jahr 1992</b>	129
<b>Buchbesprechungen - Neuerscheinungen</b>	132
<b>Vorausschau Tagungen</b>	136
<b>Eine neue Zeitschrift</b>	136

## Zu diesem Heft

Die Leser der Zeitschrift 'Promet – meteorologische Fortbildung' sind es gewohnt, daß jedes Heft unter einem Thema steht, zu dem mehrere Beiträge erscheinen. Bei diesem Heft, das kein übergeordnetes Thema hat, wird ausnahmsweise von dieser Regel abgewichen. Promet verhält sich hier so, wie es bei Fachzeitschriften im allgemeinen üblich ist. Im nächsten Jahrgang erscheint Promet weiterhin wie gewohnt mit Schwerpunktthemen.

Den Autoren dieses Heftes sowie den Fachredakteurinnen und -redakteuren und Autorinnen und Autoren der in letzter Zeit erschienenen Hefte sei an dieser Stelle für ihre bereitwillige und geduldige Mitarbeit an der Zeitschrift gedankt. Es ist nicht selbstverständlich und wird daher dankbar anerkannt, daß Mitarbeiter von Hochschulen und Großforschungseinrichtungen sowie aus dem Deutschen Wetterdienst, dem Geophysikalischen Beratungsdienst der Bundeswehr und anderen Behörden Beiträge für Promet schreiben und vor allem auch die mühevollen Aufgabe der Fachredaktion auf sich nehmen.

Die Schriftleitung

# 1 G. DUENSING 125 Jahre maritime Dienste in Deutschland

Die maritimen Dienste feiern in diesem Jahr das Jubiläum ihres 125-jährigen Bestehens. Dazu gehört auch das Seewetteramt des Deutschen Wetterdienstes in Hamburg. Es ist ein Nachfolgeinstitut der Norddeutschen Seewarte, die am 1. Januar 1868 in Hamburg ihre Arbeit als privates Institut aufnahm.

„Zweck, Einrichtung und Arbeitskreis der deutschen Seewarte ist durch sehr umfassende von der Direktion dieses Instituts herausgegebene Jahresberichte eingehend besprochen worden. Da jedoch diese Berichte nur einem verhältnismäßig kleinen Teil des Publikums zugänglich sind, und dieser Gegenstand von allgemeinem Interesse sein dürfte, so erschien es mir lohnend, auf Grundlage derselben eine kurze, allgemeinverständliche Darstellung über die Seewarte in diesem Buch zu geben, um so mehr, als dadurch dem Zwecke gedient wird, einseitige und verworrene Vorstellungen über dieses Institut, welche insbesondere im Binnenlande allenthalben Platz gegriffen haben und die teilweise populären, auf ungenügender Information beruhenden Aufsätze entspringen, möglichst zu beseitigen oder

zu berichtigen. Auf eine Vollständigkeit der Behandlung des Gegenstandes muß bei der vielverzweigten Tätigkeit und dem außerordentlich großen Wirkungskreise der Seewarte von vornherein verzichtet werden, ich glaube jedoch meiner Aufgabe zu entsprechen, wenn ich nur die Hauptmomente in großen Zügen hier hervorhebe“. Diese treffenden Sätze schrieb van Bebber 1884. Sie gelten für diese Beschreibung der Seewarte, weil nur die meteorologischen Aspekte angesprochen werden können.

Am 14. Januar 1993 gab die Deutsche Bundespost eine Sonderbriefmarke mit dem Wert 1 DM heraus. Sie trägt den Titel *125 Jahre Norddeutsche Seewarte* und stellt stilisiert zwei alte Seglerrouen für Weltumsegelungen in ostwestlicher und westöstlicher Richtung dar.

Zum Jahrestag erschien das Buch *Schiffahrt und Meer – 125 Jahre maritime Dienste in Deutschland*, Verlag Mittler & Sohn, Herford. Diese Jubiläumsausgabe enthält Beiträge von Mitarbeitern des Bundesamtes für Seeschiffahrt und Hydrographie sowie des Seewetteramtes, die die Entwick-

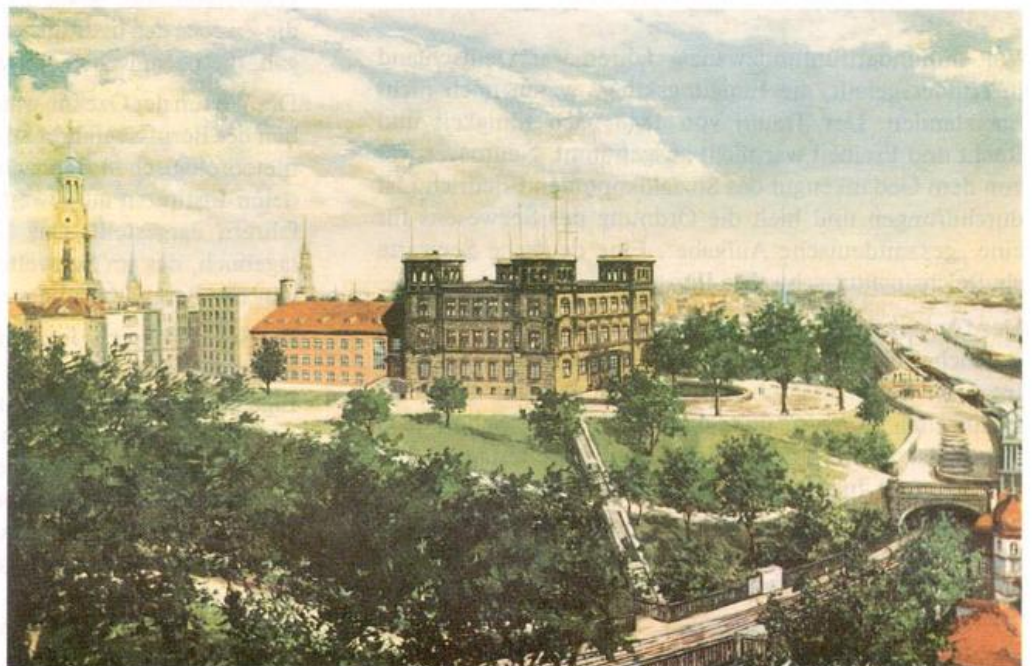


Bild 1: Deutsche Seewarte in Hamburg, ca. 1939, erbaut 1878-1881, zerstört April 1945, nach einem Gemälde von F. Pilz.

lung der verschiedenen Aufgaben und Arbeitsgebiete von der Norddeutschen Seewarte bis hin zur heutigen Zeit schildern. Es sind Beiträge über Expeditionen und Forschungsreisen, historische Seglerwege, Beratung der transatlantischen Flüge vor dem 2. Weltkrieg, Gezeiten- und Windstaudienst, Seevermessung, Seekarten, Schiffsvermessung, Instrumente und Geräte, Wetterbeobachtung auf See, Sturmwarn- und Seewetterdienst. Damit wird das breite Spektrum der Aktivitäten dieser Institutionen deutlich.

Mit einem Festakt im großen Festsaal des Hamburger Rathauses feierten die Hamburger Bürger, vor allem aber die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie des Seewetteramtes am 21. Januar 1993 die Gründung der Norddeutschen Seewarte vor 125 Jahren. In diesem Saal ehrte 1903 der Hamburger Senat Georg von Neumayer als Gründer und ersten Direktor der Deutschen Seewarte mit einem Abschiedessen.

Unter Anwesenheit Prominenter aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik, angeführt vom Ersten Bürgermeister der Freien und Hansestadt Hamburg, Herrn Dr. H. Voscherau, dem Bundesminister für Verkehr, damals Herrn Prof. Dr. G. Krause, und dem Präses der Handelskammer Hamburg, wurde der Bedeutung der Norddeutschen Seewarte und ihrer Nachfolgeorganisationen gedacht.

Die Gründer der Seewarte haben für die deutschen maritimen Wissenschaften Geschichte geschrieben. Sie waren als Persönlichkeiten weit über die deutsche Küstenregion hinaus bekannt. Für Entwicklungen der heutigen maritimen Behörden und Dienstleistungen können die damaligen Modelle und Personen als „methodische“ Vorbilder angesehen werden.

Worte, die Wladimir Köppen als Leitmotiv des Schaffens in der Seewarte formulierte, haben gerade heute besondere Bedeutung:

*Sei Mensch und achte Menschenwürde.  
Sei froh und laß es andere sein!  
Erleichtre jedem seine Bürde,  
Und halte Herz und Zunge rein.*

Vor einhundertfünfundzwanzig Jahren war Deutschland in Länder geteilt, die Einigungskriege waren noch nicht überstanden. Der Traum von 1848 nach Einigkeit und Recht und Freiheit war nicht ausgeträumt. Neumayer war von dem Gedankengut des Sozialökonomen Friedrich List durchdrungen und hielt die Ordnung des Seewesens für eine „gesamtdeutsche Aufgabe“. Eine deutsche Seewarte als Reichsinstitut schwebte ihm vor.

Der Gedanke war nicht neu. Im Ausland gab es derartige staatliche Institute. Anfang des 19. Jahrhunderts setzte das Interesse der Wissenschaftler und Nautiker für die atmosphärischen Prozesse über den Meeren ein. Schon 1833 führte der preußische Minister Beuth Wettertagebücher und geprüfte Instrumente auf Schiffen der „preußischen Seehandlung“ ein. Die gesammelten Beobachtungen konnten aber seitens der Seefahrer nicht genutzt werden, weil ein entsprechendes wissenschaftliches Institut in deutschen Staaten fehlte.

Charles Rümker gab zu jener Zeit in seinem *Handbuch der*

*Schiffahrtskunde*, das 1857 schon in der 6. Auflage erschien, allerlei bedeutende Hinweise über das Wetter auf See und dessen Wirkung auf die Schiffe. Mehr Anklang fanden 1843 die Arbeiten von Maury, der 1842 zum Depotvorsteher für Seekarten und Instrumente der Marine der USA berufen wurde. Aus seinem Institut entwickelte sich das nautisch-meteorologische Marine-Observatorium in Washington, später Hydrographic Office. Ähnliche Einrichtungen wurden 1854 durch Buys-Ballot in Holland und 1860 durch Fitzroy in England gegründet. In Deutschland scheiterten alle Bemühungen.

Georg von Neumayer betrieb nach Beendigung seines Physikstudiums Forschungen in der Antarktis sowie in Australien und baute mit Unterstützung des bayerischen Königs und des hamburgischen Senats in Australien Observatorien zur Erforschung des Erdmagnetismus auf. Er kehrte 1864 nach Deutschland zurück und warb für die Errichtung einer deutschen Seewarte, ein nautisch-meteorologisches und hydrographisches Institut für die Nordküsten Deutschlands, als eine Notwendigkeit für die Hebung des deutschen Seewesens.

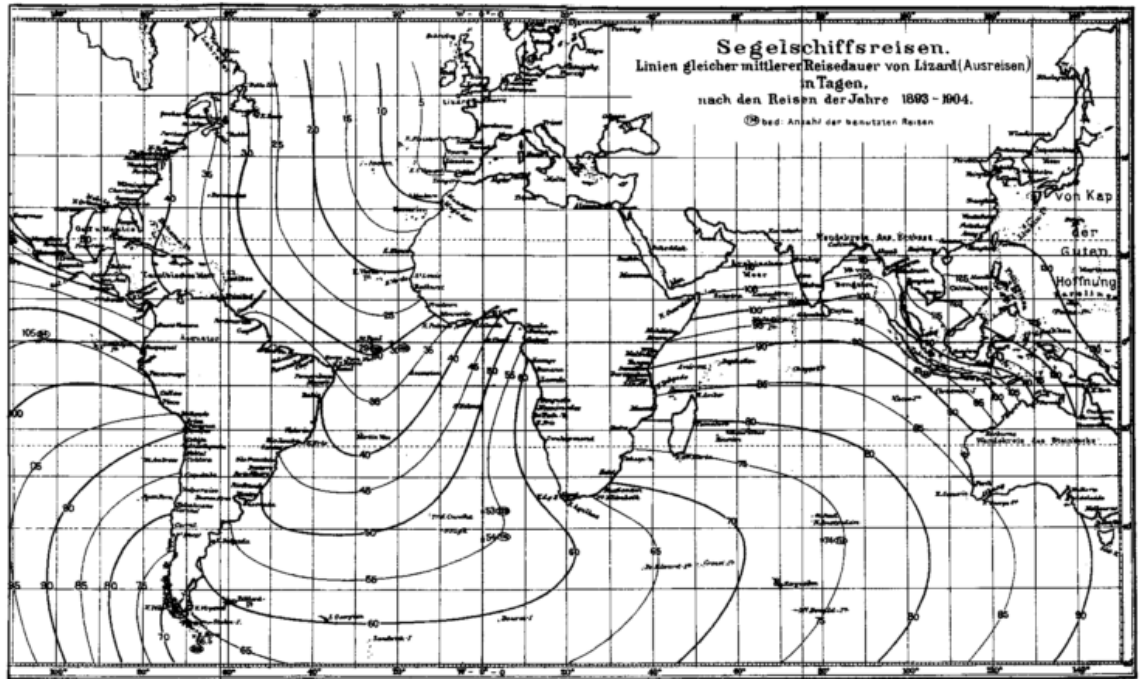
Es war Neumayers Wunsch, daß die „Gesamtheit aller Deutschen Staaten sich in würdiger Weise“ der Verwirklichung annähmen. Er mußte sehr rasch gehandelt haben, denn schon 1865 kündigte der Reeder Adolf Hertz den Vorschlag in der Handelskammer Hamburg an. Jedoch der Krieg 1866 machte eine deutsche Lösung für die Seewarte unmöglich. Neumayer zog sich aus dem Vorhaben zurück, als der Antrag an Handelskammer und Senat in Hamburg keinen Erfolg hatte.

Wilhelm von Freeden besaß dagegen größeres Einfühlungsvermögen bei den damaligen Geldgebern und startete die kleine Lösung auf kaufmännischer Basis mit der Handelskammer. Er war Rektor der Navigationsschule Elsfleth, als er durch Erbschaften unabhängig wurde und sich aus dem Staatsdienst entlassen ließ. Am 1. Januar 1868 eröffnete er die Norddeutsche Seewarte unter Einsatz seines eigenen Kapitals versuchsweise für zwei Jahre. Die Hamburger Handelskammer mit Unterstützung der Bremer Handelskammer sowie 28 Reeder erklärten ihren Willen, die Zwecke des Instituts zu fördern. Als wichtigste Aufgabe galt, die ozeanischen Reisen zu sichern und abzukürzen.

Die Weiten der Ozeane waren nur durch die ständige Mitarbeit der Berufsseefahrer zu erforschen. Ihre systematischen meteorologischen Beobachtungen wurden an den gegründeten Instituten ausgewertet und in Kartenform den Seefahrern dargestellt. Das älteste meteorologische Schifftagebuch, das im Seewetteramt aufbewahrt wird, stammt von der Barg Henriette aus dem Jahr 1823.

Die Schiffsführer lieferten dem Institut Daten und erhielten dafür Empfehlungen für optimale Seglerwege, die die Eigenheiten des Schiffes und die Erfahrung des Kapitäns einbezogen. Die beratenen Schiffe gewannen auf der Ausreise 7 Tage und auf der Heimreise noch 4 Tage gegenüber den Mitseglern. Dadurch bewies Wilhelm von Freeden der Hamburger Handelskammer, daß „die Seewarte nach der üblichen Berechnungsweise dem Gemeinwesen ihre Kosten mehr als eingebracht habe“. Das ist eine Rechtfertigung, die auch heute von den Wetterdiensten gefordert wird.

Bild 2: Segelschiffreisen, Linien gleicher Reisedauer von Lizard (Ausreisen) in Tagen, nach den Reisen der Jahre 1893 - 1904. (⊙) bed. Anzahl der benutzten Reisen.



Kaufmännisches sparsames Handeln und kundenbezogenes Denken prägte die Seewarte und die Nachfolgeinstitute von der Gründung bis heute. Jedoch zeigte es sich rasch nach Gründung der Seewarte, daß wesentliche Aufgaben nur durch staatliche Zuwendungen erfüllbar sind. Segelanweisungen der Seewarte nutzten mehr Bremer Reeder und auch Ausländer als Hamburger Schiffe. So kamen die finanziellen Zuwendungen der Handelskammer Hamburg spärlicher.

Die Sicherung menschlichen Lebens auf See wurde als öffentliche Aufgabe anerkannt. 1870 übernahm der Bund, 1871 das Reich einen Teil der Kosten, das Institut wurde 1872 in Deutsche Seewarte umbenannt und 1875 eine Reichsanstalt.

Herr von Neumayer wurde ihr erster Direktor. Herr von Freeden erhielt eine Abfindung von 21.000 Goldmark und machte der Seewarte private Konkurrenz.

Vor einhundert Jahren nutzten die Segler und Kaufleute den Rat und die Segelanweisungen der Seewarte, aber sie übernahmen nicht als Nutzer die Kosten des Institutes, weil diese durch vielfältige andere Aufgaben entstanden. Das ist bis heute so geblieben. Bei der Deutschen Seewarte waren die Kosten für Gewinnung, Prüfung und Übermittlung der meteorologischen Beobachtungen, internationale Verpflichtungen, Überwachung der Atmosphäre zum Schutze der Allgemeinheit und andere Aktivitäten für die Wissenschaft so hoch, daß sie nicht den Nutzern in einer betriebswirtschaftlichen Rechnung aufgebürdet werden konnten.

Nachdem die vereinigte britisch-französische Kriegsflotte 1854 im Schwarzen Meer in der Nähe von Sewastopol bei einem Sturm schwere Schäden erlitten hatte, wurde in vielen Ländern die Einrichtung eines synoptischen Dienstes mit der Aufgabe Sturmwarnungen herauszugeben, erwogen. In Holland und England wurden 1860 Sturmwarndienste für die Seeschifffahrt eingerichtet. Erst acht Jahre später wurde ein derartiger Warndienst vor Stürmen durch die Norddeutsche Seewarte erfolgreich aufgenommen.

Schon ab 1. 8. 1864 erhielt die Königlich Hannöversche Regierung zum Schutze der Küste Ostfrieslands Sturmwarnungen aus England. An 7 Orten wurden die telegraphisch übermittelten Sturmwarnungen ausgehängt, aber der Versuch dauerte nur wenige Monate, denn auf keine der ausgegebenen 14 Sturmwarnungen folgte ein Sturm. Am preußischen Institut für Meteorologie unter Leitung von Dove wurde 1865 für die preußischen Häfen an der Ostsee eine Zentralstelle für Sturmwarnungen eingerichtet. In den fast 11 Jahren ihres Bestehens gab sie 9 Sturmwarnungen heraus. Aber auch die Berliner Warnungen vor Sturm waren ein Fehlschlag.

Bald nach ihrer Gründung nahm 1868 die Norddeutsche Seewarte den Sturmwarndienst für die deutsche Küste auf. Sie ließ Warnungen nur dann weiterleiten, wenn auch die örtlichen Anzeichen für Sturm sprachen. Schon damals wurden in Cuxhaven und Hamburg Sturmsignale gesetzt.

Die Deutsche Seewarte organisierte den Sturmwarndienst völlig neu und einheitlich für die gesamte deutsche Küste. Signalstellen wurden von der ostpreußischen bis zur ostfriesischen Küste eingerichtet. Jetzt gründeten sich die Warnungen auf den neu geschaffenen synoptischen Wetterbeobachtungsdienst. Ab 1. 9. 1876 arbeitete dieser Dienst sehr erfolgreich. 1877 wurden an 32 Tagen, 1878 an 44 Tagen, „Anordnungen zum Heißen der Signale“ gegeben. In dieser Größenordnung liegt bis heute die Anzahl der in einem Jahr herausgegebenen Sturmwarnungen.

Die Meteorologie war ein wesentliches Betätigungsfeld der Deutschen Seewarte, weniger der Norddeutschen Seewarte. Es war eine hervorragende wissenschaftliche Leistung unter Leitung von Wladimir Köppen, daß schon 1884 die ersten deutschen Windkarten für den Atlantik herausgegeben werden konnten. Die 2. Auflage erschien 1899 und brachte eine wesentlich verfeinerte Darstellung der Windverhältnisse. So hatte die Deutsche Seewarte, als berühmte wissenschaftliche Institution in Hamburg für die Meteorologie, bereits nach einer Zeit von 25 Jahren seit ihrer Gründung weltweite Bedeutung erlangt.

Zum 25-jährigen Bestehen der Seewarte war in der Zeitung im Januar 1900 zu lesen:

„Ihr Anfang war bescheiden und doch schon bedeutungsvoll; er fiel in die Zeiten, als die Segelschifffahrt in höchster Blüte stand, als es galt, durch klug gewählte Seewege die Reisen der Segler zu beschleunigen, indem man Gegenden mit günstigem Winde aufsuchte und solche mit ungünstigem vermied.“

Die deutschen Segler und später Dampfer galten als schnelle Schiffe. Sie fuhren aufgrund maritim-klimatologischer Erkenntnisse nach dem Rat der Seewarte auch größere Umwege, um schneller am Ziel zu sein. Diese erfolgreiche Tätigkeit der Seewarte wird durch die Sondermarke der Deutschen Bundespost gewürdigt. Über 600 Seeschiffe werden gegenwärtig vom Seewetteramt beraten. Grundlage der optimalen Routen über die Ozeane sind numerische Wind- und Seegangsprognosen des Deutschen Wetterdienstes bis zu 7 Tage im voraus. Sie werden mit Großrechnern über numerische Modelle erstellt.

Über längere Zeiträume werden Schiffe nach klimatologischen Gesichtspunkten beraten. Dabei muß auch an meteorologisch bedingte physikalische, biologische und chemische Schadeinflüsse im Laderaum und an der Ladung gedacht werden, einem erfolgreichen in der Seewarte aufgebauten und im Seewetteramt weiterentwickelten Arbeitsfeld.

Wir lesen in der Zeitschrift *Überall* des Deutschen Flottenvereins vom Januar 1900:

„Durch allerlei wissenschaftliche Unterstützungen und Ausrüstungen mit guten Barometern und Thermometern wurde ein trefflicher Stamm freiwilliger Mitarbeiter in den deutschen Segelschiffskapitänen gewonnen, der in Tausenden von Wetterbüchern Millionen von Wetterbeobachtungen auf allen Meeren, an allen Küsten der Erde getreulich eintrug und der Seewarte nach jeder Reise einlieferte.“

Heute beobachten und messen mehr als 7000 Seeoffiziere auf über 500 deutschen Schiffen das Wetter. Sie setzen die Werte über Funk an die Küstenfunkstellen oder über Satellit an die Wetterzentralen ab. Auf diese ehrenamtliche Mitarbeit war die Seewarte, genauso wie die heutigen meteorologischen Dienste, angewiesen. Diesen freiwilligen Helfern, die auch für die Allgemeinheit an Land tätig sind, ist aufrichtig zu danken.

Aus den meteorologischen Tagebüchern sind inzwischen über 270 Millionen Daten auf elektronische Datenträger gebracht und weltweit ausgetauscht worden. Das ist ein internationaler Beitrag zur Untersuchung eventueller Änderungen des Klimas über den Meeren. Diese Daten sind seit altersher nur zu bearbeiten, wenn sie international einheitlich verschlüsselt sind. Durch den ständigen Einsatz moderner Datenverarbeitungsmittel, wie bereits vor 1935 die Lochkarte, befindet sich heute im Seewetteramt in Hamburg eines der umfangreichsten maritim-meteorologischen Datenarchive der Welt. Die rechnergestützte Datenprüfung findet internationale Anerkennung. Schon seit vielen Jahren ist hier Erfahrung durch die Tätigkeit als ein Zentrum für die Sammlung, Prüfung und den internationalen Austausch maritim-meteorologischer Daten aus dem südlichen Atlantik gewonnen worden.

Es ist für den Deutschen Wetterdienst eine besondere Ehre und Herausforderung, daß das Seewetteramt von der Weltorganisation für Meteorologie als maritim-meteorologisches Welt-Datenzentrum ausgewählt wurde.

Aus der Zeitschrift *Überall* des Deutschen Flottenvereins, Januar 1900, ist zu entnehmen:

„Eine Seewarte, die auf eine so reiche Tätigkeit und auf so viele schöne Erfolge im ersten Vierteljahrhundert ihres Bestehens zurückblicken darf, muß ganz offenbar von einem außergewöhnlichen geleitet sein, von einer vielseitigen Kraft, Schöpfer und Leiter der deutschen Seewarte Georg von Neumayer!“

Schon zum 25jährigen Bestehen der Seewarte, als von Neumayer noch ihr Leiter war, benannte der Hamburger Senat den Stintfang in Neumayerstraße um. Es war nicht die einzige Ehrung, die Neumayer zuteil wurde. Georg von Neumayer ist in einer Figur auf der Westseite des Hamburgischen Rathauses dargestellt. Neumayer gehört zu den wenigen Reichsbeamten, die vom Hamburger Senat ein Abschiedsessen mit Empfang im Festsaal des Hamburger Rathauses erhielten.

Wladimir Köppen prägte den Geist in der Deutschen Seewarte, leitete ihre Abteilung Meteorologie und ist als einer der bedeutendsten und auch vielseitigsten Meteorologen bekannt. Er ist am 25. September 1846 in St. Petersburg geboren, dort in Rußland, auf der Krim und in Karabagh aufgewachsen, studierte in St. Petersburg, Heidelberg und Leipzig, arbeitete wissenschaftlich in Wien und St. Petersburg, bevor er nach Hamburg kam. Damit brachte er zusammen mit dem Gründer der Deutschen Seewarte, Georg von Neumayer, ein internationales Flair in das neue Institut, dem sich die Nachfolgeinstitute verpflichtet fühlen.

Die Verbundenheit des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie des Seewetteramtes mit Hamburg blieb erhalten (s. a. Titelbild). Gerade in der Weltmetropole Hamburg war es der Seewarte möglich, durch bedeutende überseeische Beziehungen und Verflechtungen Arbeitsgebiete nicht nur für Wetter und Klima über den Meeren, sondern auch in fernen Kontinenten aufzubauen. Die mit Köppen eingeleitete meteorologische Beratung des Handels und der Wirtschaft wird heute vom Seewetteramt weiterhin wahrgenommen.

Köppen schrieb:

„Die Anregungen, welche die Bedürfnisse der Praxis stellen, sind für die wissenschaftliche Arbeit sehr hoch anzuschlagen. Überall im Fortschritt unseres Naturerkennens ist die 'Stellung der Frage' der erste notwendige Schritt zum Weiterkommen, und diesen ersten Schritt liefert in unzähligen Fällen die Praxis. Die Wissenschaft schuldet und weiß ihr Dank dafür, verlangt aber auch das Recht, die weiteren Fragen, die sich bei Verfolgung dieses Zieles ergeben, zu verfolgen.“

Wladimir Köppen klassifizierte die Weltklimate durch wenige Buchstaben. Das war in damaliger Zeit ungewohnt. Kaufleuten ermöglichte er mit dieser Darstellungsart einen raschen Überblick der klimatisch bedingten Gefahren.

Die Ordnung des atmosphärischen Geschehens und eine Standardisierung der Aussagen hatten hohe Geltung in der Seewarte. Van Bebber stand mit der Veröffentlichung bevorzugter Zugbahnen von Depressionen sowie der Berechnung von Klimatafeln für die deutsche Küste in dieser Arbeitsrichtung. Er begrüßte 1895, daß es nunmehr gelungen sei, eine „gewissermaßen befriedigende Charakteristik der Witterungserscheinungen“ aufzustellen und so „eine wissenschaftliche, entwicklungsfähige Grundlage für die Wettervorhersage sowohl im Interesse der Küstenbevölkerung als auch der Landwirtschaft“ geschaffen sei. „Denn das meteorologische Arbeitsfeld, welches seit dem grauesten Altertum von Unkraut ganz überwuchert war, ist zum größten Theil von demselben gesäubert, und nur hier und dort treibt manchmal noch der alte Aberglaube seine wunderlichen Auswüchse, die aber meist nur beim ungebildeten Publikum einige Beachtung finden; dann aber sind die scheinbar verworrenen atmosphärischen Vorgänge in ein übersichtliches System eingeordnet worden, so daß Gruppen typischer Witterungserscheinungen aufgestellt werden konnten, auf deren Grundlage man eine entwicklungsfähige Wettervorhersage aufzubauen vermochte.“

Seit 1876 veröffentlichte die Deutsche Seewarte tägliche Wetterkarten. Van Bebber stellte 1895 heraus, „so finden wir eine solche Mannigfaltigkeit in den Wetterlagen und in den Witterungsvorgängen, daß unter vielen Tausend Wetterkarten nicht eine der anderen gleicht; indessen lassen sich gewisse typische Wetterlagen unterscheiden, welche mit geringen Modifikationen häufig wiederkehren und welche ganz bestimmte Witterungscharaktere darstellen, so daß es möglich ist, alle Wetterkarten nach bestimmten Gesichtspunkten in ein festes System einzuordnen, wobei auch die Umwandlung der einen Wetterlage in eine andere berücksichtigt wird.“ Van Bebber beklagte vor 100 Jahren, daß die Wetterkarten der Seewarte „erst mit großer Verspätung zu Händen der Interessierten, außer Hamburg überall frühestens am Morgen des der Ausgabe folgenden Tages, theilweise am zweiten Tage nach der Ausgabe“ seien. Es würde sich nun empfehlen, „jede Wetterkarte mit einer Nummer zu versehen, welche mit der Nummer einer analogen Karte im Wetteratlas übereinstimmt.“ Zur Beschleunigung sollte diese Nummer zur ersten Information telegraphisch durchgegeben werden. Ein modernes Telefax, um die Laufzeiten der Post zu verkürzen?

In der Zeitschrift *Überall* des Deutschen Flottenvereins, Januar 1900, ist zu lesen:

„Ein tiefes Minimum über England macht stürmische westliche Winde wahrscheinlich“ – das kommt dem seeunkundigen Binnenländer wohl in den Sinn, wenn er von der Seewarte sprechen hört. Eigentlich weiß eine Landratte nur, daß da oben auf dem Stintfang an der Elbe das Wetter mehr oder weniger genau vorausgesagt wird.“

Auch heute denken viele Hamburger beim Anblick der Nachfolgeinstitute daran, daß dort oben über dem alten Elbtunnel an den Landungsbrücken das Wetter vorhergesagt und vor Sturm gewarnt wird. Das Seewetteramt ist als Wettervorhersage- und Warnzentrale für Norddeutschland und die Seegebiete allgemein bekannt. Hiermit setzt sich eine alte Tradition fort.

Auf vielseitigen weiteren Arbeitsgebieten bestanden damals und bestehen heute darüber hinaus enge Beziehungen gerade zur Hamburgischen Kaufmannschaft, zum Handel mit Übersee, der Industrie und den Medien, zum Senat und den Behörden dieser Weltmetropole, im norddeutschen Raum, in Deutschland und der Welt.

Auch in früheren Zeiten beklagten Wissenschaftler die zu starke Einschränkung ihrer Tätigkeiten durch die bürokratische Obrigkeit. Der bekannte Klimatologe und Meteorologe Wladimir Köppen bedauerte vor neunzig Jahren (1903), daß nach der Pensionierung Georg von Neumayers tiefgreifende Veränderungen an der Deutschen Seewarte vor sich gingen. Seit einer Reihe von Jahren hatte das Reichsmarineamt, daß die Seewarte mehr als eine Marinebehörde denn als ein wissenschaftliches Institut ansah, einen unbeliebten Seeoffizier zunächst als Direktionsmitglied und nach der Pensionierung Neumayers als Admiral und Direktor der Seewarte eingesetzt.

