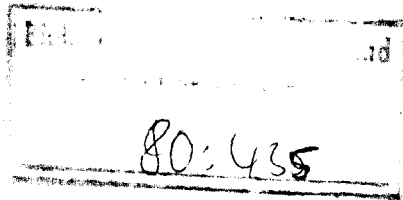


25 METEOR-EXPEDITIONEN 1964-1971

Eine Zwischenbilanz
vor dem Hintergrund der Entwicklung
internationaler Meeresforschung

1972

FRANZ STEINER VERLAG GMBH
WIESBADEN



© 1972

Deutsche Forschungsgemeinschaft

53 Bonn-Bad Godesberg 1, Kennedyallee 40

Telefon: (0 22 29) 70 11

Telegrammanschrift: Forschungsgemeinschaft

Umschlaggestaltung: Atelier Dr. Zebhauser, München

Herstellung: boldt druck boppard gmbh

Beginnt eine fünfte Epoche der Meeresforschung?	7
A. H. Meyl, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn-Bad Godesberg	
Réflexion sur la formation des eaux profondes. Cas de la Méditerranée Nord-Occidentale	15
H. Lacombe, Laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum, Paris	
Über die meeresphysikalischen und meereschemischen Arbeiten auf den ersten 25 Forschungsfahrten des FS „Meteor“	27
H. U. Roll, Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg	
Maritime Meteorologie — Forschungen auf FS „Meteor“	48
K. Brocks †, Meteorologisches Institut der Universität, Hamburg	
Marine Geophysik — Forschung auf FS „Meteor“	65
H. Closs, Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover	
Meeresgeologische Untersuchungen mit FS „Meteor“	81
E. Seibold, Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität, Kiel	
Biologische Meereskunde — Forschung auf FS „Meteor“	91
G. Hempel, Institut für Meereskunde an der Universität, Kiel	
Rückblick und Ausblick in der „Meteor“-Forschung	107
G. Dietrich, Institut für Meereskunde an der Universität, Kiel	
Anhang: „Meteor“-Forschungsergebnisse	113
Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn-Bad Godesberg	

Die Funktion der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die Forschung durch die Vergabe von Geldmitteln zu fördern, impliziert die Bereitschaft, ihre Ziele und Verfahren immer wieder um einer möglichen Optimierung willen in Frage zu stellen. Das bedeutet sicher nicht um jeden Preis dem gerade Modischen nachzulaufen und Bewährtes, noch bevor die Ernte eingebracht werden kann, fallen zu lassen. Es heißt vielmehr, rechtzeitig neue Entwicklungen zu erkennen, die sich heute aus der zunehmenden Verflechtung aller Wissenschaften untereinander ergeben, diese Entwicklungen zu analysieren, um ggf. steuernd eingreifen, vorausschauend Prioritäten setzen und damit gezielt Investitionen vornehmen zu können.

Die bisherigen 25 Fahrten der „Meteor“ sollen Anlaß zu einer wertenden Betrachtung der wissenschaftlichen Ziele sein, die mit den „Meteor“-Expeditionen erreicht werden sollten. Aus diesem Grund wird in den folgenden Beiträgen ein Zwischenbericht gegeben, der anläßlich eines Festkolloquiums zum 60. Geburtstag von Professor Dr. Dr. h. c. Günter Dietrich in Kiel am 14. und 15. November 1971 erstmals diskutiert wurde. Diese Diskussion wird auf verschiedenen Veranstaltungen, vor allem mit jüngeren Wissenschaftlern, im Laufe des Jahres 1972 fortgeführt.

Die 1. Fahrt war integraler Teil eines „Paukenschlags“ internationaler Meeresforschung, des Großunternehmens „Indischer Ozean“ gewesen. Läßt sich die Entwicklung der Meeresforschung seit jener internationalen Indischen Ozean-Expedition, also für die vergangenen zehn Jahre auch am Fahrtprogramm der „Meteor“ ablesen? Hat die „Meteor“ den richtigen Kurs gehalten?

Neue Schiffe, auch für die Hochschulforschung, sollen gebaut werden: Sollten es wieder Mehrzweckschiffe sein oder Spezialschiffe? Wo steht überhaupt die mit herkömmlichen Seefahrzeugen betriebene Meeresforschung angesichts Zukunftsplänen wie stationären ozeanographischen Meßnetzen, der Verwendung von Satelliten und Flugzeugen, des unter-

meerischen Gewinnens von Bodenschätzen? Die „Meteor“ war nie allein Mittel zum Zweck. Auch das Schiff selbst war — vor allem für die Schiffbauer — Gegenstand der Forschung, und seine technische Konzeption und seine Einsatzmöglichkeiten beeinflussten nicht selten die eigentliche wissenschaftliche Expeditionsplanung.

Als vor rund zehn Jahren die Ausschreibung für den Bau der „Meteor“ erfolgte, hatte man einen für die Meeresforschung wichtigen Schritt nach vorwärts getan: es wurde kein Kriegs- oder Handelsschiff zu einem Forschungsschiff umgebaut, und nicht Marineingenieure zeichneten verantwortlich für die Konstruktion des neuen Schiffs, sondern die künftigen Benutzer selbst, die Meeresforscher aus den verschiedenen Disziplinen zusammen mit den Schiffbauern aus der Universität. Sie trugen ihre Wünsche vor, schlossen Kompromisse und legten schließlich das Konzept eines Forschungsschiffes vor, das von der äußeren Form bis zum Bezugstoff für das Mobiliar unkonventionell war, und von dem Skeptiker angesichts der hohen Aufbauten sagten: „Wenn die man nicht gleich kentert!“

Inzwischen nähert sich die „Meteor“ dem vollen Dutzend „Erdumrundungen“.

Natürlich hat nicht alles so funktioniert, wie man es sich damals vorstellte. Die Schlingerdämpfungsanlage z. B. war ein aus dem Pioniergeist der Konstrukteure heraus zu würdigender Versuch, der mißglückte, und gewisse, so leicht auf dem Papier zu skizzierende Vorrichtungen, wie eine Tiefseewinde mit 12 000 m Draht, wurde in der Praxis dann wegen ihrer unvorhersehbaren Tücken nicht selten zu einem Problem. Aber alles in allem, noch Ende der 60er Jahre, galt die „Meteor“ als das modernste Forschungsschiff der Welt; es wurde nachgebaut, und wenn man auch heute manches anders machen würde: Die wesentlichen Konstruktionsmerkmale haben sich voll und ganz bewährt.

Auch die wissenschaftlich-technische Ausstattung hat sich seit der Indienststellung gewandelt. Die Partner an der Nutzung der „Meteor“, Deutsche Forschungsgemeinschaft und Deutsches Hydrographisches Institut, waren darauf bedacht, die technischen Einrichtungen zu modernisieren — von der Wasserablaufkante am Labortisch bis zur Satellitennavigations-einrichtung mit automatischem Ausdrucken des Schiffsorts.

Das Entscheidende war aber zweifellos — zur Zeit der Konstruktionsplanung — die Konzeption der „Meteor“ als Mehrzweckschiff, das mög-

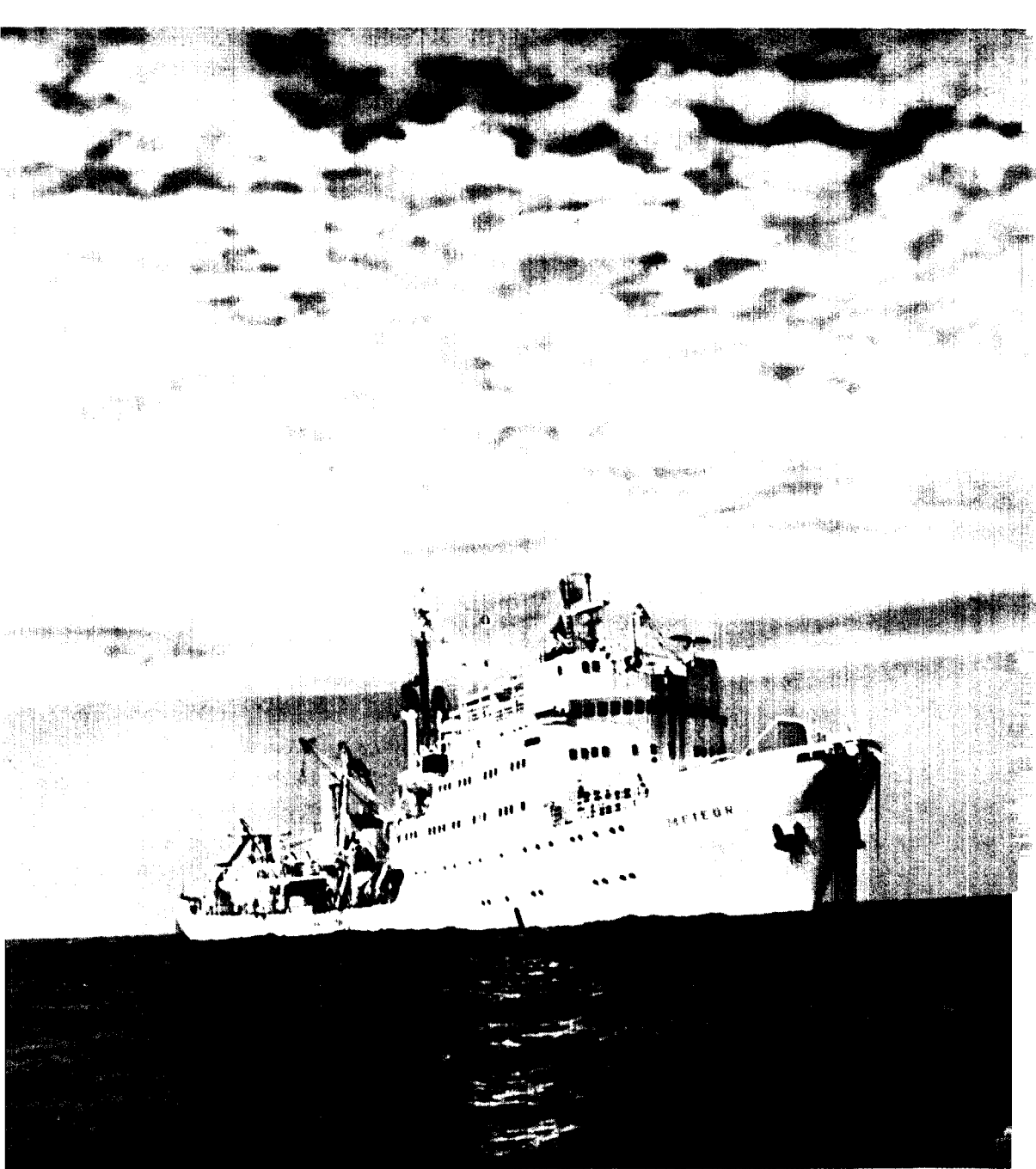


Abb. 1: Forschungsschiff Meteor in Aktion

licht allen Disziplinen gleichzeitig die Arbeit an Bord gestatten sollte; diese Konzeption basierte auf den Vorstellungen der Wissenschaft Anfang der 60er Jahre über die Entwicklung der Meeresforschung.

Wer würde sich von jenen „Ozeanographen der ersten Stunde“ nicht an die engagierten Debatten in den Ausschüssen der Senatskommission für Ozeanographie über Größe und Zweck des Schiffes erinnern?! Man muß sich die „wissenschaftliche Landschaft“ jener Zeit ins Gedächtnis zurückrufen, um die Spannweite zwischen damaliger und heutiger Situation klar zu erkennen: noch sprach man weder von Forschungssatelliten noch von Meerestechnik. Das Problem der Meeresverschmutzung schien weltweit noch nicht zu existieren, und auch für die marine Geologie konnte sich erst ein relativ sehr kleiner Teil von Geologen erwärmen. Neben der theoretischen und praktischen Hydrographie und neben etwas Meereschemie, waren Spezialthemen der Meereszoologie und in geringerem Umfang der Meeresbotanik aktuell, kaum aber eine biologische Meereskunde im Sinne von Produktionsbiologie, von Nahrungsketten- und Gesamtkreislauf-Fragen.

Was Wunder, wenn von biologischer wie von geologischer Seite allen Ernstes anstelle eines hochseegehenden Mehrzweckschiffes sehr viel kleinere, speziell für Untersuchungen in den Küstengewässern ausgelegte Einheiten gefordert wurden!

Mit der Konstruktion der „Meteor“ als Mehrzweckschiff wurde aber nicht nur der Trend in der Meeresforschung vorausschauend richtig beurteilt — mit dem Erfolg, daß die am Meer interessierten Disziplinen sich endlich verstärkt an internationalen Gemeinschaftsunternehmungen beteiligen konnten. Diese besondere Konstruktion hat — wenn auch über den Zwang, der von der Konzeption der „Meteor“ als Mehrzweckschiff ausging — wesentlich dazu beigetragen, daß die Meeresforschung in der Bundesrepublik schon relativ früh zu einem Beispiel für Teamarbeit wurde. Wo sonst gibt es noch einen Bereich in der Grundlagenforschung, in dem fünf, sechs, ja bis zu zehn Disziplinen in einem bis auf die Minute abgestimmten Fahrplan an einer Fragestellung zusammenarbeiten? Und was man auf dem Schiff praktiziert hat, wird dann im Institutslabor wie selbstverständlich fortgesetzt.

In der ersten Denkschrift „Meeresforschung“, die vor genau zehn Jahren erschien, wurde versucht, die jetzt 100jährige Geschichte der modernen Erforschung des Meeres in große Epochen zu unterteilen. Nach dem

„Stadium der Erkundung“, der „Epoche systematischer Erforschung von Ozeanräumen mit jeweils einem Forschungsschiff“, der dritten Epoche der „Bearbeitung spezieller Fragestellungen durch mehrere Schiffe“ sollte der vierte Abschnitt mit dem Internationalen Geophysikalischen Jahr (1957 bis 1958) beginnen, wobei „Forschungsschiff-Flotten ganze Ozeanräume synoptisch aufnehmen“.

Stehen wir zur Zeit noch in dieser Epoche oder bereits am Anfang einer neuen? Wird künftig das Mehrzweckschiff nur noch für besondere Aufgaben und für die Ausbildung Bedeutung haben und werden — allein schon von der immer umfangreicher werdenden technischen Ausrüstung her — die Forschungsschiffe entweder als Spezialschiffe gebaut oder zumindest für jede Fahrt umgerüstet werden müssen? Sind die „Meteor“-Reisen der Geologen und der Geophysiker ins Mittelmeer, die Expeditionen der Meteorologen nur Ausnahmen oder erste Modelle für eine neue fünfte Epoche gewesen?

Diese Fragen müssen diskutiert, analysiert und wenn möglich zur Sichtbarmachung von Trends für künftige Entscheidungen beantwortet werden.

Die „Meteor“ hat auf ihren 25 Expeditionen sicherlich Bemerkenswertes geleistet. Darüber werden im folgenden die Experten berichten. Die wissenschaftliche Zielsetzung und die organisatorische Planung jeder einzelnen Fahrt wurde veröffentlicht. An den Publikationen in den „Meteor-Forschungsergebnissen“ (vgl. Anhang!) und an zahllosen Referaten auf internationalen wie nationalen Veranstaltungen sind die Resultate abzulesen. Die Leistungskontrolle steht damit jedem frei. Alle diese Leistungen sind nicht zuletzt auch dem Kapitän und seiner großartigen Crew zu verdanken.

Auch ein noch so erfreulich ausfallender Rückblick auf 25 Fahrten des FS „Meteor“ darf uns — und damit meine ich die Deutsche Forschungsgemeinschaft und ihre Senatskommission ebenso wie das Deutsche Hydrographische Institut — nicht dazu verleiten, nun das „Gewohnte“ mit ein paar Modernisierungsschnörkeln „fortzuschreiben“; denn solche „Fortschreibung“ bedeutet meist ein „Festschreiben“ des status quo. Und das wäre auf einem wissenschaftlich, wirtschaftlich und politisch so bedeutungsvollen und zukunftsbezogenem Gebiet wie der Meeresforschung höchst gefährlich.

DIE ERSTEN 25 FAHRTEN DES FORSCHUNGSSCHIFFES „METEOR“

Fahrt Nr.	Seegebiet	Zeit von-bis Hamburg zurückgelegte Strecke	Wissenschaftliche Arbeiten
1 DFG	Indischer Ozean	29. 10. 64 bis 18. 5. 65 24 378 sm	Beteiligung an der internationalen Expedition im Indischen Ozean (IIOE) mit verschiedenen Disziplinen
2 DFG u. DHI	Äquatorialer Teil des Atlantischen Ozeans	10. 8. 65 bis 16. 12. 65 16 204 sm	Beteiligung am Internationalen Jahr der Ruhigen Sonne (IQSY): Ionosphäre. Erdmagnetismus. Ultrastrahlung. Meteorologie
3 DHI	Ostlicher Nordatlantik	19. 2. 66 bis 29. 3. 66 3 505 sm	Ozeanographie. Radiologische Chemie. Biologie
4 DHI	Mittlerer Nordatlantik (Seegebiet des Reykjanes-Rückens)	22. 4. 66 bis 9. 6. 66 8 415 sm	Gravimetrie. Erdmagnetismus. Seismik. Geologie
5 DHI	Skagerrak	19. 6. 66 bis 15. 7. 66 2 385 sm	Physikalische und chemische Ozeanographie
6 DHI	Nordatlantik (Ostküste Grönland)	1. 8. 66 bis 14. 9. 66 8 856 sm	Topographie des Meeresbodens
7 DHI	Mittelmeer	26. 9. 66 bis 12. 11. 66 6 962 sm	Physikalische, chemische, radiologische Ozeanographie. Diffusionsbeobachtungen. Geologie
8/9 DFG	Ostlicher Nordatlantik (Seegebiet Portugal-Meteorbank-Kanaren)	11. 1. 67 bis 7. 3. 67 6 012 sm 30. 3. 67 bis 5. 8. 67	Atlantische Kuppenfahrten: Geologie. Geophysik. Physikalische und chemische Ozeanographie. Biologie
10 DFG	Kieler Bucht	13. 8. 67 bis 22. 9. 67 1 072 sm	Schiffsmechanische Messfahrten

Unter „Wissenschaftliche Arbeiten“ sind jeweils nur die Schwerpunkte der betreffenden Reise aufgeführt. Weitere statistische Angaben s. Beitrag Dietrich.

Fahrt Nr.	Seegebiet	Zeit von-bis Hamburg zurückgelegte Strecke	Wissenschaftliche Arbeiten
11 DHI	Biscaya	16. 10. 67 bis 2. 11. 67 2 350 sm	Versuche und Erprobungen neuer Geräte und Methoden
12 DHI	Nordsee	9. 11. 67 bis 5. 12. 67 3 326 sm	Physikalische Ozeanographie. Radiologische Chemie
13 DHI	Ostlicher Nordatlantik (Seegebiet vor Afrika)	16. 4. 68 bis 21. 6. 68 9 175 sm	Physikalische, chemische, biologische Ozeanographie. Geologie. Verschiedenartige Kontakte via Satellit ATS-3
14 DHI	Nordatlantik (Seegebiet nordwestlich Färöer)	2. 7. 68 bis 7. 8. 68 7 740 sm	Geophysik, Geologie, Topographie des Meeresbodens. Atmosphärische Spurengase
15 DHI	Ostlicher Nordatlantik (Seegebiet Azoren-Iberische Halbinsel)	19. 8. 68 bis 30. 11. 68 9 216 sm	Topographie des Meeresbodens. Physikalische und chemische Ozeanographie. Biologie. Radiologische Chemie
16 DFG	Äquatorialer Teil des Atlantischen Ozeans	14. 1. 69 bis 9. 5. 69 13 243 sm	GARP APEX: Geophysik, Meteorologie
17 DFG	Mittelmeer	3. 6. 69 bis 19. 7. 69 7 834 sm	Geologie, Geophysik (insbes. Seismik)
18 DHI	Nordsee	10. 12. 69 bis 16. 12. 69 888 sm	Maschinen u. Geräte-erprobung
19 DFG	Ostlicher Nordatlantik (Seegebiet vor NW Afrika, Meteorbank, vor der Iberischen Halbinsel)	11. 1. 70 bis 3. 4. 70 9 990 sm	Physikalische, biologische und chemische Ozeanographie. Geologie. Geophysik des Meeresbodens
20 DHI	Nordatlantik (Seegebiet Färöer-Inland)	21. 4. 70 bis 30. 7. 70 15 447 sm	Physikalische u. chemische Ozeanographie. Topographie, Gravimetrie, Magnetik, Seismik

Fahrt Nr.	Seegebiet	Zeit von-bis Hamburg zurückgelegte Strecke	Wissenschaftliche Arbeiten
21 DHI	Iberische Tiefsee, westl. Mittelmeer	8. 9. 70 bis 4. 11. 70 7 300 sm	Physikalische und radiologische Ozeanographie. Diffusionsversuch. Navigationsverfahren
22 DFG	Mittelmeer (Ionisches Meer)	12. 1. 71 bis 1. 4. 71 10 419 sm	Geologie. Geophysik (insbes. Seismik)
23 DFG	Nordost-Atlantik	20. 4. 71 bis 27. 6. 71 8 840 sm	Ausstrom des Mittelmeerswassers. Stoffaustausch Sediment/Meerwasser. Verteilung von Spurenstoffen in Ozean und Atmosphäre (GEOSECS)
24 DHI	Nordatlantik (Seegebiet um Färöer)	8. 9. 71 bis 30. 9. 71 2 430 sm	Sprengeismische Versuchsmessungen. Geräteerprobung
25 DFG	Ostlicher Nordatlantik (Seegebiet vor NW-Afrika)	19. 10. 71 bis 14. 12. 71 8 690 sm	Geologie und Geophysik am westafrikanischen Kontinentalrand

LITERATUR

- Böhnecke, G., Meyl, A. H. (1962) Denkschrift zur Lage der Meeresforschung.
 Dietrich, G., Meyl, A. H., Schott, F. (1968) Deutsche Meeresforschung 1962—73. Fortschritte, Vorhaben und Aufgaben.

REFLEXIONS SUR LA FORMATION DES EAUX PROFONDES CAS DE LA MEDITERRANEE NORD-OCCIDENTALE

PAR H. LACOMBE

Pour illustrer l'intérêt de disposer de grands navires de recherche, j'ai pensé qu'il pourrait être utile de vous présenter quelques aspects de l'activité de mon laboratoire dans l'étude de la formation des eaux profondes dans les océans et les mers.

Les études statistiques de Montgomery, Pollak et Cochrane (1958) ont montré combien sont dominantes, dans la distribution des caractères physiques des eaux océaniques, certaines gammes étroites de températures et de salinités: 75 % des eaux de l'Océan Pacifique ont des températures situées dans la gamme 0—3,5° C et des salinités comprises entre 34,4 et 34,8 ‰. Dans l'Océan Indien puis l'Atlantique, les gammes sont quelque peu plus étendues. En Méditerranée (Miller & Stanley, 1965), plus de 70 % des eaux sont très homogènes. Ainsi, la stratosphère océanique ou marine contient environ les $\frac{3}{4}$ des eaux. Comme celles-ci collectent leurs propriétés physiques lorsqu'elles se trouvent en surface, la basse température des eaux profondes implique que ces eaux aient été formées dans des régions froides, dont on connaît assez bien les emplacements: Mer de Weddell, Mer de Norvège, Mer du Labrador notamment. Un de leurs caractères remarquables est leur petitesse relative vis-à-vis de la surface des océans, 2 à 3 %, alors que les eaux qui y sont formées «marquent» les $\frac{3}{4}$ des eaux océaniques. Dans les bassins de concentration (ou de «densification»), comme la Méditerranée, des conditions analogues se rencontrent: des processus hivernaux se déroulant dans des aires très limitées «sources d'eaux profondes» marquent les $\frac{3}{4}$ des eaux du bassin. Tel est le cas de la Méditerranée Occidentale dans laquelle une zone de formation d'eau profonde existe dans une bande située à environ 70—80 milles de la côte méridionale française. Je voudrais vous en présenter quelques caractères selon les résultats d'études récentes.

Auparavant, quelques indications générales sont utiles. Les phénomènes qui déclenchent des mélanges verticaux de grande épaisseur et qui résul-

tent des effets atmosphériques sur la couche marine superficielle, sont, d'une part, l'évaporation et le refroidissement en hiver, d'autre part, des effets dynamiques liés aux courants marins provoqués par le vent. Comme le vent a une double action d'intensification de l'évaporation et de genèse de courants, il apparaît comme le facteur dominant de déclenchement de mélange vertical sur grande épaisseur; mais l'importance relative des deux aspects de son action n'a pu encore être évaluée. Dans les régions froides, la glaciation a pour effet une augmentation de la densité fluide superficielle par emprunt d'eau, comme cela a lieu pour l'évaporation.

I. LES PROCESSUS RESPONSABLES DE LA FORMATION DES EAUX PROFONDES

L'examen des conditions régnant dans les zones connues de formation d'eau profonde fait ressortir que ces régions ont des caractères communs d'ordre climatique et hydrologique.

Les conditions hydrologiques sont la présence d'eaux froides et peu salées juxtaposées ou superposées à des eaux relativement chaudes de salinité élevée. Les conditions d'ordre climatique entraînent des processus divers, selon la distribution des profondeurs de la zone marine qui les subit et selon son régime de circulation. Mais, curieusement, les phénomènes de mélange vertical sont finalement comparables.

Sur le plateau continental (fig. 2a) se déroule un processus de «shelf»: près d'une côte soumise en hiver à des vents continentaux froids et secs, l'évaporation intense par vent fort et le refroidissement déclenchent des processus de mélange vertical et d'homogénéisation de l'eau qui acquiert une densité d'autant plus élevée que la profondeur fluide est plus petite: l'eau formée près de la côte coule sur le fond du plateau et, éventuellement, après mélange avec les eaux qu'elle rencontre, peut s'écouler sur le talus (fig. 2a).

En présence d'une circulation cyclonique (due à des vents cycloniques ou à une circulation thermohaline), une isopycne déterminée se trouve plus près de la surface au centre de la circulation que sur les bords: la divergence centrale rend moins stable la stratification de densités au centre que sur les bords du circuit cyclonique. S'il existe une pycnocline d'automne, elle est moins profonde au centre que sur les bords. Comme cette pycnocline, tant qu'elle est présente, joue, pour l'échange des pro-

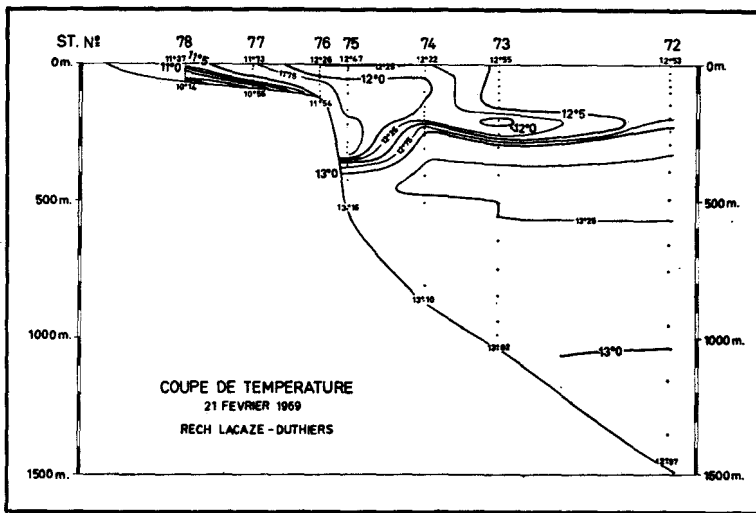


Fig. 2a: Distribution thermique en présence d'un processus de «shelf»

priétés, le rôle d'un véritable écran, qu'on peut considérer comme un «shelf virtuel», l'augmentation de densité hivernale, agissant au centre du circuit sur une épaisseur moindre, va y être plus importante et l'eau formée au centre du circuit va s'écouler sur la pycnocline et alimenter une couche de minimum thermique tout-à-fait analogue à celui qui est engendré par l'eau dense s'écoulant des petites profondeurs vers le bord du plateau et, éventuellement, sur le talus (fig. 2b).

