

## Überregionale Großprojekte: die Rolle der Hamburger Meteorologie

Die Beobachtungen erfolgen diskontinuierlich in Raum und Zeit. Ihre räumliche und zeitliche Auflösung (für die Sondierung der Atmosphäre z.B. von vier Orten (Stationen) in der Bundesrepublik Deutschland in zwölfstündigem Abstand) ist zum großen Teil ökonomisch begrenzt, so daß die Stationsdichte starker geographischer Variation unterworfen und in Entwicklungsländern gering ist. Besonders große Lücken in diesem internationalen Beobachtungsnetz verursachen jedoch die großen Flächen der Ozeane. Die Beobachtungen werden - und dies ist besonders wichtig für die Gebiete über den Ozeanen - zu einem Teil durch die Messungen meteorologischer Satelliten ergänzt. Deren besonderer Wert liegt in der Lokalisierung bestimmter Wolkenstrukturen, aus denen auf bestimmte Wettererscheinungen geschlossen werden kann. Die aus diesen Satellitenmessungen abgeleiteten Temperaturen sind ebenfalls wertvolle Ergänzungen der bodengebundenen Beobachtungen, jedoch von geringerer Qualität als diese.

Untersuchungen von Prozessen, die eine größere Dichte der Beobachtungen und eine größere Genauigkeit erfordern - dies gilt insbesondere für das Gebiet der Ozeane - , gehen über die laufenden Routinen hinaus und erfolgen meist auf Initiative einzelner Wissenschaftler oder wissenschaftlicher - nicht-staatlicher oder zwischenstaatlicher - Organisationen, die in der ICSU (*International Council of Scientific Unions*) zusammengefaßt sind. An solchen Experimenten haben Forscher des Meteorologischen Instituts der Universität Hamburg mehrfach teilgenommen. Voraussetzung für intensive Messungen über den Ozeanen ist die Existenz von Schiffen geeigneter Qualität. Für die deutschen Meteorologen mußten nach dem letzten Krieg erst zwanzig Jahre vergehen, bevor mit dem neuen deutschen Forschungsschiff METEOR ein für solche Aufgaben konzipiertes Schiff wieder zur Verfügung stand und mit dessen Einsatz die deutschen Meteorologen und Ozeanographen bewußt an die Forschungsstationen der zwanziger Jahre anknüpfen konnten. In jener Zeit hatte das alte Forschungsschiff METEOR im tropischen und subtropischen Atlantik erstmals die besondere thermodynamische Struktur der Passatgebiete, insbesondere die Passat-inversion und deren Höhenabhängigkeit von der geographischen Breite, nachweisen können.

### Das Atlantische Passat-Experiment

Aufgrund der mit der Indienstellung (1964) des neuen Forschungsschiffes METEOR wesentlich verbesserten Möglichkeiten trat das Meteorologische Institut 1967 an englische und amerikanische Institute heran, um ein gemeinsames Experiment vorzubereiten und im tropischen und subtropischen Nordatlantik durchzuführen, das eine verbesserte Kenntnis der Eigenschaften des Passats liefern sollte. Dieses Experiment, das sogenannte Atlantische Passat-Experiment (APEX) konnte im Frühjahr 1969 realisiert werden, wobei neben den deutschen Schiffen METEOR und der im selben Jahr in Dienst gestellten PLANET das amerikanische Schiff DISCOVERER und das britische



*Für die Arbeit der Hamburger Meteorologen und Meeresforscher ist die METEOR unentbehrlich*

Schiff HYDRA teilnehmen konnten. Das amerikanische Schiff und die deutschen Expeditionsschiffe bildeten ein gleichseitiges Dreieck, dessen Eckpunkte etwa 800 km voneinander entfernt waren. Die drei Schiffe drifteten mit der Strömung und mit den Passatwinden des Nordatlantiks aus einem Gebiet etwa 500 km südlich der Kanaren zum Äquator, wobei sich das englische Schiff HYDRA etwa in der Mitte dieses Dreiecks befand. Diese Drift dauerte drei Wochen. Während dieser Zeit wurden alle notwendigen Messungen der Vertikalverteilung der Temperatur, des Luftdruckes, der relativen Feuchtigkeit, der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit durchgeführt, um bei Annahme einer linearen Änderung dieser Größen zwischen den drei Schiffen Berechnungen über den Massen- und Energiehaushalt der Passatgrundschicht als Folge eines aufwärts gerichteten turbulenten Wärme- und Impulsflusses und einer durch die Passatzirkulation durch die koordinierte Arbeit von vier Schiffen möglich, was angesichts der begrenzten Möglichkeiten der Bundesrepublik Deutschland - mit lediglich zwei Forschungsschiffen - nur durch ein internationales Experiment verwirklicht werden konnte.