Köppen schrieb:

„Der neue Chef war als Vorgesetzter in der Marine unbeliebt gewesen und wurde dies denn auch reichlich bei der Seewarte. Da er von wissenschaftlicher Arbeit keine Vorstellung hatte, sah er seine Aufgabe darin, einen möglichst strammen, bürokratischen Dienst einzuführen. Sein Bemühen war durchaus ehrlich, er verstand es eben nicht anders. So wurden denn für alles umständliche Formen und fortwährende Termine eingesetzt. Wie die Arbeit war, wurde nicht gefragt, aber der Termin und die Bürozeit mußten eingehalten werden – für wissenschaftliches Arbeiten nicht sehr günstige Bedingungen. Nun, ich hatte es darin noch gut, da ich an drei Tagen in der Woche auf der Drachenstation in Großborstel und zu Hause arbeitete. An diesen Tagen und an den Abenden konnte ich hauptsächlich Wissenschaft fördern, an der Seewarte fehlte die Konzentration dazu.“

Köppen mag verärgert über die Obrigkeit der Admiralität in Berlin gewesen sein, als er nach dem Dienst auf seinem Heimweg die vielen Drachen über dem Heiligengeistfeld in der Luft stehen sah. Es entstand in ihm der Wunsch, damit Instrumente in die Luft zu schicken. Aber er meinte, daß „dazu Erfindungen und unendliche Versuche gehörten, die wohl reiche Privatleute, aber nicht vielbeschäftigte Beamte machen können.“ Er schafft es. 1903 stiegen regelmäßig täglich über Hamburg und wenig später von Bord mehrerer Schiffe Drachen mit meteorologischen Instrumenten in die Luft. Zu jener Zeit bestanden in Europa nur zwei weitere Drachenstationen, die regelmäßig Aufstiege durchführten, und zwar in St. Petersburg und in Lindenberg. Der Begriff „Aerologie“ für diesen neuen Zweig der Meteorologie wurde durch Köppen vorgeschlagen und international eingeführt.

Das Seewetteramt setzt heute auf fünf Handelsschiffen und zwei Forschungsschiffen im internationalen Projekt ASAP automatisierte aerologische Stationen ein. Sonden an Ballons erkunden die Atmosphäre über den Ozeanen bis über 20 km Höhe und setzen ihre Messungen vollautomatisch über Satellit an die meteorologischen Zentralen ab.

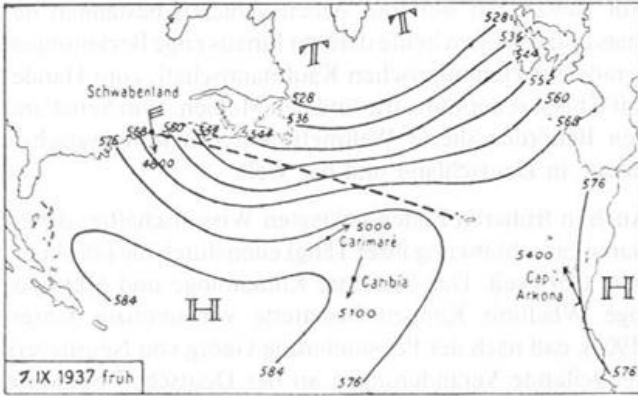


Bild 3: Höhenwetterkarte vom Nordatlantischen Ozean am 1. Sept. 1937, morgens.

Die Deutsche Seewarte gab nicht nur die erste deutsche Wetterkarte in Hamburg 1876, ein Jahr nach ihrer Gründung, heraus, sondern erarbeitete auch die ersten Höhenwetterkarten. Ab 1. 10. 1934 wurden Höhenkarten regelmäßig veröffentlicht. Scherhag, Seilkopf, Rodewald und Rudloff trieben diese Entwicklung voran.

Scherhag entwickelte an den Höhenwetterkarten seine Divergenztheorie. Die Begriffe „Delta“ und „Einzugsgebiet“ einer Frontalzone entstanden. Rodewald beschrieb die „Dreimasseneck-Situation“ und Seilkopf bezeichnete den in das Delta „hineinschießenden Höhenstrom“ 1938 als Strahlstrom, den die Amerikaner im Kriege vor Japan erneut entdeckten und Jetstream nannten. Als erster beschrieb ihn Georgi nach Beobachtungen über Island während einer Expedition. Auch die berühmten Expeditionen Alfred Wegeners nach Grönland wurden von der Deutschen Seewarte organisiert.

Die Erfahrungen aus diesen Expeditionen dienten den frühen Beratungen der transatlantischen Luftschiffahrt durch die Seewarte. Die Zusammenarbeit der Seewarte mit der Luftfahrt ermöglichte die ersten Fahrten um die Erde mit Luftschiffen und die Linienflüge der Lufthansa mit Flugbooten und auch viermotorigen Propellerflugzeugen nach Nord- und Südamerika sowie Ostasien. Ab 1935 nahmen rund 10 deutsche Handelsschiffe laufend Höhenwindmessungen vor.

Mit den Brüdern Wegener, Kuhlbrodt und vor allem unter Leitung von Seilkopf wurde nach 1920 aus dem Flugwetterdienst in Hamburg der Ozean-Flugwetterdienst mit bis zu vier Wetterschiffen im Atlantik geschaffen. Nachdem ab 1925 zur Betreuung der Hochseefischerei ein funktelefonischer Wetterbericht für die Fischfangplätze um Island, vor Norwegen und in der Nordsee herausgegeben wurde, versuchte die Deutsche Seewarte 1926 die Bildübertragung von Wetterkarten. In diesen Jahren erwarb der Wirtschafts- und Landwirtschaftswetterdienst der Seewarte unter der Leitung von Gilcher zunehmende Anerkennung.

Die Deutsche Seewarte wuchs vor dem ersten Weltkrieg ohne Verzug zu einer erfolgreichen nautisch-meteorologisch-hydrographischen Reichsanstalt an und zählte vor dem zweiten Weltkrieg zu den führenden Fachinstituten der Welt. Diese wissenschaftlich erfolgreiche und auch international sehr anerkannte Tätigkeit endete jäh mit dem Zusammenbruch 1945. Es blieb eine Ruine, ein Trümmer-

haufen. Nach ihrer Auflösung, gemäß Beschluß des Kontrollrates der Alliierten 1945, blieben alle Versuche einer Wiederbelebung der Seewarte erfolglos.

Die Seewarte war ein erfolgreiches Dienstleistungsinstitut, geprägt durch angewandte Forschung und ihre Nutzung für die Praxis. Kommerzielles Denken und Verwaltung standen nicht im Vordergrund. Die Seewarte war ein Staatsinstitut, das in seiner wissenschaftlichen Leistung noch immer Vorbild ist.

Nach Auflösung der Deutschen Seewarte am 31. März 1946 durch die Alliierten gingen die meteorologischen Tätigkeitsbereiche auf das Meteorologische Amt für die britische Besatzungszone, später Meteorologisches Amt für Nordwestdeutschland, über. Die nautischen und hydrographischen Aufgaben übernahm das Deutsche Hydrographische Institut.

Mit Wirkung vom 1. April 1952 wurde das Meteorologische Amt für Nordwestdeutschland in die durch Bundesgesetz zu schaffende Bundesanstalt Deutscher Wetterdienst überführt und am 1. Januar 1953 in das Seewetteramt des Deutschen Wetterdienstes umgewandelt.

Das Gesetz über den Deutschen Wetterdienst vom 11. November 1952 war die Voraussetzung für die Einrichtung der Anstalt Deutscher Wetterdienst. Damit schuf der Deutsche Bundestag auf Bundesebene eine einheitliche Organisation des Wetterdienstes.

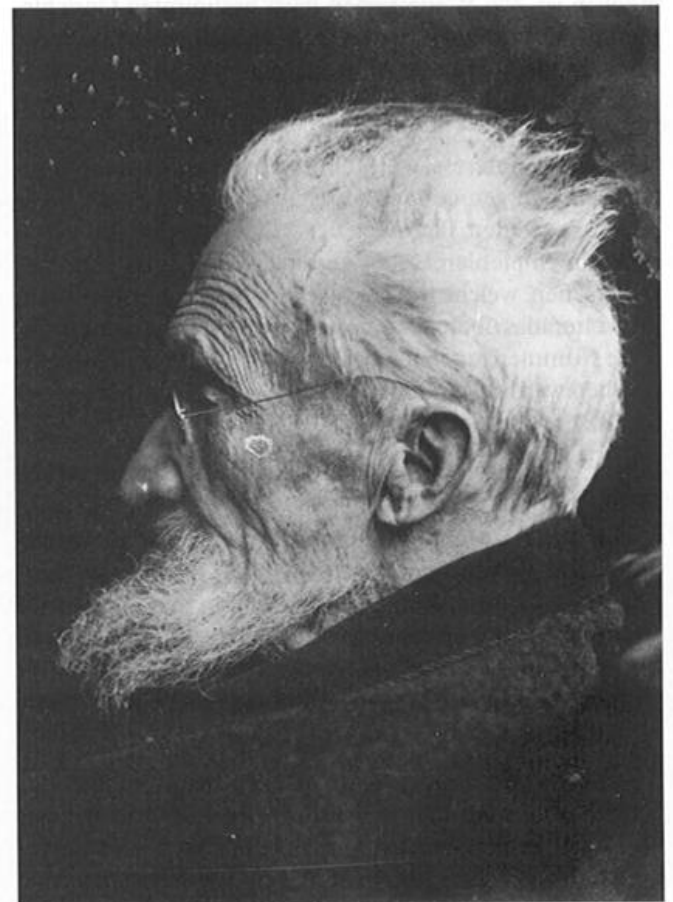


Bild 4: Wladimir Köppen, 1846-1940, Professor und Meteorologe der Seewarte.



Bild 5: Wilhelm v. Freeden, 1822-1894, Gründer und Direktor der Norddeutschen Seewarte.

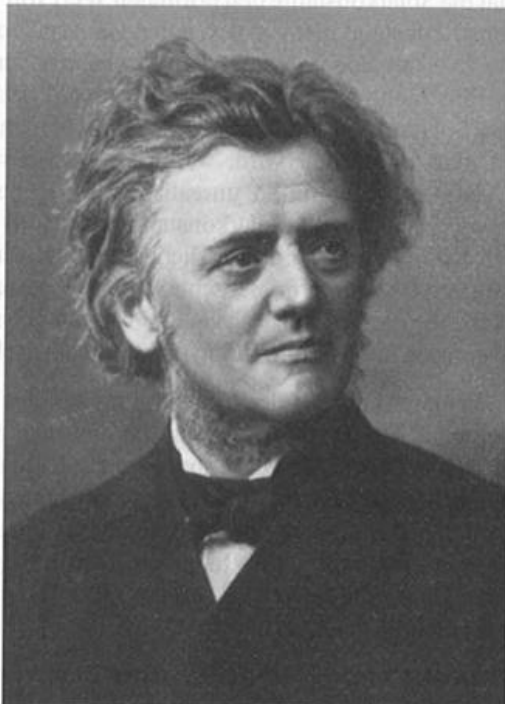


Bild 6: Georg v. Neumayer, 1826-1909, Erster Direktor der Deutschen Seewarte.

Beide Bundesoberbehörden wurden dem Bundesminister für Verkehr unmittelbar nachgeordnet. Das Deutsche Hydrographische Institut, heute Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, sowie das Seewetteramt im Deutschen Wetterdienst führen die Aufgaben der Seewarte als wissenschaftliche Dienstleistungs-Institutionen fort.

Im Seewetteramt werden die mit Köppen begonnenen Forschungsarbeiten zum maritimen Klima fortgesetzt. Sie sind allerdings, entsprechend den sich wandelnden und meist von staatlichen Institutionen herangetragenen Anforderungen, einem steten Wandel unterworfen. Der Grundsatz der Anwendungsorientierung wurde dabei aber nicht aufgegeben. Hieraus ist eine enge Zusammenarbeit mit Institutionen auch anderer Fachrichtungen entstanden.

Nach dem Geophysikalischen Jahr 1958/59 wurden Höhenkarten der Tropen durch Rudloff und Höhn analysiert und veröffentlicht. Auch für die Aufnahme des transatlantischen Luftverkehrs und des Düsenflugverkehrs erfolgten im Seewetteramt die notwendigen Vorarbeiten. Daraus entwickelten sich weitere Aktivitäten in Zusammenarbeit mit Universitätsinstituten auf den großen deutschen und internationalen Expeditionen im Atlantik und Indischen Ozean. In neuerer Zeit liegt ein wesentlicher Schwerpunkt der Forschungsarbeit in der detaillierten Analyse der Windverhältnisse auf See und im Küstenbereich. Die Ergebnisse finden vielfältige Anwendung in der Meerestechnik, dem Küstenbauwesen, der Windenergienutzung und vor allem im Küstenschutz.

Das Seewetteramt bietet heute eine vielfältige Palette von Dienstleistungsangeboten. Dem Schutz menschlichen Lebens und des Volksvermögens dienen die Warndienste, die Wettervorhersagen für die Schifffahrt und in zunehmenden Maße auch für Segler und Surfer sowie Spezialberatungen für Seetransporte. Starke Zunahme hat das Schiffsrouteing erfahren, das einen ökonomischeren und sichereren Schiffsverkehr ermöglicht. Ferner werden meteorologische Gutachten und Auskünfte für viele Bereiche des marinen Transportwesens, der offshore-Industrie, der Ex- und Importwirtschaft, des Versicherungswesen, der Seegerichtsbarkeit und anderem angeboten. Diese Dienstleistungen werden durch eine moderne Informationstechnik und leistungsfähige Datenverarbeitung schnell und flexibel erbracht. Das Seewetteramt ist dabei, sich zu einem maritimen Dienstleistungszentrum zu wandeln.

Kaufmännisches sparsames Handeln und kundenbezogenes Denken ist eine der Hamburger Tugenden. Sie prägte die Seewarte und die Nachfolgeinstitute. Die Ausrichtung und Arbeit der Deutschen Seewarte für die Praxis, Wirtschaft und Schifffahrt gilt gerade heute. Die Wissenschaftler in den Nachfolgeinstituten der Norddeutschen Seewarte arbeiten anwendungsbezogen. Auch im Zuge der Entwicklung der Europäischen Gemeinschaft zu einer großen politischen Union bleiben die Aufgaben der maritimen Behörden bestehen. In der über einhundertjährigen Tradition einer engen Zusammenarbeit aller Wetterdienste der Erde spielt das Seewetteramt in der aufblühenden Weltstadt Hamburg auch zukünftig eine wichtige Rolle im Bereich der maritimen und überseeischen Meteorologie.

## Die Chaostheorie und ihre Relevanz in der Meteorologie

Es soll die Bedeutung der Chaostheorie für die Meteorologie erörtert werden. Bekanntlich ist es ja ein Meteorologe, Edward Lorenz, der die Chaostheorie „ins Rollen“ gebracht hat. Seine berühmte Arbeit „Deterministic Nonperiodic Flow“ aus dem Jahre 1963 blieb allerdings zunächst etwa 10 Jahre ungelesen. Dann erst wurde ihre Bedeutung erkannt, nun aber weniger von Meteorologen, sondern eher von Mathematikern und Physikern. Noch heute ist die Zahl der meteorologischen Veröffentlichungen auf diesem Gebiet eher bescheiden zu nennen. Ein Grund dafür mag sein, daß das Verhalten eines chaotisch gewordenen Systems kaum zu überblicken ist, wenn das System mehr als drei Freiheitsgrade hat. Die Atmosphäre hat aber augenscheinlich sehr viel mehr Freiheitsgrade!

Um dennoch die Anwendbarkeit der Chaosforschung auf Wetter und Klima zu diskutieren, beginnen wir mit einem sehr einfachen Modell der Atmosphäre, einem Klimamodell mit sogar nur einem Freiheitsgrad, der global gemittelten Temperatur  $T$ . Das Modell reagiere mit Änderungen dieser Temperatur auf ein Netto-Strahlungsangebot, d. h. auf eine Differenz zwischen solarer Einstrahlung und terrestrischer Ausstrahlung:

$$C \frac{dT}{dt} = \text{solare Einstrahlung} - \text{terrestrische Ausstrahlung}$$

Es reagiert natürlich umso schneller, je kleiner die globale Wärmekapazität  $C$  ist. Die ankommende Einstrahlung läßt sich schreiben mit der Solarkonstanten  $I$  und der Albedo  $\alpha$ , d. h. der Reflexion der Solarstrahlung, und die Ausstrahlung mit der effektiven Emissivität  $\varepsilon$ , welche die terrestrische Gegenstrahlung berücksichtigt, sowie der Boltzmannkonstanten  $\sigma$ :

$$C \frac{dT}{dt} = \frac{1}{4} I (1 - \alpha) - \varepsilon \sigma T^4$$

Wenn alle diese Parameter konstant sind, ist nur die Ausstrahlung temperaturabhängig, und zwar im Sinne einer negativen Rückkopplung: Wenn es wärmer wird, wird auch mehr Energie abgegeben! Die Ausstrahlung wirkt also stabilisierend. Es stellt sich bei „normalen“ Werten der Parameter eine Temperatur von etwa  $15^\circ\text{C}$  ein, und zwar unabhängig von der vorgegebenen Anfangstemperatur. Die Temperatur  $15^\circ\text{C}$  nennt man deshalb einen Attraktor in diesem extrem einfachen Klimamodell.

Eine etwas bessere Klimamodellierung erreicht man, wenn man wenigstens die Auswirkung von Schnee und Eis auf die Reflexion  $\alpha$  der Solarstrahlung berücksichtigt. Sellers parameterisierte 1969 diese Eis-Albedo-Rückkopplung mit Hilfe von zwei empirischen Konstanten  $a$  und  $b$ :

$$\alpha = a - b T$$

Mit steigender Temperatur nimmt die Reflexion  $\alpha$  ab, weil die reflektierenden Schnee- und Eisflächen vermehrt schmelzen. Die Modellgleichung sieht nach dem Einsetzen von  $\alpha$  so aus:

$$C \frac{dT}{dt} = \frac{1}{4} I (1 - a) + \frac{1}{4} I b T - \varepsilon \sigma T^4$$

Mit der temperaturabhängigen Albedo wird auch die Gewinnseite der Energiebilanz temperaturabhängig (im 2. Term der rechten Seite), nun aber im Sinne einer positiven Rückkopplung, also entstabilisierend: Temperaturerhöhung und Schmelzprozesse verringern die Reflexion der Solarenergie und erhöhen damit die Temperatur noch weiter. Wir haben also eine entstabilisierende Rückkopplung 1. Grades und eine stabilisierende Rückkopplung 4. Grades in  $T$ .

Durch Vorwärtsdifferenzen kann diese Differentialgleichung in eine Iterationsgleichung überführt und auf einem PC gelöst werden. Die Ergebnisse, die nun gezeigt werden sollen, können nicht als Aussagen eines realistischen Klimamodells gewertet werden. Sie sollen nur grundsätzlich mögliche Verhaltensweisen eines Modells demonstrieren, welches, wie aktuelle komplexe Klimamodelle, deterministisch prognostiziert. Lorenz hat, in einer anderen Arbeit als der vorhin genannten, sogar die noch viel einfachere logistische Iterationsgleichung als „Metapher“ für mögliches atmosphärisches Verhalten verwendet.

Wir sehen hier das Zeitverhalten der Temperatur in 8 verschiedenen Modell-Experimenten (Bild 1 oben). Diese unterscheiden sich dadurch voneinander, daß die Solarkonstante jeweils unterschiedliche Werte hat. Die Zeit- und Temperaturachsen sind nicht beschriftet, da uns nur der qualitative Temperaturverlauf interessieren soll. Alle Prognosen starten aber bei  $0^\circ\text{C}$ ! Beim dritten Experiment von unten hat die Solarkonstante den normalen Wert von 100%. Die Temperatur steigt hier von  $0^\circ\text{C}$  auf einen Attraktorwert von etwa  $15^\circ\text{C}$  an, ebenso wie in dem Modell mit der konstanten Einstrahlung. Attraktoren erhält man auch bei erhöhten Solarkonstanten, wobei es natürlich nicht verwundert, daß es wärmer wird, wenn die Sonne stärker scheint. Die Verwendung so unrealistischer Größenordnungen wie 300% für die Solarkonstante sollte uns nicht stören, da wir hier nur an grundsätzlichen, qualitativen Verhaltensweisen eines deterministischen Systems interessiert sind. (Nebenbei gesagt, mag es ja auch Planeten geben, für die eine derartig hohe Einstrahlung nicht unrealistisch ist!).

Auch bei einer Abnahme der Einstrahlung von 3% ergibt sich noch eine Attraktor-Temperatur, die natürlich niedriger liegt. Schon bei 4% Abnahme aber wird das Klima instabil, die Temperatur fällt ins Bodenlose, bzw. bis zu einer sogenannten „Blitz-Eiszeit“, deren Temperatur dann wieder stationär wird, weil ja die Reflexion nicht unbegrenzt zunehmen kann. (Dieser zweite Attraktor der Temperatur ist hier nicht eingezeichnet).

Wir stellen also fest, daß in einem weiten Temperaturbereich sich die stabilisierende Rückkopplung der Ausstrahlung durchsetzt, so daß man einen Attraktorwert der Temperatur erhält. Jedoch dürfen wir die Sonneneinstrahlung

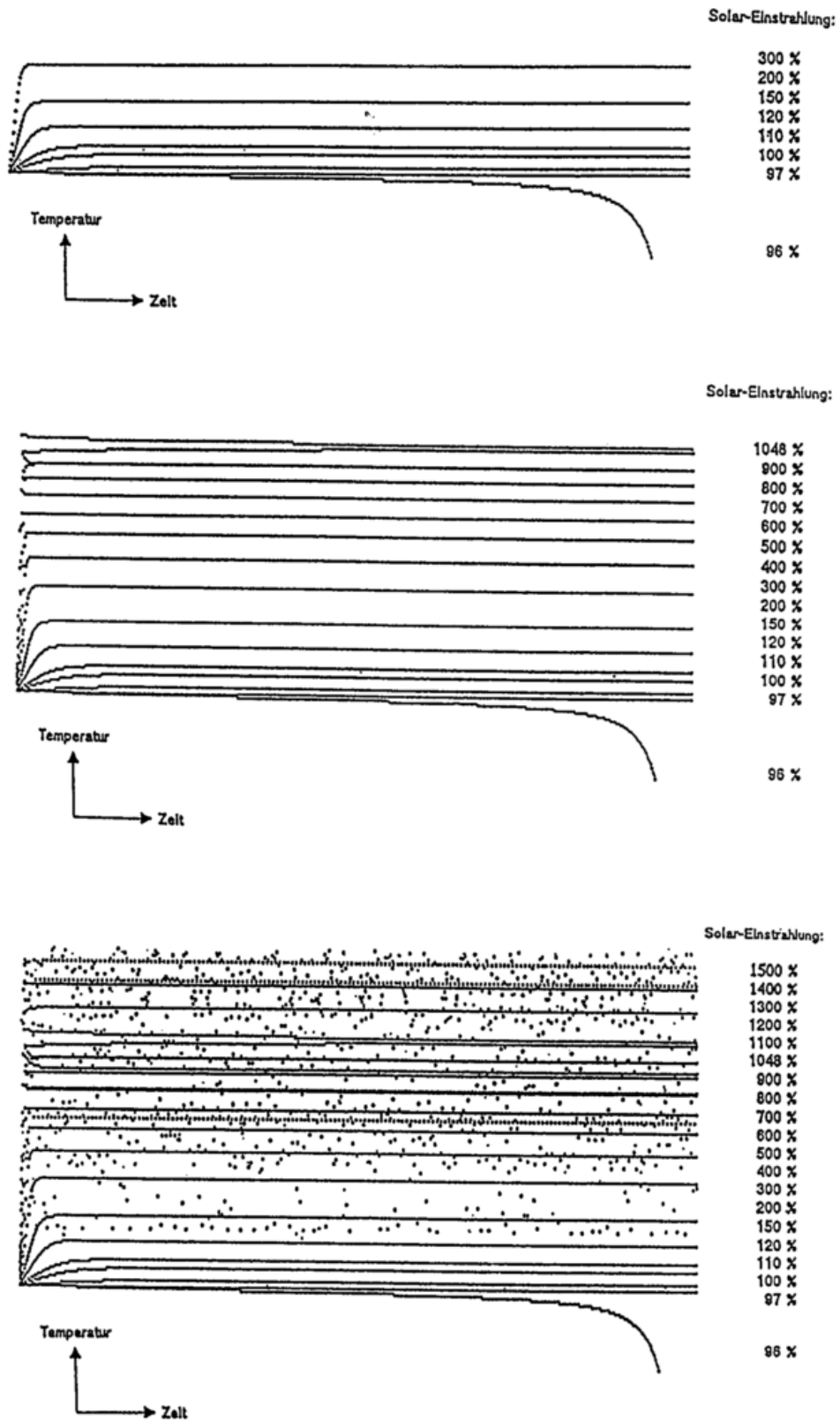


Bild 1: Zeitverhalten der Temperatur im Strahlungsbilanz-Klimamodell bei unterschiedlichen Werten der solaren Einstrahlung.

oben: die ersten Experimente: „Blitz-Eiszeit“ und einfache Attraktoren

Mitte: weitere Experimente bis zur ersten Periodenverdopplung

unten: weitere Experimente bis zum deterministischen Chaos

nicht zu niedrig wählen. Das läßt sich auch verstehen: Die stabilisierende Rückkopplung geht bei Temperaturerniedrigung mit der 4. Potenz von T zurück, die entstabilisierende Rückkopplung aber nur linear! Irgendwann muß die Entstabilisierung dominieren!

Was passiert aber, wenn man die Solarkonstante noch weiter als bisher erhöht (Bild 1, Mitte)? Bei 900% Einstrahlung wird die Attraktor-Temperatur erst nach einem Einpendeln von unten und oben her erreicht. Das Einpendeln dauert bei noch höheren Strahlungswerten immer länger, bis es bei 1048% zu einer sogenannten Perioden-Verdopplung kommt: Der Endzustand ist jetzt gekennzeichnet durch 2 Temperaturen, die alternierend angenommen werden. Der Attraktor besteht jetzt aus einem 2-fachen Zyklus.

Wie es weitergeht, sehen wir im Bild 1 unten. Es kommt zu weiteren Periodenverdopplungen. Der Attraktor ist bald ein 4er-Zyklus, durch die „lockere“ Punktierung gerade noch zu erkennen, und dann ein Achterzyklus, der hier nicht mehr zu sehen ist. Die Periode verdoppelt sich nach immer kleineren Zuwächsen der Solarkonstanten. Das Parameterintervall, das zu einer bestimmten Periodenverdopplung führt, ist immer  $4.669 \dots$  mal kleiner als das Parameterintervall, das zur vorigen Periodenverdopplung geführt hat. Dieser Quotient wird heute oft Feigenbaumkonstante genannt, obwohl Großmann und Thomae den gleichen Sachverhalt ein Jahr vorher veröffentlicht haben.

Aus der Existenz dieser Konstanten folgt, daß es eine Obergrenze gibt, oberhalb derer keine Periodenverdopplungen mehr stattfinden. Alle Periodenverdopplungen finden vor dieser Parameterobergrenze statt. Nichtsdestoweniger kann eine Gleichung aber größere Parameterwerte annehmen. Wir erhalten dann unperiodisches Zeitverhalten! Das sind die „umherstreuenden“ Punkte im Bild. Die Gleichung ist aber nach wie vor deterministisch! Daher nennt man diesen Effekt Deterministisches Chaos.

Hier ist nun auch die starke Kausalität verletzt: Wenn man die gleichen Iterationen noch einmal durchführen würde, aber mit gering veränderten Starttemperaturen, bekäme man vor dem Erreichen des Chaos die gleichen Attraktoren, aber die unperiodischen Zustandspunkte lägen gänzlich anders. Ähnliche Ursachen hätten keine ähnlichen Wirkungen! Erst eine unendlich genau bekannte Anfangsbedingung ergäbe eine genaue Prognose im Chaosbereich!

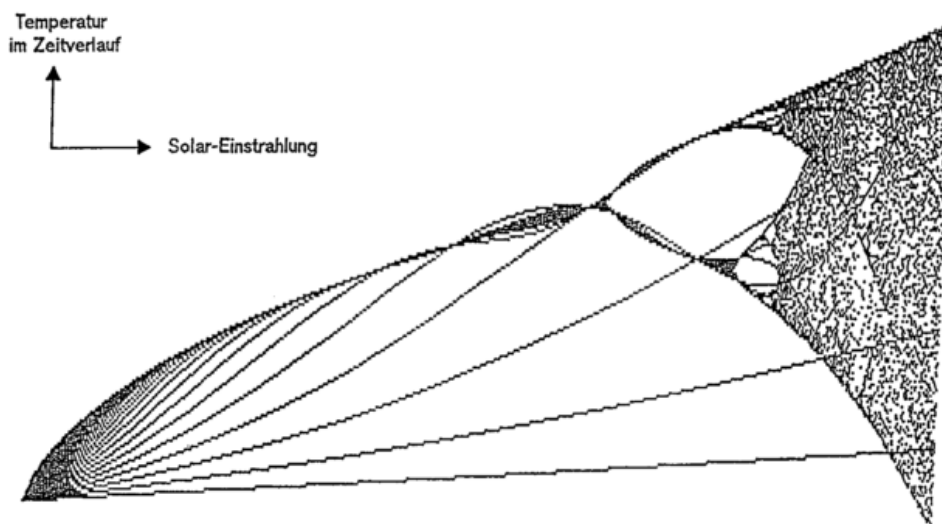


Bild 2 zeigt den gleichen Sachverhalt, nur in einer anderen Darstellung. An der x-Achse ist nun nicht mehr die Zeit aufgetragen, sondern die Solarstrahlung selbst. Der Zeitverlauf der Temperaturwerte wird in y-Richtung angetragen. Jede senkrechte Säule von Punkten ist also ein selbständiges Iterationsexperiment bei einer bestimmten Solareinstrahlung. Die meisten Iterationspunkte werden hierbei jedoch aufeinander gezeichnet, weil ja der jeweilige Attraktor ziemlich schnell erreicht wird. Ab Solarstrahlung 900% ist wieder das beiderseitige Einpendeln auf die Attraktortemperatur zu sehen, bei 1048% die erste Periodenverdopplung. Die zweite Periodenverdopplung erfolgt  $4.669 \dots$  mal so schnell, die nächste kann man kaum noch erkennen. Bei 1300% haben alle Periodenverdopplungen stattgefunden. Danach setzt deterministisches Chaos ein.

Es ist also nicht so, daß das Zeitverhalten nur chaosartig wirkt, weil unüberschaubar viele Perioden entstanden sind! Dieses wäre die Landausche Turbulenzvorstellung, die hier nicht zutrifft. Chaos ist also nicht dadurch charakterisiert, daß die nichtlineare Wechselwirkung unüberschaubar viele Perioden erzeugt hat, sondern dadurch, daß keine Perioden vorhanden sind. Daß aus deterministischen Gleichungen unperiodisches, also nicht extrapolierbares Verhalten entstehen kann, sollte prognostizierende Meteorologen natürlich stark interessieren.

Natürlich konnte man auch schon vor Lorenz unperiodisches Verhalten. Allerdings wurde es dann immer mit instabilem Verhalten identifiziert! Daß unperiodisches Verhalten und Stabilität zugleich auftreten können, ist das eigentliche Neue an diesem Verhalten: Obwohl der Zustandspunkt sich unperiodisch bewegt, bleibt er global stabil, er bleibt offenbar in einem Temperaturbereich gefangen. Der ganze Teilbereich ist ein Attraktor, und da man sich unperiodisches, stabiles Verhalten nicht vorstellen konnte, nannte man ihn seltsamen Attraktor. – Wenn man die Solarstrahlung noch mehr erhöht, geht diese globale Stabilität allerdings verloren, dann existiert auch kein seltsamer Attraktor mehr.