La Méditerranée Occidentale Nord est le siège de ces deux phénomènes, mais le premier, le processus de «shelf» réel, semble n'avoir qu'un rôle mineur dans la formation des eaux profondes du secteur.

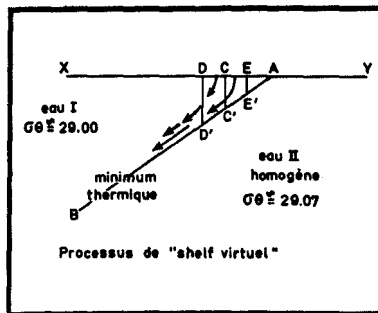


Fig. 2b: Distribution thermique en présence d'un processus de «shelf virtuel»

II. LE CAS DE LA MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE NORD

Les mesures systématiques effectuées à bord de l'«Origny» au cours de la période très froide de janvier-mars 1963 (Vicariot, 1967) sur le 6° méridien Est au Sud de Toulon avaient confirmé que la formation de l'eau profonde résultait de mélanges essentiellement verticaux homogénéisant toute l'épaisseur d'eau (2500 m). En ces régions, on assistait donc à une répercussion sur très grande épaisseur des effets des pertes thermiques superficielles, essentiellement dues à l'évaporation. Mais ces mesures avaient en outre montré que les zones rendues homogènes n'avaient, au début, que quelques milles de dimensions horizontales et que la distribution thermohaline sur la verticale pouvait être profondément bouleversée en des temps de l'ordre de quelques jours (H. Lacombe et P. Tchernia, 1972). Le froid se poursuivant, l'homogénéité était réalisée en fin de la saison froide du début de 1963 sur des distances de 40 à 60 milles, en latitude, sur le méridien 6° E.

Malgré plusieurs campagnes, on n'avait pas eu l'occasion de constater, au cours d'hivers précédents ou suivants, des conditions physiques aussi homogènes sur la verticale. Il fallait bien admettre cependant que de l'eau profonde se forme chaque hiver et non pas seulement pendant les hivers très froids, comme celui de 1962—63, puisque l'interface entre eau Méditerranéenne profonde et eau Atlantique superficielle se trouve toujours sensiblement à la même immersion dans le Déroit de Gibraltar, passage obligé de sortie de l'eau profonde.

III. L'OPÉRATION MEDOC 1969

Pour pouvoir mettre en évidence des phénomènes à échelle spatiale aussi petite et à échelle de temps aussi courte, il était nécessaire de disposer de plusieurs plates-formes d'étude assurant un réseau dense d'observations. Etant donné aussi le rôle essentiel probable du vent, il fallait disposer de navires importants pouvant travailler par vents forts.

C'est là l'idée fondamentale de l'opération Medoc 69 qui, grâce notamment aux efforts de P. Tchernia et au concours de nombreux organismes, a groupé les moyens suivants:

Navires	Laboratoire Responsable	Chef de Mission	Date d'Opération
Hydra	Royal Navy N. I. O.	J. Swallow	1—10 janvier
Discovery	N. I. O.	J. Swallow	6—28 février
Atlantis II	W. H. O. I.	H. Stommel A. R. Miller	23 janv. — 12 fév. 15 fév. — 8 mars
Avion DC4 obs. Meteo	W. H. O. I.	A. F. Bunker	février
Bannock	C. N. R., Italie	R. Frassetto	février
Maria Paolina	Saclant, La Spezia		
Origny	Marine Nationale B. E. O., Toulon	Bonnot	15 janv. — 7 mars
Jean Charcot (C. N. E. X. O.)	Océanographie Physique Muséum	P. Tchernia	2—27 février 18—31 mars
Bouee-Laboratoire (C. N. E. X. O.)	Océanographie Physique Muséum	J. Gonella	janv. à mars

A titre d'exemple, le réseau de stations occupé par le « Jean Charcot » est représenté fig. 3. En tout 525 stations ont été occupées; la plupart ont été doublées d'observations avec des bathysondes ou des appareils TSD. Des mesures de mouvements verticaux des eaux ont été effectuées par Voorhis et Webb (1970).

Les opérations effectuées ont rencontré de multiples difficultés: — les unes sont dues au fait que la zone la plus intéressante pour ces études, centrée au voisinage du point 42° N — 5° E, est située à l'ouvert du Golfe du Lion dans la région la plus venteuse et la plus agitée de toute la Méditerranée: il est apparu (Anati et Stommel, 1970 et Medoc Group 1970) que le vent joue précisément un rôle majeur dans le processus d'homogénéisation. Aussi, les navires effectuant ce genre de recherches doivent-ils pouvoir travailler par vents aussi forts que possible (35 à 40 noeuds établis); les navires de faible tonnage sont inéluctablement conduits à annuler leurs opérations aux moments mêmes où elles pourraient

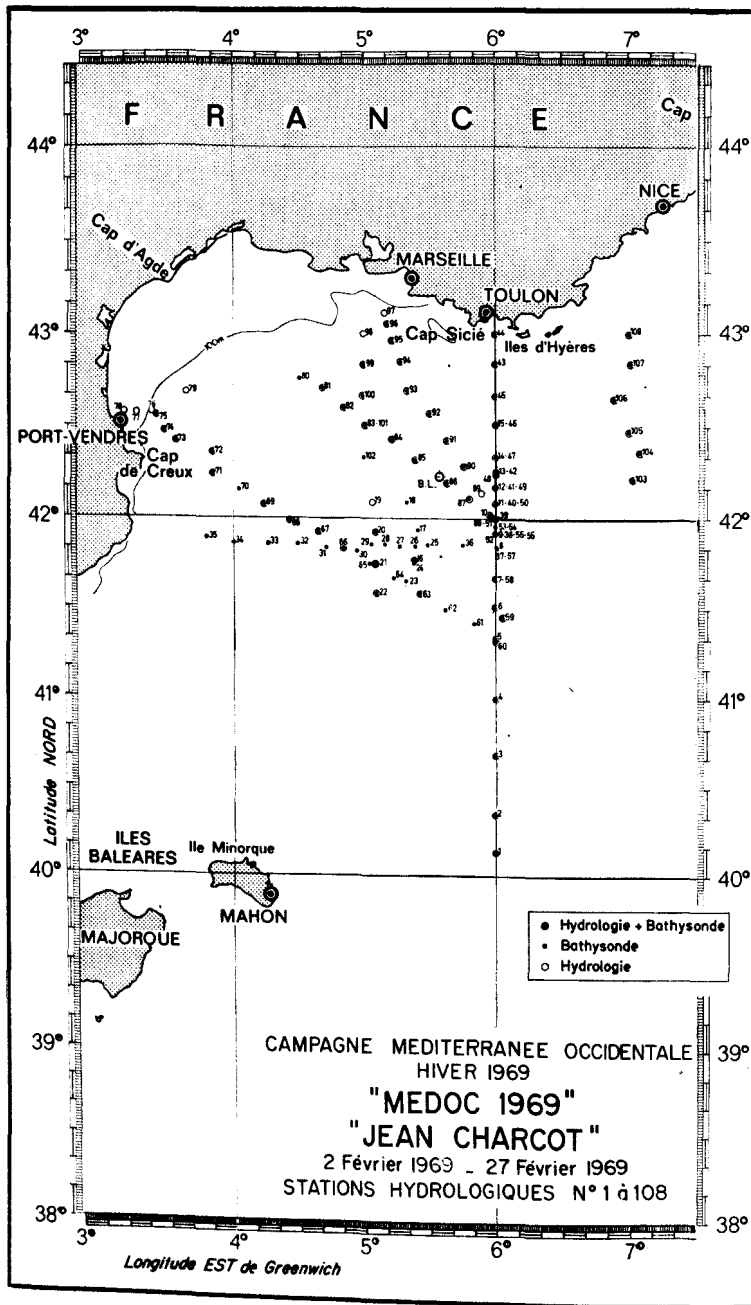


Fig. 3: Stations du «Jean Charcot»: 2—27 février 1969

fournir les renseignements les plus intéressants. Les grands navires même: «Atlantis II», «Discovery», «Charcot», ont été souvent contraints d'arrêter leurs travaux;

— d'autres sont dues au fait que la mise en évidence des processus responsables des homogénéisations exige des mesures de très grande précision, afin que des masses d'eau de caractéristiques thermohalines très voisines puissent être distinguées: il paraît en effet utile de mettre en évidence des différences de densité de l'ordre de $5 \cdot 10^{-6}$, entre mesures faites par des navires différents.

Or, des comparaisons faites au cours de Medoc 69 (P. Tchernia et L. Gamberoni, 1970), il ressort que les équipes des trois navires cités n'arrivent pas aisément, dans leurs mesures, à un accord atteignant $\pm 0,01^\circ \text{C}$ en température, $\pm 0,005$ o/oo en salinité et $\pm 0,05$ ml/l en oxygène dissous;

— enfin, la petite échelle, dans l'espace et le temps, des zones d'eaux homogènes sur une grande épaisseur, reconnue en 1963 mais plus encore au cours de Medoc 69, entraîne l'impossibilité de prévoir le lieu et le moment de l'établissement de «cheminées» homogènes et d'être sur place malgré une concentration des efforts dans des carrés de 20 milles de côté seulement. En outre, les mouvements d'advection horizontaux, si difficiles à cerner et compensant les importants mouvements verticaux constatés, jouent dans les phénomènes un grand rôle malaisé à évaluer.

IV. RESULTATS

En 1969, la situation a évolué en trois phases dans lesquelles le vent joue un rôle essentiel (Anati et Stommel, 1970 et Medoc Group 1970):

— la première, phase «préparatoire», au cours de laquelle le refroidissement hivernal des eaux voisines de la surface réduit la stabilité de la stratification de la densité marine, particulièrement dans la partie centrale du circuit cyclonique décrit par les eaux au large de la côte méridionale française et située à 60 ou 80 milles de cette côte;

— ensuite, une phase «violente» de mélange vertical, suscitée par des vents d'WNW à N de 35 à 40 noeuds qui ont soufflé sans interruption au début de février 1969 pendant six jours; alors eut lieu une homogénéisation des eaux sur une épaisseur de 1500 m: $S = 38,44$; $T_{\text{pot.}} = 12,86^\circ \text{C}$.

Des indices d'homogénéisation moins profonde existaient dans la région dans la gamme 12,78° C; 38.42 o/oo à 12,90° C; 38.45 o/oo. La zone intéressée par ces phénomènes de mélange en couche épaisse est centrée sur le point 42° N — 5° E et a une forme allongée dans le sens Est-Ouest: 60 milles environ sur 40 milles dans le sens Nord-Sud;

— la dernière phase eut lieu après cessation temporaire des vents violents: c'est une phase de plongée, d'extension et de fractionnement des poches d'eau intéressées par l'homogénéisation; une hydrologie de précision permet de suivre le processus et de distinguer cette eau hivernale «nouvelle» de l'eau profonde formée au cours de l'hiver précédent, car la température de celle-ci est légèrement inférieure à celle de l'eau «nouvelle». Des océanographes américains à bord de l'«Atlantis II» (Voorhis et Webb, 1970 a) ont enregistré, avec leur flotteur de mesure des vitesses fluides verticales, des vitesses de plus de 2 cm/sec.

La séquence des phases montre l'influence considérable et rapide des vents sur le processus d'homogénéisation profonde des eaux et donc sur la formation des eaux profondes; l'hiver 1969 fut caractérisé par des vents violents qui ont, apparemment, des conséquences analogues, au point de vue des processus déclenchés en mer, à ceux des grands froids tels que ceux de l'hiver 1963.

L'évolution de la structure thermohaline sur le 6° méridien Est montre que des «cheminées» verticales homogènes se sont, comme en 1963, établies en 1969 (fig. 4).

Les résultats préliminaires d'une campagne analogue faite en 1970 (Medoc 70) montrent que le centre de la zone de formation d'eau profonde était, en 1970, quelque peu plus à l'Ouest qu'en 1969 (4° 40' E) mais sensiblement à la même latitude.

Après leurs essais sur l'«Atlantis II», en 1969, les océanographes américains Voorhis et Webb ont utilisé en 1970, à bord du «Jean Charcot», une version de leur appareil de mesure des vitesses verticales, à enregistrement interne (Webb, Dorson, Voorhis, 1970), et obtenu des vitesses verticales beaucoup plus élevées encore qu'en 1969.

V. CONCLUSION

L'analyse détaillée des observations de l'«Origny» en janvier—mars 1963 (Lacombe & Tchernia, 1972) montre une séquence de situations analogues à celle qui est apparue en 1969. A partir du système initial

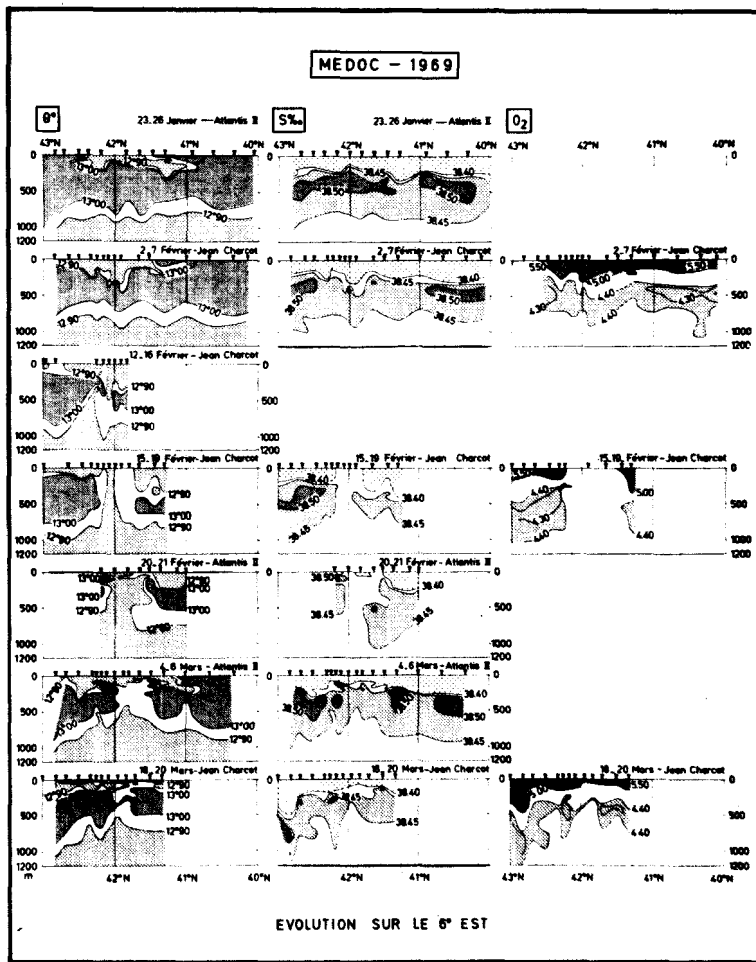


Fig. 4: Evolution de la structure de Température potentielle, de Salinité et d'Oxygène sur le méridien 6° E, janvier — mars 1969

à 3 couches (eau de surface, eau intermédiaire chaude et salée, eau profonde), le refroidissement hivernal, notamment sous l'effet du vent, provoque, après homogénéisation de la couche superficielle au centre du courant cyclonique, un mélange de l'«eau d'hiver superficielle» qui la constitue avec l'eau intermédiaire sous-jacente; ce mélange commence aussitôt que l'eau d'hiver atteint la densité du haut de la couche intermédiaire. Ensuite, l'eau profonde participe au mélange et l'eau peut devenir homogène sur toute l'épaisseur fluide. Cependant, on peut en

général décélérer, (fig. 5), dans la couche homogène épaisse formée, des poches où se fait encore sentir, très atténuée, la présence d'une petite proportion d'eau intermédiaire. Enfin, le fait que, malgré la salinité et la température élevées de l'eau intermédiaire, le mélange avec l'eau profonde très homogène ($\Theta = 12,70$; $S = 38,405$; $\sigma_{\Theta} = 29,11$) ne conduise pas à une eau de température et de salinité plus élevée que ces valeurs initiales de l'eau profonde, exige que l'effet d'eaux un peu plus froides et un peu moins salées se fasse sentir jusqu'en très grande profon-

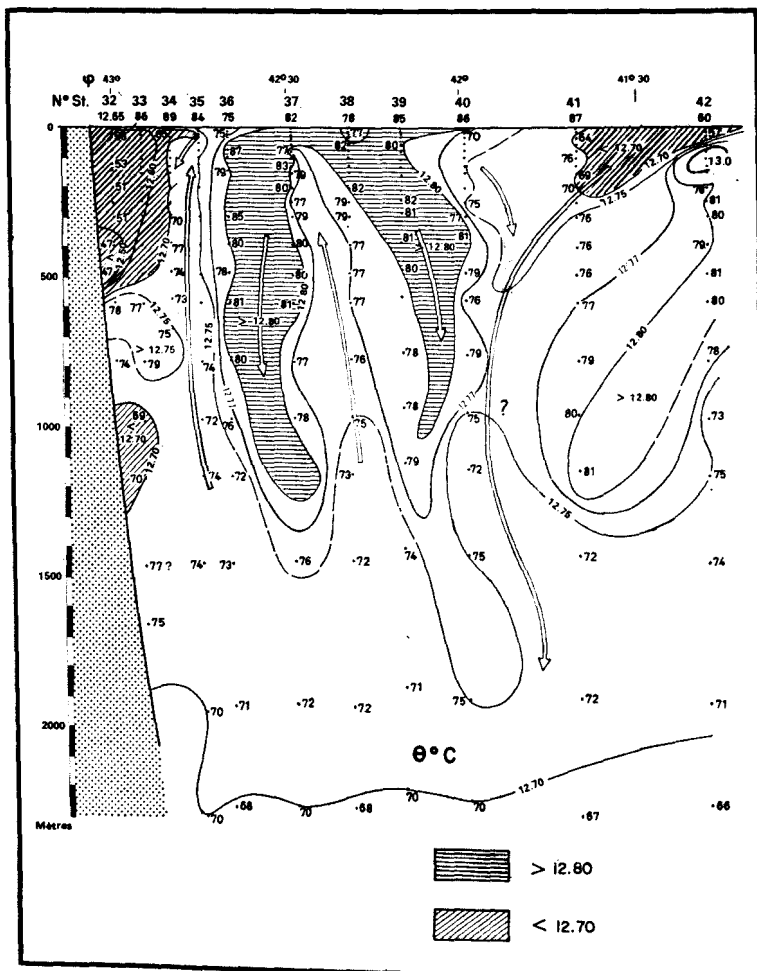


Fig. 5a: Structure de température potentielle sur le méridien 6° E, à la fin de la période très froide de janvier — février 1963. Stations de l'«Origny» 6—8 mars 1963

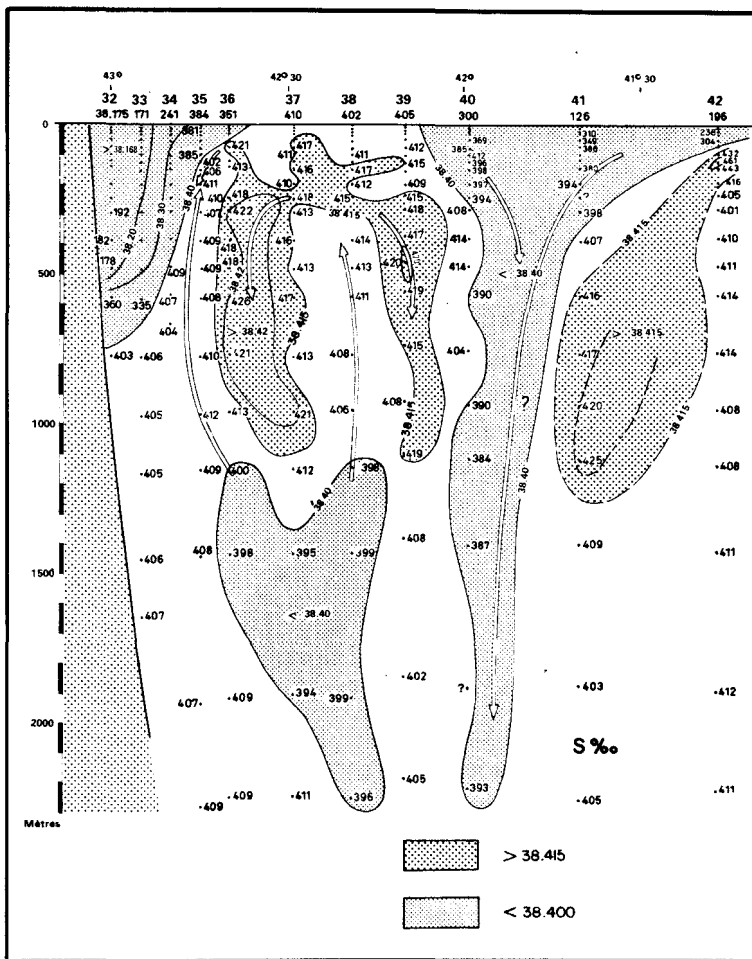


Fig. 5b: Structure de salinité sur le méridien 6° E, à la fin de la période très froide de janvier — février 1963 — Stations de l'«Origny» 6—8 mars 1963

deur. Ce stade est mal connu; il n'est pas impossible que des non-linéarités de l'équation d'état de l'eau de mer jouent un rôle dans ce phénomène.

Quant à répondre à la question de savoir si le vent agit principalement par l'intensification de l'évaporation qu'il entraîne ou par les courants et les effets dynamiques qu'il déclenche, il est difficile actuellement de se prononcer. Il résulte cependant de mesures de courants superficiels effectuées par J. Gonella pendant Medoc 1969, à la Bouée-Laboratoire,

qu'il n'apparaît alors, en milieu homogène en densité, aucune corrélation entre vent *local* et courant de surface, même pendant des périodes d'homogénéisation active. Faut-il en tirer argument en faveur de la prédominance des effets de l'intensification des *pertes thermiques* dues au vent sur les effets *dynamiques* propres de celui-ci?

Il apparaît en tous cas que le vent a un effet majeur suivant des modalités qui n'apparaissent pas encore clairement. Sa distribution instantanée dans l'espace est sans doute un élément essentiel dans la localisation de la zone de déclenchement des mélanges verticaux. L'intérêt de l'étude des époques de vents violents ressort aussi: seuls de grands navires, dans de telles conditions, permettent des observations d'une précision suffisante pour apporter une contribution sûre à l'étude de ces phénomènes d'importance planétaire, pour lesquels la Méditerranée Nord-Occidentale est un modèle naturel.

BIBLIOGRAPHIE

- Anati, D. & H. Stommel (1970). The initial phase of deep water formation in the NW Mediterranean, during Medoc 69. Cah. Océanogr., XXII (4), pp. 343—351.
- Cochrane, J. D. (1958). The frequency distribution of water characteristics in the Pacific. Deep Sea Res., V, 2, pp. 111—127.
- Lacombe, H. & P. Tchernia (1972). Le problème de la formation des eaux marines profondes. Sous presse. Ann. Inst. Océanogr. Paris, 48, 1. Masson.
- "Medoc" Group (1970). Observation of formation of deep water in the Mediterranean Sea. 1969. Nature (5262), 5 sept. 1970, pp. 1037—40.
- Miller, A. R. & R. J. Stanley (1965). Volumetric T. S. diagrams for the Mediterranean Sea. Rapp. P. V. Comm. Int. Explor. Sc. Méditerranée, XVIII, 3, pp. 755—9.
- Montgomery, R. B. (1958). Water characteristics of Atlantic and of World Ocean. Deep Sea Res., V, 2, pp. 134—148.
- Pollak, M. J. (1958). Frequency distribution of potential temperatures and salinities in the Indian Ocean. Id., *ibid.*, pp. 128—133.
- Tchernia, P. & L. Gamberoni (1970). Comparaison des résultats de mesures de température, salinité et teneur en oxygène exécutées simultanément par l'«Atlantis II» (W. H. O. I.), le «Discovery» (N. I. O.) et le «Jean Charcot» (M. O. P.) au cours de la campagne Medoc 69. Cah. Océanogr., XXII (10), pp. 1011—1031.
- Vicariot, J. (1967). Résultats des mesures faites à bord de l'«Origny» en Méditerranée Occidentale sur le méridien 6° E (12 sept. 1962 — 7 mai 1963). Présentation des Résultats. Cah. Océanogr., XIX, Suppl. 1, pp. 71—155.
- Voorhis, A. D. & D. C. Webb (1970). Large vertical currents observed in a winter sinking region of the North Western Mediterranean. Cah. Océanogr., XXII, 6, pp. 571—580.
- Webb, D. C., D. L. Dorson, A. D. Voorhis (1970). A new instrument for the measurement of vertical currents in the Ocean. Proc. Confer. Electronic Engineer. In Ocean Technology, Swansea, sept. 1970, pp. 323—331.

ÜBER DIE MEERESPHYSIKALISCHEN UND MEERESCHEMISCHEN ARBEITEN AUF DEN ERSTEN 25 FORSCHUNGSFAHRTEN DES FORSCHUNGSSCHIFFES „METEOR“

VON H. U. ROLL

1. EINLEITUNG

Die mir gestellte Aufgabe, eine Darstellung und kritische Würdigung der bisherigen Ergebnisse der „Meteor“-Forschungsfahrten auf den Gebieten Meeresphysik und Meereschemie zu geben, ist keineswegs einfach, da zur Zeit nur die Resultate der ersten Unternehmungen in der Form von wissenschaftlichen Abhandlungen und damit in einer gewissermaßen abschließenden Formulierung vorliegen. Von den Fahrten der letzten Jahre gibt es die Berichte der Fahrleiter und einzelnen Arbeitsgruppen, die naturgemäß nur einen vorläufigen Charakter tragen können und vielleicht sogar die wirklich wesentlichen Befunde gar nicht einmal angedeutet enthalten, weil sich diese erst bei einer eingehenden Bearbeitung des Beobachtungsmaterials ergeben. Es ist schwer, in einem so inhomogenen Material das Wichtige und Wesentliche zu erkennen und dabei die richtigen Akzente zu setzen. Bei dieser Sachlage halte ich es für zweckdienlicher und objektiver — anstelle einer detaillierten Schilderung der einzelnen Forschungsunternehmungen und ihrer bisher verfügbaren Ergebnisse — die allgemeinen Entwicklungslinien zu beleuchten, die die Arbeiten mit unserem Forschungsschiff „Meteor“ auf meeresphysikalischem und meereschemischem Gebiet charakterisieren.

2. PROBLEMSTELLUNG

Bekanntlich ist es die Aufgabe der physikalischen Ozeanographie, die im Meere stattfindenden physikalischen Prozesse zu erkennen und zu verstehen. Mit anderen Worten: Es geht darum, die Größen, die diese physikalischen Erscheinungen und Vorgänge am besten charakterisieren, möglichst genau und vollständig zu messen, die Meßergebnisse zu analysieren und im Lichte anerkannter theoretischer Vorstellungen zu deuten, damit ein widerspruchsfreies Gebäude gesicherter Erkenntnis entsteht, das uns befähigt, physikalische Vorgänge vorauszuberechnen.

Entsprechendes gilt für die Meereschemie. Wir müssen ferner bedenken, daß eine vollständige und eindeutige Klärung der physikalischen und chemischen Prozesse im Meer stets auch die Erfassung der äußeren Einflüsse und der „Randbedingungen“ erfordert, d. h. neben den Wirkungen der Strahlung, der gezeitenerzeugenden Kräfte, der atmosphärischen Einflüsse und der Erdrotation müssen die vom Meeresboden und den Küsten ausgehenden Effekte in Betracht gezogen werden.

Für die Erfüllung dieser Idealforderung benötigen wir sowohl eine geeignete Technologie als auch eine zweckentsprechende Organisation der Messungen.