### **Das GARP - Programm**

Das Experiment APEX fiel in eine Zeit, in der führende Meteorologen aus sehr verschiedenen Staaten - unabhängig von staatlichen Organisationen - versuchten, ein international koordiniertes Programm zur Erforschung der atmosphärischen Zirkulation durchzuführen. Der Enthusiasmus jener Jahre, der erstmalig zu dieser weitgehenden Zusammenarbeit führte, beruhte auf den Ergebnissen, die die Meteorologen in Amerika mit sogenannten numerischen Modellen gewonnen hatten und die etwa wie folgt skizziert werden können:

Stellt man ein Modell der Atmosphäre in einer für einen modernen Rechner geeigneten Form dar und gibt z.B. als Anfangszustand eine ruhende, trockene und isotherme Atmosphäre vor,

setzt die rotierende Erde dann der Sonnenstrahlung aus, so stellt sich nach etwa 200 Tagen ein Zustand der Atmosphäre ein, der unseren klimatologischen Kenntnissen weitgehend entspricht.

Die Temperatur nimmt in der Troposphäre bis zu ihrer oberen Grenze, der Tropopause (Tropopause = Grenze zwischen Tropo- und Stratosphäre), ab. Diese liegt in den Tropen etwa 17 km, in unseren Breiten etwa 12 km hoch. In den Polen liegt die Tropopause in einer Höhe von 7 bis 8 km, die daran anschließende Stratosphäre ist isotherm, hingegen nimmt in den Tropen die Temperatur in der Stratosphäre mit der Höhe wieder zu.

Ebenso wurden das Bild der Passatzirkulation und der breite Westwindgürtel unserer Breiten mit den eingelagerten Strömungen der Hoch- und Tiefdruckgebiete damit gut beschrieben.

Durch diesen Erfolg angeregt, entwarf die internationale Gemeinschaft der wissenschaftlich führenden Meteorologen ein Programm, das sogenannte *Global Atmospheric Research Program (GARP)*, das zwei Ziele hat:

1. eine solche Verbesserung der numerischen Wettervorhersage, daß vom klimatologischen Mittel abweichende signifikante Vorhersagen bis zu einem Zeitraum von etwa zehn Tagen durchgeführt werden können.
2. Ein wesentlich verbessertes Verständnis der physikalischen Grundlagen unseres Klimas und der damit verbundenen, von uns zur Zeit wenig verstandenen sogenannten Klimaschwankungen.

Das erste Ziel setzte voraus, daß numerische Modelle der Atmosphäre entwickelt werden können, die ausgehend von einem durch Beobachtungen gegebenen Anfangszustand spätere Zustände, bis zu zehn Tagen nach jenem Anfangszustand zu berechnen erlauben.

Hierzu müssen zwei Voraussetzungen erfüllt werden:

Das Anfangsfeld muß mit möglichst großer Genauigkeit, d.h. an den einzelnen Orten mit möglichst geringem Fehler, und zum anderen an möglichst vielen Orten, d.h. mit einem möglichst engmaschigem Beobachtungsnetz, bestimmt werden. Dieses engmaschige Beobachtungsnetz wird jedoch immer noch einen so großen Abstand der Beobachtungspunkte voneinander aufweisen, daß bestimmte Prozesse in der Atmosphäre, z.B. die Entwicklung einzelner Cumuli, aber auch hochreichender und ausgedehnter Wolkenfelder gegenüber diesen Abständen noch so kleinräumig sind, daß sie nicht ausreichend beschrieben werden können. Jene Prozesse, die aber für den Transport von Wärme, Wasserdampf und Impuls in der Atmosphäre von großer Bedeutung sein können, müssen dann mit Hilfe sogenannter großskaliger Werte, d.h. jener Werte von Temperatur und Druck oder der Windgeschwindigkeit an den Beobachtungspunkten ermittelt oder, wie wir sagen, parametrisiert werden.