Periodenverdopplungen sind Beispiele für Lösungsverzweigungen, die auch Bifurkationen genannt werden. Ein Bifurkationsdiagramm erhält man aus diesem Bild, wenn man auf die Darstellung der Zustandspunkte vor dem Erreichen der Attraktor-Zustände verzichtet, wenn man also

Bild 2: wie Bild 1, jedoch mit der solaren Einstrahlung als Abszisse

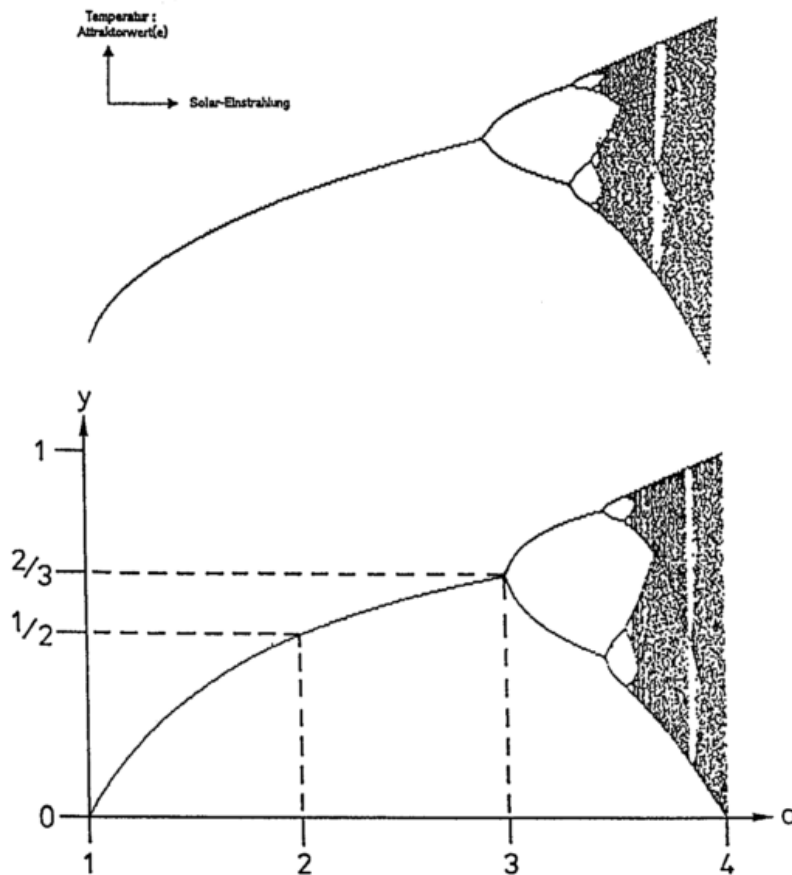


Bild 3: oben: wie Bild 2, jedoch ohne Darstellung der Temperaturwerte vor dem Erreichen des jeweiligen Attraktors (Bifurkationsdiagramm des Strahlungsbilanz-Klimamodells)  
unten: Bifurkationsdiagramm der logistischen Iterationsgleichung

nur die Attraktoren in Abhängigkeit des Parameters aufträgt.

Das Einschwingverhalten vor den Periodenverdopplungen ist hier natürlich nicht mehr zu sehen (Bild 3 oben). Dafür werden die Verzweigungen deutlicher. Auch die 8-er Periode ist hier noch zu erkennen. Interessant ist auch, daß nach allen Verzweigungen, nämlich mitten im Chaos, ein schmaler Parameterbereich existiert, in dem das Chaos kurz aussetzt. – Überhaupt ist ein ganz ähnliches Bild in jüngster Zeit sehr bekannt geworden. Das liegt daran, daß es vielfach veröffentlicht wurde, auch in der populären Literatur, wo es oft „Feigenbaum“ genannt wird. Dabei handelt es sich um das Bifurkationsdiagramm der logistischen Gleichung, die schon einmal erwähnt wurde, und die hier zum Vergleich ebenfalls iteriert wurde:

In Bild 3, unten, sehen wir zum Vergleich auch das Bifurkationsdiagramm der logistischen Gleichung, die nur einen Kontrollparameter  $a$  hat. Wie schon erwähnt, hat Lorenz diese Gleichung als Prototyp für Klimaverhalten angesehen. Die verblüffende Ähnlichkeit beider Bifurkationsdiagramme mag eine weitere Rechtfertigung dafür sein. Mathematiker wundert diese Ähnlichkeit allerdings nicht, da sie den Typ von Gleichungen kennen, bei denen ein solches Verhalten von vornherein feststeht. Interessant ist, daß es auch bei der logistischen Gleichung ein „geordnetes Fenster“ mitten im Chaos gibt. Um dieses genauer zu untersuchen, spreizen wir nun die  $x$ -Achse im rechten Teil des unteren Bildes:

Die auseinandergezogene  $x$ -Achse im oberen Bild 4 zeigt, daß offensichtlich viele geordnete Fenster vorhanden sind, (genauer gesagt, sind es sogar unendlich viele!). All diese Fenster enthalten selbst wieder kleine komplette „Feigen-

bäume“! Die Vergrößerung des eingerahmten Ausschnittes im mittleren Bild 4 zeigt nun: Der „Feigenbaum“ im Fenster enthält auch wieder Fenster (wiederum unendlich viele!), wieder mit jeweils einem Feigenbaum, (unteres Bild 4), der wieder  $\infty$  viele Fenster enthält, usw.! Man nennt dieses überwältigende Phänomen „Selbstähnlichkeit“. Sie ist auch die definierende Eigenschaft der berühmten Fraktale.

Die logistische Gleichung hat nur einen Bifurkationsparameter  $a$ . Im Klimamodell kann man aber außer der Solar-konstanten auch die Albedo und die effektive Emissivität variieren. Die Variation der letzteren ist eine rudimentäre Simulation des Treibhauseffektes. In allen Fällen (hier ohne Abbildung) ergibt sich das gleiche Feigenbaumszenarium mit allen unglaublichen Eigenschaften wie bei der logistischen Gleichung. Chaos tritt jedoch in allen Fällen nur bei extremen Parameterwerten auf, wie sie in der Realität nicht zu erwarten sind.

Man könnte sich also zu der Aussage veranlaßt sehen, daß damit die Möglichkeit zum Chaosverhalten im System „Atmosphäre“ im Prinzip nachgewiesen sei, daß aber die solaren und die atmosphärischen Parameter Werte annehmen müßten, wie sie nicht zu befürchten sind. – Daß dies eine voreilige Schlußfolgerung sein könnte, zeigt z. B. eine Arbeit von Posmentier von 1990, in der gezeigt wird, daß auch bei weniger extremen Parametern Klima-Chaos auftreten kann. Sein „Klima-Spielzeugmodell“, wie er es nennt, unterscheidet sich von diesem hier dadurch, daß statt der Parameterisierung der Eis-Albedo-Wechselwirkung eine eigene Modellgleichung für die Eisbedeckung mitgeführt wurde. Es ist also ein Modell mit zwei Freiheits-

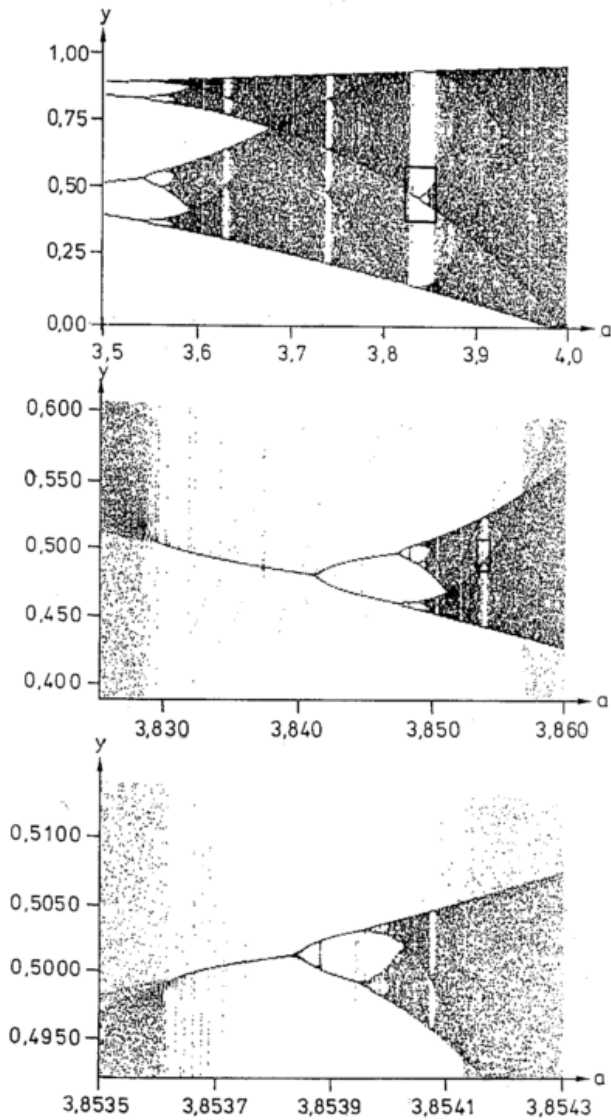


Bild 4: verschiedene Ausschnittsvergrößerungen von Bild 3 unten

graden geworden. Aber es ist vom realistischen Klimasystem natürlich fast genausoweit entfernt wie unser Modell hier mit einem Freiheitsgrad.

Es muß auch gesagt werden, daß sowieso mindestens drei Freiheitsgrade nötig sind, wenn man deterministisches Chaos durch kontinuierliche Trajektorien im Phasenraum darstellen will, und nicht wie hier durch Punktfolgen, wenn man also Differentialgleichungen statt Iterationsgleichungen verwenden möchte. (Dies ist die Aussage des "Poincare-Bendixson Theorems"). - Ferner ist bei der Beschreibung so komplexer Systeme wie der Atmosphäre neben dem deterministischen Chaos auch rein stochastisches Chaos zu beachten, d. h. reiner Zufall, der nicht daraus resultiert, daß die Freiheitsgrade nur endlich genau bekannt sind, sondern daraus, daß viele Freiheitsgrade überhaupt nicht bekannt sind, daß es also „verborgene Freiheitsgrade“ gibt. Auf dieses Problem kommen wir noch ausführlich zurück.

Es bleibt also die Frage offen, in welcher Weise die hier dargestellte, inzwischen auch theoretisch gut verstandene, komplexe Dynamik in einfachen Systemen übertragbar ist auf die komplexe Dynamik in komplexen Systemen wie der Atmosphäre. In dieser Situation soll hier versucht werden, plausible Analogien zu finden zwischen chaotisch geworde-

nen einfachen Systemen und dem Verhalten der Atmosphäre. Solche Analogieschlüsse haben natürlich keine direkte Beweiskraft, aber sie ordnen und lenken vielleicht die weitere Erforschung der komplexen Systeme.

Bei diesem Vorhaben stützen wir uns auch auf die logistische Gleichung, wenn auch in anderer Weise als seinerzeit Lorenz. Wir werden sehen, daß eine transformierte logistische Gleichung identisch ist mit einer der beiden Iterationsgleichungen der sogenannten „Bäckertransformation“, die ein einfaches gekoppeltes Gleichungssystem darstellt und damit als „Metapher“ für atmosphärische gekoppelte Systeme dienen kann.

Schauen wir uns daher das Verhalten der logistischen Gleichung noch einmal an. Wir sehen, daß der Chaosbereich viele Strukturen enthält, und zwar nicht nur in den Fenstern! Trotz unperiodischen Umherspringens der Zustandspunkte ist nicht jeder Wert auf der Ordinate gleichwahrscheinlich. Es gibt offensichtlich hochstrukturierte Verdichtungen der Aufenthaltswahrscheinlichkeit bei bestimmten  $y$ -Werten.

Bei Parameterwert 4, dem größten Wert vor dem Instabilwerden, ist das jedoch anders, da erkennen wir keine Strukturen mehr auf der  $y$ -Achse. Diese Punkte könnten genauso gut erwürfelt worden sein statt aus einer deterministischen Gleichung errechnet. Wir werden gleich sehen, daß hier das deterministische Chaos dem altbekannten stochastischen Chaos, welches die Meteorologen schon immer beschäftigt hat, in der Phänomenologie tatsächlich äquivalent ist. Außerdem halten wir fest, daß bei  $a=4$  alle  $Y$ -Werte genau zwischen 0 und 1 liegen. Hier wird sozusagen ein Einheitsintervall auf sich selbst abgebildet. Wir werden sehen, daß hier die logistische Gleichung identisch ist mit einer Iterationsgleichung bei der erwähnten Bäckertransformation, die ein Einheitsquadrat auf sich selbst abbildet.

Die logistische Gleichung mit dem Parameterwert 4 lautet:

$$Y_{n+1} = 4 Y_n (1 - Y_n)$$

Diese sowieso schon sehr einfache Gleichung kann noch einmal ganz verblüffend vereinfacht werden, wenn man diese Variablentransformation von  $Y_n$  nach  $X_n$  durchführt:

$$Y_n = \sin^2(\pi X_n)$$

Ebenso wie  $Y_n$  liegt auch das Quadrat eines Sinus zwischen 0 und 1. Die Rechnung nach dem Einsetzen kann man leicht verfolgen: Aus  $Y_{n+1}$  wird  $\sin^2(\pi X_{n+1})$ , und auf der rechten Seite wird  $Y_n$  direkt eingesetzt:

$$\begin{aligned} \sin^2(\pi X_{n+1}) &= 4 \sin^2(\pi X_n) (1 - \sin^2(\pi X_n)) \\ &= (2 \sin(\pi X_n) \cos(\pi X_n))^2 \\ &= \sin^2(\pi 2X_n) \end{aligned}$$

Aus den unterstrichenen Argumenten liest man die Iteration in den transformierten Variablen  $X$  ab. Wenn  $Y_{n+1}$  aus  $Y_n$  nach der obigen Formel berechnet wird, so errechnet sich die Transformierte  $X$  gemäß  $X_{n+1} = 2X_n$ .  $X$  wird bei jedem Iterationsschritt einfach verdoppelt!

Allerdings ergibt sich durch eine solche Iteration offensichtlich kein stabiles unperiodisches Verhalten! Was haben wir falsch gemacht? Bisher ist die Transformation wegen der Periodizität von  $\sin^2$  noch nicht eindeutig. Wir dürfen

offenbar nur die Hauptwerte des Argumentes verwenden. Das wird durch diese Iterationsvorschrift sichergestellt:

$$X_{n+1} = \begin{cases} 2X_n & \text{falls } 0 \leq X_n < 1/2 \\ 2X_n - 1 & \text{falls } 1/2 \leq X_n \leq 1 \end{cases}$$

X wird verdoppelt, wie besprochen, wenn es jedoch  $\geq 1/2$  ist, wird nach der Verdoppelung eine 1 abgezogen. Offenbar wird wiederum eine Zahl zwischen 0 und 1 auf eine andere Zahl zwischen 0 und 1 abgebildet: Wie in den ursprünglichen Variablen Y, so ergibt sich auch in den transformierten Variablen X eine Abbildung des Einheitsintervalls auf sich selbst.

Besonders anschaulich und lehrreich wird diese Iteration, wenn man sie in Dualzahlen darstellt. Dazu hier ein Beispiel:

$$\begin{aligned} X_0 &= 0.10011000101110 \dots \\ X_1 &= 0.0011000101110 \dots \\ X_2 &= 0.011000101110 \dots \\ X_3 &= 0.11000101110 \dots \\ X_4 &= 0.1000101110 \dots \end{aligned}$$

Das Multiplizieren einer Dualzahl mit 2 geschieht einfach durch eine Kommaverschiebung nach rechts. Nach der Verschiebung muß eine „1“ abgezogen werden, wenn die Zahl vorher  $\geq 1/2$  war. Eine Dualzahl ist  $\geq 1/2$ , wenn die erste Nachkommastelle eine 1 ist. In unserem Beispiel ist also  $X_0 \geq 1/2$ , d. h. wir müssen nach der Rechtsverschiebung die vor das Komma „gerutschte“ „1“ abziehen. Insgesamt ist die Iterationsvorschrift offenbar dadurch zu erfüllen, daß bei jedem Schritt das Komma um eine Stelle nach rechts rutscht, und eine eventuell vor dem Komma auftauchende „1“ ersatzlos entfällt. In dieser Form heißt die logistische Gleichung auch „Bernoulli-Verschiebung“.

Wir sehen hier also auch ohne Computerrechnung den zeitlichen Ablauf, wie er sich aus einer Anfangsbedingung ergibt. Daß aus einer Anfangsbedingung der dynamische Ablauf folgt, ist nicht neu. Normalerweise muß man aber erst Gleichungen lösen, um aus den Anfangsbedingungen den dynamischen Ablauf zu ermitteln. Das Besondere an dieser Darstellung ist also, daß das Lösen von Gleichungen unnötig wird, daß man den dynamischen Ablauf direkt aus der Anfangsbedingung ablesen kann, durch eine bloße Kommaverschiebung! Damit ist die altbekannte Abhängig-

keit der zeitlichen Entwicklung von der Anfangsbedingung auf eine extrem bequeme Form gebracht worden!

Die Darstellung ist aber nicht nur sehr bequem, sondern auch sehr informativ. Die Verletzung der starken Kausalität ist z. B. sofort zu sehen: Starten wir die Iteration mit einer fast gleichen Anfangsbedingung. Sie möge sich erst in der 10. Stelle nach dem Komma unterscheiden. Diese veränderte Ziffer rückt durch die Kommaverschiebung an immer signifikantere Stellen, und nach dem 10. Schritt an die signifikanteste Stelle. Damit hat sich die Größenordnung der Prognose geändert, obwohl doch die Anfangsbedingung fast gleich war!

Ferner ist die Prognostizierbarkeit sowieso irgendwann beendet, da man Anfangsbedingungen nur mit endlicher Genauigkeit angeben kann. Man hat also in der Praxis nur eine endliche Anzahl von Ziffern nach dem Komma zur Verfügung, die von der Kommaverschiebung irgendwann „verbraucht“ ist. Dann ist das Ende der Prognostizierbarkeit erreicht! Die Zukunft ist auch deswegen unbekannt, weil keine Periodizitäten vorhanden sind, die eine Extrapolation in die Zukunft ermöglichen.

Die Unperiodizität des Zeitverhaltens bis zum Ende der Prognostizierbarkeit ist an dieser Darstellung ebenfalls abzulesen, und zwar ohne dabei mit der Feigenbaum-Konstanten und der daraus resultierenden Obergrenze für Periodenverdopplungen zu argumentieren. Eine Anfangsbedingung auszuwählen heißt ja, eine Folge von  $\infty$  vielen Nullen und Einsen auszuwählen, und wenn diese Auswahl wirklich beliebig ist, ist die Ziffernfolge nicht zu unterscheiden vom Ergebnis von Münzwürfen, dem Paradebeispiel eines Zufallsprozesses. Der determinierte Zeitverlauf entsteht aber durch Kommaverschiebungen in eben dieser Zahlenreihe! Dieser Beweis für die Unperiodizität des Zeitverhaltens stammt von Ford aus dem Jahre 1983.

Mit Bild 5 kommen wir nun zur Bäckertransformation, die ja mit der transformierten logistischen Gleichung zusammenhängen soll. Mit „Bäcker“ ist nicht der Name eines Wissenschaftlers gemeint, sondern der Beruf des Bäckers. Dieser Bäcker rollt seinen (hier „quadratischen“) Teig aus auf doppelte Länge und halbe Höhe, schneidet dann die rechte Hälfte ab und legt sie oben wieder auf (hier dunkel dargestellt). Beim nächsten Iterationsschritt geschieht das gleiche: Ausrollen, Abschneiden, Stapeln.

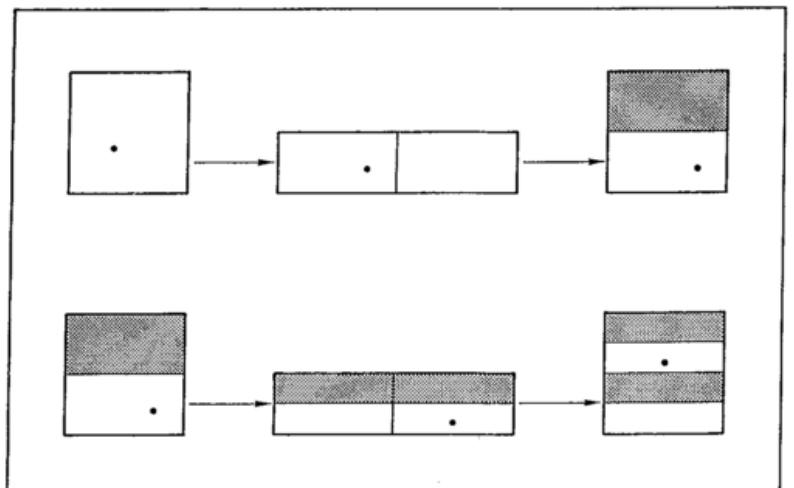


Bild 5: Das Prinzip der „Bäckertransformation“

Betrachten wir die Bewegung eines Punktes im Einheitsquadrat, dann beschreibt die transformierte logistische Gleichung gerade die Veränderungen der X-Koordinaten dieses Punktes! In unserem Beispiel ist vor dem ersten Schritt  $X < 1/2$ , der Wert X muß also gemäß Rechenvorschrift nur verdoppelt werden. Das geschieht auch: durch das Ausrollen! Vor dem zweiten Iterationsschritt ist  $X \geq 1/2$ . Daher wird nach der Verdopplung eine „1“ subtrahiert. Auch das geschieht, durch das Stapeln: Der Punkt liegt ja nun in der rechten Hälfte des Teiges, welche beim Stapeln um die Einheitsstrecke nach links wandert.

Wir können auch gleich die Änderungen der Y-Koordinaten feststellen: diese halbiert sich offenbar durch das Ausrollen, und wenn der Punkt in der rechten Hälfte liegt, wird beim Stapeln  $1/2$  addiert. Damit haben wir schon die kompletten Transformationsgleichungen der Bäckertransformation gewonnen:

$$X_{n+1} = \begin{cases} 2 X_n & \text{falls } 0 \leq X_n < 1/2 \\ 2 X_n - 1 & \text{falls } 1/2 \leq X_n \leq 1 \end{cases}$$

$$Y_{n+1} = \begin{cases} Y_n/2 & \text{falls } 0 \leq X_n < 1/2 \\ Y_n/2 + 1/2 & \text{falls } 1/2 \leq X_n \leq 1 \end{cases}$$

X wird laufend verdoppelt, Y wird halbiert, aber immer, wenn  $X \geq 1/2$  ist, wird vom verdoppelten X eine „1“ subtrahiert und zum halbierten Y „ $1/2$ “ addiert. Weil die Y-Berechnung vom X-Wert abhängt, haben wir ein gekoppeltes System. Die X-Werte steuern die Y-Werte. Die Kopplung ist allerdings einseitig, Rückkopplung von Y nach X findet nicht statt, die Gleichungen sind also vom Typ

$$X_{n+1} = f(X_n) ; Y_{n+1} = g(X_n, Y_n)$$

Steuerung in einseitig gekoppelten Systemen ist ein für die Meteorologie sehr interessantes Phänomen, denn vielfältige atmosphärische Vorgänge kann man mit solchen Modellen näherungsweise beschreiben: Z. B. steuert die Freie Atmosphäre die atmosphärische Grenzschicht, die Höhenströmung in den langen planetarischen Wellen steuert die Zyklonen, und in komplexen Klimamodellen steuern die Hydrosphäre, die Kryosphäre, sowie astronomische Parameter die ganze Atmosphäre.

Hier haben wir nun ein ganz einfaches Steuerungsmodell, mit dem wir den Einfluß des deterministischen Chaos auf diesen meteorologisch relevanten Steuerungsmechanismus durchsichtig machen können, insbesondere, wenn wir die Iterationen wieder als Bernoulli-Verschiebung darstellen:

$$\begin{array}{ll} X_0 = 0.\underline{1}0011000101110 \dots & Y_0 = 0.000101011 \dots \\ X_1 = 0.0011000101110 \dots & Y_1 = 0.\underline{1}000101011 \dots \\ X_2 = 0.011000101110 \dots & Y_2 = 0.01000101011 \dots \\ X_3 = 0.\underline{1}1000101110 \dots & Y_3 = 0.001000101011 \dots \\ X_4 = 0.\underline{1}000101110 \dots & Y_4 = 0.\underline{1}001000101011 \dots \\ X_5 = 0.000101110 \dots & Y_5 = 0.\underline{1}1001000101011 \dots \end{array}$$

Das Zeitverhalten der X-Werte, das Verdoppeln, wird ja durch Kommaverschiebungen nach rechts beschrieben, wobei eventuell vor dem Komma auftauchende „Einsen“ entfallen. Die linke Spalte zeigt das noch einmal.

Nun zum Halbieren der Y-Werte in der rechten Spalte. Halbieren geschieht im Dualsystem durch Kommaverschiebungen nach links. Laut Iterationsvorschrift muß aber noch  $1/2$  addiert werden, wenn bei den X-Werten eine 1 abgezogen wird. Addition von  $1/2$  bedeutet hier, die erste Nachkommastelle mit einer „1“ zu besetzen: Die Einsen der X-Reihe entfallen also nach der Rechtsverschiebung nicht mehr ersatzlos, sondern sie werden in die Y-Reihe eingebaut! Das ist in dem Beispiel durch die Unterstriche verdeutlicht. Durch diesen Einbau der X-Ziffern in die Y-Werte kommt die Steuerung sehr anschaulich zum Ausdruck.

Welche sonstigen Einsichten gewinnen wir durch diese Darstellung? Wie schon betont, sind Anfangsbedingungen in der Praxis immer nur mit endlicher Genauigkeit angebar, d. h. die Folge der bekannten Ziffern nach dem Komma von  $X_0$  wird von der Kommaverschiebung irgendwann „verbraucht“ sein. Dann ist die weitere Zukunft von X unbekannt, aber auch die von Y, denn man weiß ja nicht mehr, was man an der signifikantesten Stelle von Y einsetzen muß!

Solange man noch prognostizieren kann, werden die Zustände von X immer ungenauer, es sind ja immer weniger Stellen nach dem Komma bekannt. Je weiter man vorhersagen will, desto genauer benötigt man die Anfangsbedingung. Die Anfangsbedingung des steuernden Systems wird mit jedem Schritt wichtiger, sie wird also keinesfalls „vergessen“. Ganz im Gegensatz dazu wird die Anfangsbedingung von Y mit jedem Schritt unwichtiger, sie wird vergessen. Die Anfangsziffern des gesteuerten Systems „rutschen“ an immer weniger signifikante Stellen. Die signifikanten Stellen werden ja aus dem steuernden System genommen. – Das geht natürlich nicht mehr, wenn deren Ziffern verbraucht sind! Die endliche Genauigkeit der Anfangsbedingungen des steuernden Systems ist also die Ursache dafür, daß das deterministische Chaos die Vorhersagbarkeit begrenzt, und zwar sowohl des steuernden als auch des gesteuerten Systems. Determiniertheit und Nichtvorhersagbarkeit sind also auch im gesteuerten System kein Widerspruch!

Damit ist aber auch ein Einwand, der gelegentlich geäußert wird, relativiert oder gar entkräftet. Gelegentlich wird die Ansicht vertreten, daß die Chaostheorie für die Meteorologie nicht relevant sei, da viele Zwangsbedingungen das atmosphärische Geschehen stark „kanalisieren“, und daher eine hochsensible Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen nicht bestehen kann.

Wir erkennen nun: Zwar sind tatsächlich die Anfangsbedingungen eines gesteuerten (d. h. eines „kanalisierten“) Systems unwichtig, sie werden ja vergessen, ihre Ungenauigkeit kann sich nicht verstärken im Sinne einer sensiblen Abhängigkeit. Aber das steuernde System selbst kann ja chaotisch werden, und es überträgt dann seine eigene Nichtvorhersagbarkeit in der hier beschriebenen Weise! – Ferner muß beachtet werden, daß die Vorstellung der Steuerung nur eine Idealisierung darstellt, daß in der Realität auch Rückwirkungen vom gesteuerten System ausgehen.

Hier soll noch einmal auf den Unterschied zum stochastischen, zufallsbedingten Chaos hingewiesen werden. Das stochastische Chaos beeinflusst auch die Vorhersagbarkeit, aber nicht deswegen, weil die Freiheitsgrade mit nur endlicher Genauigkeit bekannt sind, sondern weil es „verborgene Freiheitsgrade“ gibt, die überhaupt nicht bekannt sind. Die Atmosphäre hat sehr viele unbekannte Freiheitsgrade. Sie enthält viele stochastische Elemente, stochastisches Chaos, neben dem nun noch entdeckten Einfluß des deterministischen Chaos. Wegen dieser Unkenntnis vieler Freiheitsgrade haben alle Modelle der Atmosphäre viel weniger Freiheitsgrade als die Atmosphäre selbst, oder anders gesagt, Modelle haben einen niedrigerdimensionalen Phasenraum als die Atmosphäre selbst, oder noch anders gesagt, der Phasenraum eines Modells ist nur eine Projektion des tatsächlichen (aber unbekannt) Phasenraumes der Atmosphäre.

Man kann auch diese Situation mit dem hier dargestellten Zweivariablen-System simulieren, nämlich dadurch, daß man so tut, als wäre nur die Reihe der  $Y_n$  bekannt. Die als bekannt vorausgesetzten  $Y$ -Werte sind die horizontalen Projektionen der Punkte im Einheitsquadrat des Bäckers. Die  $X$ -Werte dieser Punkte sollen einen verborgenen Freiheitsgrad simulieren. Selbst wenn man nun die  $Y$ -Werte mit unendlicher Genauigkeit angeben könnte, (sozusagen  $\infty$  genau gemessen hätte), und dies von unendlicher Vergangenheit bis zur Gegenwart, so wäre dennoch die Größenordnung des nächsten Schrittes in der Zukunft unbekannt. Es fehlte ja die Information des verborgenen Freiheitsgrades  $X$ . Die Nichtvorhersagbarkeit hat hier also ganz ähnliche Ursachen wie die Nichtvorhersagbarkeit des Würfels, wo man ja auch nicht alle Ursachen berücksichtigen kann, die das Würfelergebnis beeinflussen, oder wie die stochastisch bedingte Grenze der Vorhersagbarkeit eines Modells der Atmosphäre, dessen Phasenraum auch nur eine Projektion des wahren Phasenraumes sein kann. Somit verdeutlicht die Bäckertransformation als Bernoulliverschiebung nicht nur das erst vor 20 Jahren bekannt gewordene deterministische Chaos, sondern auch das altbekannte stochastische Chaos, sowie die Unterschiede zwischen beiden, die wir noch einmal zusammenfassen wollen:

Das Stochastische Chaos wirkt sich aus, wenn nicht alle Freiheitsgrade bekannt sind, selbst dann, wenn die bekannten Freiheitsgrade unendlich genau bekannt sind. (Es gibt verborgene Freiheitsgrade). Vor diesem altbekannten stochastischen Chaos kann uns noch nicht einmal eine unendlich genaue Kenntnis der Freiheitsgrade schützen, wenn wir eben nicht alle Freiheitsgrade kennen. Wenn wir andererseits eine (ebenfalls hypothetische) vollständige Kenntnis aller Freiheitsgrade hätten, aber nur von endlicher Genauigkeit, wäre das System wieder nicht vorhersagbar, da das deterministische Chaos die hochsensible Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen ins Spiel bringt.

Erst die doppelt hypothetische Forderung nach Kenntnis aller Freiheitsgrade, und mit unendlicher Genauigkeit, eliminiert die Auswirkung des stochastischen und deterministischen Chaos auf die Prognostizierbarkeit. Der Laplace'sche Dämon hat nach der Entdeckung des deterministischen Chaos noch mehr Arbeit bekommen! Er muß nicht nur alle Freiheitsgrade des Universums kennen, er muß sie

auch noch unendlich genau kennen. Dabei verbraucht er beim bloßen Aufschreiben der Anfangsbedingung eines einzigen Freiheitsgrades mehr Papier, als er im ganzen Universum unterbringen kann.

Die Gültigkeit unserer Überlegungen ist übrigens nicht dadurch begrenzt, daß wir alles am Dualsystem aufgezogen haben. Wenn man die Bäckertransformation so abändert, daß der Teig auf zehnfache Länge ausgerollt wird, dieser dann in zehn Teile zerlegt wird und alles wieder zu einem neuen Quadrat aufeinandergelegt wird, dann erhält man die Iterationsgleichungen als Bernoulli-Verschiebungen im Dezimalsystem, und die weitere Argumentation läuft genauso ab wie beschrieben.

Der Begriff des Zufalls ist schon vor etwa 60 Jahren durch die Quantentheorie eingeführt worden, aber in die Mikrophysik. Wir kennen Einsteins Sträuben gegen die neuen Vorstellungen in seinem berühmten Satz „Gott würfelt nicht“. Einstein suchte bis zuletzt nach verborgenen Parametern, aber in der Mikrophysik. – Trotz Quantentheorie hat bis vor 20 Jahren kaum jemand geglaubt, daß sich auch in der makroskopischen Physik an einer grundsätzlichen Vorhersagbarkeit etwas ändern könnte. Bis vor 20 Jahren verstand man unter Chaos allenfalls ein stochastisches Chaos: Wegen der „verborgenen Freiheitsgrade“ komme die „tatsächlich vorhandene“ Vorhersagbarkeit nur nicht zum Zuge, sozusagen nur aus praktischen Gründen.