3. ENTWICKLUNG DER TECHNOLOGIE

Auf technologischem Gebiet ist man vor allem bestrebt gewesen, von den früheren Punkt-Messungen und punktförmigen Probenentnahmen überzugehen auf eine kontinuierliche Erfassung der physikalischen und chemischen Parameter in Raum und Zeit. In dieser Hinsicht haben die „Meteor“-Fahrten zu erheblichen Verbesserungen geführt.

Die Bathysonde liefert uns detailreiche, kontinuierliche, vertikale Profile von Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit und damit Salzgehalt im Meer, allerdings nur bei gestopptem oder verankertem Schiff. Ähnliche vertikale Profile werden auch für die Trübung und die Schallgeschwindigkeit erhalten und geben wichtige Aufschlüsse über die Schichtung und Eigenschaften der Wassermassen. Bedeutende Fortschritte hat die kontinuierliche Bestimmung hydrochemischer Parameter gemacht. Schon bei der Indische-Ozean-Expedition 1964/65 gelang die Vertikalregistrierung des Sauerstoffpartialdruckes mit der von Grasshoff entwickelten Sauerstoffsonde (Grasshoff, 1969). Auf der Ankerstation 9027 während der Atlantischen Kuppenfahrten 1967 wurden sogar 6 chemische Komponenten des Meerwassers, das aus 5 verschiedenen Tiefen mittels Pumpen kontinuierlich gefördert wurde, simultan analysiert (Closs, Dietrich, Hempel, Schott und Seibold, 1969).

Sehr erwünscht wäre ein Verfahren für die kontinuierliche Bestimmung der vertikalen Strömungsverteilung.

Die kontinuierliche Messung physikalischer und chemischer Größen in der Horizontalen wurde ebenfalls vorangetrieben. Der automatisch zwischen der Oberfläche und etwa 70 m Tiefe auf- und abpendelnde Schleppkörper „Delphin“ (Abb. 6) lieferte während der ICES-Unter-

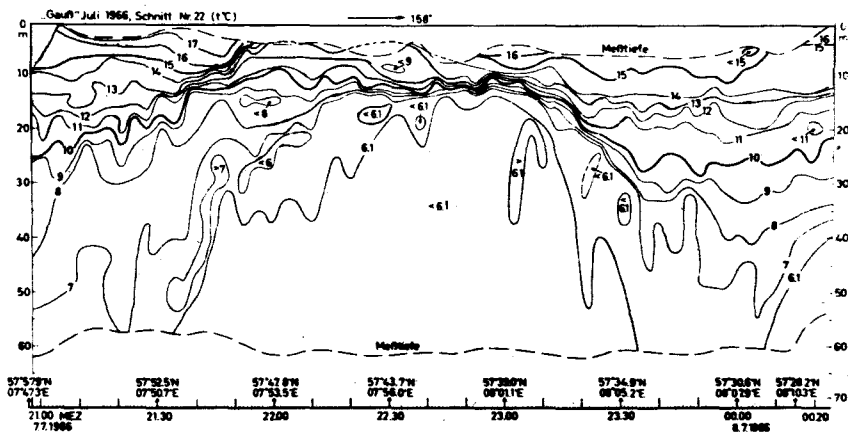


Abb. 6: Beispiel einer „Delphin“-Registrierung „Meteor“-Fahrt Nr. 5, Skagerrak (Tomczak, 1969)

suchung des Skagerrak im Sommer 1966, an der außer ausländischen die deutschen Forschungsschiffe „Meteor“, „Gauß“, und „Alkor“ teilnahmen, eine sehr genaue Darstellung der komplizierten Temperaturstruktur in diesem Gebiet, das durch ausströmendes warmes und salzarmes Ostseewasser und einströmendes salzreiches Nordseewasser gekennzeichnet ist (Tomczak, 1968, 1969). Im chemischen Bereich ist die kontinuierliche Registrierung der Phosphat-Konzentration im Oberflächenwasser zu vermerken, die Weichert (1970) insbesondere bei der Untersuchung des nordwestafrikanischen Auftriebswasser-Gebietes während der „Meteor“-Fahrt Nr. 13 mit Erfolg anwandte (Abb. 7).

Es fehlt aber immer noch ein brauchbares Verfahren, mit dem Temperatur, Salzgehalt und chemische Komponenten des Meerwassers kontinuierlich in verschiedenen Tiefen zumindest der Deckschicht und der Sprungschicht während der Fahrt vom Schiff aus gemessen und aufgezeichnet werden können. Der Einweg-Bathythermograph und die Thermistorkette sind hierfür nur ein recht unvollkommener Ersatz.

Die kontinuierliche Messung in der zeitlichen Dimension geschieht durch Dauerregistrierungen auf verankerten Forschungsschiffen oder Bojensystemen. Diese letztere Form hat eine besondere Entwicklung erfordert, auch haben wir das entsprechende Lehrgeld zahlen müssen. Wertvolle Geräte sind dabei verloren gegangen, wobei die Ursachen nicht immer

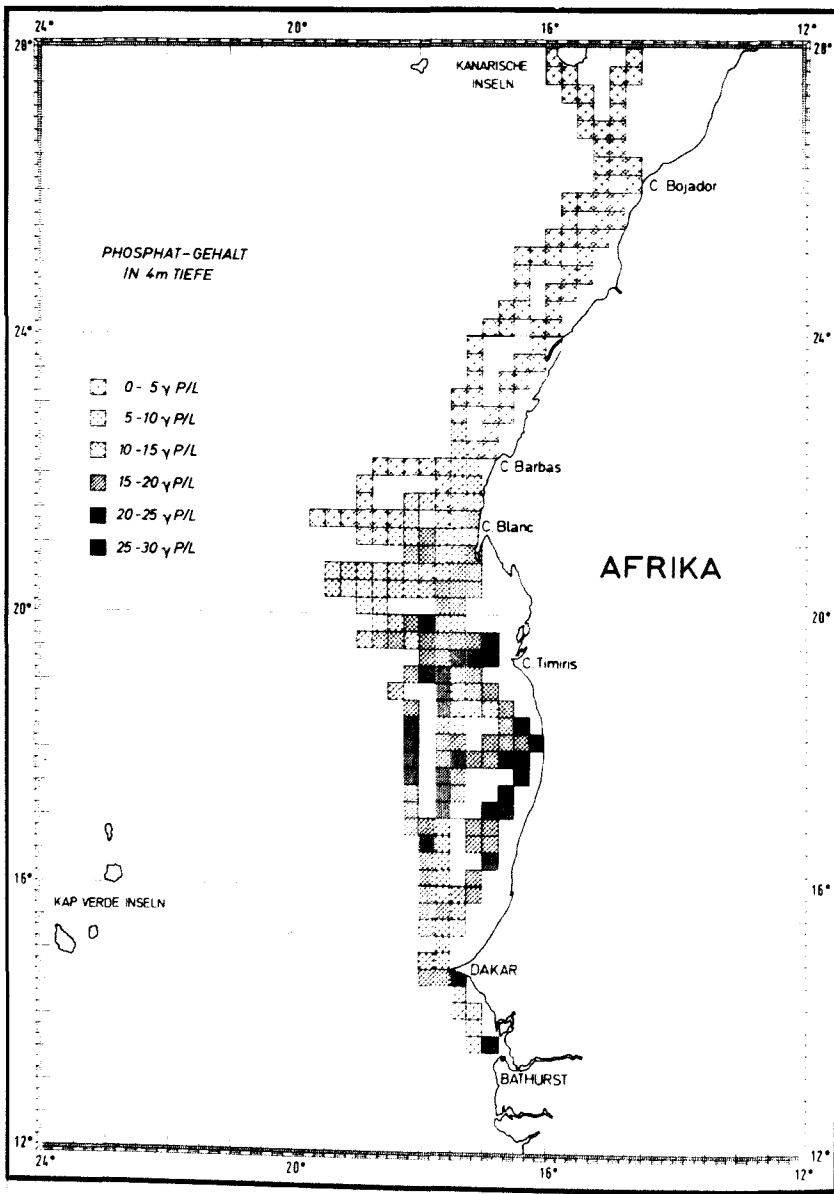


Abb. 7: Verteilung der Phosphatkonzentration im nordwestafrikanischen Auftriebswassergebiet „Meteor“-Fahrt Nr. 13 (Weichart, 1970)

geklärt werden konnten. Aus diesen Verlusten wurde gelernt, und es ist erfreulich festzustellen, daß bei den 7 Verankerungsketten während der „Meteor“-Fahrt Nr. 23 im Frühjahr 1971 westlich von Gibraltar alle 36 Meßgeräte nach vollzogener Messung geborgen werden konnten (Abb. 8). Dabei befand sich der obere Endpunkt des ausgelegten Systems etwa 100 m unter der Meeresoberfläche, so daß eine Gefährdung durch den normalen Schiffsverkehr wohl nicht zu befürchten war. Besonders erfolgreich war das Zusammenwirken von Verankerungsketten

**NORDOST ATLANTIK EXPEDITION 1971
FORSCHUNGSSCHIFF METEOR
ARBEITSGRUPPE MEERESPHYSIK/KIEL**

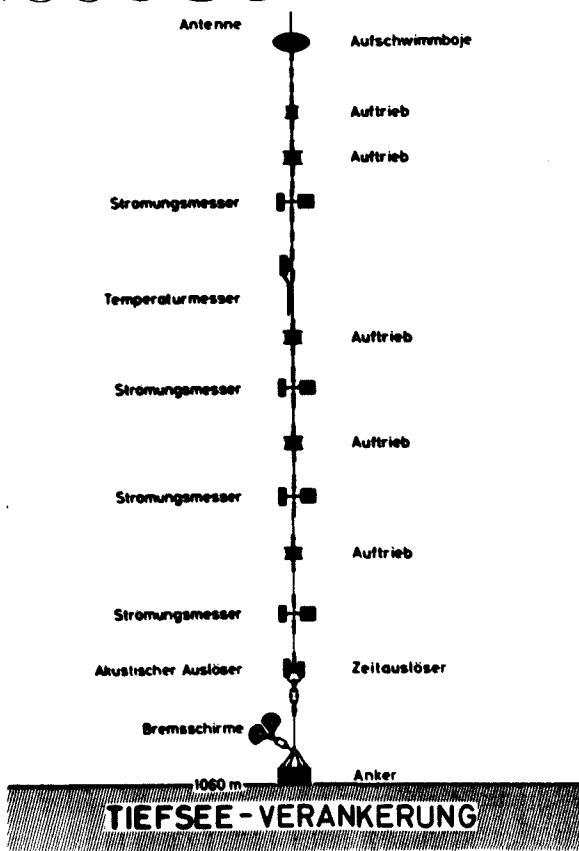


Abb. 8: Schema einer Verankerungskette „Meteor“-Fahrt Nr. 23 westlich Gibraltar (Siedler)

mit der Ankerstation und den Meßkursen des Forschungsschiffes „Meteor“ im Gebiet der Großen-Meteor-Bank im Jahre 1967. Der Geräteeinsatz während dieser Ankerstation konnte nur durch Einhaltung eines genauen Zeitplanes gemeistert werden.

Es bedarf wohl keiner besonderen Betonung, daß der angestrebte und zum guten Teil vollzogene Übergang zur kontinuierlichen Erfassung ozeanographischer Daten entsprechend hohe Anforderungen an die Aufbereitungs- und Verarbeitungsmethoden stellt.

3. DIE VERÄNDERLICHKEIT IM OZEAN

Diese somit begonnene kontinuierliche Erfassung meeresphysikalischer und -chemischer Meßgrößen hat uns bereits die Erkenntnis vermittelt, daß die räumliche und zeitliche Veränderlichkeit im Ozean erheblich größer ist als früher angenommen wurde. Krause (1968) fand im Indischen Ozean, daß zwischen den von der Bathysonde festgestellten Feinstrukturen des vertikalen Temperaturprofils an benachbarten Stationen praktisch kein Zusammenhang besteht. Bildet man aus den Bathysondenmessungen übergreifende Mittelwerte über Tiefenbereiche von jeweils 70 m, ergeben sich Profile, die von den gleichzeitig mit Wasserschöpferserien erhaltenen erheblich abweichen, in der Temperatur bis 2° C und im Salzgehalt bis 0,4‰. Offenbar sind die mit Umkippthermometern fixierten Temperaturen Augenblickswerte, die in vielen Fällen keine besondere Repräsentanz in einem größeren Zusammenhang beanspruchen können. Das Gleiche gilt für den aus Wasserschöpferproben ermittelten Salzgehalt. Daraus folgt, daß wir die Genauigkeit, die räumliche und zeitliche Dichte und damit die Repräsentanz oder Aussagefähigkeit unserer ozeanographischen Meßwerte abstimmen müssen auf die Größenordnung der von uns betrachteten Erscheinung oder Bewegung. Mikrovorgänge in der Größenordnung von Metern und Sekunden werden erfordern, daß wir sehr genau in einem angemessen dichten räumlichen Netz und mit einer adäquaten zeitlichen Auflösung messen müssen, wenn wir den Vorgang verstehen wollen. Prozesse großer Größenordnung werden durch zweckmäßig gemittelte Werte in einer entsprechenden räumlichen und zeitlichen Koordinierung erfaßt werden. Dazwischen gibt es Übergänge, wobei besonders wichtig und interessant ist festzustellen, wie die Übertragung der Energie von einem Teil dieses Spektrums auf den anderen erfolgt.

Somit können wir davon ausgehen, daß das traditionelle Verfahren, nämlich Werte, die zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Orten mit Hilfe von Serienmessungen gewonnen werden, zu einem Bilde der Schichtung und Zirkulation zusammenzufassen, meist keine zutreffende Aussage ermöglichen wird, allenfalls dann wenn in dem betrachteten Gebiet völlige Stationarität herrscht, aber dies dürfte auch in der Tiefsee nur selten zutreffen.

Wir müssen vielmehr simultan in angemessener räumlicher und zeitlicher Dichte messen. Was bedeutet aber in diesem Zusammenhang „angemessen“? Das wissen wir heute noch nicht genau. Dazu müssen wir mehr über die Struktur der ozeanischen Veränderlichkeit erfahren als wir heute wissen. Aus diesem Grunde wurde ja auch die Untersuchung der ozeanischen Veränderlichkeit zu einem Schwerpunkt der Arbeiten mit dem Forschungsschiff „Meteor“ erhoben. Dietrich und seine Mitarbeiter haben vor einigen Jahren einschlägige Studien begonnen, dabei haben sie die eine Randbedingung, nämlich den Meeresboden, gleich mitberücksichtigt, indem sie die ozeanische Veränderlichkeit in kleineren Seegebieten über verschiedenen Strukturen des Meeresbodens, über einer unterseeischen Kuppe, am Schelfrand und in der Tiefsee untersuchten. Das ist gut und richtig, nur sollte man dabei die unterschiedlichen atmosphärischen Einflüsse nicht außer acht lassen, die zumindest in der Deckschicht zu der Veränderlichkeit im Ozean beitragen können.

4. DIE ORGANISATION OZEANOGRAPHISCHER UNTERSUCHUNGEN

Die Notwendigkeit, mit dem Problem der Veränderlichkeit im Ozean fertig werden zu müssen, führt uns zu der Frage, wie ozeanographische Untersuchungen zweckmäßigerweise angelegt und organisiert werden sollen und wie, unter diesem Gesichtspunkt, die bisherigen „Meteor“-Expeditionen einzuordnen sind, jedenfalls soweit die meeres-physikalische und -chemische Komponente betroffen ist.

Die Indische-Ozean-Expedition ist kein gutes Beispiel dafür, wie solche Unternehmungen international koordiniert werden sollen. Hier beschränkte sich die Gemeinsamkeit im wesentlichen darauf, daß die Arbeiten im Indischen Ozean zwischen den Jahren 1959 und 1965 stattfanden. Ansonsten untersuchte jeder Teilnehmer das, was ihm am lohnendsten erschien. Insoweit haben die Spötter recht, die sagen, „die Indische-Ozean-Expedition war das größte nichtkoordinierte Unter-

nehmen der internationalen Meeresforschung“ (wenn es so etwas gibt). Trotz allem darf man die erstaunliche Tatsache nicht unerwähnt lassen, daß die international koordinierte Auswertung der bei dieser „nicht-koordinierten“ Unternehmung gewonnenen Daten 4 recht informative und nützliche ozeanographische Atlanten des Indischen Ozeans hervorgebracht hat, von deren Qualität wir uns zum Teil vor nicht langer Zeit hier in Kiel überzeugen konnten.

Von den späteren „Meteor“-Fahrten fanden zwar fast alle — wenigstens soweit Meeresphysik und Meereschemie betroffen sind — in Absprache mit Wissenschaftlern aus anderen Ländern statt oder unter Teilnahme von ihnen, doch erfolgte bisher eigentlich nur die Skagerrak-Untersuchung (Fahrt Nr. 5) im Rahmen einer von einer internationalen Organisation — hier von dem International Council for the Exploration of the Sea (ICES) ausgeübten Koordinierung.

Das mag zum Teil daran liegen, daß die zuständigen internationalen Organisationen wie die Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) und das Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) internationale Kooperationen in weit von uns entfernten Seegebieten (ICITA: Tropischer Atlantik; CSK: Kuroshio; CICAR: Karibische See) veranstaltet haben, bei denen eine deutsche Teilnahme angesichts unserer begrenzten technischen Möglichkeiten und auch mangels ausreichenden fachlichen Interesses nicht in Betracht kam. Wir haben dafür nationalen oder bilateralen oder trilateralen Unternehmungen den Vorzug gegeben, weil wir uns größere Effektivität von ihnen versprochen. Das war sicher begründet und hat auch zu gutem Erfolg, aber immer nur in gewissen Teilbereichen, geführt. Die Aufgabe der Meeresphysik und Meereschemie ist — insbesondere wegen der Variabilität im Ozean — so groß, daß sie nur in enger internationaler Zusammenarbeit bewältigt werden kann. Die erfolgreiche internationale Kooperation während des Overflow-Programms 1959/60 ist ein gutes Beispiel für die Möglichkeiten solcher Zusammenarbeit. Es ist zu hoffen, daß diese günstigen Gelegenheiten bei der bevorstehenden internationalen Kooperation im nordwestafrikanischen Auftriebswassergebiet (CINECA) von allen Beteiligten gesehen und ausgenutzt werden. Wir müssen endlich begreifen, daß internationale Kooperation auf den Ozeanen letzten Endes immer Anpassung an andere Wünsche, Aufgabe von gewissen eigenen Interessen von jedem Teilnehmer erfordern. Sonst kann eine solche Zusammen-

arbeit, die allen dient und damit auch uns zugute kommt, nicht verwirklicht werden.

5. EINIGE ERGEBNISSE DER BISHERIGEN METEOR-FAHRTEN.

Es ist nicht zu verwundern, daß bisher die meisten einschlägigen deutschen Veröffentlichungen den Indischen Ozean und seine Nebenmeere betreffen, denn solche Arbeiten benötigen Zeit und die „Meteor“-Fahrt Nr. 1 in den Indischen Ozean liegt am weitesten zurück. Entsprechend der Anlage der deutschen Beteiligung an der Indische-Ozean-Expedition (Dietrich, Krause, Seibold, Vollbrecht, 1966) befassen sich die deutschen Arbeiten mit dem Roten Meer, dem Golf von Aden, dem Persischen Golf, den Gewässern vor der Somaliküste Afrikas und vor der Westküste Indiens. Die gewonnenen physikalischen und chemischen Daten wurden veröffentlicht (Dietrich, Düing, Grasshoff u. Koske, 1966).

Beginnen wir mit dem Roten Meer. Krause und Ziegenbein (1966) diskutierten die auf „Meteor“ erhaltenen Messungen über das heiße salzreiche Tiefenwasser im zentralen Roten Meer und haben damit wertvolle Informationen geliefert für die jetzigen Untersuchungen des deutschen Rohstoff-Forschungsschiffes „Valdivia“, die feststellen sollen, ob sich ein industrieller Abbau dieser Erzschlämme lohnt.

Die Chemie dieses durch hohe Verdunstung, abgeriegeltes Tiefenwasser und das Fehlen festländischen Abflusses gekennzeichneten Meeres hat Grasshoff (1969) näher untersucht und dabei u. a. neue Methoden zur Analyse von Nitrat und Silikat und zur automatischen Bestimmung von gelöstem anorganischem Phosphat, Silikat und Gesamtphosphat angewendet. Für Kalziumkarbonat findet er die ziemlich hohe mittlere Sedimentationsrate von etwa 2×10^{-3} cm/Jahr = 2 cm/Jahrtausend.

Über die Trübungsverteilung im Nordostteil des Persischen Golfs und im Golf von Oman unterrichtet eine deskriptive Studie von Ziegenbein (1966).

Siedler's (1968) sehr eingehende Untersuchung der Schichtung und Bewegung am Südausgang des Roten Meeres erfolgte zu einer Zeit besonders ausgeprägter winterlicher Windverhältnisse, die den Einstrom in der Deckschicht bis etwa 75 m Tiefe begünstigen (Abb. 9). Der Netto-Wassertransport in das Rote Meer war 6mal so groß wie erwartet. Im Gegensatz zur mittleren Situation im gesamten Jahr wurde während der Untersuchung sogar ein Nettosalztransport vom Golf von Aden zum

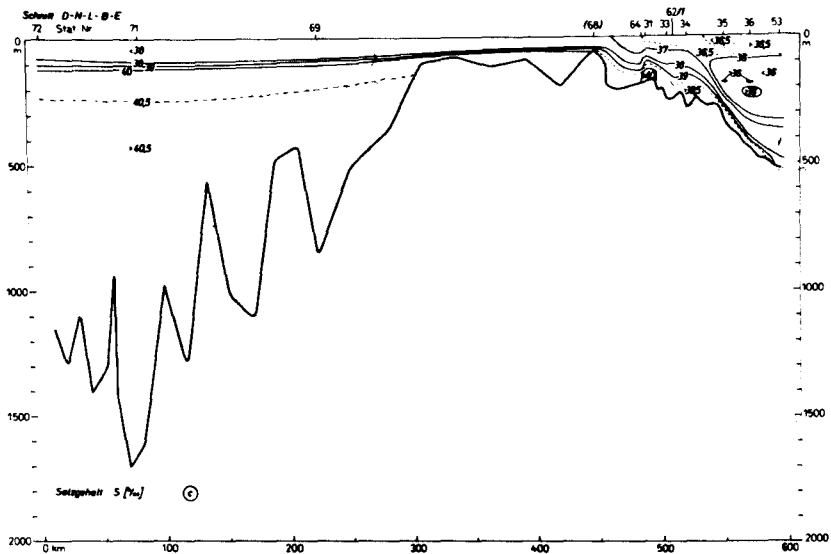


Abb. 9: Salzgehaltsverteilung auf einem Längsschnitt durch den südlichen Teil des Roten Meeres (links) und den Golf von Aden (rechts) „Meteor“-Fahrt Nr. 1 (Siedler, 1968)

Roten Meer festgestellt. Nach Siedler's Messungen teilt sich das am Boden aus dem Roten Meer ausfließende salzreiche, warme Wasser beim Eintritt in den Golf von Aden in zwei Stromarme. Die Hauptmenge fließt in südlicher Richtung, ein kleinerer Teil jedoch durch einen schmalen Kanal (mit Geschwindigkeiten bis zu 40 cm/sec in südöstlicher Richtung). Zum gleichen Ergebnis gelangte auch Krause (1968), der seiner Untersuchung der Struktur und Verteilung des Wassers aus dem Roten Meer im nordwestlichen Indischen Ozean ausschließlich die auf „Meteor“ entlang der Somaliküste gewonnenen Bathysondendaten zugrundelegte. Er fand den Ausfluß konzentriert innerhalb einer Entfernung von 350 km von der Somaliküste, wobei Strom-Meander örtliche Unterschiede verursachten. Außerhalb dieses Bereichs fanden Vermischungsprozesse mit ziemlich geringer Diffusionsrate statt. Der direkte Einfluß des aus dem Roten Meer am Boden einfließenden Wassers erstreckte sich auf die Tiefen zwischen 400 und 800 m und reichte etwa bis zum Äquator.

Zu einem ähnlichen Ergebnis bezüglich der Ausbreitung des Rote-Meer-Wassers entlang der afrikanischen Küste gelangten auch Düing und

Koske (1967), die die hydrographische Situation vor der afrikanischen und der indischen Küste im Arabischen Meer während des Nordostmonsuns im Winter 1964/65 aufgrund der auf „Meteor“ gewonnenen Serienmessungen behandelten. Das salzreiche Wasser aus dem Persischen Golf ließ sich entlang der indischen Westküste in einer Tiefe von etwa 300 m bis auf 12–14° Nordbreite verfolgen.

Die Vertikalzirkulation in den küstennahen Gewässern des Arabischen Meeres während des Nordostmonsuns hat Düing (1967) diskutiert (Abb. 10). Er versuchte insbesondere die Vertikalgeschwindigkeiten in diesen Gebieten auf- und absteigender Wasserbewegung abzuschätzen. Aufgrund der „Meteor“-Daten (einschließlich der des Windes) und unter Benutzung eines theoretischen zweidimensionalen Zwei-Schichten-Modells (allerdings unter Annahme eines zu hohen Windschubspannungskoeffizienten $C = 2.56 \times 10^{-3}$ anstatt 1.3×10^{-3}) gelangte er zu Vertikalgeschwindigkeitswerten von weniger als 10^{-5} cm/sec. bis zu maximal 2×10^{-4} cm/sec. Deutlich wurde dabei eine küstenparallele Streifen-

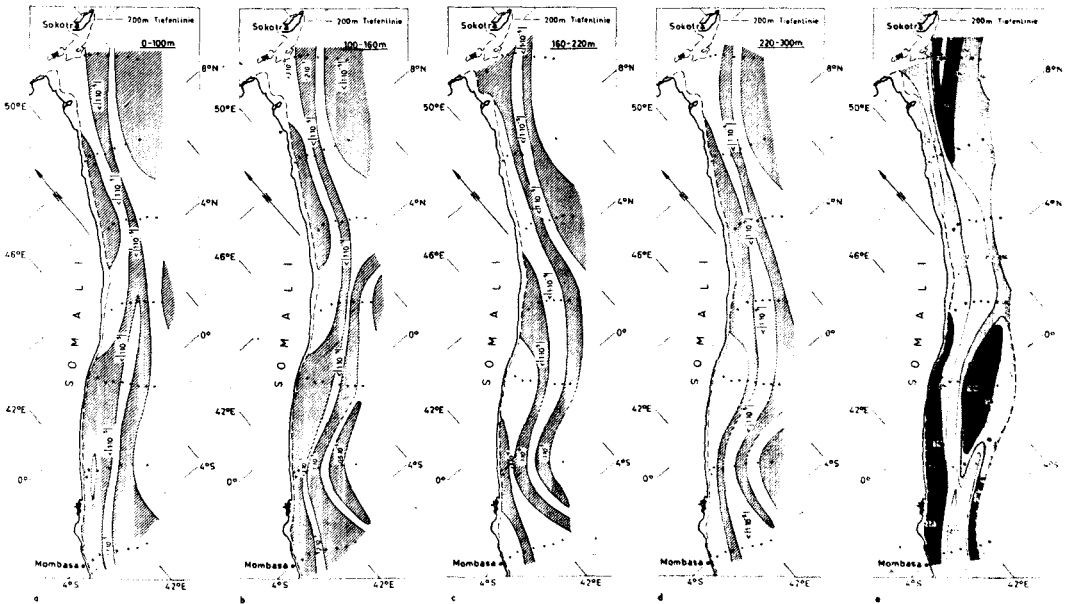


Abb. 10: a) bis d) Regionale Verteilung von Gebieten aufsteigender und absinkender Wasserbewegungen in vier Niveaus vor der afrikanischen Küste. Die Gebiete mit aufsteigender Bewegung sind schraffiert, Absinkgebiete sind weiß. Die Zahlen geben Mittelwerte der vertikalen Geschwindigkeit in den einzelnen Niveaus an. e) Die Verteilung des partikularen Kohlenstoffes vor der afrikanischen Seite nach H. K. Szekiolda.

struktur auf- und absteigender Bewegung in den oberen Schichten bis 300 m, die hydrodynamisch-numerische Berechnungen von Schmitz (1964) ebenfalls ergeben und die auch in der zwischen 0 und 100 m Tiefe auf „Meteor“ vor der afrikanischen Küste gemessenen horizontalen Verteilung des partikularen Kohlenstoffes gewisse Parallelen findet. Eine weitere Prüfung bzw. Bestätigung durch direkte Messungen der Vertikalgeschwindigkeit ist zur Zeit nicht möglich.