Es ist unbekannt, ob alle solche Prozesse parametrisiert werden können, jedoch gibt es Prozesse, die so wichtig sind, daß ihre Parametrisierung versucht werden muß. Zu diesen gehören hochreichende vertikale Luftbewegungen (Konvektion = vertikale Luftbewegung) im Bereich der Tropen, insbesondere im Bereich der tropischen Ozeane. Diese Konvektion ist räumlich und zeitlich durchaus begrenzt, tritt also vergleichsweise selten auf. Dennoch wird mit dieser sehr hochreichenden Konvektion Wärme und Wasserdampf aus den Tropen sowie die Bewegungsenergie der bodennahen Atmosphäre in große Höhen der oberen Troposphäre und der unteren Stratosphäre und mit der polwärtsgerichteten Zirkulation auch in höhere Breiten befördert, und wir erklären z.B. die bei uns beobachteten Westwinde zum großen Teil als eine Wirkung des Transportes der in südlichen Breiten größeren Geschwindigkeit der Erdoberfläche in unsere Breiten. Es ist einsichtig, daß nur eine genaue Beschreibung dieses Transportes dann auch die Geschwindigkeiten der Westwinde in unseren Breiten ausreichend beschreiben kann.

Zur Vorbereitung eines umfassenden Experimentes für eine verbesserte numerische Wettervorhersage müssen deshalb zunächst gewisse kleinräumige Prozesse in der Atmosphäre in Abhängigkeit vom großräumigen Feld beobachtet werden, um festzustellen, ob diese zu parametrisieren sind.

### **Das Experiment GATE**

Ein solches Vorexperiment für ein großes numerisches Experiment der allgemeinen Zirkulation mußte sich deshalb mit der Frage der Parametrisierung jener hochreichenden tropischen Konvektion befassen. Dies erfolgte im Rahmen des internationalen Experiments GATE — ein Akro-

nym aus *GARP Atlantic Tropical Experiment*. Nach dem erfolgreichen Vier-Schiff-Experiment APEX wurden deshalb wiederum Wissenschaftler des Meteorologischen Instituts der Universität Hamburg aufgefordert, an der Entwicklung und Konzeption, aber auch an der Durchführung dieses atlantischen Experiments zur Untersuchung der hochreichenden tropischen Konvektion mitzuwirken. Das Experiment beschränkte sich aus ökonomischen Gründen wiederum auf den tropischen Atlantik, und es war bald abzusehen, daß zu einer hinreichenden Abdeckung des tropischen Atlantiks durch Schiffsbeobachtungen etwa 30 bis 40 Schiffe notwendig waren. Etwa die Hälfte von diesen hatte, ähnlich wie beim Experiment APEX, einen gegenseitigen Abstand von 1000 km. Im Gebiet westlich von Dakar und südlich der Kap Verden wurde dieses Netz jedoch verdichtet zu einem Sechseck, in dem die Schiffe einen Abstand von nur etwa 500 km hatten, und im Zentrum dieses Sechsecks bildeten die beiden deutschen Schiffe PLANET und METEOR sowie das amerikanische Schiff DISCOVERER ein Dreieck, dessen Seitenlänge nur 70 km betrug.