So war es eine Sensation, als man vor 20 Jahren realisierte, daß Chaos gerade durch deterministische Gleichungen erzeugt werden kann. Damit war auch die makroskopische Physik betroffen, wie ja auch unser Klimamodell gezeigt hat. Fassen wir zum Schluß noch einmal die wichtigsten Ergebnisse zusammen:

1. Ein physikalisches System ist i. a. nicht grundsätzlich chaotisch, sondern nur dann, wenn charakteristische Kontrollparameter des Systems bestimmte Werte überschritten haben. Vorher mag es sogar Attraktoren geben, die ganz streng, also vollkommen „unchaotisch“, eingenommen werden!
2. Wenn das System aufgrund der Werte der Kontrollparameter chaotisch ist, ist es nicht grundsätzlich unstrukturiert, rein zufällig. Im Gegenteil, dies ist eine Ausnahme! Wir hatten ja sehr komplexe Strukturen im seltsamen Attraktor der Bifurkationsdiagramme gesehen, die niemals durch Würfeln zustande kommen können. Die Unperiodizität des deterministischen Chaos darf also nicht mit der reinen Zufälligkeit des stochastischen Chaos verwechselt werden. Die Paleo-Klimatologie hat übrigens bereits versucht, solche Strukturen in einem rekonstruierten Klima-Phasenraum zu finden.
3. Wenn man sich doch traut, Erkenntnisse aus dem Stadium einfacher physikalischer Systeme mit wenigen Freiheitsgraden auf komplexe Systeme mit vielen Freiheitsgraden wie der Atmosphäre zu übertragen, dann kann man vielleicht folgendes sagen: Je komplexer ein System ist, desto mehr Kontrollparameter hat es auch, die den kritischen Wert überschreiten könnten, desto wahrscheinlicher ist es dann wohl, daß immer einige oder auch viele von ihnen die kritischen Werte überschritten haben, so daß das System deterministisch chaotisch ist.

## Literatur

- FEIGENBAUM, M.: Quantitative Universality for a Class of Nonlinear Transformations, *J. Statist. Phys.* **19**, 25-52, 1978
- GROSSMANN, S.; THOMAE, S.: Invariant Distributions and Stationary Correlation Functions of One-Dimensional Discrete Processes, *Z. Naturforsch.* **32A**, 1353-1363, 1977
- LANGE, H.J.: Die Chaostheorie und mögliche Anwendungen auf das Wetter- und Klimasystem, in: *Tatort Erde*, G. Warnecke, M. Huch, K. Germann, Herausgeber, Springer-Verlag, 2. Auflage, 1991
- LORENZ, E.N.: Deterministic Nonperiodic Flow, *J. Atmos. Sci.* **20**, 130-141, 1963
- POSMENTIER, E.S.: Periodic, quasiperiodic, and chaotic behaviour in a nonlinear toy climate model, *Annales Geophysicae* **8**, (11), 781-790, 1990
- SELLERS, W.D.: A global climatic model based on the Energy balance of the Earth-atmosphere system, *J. Appl. Met.* **8**, 392-400, 1969

# 3

H. SCHARRER

## Angewandte Meteorologie im Nordosten Brasiliens, 5 Jahre im Wetteramt Salvador (Bahia) im Rahmen der Technischen Zusammenarbeit

### 1 Einleitung

Der Nordosten Brasiliens (Bild 1) wurde insbesondere zu Beginn der 80er Jahre von mehreren Dürreperioden hintereinander heimgesucht. Die Auswirkungen nahmen katastrophale Folgen an: 70% der Bevölkerung waren von der Dürre betroffen. Im Bundesland Ceará z. B. wurde in 140 (von 141!) Gemeinden der Notstand ausgerufen. 90% der Ernte war vernichtet, das Vieh zu Tausenden verendet. 1983 haben Hunger und Durst mindestens 250.000 Menschen das Leben gekostet, jedes 4. Kind starb.

Diese ständig wiederkehrenden Dürre- und Hungerkatastrophen im klimatischen Problemgebiet Nordostbrasilien (Trockenpolygon) sind nicht ungewöhnlich. Die Hungersnöte infolge von Dürreperioden (secas) sind durch Berichte seit dem 17. Jahrhundert und durch zuverlässige Aufzeichnungen seit dem 18. Jahrhundert bekannt (Bild 2). Die Dürrejahre führten meist zu einer Landflucht der Bevölkerung in die Städte Rio de Janeiro, Belo Horizonte und vor allem nach São Paulo, dem „wirtschaftlichen Motor“ Brasiliens.

Diese extremen klimatischen Verhältnisse sind global gesehen eine ganz natürliche Angelegenheit. Gekoppelt mit dem „El-niño-Phänomen“ – als Folge einer extremen Erwärmung des äquatorialen ozeanischen Oberflächenwassers im südostasiatischen Raum und einer Änderung der atmosphärischen Zirkulation in den tropischen Zonen (Walker-Zirkulation) – sind die Auswirkungen rund um die Erde zu spüren. Insbesondere die Bewohner solcher „Reaktionszonen“, wie das Trockenpolygon Nordostbrasilien eines ist (das Zentrum heißt „Sertão“), müssen mit diesen Klimakatastrophen leben, mit ihnen fertig werden oder abwandern, um nicht zu Grunde zu gehen.

Nur in 4 von 10 Jahren kann hier ein Bauer mit dem vollen Ertrag seiner Aussaat rechnen. Ohne Hilfe sowohl von innen als auch von außen – sei es von dem fernen und reicheren Süden Brasiliens oder vom Ausland – ist nur schwerlich Besserung zu erwarten. Hilfe zur Selbsthilfe ist ein langwieriger Prozeß.

Den Menschen Brasiliens und insbesondere den Menschen des „Nordostens“ wird immer bewußter, daß Katastrophen wie Brandrodung, Überschwemmung und Bodenerosion nur selten Strafen des Himmels sind (mit Ausnahme der secas), daß aber das daraus entstehende Elend meist durch einen rücksichtslosen Raubbau an den natürlichen Ressourcen von anderen Menschen verursacht wird.

### 2 Aufgaben und Ziele des Projekts

Eingebunden in diesen Komplex von Natur und sozialer Not ist auch das Meteorologie-Projekt zu sehen. Soll es doch dazu beitragen, das aktuelle Wetter für den Wirtschaftswetterdienst sowie für die Land- und Forstwirtschaft besser zu nutzen und korrekte klimatologische und agrarmeteorologische Daten zur Erarbeitung von Planungsunterlagen zur Verfügung stellen.

Ein wichtiges Ziel ist, mittels fundierter Daten und deren statistischer Bearbeitung „Indikatoren“ zu ermitteln, damit Dürreperioden bereits Monate im voraus vorhergesagt werden können. Bevor dieses „Superziel“ jedoch erreicht wird, ist ein steiniger und langer Weg an der Basis zurückzulegen. Diese Basisarbeit sollte die eigentliche Projektarbeit werden.

Das Projekt *Angewandte Meteorologie im Nordosten Brasiliens* wurde von der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) im Auftrag des Bundesministers für Wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) durchgeführt.

Das Ziel, die Leistungsfähigkeit des Wetterdienstes im Nordosten anzuheben, wurde in folgenden Schwerpunktaufgaben angegangen:

- Aktualisierung des meteorologischen Meßnetzes von 110 Stationen
- Aufbau je einer EDV-unterstützten Klimadatenbank in Recife und Salvador
- Errichtung eines Instrumenten-Eichlabors und von Werkstätten in Recife



Bild 1: Das Projektgebiet.

- Aus- und Fortbildung der brasilianischen Mitarbeiter auf dem Gebiet der operativen Meteorologie

Der Einsatzraum war das über 1,6 Mio km<sup>2</sup> große Gebiet des brasilianischen Nordostens (Bild 3) und umfaßte ca. die 7-fache Fläche der BRD (alt); Brasilien insgesamt war mit rund 8,5 Mio km<sup>2</sup> vor der Wiedervereinigung Deutschlands etwa 34 mal größer als Westdeutschland, heute ist es noch 25 mal größer als Deutschland.

Der Brasilianische Wetterdienst (INEMET = Instituto Nacional de Meteorologia) ist eine autonome Behörde im Zuständigkeitsbereich des Landwirtschaftsministeriums. Er besteht aus dem Zentralamt in der heutigen Hauptstadt Brasilia mit diversen Fachabteilungen und dem Leiter des Dienstes (Diretor Geral) sowie aus insgesamt 10 Wetterämtern (Bild 4); davon sind 5 sog. Regionalzentren und können als Regionale Vorhersagezentralen (große Wetterämter) eingestuft werden: Belém, Recife, Rio de Janeiro, São Paulo und Pôrto Alegre.

Die anderen Wetterämter sind: Manaus, Salvador, Belo Horizonte, Goiânia und Cuiabá.

### 3 Projektdurchführung

Insgesamt 3 Monate dauerte die Vorbereitung des deutschen Teams bei der GTZ in Eschborn sowie (gemeinsam mit den Ehefrauen) bei der Deutschen Stiftung für Internationale Entwicklung (DSE) in Bad Honnef. Hier wurden wir entwicklungspolitisch und länderkundlich sowie fachlich

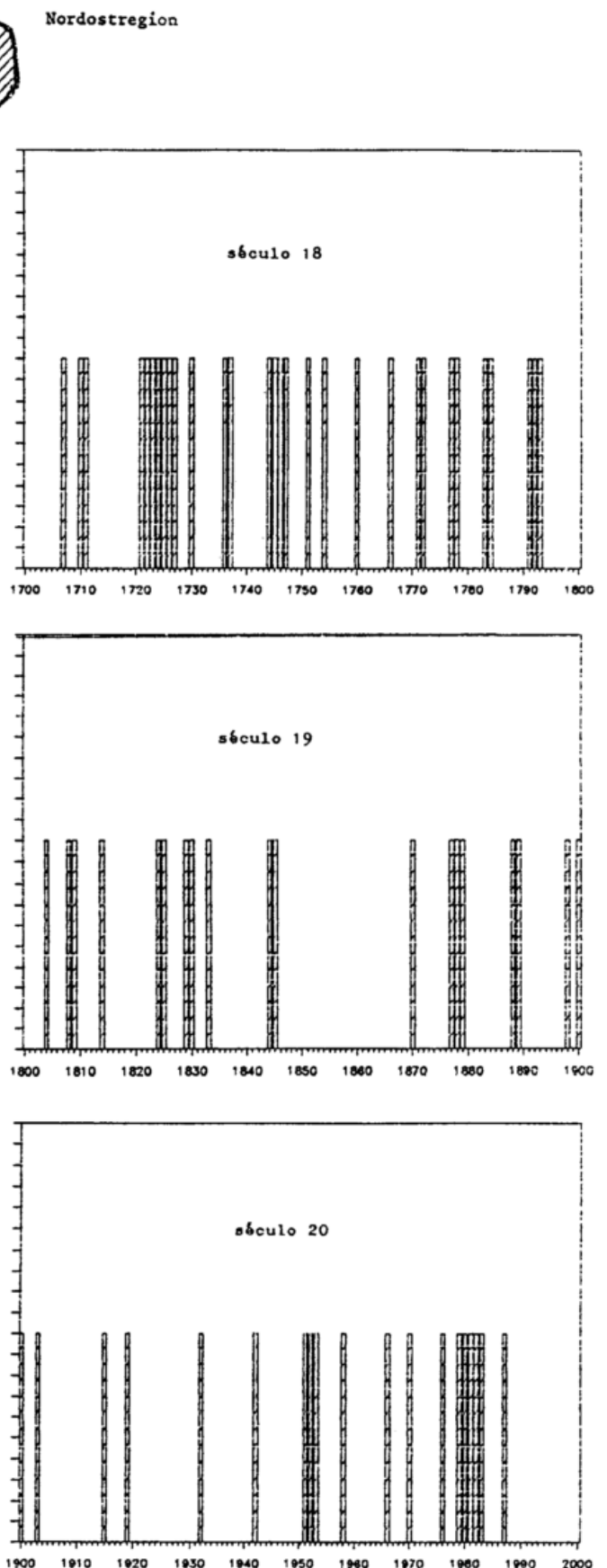
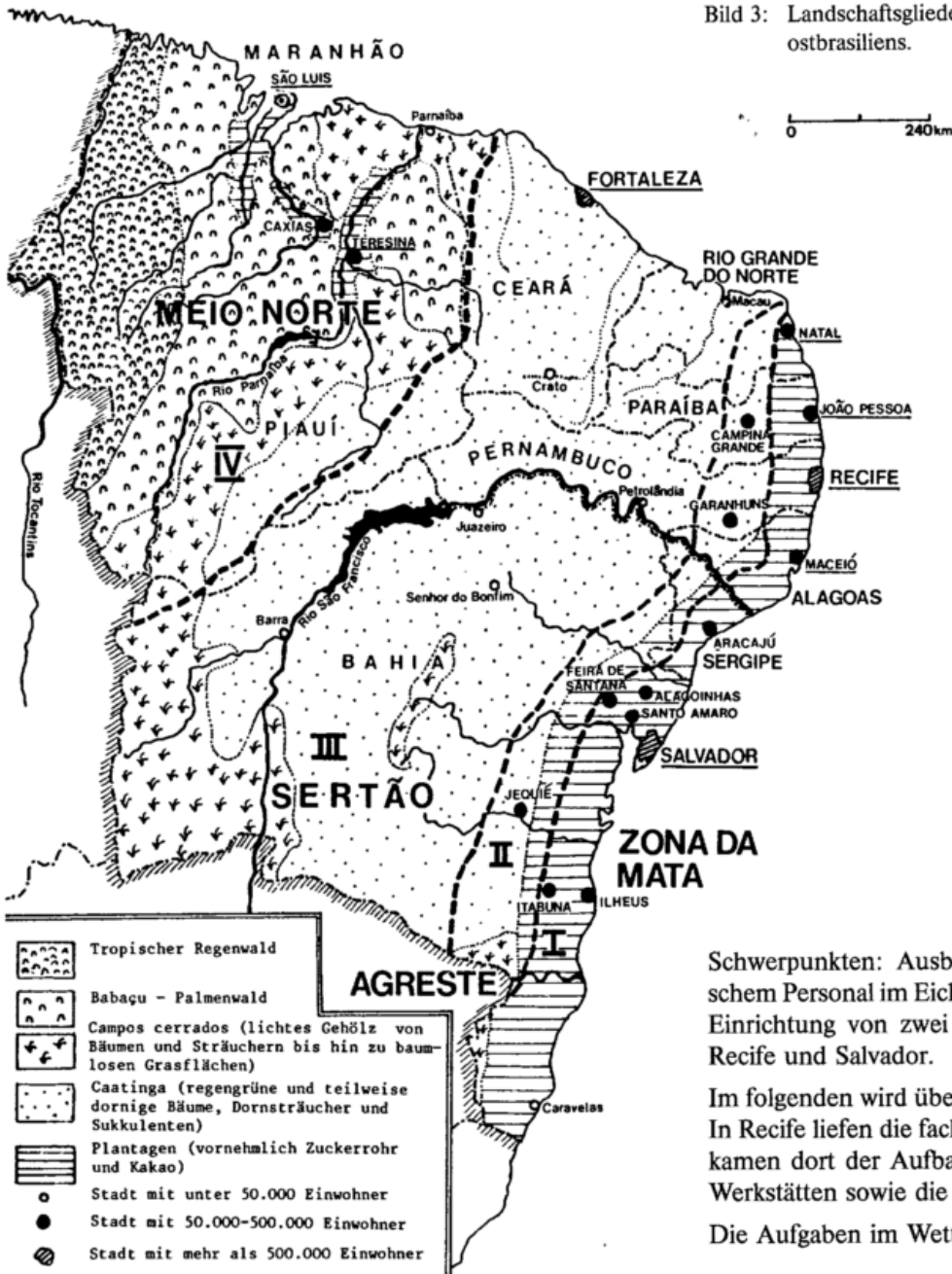


Bild 2: Dürreperioden (secas) im 18., 19. und 20. Jahrhundert.

Bild 3: Landschaftsgliederung Nord-ostbrasilien.



(Zielorientierte Projektplanung, Wissensvermittlung, Beratung) und sprachlich (Portugiesisch) vorbereitet.

Das Projektteam bestand aus 2 Meteorologen des Deutschen Wetterdienstes: Dr. M. Bjelanović und Dipl.-Met. H. Scharrer sowie einem Techniker der GTZ: R. Fierle; letzterer war bereits Ende der 60er/Anfang der 70er Jahre beim Aufbau eines hydrologischen und meteorologischen Meßnetzes im Nordosten Brasiliens im Einsatz („Missão Alema“ oder Deutsche Hydrologische Mission). Prof. K. Höschele hat vor 20 Jahren in PROMET 2'74 bereits darüber berichtet unter „Blick nach Draußen“: Meteorologie in Brasilien.

Sitz des Projekts war Recife (Pernambuco), wo Dr. Bjelanović und der GTZ-Mitarbeiter R. Fierle eingesetzt wurden; der Einsatzort des Berichterstatters lag knapp 1000 km südlich in Salvador (Bahia). Der Projektteil Salvador begann im April 1985 und war im März 1990 abgeschlossen. In Recife erfolgte noch eine einjährige Nachbetreuung mit den

Schwerpunkten: Ausbildung und Schulung von technischem Personal im Eichlabor und in den Werkstätten sowie Einrichtung von zwei automatischen Wetterstationen in Recife und Salvador.

Im folgenden wird über den Projektteil Salvador berichtet. In Recife liefen die fachlichen Arbeiten ähnlich ab – hinzu kamen dort der Aufbau des Instrumentenlabors und der Werkstätten sowie die Projektverwaltung.

Die Aufgaben im Wetteramt Salvador waren:

### 3.1 Mitarbeit bei der Aktualisierung des meteorologischen Meßnetzes und Unterweisung des nationalen Beobachtungspersonals

Eine regelmäßige Stationsbetreuung – einschließlich Instandsetzung und Wartung der Instrumente sowie die Instruktion der Beobachter – ist die Basis für die Qualität meteorologischer Meß- und Beobachtungsdaten.

Hierzu wurden 44 Stationen inspiziert und bewertet (37 im Wetteramtsbereich Salvador, 7 im Amtsbereich Belo Horizonte) hinsichtlich

- Zustand der Messinstrumente
- Zustand des Klimagartens
- Ausbildungsstand der Beobachter
- vorhandene Infrastruktur

Hinter diesen Tätigkeiten verbirgt sich die Vielfalt der Projektaufgabe. Nach drei Jahren der Bestandsaufnahme ergaben sich Prioritäten zur

- Wartung und Instandsetzung (Beginn seit 1988 durch das Labor in Recife)

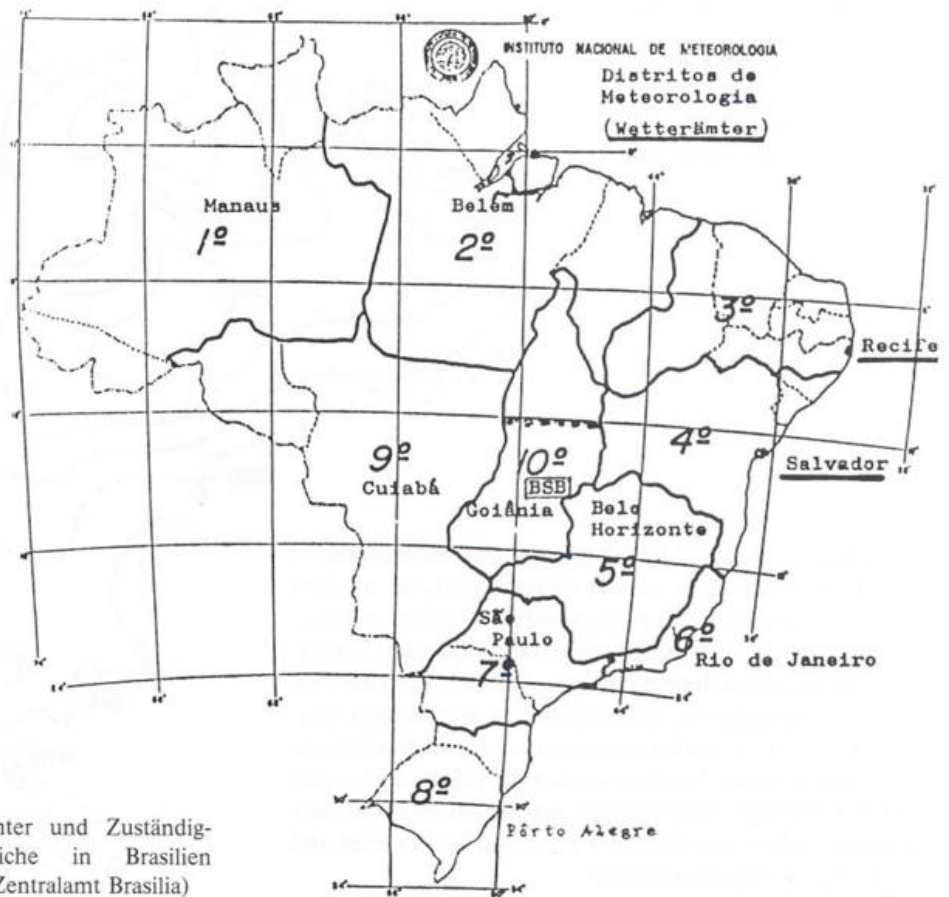


Bild 4: Wetterämter und Zuständigkeitsbereiche in Brasilien (BSB = Zentralamt Brasilia)

- Beobachterschulung (Unterweisung bereits während der Inspektionsreisen sowie gezielt seit 1989 Kurse in Recife)
- Stationsverlegung (vom Projekt nicht realisierbar)
- Verbesserung der Infrastruktur (teilweise möglich)

Vordringlich wurde mit der Wartung und Instandsetzung der WWW- und SYNOP-Stationen begonnen. Die Reisen zur Bestandsaufnahme des Meßnetzes in die Projektgebiete des 4. Distrikts (es waren die Bundesstaaten Alagoas, Sergipe, Bahia und der Norden von Minas Gerais) erfolgten überwiegend mit Dienstfahrzeugen des Brasilianischen Wetterdienstes; im Falle der Stationen in Minas Gerais mit Flugzeug und Mietwagen. Wegen der großen Entfernungen, den zum Teil schwierigen Straßenverhältnissen (Bild 5) und fehlender Brücken (Fährbetrieb) konnte meist nur eine Station pro Tag besucht und bewertet werden. Die schwierige Wirtschaftslage Brasiliens und fehlende Haushaltsmittel sind auch für den Wetterdienst problematisch: Mangelnde Wartung und Instandsetzung der Instrumente sowie mangelnde Ausbildung der Beobachter sind deshalb eine der größten Probleme des operationellen Wetterdienstes in Brasilien. Hierzu wurden vom Projekt mit der Einrichtung eines Instrumentenlabors in Recife für den Nordosten Voraussetzungen geschaffen, damit der Brasilianische Wetterdienst in eigener Regie die Wartung, Instandsetzung und Eichung der Instrumente seines Netzes vornehmen kann. Inwieweit die Counterpartbehörde die vom Projekt begonnenen Wartungs- und Ausbildungsprogramme fortführen kann, wird erst die Zukunft zeigen.

### 3.2 Schulung und Fortbildung des technischen und wissenschaftlichen Personals hinsichtlich der Auswertung und Anwendung von Klimadaten für multisektoruelle Nutzer.

Die Aktivitäten hierzu erfolgten am Arbeitsplatz während der täglichen Dienstzeiten von 08:00 – 12:00 und von 14:00 – 18:00 Uhr. Zunächst wurden von den brasilianischen Bediensteten sämtliche wo auch immer vorhandenen Registrierstreifen gesammelt, geordnet, verpackt, beschriftet

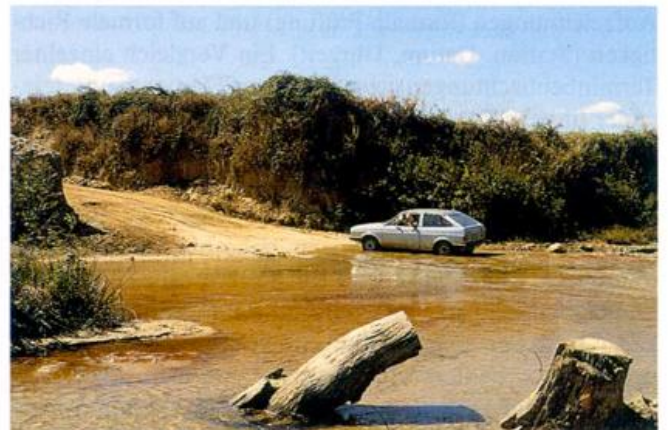
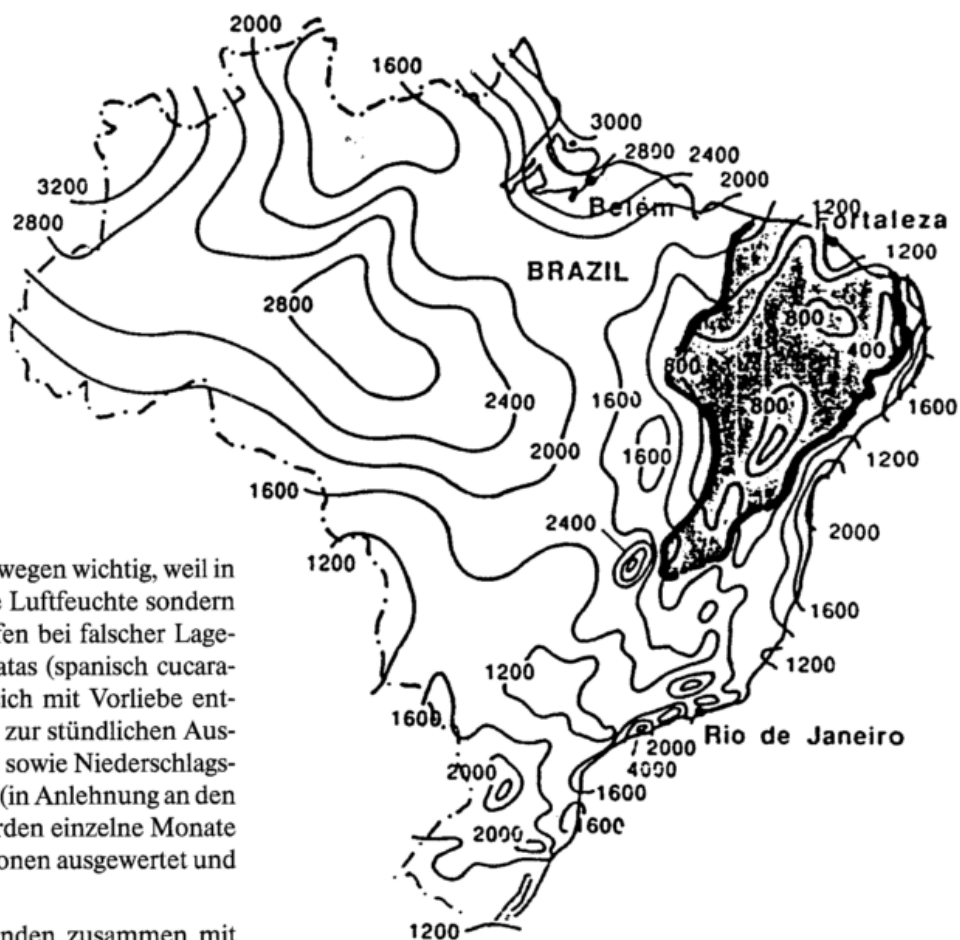


Bild 5: Unterwegs auf Inspektion im nördlichen Minas Gerais.

Bild 6: Mittlerer jährlicher Niederschlag in Brasilien. Das Trockenpolygon ist markiert (500 - 800 mm pro Jahr bei einer Verdunstung von 2000 mm p.a.)



und in Regalen gelagert. Dies war deswegen wichtig, weil in tropischem Klima nicht nur die hohe Luftfeuchte sondern auch das Ungeziefer den Papierstreifen bei falscher Lagerung zusetzen: insbesondere die baratas (spanisch cucarachas oder Küchenschaben) fressen sich mit Vorliebe entlang der Tintenschriebe. Formblätter zur stündlichen Auswertung von Thermo-Hygrographen- sowie Niederschlags- und Anemographen-Streifen wurden (in Anlehnung an den DWD) angefertigt. Exemplarisch wurden einzelne Monate bis zu einem Jahr verschiedener Stationen ausgewertet und mittels PCXT weiterverarbeitet.

Diese stündlichen Auswertungen fanden zusammen mit langjährigen Klimawerten Verwendung in Gutachten, z.B. für die Tabakindustrie (Trocknung von Tabakblättern), für den geplanten Standort einer Zellulosefabrik oder für Fragen der Ausbreitung am Standort eines Chemiekomplexes (Polo Petroquimico).

Seit 1982 werden im Wetteramt Salvador die täglichen Wetterbeobachtungen und Messungen mittels PC auf Disketten übertragen. Mit der Digitalisierung der Beobachtungstagebücher war die Voraussetzung für den Aufbau einer Klimadatenbank vom brasilianischen Counterpart bereits geschaffen worden. Das System SISMET (sistema de processamento de dados meteorológicos) erfasst die meteorologischen Beobachtungen zu den drei Klimaterminen 9, 15, 21 Uhr LOC (bzw. 12, 18, 24 Uhr GMT) und berechnet die Tages- und Monatsmittelwerte bzw. Tages- und Monatssummen. Bevor die Daten in den PC eingegeben werden, erfolgt eine manuelle Überprüfung auf Vollständigkeit der Aufzeichnungen (formale Prüfung) und auf formale Richtigkeit (Station, Datum, Uhrzeit). Ein Vergleich einzelner Terminbeobachtungen verschiedener Elemente untereinander (innere Konsistenz) erfolgt sporadisch manuell. Ein Vergleich aufeinanderfolgender Terminbeobachtungen bzw. Messungen eines Elementes der gleichen Station (zeitliche Konsistenz) wird nicht durchgeführt. Ein Vergleich mit den Beobachtungen benachbarter Stationen (räumliche Konsistenz) wird für SYNOP- (bzw. WWW-) Stationen durchgeführt. Die Prüfung auf fachliche Richtigkeit (Grenzwert eingehalten) erfolgt mittels PC mit Ausdruck eines Fehlerprotokolls; eine routinemäßige Korrektur der auf Disketten gespeicherten Basisdaten infolge dieses Fehlerprotokolls unterbleibt in der Regel. Erst wenn ein Meteorologe bei Erstellung eines Gutachtens oder einer

Auskunft Unstimmigkeiten festgestellt, erfolgt eine Rückmeldung zur Datenerfassung (centro de processamento de dados) sowie eine nochmalige Überprüfung und Korrektur der Originaldaten. Homogenitätprüfungen wurden während der Projektzeit nicht durchgeführt. Hierzu müssen erst entsprechend lange und geprüfte Zeitreihen computergerecht verfügbar sein.

Gemeinsames Ziel war, während der Projektlaufzeit die Tagebücher von mindestens zehn Jahrgängen der Stationen im Bereich des Wetteramtes Salvador zu digitalisieren. Gegen Ende des Projekts (Anfang 1990) betrug der Realisierungsgrad 70%. Von zeitweiligen Unterbrechungen abgesehen (PC defekt) lief diese Datenerfassung routinemäßig. Die Rückerfassung der Jahrgänge vor 1982 soll immer dann erfolgen, wenn entsprechende Personalressourcen verfügbar sind.

Nach entsprechenden Vorarbeiten wurde ab 1987 damit begonnen, alle auch in früheren Jahren berechneten und in Listen vorhandenen Mittelwerte (insbesondere Monats- und Jahresmittel) aller meteorologischen Parameter und aller Stationen im Amtsbereich zu digitalisieren. Diese Maßnahme wurde durch einen Projekt-PC unterstützt. Mit dem System SAC (sistema de arquivamento climatológico) wurden bis zum Projektende die Monats- und Jahresmittel (bzw. -summen) von 34 der 38 Stationen digitalisiert, dies ergab einen Realisierungsgrad von 90%.

Damit stand eine brauchbare Klimadatenbank zur Verfügung, die mit den Mittelwerten der ( mit Hilfe des Systems SISMET erfaßten) aktuellen Jahrgänge laufend ergänzt wird.

Die Klimadatenbank besteht somit aus zwei Datenarchiven: den täglichen Werten (Tagebücher), z. Zt. erst beginnend ab 1982, und den Monats- und Jahresmitteln mit z.T. sehr langen Reihen (17 Stationen über 20jährige Reihen, davon 14 über 30jährige, davon wiederum 11 über 40jährige und noch 2 über 50jährige Reihen). Besonderer Wert wird auf die rasche Verfügbarkeit der täglichen Regenmengen gelegt, so daß noch ein Archiv mit den täglichen Niederschlagshöhen angelegt wurde. Als wichtigste Größe vor allem für die semiariden Gebiete sowie für Berechnungen der Wasserbilanz (balanço hídrico) kümmert sich der Amtsleiter persönlich um diesen Parameter bzw. um dieses Datenarchiv. In Bild 6 ist eine Karte des mittlerern jährlichen Niederschlags wiedergegeben.