Einen etwas größeren Rahmen hat eine Untersuchung von Düing und Schwill (1967). Sie befaßt sich mit der Ausbreitung und Vermischung der satzreichen Zuflüsse aus dem Roten Meer und dem Persischen Golf über das gesamte Arabische Meer. Diese Arbeit basiert nicht nur auf dem „Meteor“-Material, sondern verwendet auch die Beobachtungen anderer Forschungsschiffe soweit verfügbar. Düing und Schwill verfolgten die Ausbreitung in den sogenannten Kernschichten (Rotes-Meer-Wasser 600—800 m, Persischer-Golf-Wasser 200—500 m), und gelangten unter Benutzung zweier theoretischer Modelle zu dem Schluß, daß die beobachteten Ausbreitungsprozesse im Arabischen Meer durch horizontale Vermischung und die natürlichen Randbedingungen ohne advective Transporte erklärt werden können. Für beide Monsum-Regime ergab sich ein allgemein west-östlicher Verlauf der Isohalinen in 400 und 600 m Tiefe. Jahreszeitliche Änderungen manifestierten sich nur im nördlichen Teil des Arabischen Meeres und an dessen Rändern.

Da „Meteor“ während der Indische-Ozean-Expedition auch einen meridionalen Schnitt über den Äquator (auf 58° E von 3° S bis 2° N) ausgeführt hat, konnten Düing, Grasshoff und Krause (1967) untersuchen, ob dort ein äquatorialer Unterstrom existiert. Das Ergebnis war negativ. Zu der fraglichen Zeit (Ende Januar 1965) herrschten dort relativ starke westliche Strömungen vor und auch die Verteilung der chemischen Komponenten zeigt keine Ähnlichkeit mit entsprechenden Schnitten im äquatorialen Atlantik oder Pazifik.

Positive Ergebnisse und wertvolle Informationen über Lage, Geschwindigkeit und Schwankungen des äquatorialen Unterstromes wurden dagegen während der „Meteor“-Fahrten Nr. 2 und 16 im zentralen Atlantik erhalten (Neumann).

Von der Fahrt Nr. 2, auf der „Meteor“ die westliche Fortsetzung der Romanche-Bruchzone auslotete und dabei eine neue tiefe Stelle mit 7028 m entdeckte, liegt eine Studie von Tomczak und Annutsch (1970)

vor, die aus der Topographie und den vorliegenden Serienmessungen zu erklären versucht, wie das westatlantische Bodenwasser durch die Romanche-Rinne in das ostatlantische Sierra-Leone-Becken gelangt (Abb. 11). Interessant ist dabei, daß die Messungen für die Existenz einer

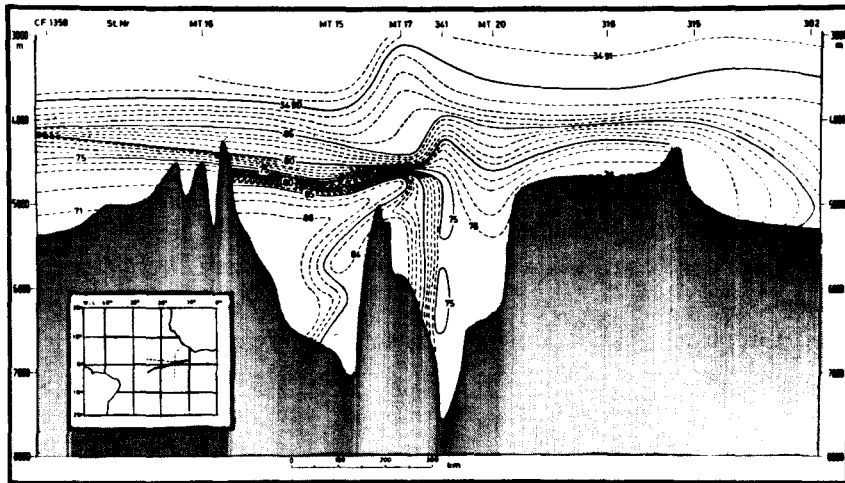


Abb. 11: Salzgehaltsverteilung auf einem West-Ost-Schnitt durch die Romanche-Bruchzone (mit „Leewelle“) „Meteor“-Fahrt Nr. 2, Zentraler Atlantik (Tomczak und Annutsch, 1970)

„Leewelle“ sprechen, die sich an dem bis 5000 m hinaufreichenden Rücken zwischen den beiden unter 7000 m tiefen Gräben der Romanche-Bruchzone entwickelt und möglicherweise für den Durchfluß des westatlantischen Bodenwassers nach Osten von Bedeutung ist.

Über die Ergebnisse der Internationalen Skagerrak-Untersuchung im Sommer 1966, an der „Meteor“ (Fahrt Nr. 5) teilnahm, liegt zwar inzwischen ein umfassendes Daten- und Kartenwerk vor, doch verdienen die von Tomczak (1968 u. 1969) mitgeteilten ersten Resultate weiterhin Beachtung. Interessant ist u. a. seine Berechnung des Wassermassentransports durch das Profil zwischen Christiansand und Hanstholm, also an der Westseite des Skagerrak, nach dem dynamischen Verfahren, der auf zwei in den gleichen Zeitraum fallenden Überläufen (12. bis 14. 7. 1966) beruht. Beide Ergebnisse sind nicht identisch — dies war bei der durch die Delphin-Messungen erwiesenen großen Variabilität in

diesem Seegebiet auch nicht zu erwarten — doch zeigen sie die gleichen Hauptmerkmale:

Baltischer Strom vor der Norwegischen Küste,
Einstrom vor der Jütländischen Küste,
Einstrom in der Norwegischen Rinne.

Auch die Zahlenwerte stimmen recht gut überein. Die für die Berechnung erforderliche „Nullschicht“ wurde empirisch aus insgesamt 5 Überläufen ermittelt. Als Gesamtbild aus allen Überläufen dieses Profils ergaben sich zwar gewisse windbedingte Schwankungen des Wassertransportes, doch bestand gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und den gemessenen Stromgeschwindigkeiten. Damit läßt die noch ausstehende Anwendung dieses Verfahrens auf die übrigen Profile — bei Berücksichtigung der jeweiligen Wetterlage — interessante Vergleiche erwarten.

Von den physikalischen Untersuchungen der „Meteor“ im Mittelmeer seien nur die Diffusionsversuche kurz erwähnt. Nach Experimenten mit dem Farbstoff Rhodamin B in der Nordsee war es wichtig zu wissen, wie solche Austausch- und Vermischungsvorgänge in einem gezeitenfreien Meer mit ausgeprägter Sprungschicht ablaufen würden. Leider verhinderten es ungewöhnlich starke Winde bei beiden Versuchen westlich von Korsika, sowohl bei der Fahrt Nr. 7 (1966) als bei der Fahrt Nr. 21 (1970), den Einfluß der Gezeitenströme auf die Mischungsvorgänge zu klären, denn es wurden beide Male, wohl wegen der Starkwinde, unerwartet hohe Diffusionsgeschwindigkeiten mit einer entsprechend raschen Abnahme der Maximalkonzentration etwa wie in der Nordsee gefunden. Auch die horizontale Verteilung der Farbstoffkonzentration war bei beiden Versuchen etwa gleich. Ihre Achse verlief nach 4 Tagen etwa in einem halbkreisförmigen Bogen (Abb. 12). Die Erwartungen bezüglich der Sperrwirkung der Sprungschicht wurden allerdings erfüllt. Auch nach 10 Tagen konnte keine vertikale Diffusion durch die in 30 m Tiefe gelegene starke Sprungschicht festgestellt werden, ein Ergebnis, das für die Beantwortung der Frage, ob flüssige Abfälle an der Oberfläche oder in das Bodenwasser eines Seegebietes eingeleitet werden sollen, sicherlich von Bedeutung ist.

Über die physikalischen und chemischen Messungen während der Kuppenfahrten im Jahre 1967 ist bereits mit Bezug auf die Meßtechnik Einiges gesagt worden. Seit kurzem liegen die ersten Ergebnisse in Form

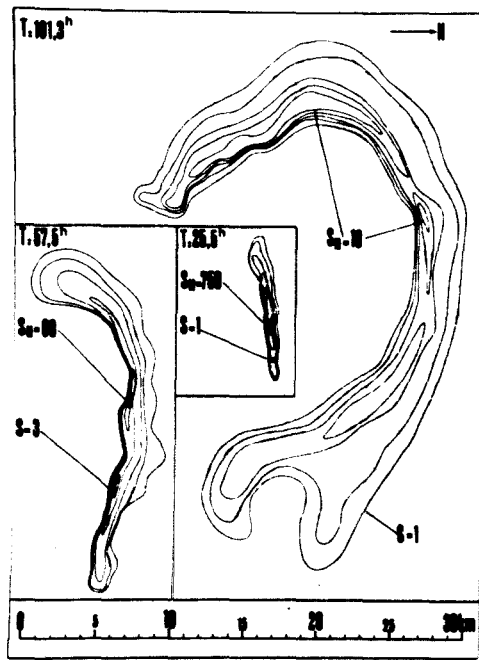


Abb. 12: Verteilung der Farbstoffkonzentration an der Meeresoberfläche bei 3 Vermessungen in 26, 58, 101 Stunden Abstand vom Beginn. „Meteor“-Fahrt Nr. 7, Mittelmeer (Weidemann)

von Veröffentlichungen vor. So befaßt sich z. B. Zenk (1971) mit dem über die Gibraltar-Schwelle in den Atlantik einströmenden Mittelmeerwasser, insbesondere mit dessen Veränderlichkeit. Er fand, daß das Mittelmeerwasser, dessen Ausstromgeschwindigkeit bis 100 cm/sec betragen kann, sofort nach dem Überströmen der Gibraltar-Schwelle auf den Boden absinkt, dort in seiner Strömung durch die Bodentopographie gelenkt wird und deutliche Erosionsspuren hinterläßt. In etwa 1000 m Tiefe hebt es vom Boden ab und breitet sich unter ständiger Vermischung weiter im Nordatlantik aus. Dabei lehnt es sich an den europäischen Kontinentalrand an. Am Kap S. Vicente, also auf der rechten Seite der Stromrichtung ist die Mächtigkeit des Mittelmeerwassers am größten, es biegt dort nach Norden ab und zwingt sich durch die enge Stelle zwischen dem Kap und der Gettysburg-Bank hindurch.

Die Temperaturverteilung im Ausstrombereich des Mittelmeerwassers zeigte eine überaus komplizierte Feinstruktur und sehr häufig zwei

Hauptmaxima (wie das in den Indischen Ozean einströmende Rote-Meer-Wasser). An der Untergrenze des ausströmenden Mittelmeeres wurden auffällige treppenförmige Strukturen in der Temperatur- und Salzgehaltsverteilung festgestellt, die auf scharf begrenzte dünne Wasserschichten hinweisen und durch die sog. „Salzfingerbildung“ erklärt werden, einem molekularen Austauschvorgang zwischen zwei an sich dichte-gleichen Wasserschichten, warmem, salzreichen Mittelmeerwasser und kaltem, salzarmen Atlantikwasser. Hierbei spielt die Tatsache eine Rolle, daß der molekulare Wärmeleitungskoeffizient 100mal so groß ist wie der molekulare Diffusionskoeffizient für den Salzgehalt.

Bei einer Wiederholung dieser Messungen während der 23. „Meteor“-Fahrt im Jahre 1971 wurden diese Treppenstrukturen allerdings nicht gefunden, so daß sie offenbar keine ständige Erscheinung darstellen.

Aus dem chemischen Bereich sollten hier die festgestellten Charakteristika der Bodenwasserschicht erwähnt werden. Gieskes (1970) berichtet, daß der pH-Wert und die spezifische Alkalinität bei Annäherung an den Meeresboden im untersten Meter stark zunehmen, während der Sauerstoffgehalt abnimmt. Er führt dies zurück auf Calciumkarbonatauflösung von Sedimenten und gleichzeitigem Sauerstoffverbrauch durch Tiere und organische Substanz. Ähnliche Ergebnisse, u. a. auch für Silikat und Phosphat, hatte Weichart (1966) schon während der „Meteor“-Fahrt Nr. 3 im Iberischen Tiefseebecken erhalten. Die Kenntnis dieser Erscheinung ist wichtig für die Abschätzung des Vertikaltransports von Substanzen, die vom Menschen am Tiefseeboden gelagert werden.

Bei der Untersuchung der Großen Meteor-Bank stand die Frage im Vordergrund, wieweit speziell an die Kuppe gebundene, stationäre Erscheinungen im Schichtungs- und Zirkulationsfeld auftreten und durch welche Vorgänge sie zu erklären sind. Hierzu haben Horn, Hussels und Meincke (1971) kürzlich Beiträge vorgelegt. Horn (1971) untersuchte die Temperaturfluktuationen auf ihre Periodizitäten, während Hussels (1971) sich um die Bestimmung der Vertikalgeschwindigkeit bemühte. Meincke (1971), der sich wegen der räumlichen Meßwertdichte auf die Deckschicht von 0—300 m Tiefe, also bis zum Plateau der Kuppe beschränkte, konnte eine Aufwölbung des Massenfeldes über der Kuppe zwischen 150 und 270 m Tiefe nachweisen (Abb. 13). Einzelne Isothermen fand er etwa um 100 m angehoben, was deutlich über den möglichen zeitlichen Verlagerungen von 50 m liegt. Über dem Kuppen-

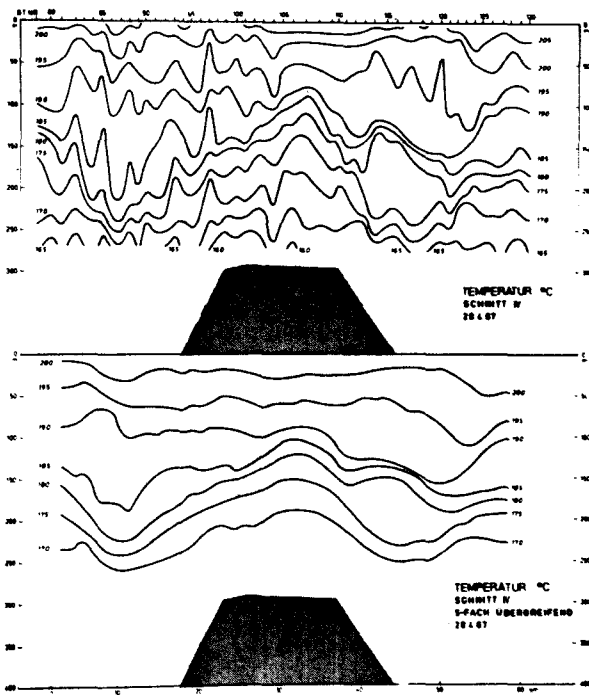


Abb. 13: Temperaturverteilung auf einem Nord-Süd-Schnitt über die Große Meteor-Bank nach Bathythermographenmessungen. „Meteor“-Fahrt Nr. 9, Ostatlantik (Meincke, 1971)

plateau ergab sich in Bodennähe eine isobathenparallele Reststromkonfiguration in antizyklonischem Sinn mit Geschwindigkeiten von etwa 3 cm/sec, die nach oben hin abnahm. In Nähe der Meeresoberfläche wurde die Strömung hauptsächlich durch den Wind bedingt (~ 6 cm/sec). Die zeitliche Veränderlichkeit von Strom- und Dichtefeld wurde überwiegend von Schwankungen mit Gezeitenperioden zwischen 25.8 und 4.1 Stunden beherrscht. Die Frage nach den Energiequellen des über der Meteor-Bank kreisenden antizyklonalen Wirbels beantwortet Meincke mit dem Hinweis auf den Effekt der erzwungenen Durchmischung aufgrund der Gezeitenstromscherung über der Kuppe und einer entsprechenden Abschätzung. Danach würde bereits die vertikale Scherung des mittleren halbtägigen Gezeitenstromes, dessen Amplitude über der Kuppe gegenüber der Tiefsee um den Faktor 4 verstärkt gefunden wurde, ausreichen, um zur Springzeit turbulente Durchmischung der

Schicht zwischen 180 m Tiefe und dem Kuppenplateau zu ermöglichen. Ein quantitativer Nachweis für diesen Gewinn an potentieller Energie aufgrund von turbulenter Vermischung und den Verlust an kinetischer Energie durch Reibung konnte mangels geeigneter Messungen noch nicht geführt werden. Hier ergeben sich Aufgaben für spätere Expeditionen. Man könnte diese Schilderung physikalischer und chemischer Forschungsergebnisse noch beliebig fortsetzen, doch möchte ich diese Rückschau hier beenden, zumal die Ergebnisse späterer Expeditionen kaum durch Veröffentlichungen belegt sind. Ich muß es mir insbesondere versagen, auf die Auftriebswasseruntersuchungen vor Westafrika während der Fahrten Nr. 13 und 19 einzugehen, die bereits interessante Ergebnisse erkennen lassen, wie z. B. aus einer Arbeit von Weichart (1970) über die kontinuierliche Erfassung von Temperatur und Phosphatkonzentration im Oberflächenwasser des nordwestafrikanischen Auftriebswassergebiets hervorgeht. Ich will auch die begonnene Untersuchung des Überströmens kalten Bodenwassers über den Island-Färöer-Rücken durch das Deutsche Hydrographische Institut wie auch dessen wiederholte Messungen in der Iberischen Tiefsee-Ebene nicht besprechen. Und schließlich kann ich auch nichts sagen über die neuen Untersuchungen der Feinstruktur im Einflußbereich des ausströmenden Mittelmeerwassers, die das Institut für Meereskunde, Kiel, im Frühsommer 1971 vorgenommen hat.

Ich habe aber fast alle physikalischen und chemischen Themen der „Meteor“-Fahrten wenigstens erwähnt, um deutlich zu machen, wie breit das Spektrum dieser Aktivitäten in den ersten 7 Jahren des Einsatzes dieses Schiffes gewesen ist.

6. FOLGERUNGEN

Es erhebt sich nun die Frage: Welche Folgerungen sollen wir aus unseren Erfahrungen ziehen? Sollen wir weiter in dieser Vielfalt meeresphysikalisch und meereschemisch forschen und dabei vorzugsweise Einzelprobleme angehen, oder sollen wir eine stärkere Konzentration anstreben, eine Beschränkung auf die wesentlichsten Aufgaben, die dann aber mit stärkerer Intensität und mit größerem Einsatz verfolgt werden können?

Ich meine, daß bezüglich des Einsatzes von „Meteor“ die Ziele der Meeresphysik und Meereschemie ziemlich klar sind. Die Klärung der Veränderlichkeit im Ozean ist die dringendste wissenschaftliche Aufgabe

in diesem Bereich. Ihre Lösung ist die notwendige Voraussetzung für die Einrichtung eines ozeanischen Meßnetzes für die Überwachung der physikalischen und chemischen Vorgänge und ihrer Veränderungen durch menschliche Einwirkung im Meer. Auf diese Aufgabe sollten wir unsere Kräfte konzentrieren. Das Kieler Institut für Meereskunde hat solche Arbeiten bereits begonnen, das Deutsche Hydrographische Institut muß zwar in erster Linie seine amtlichen Aufgaben wahrnehmen, wird aber wie bisher im Rahmen seiner Möglichkeiten an solchen Forschungen mitwirken. In diesem Zusammenhang sollten wir prüfen, ob wir uns an dem US-Projekt MODE (Mid-Ocean-Dynamical-Experiment), das die Bewegungen mittlerer Größenordnung im Ozean klären soll, beteiligen wollen und können.

Gewisse geographische Beschränkungen sind allerdings unvermeidbar. Es wäre unrealistisch, an Forschungen im Pazifik teilzunehmen, solange noch dringende Arbeiten in unserem engeren Bereich auf Erledigung warten.

Wir sollten auch bei meeresphysikalischen und meereschemischen Untersuchungen die Strahlung und die atmosphärischen Grenzbedingungen von vornherein besser und vollständiger erfassen, als wir es heute tun.

Und schließlich sollten wir uns noch stärker als bisher der Mitarbeit der Theoretiker versichern. Nicht erst wenn es an die Auswertung von Messungen geht, sollten wir sie um Unterstützung bitten, sondern bereits bei der Planung von Unternehmungen sollten wir ihr Interesse und ihre aktive Mitarbeit herbeiführen, denn nicht selten wird eine theoretische Durchleuchtung oder auch eine hydrodynamisch-numerische Durchrechnung eines Problem es dem messenden Wissenschaftler ermöglichen, seine Fragen an die Natur zweckmäßiger zu stellen, als es ohne solche Vorarbeit geschehen kann. Die Untersuchung des Seegangswachstums und des Zerfalls der Meereswellen in der Nordsee vor Sylt ist ein gutes Beispiel dafür.

Es ist gelegentlich die Frage gestellt worden, ob für die Zwecke der neuzeitlichen Ozeanographie ein verhältnismäßig großes, für alle maritimen Disziplinen verwendbares Forschungsschiff, wie „Meteor“ es ist, weiterhin als ein notwendiges Instrument der Meeresforschung anzusehen sei.

Die Frage bezüglich der Größe muß bereits wegen der erforderlichen Seetüchtigkeit und Verwendungsfähigkeit in Schlechtwettergebieten beantwortet werden. Darüberhinaus aber zeichnet sich deutlich ab, daß die

physikalische und chemische Meeresforschung in immer stärkerem Maße automatische Meßgeräte benötigt, die lange Zeit ohne Wartung unter allen Naturbedingungen einsetzbar sein müssen. Solche Geräte sind groß, schwer, dabei aber kompliziert und empfindlich; für ihren Transport, ihre Auslegung und Wiederaufnahme benötigen wir entsprechend große Schiffe.

Ein anderes Problem ist die Konstruktion und Ausrüstung solch großer Forschungsschiffe, insbesondere ist zu klären, ob sie wie „Meteor“ für alle maritimen Disziplinen einsatzfähig sein sollen, was nur durch Kompromißlösungen erreichbar ist. Die bisherige Erfahrung scheint zu lehren, daß — vom Forschungsbetrieb an Bord her gesehen — einer weitgehenden Spezialisierung auf eine oder mehrere der maritimen Disziplinen der Vorzug zu geben ist, wenngleich anerkannt werden muß, daß der durch das Vielzweck-Schiff herbeigeführte enge Kontakt zwischen Vertretern der verschiedenen maritimen Disziplinen während einer Forschungsfahrt häufig wertvolle Anregungen und technische Hilfe für alle Beteiligten erbringt. Andererseits ist es offenbar möglich, ein Forschungsschiff durch Ausstattung mit „Container-Labors“, die leicht ausgewechselt werden können, jeweils den technischen Erfordernissen einer speziellen Unternehmung anzupassen. Die endgültige Lösung wird vielleicht in einer zweckmäßigen Kombination dieser Möglichkeiten entsprechend den Einsatzgebieten des Forschungsschiffes bestehen.

Ich glaube, dieser Rückblick auf die physikalischen und chemischen Arbeiten des Forschungsschiffes „Meteor“ hat deutlich werden lassen, in welcher starkem Maße diese Unternehmungen beeinflußt und geprägt wurden durch die Persönlichkeit, zu deren Ehren wir uns heute hier versammelt haben.

Lieber Herr Dietrich, Ihre wissenschaftliche Leistung, Ihre Veröffentlichungen und insbesondere Ihr Buch über die Meereskunde haben Ihren Namen weltweit bekannt gemacht; Ihre jahrzehntelange Arbeit hat große internationale Anerkennung gefunden. Sie haben an vielen Fahrten der alten „Meteor“ teilgenommen und waren einer der Initiatoren beim Bau des neuen deutschen Forschungsschiffes „Meteor“; Sie haben dessen Konstruktion und Ausrüstung wie auch dessen Einsatz maßgeblich gesteuert. Sie haben durch Heranbildung einer Schule von tüchtigen jungen Ozeanographen dafür gesorgt, daß „Meteor“ auch im wissenschaftlichen Bereich adäquat bemannt werden kann. Durch alles dies haben Sie nicht

nur den Ruf des Kieler Instituts für Meereskunde im In- und Ausland gefördert und gefestigt, sondern der deutschen Ozeanographie wieder zu weltweitem Ansehen verholfen. Hierfür danken wir Ihnen besonders am heutigen Tage und geben mit unseren Glückwünschen zugleich der Hoffnung Ausdruck, daß Sie noch lange zum Wohle der deutschen und internationalen Meereskunde wirken mögen.

LITERATUR

Es wird auf die „Meteor“-Forschungsergebnisse, Reihe A, 1966 ff. verwiesen. Inhaltsverzeichnis s. Anhang dieses Heftes.

Schmitz, H. P. (1964) Modellrechnungen zu winderzeugten Bewegungen in einem Meer mit Sprungschicht. Numerische Beiträge zur Meteor-Hydrographie I. Dt. hydrogr. Z. 17, 202—232.

Tomczak, G. (1968) Die Wassermassenverteilung und Strömungsverhältnisse am Westausgang des Skagerraks während der Internationalen Skagerrak-Expedition im Sommer 1966. Dt. hydrogr. Z. 21, 97—105.

Tomczak, G. (1969) Die thermischen Verhältnisse der oberen Wasserschichten des Skagerraks im Sommer 1966 auf Grund von „Delphin“-Messungen. Dt. hydrogr. Z. 22, 209—212.

Weichart, G. (1966) Berechnung der Vertikaldiffusion von natürlichen Stoffen und Abfallstoffen in der Iberischen Tiefsee-Ebene aus der vertikalen Konzentrationsverteilung der natürlichen Stoffe über dem Meeresboden. Dt. hydrogr. Z. 19, 266—284.

Weichart, G. (1970) Kontinuierliche Registrierung der Temperatur und der Phosphat-Konzentration im Oberflächenwasser des nordwestafrikanischen Auftriebswasser-Gebietes. Dt. hydrogr. Z. 23, 49—60.

Bei den bisherigen 25 „Meteor“-Fahrten standen nur in zwei Fällen meteorologische Forschungsvorhaben im Mittelpunkt des Expeditionsprogramms:

Bei der Atlantischen Expedition 1965 (IQSY), (2. Fahrt 10. 8. bis 16. 12. 1965) und bei der Atlantischen Expedition 1969 (GARP) mit dem Atlantischen Passat Experiment „APEX“, (16. Fahrt 14. 1. bis 9. 5. 1969). Meteorologische Teilprogramme wurden ferner während der Indischen Ozean Expedition, (1. Fahrt 29. 10. 1964 bis 18. 5. 1965) durchgeführt. Auf weiteren Fahrten, insbesondere im Rahmen der DHI-Expeditionen wurden aerologische und luftchemische Messungen gewonnen.

Bei den meteorologischen Forschungsprogrammen der „Meteor“-Expeditionen standen folgende Themenkreise im Vordergrund:

- 1) Der Energiehaushalt des Systems Ozean-Atmosphäre,
- 2) Die großräumige atmosphärische Zirkulation,
- 3) Der Massenaustausch Ozean-Atmosphäre im Rahmen luftchemischer Fragestellungen,
- 4) Luftelektrizität und atmosphärisches Aerosol,
- 5) Aeronomische Probleme (Ionosphäre und Ultrastrahlung).

Aus der Vielzahl der vorliegenden Darstellungen seien im folgenden einige Ergebnisse erwähnt, die Anlaß geben zu einem Blick in die zukünftigen Notwendigkeiten maritim-meteorologischer Forschung mit der „Meteor“.