Die Kosten für ein derartiges Experiment, an dem insgesamt 40 Schiffe teilnahmen und das über einen Zeitraum von etwa einem halben Jahr hinweg durchgeführt wurde, waren außerordentlich, so daß zur Gewährleistung eines Mindestergebnisses eine sorgfältige logistische und wissenschaftliche Vorbereitung notwendig war. Hierzu wurde ein internationaler Koordinierungs- und Vorbereitungsstab, die sogenannte *International Scientific Management Group* eingesetzt. Sie arbeitete zunächst in Bracknell/Großbritannien unter Joachim Küttner, und in ihr wirkten aus der Bundesrepublik Deutschland Heinrich Hoerber vom Meteorologischen Institut der Universität Hamburg und Helmut Kraus vom Meteorologischen Institut der Universität München mit. Nach einer mehr als zweijährigen Vorbereitung wurde diese Gruppe verstärkt und siedelte für die Zeit des Feldexperimentes nach Dakar über. Von diesem GATE-Operationszentrum wurde das Feldexperiment gesteuert. Im Zentrum wirkten weitere Deutsche, Dr. Ibe aus Freiburg und Arno Behlau (jetzt ebenfalls am Meteorologischen Institut in Hamburg) mit.

Aufgabe dieser Gruppe war nicht nur die Vorbereitung einer klaren Meßstrategie, d.h. die Festlegung der Orte und der Zeiten, zu denen von allen Schiffen aus gemessen werden sollte, sondern darüber hinaus auch die Entwicklung eines Planes, nach dem all diese Daten ausgewertet und der wissenschaftlichen Verwertung zugeführt werden sollten.

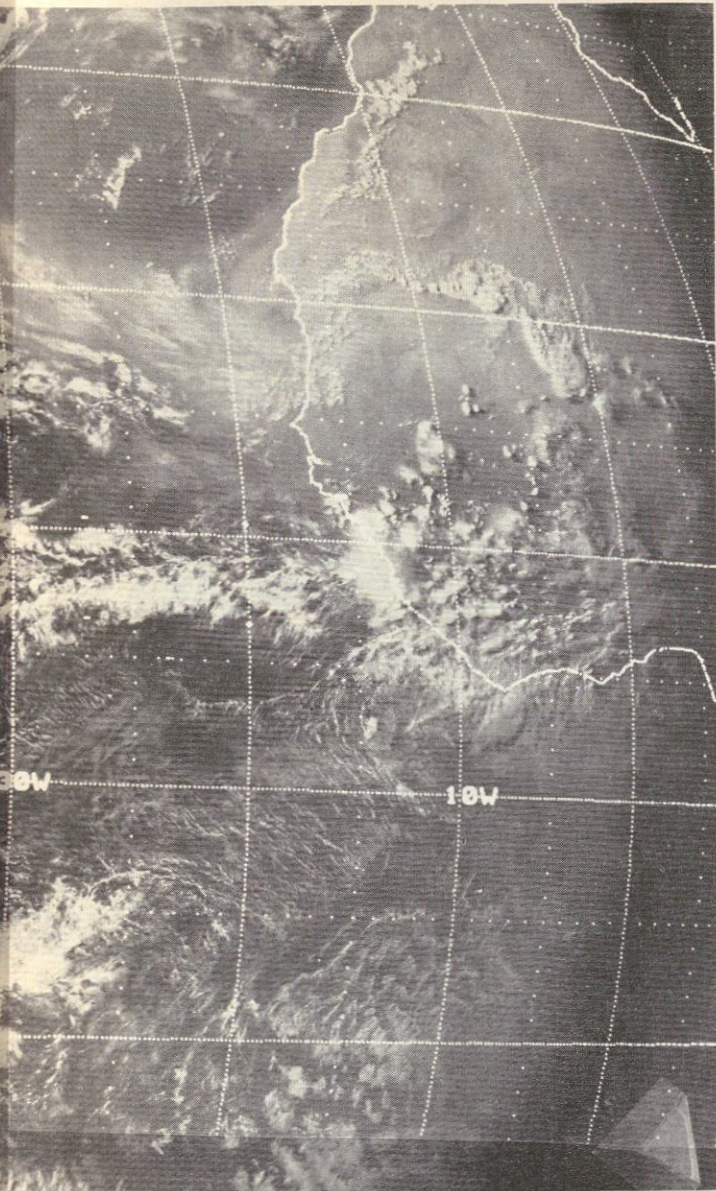
Ursprünglich war vorgesehen, hierfür ein zentrales Datenzentrum aufzubauen. Aus finanziellen Gründen mußte dieses Konzept jedoch fallen gelassen werden, und entsprechend der Gliederung des Experimentes in fünf wissenschaftliche Unterprogramme wurden fünf Unterprogramm-Datenzentren gegründet. Es waren dies:

- GATE-Strahlungsdatenzentrum in der UdSSR
- GATE-Konvektionsdatenzentrum in den USA
- GATE-Synoptisches Datenzentrum in Großbritannien
- GATE-Ozeanographisches Datenzentrum in Frankreich und
- GATE-Grenzschicht-Datenzentrum am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg.