Der Klimadienst in den meisten brasilianischen Wetterämtern (mit Ausnahme vielleicht von São Paulo, Rio und Pôrto Alegre) befaßt sich noch vorwiegend mit Auskünften (ähnlich unserem Auskunftswesen). Das zunehmende Umweltbewußtsein erfordert jedoch detailliertes Datenmaterial und vermehrte Gutachtertätigkeit von seiten des Wetterdienstes. Hierzu wurden vom Projekt Wege aufgezeigt und gemeinsam mit den brasilianischen Kollegen die Grundlagen erarbeitet.

### **3.3 Beratung des Leiters des Wetteramtes Salvador in wissenschaftlichen und organisatorischen Fragen des operativen Wetterdienstes auf regionaler Ebene.**

Der Leiter des Wetteramtes Salvador (des 4° DISME = Distrito de Meteorologia), Agraringenieur und Direktor Augusto Athayde (Eng. agrônomo e Diretor), war meist auch Technischer Koordinator (coordenador técnico) für die brasilianische Seite des deutsch-brasilianischen Projekts.

Das Grundproblem war, daß laut Projektabkommen zwischen Brasilien und Deutschland die Trägerbehörde INEMET u.a. für Projektfahrzeuge, entsprechende Reise-mittel für Dienstreisen (auch des deutschen Teams) und für Projektbüros zu sorgen hatte. Am Anfang waren keine Ressourcen verfügbar. Diese Phase war wohl der schwierigste Teil des Projekts; sie dauerte über ein Jahr und erforderte unendliche Geduld sowie zähe Verhandlungen insbesondere zwischen Dr. Bjelanović und dem kurz nach unserer Ankunft neu ernannten Präsidenten des Brasilianischen Wetterdienstes, Dr. Divino Moura.

Mitte 1986 stabilisierte sich die Lage, Projektfahrzeuge standen bereit (ein Geländewagen - Pick-up - in Recife, ein VW-Variant in Salvador). Mittel zur Renovierung von Projektbüros wurden von INEMET zur Verfügung gestellt, die Einrichtung wurde mit Projektmitteln ergänzt.

Während der Laufzeit des Gesamtprojekts 1985 - 1991 wechselte die Dienstleitung von INEMET vier mal (1985 von Col.-Oberst-Alves Padilha zur Dr. Divino Moura, 1987 Dr. Emilson França de Queiroz und 1990 Major Jorge Carlos Marques); das bedeutete immer wieder neue Ansprechpartner in Brasilia und jeweils eine gewisse Projekt-Identifizierungs-Phase.

Die tägliche Routine im Zusammenhang mit dem Wettervorhersagedienst SEPRE (Secção de Previsão do Tempo) funktionierte wie überall auf der Welt:

Vom Einsammeln der Wettermeldungen gemäß Meldesoll über das Zusammenstellen der Bulletins bis zur Weiterleitung an die Regionalzentrale nach Recife und an das Zentralamt nach Brasilia. Anfangs wurden die Meldungen noch wegen der großen Entfernungen und der fehlenden Infrastruktur über Funk eingesammelt, weitergeleitet wurde über Telex. Unabhängig vom Projekt, aber zur gleichen Zeit, vollzog sich hierzu die Modernisierung des Betriebsdienstes im Wetteramt Salvador. In einem INEMET-internen Pilotprojekt wurden an den meisten Stationen des 4° DISME die Funkgeräte durch Telefonleitungen ersetzt. Damit wurden die Übertragung der verschlüsselten Wettermeldungen und generell die Kommunikation mit den Außenstellen wesentlich verbessert und störunanfällig. Die Weiterleitung der gesammelten und verschlüsselten Meldungen erfolgte schließlich via PC (modem).

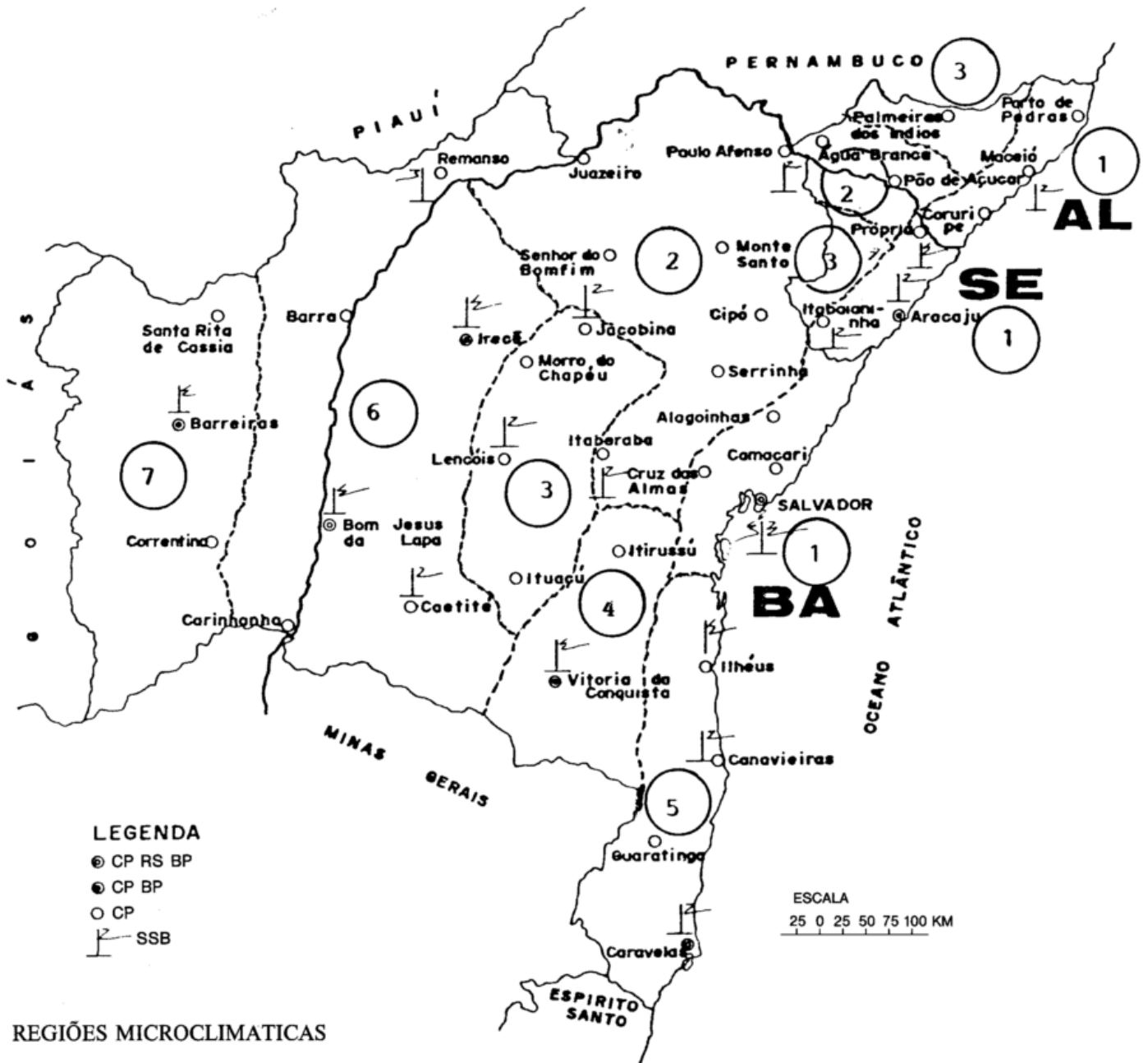
Die Regionalzentrale in Recife erstellt die Vorhersagen auch für das Wetteramt Salvador. Wie sollten nun diese Vorhersagen regional besser umgesetzt werden? Wie sollten generell Informationen über den Wetterdienst und die Meteorologie aufbereitet und dargestellt werden? Hier setzte die Projektarbeit ein.

Visualisierung war das Motto. Alle verfügbaren Klimainformationen sowie weitere statistischen Erhebungen zur Industrialisierung, Entwicklung des Tourismus, Landwirtschaftliche Nutzung, Verkehrswege, Energieversorgung etc. wurden einem gerade erschienenen Atlas über den Nordosten entnommen. Die farbigen Karten wurden als Poster an den Wänden der Wetteramtsräume angebracht. Ergänzend dazu wurden gemeinsam mit den Kollegen Schautafeln angefertigt zur Meteorologie (Aufbau der Atmosphäre), und zum Brasilianischen Wetterdienst (Organisation, Stationsnetz, nationale und internationale Fernmeldenetze). Das Projekt wurde ebenfalls visualisiert (Organisation, Ziele, Aufgaben) sowie eine detaillierte Landkarte des Projektgebietes mit Markierung aller Stationen sowie der geplanten Inspektionsreisen als Schautafel dargestellt.

Dies war wichtig, weil gerade diese vordergründig so einfachen Dinge zu Beginn eines Projekts einen wesentlichen Prozeß einleiten: die Vertiefung in das Projekt, die Identifikation mit dem Projekt, die Konzentration auf das, was in den folgenden Jahren bewältigt werden muß. Schließlich sollte mit einer Visualisierung bewußt gemacht werden, wie vielfältig wetterdienstliche Arbeit auch im interdisziplinären Bereich ist.

So konnten wir schon bald die Außenwirkungen des 4° DISME's (und damit auch von INEMET) gemeinsam intensivieren:

- Teilnahme und Beteiligung am ersten Internationalen Kongreß für Umweltchemie in Brasilien, der im Juni 1985 in Salvador stattfand (einschließlich Kurzvortrag zum Thema Meteorologie und Luftverschmutzung).
- Beteiligung Anfang 1986 an einer Ausstellung auf dem Gelände eines der 7 astronomischen Observatorien in Feira de Santana (etwa 100 km nordwestlich von Salvador). Anlaß war der Halleysche Komet; es wurde vieles präsentiert, was sich „zwischen Himmel und Erde“ abspielt.



**REGIÕES MICROCLIMATICAS**

**BAHIA**

- 1 - Recôncavo
- 2 - Nordeste
- 3 - Chapada Diamantina
- 4 - Planalto de Conquista
- 5 - Cacaueira
- 6 - São Francisco
- 7 - Barreiras

**SERGIPE**

- 1 - Litoral
- 2 - Sertão S. Francisco
- 3 - Oeste Sergipano

**ALAGOAS**

- 1 - Litoral
- 2 - Sertão S. Francisco
- 3 - Sertaneja

Bild 7: Wetteramtsbereich Salvador mit Einteilung in klimatologisch ähnliche Regionen.

CP = Klimahauptstation      RS = Radiosonde  
BP = Pilotballon              SSB = Funkgerät

Die Presse und das Fernsehen besuchten immer häufiger das Wetteramt, nachdem vom Counterpart in den einschlägigen Tageszeitungen (nach gemeinsam entworfener Darstellung) eine ständige Rubrik „Das Wetter“ (O Tempo) vereinbart werden konnte (Bild 7). Diese Besuche nahmen besonders in der Hauptregenzeit April, Mai, Juni zu. Inzwischen stand ein PC-System zum Empfang von Satellitenbildern zur Verfügung (organisiert über einen Beratungsauftrag der Kakau-Industrie in Itabuna/Ilheus); damit konnten die Vorhersagen präzisiert werden.

Es wurden viele Stunden darauf verwendet, die via Telefonmodem von der Nationalen Luft- und Raumfahrtbehörde INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais in São Jose dos Campos - São Paulo) überspielten Sat-Bilder entsprechend zu interpretieren (Wolkenhöhe, Temperaturverteilungen, Zuggeschwindigkeit und -richtung von Kaltfronten bzw. Wolkenfeldern, Konvektive Vorgänge etc.) und die Arbeit am Bildschirm zu schematisieren.

Schon kurz darauf konnte damit rechtzeitig (am Vorabend) eine Starkregenwarnung an die Katastrophen- und Zivilschutzbehörde Salvadors gegeben werden. Es wurde ein der Küste vorgelagertes von Süden sich näherndes Regengebiet ausgemacht – ca. 150 km breit auf einer Länge von 400 km. Am nächsten Morgen beginnend, regnete es während des Tages mehr als 100 mm (etwa 75% des Niederschlags fällt bei solchen Ereignissen meist innerhalb von 3 bis 5 Stunden). Die Folgen waren katastrophal: Überschwemmungen im gesamten Stadtgebiet – die Kanalisation kann solche Regenmengen nicht mehr aufnehmen – viele der auf Hügeln und Hängen stehenden Häuser und Hütten (meist der ärmeren Bevölkerung) rutschten ab; es gab mehrere Dutzend Tote, verschüttet unter Trümmern und Schlamm. Durch Vorwarnung der zu erwartenden Regenfälle und Verbreitung dieser Meldung noch in den Abendnachrichten in Funk und Fernsehen konnte mit Sicherheit noch Schlimmeres verhindert werden.

Derartige Starkregenfälle wiederholen sich jedoch Jahr für Jahr. Eine Auszählung von täglichen Niederschlagshöhen ergab, daß in Salvador mindestens an 7 Tagen pro Jahr mit solchen Ereignissen gerechnet werden muß (Tabelle). Ab 50 mm pro Tag (Liter pro m<sup>2</sup>) wird es schlimm, ab 100 mm pro Tag katastrophal.

Eine Konsequenz dieses „Vorhersage-Erfolges“ war, daß der Amtsleiter anlässlich einer Tagung der örtlichen Behörde für Umwelt und Katastrophenschutz (Secretaria do Meio Ambiente e Defesa Civil) den Einführungsvortrag hielt zum Thema Meteorologie und Umweltschutz, insbesondere atmosphärische Ausbreitung (ein im Wetteramt Salvador bisher nicht bearbeitetes Gebiet). Dies war jedoch höchst brisant, weil in der Umgebung der Zweimillionenstadt Salvador mehrere Chemiekonzerne Produktionsstätten betreiben.

Ein anderer Anwendungsbereich wetterdienstlicher Tätigkeit war, Unterlagen für die o.g. Niederschlagsereignisse für eine Untersuchung der Gesundheitsbehörde zur Verfügung zu stellen. Nach jeder Überschwemmung trat vor allem bei Kindern die sog. Leptospirose auf; eine Lebererkrankung mit tödlichem Ausgang. Übertragen wird diese Krankheit durch Rattenurin, der infolge von extremen Regenfällen aus der Kanalisation in die überfluteten Straßen gespült wird; und genau da tobten sich gerade die Kinder mit Wonne zwischen den liegengeliebenen Autos aus.

Diese Beispiele interdisziplinärer Arbeit lassen sich fortsetzen. Im Zuge der Projektarbeit wurde der Amtsleiter – und die anderen Bediensteten – vielfältig beraten, d. h. fachlich und organisatorisch unterstützt. Die Umsetzung in die Praxis erfolgte von den brasilianischen Kollegen: schließlich kennen sie ihr Land und die eigenen Landsleute besser als wir. Die Akzeptanz eines Projekts der Technischen Zusammenarbeit hängt davon ab, wie sich ein Counterpart mit neuen und von außen kommenden Vorschlägen und Ideen selbst identifiziert und sie zur eigenen Sache macht.

Im Verlauf der Projektzeit gab es weitere Aktivitäten, die wechselnd sowohl vom Counterpart als auch vom Berichterstatter initiiert, gemeinsam diskutiert und dann realisiert wurden:

– Ein Vertrag bzw. Abkommen (convenio) zwischen der

Bundesuniversität von Bahia (UFBA = Universidade Federal da Bahia) und INEMET wurde geschlossen (wissenschaftliche Zusammenarbeit, Datenaustausch, EDV-Unterstützung, Programmierhilfen).

- 1985 gab es bereits über die Stiftung Volkswagenwerk ein bilaterales Projekt zwischen der Bundesuniversität Bahia und der Universität Dortmund mit Prof. Dr. Dieter Klockow. Bei der Interpretation von Depositionsmessungen waren wegen der Ausbreitungsbedingungen meteorologische Informationen unentbehrlich.

Mit ihm und vor allem mit Dr. Tânia Tavares vom Institut für Analytische Chemie war die Zusammenarbeit besonders gut. Ihnen verdanke ich den fachlichen Einstieg in die eigene Projektarbeit zum Aufgabenbereich „multisektorielle Nutzer“ meteorologischer Informationen.

Tânia Tavares veranstaltete, mit nationaler und internationaler Unterstützung, über ihr Institut den 2. Internationalen Kongreß über Umweltchemie. Das Wetteramt Salvador beteiligte sich mit einem Beitrag zur atmosphärischen Turbulenz und Ausbreitung in Salvador (Ausbreitungsklassenstatistik für Januar (Sommer) und Juli (Winter) sowie für das Jahr).

In diesem Zusammenhang ist der Besuch von Dr. Peter Winkler vom MetObs Hamburg zu erwähnen, der mit einem Disdrometer die Tropfengrößenverteilung konvektiver Niederschlagsereignisse an der Wetterstation Ondina in Salvador gemessen hat. Weiterhin hielt er sowohl am Wetteramt als auch an der Universität Vorträge zur Wolkenphysik.

- Mit der Umweltbehörde des Landes Bahia (CRA = Centro de Recursos Ambientais) wurde ebenfalls ein Kooperationsvertrag konzipiert.

Tabelle: Tage mit Regen (chuva) bestimmter Menge (obere Hälfte) und Intensität (untere Hälfte) in Salvador-Bahia (1946–1986).

dias com chuva > 0.0 mm:	215 p.a.
dias com chuva ≥ 1.0 mm:	165 p.a.
dias com chuva ≥ 5.0 mm:	92 p.a.
dias com chuva ≥ 10.0 mm:	56 p.a.
dias com chuva ≥ 20.0 mm:	28 p.a.
dias com chuva ≥ 50.0 mm:	7 p.a.
dias com chuva ≥ 100.0 mm:	2 p.a.
dias com chuva ≥ 150.0 mm:	0.2 = 1 vez c. 5 a
dias com chuva ≥ 200.0 mm:	0.1 = 1 vez c. 10 a
dias com chuva ≥ 350.0 mm:	0.024 = 1 vez c. 40 a
0.1 – 0.9 mm/24 hs:	50 dias p.a.
1.0 – 4.9 mm/24 hs:	73 dias p.a.
5.0 – 9.9 mm/24 hs:	36 dias p.a.
10.0 – 19.9 mm/24 hs:	28 dias p.a.
20.0 – 49.9 mm/24 hs:	21 dias p.a.
50.0 – 99.9 mm/24 hs:	5 dias p.a.
100.0 – 149.9 mm/24 hs:	1.8 ≈ 2 dias p.a.
150.0 – 199.9 mm/24 hs:	0.1 = 1 vez c. 10 a
≥ 200.0 mm/24 hs:	0.1 = 1 vez c. 10 a
≥ 350.0 mm/24 hs:	0.024 = 1 vez c. 40 a

- Instrumentelle und beratende Unterstützung wurde der Fakultät für Architektur gegeben bei einer Stadtklimauntersuchung zur Begutachtung eines geplanten Wohngebietes (geländeklimatische Messungen).
- Gleich im ersten Projektjahr hat der Counterpart im 4<sup>o</sup> DISME eine Lehrveranstaltung über die Meteorologie im Nordosten organisiert. Durchgeführt von Dr. Carlos Afonso Nobre (INPE), kamen auch Kollegen anderer Wetterämter nach Salvador.
- Ein vom Projekt finanzierter einwöchiger PC-Ausbildungskurs für LOTUS 123 fand 1987 im Wetteramt Salvador statt.
- Am 5. Brasilianischen Meteorologiekongreß (veranstaltet von der Brasilianischen Meteorologischen Gesellschaft) Ende 1988 in Rio de Janeiro beteiligten wir uns vom Wetteramt Salvador mit Beiträgen (Vorträge und Poster) über Themen wie Temperatur- und Niederschlagsuntersuchungen langer Reihen, Windverhältnisse an einem geplanten Industriestandort sowie Luftverschmutzung und Klimaänderung.

Während dieser fünf Jahre wurde den brasilianischen Kollegen die Vielfalt wetterdienstlicher Tätigkeit mit Sicherheit bewußter und näher gebracht. Der Trend zu verstärkter interdisziplinärer Zusammenarbeit und an aktuellen Problemen auch anderer Institutionen teilzuhaben, wirkte stimulierend und motivierend.

Viele Gespräche und Diskussionen während verschiedener Dienstreisen zu anderen Wetterämtern, auch im Süden des Landes, und auf Fachtagungen zeigte die Bereitschaft der brasilianischen Kollegen, Anregungen aufzunehmen, Neues zu akzeptieren und den Wunsch und Willen, am Ausbau ihres Landes mitzuwirken.

Dazu gehört auch ein leistungsfähiger Wetterdienst.

#### 4 Schlußbemerkung

der fünfjährige Einsatz in Brasilien kann zusammenfassend in mehrere Abschnitte eingeteilt werden:

- Die Vorbereitungsphase mit der Haushaltsauflösung und den Ausreiseformalitäten sowie mit der intensiven Schulung durch die GTZ (Grundsätze der Technischen Zusammenarbeit) und die DSE (Entwicklungspolitik, Landeskunde, Projektarbeit, Sprache). Diese Phase dauerte drei Monate von Januar bis März 1985.
- Die Normalisierungsphase hinsichtlich der Erreichung der Akzeptanz der Technischen Zusammenarbeit (d.h.

des Projekts) bei den Counterparts sowie die Vervollständigung der Sprache und die Anpassung an das allgemeine Leben in Brasilien. Diese Phase dauerte mehr als ein Jahr bis etwa Mitte 1986.

- Die Realisierungsphase mit den vielfältigen Aktivitäten, die erforderlich waren, um Ergebnisse zu erbringen: in Salvador bis etwa Anfang 1990, in Recife bis Anfang 1991 (Bestandsaufnahme Meßnetz, Aufbau Klimadatenbank, Aufbau Instrumentenlabor in Recife, Schulung und Beratung der brasilianischen Kollegen).
- Die Abschlußphase in den jeweils letzten Monaten des Projekts mit Berichterstattung, Kassenabrechnungen, Abschluß der Projektbuchhaltung, der Haushaltsauflösung und den Vorbereitungen für die Heimreise.

Die Einbindung in die GTZ, d.h. die Ausbildung in Deutschland, die Fortbildung im Einsatzland sowie die Unterstützung und Betreuung während der Projektlaufzeit waren aus meiner Sicht vorbildlich.

Nicht nur die materielle Einbindung in diese Organisation, auch die administrative und „psychologische“ Vernetzung mit der Zentrale in Eschborn und deren Projektverwaltungsbüro (PVB) in der Hauptstadt Brasilia waren wesentliche Voraussetzungen für die Durchführung eines solchen Langzeitprojekts.

Ich muß auch immer wieder an die Worte unseres damaligen Botschafters Dr. Dittmann denken; anlässlich in Brasilia stattfindender Tagungen von GTZ-Auslandsmitarbeitern wies er stets darauf hin, daß wir durch unsere Projekte in Brasilien genau so gegenwärtig sind wie die Deutsche Industrie: „Denken Sie immer daran, Sie repräsentieren Deutschland im Ausland, an Ihnen und Ihrem Verhalten wird Deutschland gemessen“.

Wir haben dieses faszinierende Land Brasilien von Nord bis Süd und von Ost nach West (jeweils rd. 4000 km) bereist und natürlich besonders ausführlich den Bundesstaat Bahia kennengelernt. Durch die Herzlichkeit und Gastfreundschaft unserer brasilianischen und auch deutschen Freunde waren wir in das dortige Leben integriert, und der Abschied fiel uns schwer.

An eines werde ich mich aber nie gewöhnen: an die Coriolis-Kraft auf der Südhalbkugel. Dort drehen sich die Tiefs rechtsherum und die Hochdruckgebiete tatsächlich gegen den Uhrzeigersinn – bei der Interpretation von Wetterkarten und Satellitenbildern ist man immer wieder irritiert!

# 4

A. BEFFERT

## Erfahrungsbericht über eine einmonatige Tätigkeit als Berater der WMO in Cotonou, Benin

### 1 Einführung

Im Juli 1992 trat die WMO an den DWD mit der Bitte heran, mich im Rahmen des Projekts BEN/87/010 „Développement agrométéorologique“ in den Benin zu entsenden. Als Aufgabenschwerpunkte waren vorgesehen:

- Verstärkung des operationellen Klimadienstes
- Analyse und Verarbeitung von Klimadaten
- Ausbildung des Personals
- Herausgabe von Berichten
- Herausgabe von Studien
- Vorbereitung eines Arbeitsprogrammes

Die Mission war ursprünglich auf 2 Monate bemessen, der vorgesehene Zeitraum war für Ende September bis Ende November 1992 festgelegt worden. Leider konnte infolge personeller Engpässe die Mission erst im Frühjahr 1993 durchgeführt werden. Durch zwischenzeitige Kürzungen des Budgets des Projektes BEN/87/010 konnte nur noch eine einmonatige Reise angetreten werden.

### 2 Die Organisation des nationalen Wetterdienstes der Republik Benin

Der „Service National de la Météorologie (SNM)“ ist Bestandteil der große Teile Westafrikas umfassenden ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne). ASECNA/Benin und SNM haben ihren Sitz in Cotonou. Dort befinden sich auch die Betriebsabteilungen Vorhersage, Instrumentenwesen, Agrarmeteorologie und Klimatologie. Im SNM sind etwa 90 Mitarbeiter beschäftigt.

Der Wetterdienst betreibt sechs SYNOP-Stationen, die ihre Meldungen per Funk (Radio-BLU) nach Cotonou senden. Bei Ausfall dieses Übermittlungsverfahrens werden die Meldungen per Telefon weitergeleitet.

Das Meßnetz umfaßt ferner neun Klimastationen, zwölf agrarmeteorologische Stationen und 45 Niederschlagsstationen (s. a. Titelbild). Die Beobachter erhalten im Vierteljahr eine Entschädigung in Höhe von 15.000 F CFA (Klimastationen/agrarmeteorologische Stationen) bzw. 9.000 F CFA (Niederschlagsstation), was etwa einem Gegenwert von 90,- DM bzw. 54,- DM entspricht. Die Beobachtungen werden häufig durch Angestellte der Sous-Préfectures (vergleichbar mit Kreisbehörden) durchgeführt.

Für die Datenverarbeitung stehen dem SNM fünf PC's zur Verfügung. Die Datenverwaltung erfolgt mit dem Datenverarbeitungspaket CLICOM, das sich außergewöhnlich gut bewährt hat. Leider fielen, trotz entsprechender Vorkehrungen, wegen zu starker Spannungsschwankungen zwei der fünf PC's aus.

### 3 Zielsetzung des Projekts

Der nationale Wetterdienst führt zusammen mit der WMO das Projekt BEN/87/010 „Développement Agrométéorolo-

gique“ durch. Wie viele Länder der Dritten Welt ist die Republik Benin ein Agrarland. 75 % der Bevölkerung leben hier von der Landwirtschaft. Ziel des Projekts ist es somit, Beratungsunterlagen für die Landwirtschaft bereitzustellen. Hierzu gehört auch die klimatologische Aufbereitung des vorhandenen Datenmaterials. Dabei sollen die gewonnenen Ergebnisse nutzbringend für die Landwirtschaft verwendet werden.

Das Projekt wurde vom „Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD)“ für die Dauer von fünf Jahren finanziert. Das Finanzvolumen betrug etwa 1.500.000 US-Dollar. Das Projekt, das in diesem Jahr ausläuft, wurde 36 Monate lang von Herrn Rato, einem Agrarmeteorologen des französischen Wetterdienstes, geleitet. Ferner war im Juni 1992 ein Informatiker des französischen Wetterdienstes, Herr Stuber, entsandt worden, um dort die französische Version des Systems CLICOM zu installieren und das Personal in dieses System einzuweisen.

Im Laufe der Durchführung des Projektes konnten beachtliche Ergebnisse erzielt werden. Der Aufbau einer operationellen Abteilung Agrarmeteorologie, die Schaffung eines Rechenzentrums (Cellule Informatique) sowie die Einrichtung einer Datenbank können als abgeschlossen betrachtet werden. Aufbauend auf den regelmäßig eingehenden Meldungen der SYNOP-Stationen sowie der agrarmeteorologischen Stationen und der Klimastationen werden regelmäßig, d. h. alle 10 Tage, Berichte herausgegeben. Darauf aufbauend wird in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern landwirtschaftlicher Organisationen ein Arbeitsprogramm für Musterparzellen beschlossen. Diese wurden an insgesamt sechs verschiedenen Stellen eingerichtet. Sie werden zur einen Hälfte nach traditionellen Methoden bewirtschaftet, zur anderen Hälfte nach den Vorgaben der eingerichteten Arbeitsgruppe. Jeweils 50% der Musterflächen werden gedüngt. Ein Vergleich der erzielten Erträge auf den unterschiedlichen Flächen ermöglicht somit Aussagen über die Ertragsverbesserung sowohl durch die gezielte landwirtschaftliche Beratung als auch durch den Einsatz von Düngemitteln.

### 4 Tätigkeiten in der Abteilung Klimatologie

Meine Aufgabe war es, die „operationelle Klimatologie“ voranzutreiben. Hierunter ist vor allem zu nennen:

- Analyse und Verarbeitung meteorologischer Daten
- Herausgabe von Veröffentlichungen wie Witterungsberichte und spezielle Untersuchungen
- Ausbildung bzw. Unterrichtung des Personals

Um diese Arbeiten ausführen zu können, war eine gründliche Bestandsaufnahme aller Tätigkeiten im Klimadienst notwendig. Die wichtigsten Punkte der Bestandsaufnahme seien hier kurz zusammengefaßt:

Die Beobachter der Meßnetze schicken regelmäßig ihre

Tagebücher und Beobachtungsunterlagen an den SNM. Dort werden sie manuell für die Datenerfassung vorgeprüft. Mangels geeigneter Computerprogramme für eine automatische Kontrolle ist dieses Verfahren äußerst zeitaufwendig. Deswegen und infolge einer Panne von zwei der fünf PCs war eine aktuelle Datenerfassung nicht möglich.

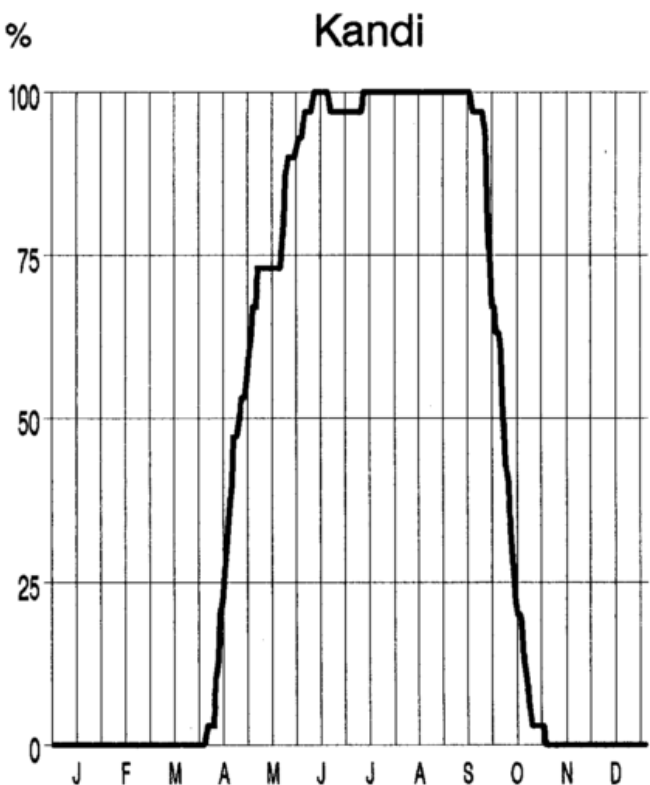
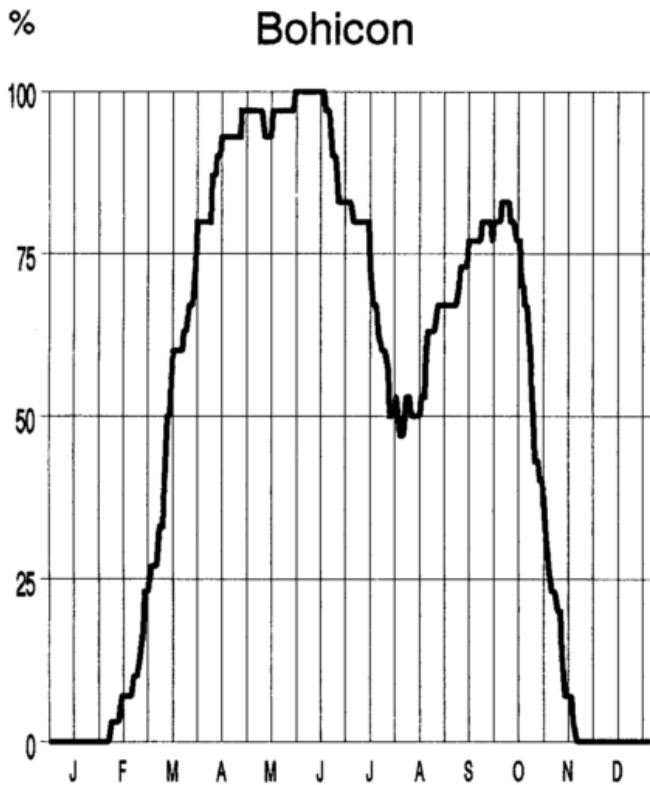


Bild 1: Mittlere relative Häufigkeit der Zugehörigkeit eines Tages zu einer Regenzeit (Zeitraum 1961 - 1990).