1. DER ENERGIEHAUSHALT DES SYSTEMS OZEAN-ATMOSPHERE UND SEINE PARAMETRISIERUNG

Forschungen über Strahlungsflüsse im System Ozean-Atmosphäre, Übergang von latenter Energie (maritime Verdunstung) und fühlbarer Wärme und der vertikale Impulsfluß (Windreibung an der Meeresoberfläche) sind unentbehrlich für das Verständnis der atmosphärischen Zirkulation, insbesondere aber auch für die Erfassung der vielgestaltigen Wechselwirkungen zwischen dem Ozean und der Atmosphäre.

Deshalb bildete die Erforschung dieser Größen eine wesentliche Komponente der bisherigen „Meteor“-Expeditionen mit meteorologischem Schwerpunkt und wird sicherlich auch in Zukunft in unserem Blickfeld bleiben. In Abb. 14 (Brocks, 1967) ist ein schematischer Überblick über

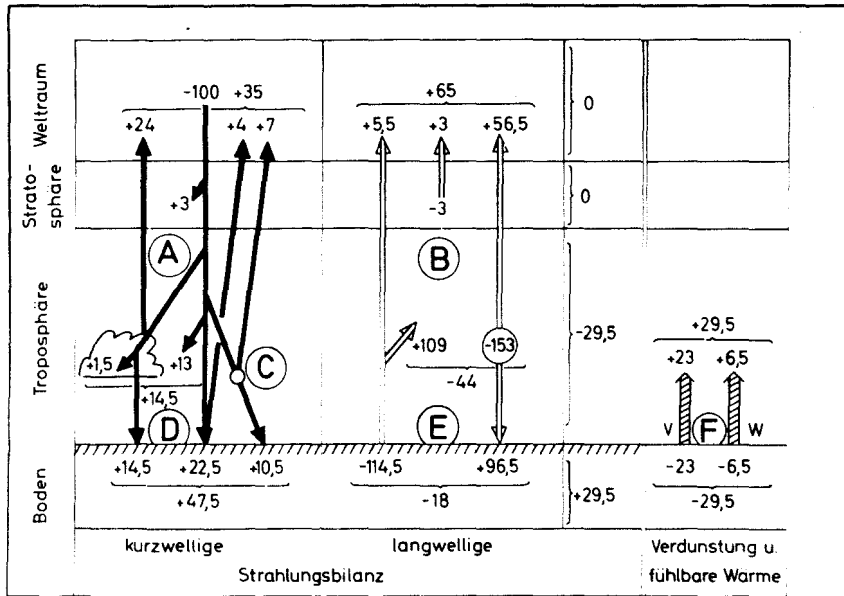


Abb. 14: Strahlungs- und Wärmehaushalt des Systems Ozeanoberfläche-Atmosphäre mit Expeditionsprogrammen (A — F). (Brocks, 1967)

den Energiehaushalt des Systems Ozean-Atmosphäre gegeben (Einheit ist ein Hundertstel der Solarkonstante, d. h. ca. $0.02 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$), und es sind durch Buchstaben unterschiedliche Programme gekennzeichnet, die auf den bisherigen „Meteor“-Fahrten durchgeführt wurden. Die sichtbaren (A, C, D) und infraroten (B und E) Strahlungsströme wurden bis in große Höhen durch Radiosondenaufstiege (z. B. Fimpel et al. 1968) erfaßt (während APEX gleichzeitig von drei Schiffen aus im Dreiecksverband mit jeweils 750 km Entfernung) bzw. durch Registrierungen an Bord der Forschungsschiffe oder an Bojen (z. B. Hinzpeter, 1967), (Quenzel, 1967) und z. T. mit den Ergebnissen von gleichzeitigen Satellitenmessungen verglichen (Fimpel, 1972).

Für den Energie- und Wasserhaushalt der Erde spielt der Wärmeüber-

gang Ozean-Atmosphäre (F, W in Abb. 14) und die maritime Verdunstung (F, V) eine ausschlaggebende Rolle, für Seegang und Meeresströmungen ferner der vertikale Impulstransport Ozean-Atmosphäre (Windreibung). Da die direkte Bestimmung dieser Vertikalflüsse von Energie und Impuls durch Turbulenzmessungen oder durch Erfassung der Profile von Temperatur, Feuchte und Windgeschwindigkeit unmittelbar über See auf große experimentelle Schwierigkeiten stößt, ist es eine besonders aktuelle Aufgabe der maritimen Meteorologie, Methoden zu entwickeln, mit deren Hilfe man diese Größen aus einfachen meteorologischen Parametern bestimmen kann, sei es aus Schiffs-, Bojen- und Satellitenmessungen oder durch Wetterkarten. Diese Methode der „Parametrisierung“ könnte die weltweiten Beobachtungen dieser meteorologischen Elemente für numerische Berechnungen der atmosphärischen Prozesse nutzbar machen.

Auf den „Meteor“-Expeditionen nahm diese Aufgabe deshalb einen wesentlichen Teil der meteorologischen Forschungsprogramme in Anspruch. In diesem Rahmen wurden stabilisierte Meßbojen mit komplizierten Turbulenz- und Profilapparaturen zum ersten Mal auch auf hoher See erfolgreich erprobt und wesentliche Fortschritte für die Lösung des Parametrisierungsproblems erzielt. Gleichzeitig wurden so Einblicke in die Größe und die Variationen der Energie- und Impulsflüsse im ozeanischen Tropenbereich gewonnen. Abb. 15 zeigt ein Beispiel aus diesem Problemkreis. In der Ordinate ist der direkt gemessene vertikale Wärmestrom zwischen Ozean und Atmosphäre angegeben (positives Vorzeichen bedeutet Erwärmung der Atmosphäre durch den Ozean, negatives Abkühlung), in der Abszisse (als Parametrisierungsgröße) das Produkt der Windgeschwindigkeit mit der Differenz Luft — minus Wassertemperatur, bezogen jeweils auf 10 m Höhe, d. h. Parameter, die an Bord des Forschungsschiffes mit einfachen Methoden abgeleitet werden konnten. Die Abbildung macht deutlich, daß die Parametrisierung möglich ist und die dafür benötigten Koeffizienten auf diese Weise abgeleitet werden können. Bemerkenswert ist dabei die gute Übereinstimmung der Ergebnisse sehr unterschiedlicher Methoden zur Bestimmung des Wärmestroms. Die durch Halbkreise gekennzeichneten Messungen wurden während „APEX“ im Bereich des Atlantischen Nordostpassats mit Hilfe einer Fallsonde von der „Planet“ aus gewonnen, die eine Bestimmung der Temperaturverteilung im untersten Millimeter über

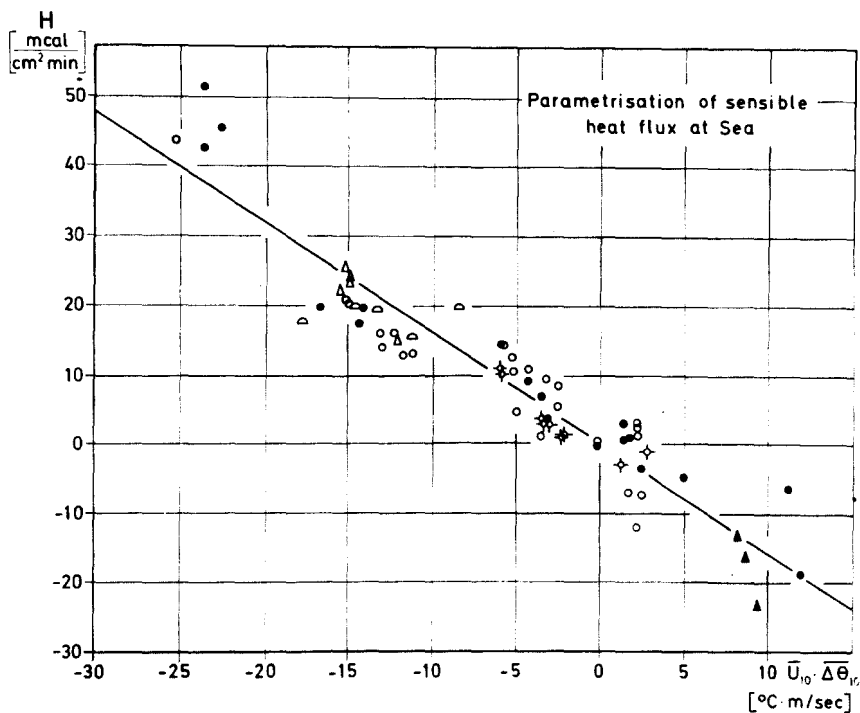


Abb. 15: Der Wärmeübergang Ozean-Atmosphäre (H) als Funktion des Produktes Windgeschwindigkeit (u_{10}) mal Differenz Lufttemperatur minus Wassertemperatur $\Delta\Theta_{10}$. (Brocks, 1970)

den Wellen gestattet (Claus et al. 1970). Die anderen Symbole zeigen Messungen der atmosphärischen Turbulenzstruktur über See an einer stabilisierten Boje (Brocks, 1970).

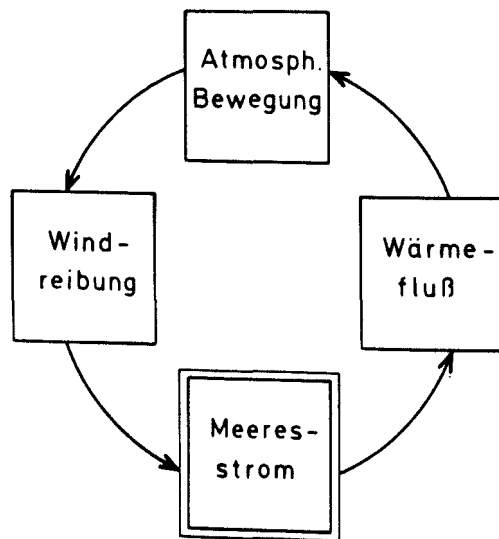
Analoge Beziehungen ergaben sich für die maritime Verdunstung und die Windreibung (z. B. Hoerber, 1969). Die Weiterentwicklung dieser Parametrisierungsverfahren und ihre Verwendung in unterschiedlichen Seegebieten, möglichst synoptisch im Bereich eines Verbandes mehrerer Schiffe, ist eine wesentliche maritim-meteorologische Forschungsaufgabe der Zukunft, um die atmosphärisch-ozeanischen Wechselwirkungen und ihre Variationen angeben zu können.

Die Bedeutung einer solchen großräumigen Bestimmung der Vertikalflüsse von Energie und Impuls für die Lösung wesentlicher Probleme, auch der dynamischen Ozeanographie, hat schon vor einem Jahrzehnt P. Welander deutlich gemacht, als er schrieb:

”The importance of these processes (the mechanical-thermodynamic transfer processes at the sea surface, der Autor) in determining the physical state and the dynamics of the oceans is obvious. In fact one can show, by the use of the basic laws of mechanics and thermodynamics, that for an ocean of given dimensions and of a given chemical composition the distribution of temperature and salinity as well as the motion of the water in the entire ocean is determined by the knowledge of the following boundary quantities:

- (a) the pressure and wind stress acting on the surface,
- (b) the net heat flux through the surface layer,
- (c) the net water flux through the surface layer (due to evaporation precipitation, freezing, melting, and river supply).“

Die enge Koppelung dieser Wechselwirkungsprozesse im Rahmen großräumiger atmosphärisch-ozeanischer Vorgänge machte Welander durch das in Abb. 16 gegebene einfache Schema der atmosphärisch-ozeanischen Wechselwirkung klar, durch das der Übergang zu unserem nächsten Problemkreis, der atmosphärischen Zirkulation, hergestellt wird (Welander, 1961).



Rückkopplung Ozean-Atmosphäre

Abb. 16: Schema der gegenseitigen Beeinflussung Meeresströmung - atmosphärische Zirkulation, (Welander, 1961)

Die Breitenabhängigkeit der Strahlungsbilanz des Systems Erdoberfläche-Atmosphäre erzeugt einen meridionalen Temperaturgradienten, der die atmosphärische Zirkulation antreibt („atm. Bewegung“ im Diagramm). Durch Windreibung an der Meeresoberfläche entstehen so Meeresströmungen, die ihrerseits Energie transportieren und die Atmosphäre erwärmen. Dadurch wird der meridionale atmosphärische Temperaturgradient geschwächt. Das dämpft die atmosphärische Zirkulation und schließlich auch — über die verringerte Windreibung — die Meeresströmung, womit sich der Kreislauf der Wirkungen schließt.

In Zukunft sollte sich die Forschungsplanung noch stärker auf die Untersuchung der Koppelung ozeanischer und atmosphärischer Vorgänge konzentrieren. Dabei sollten Meteorologen und Ozeanographen eng zusammenarbeiten, wie es z. B. im Ansatz während der Untersuchung des atlantischen äquatorialen Unterstroms auf den äquatorialen Ankerstationen der „Meteor“ während der „IQSY“- und der „GARP“-Expedition versucht wurde, allerdings leider nur von einem Schiff aus und mit beschränkten Mitteln (Brocks, 1966 und 1972).

2. ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

Auf den drei großen „Meteor“-Expeditionen mit meteorologischen Programmen (Fahrt 1, 2 und 16) wurden auch wesentliche Beiträge zu Problemen der atmosphärischen Zirkulation geleistet. Auf der Indischen-Ozean-Expedition 1964/1965 geschah das im Rahmen einer Untersuchung des Nord-Ost-Monsuns im Arabischen Meer (Defant, 1969), (Behr & Defant, 1972), auf den beiden Atlantischen Expeditionen 1965 und 1969 im Zuge einer systematischen Erforschung des atlantischen Nordost- und Südost-Passats (Brocks, 1970 und 1972), anknüpfend an die Tradition der Atlantischen Expedition der alten „Meteor“ in den Jahren 1925—1927. Dabei gelang es, den experimentellen Aufwand von Expedition zu Expedition zu steigern und sich so immer besser den oben aufgestellten Forderungen für eine moderne maritim-meteorologische Forschung anzunähern. Während bei der Monsun-Untersuchung sich die Beteiligung noch — aus Platzmangel — auf ein einzelnes Institut mit zwei Programmen beschränkte, konnte schon auf der nächsten Fahrt die Beteiligung zahlreicher westdeutscher meteorologischer Forschungsinstitutionen mit einem sehr vielseitigen Gemeinschaftsprogramm (Brocks, 1967) erreicht werden. Die dabei erzielten Ergebnisse führten dazu, daß

die deutsche Anregung zu einem Nordatlantischen Passatexperiment internationalen Anklang fand und als „Atlantisches Passat Experiment APEX“ im Februar 1969 von drei Nationen mit vier Schiffen durchgeführt wurde. Abb. 17 zeigt das Netzwerk der Fahrtrouten, die dabei von der „Discoverer“ (USA), „Hydra“ (UK), „Meteor“ und „Planet“ (beide Bundesrepublik Deutschland) abgelaufen wurden.

Von den umfangreichen Ergebnissen dieser ersten international koordinierten Passatunternehmung seien hier zwei erwähnt.

Im Passatsystem werden große Mengen latenter und sensibler Energie unterhalb der Passatinversion in Richtung Äquator transportiert, um dann im Konvergenzgebiet der Passate („Intertropische Konvergenzzone“, ITCZ) in gewaltigen Cumulonimben durch Kondensation in größerer Höhe freizuwerden und damit dem System der atmosphärischen Zirkulation antreibend zur Verfügung zu stehen. Der Passat nimmt sie in seiner untersten Schicht durch maritime Verdunstung und Wärmeübergang vom Ozean auf. Dieser Prozeß ist Variationen unterworfen, die ihrerseits wieder durch noch ungeklärte großräumige ozeanisch-atmosphärische Prozesse verursacht werden.

Abb. 18 zeigt die Schwankungen der Verdunstung, des Wärmeüberganges und des Impulsflusses, die im Bereich von APEX während der Zeitspanne 6. bis 21. Februar 1969 gemessen wurden. Dabei bezieht sich dieses Diagramm auf die mittleren Werte dieser Größen, gemittelt aus den Messungen an Bord der „Discoverer“, der „Planet“ und der „Meteor“, die während der Messungen — in einem Dreieck mit 750 km Seitenlänge formiert — in Richtung der Amazonas-mündung drifteten. Die Vertikalflüsse wurden mit Hilfe der oben skizzierten Parametrisierung aus einfachen meteorologischen Messungen an Bord abgeleitet. Gleichzeitig liegen — als Teil des Parametrisierungsprogramms — direkt gemessene Werte dieser Größen vor.

Ähnlich wie auf der äquatorialen Ankerstation der „Meteor“, September bis Oktober 1965, im Südost-Passat (Hoerber, 1969) werden wieder starke Schwankungen beobachtet, deren Ursache sich in der Abb. 19 andeutet. In ihr ist die tägliche Wetterkarte des Atlantik zwischen 5° S und 35° N während der ersten Woche von APEX (7. bis 14. 2. 1969) angegeben, mit Isobaren, Fronten und dem, gleichzeitig von Satelliten aus fotografierten, Bild der Bewölkung der Intertropischen Konvergenzzone (dunkel schraffiert). Gleichzeitig ist die jeweilige Mittagssposition des

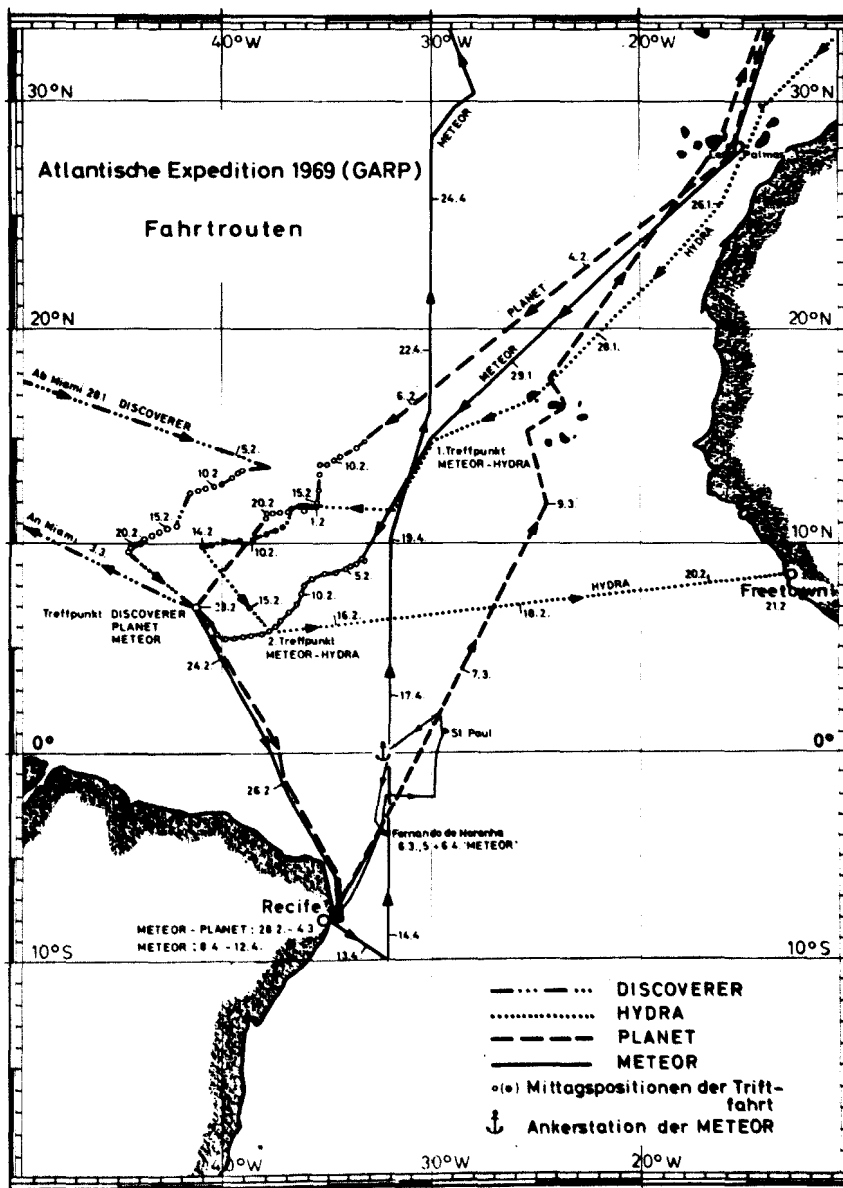


Abb. 17: Atlantische Expedition 1969 (GARP) mit dem Atlantischen Passatexperiment APEX, Fahrtrouten der Forschungsschiffe „Discoverer“ (USA), „Hydra“ (UK), „Planet“ (BRD). Brocks et al. 1972

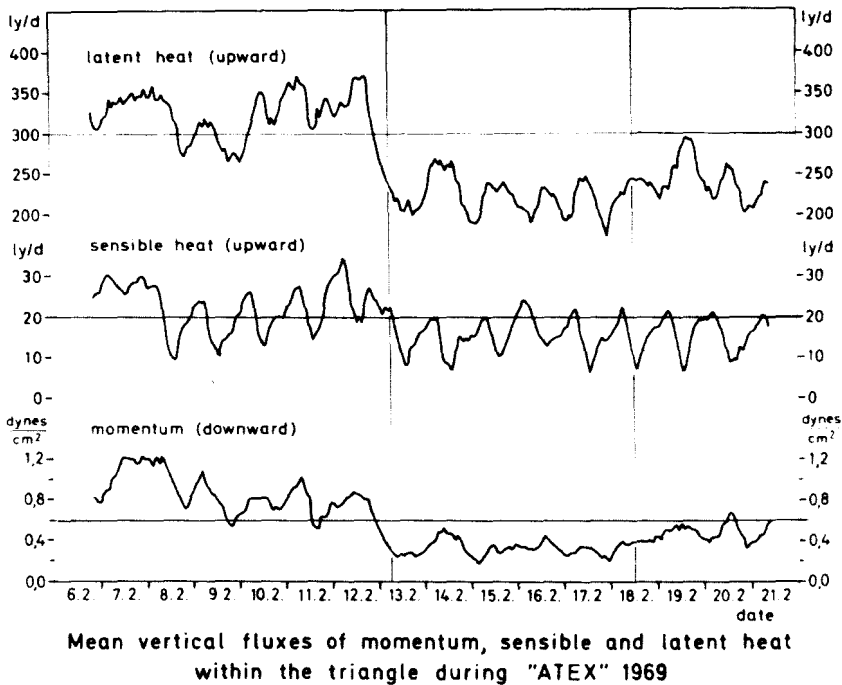


Abb. 18: Verdunstung, Wärmeaustausch und Windreibung, gemittelt über die Ecken des APEX-Dreiecks (Atlantisches Passatexperiment 1969), abgeleitet nach der Parametrisierungsmethode aus den meteorologischen Messungen an Bord von „Discoverer“, „Planet“ und „Meteor“, 6. bis 21. Februar 1969, Lage des Dreiecks siehe Abb. 6. (Brocks et al., 1970)

APEX-Dreiecks eingezeichnet („Meteor“ bildet die Süd-, „Discoverer“ die Nordwest-, „Planet“ die Nordost-Ecke des Dreiecks). Man erkennt, wie das Dreieck im Laufe der Woche in eine Zone geringerer Luftdruckunterschiede und damit auch geringerer Windgeschwindigkeiten hineindriftet, wodurch auch die atmosphärische Turbulenz, welche die Verdunstung trägt, abgeschwächt wird. Diese Verringerung der Luftdruckunterschiede aber wird gesteuert durch, aus den Abbildungen ablesbare, großräumige Änderungen der Weltwittersituation. Es ist anzunehmen, daß die — ebenfalls in Abb. 19 erkennbare — Variation der Cumulonimben in der Intertropischen Konvergenzzone mit diesen weiträumigen Wechselwirkungen der Mikro- und Makroskalen atmosphärischer Aktivität zusammenhängen. Während des — noch zu erwähnenden — großen internationalen meteorologischen Experiments südwestlich der Kap-

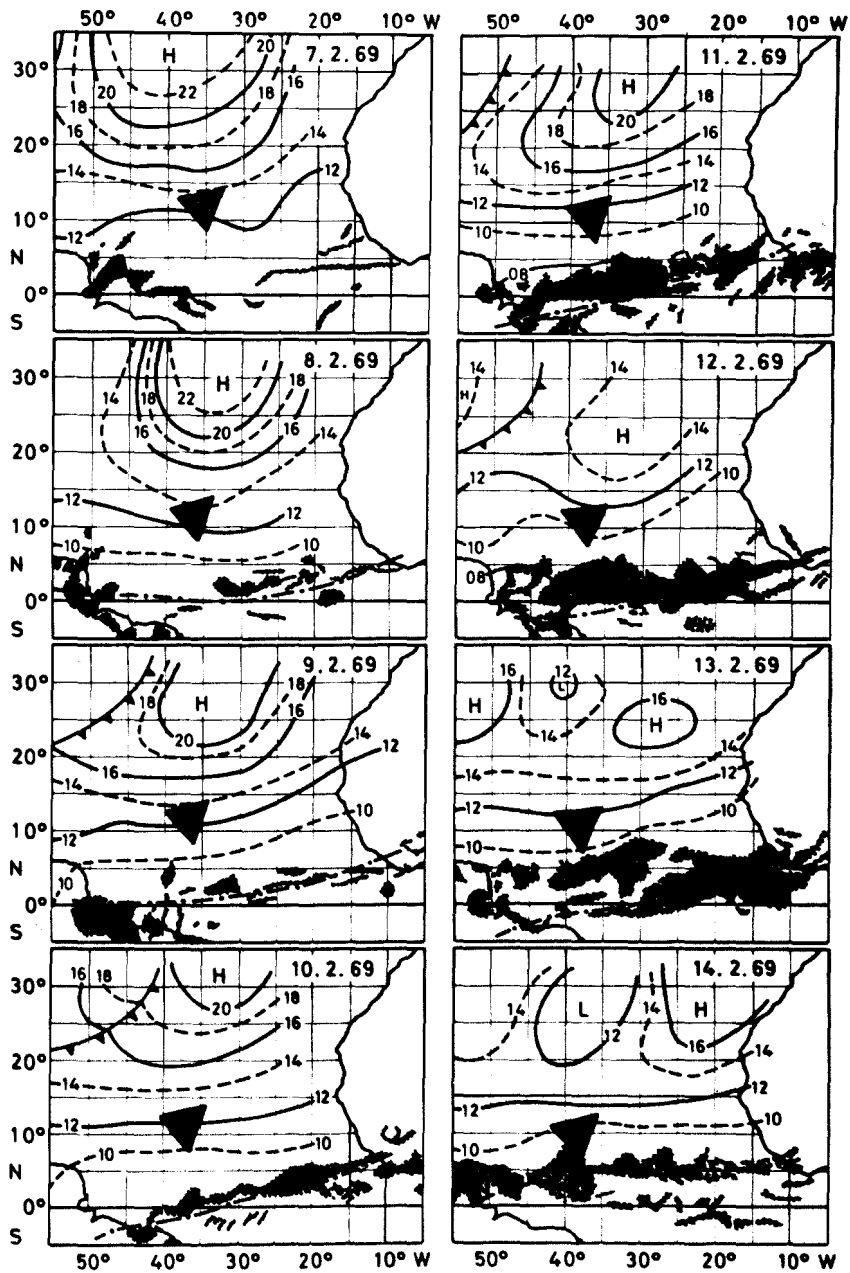
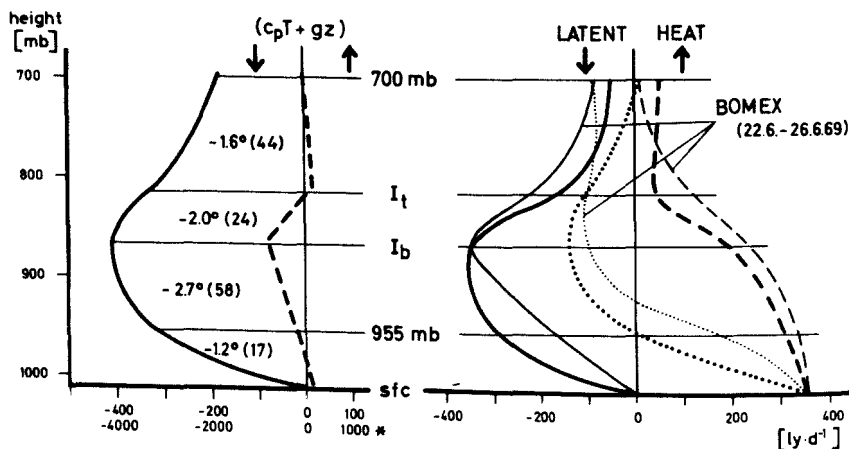


Abb. 19: Wettersituation, Satelliten-Wolkenfotographien der Äquatorialen Konvergenzzone (schraffiert) und Lage des APEX-Dreiecks während der ersten Woche des Atlantischen Passatexperiments APEX. (Brocks et al., 1970)

werden im Jahre 1974 sollen auch diese Beziehungen weiter untersucht werden.