Daneben befand sich in Hamburg beim Seewetteramt des Deutschen Wetterdienstes auch das sogenannte nationale Datenzentrum, in dem alle von deutschen Geräteträgern gewonnenen Größen zunächst gesammelt und nach Überprüfung und gegebenenfalls Verbesserungen an die entsprechenden Unterprogramm-Datenzentren weitergegeben wurden. Dieses sehr große Forschungsprogramm GATE wurde im Jahr 1974 durchgeführt. Seine Feldphase ist erfolgreich abgeschlossen worden und die dabei gewonnenen Daten wurden zu einem großen Teil bereits wissenschaftlich ausgewertet; in Hamburg insbesondere Daten der Grenzschicht.



Satellitenfotos stellen ein wichtiges Hilfsmittel



GATE-Einsatzplanung dar: hier ein Staubausbruch in der Sahara

Jenes Großexperiment bildete ein Vor- experiment zur Parametrisierung gewisser Prozesse in der Atmosphäre und damit eine notwendige Voraussetzung für die Durchführung des sogenannten Hauptexperiments, das als *First GARP Global Experiment (FGGE)* bezeichnet wird. Da mit einem ersten Experiment wahrscheinlich noch nicht alle Fragen beantwortet werden können, schließt der Name FGGE Folgeexperimente nicht aus.

#### Das Experiment FGGE

Im ersten Halbjahr 1979 wurde dieses erste globale Experiment durchgeführt. Wiederum wurden die Wissenschaftler der Bundesrepublik Deutschland aufgefordert, an diesem Experiment mitzuwirken. Das *First GARP Global Experiment (FGGE)* unterscheidet sich von dem Experiment GATE insbesondere dadurch, daß hier nicht ein bestimmter meteorologisch zu definierender Prozeß zu untersuchen war, sondern daß Geräteträger verschiedener Nationen eingesetzt werden sollten, um ein möglichst dichtes und qualitativ hochwertiges Anfangsfeld aus den Messungen und Beobachtungen jener Geräteträger zu gewinnen. Wiederum war ein großer logistischer Apparat zu diesem Zweck zu bewältigen, denn erneut mußten etwa 30 bis 40 Schiffe im äquatorialen Bereich der Ozeane eingesetzt werden, die hier die üblichen Beobachtungen, insbesondere die Beobachtung der Satelliten ergänzten. Die Bundesrepublik Deutschland wurde gebeten, insbesondere bei den Schiffsbeobachtungen mitzuwirken. So wurde die METEOR in den Bereich des äquatorialen Atlantiks entsandt, um hier von Mitte Januar bis Ende Juni intensive Beobachtungen der Struktur, d.h. der Temperatur, Druck- und Wasserdampfverteilung der äquatorialen atlantischen Atmosphäre und der Windgeschwindigkeit bis zu Höhen von

20 bis 30 km durchzuführen. An diesen Arbeiten nahmen Wissenschaftler des Meteorologischen Institutes der Universität Hamburg und des Max-Planck-Institutes für Meteorologie in Hamburg teil.

Ähnliche Arbeiten wie auf der METEOR wurden vom Deutschen Wetterdienst auf einem Handelsschiff durchgeführt. In dem zur logistischen Betreuung des Experiments gebildeten Planungs- und Koordinationsstab (in Genf) arbeitete wiederum Dr. Hoerber mit.