Monatliche Witterungsberichte sowie agrarmeteorologische Dekadenberichte erscheinen regelmäßig. Allerdings liegen ihnen nicht die erfaßten aktuellen Daten zugrunde, sondern manuell zusammengestellte Monats- bzw. Dekadensummen und -mittelwerte. Diese werden in das Rechnersystem eingegeben, tabellarisch zusammengestellt und ausgedruckt.

Eine Reihe spezieller Ausarbeitungen über das Klima der Republik Benin oder in Teilen davon lagen als Entwurf vor. Da im Klimadienst nur zwei „Ingénieurs Météos“ arbeiten, war eine Veröffentlichung dieser Entwürfe noch nicht möglich.

Klima- und Niederschlagsbögen sowie Registrierstreifen werden jahrgangsweise geordnet und archiviert. Alle Tabellen wurden im Rahmen eines weiteren WMO-Projektes mikroverfilmt. Diese Arbeiten werden laufend fortgesetzt. Ferner liegen von allen Stationen Niederschlagsdaten seit der Gründung der Station bis zum Jahr 1990 auf Datenträger vor.

Die Datenspeicherung geschieht mittels der Software CLICOM. Bis zum Ausfall des Rechnersystems wurden regelmäßig Daten mit dieser Software erfaßt und verwaltet.

Meine Aufgabe sah ich hauptsächlich darin, das vorhandene Datenmaterial zu analysieren und vorzeigbare Ergebnisse zu erzeugen. Zu diesem Zweck installierte ich ein Programm, das auf Basis täglicher Niederschlagsdaten den Zeitpunkt des Beginns bzw. des Endes einer Regenzeit berechnet. Ein solches Programm wurde von mir anlässlich mehrerer WMO-Missionen in die Côte d'Ivoire entwickelt. Die Kenntnis dieser Eintrittsdaten bildet eine wesentliche Grundlage für die landwirtschaftliche Beratung. Sie ermöglicht es beispielsweise bei Kenntnis der Entwicklungsphasen der Pflanzen, das Risiko einer Aussaat vor dem „normalen“ Beginn der Regenzeit abzuschätzen oder festzustellen, ob in einer Region eine zweimalige Aussaat ohne künstliche Bewässerung möglich ist.

Das größte Problem war dabei, die Anpassung des Programms an die vorhandene Datenstruktur CLICOM. Nach erfolgter Anpassung wurden die grundlegenden Ideen dieses Programms den Mitarbeitern erläutert und anschließend diskutiert. Dabei wurden einige Veränderungen im Programmablauf sowie in der technischen Handhabung gewünscht, denen nachgekommen wurde. Es stellte sich dabei als sehr hilfreich heraus, daß von den Mitarbeitern des SNM ein Auswerteprogramm erstellt wurde, das die gewonnenen Ergebnisse graphisch darstellt.

## 5 Das Klima

Das Klima in der Republik Benin ist geprägt durch den Wechsel von Regenzeiten und Trockenzeiten. Dieser Wechsel wird durch das Wandern der innertropischen Konvergenzzone ITC verursacht, die im Jahresverlauf dem Sonnenstand folgt. Im Süden gibt es eine „große“ Regenzeit in den Monaten März bis Juni und „kleine“ Regenzeit in den Monaten September und Oktober. Dabei ist die „kleine“ Regenzeit in ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit weniger scharf ausgeprägt wie die „große“ Regenzeit. Nach Norden zu verschmelzen die beiden Regenzeiten zu einer einzigen.

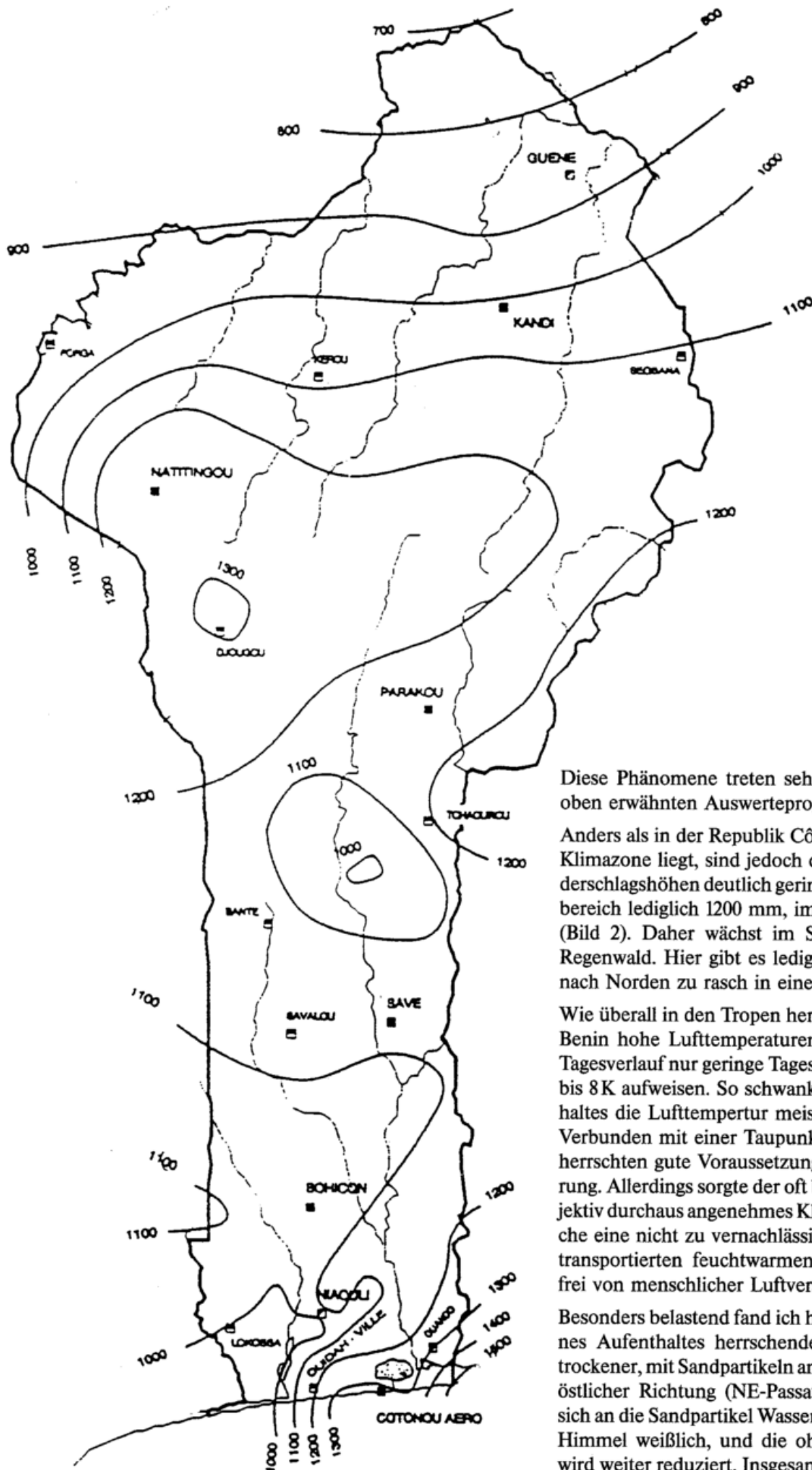


Bild 2: Mittlere jährliche Niederschlagshöhe (Zeitraum 1951-1980).

Diese Phänomene treten sehr anschaulich mit Hilfe des oben erwähnten Auswerteprogrammes zutage (Bild 1).

Anders als in der Republik Côte d'Ivoire, die in der selben Klimazone liegt, sind jedoch die mittleren jährlichen Niederschlagshöhen deutlich geringer. Sie betragen im Küstenbereich lediglich 1200 mm, im Norden sogar nur 700 mm (Bild 2). Daher wächst im Süden auch kein tropischer Regenwald. Hier gibt es lediglich eine Baumsavanne, die nach Norden zu rasch in eine Buschsavanne übergeht.

Wie überall in den Tropen herrschen auch in der Republik Benin hohe Lufttemperaturen, die im Küstenbereich im Tagesverlauf nur geringe Tagesschwankungen von etwa 5 K bis 8 K aufweisen. So schwankte während meines Aufenthaltes die Lufttemperatur meist zwischen 28°C und 35°C. Verbunden mit einer Taupunkttemperatur von etwa 25°C herrschten gute Voraussetzungen für eine schwüle Witterung. Allerdings sorgte der oft böige SW-Passat für ein subjektiv durchaus angenehmes Klima. Hierbei spielt die Tatsache eine nicht zu vernachlässigende Rolle, daß die hertransportierten feuchtwarmen Meeresluftmassen nahezu frei von menschlicher Luftverschmutzung waren.

Besonders belastend fand ich hingegen den zu Beginn meines Aufenthaltes herrschenden Harmattan. Dies ist ein trockener, mit Sandpartikeln angereicherter Wind aus nordöstlicher Richtung (NE-Passat). Im Küstenbereich lagert sich an die Sandpartikel Wasserdampf an. Dadurch wird der Himmel weißlich, und die ohnehin schlechte Sichtweite wird weiter reduziert. Insgesamt ist es in dieser Luftmasse, trotz der eigentlich trockenen Luftzufuhr, unangenehm heiß und schwül.

## 6 Schlußbetrachtungen

Eine Beobachtertätigkeit im Ausland bedeutet stets eine Herausforderung. Auch wenn ich darin bereits einige Erfahrung besitze, so ist man doch stets von neuem gezwungen, sich auf Situationen einzustellen, die zunächst unbekannt sind. Das betraf zuerst die Stadt Cotonou. Mit ihren ca. 600.000 Einwohnern gleicht diese Stadt eher einem Riesendorf als einer Stadt. Dieser Eindruck wurde dadurch verstärkt, daß zahlreiche nicht asphaltierte Straßen die Stadt durchzogen. In Anbetracht dieser Straßenverhältnisse und der nur spärlich vorhandenen Kanalisation konnte es mir nur recht sein, daß die Natur sich mit dem Beginn der Regenzeit verspätete. Ein Leben im Regen wäre wohl nicht sehr erheiternd gewesen.

Die zwischenmenschlichen Beziehungen mit den Béninois waren ausgezeichnet. Erleichtert wurde dies durch den

Umstand, daß Deutschland als ein Land betrachtet wird, das seine Entwicklungshilfe selbstlos, d. h. ohne großes Eigeninteresse leistet. Entsprechend der Wertschätzung, die den Deutschen zuteil wird, war auch der Anteil von Nachrichtensendungen über Deutschland. Man war an allem interessiert was Deutschland betraf, nicht nur an seinem Fußball.

Insgesamt möchte ich festhalten, daß das Klima zwar anstrengend, aber nicht unbedingt belastend war. Möglicher Schlüssel zum Erfolg war sicherlich die sehr angepaßte Lebensweise. Vor allem der Konsum mehrerer Liter Flüssigkeit pro Tag zählt wohl zu den Erfolgsgeheimnissen. Die afrikanische Küche, das erfolgreich verlaufende Projekt sowie der gute Kontakt zu den Béninois trugen ebenfalls zu meinem Wohlbefinden bei.

# 5 B. RUDOLF Globale Niederschlagsanalysen des Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie

## 1 Einleitung

Über die Einrichtung des Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie (WZN) im DWD und dessen erste Ergebnisse wurde bereits in dieser Zeitschrift berichtet (RUDOLF 1990). Nach der nun abgeschlossenen Entwicklungsphase besteht ein operationelles DV-System, das folgende Komponenten enthält:

- (a) eine Punktdatenbank zur Archivierung von an Stationen konventionell gemessenen Niederschlagsdaten, weltweit auf monatlicher Basis,
- (b) rechnergestützte Verfahren zur Qualitätsprüfung und ggf. Korrektur dieser Daten,
- (c) ein objektives Analyseverfahren zur Berechnung der Gebietsniederschläge in einem Raster aus den konventionellen Daten für die Landgebiete,
- (d) eine Rasterdatenbank mit Verbindung zur Punktdatenbank und Instrumentarium für statistische und visuelle Vergleiche von Niederschlagsdaten unterschiedlicher Art und Herkunft und zur Visualisierung der Rasterkarten,
- (e) ein vorläufiges Prioritätenschema zur Verbindung der konventionellen Analysen mit Satellitendaten und Ergebnissen der numerischen Wettervorhersage zu global flächendeckenden Datensätzen,
- (f) Ansätze zur Schätzung der Fehlerbreiten der verwendeten Daten und abgeleiteten Produkte.

Bis heute wurden globale Datensätze der Gebietsniederschläge im 2,5°-Raster für die Jahre 1987 und 1988 berechnet und veröffentlicht (GPCC 1992, 1993); diese Ergebnisse sind aber als vorläufig einzustufen, weil sie auf einem noch unzureichenden Meßdatenkollektiv beruhen und auch die

Analysemethoden den Ansprüchen noch nicht vollaufgenügen.

Das WZN verfügt inzwischen über einen unbefristeten Auftrag und ist als permanente Einrichtung im DWD verankert. Es ist eng in das internationale Großvorhaben Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX) und in Projekte des „Weltklimaprogramms Wasser“ (WCP-Water) eingebunden. Es ist auch als Komponente zum Global Climate Observing System (GCOS) geplant, worin es im Rahmen der globalen Klimaüberwachung routinemäßig Niederschlagsanalysen erstellen wird.

## 2 Konventionelle Meßdaten, Punktdatenbank

Über das Globale Telekommunikationssystem (GTS) sind monatliche Niederschlagshöhen aus CLIMAT-Meldungen von rund 1500 Stationen sowie zusätzlich aus synoptischen Meldungen abgeleitete monatliche Daten von rund 2400 Stationen verfügbar. Die daraus resultierende Stationsdichte reicht jedoch für weite Gebiete der Erde nicht zur Ermittlung von verwertbaren oder bewertbaren Gebietsniederschlägen aus. Das WZN bemüht sich deshalb, unterstützt durch ein Rundschreiben der WMO, zusätzliche Niederschlagsdaten von anderen Ländern im direkten Kontakt mit den nationalen Wetterdiensten und anderen Institutionen zu erhalten. Bis jetzt wurden monatliche Niederschlagshöhen von insgesamt etwa 30.000 Stationen aus rund 50 Ländern erhalten, womit das WZN über die wohl weltweit umfangreichste Sammlung solcher Daten verfügt.

Für einige Gebiete der Erde werden die synoptischen Meldungen jedoch die einzigen erhältlichen Daten bleiben.

Deshalb wurde ein Verfahren zur Berechnung monatlicher Niederschlagshöhen aus diesen teilweise fehlerhaften und den monatlichen Zeitraum oft nicht vollständig abdeckenden Meldungen entwickelt.

Sowohl für die synoptischen als auch für die monatlichen Daten erfolgt die Datenprüfung und -korrektur zuerst automatisch mit einem Rechenprogramm unter Verwendung von Plausibilitätsansätzen, anschließend aber werden die Ausgaben des Programms, d.h. korrigierte und zweifelhafte Werte, visuell fachlich kontrolliert und gegebenenfalls geändert.

Die monatlichen Niederschlagshöhen werden nach Jahren und Monaten katalogisiert in die Niederschlags-Punktdatenbank (PDB) des WZN eingespeist; diese enthält außerdem die klimatologischen mittleren Niederschlagshöhen einschließlich der Bezugszeiträume, soweit vorhanden, und die nicht-zeitabhängigen stationsbezogenen Angaben wie die geographischen Koordinaten, Stationshöhen, internationalen und nationalen Kennnummern. Für Stationen, von denen Daten aus mehreren Quellen (SYNOP, CLIMAT, andere) vorhanden sind, werden alle Meßwerte in die PDB aufgenommen, um einen Abgleich im Rahmen der Qualitätskontrolle zu ermöglichen. Alle Daten erhalten eine Herkunftskennung, und zu allen Daten werden Qualitätskennungen und Korrekturfaktoren, auch für den systematischen Fehler, eingespeist, bevor die Daten verwendet werden können.

### 3 Fehlerbreiten der berechneten Gebietsniederschläge als Funktion der Stationsdichte

Die konventionellen Niederschlagsmeßdaten beschreiben nur die Niederschlagshöhe über der Trichterfläche des Meßgerätes. Der Niederschlag an einem solchen Meßpunkt kann nur für eine begrenzte Umgebung als repräsentativ angenommen werden, deren Größe von den klimatischen und orographischen Bedingungen abhängt. Sind auf einer vorgegebenen Fläche, hier für ein 2,5°-Feld, nicht genügend Meßwerte vorhanden, so tritt ein von der Stationsdichte abhängiger Fehler im Gebietsmittel auf.

Damit der Fehler des Gebietsmittels in Abhängigkeit von der Stationsdichte festgestellt werden kann, muß der „wahre“ Gebietsniederschlag bekannt sein. Hierfür wird als erste Näherung das arithmetische Mittel der Meßwerte aller Stationen im Feld angenommen, was bei hoher Stationsdichte und guter räumlicher Verteilung der Stationen sinnvoll ist. Die Gebietsniederschläge werden für Teilkollektive mit allen möglichen Anzahlen zwischen 2 und 100 Stationen, die in 5000 Experimenten je möglicher Stationsanzahl zufallsartig aus der Gesamtheit der Stationen eines 2,5°-Felds ausgewählt werden, bestimmt und mit dem „wahren“ Wert verglichen. Für jede mögliche Stationsanzahl werden aus den jeweils 5000 Einzelergebnissen der mittlere Gebietsniederschlag, dessen Differenz und relative Differenz zum „wahren“ Wert sowie die Standardabweichung der Gebietsniederschläge berechnet. Mit diesen Ergebnissen lassen sich der mittlere absolute und relative Fehler als Funktionen der Stationsanzahl pro Raster darstellen. Bild 1 zeigt ein Beispiel für die Abhängigkeit des mittleren relativen Fehlers von der Anzahl der im Feld vorhandenen Meß-

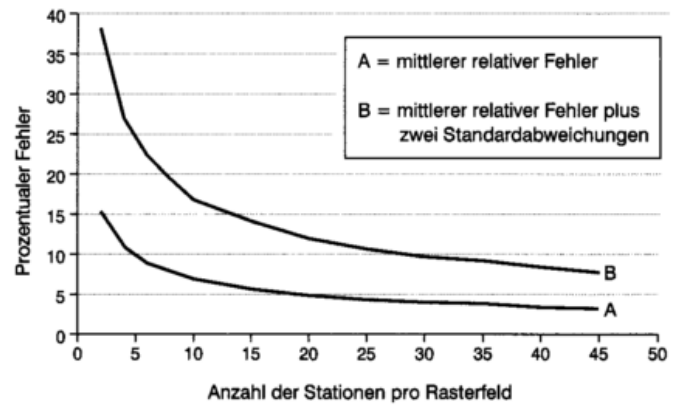


Bild 1: Mittlerer relativer Fehler und dieser um die doppelte Standardabweichung erhöht für ein als Beispiel ausgewähltes Feld (Deutschland, Mitte-West, August 1987).

punkte. Zusätzlich ist eine Kurve für die Summe aus mittlerem relativem Fehler und doppelter Standardabweichung eingetragen, die besagt, daß der auf der Ordinate ablesbare prozentuale Fehler mit rund 95%iger Wahrscheinlichkeit unterschritten wird. Diese Betrachtung ist sinnvoll, weil die zuerst erhältlichen GTS-Daten in der Rasterfläche nicht unbedingt repräsentativ verteilt sind.

Entsprechende Untersuchungen wurden für vier Felder in Deutschland für je einen Sommer- und einen Wintermonat sowie für 22 Felder in Australien und 14 Felder in den USA für jeweils mehrere Monate durchgeführt, um unterschiedliche Klimazonen und Jahreszeiten zu erfassen. Die aus den Ergebnissen dieser insgesamt 339 Testmonate abgeleitete Spannweite für die mindestens benötigte Stationsdichte zeigt die Tabelle 1. Aus den gesamten bisherigen Ergebnissen ergibt sich eine Abhängigkeit des mittleren relativen Fehlers vom Variationskoeffizienten aller Meßwerte im Raster, womit die Fehlerbreite der Gesamtniederschläge in erster Näherung angegeben werden könnte. Für Felder mit unzureichender Stationsbelegung müßten allerdings die Variationskoeffizienten auf der Basis von Vergleichsfeldern mit ähnlicher orographischer Struktur und Klimazone übernommen werden.

Es ist geplant, die oben beschriebenen statistischen Fehlerbreitenuntersuchungen für weitere Klimazonen durchzuführen und dabei die räumliche Verteilung und die der orographischen Lagen der Stationen durch eine Fallunterscheidung zu berücksichtigen. Darüberhinaus sollen auch die regionalen orographischen Strukturen sowie unterschiedliche Analysemethoden einbezogen werden.

Tab. 1: Benötigte Anzahl der Stationen pro 2,5°-Feld, wenn der mittlere relative Fehler (MRF) und der mittlere relative Fehler plus doppelter Standardabweichung (MRF + 2\*STD) kleiner gleich 10% des „wahren“ Gebietsniederschlags sein soll.

	für MRF ≤ 10%	für MRF + 2*STD ≤ 10%
Australien	2-70	2-100
Deutschland	3-10	20- 50
USA	3-60	10- 60

#### 4 Systematischer Meßfehler der konventionellen Niederschlagsmessung

Bei allen Arten von Niederschlagsmessungen mit konventionellen Meßgeräten treten geräteabhängig systematische Meßfehler auf, wobei im allgemeinen der gefallene Niederschlag unterschätzt wird. Wegen der unterschiedlichen Geräteeigenschaften (weltweit sind mehr als 50 verschiedene Typen im Einsatz) und zur Vermeidung von inhomogenen räumlichen Verteilungen wäre eine Korrektur der Meßwerte notwendig, abhängig von den Witterungsbedingungen während der einzelnen Niederschlagsereignisse. Auch monatliche Niederschlagshöhen können mit empirischen Formeln korrigiert werden, die SEVRUK (1985) auf der Basis von Instrumenten-Vergleichsstudien der WMO entwickelt hat.

Mit diesen Formeln haben LEGATES und WILLMOTT (1990) Korrekturfaktoren für klimatologische Mittelwerte von ca. 25.000 Stationen berechnet. Danach liegt der systematische Meßfehler für die mittleren monatlichen Niederschlagshöhen zwischen 5 und 15% für Monate mit ausschließlich Regen und zwischen 20 und 50% bei Niederschlägen mit Schneeanteil; im Einzelfall kann bei Schnee verbunden mit starkem Wind der Fehler je nach Gerätetyp vernachlässigbar klein sein oder das zehnfache des Meßwertes erreichen (GOODISON 1978).

Für eine erste Abschätzung können und müssen die Ergebnisse von Legates herangezogen werden. Hierbei ist der klimatologisch charakteristische jahreszeitliche Verlauf auch ortsabhängig im Fehler berücksichtigt, die Anomalien der individuellen Monate werden damit jedoch nicht wiedergegeben. Eine Verbesserung der Methode mit dem Ziel der zeitabhängigen Schätzung des Meßfehlers erscheint wohl notwendig, setzt aber noch umfangreiche Untersuchungen unter Verwendung von ausgewählten, weltweit verteilten synoptischen Referenzstationen voraus.

#### 5 Räumliche Analyse der Gebietsniederschläge über Land

Zur Berechnung der Gebietsmittel im Raster werden die Meßwerte der Stationen entfernungs- und richtungsgewichtet auf Gitterpunkte eines feineren Zwischenrasters interpoliert, wozu ein bereits bewährtes Verfahren verwendet wird (WILLMOTT et al. 1985). Die dann in regelmäßigen Abständen vorliegenden Daten werden durch Mittelung zu Gebietsniederschlägen zusammengefaßt. Vergleiche der Ergebnisse dieses objektiven Analyseverfahrens zu den Resultaten einer Handanalyse zeigen insgesamt überraschend geringe Unterschiede, für Gebiete mit geringer Meßdatendichte aber ergeben die beiden Methoden stark voneinander abweichende Gebietsniederschläge (RUDOLF et al. 1992).

In die bisher durchgeführten Berechnungen (Analysen für 24 Monate) konnten nur Meßdaten von durchschnittlich 6700 Stationen einbezogen werden. Dieses Datenkollektiv umfaßt die über GTS in Offenbach empfangenen Daten (ca. 4000 Stationen), in Washington über GTS und über Rundfunk empfangene Daten (weitere 2000 Stationen) sowie ausgewählte Daten von Australien, Ghana und Neuseeland (weil diese bereits frühzeitig verfügbar waren). Bild 2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Anzahl der ver-

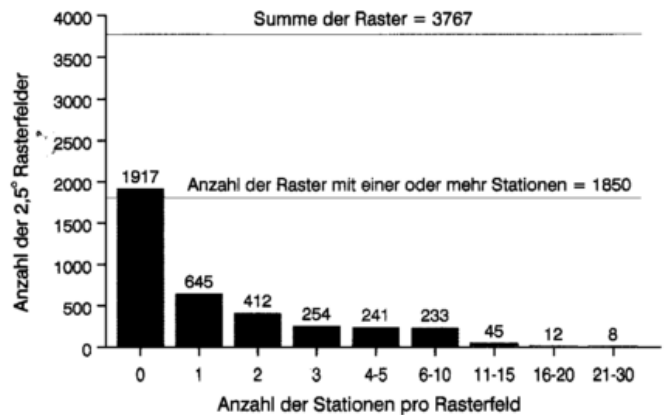


Bild 2: Verteilung der Anzahl der monatlichen Niederschlagsmeßwerte pro 2,5°-Feld für alle Felder mit einem Flächenanteil von mehr als 25% für den Testmonat August 1987 (Gesamtanzahl der Meßwerte weltweit = 6724).

wendeten Meßwerte pro Rasterfeld am Beispiel des August 1987.

Vergleicht man die verwendete Datendichte mit der benötigten Mindestdatendichte (s. Abschnitt 3), so wird offensichtlich, daß die meisten Felder zu wenig Daten für eine zuverlässige Analyse enthalten. Die genannten umfangreichen, von anderen Ländern gelieferten Datenkollektive konnten noch nicht in den Analysen verwendet werden, weil die Aufbereitung dieser heterogenen Daten mit einem großen Aufwand für die Formatierung, Einspeisung und Qualitätskontrolle, teilweise auch Erfassung von Listen, verbunden ist.

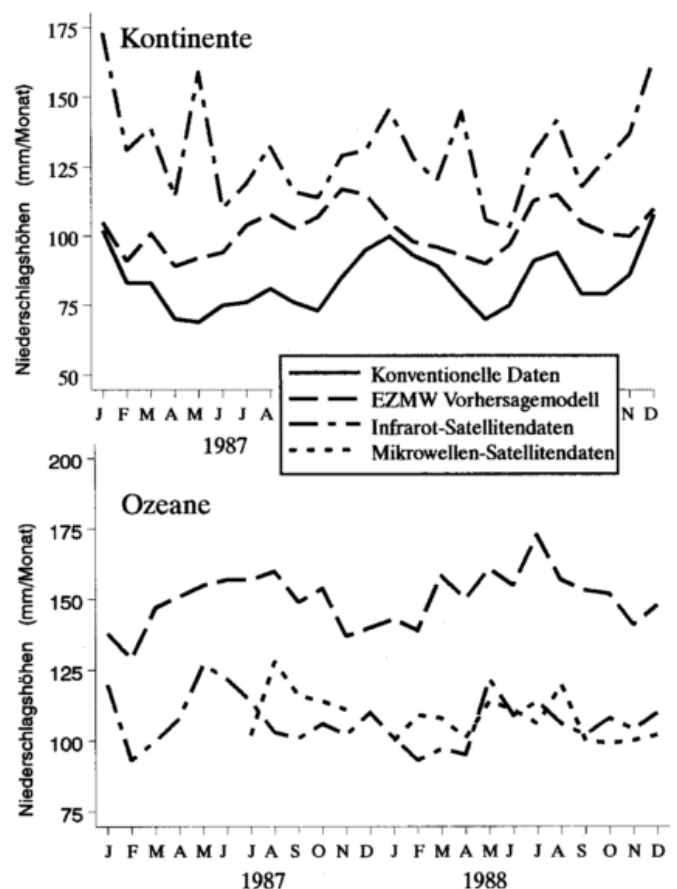


Bild 3: Aus verschiedenen Beobachtungsmethoden abgeleitete monatliche Gebietsniederschläge für den tropischen/subtropischen Breitenbereich, oben über den Kontinenten, unten über den Ozeanen.

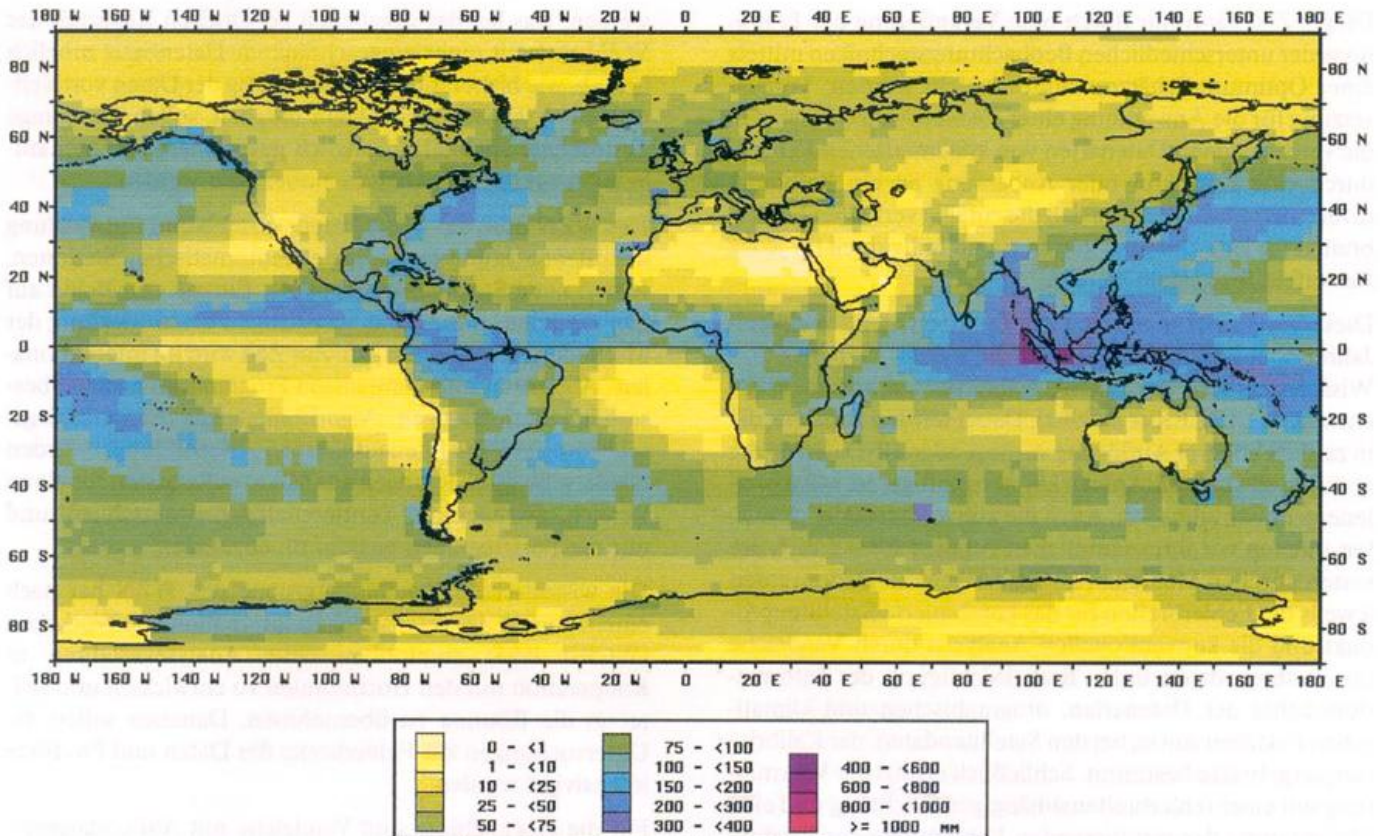


Bild 4: Globale Verteilung der mittleren monatlichen Niederschlagshöhe für das Jahr 1988, zusammengesetzt aus den Analysen der konventionellen Meßdaten (für die Kontinente), aus den Schätzungen aus Satellitenaufnahmen für die Ozeane in den tropischen bis mittleren Breiten und für die restlichen Gebiete aus aufsummierten täglichen Vorhersagen des EZMW.