Die erwähnte Anordnung der Forschungsschiffe für APEX wurde hauptsächlich deshalb gewählt, weil es so (mit den präzisen, stabilisierten Windwetterradars der „Discoverer“, „Planet“ und „Meteor“ und sensiblen Radiosonden im synchronen Einsatz) möglich wurde, die Massendivergenzen, Vertikalbewegungen und Energieflüsse in der Passatregion über dem Dreieck mit großer Genauigkeit abzuleiten. Dadurch konnte erstmals ein Einblick gewonnen werden in die komplizierten Kreisläufe und Transporte des Wasserdampfes und der Wärme im Passat (Augstein et al. 1971).

Eines der so abgeleiteten Ergebnisse zeigt die Abb. 20, und zwar als Mittelwerte über den Zeitabschnitt 6. bis 13. Februar 1969 (siehe Abb. 19).



VERTICAL FLUX OF SENSIBLE AND LATENT HEAT

6.2. - 13.2. ATEX 1969

- mean motion
- - - turbulent motion
- net flux
- * this scale indicates mean transport

Abb. 20: Aus Wind-Radarmessungen, Radiosondenaufstiegen und Bojenmessungen abgeleitete Vertikalflüsse von Enthalpie und Wasserdampf im APEX-Dreieck von der Ozeanoberfläche bis ca. 3000 m Höhe, gemittelt über die erste Woche des Atlantischen Passat-Experiments 1969. Im rechten Teil verglichen mit den entsprechenden Ergebnissen des Barbados Oceanographic and Meteorological Experiment BOMEX (vier Tage) im Mai bis Juli 1969. I_b , I_t Unter- und Obergrenze der Passatinversion. (Augstein et al., 1971)

Im linken Teil sind die Vertikaltransporte von Enthalpie und geopotentieller Energie zwischen der Wasseroberfläche und ca. 3000 m Höhe angegeben neben den Werten der Strahlungsabkühlung in vier Schichten. Dabei kennzeichnet I_b das Niveau der unteren, I_t der oberen Grenze der Passatinversion. Die ausgezogene Linie entspricht den Transporten durch die Absinkbewegung, die aus der großräumigen Divergenz im Passatbereich folgt. Die gestrichelte Linie gibt den Anteil der turbulenten Vertikalbewegungen an.

Im rechten Teil der Abbildung 20 ist das gleiche für den Wasserdampftransport aufgezeichnet (in Energieeinheiten ly pro Tag, d. h. $cal\ cm^{-2}d^{-1}$), die gepunktete Linie zeigt die Summe der Vertikaltransporte.

Das bemerkenswerteste Ergebnis dieser Untersuchung ist, daß die Passatinversion (eine Schicht mit starker vertikaler Temperaturzunahme und Wasserdampfabnahme, die das ganze Passatsystem charakterisiert und die schon auf der Atlantischen Expedition 1925—1927 intensiv untersucht wurde) keine Massengrenze ist, sondern vielmehr die Schicht mit maximalen Vertikaltransporten, wie aus Diagrammen der Vertikalbewegungen eindeutig hervorgeht. Aus Abb. 20 wird ferner deutlich, daß der an der Ozeanoberfläche verdunstete Wasserdampf zwar zu ca. 55 % durch Turbulenz in die Passatinversion transportiert wird, schließlich aber doch durch die großräumige Absinkbewegung gezwungen ist, im unteren Ast des Passatsystems zu verbleiben, wo er horizontal in die Intertropische Konvergenzzone transportiert wird. Die Passatinversion entsteht also immer wieder neu durch ein Zusammenwirken der divergenzbedingten Absinkbewegung mit der Cumuluskonvektion, die an der Wasseroberfläche angeregt wird.

Dieses Modell des Passats widerspricht den klassischen Vorstellungen und wurde bisher nur theoretisch erörtert. Hier wird es zum erstenmal quantitativ bestätigt.

Einige Monate nach der Beendigung von „APEX“ führten U.S.-amerikanische Forschungsinstitute im Bereich östlich der Caribischen See mit großem Aufwand, zahlreichen Schiffen und Flugzeugen, ein analoges Unternehmen durch, d. h. in einem Areal, in das der Nordostpassat einmündet. Ergebnisse von diesem „Barbados Oceanographic and Meteorological Experiment (BOMEX)“ sind (jeweils strichliert) in den rechten Teil der Abb. 20 mit aufgenommen worden. Sie wurden wie die APEX-Ergebnisse im Dezember 1971 auf dem Tropen-Meteorologischen Sympo-

sium in Barbados vorgetragen und bestätigt mit erstaunlicher Genauigkeit — trotz unterschiedlicher Bearbeitungsmethoden — den soeben skizzierten Befund.

Diese gute Übereinstimmung trotz äußerst subtiler, bis an die Grenzen der erforderlichen Genauigkeit gehenden, Meßverfahren ist außerordentlich ermutigend und trägt jetzt wesentlich bei zur Abstützung der neuesten internationalen Kooperation der Meteorologen, dem GARP („Global Atmospheric Research Programme“) mit seinem Atlantic Tropical Experiment „GATE“, das jetzt vorbereitet wird und vom Juni bis September 1974 im tropischen Nordost-Atlantik stattfinden soll als nächster Schritt im Erkenntnisprozeß.

Im Mittelpunkt dieser Großunternehmung, an der auch „Meteor“ (hoffentlich mit „Planet“) teilnehmen wird, soll insbesondere das Freiwerden der vom Passat herantransportierten Energie in den großen „Clustern“ (weiträumigen Zusammenballungen von Cumulonimben) der Intertropischen Konvergenzzone untersucht werden.

Die bisherigen „Meteor“-Expeditionen erweisen sich damit als Glieder einer Kette von maritim-meteorologischen Unternehmungen, deren Konzept und Ergebnisse einmünden in die großen internationalen Aktivitäten der Meteorologie in diesem Jahrzehnt.

3. MARINE LUFTCHEMIE

Die neue „Meteor“ hat insbesondere auch auf die Initiative deutscher Luftchemiker außerordentlich stimulierend gewirkt. Den ersten erfolgreichen luftchemischen Programmen auf der Atlantischen Expedition 1965 (z. B. Kühme 1968) folgte eine laufend zunehmende Aktivität im Bereich der marinen Luftchemie. Kaum eine „Meteor“-Fahrt wurde mehr durchgeführt ohne luftchemische Teilprogramme oder solche zur Untersuchung der Radioaktivität von Luft und Meerwasser.

Der vorläufige Höhepunkt wurde erreicht auf dem dritten Fahrtabschnitt der Atlantischen Expedition 1969, der im April-Mai als luftchemischer Meridionalschnitt von 10° S bis 60° N auf dem Meridian 30° W durchgeführt wurde und eine Fülle von Ergebnissen über die Spurengase in Atmosphäre und Meerwasser brachte. Das am meisten überraschende Resultat war die Entdeckung, daß der Nordatlantik eine kräftige CO-Quelle (Kohlenmonoxyd!) darstellt (Junge et al. 1971). Dieses Ergebnis wirft ein völlig neues Licht auf diese Komponente der

„Umweltverschmutzung“, die bisher allein vom Gesichtspunkt anthropogener Ursachen her beurteilt wurde.

Die deutsche Aktivität im Bereich der maritimen Luftchemie wird sich in Zukunft sicherlich noch verstärken, insbesondere auch von immer mehr in den Vordergrund rückenden Problemen der Umweltwissenschaften her gesehen. In diesem Rahmen muß auch die für Oktober — Dezember 1973 geplante „Meteor“-Expedition (atlantischer Breitenschnitt auf ca. 20° N) ein Beitrag zum internationalen Programm „Geosecs“, gesehen werden.

4. LUFTELEKTRIZITÄT

Auf einigen „Meteor“-Fahrten (insbesondere Fahrt 2 und 16) wurden umfangreiche Messungen verschiedener Komponenten der Lufterlektrizität durchgeführt, die zu wesentlichen Fortschritten unserer Kenntnisse vom lufterlektrischen Geschehen führten. Hier sei nur die Entdeckung des Elektrodeneffekts über dem Meer erwähnt, d. h. die Erhöhung der elektrischen Feldstärke mit Annäherung an die Wasseroberfläche auf den doppelten Wert. Durch die Kombination von Messungen der Feldstärke im Schlauchboot, fernab von der Störungszone der „Meteor“ mit lufterlektrischen Sonden am Fesselballon konnte die in der Abb. 21 wiedergegebene Höhenveränderlichkeit der Feldstärke in den untersten 100 m über See abgeleitet werden. Sie entspricht dem theoretisch vorausgesagten Wert, konnte aber auf See bisher nicht nachgewiesen werden (Mühleisen, 1969).

Verbunden mit dem weiteren Ergebnis sehr geringer Ionenzahlen über See, das gleichzeitig gewonnen wurde, ergibt sich ein neues Bild vom weltweiten lufterlektrischen Stromkreis. Die Kombination der Berücksichtigung des Elektrodeneffektes mit den geringen Zahlen von Kleinionen würde den bisher — nach den Ergebnissen der Carnegie-Expedition — für richtig angenommenen Wert des globalen lufterlektrischen Vertikalstroms (15 30 A) auf etwa die Hälfte verringern (665 A). Dieser Befund wird zur Zeit international intensiv diskutiert und wird sicherlich zu weiteren Aktivitäten in verschiedenen Seegebieten führen.

AUSBLICK, ZUKUNFTSFORDERUNGEN

In diesem kurzen Überblick konnten nur einige wenige meteorologische Ergebnisse der bisherigen „Meteor“-Fahrten gestreift werden. Es war nicht möglich, auf Strahlungsprobleme, Fragen des atmosphärischen

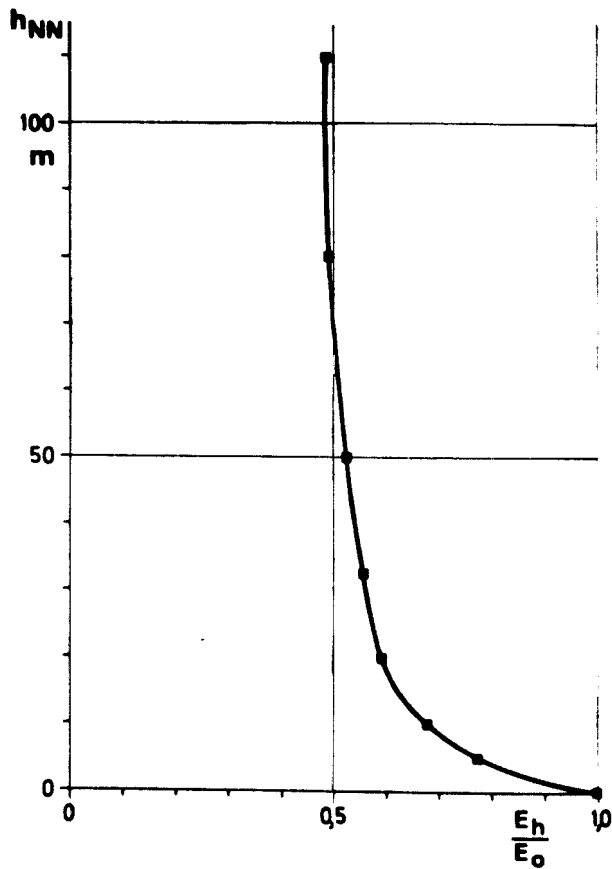


Abb. 21: Der Elektrodeneffekt des luftelektrischen Feldes über See, gemessen auf der äquatorialen Ankerstation der „Meteor“ im März 1969 auf ca. 30° W (Atlantische Expedition 1969, GARP), E_v , E_h Potentialgefälle an der Meeresoberfläche bzw. in der Höhe h . (Mühleisen, 1969)

Aerosols, auf die weiten Bereiche der Ionosphärenphysik und der Ultrastrahlung näher einzugehen, Teilgebiete des hier behandelten Fachbereichs, die ebenfalls mit großer Intensität erfolgreich bearbeitet wurden.

Aber trotz dieser Einschränkungen dürfte wohl der gewaltige Impuls deutlich geworden sein, den das Indienststellen der „Meteor“ auch der Meteorologie und der Aeronomie gegeben hat.

Einige der wesentlichen wissenschaftlichen Zukunftsprobleme, die auf uns zukommen, sind schon gestreift worden. Es sei noch erwähnt, welche

Voraussetzungen erfüllt sein müßten, damit sie mit Erfolg angepackt werden können.

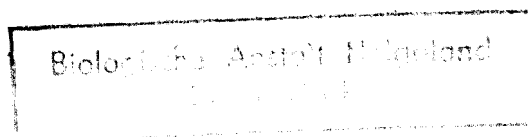
Als die „Meteor“ geplant wurde, traten gelegentlich Bedenken auf, ob sie wohl voll ausgelastet sein würde. Das Gegenteil ist eingetreten. Jeder Koordinator einer der 25 bisherigen Fahrten weiß ein Lied davon zu singen, wie schwer es ist, „Meteor“-Zeit für die Realisierung wissenschaftlicher Projekte zu bekommen, mögen sie noch so dringlich sein. Das wird in Zukunft noch viel schlimmer werden. Denn immer mehr muß das Schwergewicht künftig auf multilateralen Expeditionen liegen, die nur durch gleichzeitigen Einsatz mehrerer Schiffe durchgeführt werden können.

Neben der „Meteor“ gibt es noch andere, deutsche Forschungsschiffe. Für meteorologische Forschung besonders gut geeignet ist zum Beispiel die „Planet“. Es wurde schon erwähnt, daß sie auch bei einer der bisherigen meteorologischen Expeditionen mit großem Erfolg zum Einsatz kam.

Es muß deshalb sehr ernsthaft überlegt werden, wie das Potential deutscher Forschungsschiffe für die Grundlagenforschung erhöht werden kann durch Neubauten und durch Neuorganisation der Einsatzmöglichkeiten der vorhandenen Schiffe. Wenn hier nicht sehr bald eine grundsätzliche Änderung eintritt, wird die deutsche Meeresforschung trotz aller schönen Erfolge des letzten Jahrzehnts bald hoffnungslos ins Hintertreffen geraten, sehr zum Nachteil auch der angewandten Forschung.

Was wir brauchen, ist eine größere Anzahl hochseegehender Forschungsschiffe von der Größe der „Meteor“ oder „Planet“, die ohne Schwierigkeiten laufend zur Verfügung stehen für die Grundlagenforschung. Es besteht nicht die geringste Gefahr, daß eine solche Flotte nicht ununterbrochen voll ausgelastet sein könnte. Sie bedarf ferner dringlich der Ergänzung durch mindestens zwei Langstrecken-Forschungsflugzeuge.

Der gute Start der deutschen Meeresforschung seit der Indienststellung der „Meteor“ kann nur dann zum Wohle der Volkswirtschaft und des internationalen Ansehens der deutschen Wissenschaft erfolgreich weitergeführt werden, wenn diese Forderungen bald realisiert werden.



LITERATUR

Es wird auf die „Meteor“-Forschungsergebnisse, Reihe A, 1966 ff und Reihe B, 1967 ff. verwiesen. Inhaltsverzeichnis s. Anhang dieses Heftes.

Zusätzlich zitiert:

- Allkofer, O. C., R. D. Andresen, E. Bagge, W. D. Dau & H. Funk (1969): Cosmic rays latitude survey at solar minimum. — *Tellus* 21: 443—446.
- Augstein, E., F. Ostapoff, H. Riehl & V. Wagner (1971): Mass and Energy Transport in the Region of the Atlantic Trade Wind Inversion. — Vortrag, gehalten bei der „Seventh Techn. Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology“, Dezember 1971 in Barbados, W. I. (in Vorbereitung zur Veröffentlichung in *Monthly Weather Review*).
- Augstein, E. (1972): Untersuchungen zur Struktur und zum Energiehaushalt der Passatgrundschicht. — *Berichte des Instituts für Radiometeorologie und Maritime Meteorologie an der Universität Hamburg, Institut der Fraunhofer-Gesellschaft, Heft Nr. 19.*
- Brocks, K., E. Augstein & L. Krügermeyer (1970): Turbulent vertical fluxes in the planetary boundary layer and their relation to synoptic-scale processes during the Atlantic Trade Wind Experiment 1969 (Atex). — **Symp. on Trop. Met. 1970, Honolulu, Hawaii, USA, S. C. III 1—8.*
- Hoerber, H. (1966): Tagesgänge der Luft- und Wassertemperatur im äquatorialen Atlantik. — *Naturwiss.*, 53: 474—475.
- Jaenicke, R. (1970): Untersuchung von Geräten zur Messung der Größenverteilung großer Aerosolteilchen in antropogen nicht beeinflussten Atmosphären. — *Diss., Univ. Mainz.*
- (1971): Der Doppelstufenimpaktor, eine weitere Anwendung des Impaktorprinzips. — *Stab*, 31: 229—236.
- Mühleisen, R. P. (1969): Der Elektrodeneffekt beim luftelektrischen Feld über dem Meer. — *Meteorol. Rundsch.*, 22. Jg., 6, 1969: 175—177.
- (1969): New Results of Measurements of the Air-Earth Current over the Ocean and of Ionosphere Potentials. — *Survey Paper presented at the General Sc. Assembl. Iaspei-Iaga, Madrid, 1.—12. Sept. 1969.*
- (1971): New Determination of the Air-Earth Current over the Ocean and Measurements of Ionosphere Potentials. — *Pure and Appl. Geoph.*, 84, 1: 112—117.
- Ruprecht, E. & K. Bucher (1970): Examples of Organized Shower Structures in the Equatorial Atlantic. — **Symp. on Trop. Met. 1970, Honolulu, Hawaii, USA, S. DI 1—6.*
- Schütz, K., C. Junge, R. Beck & B. Albrecht (1970): Studies of Atmospheric N₂O. — *J. Geoph. Res.* 75: 2230—2246.
- Seiler, W. (1970): Entwicklung und Bau eines vollautomatischen CO-Registriergerätes im ppm-Bereich und Studien zur globalen Verteilung des Kohlenoxids in der Atmosphäre. — *Diss. Univ. Mainz.*
- Seiler, W. & C. Junge (1970): Carbon Monoxide in the Atmosphere. — *J. Geoph. Res.*, 75: 2217—2226.
- Welander, P. (1961): Coupling between Sea and Air. *Oceanography, Ed. M. Sears. IV Boundaries of The Sea: 401—410.*

* Proceedings

Für wissenschaftliche Arbeit Maßstäbe zu setzen ist schwer, insbesondere wenn sie sich eines so besonderen Werkzeuges bedient wie des Forschungsschiffes „Meteor“. Nicht nur Dimension, sondern auch Gewicht der Probleme sollten in diesem Fall kommensurabel mit Aufwand und Anstrengungen sein. Wie überall, so liegen auch in der großen Wissenschaft wichtige Alltagsfragen, die nicht vernachlässigt werden dürfen, auf der Hand. Davon heben sich brennende Probleme ab, deren Behandlung in besonderem Maße zur Weiterentwicklung eines Wissenszweiges beitragen kann. Wenn sie einen gewissen Reifezustand erreicht haben, werden solche Fragenkomplexe heutzutage vielfach Gegenstand internationaler Gemeinschaftsforschung.

Für die Geowissenschaften und damit auch für die Geophysik sind heute Themenkreise, die sich im Grunde genommen alle um die Frage der Wanderung der Kontinente auf der Erdoberfläche gruppieren, besonders wichtig, weil im Ablauf dieser Vorgänge das äußere Bild der Erde grundlegend auch heute noch geformt und verändert, der innere Bau von Kruste und Mantel der Erde teils kontinuierlich, teils periodisch neu strukturiert wird und letzten Endes auch der Kreislauf der für die Menschheit wichtigen Rohstoffe eine Steuerung erfährt. Der geophysikalischen Forschung zur See mit einem großen Forschungsschiff bietet sich damit unmittelbar verknüpftes Teilgeschehen in mancherlei Gestalt an.

1. Eine seit etwa 150 bis 200 Mill. Jahren vor sich gehende Öffnung der Ozeane.
2. Der Ablauf der Neubildung von ozeanischer Lithosphäre in einem weltumspannenden System von ozeanischen Rücken.
3. Die Formung der Ränder der Kontinente; denn sie sind meist die großen Bruchlinien, an denen das Auseinanderdriften der Erdteile einsetzt.

4. Das Versinken ozeanischer Kruste: Es ist eine relativ junge Erkenntnis, daß es große Bereiche gibt, in welchen ozeanische und kontinentale Erdkrusten übereinander hinweggleiten, so daß ozeanische Kruste bis in hunderte von Kilometern Tiefe wieder versinkt. Dabei werden Ränder von Kontinenten verformt (Erdbeben) und Gesteinsmassen umgeschmolzen (Vulkanismus).

5. Die Wechselbeziehungen zwischen ozeanischer und kontinentaler Lithosphäre: Es wird für möglich gehalten, aber auch immer wieder in Frage gestellt, daß kontinentale Kruste sich in Meeresboden verwandelt (Ozeanisierung) und ozeanische mit kontinentaler Kruste verwächst. Dabei spielt die Abtragung auf den Kontinenten und die Sedimentation im Meer eine große Rolle.

Der „International Council of Scientific Unions“ hat eine „Inter-Union Commission on Geodynamics“ 1970 ins Leben gerufen, die unter anderem die obengenannten Problemkreise in ihr Forschungsprogramm aufgenommen hat. In dem kurzen Überblick über die zurückliegenden geophysikalischen Arbeiten, für die „Meteor“ als Basis diente, kann gezeigt werden, daß sich die Tätigkeit deutscher Forschungsinstitutionen im Kreise aller dieser besonderen Problemstellungen schon seit längerer Zeit bewegt hat.

Im Rahmen der Forschungsfahrt in den Indischen Ozean waren im Bereich des Arabischen Meeres der Kontinentalrand von Indien und Pakistan, die Bestimmung der Sedimentdicke im Vorfeld der Indusmündung und die Krustenstruktur des Golfes von Oman die wissenschaftlichen Hauptziele. Sie hatten ebenso wie die Erforschung des Monsuns eine angewandte Komponente insofern, als die Kenntnis der Geologie dieser Gebiete hinsichtlich des Vorkommens von Kohlenwasserstoffen im Schelf wichtig ist. In diesen Bereichen sind damals erstmalig tiefreichende seismische Untersuchungen durchgeführt worden. Der Schelf nördlich von Bombay führt mächtig entwickelte Sedimente, die in einer vom Basement gebildeten Mulde liegen. Der äußere Schelfrand wird offenbar durch ein großes Störungssystem akzentuiert. Als große Überraschung ergab sich, daß im Übergangsbereich von Kontinentalsockel zu ozeanischer Kruste mehrere Kilometer dicke Sedimente vorhanden sind, so daß man vielleicht berechtigt ist, von einer Miogeosynklinale zu sprechen, was niemand vorher vermutet hatte (Hinz, Closs 1969). Die Frage, ob hier Sedimente, die sich im wesentlichen seit

der Zeit eines Ur-Indus gebildet haben, vorliegen, oder ob sie der indische Kontinent zumindest teilweise auf seiner langen Wanderung aus dem südlichsten Teil des indischen Ozeans im Laufe von mehr als 100 Mill. Jahren aufgeschüttet hat, muß z. Z. noch unbeantwortet bleiben, ebenso die nach den Vorgängen, welche die Entstehung eines solchen Trogens im Übergangsbereich von Kontinent zu Ozean begünstigt haben.

Im Meeresgebiet südlich von Karachi sind auch noch bei 2000 m Wassertiefe mehrere tausend Meter Sediment nachgewiesen worden. Im Golf von Oman wurden große Sedimentmächtigkeiten bei über 3000 m Wassertiefe aufgefunden. Die Erdkruste scheint hier weder typisch kontinental noch typisch ozeanisch zu sein. Ob es sich aber hier um den Fall der Ozeanisierung einer kontinentalen Kruste handelt, oder um die Kontinentalisierung einer ozeanischen, konnte mit den damals zur Verfügung stehenden Mitteln nicht entschieden werden.

Auf zwei weiteren Expeditionen sind Kontinentalränder geophysikalisch untersucht worden: Der Übergang des afrikanischen Kontinents in den Atlantischen Ozean im Bereich östlich der Kanarischen Inseln und der des Skandinavischen Kontinents in das Norwegische Tiefseebecken.

Auch von Afrika aus sind dort erstaunlich große Sedimentmassen in den Ozean geschüttet worden, so daß der äußerste Sockel von Afrika heute auf ursprünglich ozeanischer Kruste liegt, und die ursprüngliche Trennfuge zwischen Amerika und Afrika verdeckt ist (Roeser, Hinz Plauermann, 1971; s. Abb. 22). Aus der Kombination von magnetischen, gravimetrischen und seismischen Untersuchungen ergab sich außerdem, daß unter dem Schelf die kontinentale Kruste von Afrika um etwa 13 km dünner ist als im Normalfall. Dies legt den Gedanken nahe, daß eine Ausdünnung der Kruste erfolgte, bevor Amerika und Afrika sich trennten. Die Kanarischen Inseln sind von ozeanischer Kruste umgeben, die östlich der Inseln Lanzarote und Fuerte-Ventura eine untypische Serie mächtiger Sedimente trägt. Wenn man aus der Dicke der Sedimente, wie sie durch unsere seismischen Untersuchungen festgestellt worden sind, auf die Dauer der Ablagerungszeit schließen darf, so erscheint eine Zeitspanne von 150—200 Mill. Jahren als eine durchaus akzeptable Dimension, d. h. die Ergebnisse sind mit der Vorstellung in Einklang zu bringen, daß am Anfang der genannten Zeitspanne die

Seegravimetrie · Kanarische Inseln (Ostteil)

F.S. Meteor 1967

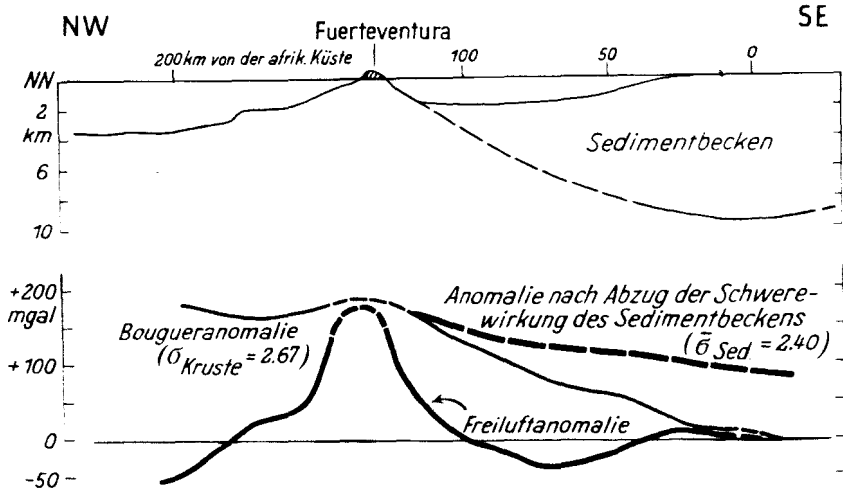


Abb. 22

Trennung von Afrika und Amerika erfolgt ist. Ob im übrigen die beiden letztgenannten Inseln einen kontinentalen Kern enthalten, ist eine noch offene Frage. Welchem Vorgang die gesamte Inselgruppe ihre Entstehung verdankt, ist ebenfalls noch unbekannt.