Das Feldexperiment FGGE wurde Mitte 1979 abgeschlossen, die Auswertungen, d.h. die Überprüfung und die Archivierung der gesammelten Daten auf geeigneten Datenträgern wird in Kürze abgeschlossen sein. Dann darf man erwarten, daß mit den besten zur Zeit zur Verfügung stehenden numerischen Vorhersagemodellen überprüft werden kann, für welchen Zeitraum Vorhersagen des Zustandes der Atmosphäre, des Wetters, möglich sind, d.h. ob ein Zeitraum von etwa einer Woche bis zu zehn Tagen erreicht werden kann. Selbstverständlich muß angenommen werden, daß die Güte der Vorhersage mit der Größe des Vorhersagezeitraums abnehmen wird.

Die umfassendsten und besten numerischen Vorhersagemodelle erfordern sehr viel Rechenzeit,

die Nutzung der FGGE-Daten mit aufwendigen Modellen ist damit sehr teuer. Daher wird ihre Verarbeitung in den numerischen Modellen auch in enger internationaler Zusammenarbeit erfolgen. Die theoretische Gruppe des Meteorologischen Instituts verfügt ebenfalls über ein sehr gutes Modell und beteiligt sich damit an der internationalen Auswertung des *First GARP Global Experiments*.

### Voraussetzungen für die Mitwirkung des Meteorologischen Instituts

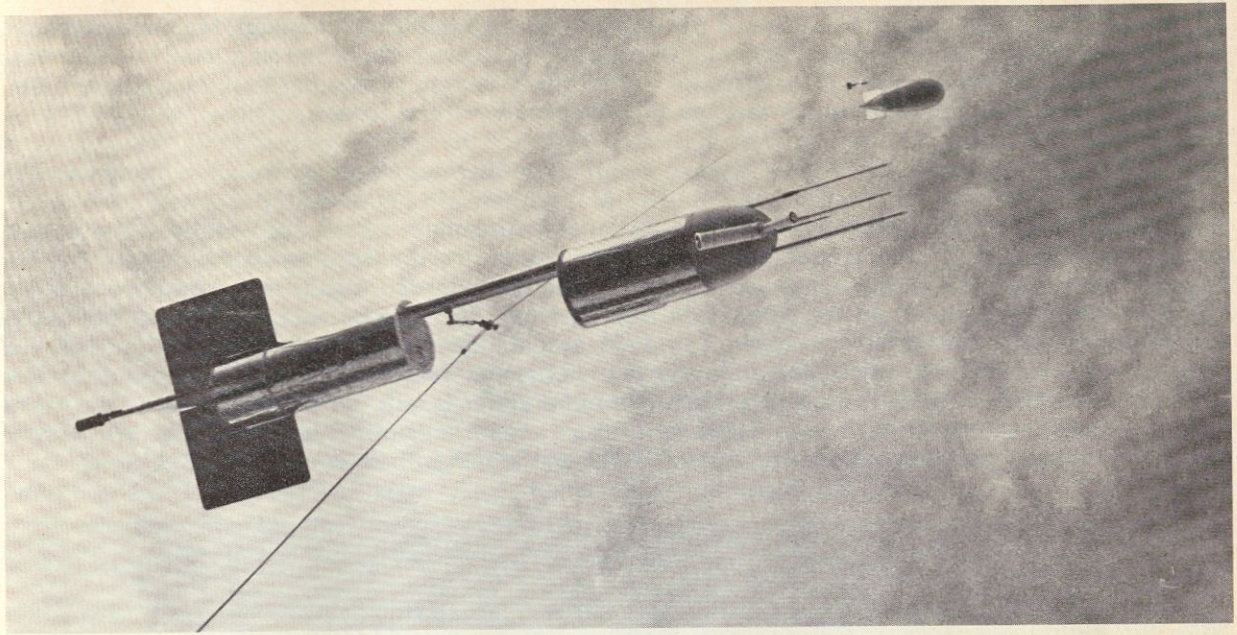
Die Mitwirkung des Meteorologischen Instituts der Universität Hamburg und des damaligen Fraunhofer-Instituts an der Universität Hamburg war nur möglich, weil an diesem Institut bereits seit der Mitte der fünfziger Jahre intensive Messungen über der offenen See durchgeführt worden sind, und insbesondere das Studium der Wechselwirkung zwischen Ozean und Atmosphäre seit diesem Zeitraum zu einer der Hauptaufgaben des Instituts geworden ist. Neben der Arbeit aller Wissenschaftler und Techniker des Instituts war dies insbesondere der Initiative des späteren Direktors Karl Brocks zu danken.