Eine größere Zuverlässigkeit der Ergebnisse bei gleicher Datendichte wird von der Anwendung einer Analyse-methode erwartet, die auf orographisch-klimatologischen Beziehungen beruht. Ein Beispiel dafür ist das von BENICHO (1987) entwickelte und im französischen Wetterdienst für das Gebiet von Frankreich angewandte Verfahren AURELHY. Die Anwendbarkeit dieser Methode auf globale Daten ist noch genauer festzustellen: Zu erwarten ist, daß die Analysen getrennt für Teilgebiete erfolgen müssen; letztere sind sinnvoll einzugrenzen, um Inhomogenitäten an den Schnittstellen zu vermeiden. Ein Forschungsprojekt hierzu wurde vom WZN vorgeschlagen.

Es darf jedoch nicht angenommen werden, daß bei Anwendung einer solchen Methode die über GTS empfangenen Beobachtungsdaten für globale Analysen ausreichen würden. Die Erweiterung der Datenbasis ist auch dann noch eine wesentliche Voraussetzung für Ergebnisse, deren Genauigkeit den Anforderungen seitens der Klimaforschung standhält.

#### 6 Vergleich mit Niederschlagsschätzungen aus Satellitenaufnahmen und Modellergebnissen

Von weiteren in den USA betriebenen Komponenten des Global Precipitation Climatology Projects werden Niederschlagsschätzungen an das WZN geliefert, die aus den Infrarotbildern der geostationären Satelliten für den Breitenbereich 40°S bis 40°N und, nur für die Ozeanflächen, aus den Mikrowellenaufnahmen eines polumlaufenden Satelliten zwischen 50°S und 50°N abgeleitet werden.

Bild 3 zeigt die aus den Satellitenbildern resultierenden

Gebietsniederschläge im Vergleich mit den Ergebnissen der konventionellen Analysen und der monatlich aufsummierten täglichen EZMW-Vorhersagen, großräumig gemittelt für eine Breitenzone, die Tropen und Subtropen umfaßt und mit diesen jahreszeitlich wandert. Diese Eingrenzung ist notwendig, weil die Niederschlagsschätzung aus IR-Aufnahmen durch frontale hohe Bewölkung erheblich verfälscht wird.

Die im gezeigten Vergleich verwendeten, auf konventionellen Meßdaten beruhenden Analysen sind nicht hinsichtlich des systematischen Meßfehlers korrigiert worden, was für die Tropen aber von geringer Bedeutung ist. Stärker einschränkend ist jedoch die noch mangelhafte Meßdatendichte.

Auffallend ist, daß die IR-Schätzungen über Land deutlich höhere, über den Ozeanen jedoch niedrigere Niederschläge als das Modell liefern, welches nach ARPE (1991) die tropischen konvektiven Regenfälle eher überschätzt. Neben diesen Abweichungen im Mittel sind auch große Streuungen bei Regressionsbetrachtungen für je zwei der Datenquellen zu verzeichnen. Dies gilt auch für solche Gebiete, in denen die Belegung mit konventionellen Meßdaten ausreichend ist (RUDOLF et al. 1992).

#### 7 Verbindung der Ergebnisse verschiedener Beobachtungssysteme

Für die Verifizierung von Klimamodellen geeignete Datensätze sollen möglichst genau die Realität wiedergeben und neben den Gebietsniederschlägen auch die Fehlerbreite für jeden Rasterwert enthalten.

Dieses Ziel kann nur durch eine Verknüpfung der Ergebnisse der unterschiedlichen Beobachtungstechniken mittels einer Optimum-Schätzmethode erreicht werden. Voraussetzung für die Anwendung einer solchen Methode ist, daß die verschiedenen Datenarten von systematischen Fehlern durch eine Korrektur oder Anpassung an ein Referenzniveau befreit werden und daß die zufällig verteilten Fehlerbreiten für jede Datenart getrennt und individuell für jedes Rasterfeld festgestellt werden.

Diese Voraussetzungen sind zur Zeit noch nicht, in einigen Jahren aber erfüllbar. Daher wird ein solches Verfahren von Wissenschaftlern der NASA gemeinsam mit dem WZN entwickelt (ADLER et al. 1993). Dabei werden zunächst die in zeitlich höherer Auflösung vorliegenden IR-Daten an die vom physikalischen Ansatz her vernünftigeren Mikrowellenergebnisse adjustiert. Auch die konventionellen Meßdaten müssen vor ihrer räumlichen Analyse hinsichtlich der systematischen Meßfehler korrigiert werden. Dann werden jeweils die Fehlerbreiten für das kombinierte Satellitenprodukt und die konventionellen Analysen durch Vergleiche mit Referenzdaten unter Berücksichtigung der Informationsdichte der Datenarten, orographischen und klimatischen Faktoren sowie, bei den Satellitendaten, der Kalibrierungsergebnisse bestimmt. Schließlich erfolgt die Verknüpfung mit einer fehlerbreitenabhängigen Wichtung und eine Minimierung der resultierenden Fehlerbreite des Produktes.

Für verschiedene internationale Projekte werden aber schon jetzt global flächendeckende Datensätze benötigt. Um dieser Anforderung zu entsprechen, fügt das WZN die Rasterdaten verschiedener Herkunft mit einem vorläufigen Prioritätenschema zusammen: Die Landflächen werden mit den ausschließlich aus konventionellen Messungen abgeleiteten Gebietsniederschlägen, die Ozeane zwischen dem Äquator und 50° Breite mit Schätzungen aus Satellitenaufnahmen, wobei die IR-Daten in einem jahreszeitenabhängigen Breitenbereich einfließen, und die übrigen Gebiete, für die keine beobachteten oder gemessenen Daten vorhanden sind, mit Ergebnissen der numerischen Wettervorhersage belegt. Dabei werden die verschiedenen Datenarten nicht vermischt, und jedes Rasterfeld wird mit einer Kennung versehen, aus der die Herkunft des Gebietsniederschlags, für Rasterfelder über Land auch die Anzahl der verwendeten Meßwerte, abgelesen werden kann.

Unter Verwendung dieser einfachen Methoden wurden Datensätze für die 24 Monate der Jahre 1987 und 1988 bereitgestellt, als Karten in Broschüren veröffentlicht und die Rasterdaten als Version 1 auf Disketten verbreitet. Bild 4 zeigt ein Beispiel für die Darstellung der monatlichen Gebietsniederschläge in einer Rasterkarte, hier aber nicht für einen Einzelmonat, sondern gemittelt über die 12 Monate des Jahres 1988.

## 8 Ausblick

Im Jahr 1994 soll der operationelle Betrieb des WZN aufgenommen werden. Dies wird voraussichtlich jedoch nicht im vollen Umfang möglich sein. Entsprechend den international vereinbarten Prioritäten sollen bis Ende 1994 für weitere 24 Monate (1989 und dann 1986) globale Produkte erstellt

werden, was bei der gegebenen personellen Kapazität des WZN nur mit einer eingeschränkten Datenbasis möglich ist, d.h. wie bisher nur mit Auswertung der Daten von weltweit ca. 7000 Stationen. Wenn möglich, sollen für wenige Testmonate auch alle zusätzlich gespeicherten Daten aufbereitet und in die Analyse einbezogen werden.

Das WZN muß der heute bereits absehbaren Entwicklung der Beobachtungstechnologie (automatische Stationen, Radar, neue Satelliteninstrumente, Einsatz von Bojen auf den Ozeanen) durch eine langfristige Fortentwicklung der Methoden Rechnung tragen. Zur Zeit wird im internationalen „Algorithm Intercomparison Programme“ nach verbesserten, routinefähigen Algorithmen zur Niederschlags-schätzung aus Satellitenaufnahmen gesucht. Jüngst wurden Niederschlagsschätzungen aus Mikrowellendaten für einen Bereich, der auch die Kontinentalflächen einschließt und nur die Polarregionen ausnimmt, abgeleitet.

Die wissenschaftliche Beratergruppe des WZN hat nach einem vom WZN veranstalteten internationalen Workshop (WCRP 1993) empfohlen, neue Analyseverfahren in Kooperation mit den Hochschulen zu entwickeln und später in die Routine zu übernehmen. Daneben sollen die Untersuchungen zur Fehlerbreite der Daten und Produkte intensiviert werden.

Für die Hochgebirge sind Vergleiche mit Abflußdatenreihen, für die Polarregionen mit Schneehöhendaten geplant, weil dort bei allen Meßmethoden die größten Probleme bestehen. In jedem Fall wird sich das WZN weiterhin bemühen, die Datenbasis aus konventionellen Messungen zu verbessern.

## Literatur

- ARPE, K. (1991): The Hydrological Cycle in the ECMWF Short-Range Forecasts. *Dyn. Atmos. Oceans* 16 Nr. 1/2, S. 33-59.
- ADLER, R. F.; G. J. HUFFMANN, P. R. KEEHN, B. RUDOLF, U. SCHNEIDER (1993): Global Precipitation Estimates Using a Combination of Satellite Data, Rain Gauge Analysis and Model Precipitation Information. Contribution to the IAMAP/IAHS Joint International Meeting, July 1993.
- BENICHO, P. (1987): Annual and Interannual Variability of Statistical Relationships between Precipitation and Topography in a Mountainous Area. 10th Conf. on Prob. and Stat. in Atm. Sciences, S. 273-278.
- GOODISON, B. E. (1978): Accuracy of Canadian Snow Gauge Measurements. *J. Appl. Meteorol.* 17, S. 1542-1548.
- GPCC (1992): Monthly Precipitation Estimates Based on Gauge Measurements on the Continents for the Year 1987 (Preliminary Results and Future Requirements). Published by World Climate Research Programme and Deutscher Wetterdienst, Report No. DWD/-K7/WZN-1992/08-1, Offenbach, August 1992.
- GPCC (1993): Global Area-Mean Monthly Precipitation Totals on a 2.5° Grid for the Year 1988 (Preliminary Results, Derived from Rain-Gauge Measurements, Satellite Observations and

- Numerical Weather Prediction Results). Rep.-No. DWD/WZN-1993/07-1, Offenbach July 1993.
- LEGATES, D. R., WILLMOTT, C. J. (1990): Mean Seasonal and Spatial Variability in Gauge-Corrected Global Precipitation. *Internat. J. Climatol.* 9, S. 111-127.
- RUDOLF, B. (1990): Das Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (Aufgaben, Grundlagen und erste Ergebnisse). *Promet* 1/2 '90, S. 66-69.
- RUDOLF, B., HAUSCHILD, H., REISS, M., SCHNEIDER, U. (1992): Beiträge zum Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie. *Meteorol. Zeitschrift. N. F.* 1/1, S. 7-84.
- SEVRUK, B. (1985): Correction of Monthly Precipitation for Wetting Losses. *TEUMO III, WMO Instruments and Observing Methods Report 22*, S. 7-12.
- WCRP (1993): Analysis Methods of Precipitation on a Global Scale. Report of a GEWEX Workshop, Koblenz, Sept. 1992 organized by the Global Precipitation Climatology Centre, WCRP-81, WMO-TD-No. 558, Genf, Juni 1993.
- WILLMOTT, C. J., ROWE, C. M., PHILPOT, W. D. (1985): Small-Scale Climate Maps: A Sensitivity Analysis of Some Common Assumptions Associated with Grid-Point Interpolation and Contouring. *Amer. Cartographer* 12 No. 1, S. 5-16.

## Habilitationen, Promotionen und Diplom-Hauptprüfungen im Jahr 1992

### Freie Universität Berlin

#### Promotionen

BERGER, Franz Herbert: Die Bestimmung des Einflusses von hohen Wolken auf den Strahlungshaushalt und auf das Klima durch Analyse von NOAA-AVHRR-Daten.

BLÜMEL, Klaus: Modellierung der Wärmeflüsse am Erdboden mit Berücksichtigung von Vegetation.

HIRSCHBERG, Michaela-Maria: Zum Einfluß von Feststoffraketenabgasen auf die Chemie der Stratosphäre: Untersuchungen mit einem dreidimensionalen photochemischen Zirkulationsmodell.

TORNOW, Carmen: Anwendungen fraktaler Methoden zur Abschätzung der aerosoloptischen Tiefe für die Atmosphärenkorrektur räumlich hochaufgelöster Satellitendaten.

#### Diplom-Hauptprüfungen

BANTZER, Christian: Klimaanomalien in Europa: Diagnose ihres Zusammenhangs mit stationären Wellen im nordatlantischen Raum.

BURKHARDT, Ulrike: Zirkulationsanomalien im nordatlantisch-europäischen Bereich: Diagnose der transienten Strömungen.

FÖRSTER, André: Großräumige dynamische Reibungswechselwirkung zwischen der Freien Atmosphäre und ihrer Grenzschicht in einem Kanalmodell.

JANKIEWICZ, Petra: Zusammenhang der Schwebstaub- und der Schwefeldioxidkonzentration in Abhängigkeit von verschiedenen meteorologischen Parametern in Berlin (West) 1987-1989.

KUGLIN, Rainer: Prognose der Hochwintertemperaturen für Berlin.

NEUGEBOHREN, Katrin: Ozon im nordpolaren Winter (CHEOPS III - Kampagnen)

REDEMUND, Uwe: Der Wärmeinsellekt Berlins anhand von Daten des Berliner Klimameßnetzes und verschiedener Luftmassen während des Untersuchungszeitraumes Jan. 1982 - Dez. 1985.

VOGT, Peter: Ein Vergleich von Lowtran-7 - Rechnungen mit gemessenen Strahlungsflüssen und Strahldichten.

### Humboldt-Universität Berlin

#### Promotion

LASCHEWSKI, Gudrun: Ein eindimensionales Strahlungs-Konvektions-Modell mit wechselwirkender Wolkensimulation.

#### Diplom-Hauptprüfungen

JAKOB, Christian: Methodische Untersuchungen zur Regionalisierung von Ergebnissen globaler Zirkulationsmodellrechnungen mit Hilfe statistischer Verfahren.

KROSCHEK, Stefan: Spektralstatistische Untersuchungen europäischer Gebietsniederschlagsreihen.

LÖNHARDT, Heiko: Vergleich von beobachteten nächtlichen Windmaxima und Grenzschichthöhen mit Modellrechnungen.

PERLWITZ, Judith: Untersuchung des statistischen Zusammenhangs zwischen troposphärischer und stratosphärischer Zirkulation der Nordhemisphäre im Winter mit multivariaten statistischen Analyseverfahren.

SCHINKE, Holger: Zum Auftreten von Zyklonen mit Kerndrücken = 990 hPa im atlantisch-europäischen Raum von 1930 bis 1991.

### Universität Bonn

#### Diplom-Hauptprüfungen

LANGER, Robert: Aufbau einer mobilen Energiebilanzstation.

PINNOW, Jürgen: Klimatologie von Mesozyklenen über dem Weddellmeergebiet für den antarktischen Herbst, Winter und Frühling.

STEIN, Olaf: Lagrangesche Simulation der Schadstoffausbreitung über komplexer Orographie.

### Technische Hochschule Darmstadt

#### Diplom-Hauptprüfungen

ARNOLD, Edelbert: Punktvorhersage - Statistische Untersuchungen zur Windrichtungsvorhersage.

MARBURG, Kyra: Numerische Simulation der Ausbreitung von Kfz-Abgasen in Straßenschluchten.

WAGNER, Ludwig: Experimentelle Untersuchungen zur Durchströmung von Baumgruppen.

### Universität Frankfurt am Main

#### Promotionen

STAUBES-DIETERICH, Regina: Verteilung von Dimethylsulfid, Carbonylsulfid und Schwefelkohlenstoff im Ozean und mariner Atmosphäre.

WOLZ, Guido: Meridionale Vertikalverteilung des atmosphärischen Schwefeldioxids in der Troposphäre.

#### Diplom-Hauptprüfungen

BRUNNEMANN, Gefion: Inbetriebnahme und Kalibrierung eines Sonnenphotometers.

DEGÜNTHER, Markus: Sensitivitätstests mit einem verbesserten Zweistrommodell für die Strahlungsübertragung in der Atmosphäre.

KNAUF, Andrea: Untersuchung zur Entropieproduktionsrate in eindimensionalen Klima - Energiebilanz - Modellen.

SCHÄFER, Bettina: Verteilung von Kondensationskernen und Wolkenkondensationskernen über dem Atlantik und der Grönlandsee.

WEINMANN, Martin: Troposphärisches Ozon im Rhein-Main-Gebiet 1983-1989.

WINTER, Klaus: Untersuchung zur Bildung und chemischen Zusammensetzung von Tau und Reif.

---

### Universität Freiburg

---

#### *Diplom-Hauptprüfung*

BRAKE, Christian: Komponenten des Waldniederschlags: Analyse langjähriger Messungen an einem Kiefernwald in der Oberrheinebene.

---

### Universität Göttingen

---

#### *Diplom-Hauptprüfung*

HEISE, Christa: Analyse langjähriger Temperaturreihen in Mitteleuropa.

---

### Universität Hamburg

---

#### *Promotionen*

BRINKOP, Sabine: Parameterisierung von Grenzschichtwolken für Zirkulationsmodelle.

CIESZELSKI, Rolf: Turbulenzmodellierung für Strömungen mit Helizität.

MANSCHKE, Waltraud: Fernerkundung der optischen Eigenschaften von Seen mit LANDSAT 5 Thematic Mapper.

PETERSEN, Gerhard: Numerische Modellierung des Transports und der chemischen Umwandlung von Quecksilber über Europa.

#### *Diplom-Hauptprüfungen*

ENGLISCH, Gereon: Ableitung der Gegenstrahlung an der Meeresoberfläche aus Messungen des Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I).

FIEG, Kerstin: Zur Parameterisierung der Jahresschneebilanz über einem globalen, dreidimensionalen Inlandeismodell: Versuch einer Simulation des letzten Eiszeitzyklus.

HENDEL, Silvio: Vermessung von Windkanalgrenzschichten mit neutraler und stabiler Schichtung mit Hilfe eines Laser-Doppler-Anemometers.

JACOBS, Muhammad-Kassiem: Untersuchung des Einflusses der stratosphärischen Quasi-Biennial Oscillation mit Hilfe der POP-Analyse und der assoziierten Korrelationsmuster auf verschiedene meteorologische Variablen.

KALL, Edelgard: Sensitivitätsexperimente mit einem eindimensionalen Biosphären-Atmosphären-Modell.

KÖHLER, Ines: Die Flußkorrekturmethode für Gebiete mit Meereisbedeckung.

MEYWERK, Jens: Fernerkundung der Meeresoberflächentemperatur mit dem Along Track Scanning Radiometer ATSR.

NEICK, Bernd: Modellierung des Schadstofftransports im Mesoscale am Beispiel des Experimentes auf der Sophienhöhe.

NIEMEIER, Ulrike: Numerische Simulation von Strömungsfeldern im Bereich der Insel Helgoland.

---

### Universität Hannover

---

#### *Promotionen*

ENGELBART, Dirk: Thermodynamik und Dynamik von Küstenpolynyen im Weddell-See.

MUSCHINSKI, Andreas: Statistische Beschreibung turbulenter Strömungen mittels einer lokalen Interpretation der Heisenbergschen Turbulenztheorie.

WEFELMEIER, Christa: Numerische Simulation mesoskaliger dynamischer Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Eis und Ozean.

#### *Diplom-Hauptprüfungen*

BÖTTCHER, Susanne: Phänomenologische Analyse langgestreckter Niederschlagsbänder auf Trogvorderseiten.

DANNE, Olaf: Spektrale Untersuchung mesoskaliger Strukturen im Windfeld der freien Atmosphäre auf der Basis von MST-Radarmessungen.

KOTZIAN, Markus: Statistische Auswertung von Windmessungen für die Bestimmung von Lastfällen an Windkraftanlagen.

PIEPER, Olaf: Sensitivitätsanalyse zu Energieausbeute und -dissipation in Windparks.

RISSMANN, Jürgen: Messung turbulenter Wärmeflüsse in der Grenzschicht bis 130 m.

ROTHE, Thomas: Die Rauigkeit antarktischer Meereisflächen.

---

### Universität (TH) Karlsruhe

---

#### *Promotionen*

FRANK, Helmut Paul: Grenzschichtstrukturen in Fronten.

PFISTER, Andreas: Der Einfluß der Topographie der Erdoberfläche auf die Vertikalsondierung des Temperaturprofils.

#### *Diplom-Hauptprüfungen*

EBERT, Jochen: Modellmäßige Beschreibung der Unterschiede Freiland/Wald anhand der Tagesgänge von Temperatur und Feuchte im Frühjahr und im Herbst.

FRANK, Eckhard: Ableitung höhenabhängiger Informationen über die Konzentration atmosphärischer Spurengase aus spektroskopischen Messungen vom Boden aus.

KOSSMANN, Meinolf: Deformation des vertikalen Geschwindigkeitsprofils und der Turbulenzintensität bei der Überströmung einer Bergkette.

KREISSL, Bernhard: Staubdeposition und NO<sub>2</sub>-Konzentration in Außen- und Innenluft in Abhängigkeit von meteorologischen Einflußgrößen.

KUNTZE, Karin: Numerische Simulation des Tagesgangs von Luftverunreinigungen in der atmosphärischen Grenzschicht.

LENZ, Claus-Jürgen: Numerische Modellsimulationen zum Impulstransport durch Leewellen.

SATTLER, Kai: Numerische Simulation der städtischen Grenzschicht.

SCHICKEDANZ, Uwe: Zusammenhänge zwischen Befindensstörungen des Menschen und den „Karlsruher Wetterphasen“.

SCHIMMELPFENNIG, Timo: Zusammenhänge zwischen Wasserdampfbildern und atmosphärischen Parametern.

SCHWARTZ, Angelika: Ausbreitung und Deposition von Autoabgasen, dargestellt anhand von numerischen Simulationen.

VÖGTLIN, Roland: Die tageszeitliche Entwicklung der konvektiven Grenzschicht über hügeligem Gelände.

---

### Universität Kiel

---

#### *Habilitation*

SIMMER, Clemens: Satellitenfernerkundung hydrologischer Parameter der Atmosphäre mit Mikrowellen.

#### *Promotionen*

BUMKE, Klaus: Räumliche Skalen des Bodenwindfeldes auf dem Nordatlantik.

HARGENS, Ute: Fernerkundung des Flüssigwassergehaltes von Wolken.

*Diplom- Hauptprüfungen.*

GROSSKLAUS, Martin: Entwicklung zur Niederschlagsmessung auf See.

NIEKAMP, Klauspeter: Untersuchungen zur Güte der Parametrisierung von Malevskii-Malevich zur Bestimmung der solaren Einstrahlung an der Ozeanoberfläche.

OELKE, Christian: Mikrowellenfernerkundung des Wolkenwassergehaltes über dem Atlantik mit Satellitendaten.

---

**Universität Köln**

*Promotionen*

GROLLMANN, Thomas: Wechselwirkung freier Moden, Gezeiten und Schwerewellen in der mittleren Atmosphäre.

LÜTTGEN, Andrea: Abstrahlung von Plasmawellenflügeln durch ein elektrodynamisches Fesselsatellitensystem bei beliebiger schiefwinkliger Geometrie.

OBERREUTER, Andreas: Intrusion stratosphärischen Ozons in die Troposphäre durch Tropopausenfaltungen und Kaltlufttropfen.

---

**Universität Mainz**

*Promotionen*

KRÄMER, Martina: Unlösliche und gelöste Inhaltsstoffe in Wolkenwasser.

MATTHIAS-MASER, Sabine: Entwicklung einer Methode zur Identifizierung von biologischen Aerosolpartikeln mit Radius > 0,2 µm zur Bestimmung ihrer atmosphärischen Größenverteilung.

SIEBERT, Jörg: A Numerical Model for the Interaction between Land-Surface Processes and the Atmospheric Boundary Layer.

VOGELGESANG, Rainer: Strahlungstransport in endlichen zylindrischen Wolken.

---

**Universität München**

*Promotion*

WIRTH, Volkmar: Quasi-Stationary Planetary Waves in Total Ozone and their Correlation with Lower Stratospheric Temperature.

*Diplom-Hauptprüfungen*

HOH, Nikolaus: Meteorologische und luftchemische Aspekte im Umfeld des Großflughafens MUC II vor Aufnahme des Flugbetriebs.

KRAUL, Christoph: Klimatologische Massenhaushaltsstudie an einem Alpengletscher.

MÖLLER, Dominique: A Numerical Model for the Study of Tropical Cyclones using Potential Vorticity Inversion.

VOGEL, Friederike: Ozonmessungen in der Atmosphärischen Grenzschicht mit einem Fesselsondensystem.

WILDENROTHER, Gabriele: Zusammenhang zwischen Stickoxiden und meteorologischen Größen, dargestellt durch die Auswertung einer Meßreihe.

---

**Universität Graz**

*Promotionen*

BESSER, Bruno: Petschek-Type Reconnection at the Magnetopause: Theory and Observations.

DUEREGGER, Wolfgang: The Kelvin-Helmholtz Instability and its Application to Venus, Mars and Titan.

KIRCHENGAST, Gottfried: Ein theoretisches Ionosphärenmodell und seine Verwendung zur Simulation von TIDs.

LAMMER, Helmut: Molecular Ion Escape From Mars.

TRATTNER, Karlheinz: Upstream Particle Events at the Earth's Bow Shock.

*Diplom-Hauptprüfungen*

BAUMANN, Gabriele: Ozonverhältnisse in Österreich in den Jahren 1990/91.

HERLIZ, Armin: In-situ-Messungen von Spurenstoffen in der mittleren Atmosphäre.

KARGL, Günter: The role of impacting bodies in the evolution of planetary atmospheres.

KIENDL, Michael: Das CMA-Diagramm. Wellenausbreitung in einem kalten Plasma.

OLIPITZ, Brigitte: Volcanism in the solar system and its influence on atmospheres.

ROTHLEITNER, Werner A.: Jupiter Dekameter-Radiostrahlung im Millisekundenbereich.

SCHEDL, Thomas: Untersuchungen zur Computertomographie in der Ionosphäre.

VOLLER, Wolfgang G.: Über die Bedeutung von natürlichen und anthropogenen Katalysatoren für das Ozonbudget.

---

**Universität Innsbruck**

*Diplom-Hauptprüfungen*

HINTEREGGER, Peter: Analyse der Starkniederschläge vom Mai 1983 und ihrer Folgen auf den Wasserkreislauf im Ötztal und Vinschgau.

JÄGER, Andreas: Isentrope Trajektorien und ihre Anwendung auf das Konzept der potentiellen Vorticity bei orographisch induzierten Lee-Zyklogenese.

---

**Universität Wien**

**Institut für Meteorologie und Geophysik**

*Promotion*

KERSCHBAUM, Markus: Modellierung von Wolken- und Niederschlagsbildung bei zweidimensionaler Bergströmung.

*Diplom-Hauptprüfungen*

BOGNER, Manfred: Untersuchung der Immissionsverhältnisse für den Raum Linz unter Verwendung eines Gauß-Modells.

DORNINGER, Manfred: Subskalige Vertikalklüsse über dem europäischen Kontinent.

HAIMBERGER, Leopold: Der Energiehaushalt der Atmosphäre in Europa.

KNAUDER, Werner: Immissionsklimatische Analyse der Schadstoffdaten und meteorologischen Daten des Tullnerfeldes.

PILATI, Peter: Gebietsverdunstung.

RUDOLF, Richard: Expansionskammerexperimente zum Kondensationswachstum in übersättigten binären Wasser - N-Propanol Dampfmischungen.

SCHERNEY, Theodor: Fraktale Anwendungen in der Meteorologie.

SPREIZHOFER, Gerald: Synoptisch-klimatologische Starkschneefalluntersuchungen

STOHL, Andreas: Grenzüberschreitende Luftverunreinigungen am Beispiel CSFR - Österreich.

TROJAN, Alexander: Wechselwirkungen zwischen Biosphäre u. Kryosphäre.

WOTAWA, Gerhard: Anwendbarkeit eines Niederländischen Trajektorienmodells für die Analyse der durch Regionaltransport verursachten Ozonkonzentrationen im Österreichischen Raum.

*Habilitation*

BERNHOFER, Christian: Experimentelle Bestimmung von Energieflüssen über Pflanzenbeständen.

*Promotion*

SAYLAN, Levent: Der Einfluß atmosphärischer, Boden- und Pflanzenparameter auf die Evapotranspiration von Sojabohne, Pferdebohne und Mais.

*Diplom-Hauptprüfungen*

HOLTERMANN, Christian: Das Strahlungsangebot und seine Wirkung auf das Temperaturregime der Melk.

**ETH Zürich**

*Promotionen*

BINDER, Peter: Aspects of precipitation simulation in numerical weather prediction: Towards an operational mesoscale NWP model.

GHELLI-SPANU, Anna: Data assimilation for numerical weather prediction: The pseudo-Lagrangian relaxation technique.

OBERHOLZER, Beat: Untersuchungen über den Einfluß von anorganischen Spurenstoffen auf die Zusammensetzung des Niederschlages während winterlichen Feldmessungen an der Rigi.

## Buchbesprechungen, Neuerscheinungen

HUGGETT, Richard J.: *Climate, Earth Processes and Earth History*. Berlin...: Springer-Verlag 1991, 281 S., 71 Abb., DM 128,-, ISBN 3-540-53419-9.

Die anthropogen verursachten Klimaänderungen und ihre Folgen sind zunehmend Gegenstand zahlreicher Untersuchungen und Diskussionen. In diesem Zusammenhang sind Kenntnisse über Klimaschwankungen im Laufe der Erdgeschichte und ihre möglichen Ursachen von wesentlichem Interesse. Die Fortschritte der letzten Jahre bei der Auswertung von Proxy-Daten des Klimas aus Bohrkernen, Baumringen, Pollenanalyse u.a. sowie bei der Simulation des Klimas mit Klimamodellen haben neue Einsichten in die Zusammenhänge von Klima und terrestrischen wie extraterrestrischen Prozessen ermöglicht. Das Buch von R.J. Huggett enthält eine umfangreiche Zusammenstellung vorliegender Kenntnisse und Hypothesen dazu.

Ausgehend davon, daß das Klimasystem sich nur aus dem Zusammenwirken von Systemen unterschiedlicher Scales verstehen läßt, werden im 2. Kapitel „Luft“ die möglichen astronomischen Ursachen von Klimaschwankungen sowie die interne Dynamik des Klimasystems durch Änderungen des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre, die Wirkungen von Vulkanausbrüchen, Veränderungen der Plattentektonik, der Land-/Meerverteilung, der Neigung der Erdachse und der Erdrotation dargelegt.

Das 3. Kapitel „Eis und Wasser“ behandelt die Beziehungen zwischen Klima und Erdoberflächenprozessen, die sich aus dem Wärme- und Wasserhaushalt ergeben. Das Kapitel 4 „Sedimente“ befaßt sich mit dem Einfluß des Klimas auf die Verwitterung, die Abtragung und auf Ablagerungen sowie den Rückschlüssen, die sich aus den Ablagerungen über das Klima der Vergangenheit ziehen lassen. Mit den Klimaelementen bei

der Bildung von „Landformen und Böden“ setzt sich Kapitel 5 auseinander.

Kapitel 6 „Tiere und Pflanzen“ behandelt den Einfluß des Klimas auf das Auftreten und die Verbreitung von Tieren und Pflanzen, Kapitel 7 „Biome und Zönobiome“ ökologische Fragen von Pflanzengesellschaften, Klimaklassifikationen sowie die Möglichkeiten und die Notwendigkeit von Biosphärenmodellen und ihre Einbeziehung in Klimamodelle. Einen allgemeinen Ausblick auf die weiteren Forschungsrichtungen enthält Kapitel 8 „Synthese“.