Die Untersuchung des Skandinavischen Kontinentalsockels war in allen Einzelheiten als Forschungsarbeit mit „Meteor“ geplant. Aus technischen Gründen mußte sie mit „Planet“ durchgeführt werden. Hierbei ergaben sich bisher unbekannte Tatsachen zu dem Vorgang des Aufreißens einer kontinentalen Kruste: Im Bereich des Kontinentalabhanges konnte ein ca. 170 km breiter Graben seismisch nachgewiesen werden (Hinz, 1971; Abb. 23), in welchem kontinentale Kruste durch Zerrung stark ausgedünnt worden ist. Gesteinsmaterial aus dem oberen Mantel der Erde ist in diese Struktur von der Tiefe her eingedrungen. Sie zeigt in ihrem Schwereverhalten Parallelen mit dem Oberrheingraben und dem Graben des Roten Meeres. Als westliche seewärtige Grabenbegrenzung wurde ein vom Festland abgetrennter Kontinental splitter nachgewiesen, der auch von der ozeanischen Kruste des Norwegischen Beckens durch eine Störungszone getrennt ist. Der natürliche Wärmestrom nimmt von See her in Richtung auf den Graben offenbar zu (Hänel, 1971). Dies

SCHEMATIC CRUSTAL SECTION

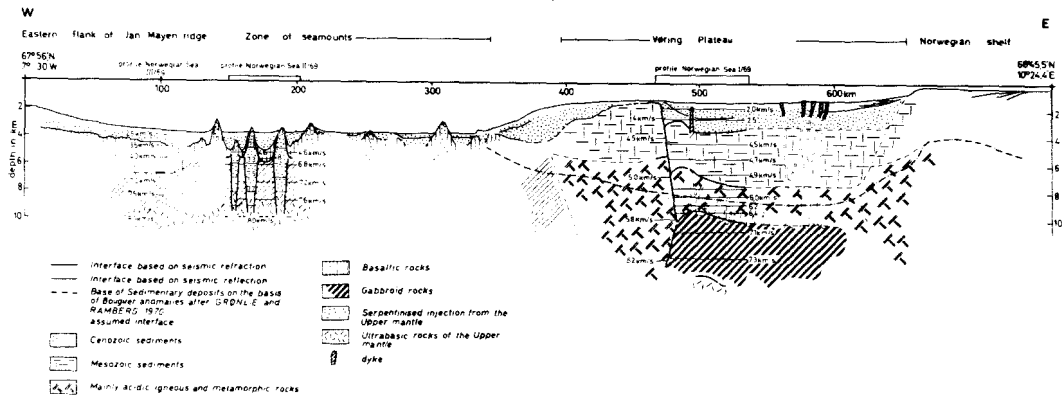


Abb. 23: Schematisches Krustenprofil vom Norwegischen Schelf bis zum Jan Mayen-Rücken (nach Hinz)

und andere Erscheinungen sprechen dafür, daß der Einbruch am Sockelrand von Norwegen als geologisch relativ junges Geschehen angesehen werden kann.

So sind durch diese Arbeiten drei unterschiedliche Typen des Übergangs vom Festland zum Ozean festgestellt worden.

Der Mittelatlantische Rücken war Gegenstand von geophysikalischen Untersuchungen im Bereich der „Romanche fracture-zone“ und des Reykjanes Rückens. Die Romanche-Struktur ist eine der bedeutendsten Querstörungen im System des Mittelatlantischen Rückens. Die Ergebnisse der magnetischen Untersuchungen im Bereich des Reykjanes-Rückens gehören mit zu den schönsten Beispielen magnetischer Lineationen, die im Atlantischen Ozean von einem Forschungsschiff aus gemessen worden sind (Fleischer, 1969; Abb. 24). Reflexionsseismische Untersuchungen mit Eindringungstiefen bis zur Basis der ozeanischen Lithosphäre sind dort erstmals im Bereich eines Mittelozeanischen Rückens mit Erfolg ausgeführt worden (Aric, 1970).

Im Bereiche von Island durchkreuzen sich zwei untermeerische Rücken-systeme, nämlich der Mittelatlantische Rücken einerseits und der Grönland-Island-Faeröer-Rücken andererseits. Da mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft schon seit 1938 auf Island deutsche Forschergruppen sowohl geophysikalisch als auch geodätisch tätig sind, war es ein guter Gedanke, Struktur und geotektonische Bedeutung des

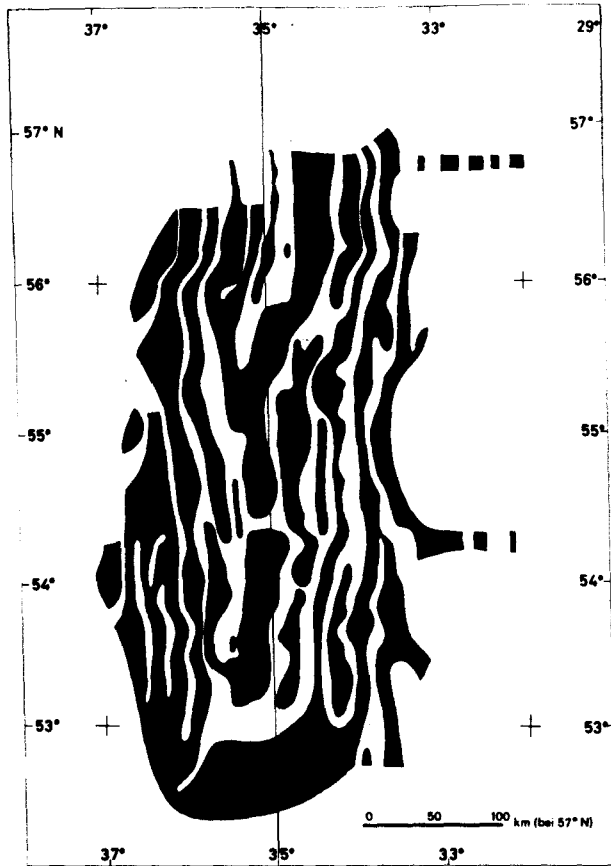


Abb. 24: Ergebnis magnetischer Messungen zur See mit F. S. „Meteor“ im Gebiet des Reykjanes-Rückens (nach Fleischer)

Island-Faeröer-Rückens zu untersuchen. Unter Einsatz von „Meteor“ wurde durch sehr sorgfältige magnetische und gravimetrische Untersuchungen nachgewiesen, daß der Faeröer-Rücken keine Bildung des Ocean-Floor-Spreading ist (Fleischer, 1971). Als eine logische Fortsetzung dieser Arbeiten ist im Jahre 1971 eine Untersuchung des Mittelatlantischen Rückens nördlich von Island mit dem Forschungsschiff „Komet“ in Angriff genommen worden, die 1972 mit „Meteor“ fortgeführt und erweitert werden soll. Es zeigten sich schon jetzt sehr interessante Aspekte über die Stellung Islands in dem System sich kreuzender untermeerischer Rücken ab.

In jenem Forschungsprogramm, in welchem dankenswerterweise anstelle von „Meteor“ das Forschungsschiff „Planet“ zur Verfügung gestellt worden war, hat sich in der Norwegischen See eine bisher unbekannte Strukturierung des ozeanischen Untergrunds ergeben, die als Sonderfall von Ocean-Floor-Spreading angesehen werden kann (Hinz, 1971). Wie dieser Krustenbau mit den von dort bekannten magnetischen Lineationen (Heirzler, 1969) in Beziehung gebracht werden kann, ist eine noch offene Frage. Bei diesen Arbeiten hat sich außerdem ergeben, daß ein anderes Rückensystem, der Jan-Mayen-Rücken, zwischen Island und Jan Mayen, im Gegensatz zu bisherigen Vorstellungen wohl mehr als eine Bildung ozeanischer Kruste anzusehen ist und weniger als ein kontinentaler Splitter zwischen Grönland und Skandinavien. — Im nördlichen Atlantik beginnen die geophysikalischen von deutschen Forschungsschiffen unter maßgeblicher Beteiligung von „Meteor“ bearbeiteten Gebiete zu einem Schwerpunktbereich zusammenzuwachsen. Zwischen dem Mittelatlantischen Rücken und dem Afrikanischen Festland liegt die Große Meteor-Bank. Bei den Arbeiten mit „Meteor“ hat sich ergeben, daß es sich hier nicht um einen isolierten Seamount, sondern um eine Gruppe von mindestens 3 miteinander in Beziehung stehenden untermeerischen Erhebungen handelt, von denen 2 ehemals mit der Meeresoberfläche in Berührung gestanden haben (Ulrich, 1971). Die bisherigen geophysikalischen Untersuchungen unter Einsatz von „Meteor“ haben noch keine endgültige Klarheit darüber erbringen können, ob es sich um rein vulkanische Bildungen handelt, die in Zusammenhang etwa mit einer großen Querstörung des Mittelatlantischen Rückens gebracht werden müßten oder zumindest teilweise um kontinentale Relikte (Fleischer et al. 1970). Die Auswertungen der letzten gravimetrischen und magnetischen Messungen dürften zu einer Entscheidung beitragen. Die vorliegenden Ergebnisse seismischer Untersuchungen mit Airgun haben in seltener Klarheit und Beweiskraft Indikationen für vulkanische Vorgänge erbracht. Sie gehören zu den schönsten bisher in der Literatur veröffentlichten Bildern der Innenstruktur untermeerischer Kuppen (Hinz, 1970; Abb. 25). Durch Refraktions- und tiefgreifende Reflexionsseismik ist überzeugend nachgewiesen worden, daß die ozeanische Kruste durch das Gewicht der auflastenden Massen dieses Seamounts um einige Kilometer eingedrückt worden ist (Aric et al., 1970; Abb. 26). Altersbestimmungen an gedredhten Basalten und das endgültige Ergebnis der

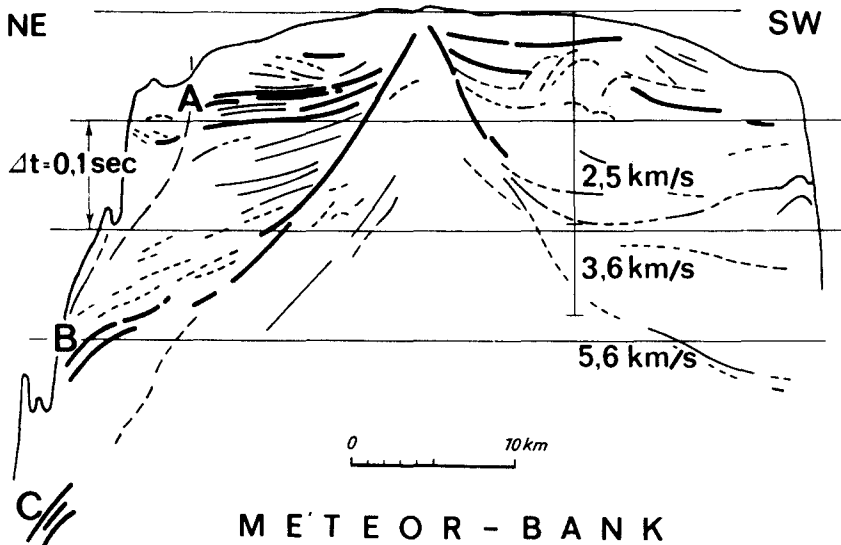


Abb. 25: Die Struktur der Großen Meteor-Bank nach reflexions- und refraktionsseismischen Messungen (Innerer Vulkankegel) (nach Hinz)

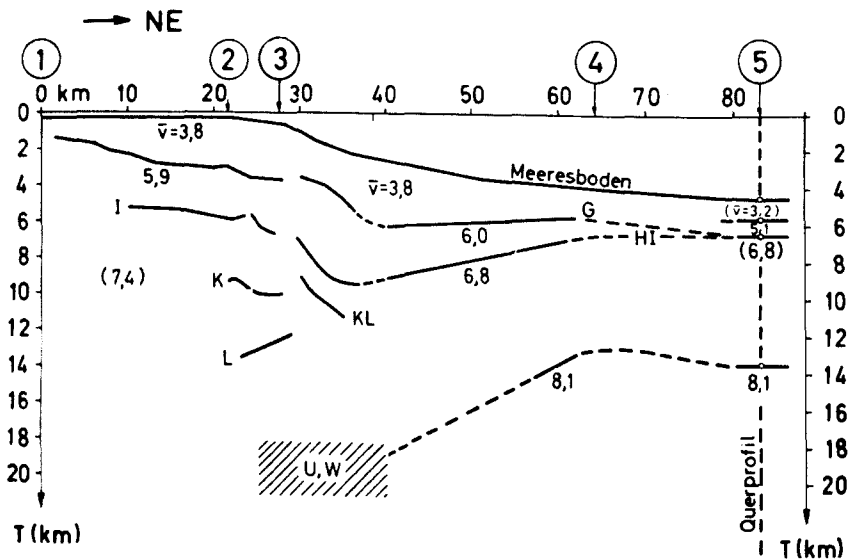


Abb. 26: Die Struktur der Großen Meteor-Bank nach reflexions- und refraktionsseismischen Untersuchungen mit großen Eindringungstiefen (nach Aric et al.)

Schweremessungen versprechen weitere Aussagen über die Entwicklungsgeschichte dieser bedeutenden Struktur.

Im Mittelmeer ist der Übergang der kontinentalen Krusten von Sizilien-Malta einerseits und Griechenland andererseits in den Bereich der Ionischen Tiefsee Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen, außerdem Fragen der Plattentektonik, der Ozeanisierung kontinentaler Kruste und der Relativbewegung von Afrika und Europa. Dabei sind nicht nur geophysikalische Messungen auf dem Meere durchgeführt worden, sondern in einer amphibischen Operation kombinierte Land-See-Experimente, in welche fast alle Geophysikalischen Institute der Bundesrepublik eingeschaltet waren. Im Frühjahr 1971 ist das größte Unternehmen dieser Art in Europa mit „Meteor“ als Hauptinstrument durchgeführt worden. Die Auswertungsarbeiten an dem guten und außerordentlich umfangreichen Material sind in vollem Gange.

Durch seismische Untersuchungen, sowohl Refraktion als auch tiefgreifende Reflexion, ist, was immer schon von geologischer Seite aus vermutet wurde, tatsächlich nachgewiesen, daß nämlich östlich von Malta eine tiefgreifende Störungszone kontinentale Kruste im Westen und die Kruste des Ionischen Meeres im Osten trennt (Weigel u. Hinz, 1971; Abb. 27). Im Zentrum des Ionischen Meeres ist ein bisher unbekannter Krustenbau aufgefunden worden (Abb. 28). Es könnte sein, daß im

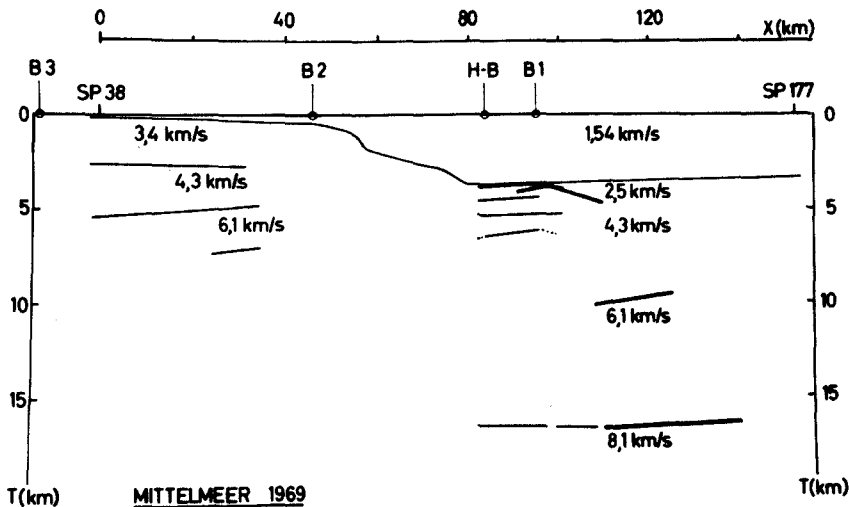


Abb. 27: Der Übergang vom Malta-Schelf in das Ionische Meer (nach Weigel u. Hinz)

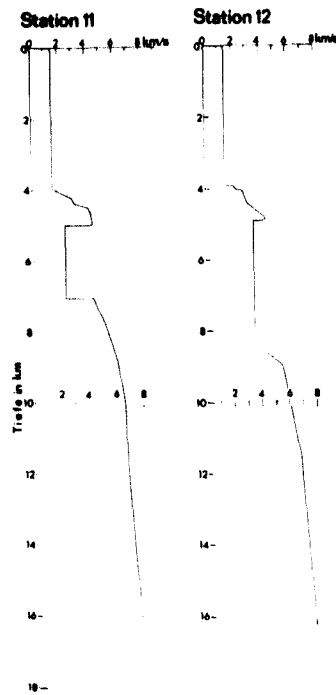


Abb. 28: Geschwindigkeits-Tiefen-Funktion im tiefsten Teil des Ionischen Meeres nach refraktionsseismischen Untersuchungen (nach Hinz)

Ionischen Meer eine alte ozeanische Kruste vorliegt, die durch eine lang andauernde Sedimentation stark modifiziert worden ist. Im Bereich des Hellenischen Grabens scheint ozeanische Kruste unmittelbar an kontinentale anzugrenzen. Die Frage, ob die kontinentale Kruste Griechenlands in diesem Bereich, der durch eine außerordentlich große Erdbebenhäufigkeit ausgezeichnet ist, auf die Kruste des Ionischen Meeres aufgeschoben wird, dürfte durch die Arbeiten mit „Meteor“ weitgehend entschieden werden können, insbesondere da auch noch weitere schon in Gang befindliche geophysikalische Untersuchungen auf dem Festland das mit „Meteor“ gewonnene Material ergänzen.

Sowohl im Seegebiet östlich von Malta als auch im tiefsten Teil des Ionischen Meeres und vor Griechenland ist mit den seismischen Untersuchungen von „Meteor“ aus der obere Mantel der Erde erreicht worden. Damit sind sehr wichtige Fixpunkte für die gravimetrische Modellberechnung aus den umfangreichen Schweremessungen italienischer

Kollegen geschaffen worden, was bei der geologischen Auswertung für das gesamte Meeresgebiet von größter Bedeutung ist. Im Zusammenhang mit geophysikalischen Arbeiten vieler deutscher Institute in Sizilien, Kalabrien und Apulien, die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft in internationalem Rahmen ermöglicht worden sind, dürfte es auf diese Weise möglich sein, z. B. die Konfiguration der Oberfläche des oberen Mantels der Erdkruste (Mohorovičić-Diskontinuität) für ein großes Gebiet des mediterranen Raumes zu bestimmen, eine wichtige Ausgangsbasis für weitere geotektonische Überlegungen.

Die Bedeutung der Arbeiten in diesem Raum wird noch dadurch unterstrichen, daß auch dort einige Bohrungen des weltweiten amerikanischen Deep-Sea-Drilling-Project (Joides-Project) ausgeführt worden sind und geophysikalische Ergebnisse der „Meteor“-Reisen für die Planung zur Verfügung gestellt werden konnten.

Zur Ergänzung und Erweiterung der Arbeiten im Ionischen Meer sind mit „Meteor“ Untersuchungen in der Umgebung von Kreta für eine spätere Zeit im Rahmen internationaler Gemeinschaftsforschung geplant, so daß auch im Mittelmeer ein Schwerpunktbereich für unsere Arbeiten entsteht, der sich sowohl in nationale als auch internationale Forschungsprogramme einfügt.

Auch auf der 25. Reise von „Meteor“ arbeitete eine geophysikalische Gruppe bei der Untersuchung des afrikanischen Schelfes eng mit Geologen zusammen, da sich diese Symbiose auch schon bei früheren Fahrten als sehr wirkungsvoll erwiesen hat (Giesel u. Seibold, 1968).

So hat die deutsche geophysikalische Wissenschaft durch „Meteor“ die Möglichkeit gehabt, aus dem Problemkreis der Nordsee hinauszutreten und sehr unterschiedliche Meeresgebiete mit vielfältigen wissenschaftlichen Problemen kennenzulernen; allgemein interessierende neue Erkenntnisse sind gewonnen worden, neue Fragestellungen sind aufgetaucht. Die Arbeiten mit „Meteor“ haben außerdem sowohl auf See als auch auf Land andere geophysikalische Forschungsunternehmungen ausgelöst oder ergänzt.

Die drei auf See geophysikalisch tätigen Institutionen der Bundesrepublik, die Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover, das Deutsche Hydrographische Institut, Hamburg und das Institut für die Physik des Erdkörpers der Universität Hamburg haben vielfach zusammengearbeitet oder sich bewußt ergänzt.

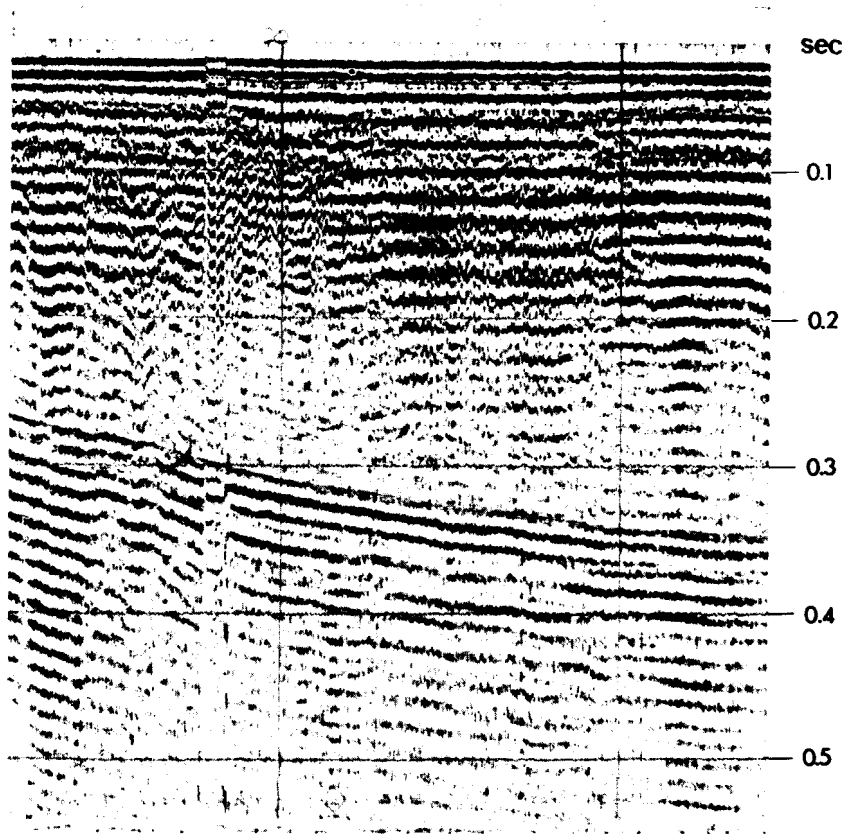
Zur Durchführung der Forschungsarbeiten mit „Meteor“ sind auf dem Gebiete der Seismik (Kebe, 1971) und in anderen Bereichen instrumentelle Entwicklungen vorgenommen worden, wodurch wir heute im großen und ganzen gesehen nicht mehr hinter anderen Nationen zurückstehen. Erfahrungen, die auf „Meteor“ gesammelt worden sind, konnten an die deutsche Industrie weitergegeben werden und wurden für die Ausstattung des Rohstoffforschungsschiffes „Valdivia“ nutzbar gemacht.

Auch auf dem Gebiet der Interpretation sind wichtige Erfahrungen, insbesondere im Bereiche der Seismik, gesammelt worden und haben zu methodischen Fortschritten geführt. Als Beispiel sei die digitale Bearbeitung eines reflexionsseismischen Ergebnisses mit einem Klein-Computer angeführt (Bungenstock et al., 1971; Abb. 29 und 30).

Für die geophysikalische Bearbeitung von Kernmaterial, das mit Hilfe von „Meteor“ gewonnen worden ist, sind ebenfalls neue Entwicklungen durchgeführt worden. Eines der schönsten, an Probenmaterial aus dem Bereich der großen „Meteor“-Bank, gewonnenen Ergebnisse sind die Feststellungen, daß Umpolarisierungen des erdmagnetischen Feldes vermutlich im Plio-Pleistozän etwa 13 000 Jahre in Anspruch nehmen, daß mehrere aufeinanderfolgende Umpolungen mit gleichem Drehsinn erfolgt sind und ein noch nennenswertes magnetisches Restfeld in der Zeit der Umpolarisation erhalten bleibt (Heye, 1970).

Die Temperaturbestimmung für alte Ozeane und Nebenmeere wird im Rahmen der Isotopengeophysik mit Hilfe von Sauerstoffisotopen-Analysen an Muschelresten durchgeführt. Dabei benutzt man ein Standardverhältnis der Isotope im Meer. Im Mittelmeer zeigte es sich jedoch bei Untersuchungen des Meerwassers, daß beträchtliche Abweichungen von diesem Standard möglich sind. Es ist also in Zukunft notwendig, kritischer als bisher vorzugehen, und die allgemeine paläoklimatische Situation eines zu untersuchenden Meeres der Vergangenheit zu berücksichtigen.