### Die Bedeutung des Sonderforschungsbereichs 94 – Meeresforschung

Solche Arbeiten und Messungen sind außerordentlich zeit- und arbeitsintensiv. Sie waren deshalb im Rahmen eines Universitätsinstituts allein nicht möglich, wurden jedoch in größerem Rahmen mit der Gründung des Fraunhofer-Instituts für Radiometeorologie und Maritime Meteorologie realisierbar. Die Unternehmungen des Instituts beschränkten sich zunächst auf kleinere Ausfahrten mit geliehenen Schiffen der Universität Kiel in die Ostsee. Eine Aktivität im Bereich der Nordsee wurde erst möglich, als es – wiederum unter der Mitwirkung von Karl Brocks – gelang, einen der größten Sonderforschungsbereiche (SFB) der Bundesrepublik Deutschland, den Sonderforschungsbereich 94 – Meeresforschung – an der Universität Hamburg aufzubauen, in dem interdisziplinär viele Wissenschaftler der Universität, insbesondere aus Meteorologie und Ozeanographie, Geophysik, Chemie und Biologie zusammenwirken. Nur dadurch konnten die Arbeiten des Sonderforschungsbereichs ein solches Gewicht gewinnen, daß er auch zum Kern internationaler Zusammenarbeit werden konnte. So wurden von diesem Sonderforschungsbereich internationale Experimente im Meßfeld des SFB etwa 30 km westlich von Sylt durchgeführt. Es waren dies die Experimente *JONSWAP*, in denen die Entwicklung des Seegangs in Abhängigkeit vom Windfeld und von der Wirkungsdauer des Windes und damit von der Atmosphäre untersucht wurden und die schließlich auch zur Entwicklung eines weitgehend einsatzfähigen Seegangsvorhersagemodells (K. Hasselmann) führten; englische, amerikanische, niederländische und dänische Gruppen wirkten dabei mit.

1977 konnte dann auch unter Beteiligung des Sonderforschungsbereichs ein Vier-Schiff-Experiment im Seegebiet etwa 500 km westlich von Irland durchgeführt werden. An diesem Experiment nahmen wiederum die deutschen Schiffe *METEOR* und *PLANET* sowie darüber hinaus englische und amerikanische Schiffe, ferner deutsche, englische und amerikanische Forschungsflugzeuge teil. Das Experiment hatte ein meteorologisch-ozeanographisches Ziel: die Untersuchung der Grenzschichtentwicklung in der Atmosphäre – sie reicht etwa 500 bis 1000 m hoch – und im Ozean – sie umfaßt dort etwa die oberen 100 m – insbesondere beim Auftreten meteorologischer Störungen, d.h. starker Winde oder Stürme im Bereich von Tiefdruckgebieten. Auch dieses Experiment wurde in seiner Feldphase in der zweiten Jahreshälfte 1977 erfolgreich abgeschlossen. Hier stehen die wissenschaftlichen Ergebnisse jedoch noch aus.

Innerhalb der letzten zehn Jahre ist die Untersuchung immer komplizierterer und umfassenderer meteorologischer oder meteorologisch-ozeanographischer Prozesse in Angriff genommen worden. Dies erfordert intensive internationale Zusammenarbeit, stellt aber an die teilnehmenden Wissenschaftler immer höhere Anforderungen, denen die Meteorologen der Universität Hamburg nur durch sehr enge Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlern vom Max-Planck-Institut für Meteorologie und durch die Förderung, die die Meteorologie in Hamburg im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 94 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft erfährt, nachkommen können. Dennoch wird deutlich, daß bei den gegenwärtigen Aufgaben der Universität die personelle und wissenschaftliche Kapazität des Universitätsinstituts damit voll ausgeschöpft, wenn nicht bereits überschritten ist.



*Sondeneinsatz mit Hilfe eines Fesselballons: Mit verschiedenen Sonden (Foto unten links) werden Vergleichsmessungen von Temperatur, Windstärke und Feuchtigkeit unternommen. Unten rechts eine meteorologische Meßboje.*