Das Buch ist eine Fundgrube gegenwärtigen Wissens und weiterer Anregungen auf dem schwierigen – nur interdisziplinär erfolgreichen – Weg zum Verstehen des außerordentlich komplizierten Systems Klima/Klimaänderungen und seiner Rückwirkungen. Die Ideen über mögliche Zusammenhänge werden jeweils in ihrer historischen Entwicklung bis in das Erscheinungsjahr des Buches verfolgt. Das kleingedruckte Literaturverzeichnis umfaßt allein 43 Seiten. Ein 19seitiges Glossar mit den Erläuterungen wichtiger nicht im Text erklärter Begriffe rundet den instruktiven Überblick ab, den das Buch bietet.

G. Götschmann

SCHOENWIESE, Christian-D. u.a.: *Klimatrend-Atlas, Europa 1891-1990*. Frankfurt am Main: Zentrum f. Umweltforschung 1993, 218 S. Berichte des Zentrums f. Umweltforschung 20. ISBN 3-927338-19-2, 55,- DM.

Dieser Atlas weicht erheblich von den üblichen, in Lehrbüchern der Klimatologie zu findenden, Klimaatlanten ab, die in der Regel nur Mittelwerte einzelner Klimaelemente bzw. darauf beruhende Klimaklassifikationen präsentieren. Das Klima ist aber

nichts „Statisches“, sondern verändert sich in allen räumlichen und zeitlichen Größenordnungen, was in den letzten Jahren immer deutlicher geworden ist. Diesem Sachverhalt tragen die Autoren Rechnung, indem sie mit Hilfe der statistischen Methode der Trendanalyse langer Beobachtungsreihen die Frage nach systematischen, über das ganze Beobachtungsintervall anhaltenden, Änderungen bestimmter Klimaelemente untersuchen und in Form von Klimatrend-Karten für Europa graphisch darstellen.

Der Atlas gliedert sich in vier Kapitel, wobei die Darstellung der Klimatrend-Karten, wie es sich für einen Atlas gehört, den meisten Platz einnimmt. Das erste Kapitel liefert eine kurze Einführung in die moderne Zeitreihenanalyse und macht dem Leser die, in einer Zeitreihe enthaltenen, verschiedenartigen Fluktuationen und Schwankungen sichtbar. Im anschließenden Kapitel zwei werden die Zielsetzung des Klimatrend-Atlas erörtert und kurz die verwendeten Klimaparameter beschrieben, wobei bei einer korrekten statistischen Analyse die Verfügbarkeit möglichst langer homogener Datenreihen eine große Rolle spielt. Im dritten Kapitel beschreiben die Autoren ihre Auswahlkriterien des, für die Untersuchung zugrundeliegenden, Datenmaterials sowie die Methodik der Trendanalyse, die neben der eigentlichen Trendberechnung auch das Trend-Rausch-Verhältnis beinhaltet. Das Trend-Rausch-Verhältnis gibt an, wie groß der Trend gegenüber der gesamten Zeitreihenvarianz ausfällt. Dies führt dann zu Signifikanzausagen im statistischen Sinn, die in Form des Mann-Kendall-Tests in die Analysen einfließen. Einen relativ großen Raum nimmt zusätzlich die Problematik der Homogenität bzw. Inhomogenität der verwendeten Datenreihen ein.

Die eigentlichen Kartendarstellungen findet man in Kapitel vier, gegliedert nach den untersuchten Klimatelementen: Temperatur, Luftdruck, Niederschlag und Luftfeuchte. Jedes Unterkapitel beginnt mit der Beschreibung des dargestellten Klimatelements, gefolgt von einer kurzen Erläuterung der verwendeten statistischen Verfahren sowie zusätzlich einiger Hinweise zur Stationsauswahl. Die geographische Lage der verwendeten Stationsdatenreihen zeigt die erste Kartendarstellung jedes Unterkapitels, gefolgt von den eigentlichen Klimakarten. Zunächst wird für den jeweiligen Klimaparameter der Mittelwert für die „Normalperiode 1961–1990 der WMO“ im europäischen Raum gezeigt, gefolgt von Kartendarstellungen des Trends, des Trend-Rausch-Verhältnisses und der Trend-Signifikanz für jeweils monatlich und jahreszeitlich gemittelte Werte. Eine Stationsliste mit geographischen Koordinaten, WMO-Kennziffern, Höhe über NN, benutztem Klimatelement und Homogenitätsklasse sowie einem Literaturverzeichnis am Ende des Buches, rundet das insgesamt positive Gesamtbild dieses außergewöhnlichen Klimatrend-Atlases ab.

Der Klimatrend-Atlas ist sowohl für den interessierten Laien als auch für den wissenschaftlich arbeitenden Klimatologen eine anschauliche Informationsquelle über aufgefundene langfristige Klimatrends und über die Möglichkeit, auch vor dem Hintergrund der anthropogenen Eingriffe des Menschen in das Klima, ob sich systematische Klimaänderungen als länger anhaltende Trends überhaupt in einer Region (hier Europa) aufspüren lassen.

A. Cress

HANDBOOK of Meteorological Forecasting for Soaring Flight, WMO No. 495, Technical Note No. 158, 2. Auflage 1993, 84 S. SFR 24,—, ISBN 93-63-12495-0

Neue Erkenntnisse über mesoskalige Prozesse der thermischen Konvektion, bisher nicht verfügbare Hilfsmittel für die Segelflugwetterprognose und sprunghafte Leistungssteigerungen moderner Segelflugzeuge machen es notwendig, ein aktuelles Nachschlagewerk für Segelflugwettervorhersagen, der schwierigsten Art von Wetterprognosen, verfügbar zu haben.

Um das Verständnis des für Segelflugwettervorhersagen zuständigen Personals für die Erfordernisse der Piloten an benötigten Informationen zu wecken und um überhaupt Leitlinien zur Erstellung von Segelflugwetterberichten an die Hand zu geben, veröffentlichte die WMO 1978 die 1. Auflage eines entsprechenden Handbuchs. Aufgrund der aktuellen Entwicklungen wurde nun eine Überarbeitung des Werkes sinnvoll. Sie wurde erstellt von der OSTIV,

der Organization Scientifique et Technique International du Vol à Voile, unter maßgeblicher Beteiligung deutscher Experten, die sowohl über den nötigen fachlichen Hintergrund als auch eigene praktische Flugerfahrung verfügen.

Das Buch richtet sich im wesentlichen an Wetterberater und Wettbewerbsleiter und ist gemäß den Aussagen in der Einleitung weniger zum Eigen-Gebrauch von Piloten selbst gedacht. Es ist jedoch gut vorstellbar, daß das Handbuch auch in Kreisen der Segelflugpiloten eine größere Verbreitung finden wird; da gänzlich auf Theorie an Hand von Formeln verzichtet wird, ist es durchaus auch für den interessierten Laien lehr- und hilfreich.

Das Handbuch konzentriert sich nach Anspruch der Autoren auf die Anforderungen des Luftsports mit Geräten, die nur schwach oder gar nicht motorisiert sind. In diesem Punkt ist ein kleiner Schwachpunkt des sonst außerordentlich gelungenen Werkes zu vermerken: das Buch ist, wie ja auch der Titel sagt, weitgehend auf die Erfordernisse des Leistungssegelfluges zugeschnitten und somit auf die Themenkomplexe Thermik, Leewellen, Hangaufwind. Anforderungen des Ballonsports z.B. werden nicht vollständig abgedeckt, insbesondere solche nicht, die im Zusammenhang mit der Luftströmung in den unteren Troposphärenschichten unter stabilen Bedingungen stehen.

Das erste Kapitel beschreibt die spezifischen Eigenarten der verschiedenen Luftsportgeräte und ihre Einsatzspektren unter meteorologischen Gesichtspunkten. Dieses Kapitel, das auch bereits auf die für den Luftsport gefährlichen Wettererscheinungen eingeht, ist deshalb wichtig und begrüßenswert, weil es bei dem Wetterberater, der ja nicht immer auch selbst Luftsportler ist, das nötige Verständnis für die meteorologischen Anforderungen für einen erfolgreichen Einsatz der Geräte im Leistungsflug weckt.

Kapitel 2 widmet sich ausführlich den Eigenschaften und der Vorhersage der Thermik. Hierin sind auch Ergebnisse neuer Forschungen enthalten, die sicherlich noch nicht meteorologisches Allgemeinut sind wie z.B. die „Bubbles in den Bubbles“. Es werden Anleitungen für die Vorhersage von Beginn, Ende und Stärke von thermischer Konvektion gegeben sowie die Abhängigkeit von orographischen Effekten und die Voraussetzungen zum Auftreten in organisierter Form geschildert.

Kapitel 3 erläutert die Voraussetzungen zur Entstehung von Gebirgsewellen und liefert handliche Anleitungen für deren Vorhersage. Kapitel 4 geht auf die Thermikwellen ein, die Segelflüge auch deutlich über die Konvektionsschicht hinaus gestatten;

obzwar nicht neu, gehört das Wissen über diese Wellen bislang sicherlich nicht zum meteorologischen Allgemeinut.

Dem Hangaufwind mit Beschreibung der Einflüsse von Hangform und Stabilität der Luftschichtung auf die Aufwindstärke ist ein eigenes, kurzes Kapitel gewidmet. Kapitel 6 verweist auf zusätzliche Hilfsmittel für die Vorhersage wie numerische Wettervorhersagemodelle, Nutzung von PCs und entsprechenden Programmen für eine objektive und schnelle Tempauswertung vor Ort sowie Wettersatelliten- und Radarbilder. Weil die Themenbereiche in Zukunft an Bedeutung zunehmen werden und die Bereitstellung der benötigten Daten immer leichter wird, hätte dieses Kapitel etwas ausführlicher ausfallen können.

Kapitel 7 muß lobend hervorgehoben werden: es konzentriert sich auf die Erstellung und Präsentation von Segelflugwettervorhersagen und enthält Vorschläge zur Standardisierung derartiger Berichte. Dieses Kapitel trägt zur Objektivierung der Segelflugwettervorhersagen bei; leider hängt deren Qualität auch heute noch allzu oft von den persönlichen Neigungen des Bearbeiters ab. Kapitel 8 liefert 5 Beschreibungen und Analysen zu extremen Segelflugereignissen aus Sicht des Meteorologen und des Piloten. So erfährt man, wie es z.B. möglich war, im reinen Segelflug eine Strecke von 2026 km in einem Stück zurückzulegen. Kapitel 9 enthält schließlich eine kurze Klimatologie der Segelflugbedingungen in Europa.

Insgesamt ist das 84 Seiten umfassende Werk nicht nur ein Nachschlagewerk für das mit Wettervorhersagen für den Luftsport befaßte Personal, sondern vielmehr ein Heft mit Lehr- und Fortbildungscharakter auf dem aktuellen Wissens- und Entwicklungsstand. Besonders begrüßenswert und erfreulich ist, daß die OSTIV beschlossen hat, eine Übersetzung des Handbuchs ins Deutsche herauszugeben, was sicherlich eine Verbreitung des eigentlich für den Fachmann gedachten Werkes in weitere Kreise unter den Leistungspiloten zur Folge haben wird.

W. Benesch

K. HUTTER (Hrsg.): Dynamik umweltrelevanter Systeme. Berlin...: Springer-Verlag 1991, 420 S., 186 Abb., DM 65,—, ISBN 3-540-53597-7.

Anthropogen verursachte Umweltschäden haben längst nicht mehr lokalen sondern globalen Charakter. Umfangreiche Forschungsarbeiten werden geleistet, um Ursachen und Folgen der Umweltzerstörung zu erkennen und eine unheilvolle Entwicklung – hoffentlich noch rechtzeitig – aufzuhalten.

Es war deshalb eine sehr zu begrüßende Zielstellung, in einer zweisemestrigen Ringvorlesung 1989/90 an der Technischen Hochschule Darmstadt durch fachübergreifende Vorträge kompetenter Wissenschaftler bei den Studenten ein „naturwissenschaftliches Fundament der Dynamik umweltrelevanter Systeme für zukünftiges Verstehen und Handeln“ zu schaffen. Das vorliegende Buch stellt die 16 gehaltenen Vorträge zusammen.

Obwohl eine offizielle Trennung nicht existiert, befaßt sich der erste Teil des Buches im wesentlichen mit den globalen Aspekten der zunehmenden Umweltbelastung. Teilbeiträge behandeln den Treibhauseffekt durch den Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre, die Wirkung einer Temperaturzunahme auf den Meeresspiegel und die Eisschilde, die Ergebnisse von Klimamodellvorhersagen, die besondere Rolle des Wasserkreislaufs, der Ozeane und der Wolken bei Klimaänderungen sowie die Möglichkeiten der Rekonstruktion der Klimageschichte aus Eisbohrkernen.

Ein gesonderter Beitrag legt die Aspekte einer künftigen Energieversorgung angesichts des Treibhauseffektes unter Berücksichtigung von Ökonomie und politischer Durchsetzbarkeit der alternativen Energieträger dar. Der zweite Teil des Buches enthält dann Beiträge zu speziellen Umweltproblemen. Soziologische Auswirkungen von besonderen Naturereignissen werden am Beispiel des El Nino behandelt. Gewässerfragen werden in zwei Beiträgen über Feldmessungen in Seen einschließlich der Grundgleichungen der Seehydrodynamik sowie über die Biologie des Phytoplanktons angesprochen. Weitere Beiträge befassen sich mit Aspekten des Stadtklimas, der Schadstoffausbreitung in der Atmosphäre sowie mit den Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen/Bauwerken. Das Problem der Waldschäden wird in zwei Beiträgen lediglich methodisch behandelt. Der letzte Beitrag ist allgemein den Begriffen Ordnung und Chaos gewidmet.

Während der erste Teil des Buches einen guten Überblick über wesentliche Bereiche des Klimasystems gibt, ist der zweite Teil doch relativ heterogen und läßt inhaltlich eine Reihe von Fragen offen. Darüber hinaus vermißt man in dem Buch so wichtige Probleme wie die zunehmende Zerstörung der Ozonschicht oder die Folgen der Rodung der tropischen Regenwälder. Vielleicht hatte die Einführung des Buches auch zu große Erwartungen geweckt.

G. Götschmann

R. G. WYLIE und T. LALAS: Measurement of Temperature and Humidity. Technical Note No. 194, WMO-No. 759, World Meteorological Organization, Geneva 1992. ISBN 92-63-10759-9.

Bei dieser WMO-Veröffentlichung handelt es sich um einen nur geringfügig überarbeiteten, aber nunmehr mit Konstruktionszeichnungen versehenen, Text, der von den obigen Verfassern bereits im August 1981 unter dem Titel „The WMO Reference Psychrometer“ bei der Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australien, veröffentlicht wurde.

Die Entwicklung eines WMO-Referenzpsychrometers wird bereits seit 1965 betrieben. Es soll zur Vereinheitlichung der Feuchtemessung in allen Ländern beitragen, indem Vergleichsmessungen mit anderen Feuchtemeßgeräten im Routinebetrieb vorgenommen werden. Neben der Angabe einer für dieses Gerät zugeschnittenen Psychrometergleichung werden ausführliche Einzelheiten der Konstruktion des Gerätes, welches wahlweise mit Quecksilberthermometern oder Widerstandsthermometern verwendet werden kann, beschrieben. Daneben wird eine technische Beschreibung sowie eine Bedienungsanleitung vorgelegt. Ergebnisse von Labor- und Felderprobungen werden mitgeteilt. Außerdem werden Genauigkeitsbetrachtungen verschiedener Parameter angestellt. Im Psychrometer soll 2 cm vor dem Trocken und Feuchtermometer, die transversal angeströmt werden, eine Luftgeschwindigkeit von 4,5 m/s herrschen, die mit Hilfe eines Pitotrohres und Manometers eingestellt werden soll. An den Thermometern selbst tritt dann eine Luftgeschwindigkeit von 6,4 m/s auf. Über das Gebläse und den Motor zur Lufterzeugung wird nichts mitgeteilt.

In dieser überarbeiteten Fassung wird nicht auf internationale Vergleichsmessungen der CIMO der WMO eingegangen, die in den letzten Jahren mit diesem Psychrometer und anderen WMO-Referenzpsychrometertypen, Taupunktpiegelgeräten und Aspirationspsychrometern nach Assmann gemacht worden sind. Es handelt sich bei diesen Vergleichsmessungen um den zwischen 1985 und 1989 durchgeführten Feldvergleich „WMO International Hygrometer Intercomparison“ (WMO/TD-No. 316, Geneva 1989) und den 1987/88 vorgenommenen Laborvergleich „WMO Assmann Aspiration Psychrometer Intercomparison“ (WMO/TD-No. 289, Geneva 1989). Während beider internationaler Vergleiche wurden die Schwächen des australischen Gerätes erkannt, und es wurden Vorschläge für eine Verbesserung gemacht. Diese sind in der vorgelegten Veröffentlichung nicht beachtet worden. Bei den Nachteilen des australischen Gerätes han-

delt es sich um: 1. unbequeme freie Aufstellung und Bedienung im Feld, 2. Verwendung nur bei bestimmten, günstigen Wetterlagen, 3. Fehlmessungen durch zu hohen Luftdurchsatz und einseitige Wasserzuführung zum Psychrometerstrumpf bei mittleren und geringen relativen Feuchten bzw. hohen Temperaturen, wodurch eine Austrocknung des Strumpfes hervorgerufen wird, 4. einen zu gering angegebenen Koeffizienten in der Psychrometergleichung (siehe auch WMO/TD-No. 303, Geneva 1989, S. 175-180), 5. übertriebene Forderungen für die Bedienung in der Praxis.

Da sich ferner wegen der verwendeten Dauerbefeuchtungsmethode das Psychrometer nur bei positiven Temperaturen einsetzen läßt, sind gegenwärtig von der CIMO auch Taupiegelgeräte als Referenzgeräte für den negativen Temperaturbereich in der Diskussion (WMO-No. 727, Geneva 1990, S. 73/74 und WMO/TD-No. 462, Geneva 1992, S. 181-185).

Ein neuer internationaler Vergleich von WMO-Referenzpsychrometern aus Australien, der VR China und der Bundesrepublik Deutschland würde dem Gedanken der Entwicklung eines WMO-Referenzpsychrometers sehr dienlich sein.

Eine gründlichere Überarbeitung - unter Beachtung aller Erprobungsergebnisse und Vorschläge zur Umgestaltung - wäre in bezug auf diese Veröffentlichung wünschenswert gewesen.

D. Sonntag

PETR, J. (Ed.): Weather and Yield. Amsterdam...: Elsevier 1991, 288 S. ISBN 0-444-98803-3. Developments in Crop Science Vol. 20

ESSER, G.; OVERDIECK, D. (Hrsg.): Modern ecology. Basic and applied aspects. Amsterdam...: Elsevier 1991, 844 S. ISBN 0-444-89183-8.

CHAMBERLAIN, A.C.: Radioactive aerosols. Cambridge University Press 1991, 255 S. ISBN 0-521-40121-6. Cambridge Environmental Chemistry Series Vol. 3.

KYLE, Th. G.: Atmospheric transmission, emission and scattering. Oxford...: Pergamon 1991, 288 S. ISBN 0-08-040287-9.

WYMAN, R.L. (Ed.): Global climate change and life on earth. New York...: Routledge 1991, 282 S. ISBN 0-412-02811-5.

SONNEMANN, G.: Ozon. Natürliche Schwankungen und anthropogene Einflüsse. Berlin: Akademie-Verlag 1992, 316 S. ISBN 3-05-500631-3.

BARRY, R.G.: Mountain weather and climate. 2nd Ed. London...: Routledge 1992, 402 S. ISBN 0-415-07112-7.

- WOOD, E.F. (Ed.): Land surface-atmosphere interactions for climate modeling. Dordrecht...: Kluwer 1991, 314 S. ISBN 0-7923-1004-7.
- PERRY, A.H.; SYMONS, L.J. (Ed.): Highway meteorology. London...: E. Spon 1991, 209 S. ISBN 0-442-31380-2.
- ROEDEL, W.: Physik unserer Umwelt, die Atmosphäre. Berlin...: Springer 1992, 457 S. ISBN 3-540-54285-X.
- SAUVAGEOT, H.: Radar meteorology. Boston...: Artech 1992, 366 S. ISBN 0-89006-318-4.
- SCHÖNWIESTE, Chr.-D.: Klima im Wandel. Tatsachen, Irrtümer, Risiken. Stuttgart: DVA 1992, 223 S. ISBN 3-421-02764-1.
- BRADLEY, R.S.; JONES, Ph.D. (Ed.): Climate since A.D. 1500. London...: Routledge 1992, 679 S. ISBN 0-415-07593-9.
- SEIFRITZ, W.: Der Treibhauseffekt. Technische Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Entsorgung. München...: Hanser 1991, 210 S. ISBN 3-446-15842-1.
- FIERO, A.: Histoire de la météorologie. Paris: Ed. Denuel 1991, 315 S. ISBN 2-207-23838-5.
- HUPFER, P. (Hrsg.): Das Klimasystem der Erde. Berlin: Akademie-Verl. 1991, 464 S. ISBN 3-05-500712-3.
- REITER, R.: Phenomena in atmospheric an environmental electricity. Amsterdam...: Elsevier 1992, 541 S. ISBN 0-444-89286-9. Developments in Atmospheric Science Vol. 20.
- CLUCKIE, I.D.; COLLIER, C.G. (Ed.): Hydrological applications of weather radar. New York...: Ellis Horwood 1991, 644 S. ISBN 0-13-441478-0.
- PEIXOTO, J.P.; OORT, A.H.: Physics of climate. New York: American Institute of Physics 1992, 520 S. ISBN 0-88318-712-4.
- ZANNETTI, P.: Air pollution modeling. Theories, computational methods and available software. New York: V. Nosttrand Reinhold 1990, 444 S. ISBN 0-442-30805-1.
- HOLTON, J.R.: An introduction to dynamic meteorology. 3rd. ed. San Diego...: Academic Press 1992, 507 S. Internat. Geophys. Ser. Vol. 48.
- CROWLEY, Th.J.; NORTH, G.R.: Paleoclimatology. Oxford 1991, 339 S. ISBN 0-19-503963-7. Oxford Monographs on Geology and Geophysics Vol. 18.
- GARRATT, J.R.: The atmospheric boundary layer. Cambridge University Press 1992, 316 S. ISBN 0-521-38052-9.
- WMO: International meteorological vocabulary. Genf 1992, 784 S. WMO-No. 182, ISBN 92-63-02182-1.
- PC-Wetterstation. Vom Meßwertaufnehmer zum Satellitenbild. Aachen: Elektor-Verl. 1992, 255 S. ISBN 3-928051-38-5.
- Klima- und Atmosphärenforschung. Wiss. Z.d. Humboldt-Universität Berlin, Reihe Mathematik/Naturwissenschaften 41 (1992) 2, S. 1-135. ISSN 0863-0631, ISBN 3-86004-105-3. 13 Beiträge.
- TRENBERTH, K.E. (Ed.): Climate system modeling. Cambridge University Press 1992, 788 S. ISBN 0-521-43231-6.
- JEFTIC, L. u.a. (Ed.): Climatic change and the Mediterranean. London...: Edward Arnold 1992, 673 S. ISBN 0-340-55329-4.
- BLUESTEIN, H.B.: Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes. Oxford University Press 1992 u. 1993. Vol. 1 Principles of kinematics and dynamics, 431 S. ISBN 0-19-506267-1. Vol. 2 Observations and theory of weather systems, 594 S. ISBN 0-19-506268-X.
- GROSS, G. u.a. (Bearb.): Numerische Simulation der Strömungs- und Ausbreitungsvorgänge im Bereich Kassel während einer Strahlungsnacht. Wiesbaden: Hess. Landesanst. f. Umwelt 1992, 50 S. ISBN 3-89026-140-X.
- MINTZER, I. M. u.a. (Ed.): Confronting climate change. Risks, implications and responses. Cambridge University Press 1992, 382 S., ISBN 0-521-42091-1.
- DIAZ, H. F. u.a. (Ed.): El Nino. Historical and palaeoclimatic aspects of the southern oscillation. Cambridge University Press 1992, 476 S., ISBN 0-521-43042-9.
- BRYANT, E.: Natural hazards. Cambridge University Press 1991, 294 S., ISBN 0-521-37295-X.
- WICKSON, K.M.: Meteorology for pilots. Airlife Publ. 1992, 310 S. ISBN 1-85310-316-0.
- KOBYSHEVA, N.V.: Guidance material on the calculation of climatic parameters used for building purposes. Genf: WMO 1992, 210 S. ISBN 92-63-10665-7. WMO-Nr. 665, TN Nr. 187.
- KIRSCHNING, E.; LEISTNER, W.: Das Klima der Nordseeinsel Föhr 1888-1992. Anzeichen einer Klimaänderung? Mit einem Beitrag von H. Flohn über Windänderung und Verdunstung im Gebiet der Deutschen Bucht. Bredstedt: Nordfriisk Instituut 1993, 232 S. ISBN 3-88007-199-3. Studien und Materialien Nr. 26.
- MALBERG, H.: Bauernregeln aus meteorologischer Sicht. 2., erw. Aufl. Berlin...: Springer 1993, 200 S. ISBN 3-540-56240-0.
- OJIMA, D. (Ed.): Modeling the earth system. Papers arising from the 1990 OIES Global Change Institute, Snowmass, Colorado, 16-27 July 1990. Boulder: UCAR/OIES 1992, 488 S.
- ILYAS, M. (Ed.): Ozone depletion. Implications for the tropics. Nairobi: UNEP 1991, 374 S. ISBN 983-861-062-3.
- DOVIK, R.J.; ZRNIC, D.S.: Doppler radar and weather observations. 2nd Ed. Academic Press 1993, 562 S. ISBN 0-12-221422-6.
- JANSSEN, M.A. (Ed.): Atmospheric remote sensing by microwave radiometry. New York...: Wiley 1993, 572 S. ISBN 0-471-62891-3.
- RASCHKE, E.; JACOB, D. (Ed.): Energy and water cycles in the climate system. Berlin...: Springer 1993, 467 S. ISBN 3-540-54590-5. NATO ASI Ser. I, Vol. 5.
- SCHELLNHUBER, H.-J.; STERR, H. (Hrsg.): Klimaänderung und Küste. Einblick ins Treibhaus. Berlin...: Springer 1993, 400 S. ISBN 3-540-55925-6.
- SCHWARTZ, S.E.; SLINN, W.G. (Coord.): Precipitation scavenging and atmosphere-surface exchange. Washington...: Hemisphere 1991, 1808 S., 3 Vol. ISBN 1-56032-263-2.
- ASHFORD, O.M. et al. (Ed.): Collected Papers of Lewis Fry Richardson. Cambridge University Press 1993, 2 Vol., 1013 S., 762 S. ISBN 0-521-38297-1, 0-521-38298-X.
- COLLINS, R.L.: Mastering the systems. Air traffic control and weather. New York...: Macmillan 1991, 258 S. ISBN 0-02-527245-4.
- NUSSENZVEIG, H.M.: Diffraction effects in semiclassical scattering. Cambridge University Press 1992, 238 S. ISBN 0-521-38318-8. Montroll Memorial Lecture Series in Mathematical Physics Vol. 1.
- GRAEDEL, T.E.; CRUTZEN, P.J.: Atmospheric change. An earth system perspective. New York: W.H. Freeman and Company 1993, 446 S. ISBN 0-7167-2332-8.
- NIKI, H.; BECKER, K.H. (Ed.): The tropospheric chemistry of ozone in the polar regions. Berlin...: Springer 1993, 425 S. ISBN 3-540-56683-X. Global Environmental Change Vol. 1.
- SHUKLA, J. (Ed.): Prediction of interannual climate variations. Berlin...: Springer 1993, 265 S. ISBN 3-540-54591-3. Global Environmental Change Vol. 6.

- GROSS, G.: Numerical simulations of canopy flows. Berlin...: Springer 1993, 167 S. ISBN 3-540-52520-3. Springer Series in Physical Environment Vol. 12.
- KOSCHMIEDER, E.L.: Benard cells and Taylor vortices. Cambridge University Press 1993, 337 S. ISBN 0-521-40204-2. Cambridge Monographs on Mechanics and Applied Mathematics.
- JENNINGS, S.G. (Ed.): Aerosol Effects on Climate. The University of Arizona Press 1993, 303 S. ISBN 0-8165-1362-7.
- LONG, S.P., WOODWARD, F.I. (Ed.): Plants and temperature. Cambridge: The Company of Biologists Ltd. 1988, 415 S. ISBN 0-948601-20-5. Symposia of the Society for Experimental Biology Vol. 42.
- TAN WEIYAN: Shallow water hydrodynamics. Amsterdam: Elsevier 1992, 434 S. ISBN 0-444-98751-7. Elsevier Oceanographic Series Vol. 55.
- WIIN-NIELSEN, A.; CHEN, T.-Ch.: Fundamentals of atmospheric energetics. Oxford University Press 1993, 376 S. ISBN 0-19-507127-1.
- MESZAROS, E.: Global and regional changes in atmospheric composition. Boca Raton...: Lewis Publ. 1993, 175 S. ISBN 0-87371-662-0.
- WARRICK, R. A. u. a. (Ed.): Climate and sea level change: observations, projections and implications. Cambridge University Press 1993, 424 S. ISBN 0-521-39516-X.

#### *Zeitschriften und Schriftenreihen*

- Report. DLR, Inst. f. Physik d. Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, Nr. 1 1993.
- Geschichte der Meteorologie in Deutschland. Deutscher Wetterdienst, Offenbach a.M., Nr. 1 1993.
- Global Environmental Change. Buchreihe. Berlin...: Springer, Bd. 1 1991.
- Advances in Bioclimatology, Ed. G. Stanhill, Berlin...: Springer. Vol. 1 1992, Buchreihe.
- Spezialarbeiten aus der Arbeitsgruppe Klimaforschung des meteorologischen Instituts der Humboldt-Universität Berlin. Nr. 1 1992.

#### **Vorausschau Tagungen**

- Chemische Probleme auf dem Gebiet der Luftreinhaltung, 15.-17. Feb. 1994, Bochum. Informationen: Dr. P. Bruckmann, Ministerium f. Umwelt, Schwannstr. 3, 40190 Düsseldorf.
- Conference on Instruments and Methods of Observation, 21. Feb. - 4. März 1994, Genf. Informationen: WMO, WWW Dept., P. O. Box 2300, CH-1211 Genf 2.
- IX. Internationaler Straßenwinterdienstkongreß der AIPCR, 21.-25. März 1994, Seefeld/Österreich. Informationen: ICOS Congress Organisation, Schleifmühlgasse 1, A-1040 Wien.
- Impact of Emissions from Aircraft and Spacecraft upon the Atmosphere, 18.-20. April 1994, Köln. Informationen: Dr. D. Wurzel, Abt. Schadstoffe i.d. Luftfahrt, DLR, 51140 Köln.
- European Conference on the Global Energy and Water Cycle, 18.-22. Juli 1994, London. Informationen: Royal Meteorol. Society, 104 Oxford Road, Reading, Berks. RG1 7LJ, UK.
- COST-75, International Seminar in Advanced Weather Radar Systems, 19.-23. Sept. 1994, Brüssel. Informationen: C.G. Collier, METSTAR Consultants, Met. Office, Bracknell, Berks. RG12 2SY, UK.

#### **Eine Neue Zeitschrift**

Editors R. W. RIDDAWAY u. a.  
 Meteorological Applications  
 Cambridge University Press  
 ISSN 1350-4827, Vol. 1 1994

#### Informationen

Meteorological Applications  
 Royal Meteorological Society  
 104 Oxford Road  
 Reading  
 Berkshire RGL 7LJ, UK

#### Bestellungen (auch Ansichtsexemplare)

Journals Marketing Dept.  
 Cambridge University Press  
 The Edinburg Building  
 Cambridge CB2 1BR, UK

## **Anschriften der Autoren**

Dr. Georg DUENSING  
Deutscher Wetterdienst  
Seewetteramt  
Bernhard-Nocht-Straße 76  
20359 Hamburg

Prof. Dr. Hans-Joachim LANGE  
Freie Universität Berlin  
Institut für Meteorologie  
Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10  
12165 Berlin

Dipl.-Met. Alfons BEFFERT  
Dipl.-Met. Bruno RUDOLF  
Dipl.-Met. Hartmut SCHARRER  
Deutscher Wetterdienst  
Zentralamt  
Frankfurter Str. 135  
63067 Offenbach a. M.

---

## **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