Bei den Arbeiten auf See — es ist oben schon erwähnt worden — hat es sich ergeben, daß eine Zusammenarbeit von Meeresgeologen und -geophysikern sehr nützlich und in manchen Fällen sogar notwendig ist. Sie ist allerdings nur durchführbar auf einem großen Forschungsschiff. Damit ist die Frage angesprochen, ob ein Schiff von der Größe der „Meteor“ für unsere Forschungsarbeiten zur See notwendig war und

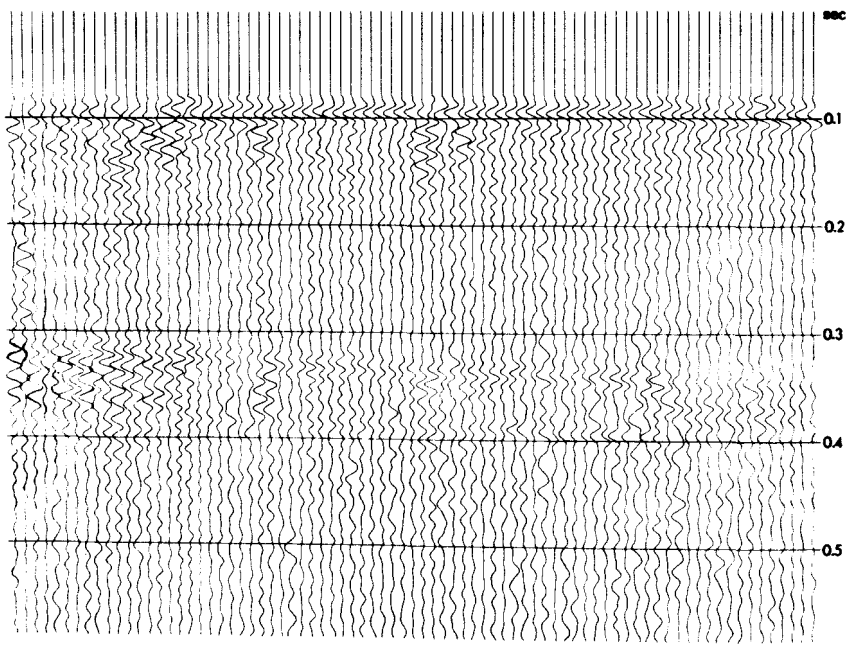


Seismic Profiling with Airgun

A. Original Record

Abb. 29: Digitale Bearbeitung einer Airgun-Registrierung. A. Originalaufnahme

auch weiterhin sein wird. Hierzu nur einige wenige Hinweise: Wenn für die Erforschung eines Seegebietes ein vollständiger Einsatz der Meeresgeophysik im 24-Stunden-Betrieb vorgesehen ist, so sind etwa 8 Wissenschaftler und 12 Techniker außer dem Fahrtleiter an Bord aufzunehmen. Platz für Geologen oder Gäste ist dann selbst auf „Meteor“ kaum noch vorhanden. Für die Zusammenarbeit von mehreren geophysikalischen Institutionen und mehreren Geologengruppen am



Seismic Profiling with Airgun

B. After Application of Backus Filter

Abb. 30: B. Ausschnitt von A nach digitaler Bearbeitung, Bungenstock et al.

gleichen Objekt ist also schon ein Einsatzwechsel unbedingt notwendig. Die Stammbesatzung muß für einen 3-Schichten-Betrieb groß genug sein. Die moderne Geophysik zur See benötigt schwere Geräte, wie Großkompressoren, schwere Bojen, lange und schwere Kabel; für die Seismik auf See wäre ein leistungsfähiges Hilfsboot (mindestens 10 t) von großem Nutzen, es müßte auch bei rauher See ebenso wie schwere Geräte ausgebracht und aufgenommen werden können; die Anforderungen an die Ortsbestimmung sind außerordentlich groß (Geräte und Bedienungspersonal); die Wetterstation von „Meteor“ war schon vielfach bei unseren Arbeiten von großem Nutzen und sollte auch in Zukunft zur Verfügung stehen; in Bälde werden für die Geophysik Computer auf Forschungsschiffen für die Datenerfassung und -verarbeitung gang und gäbe sein; die Qualität der Gravimetrie steigt mit der Größe des Schiffes; aktuelle und hochinteressante Fragen liegen in Seegebieten

weitab von der Küste der BRD. In neuester Zeit sind es nur amerikanische, englische, russische und kanadische Forschungsschiffe gewesen, die weltweite Reisen unternommen haben; es sollte auch ein Ziel der deutschen Forschung sein, ähnlich weltoffen zu werden. Dies und anderes zeigt, daß für die maritime geophysikalische Forschung der BRD das F. S. „Meteor“ eine Entfaltungschance geboten hat, die man sehr hoch einschätzen darf, und ein Schiff vergleichbarer Größe also auch in Zukunft als notwendig erachtet wird. Immer wieder zeigt jedoch der heftige Andrang aller auf See arbeitenden Disziplinen bei der Vergabe von Schiffszeit, daß ein Mehrzweckschiff wie „Meteor“ alle Wissenschaftler-Gruppen in einem 2-Jahres-Turnus nicht mehr befriedigen kann. Die Planung und Verfolgung von wissenschaftlichen Problemen auf See wird notgedrungen zu schwerfällig. So geht der Wunsch der deutschen Meeresgeophysiker dahin, für die Erprobung von Geräten, für die Erkundungen von Meeresgebieten für einen späteren Großeinsatz oder für die spezielle Lösung noch offengebliebener Fragen, noch ein kleineres hochseetüchtiges Schiff zur Verfügung zu haben, dessen Einsatz weniger kostspielig ist, dessen Verplanung elastischer gehalten werden kann und dessen Verwendung auch für weniger globale Fragestellungen verantwortet werden kann.

Durch die Arbeiten mit „Meteor“ war es der deutschen Geophysik möglich, zu internationaler Zusammenarbeit zu kommen. Für die Entwicklungshilfe sind deutsche Arbeiten zur See erbeten worden.

Was wir auf und mit „Meteor“ gelernt haben, wurde und wird nicht nur für die Lösung rein wissenschaftlicher Probleme angewandt, sondern hat uns in die Lage versetzt, auch praktische Fragen zu lösen, z. B. bei der Planung von Hafenprojekten oder bei der Rohstoffsuche, ja sogar bei der Untersuchung von großen Binnenseen im In- und Ausland.

Es wird auf die „Meteor“-Forschungsergebnisse, Reihe A, 1966 ff und Reihe C, 1968 ff hingewiesen. Inhaltsverzeichnis s. Anhang dieses Heftes.

Zusätzlich zitiert:

Bungenstock, H., Closs, H., Deppermann, K., Harjes, H. P., Hinz, K., Stein, A.: Results with seismic developments in oceanographic research. — Proc. 8th World Petroleum Congr., Moskau. im Druck.

Fleischer, U.: Investigations of Rifts by Shipboard Magnetic and Gravity Surveys: Gulf of Aquaba-Red-Sea and Reykjanes Ridge. — Dt. hydrogr. Z. 22, 205. 1969.

Fleischer, U.: Gravity Surveys over the Reykjanes Ridge and between Iceland and the Faeroe Islands. — Marine Geoph. Res. 1, p. 314. 1971.

Hänel, R.: Geothermics. In: Cruise to the Norwegian Sea with F. S. Planet, Preliminary contribution by the scientists. — Meteor-Forsch.-Erg., im Druck.

Heiztler, J. R.: Geomagnetic Studies in the Atlantic Ocean. — The Earth's Crust and Upper Mantle, Geoph. Mon. 13, Am. Geoph. Union. p. 430, 1969.

Roeser, H. A., Hinz, K., Plaumann, S.: Continental Margin Structure in the Canaries. — JCSU/SCOR Working Party 31, Symp. Cambridge: The Geology of the East Atlantic Continental Margin; Delany Edition, 1971.

Weigel, W., Hinz, K.: Results of Seismic Measurements in the Ionian Sea and on the Malta Shelf. 1970. im Druck.

MEERESGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN MIT F. S. „METEOR“

VON E. SEIBOLD

Für den Geologen sind 20 Minuten eines Vortrags kaum wahrnehmbare Meßgrößen. Dies ist ein prinzipieller Unterschied zu den physikalischen Ozeanographen oder den maritimen Meteorologen. Ihr wissenschaftliches Interesse an kurzzeitigen Prozessen im Meer zwingt sie auch immer mehr zu synoptischen Messungen mit Schiffen, Flugzeugen, Satelliten oder stationären Meßnetzen und schon deshalb zu intensiver und exakt vorausgeplanter internationaler Zusammenarbeit auf See.

Der Meeresgeologe braucht dies nur in Ausnahmefällen. Er hat sich bisher mit recht lockeren Absprachen regionaler oder methodischer Art zufrieden gegeben. Er hat bisher im wesentlichen eher versucht, die wissenschaftlichen Rosinen aus dem großen Kuchen herauszupicken dort, wo er sie vermutet, auch während der Internationalen Indischen Ozean-Expedition. Erst in diesen Jahren beginnt man mit planvolleren internationalen marine-geologischen Unternehmungen, wie etwa 1969 in Cambridge mit den Vorbereitungen zur Untersuchung des afrikanischen ostatlantischen Kontinentalrands durch französische, englische, südafrikanische, amerikanische und deutsche Schiffe. Die „Meteor“-Fahrt 25/1971 vor die Sahara ist ein Glied in dieser Kette.

Umgekehrt können und müssen unsere zeitloseren und recht mühsam zu erarbeitenden Daten auch noch nach Jahrzehnten international ausgewertet werden. Dies verlangt eine detaillierte Veröffentlichung der Daten.

Eine zweite Besonderheit für den Meeresgeologen liegt darin, daß er in besonderem Maß auf interdisziplinäre Zusammenarbeit mit fast allen anderen Sparten der Meereskunde angewiesen ist. Ein Beispiel vom Südausgang des Roten Meeres: Es ist ein Nebenmeer in aridem Klima. Deshalb herrscht meist Einstrom des Oberflächenwassers. Die physikalische und chemische Wasserbilanz führte nach Ergebnissen der „Meteor“-Fahrt 1 zu einer über alles gemittelten Sedimentationsrate von einigen cm/1000 Jahren im eigentlichen Roten Meer. Die geologische

Auswertung von Sedimentkernen in diesem Bereich führte zu ähnlichen Größenordnungen. Südlich Bab el Mandeb ergaben sich aber 5—10mal höhere Raten. Weshalb? Hier wirkt sich der bodennahe Ausstrom aus. Er wird erstens durch die dort komplizierte Morphologie gesteuert. Zweitens ist am dortigen Sediment der Anteil an Resten von Flachwasserorganismen und Schwermineralen so hoch, daß eine gleichfalls komplizierte, indirekte Zufuhr von der afrikanischen und arabischen Küste her angenommen werden muß.

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit wurde und wird von vielen Ozeanographen betont gefördert. Dieses interdisziplinäre Moment kann meines Erachtens noch mehr als bisher eine deutsche Besonderheit werden, wenn wir den Nachteil der kleinen Zahl von Meeresinstituten und -Forschern und ihrer Verteilung auf den engen deutschen Raum, sowie den Nachteil, zur Zeit nur ein einziges allseitig verwendbares Forschungsschiff zu haben, in diesen Vorteil bewußt umzumünzen versuchen. Im Sextett des globalen Konzerts können wir bei unseren gegenwärtigen Möglichkeiten hinsichtlich großer Expeditionen ohnehin nur allenfalls den Part der Bratsche übernehmen.

Die aus dieser Einleitung zu ziehende Folgerung für die deutsche Meeresgeologie der Gegenwart wäre:

- 1) Untersuchungen mit möglichst vielseitigen Aspekten auf typische Regionen und Modellfälle zu beschränken,
- 2) die erzwungenen längeren Pausen zwischen den Expeditionen zu einer besonders intensiven Materialauswertung zu nutzen, wie es manchen Nationen mit zahlreichen Forschungsschiffen nicht möglich ist.

Ich glaube, daß diese Folgerung von einer Reihe von meeresgeologisch Interessierten schon in der Vergangenheit gezogen worden ist, was bisher veröffentlichte Beispiele aus verschiedenen Arbeitsgebieten der Gruppen in Hamburg, Hannover, München und Kiel zeigen möge.

1. MORPHOLOGIE

Die Gestalt des Meeresbodens ist von grundsätzlichem geologischem Interesse. Das Romanche-Tief ist eine Schlüsselstelle des mittelatlantischen Rückens. Wie zieht es beispielsweise nach Afrika in Richtung Nigerdelta weiter? Gibt es in seiner Umgebung Nischen für die Ent-

stehung hydrothermaler Erzschlämme, Schollen mit Nickel- oder Chromerzen?

Die Tiefenkarte der Großen Meteorbank (Abb. 31) zeigt viele Details, z. B. Hangterrassen. Wie sind sie an anderen untermeerischen Bergen ausgebildet? Spiegeln sie lokale, regionale, globale Unterschiede der Förderung vulkanischen Materials, der Vertikalbewegung des Untergrunds, alter Stände des Meeresspiegels wider?

Die Sedimente und junge Geschichte des Persischen Golfs kann nicht ohne seine Tiefenkarte erklärt werden, die nach der „Meteor“-Fahrt 1/1964—65 erarbeitet worden ist (Seibold & Vollbrecht 1969). Sie wird in den Atlas der International Indian Ocean Expedition aufgenommen, der in der UdSSR in Arbeit ist. Details daraus zeigen ertrunkene Kliffs, Terrassen, Dünen, Strandwälle, Täler.

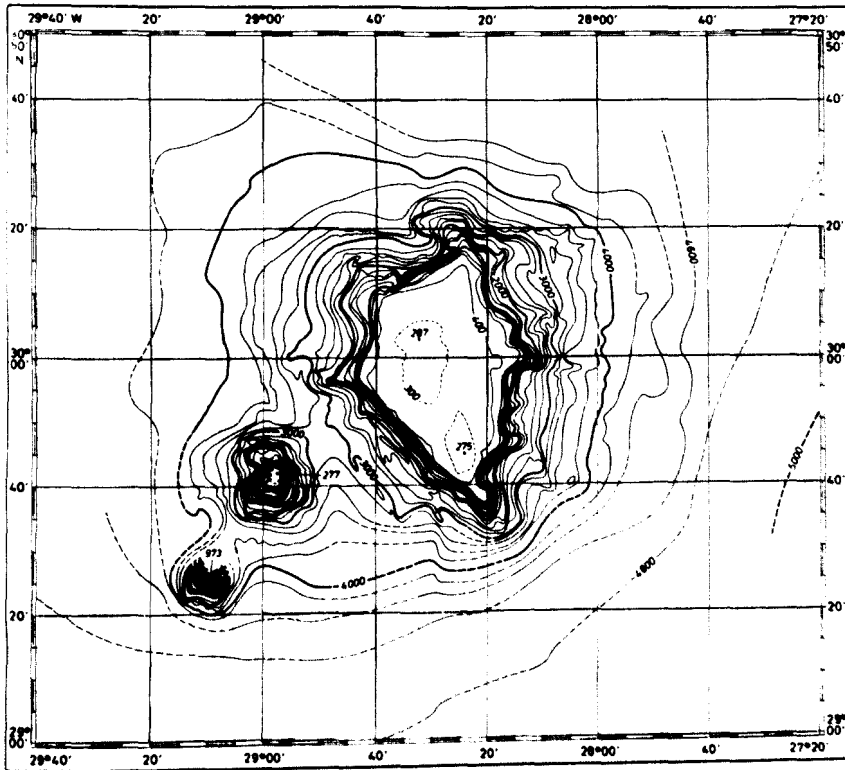


Abb. 31: Tiefenkarte der Großen Meteorbank (n. Ulrich in Closs et. al. 1969)

Diese ersten Beispiele aus „Meteor“-Fahrten hätten ohne das in Kiel entwickelte Schelfrandlot nicht erstellt werden können. Was für solche Studien künftig nützt, ist die Verfeinerung der Aufnahme, auch der flächenhaften, und die Automatisierung der Auswertung.

2. VERTEILUNG UND EIGENSCHAFTEN DER OBERFLÄCHENSEDIMENTE

Der Kontinentalrand westlich Pakistans und Indiens wurde mit „Meteor“ in Zusammenarbeit mit indischen und pakistanischen Kollegen untersucht. Vom Festland her wurde in der Nacheiszeit nur ein schmaler Streifen von Schlick abgelagert (Abb. 32). Der äußere Schelf ist von sandigen Relikten aus der letzten Kaltperiode mit dem damals niedrigeren Meeresspiegel bedeckt. Schlicke verschiedener Zusammensetzung bedecken den Kontinentalhang und -fuß. Aus den Eigenschaften dieser Sedimente sei nur deren Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff herausgegriffen. Er ist genau in den Wassertiefen erhöht, in denen im nordindischen Zwischenwasser zwischen rund 150 und 1200 m Tiefe ein Sauerstoff-Minimum auftritt. Deshalb auch ein vermindertes Bodenleben in diesen Tiefen, deshalb die Erhaltung der Feinschichtung im „Bänder-schlick“. Dieselben Erscheinungen wurden am Westende des Oman-Golfs beobachtet (Hartmann et al 1971). Die Kurven für den Sauerstoffgehalt des Wassers und für den Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment sind gegenläufig. Die verringerten Verluste der organischen Substanz durch zurücktretende Oxydation können allerdings allein deren Reichtum nicht erklären. Es fehlen letztlich noch sonstige Vergleichsfälle aus anderen Ozeanen, doch ist bisher international erstaunlich wenig von Sedimenten der Kontinentalhänge bekannt geworden.

Von der iranischen Seite des Persischen Golfs seien zwei allgemeine Ableitungen als Beispiele herausgestellt, wie man aus zahlreichen Sedimentparametern heraus zu einem dynamischen Bild des Sedimentationsgeschehens kommen kann. Die Sediment-Transportrichtungen (Abb. 33) verlaufen entweder parallel oder quer zur Küste, was auf morphologische und hydrologische Besonderheiten zurückgeführt werden kann. Ähnliche Verhältnisse werden für das Tertiärmeer, in der sogenannten Molasse des nördlichen Alpenvorlands, angenommen. Die zweite Ableitung sind die Sedimentationsraten. (Sarnthein 1971). Vor manchen iranischen Flußmündungen erreichen sie über 100, ja 500 cm pro 1000 Jahre, erstaunlich hohe Werte für semi-arides Klima. Den zentralen

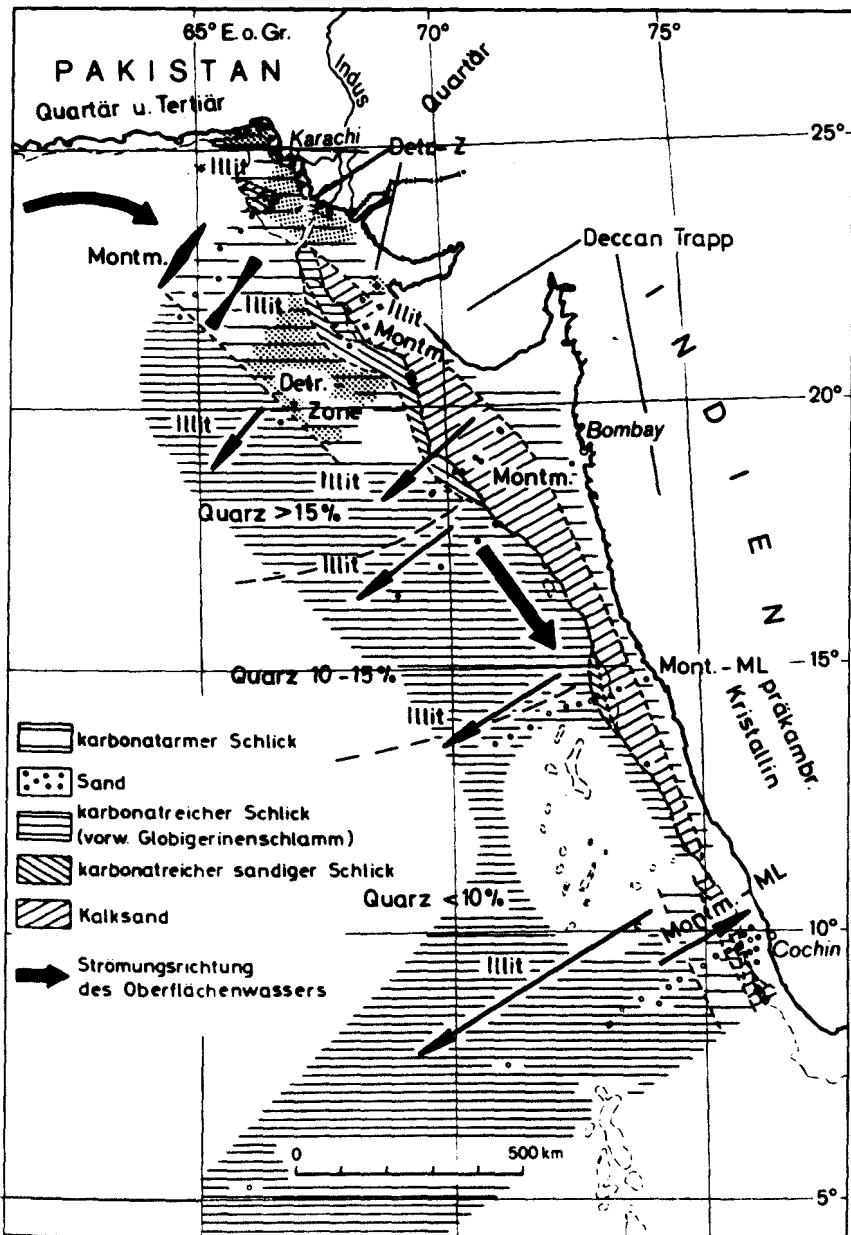


Abb. 32: Lithofaziesverteilung der Oberflächensedimente vor der pakistanisch-indischen Westküste (n. Mattiat in Schott et al. 1970)

3. ABFOLGE DER SEDIMENTE

Die Sedimentfolge, ein weiteres Hauptarbeitsgebiet der Meeresgeologie, wird an Sedimentkernen untersucht. Auf Meteorfahrten wurden zwei deutsche Geräte neu- oder weiterentwickelt. Das Kastenlot mit 15 x 15 cm oder größerer Kernfläche (30 x 30 cm) hat inzwischen weltweit Anklang gefunden. Es wird in Schlammern eingesetzt. In Sanden hilft das Vibrationshammer- Kerngerät, dessen Weiterentwicklung für Sedimentkerne bis 6 m Länge und 15 x 15 cm Querschnitt soeben vor Westafrika erfolgreich abgeschlossen wurde. Vor Sylt hat das kleinere Modell schon in früheren Jahren bis 2 m lange Sedimentkerne gebracht mit weißem Sand aus der Tertiärzeit, darüber jüngeren grauen Tone und als oberste Decke braune Sande, die sich leider dort heute noch bewegen. Diese Abfolge zeigt das wissenschaftliche Problem des letzten Kapitels.

Der Geologe will aus solchen Schichten letztlich die Erdgeschichte ableiten, für das Meer also Fragen angehen wie: Welche Temperaturen, welche Strömungen haben früher geherrscht? Stagnierte das Wasser? War das Land nah, lag es weit entfernt? Hatte es arides, humides Klima? War die biogene Produktion qualitativ, war sie quantitativ unterschiedlich? Gab es günstige Bedingungen für die Bildung sedimentärer Lagerstätten, also für Öl, für Gas, für Erze?

Auch dafür nur ein Beispiel, von der „Meteor“-Fahrt 8/1967, vom iberomarrokanischen Kontinentalrand. Im Mittelpunkt der hier erwähnten Untersuchungen standen die planktonischen Foraminiferen. Die Aufnahme mit dem Raster-Elektronenmikroskop (Abb. 34) zeigt, wie zart die Gehäuse aus Kalzit sind, wie leicht sie daher im tieferen Wasser der Ozeane oder im Sediment selbst an- und aufgelöst werden können. Dieses Filter der Veränderungen im Sediment selbst, die sogenannte Diagenese, schiebt sich leider neben anderen Störungen stets zwischen die Befunde vom Kernmaterial und die Umwelt, die wir daraus rekonstruieren wollen. Die Seiten unserer geologischen Geschichtsbücher sind leider zum Teil herausgerissen, verfärbt, verändert und unleserlich geworden, ja oft buchstäblich von Würmern zerfressen. Im in Abb. 35 dargestellten Kern 8004 C vor Portugal aus rund 5000 m Wassertiefe zeigen die planktonischen Foraminiferen nach ihrer Verteilung hinsichtlich Kalt- und Warmwasserformen (links) im unteren Kernteil das Ausklingen der Eiszeit an. Dabei ist die Anlösung, rechts dargestellt, im eiszeitlichen Teil offensichtlich erheblich geringer. Dies kann damit er-

Bibliographie

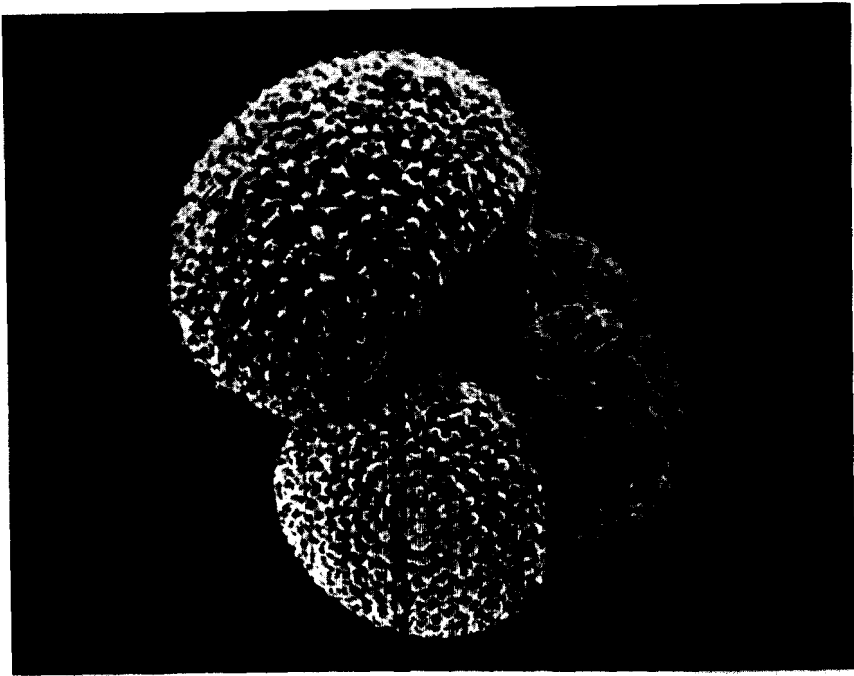


Abb. 34: Planktonische Foraminifere (*Globigerina bulloides* D'Orb.) aus Sedimenten des Arabischen Meers, „Meteor“-Station 1048, 2835 m Wassertiefe. Durchmesser etwa 0,37 mm. Raster-Elektronenmikroskop-Aufnahme Pflaumann, Geol. Inst., Kiel

klärt werden, daß damals das polare Tiefenwasser vor Portugal keinen oder nur verminderten Zutritt hatte. Selbst dieses schematisierte Beispiel aus einem kleinen Raum mag die Komplexität der Forschungen zeigen, bei denen wir ganz am Anfang stehen.

Gelingt es, die heutigen Sedimente mehr als bisher mit den heutigen Umweltbedingungen zu verknüpfen, die darunterliegenden mit denen der Vorzeit, so können wir auch immer besser dem klassischen Geologen helfen, seine fossilen Sedimentgesteine hinsichtlich ihres Charakters, ihrer Mächtigkeiten, Verbreitung und Entstehung zu erklären. Ein hoch aktuelles Beispiel sind die in Auswertung befindlichen „Meteor“-Fahrten ins Mittelmeer. War es in der Eiszeit immer das heutige aride Modell eines Nebenmeers? Waren Perioden humiden Klimas, also gegenläufiger Zirkulation, eingeschaltet? Bilden sich heute darin Sedimente, wie sie sich hochgehoben und verformt im Alpenkörper wiederfinden lassen?

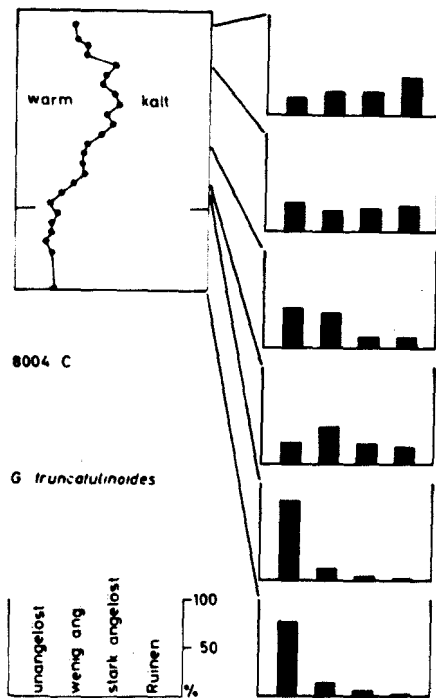


Abb. 35: Planktonische Foraminiferen in einem Sedimentkern vor Portugal (n. Thiede 1971).

Dies führt zum Ende dieser Rückschau. Wenigstens im Methodischen hielt sie sich an ein arabisches Sprichwort: „Jeder Blick zurück braucht zwei nach vorn.“

Der Blick auf künftige, international vordringliche Probleme der marinen Geowissenschaften könnte nicht besser gegeben werden als durch einige Ergebnisse eines „Marine Geoscience Workshop“ Ende September 1971 in Hawaii. Viele Gesichtspunkte, unter die die bisherige Arbeit mit „Meteor“ gestellt wurden, fanden dort eine Bestätigung. Zu den fachlichen Empfehlungen mit höchster Priorität für künftige Arbeit gehört beispielsweise als erstes Projekt „Paläo-Ozeanographie und Sedimentationsgeschichte der ozeanischen Sedimente“, als zweites „Anlieferung von Sedimentmaterial durch Flüsse ins Meer“, ein drittes „Internationale morphologische Kartierung des Meeresbodens“. Zu den regionalen Empfehlungen gehören zwei große internationale kooperative Expeditionen, eine in den Atlantik zwischen Südamerika und Afrika,

die zweite in den Südwestpazifik. Weiterhin werden die Tiefseebohrungen, die marinen mineralischen Rohstoffe, das europäische Mittelmeer hervorgehoben. Ich glaube, daß wir uns in der Bundesrepublik bemüht haben, diese „Zeichen der Zeit“ für unsere Planungen rechtzeitig zu erkennen.

LITERATUR

Es wird auf die „Meteor“-Forschungsergebnisse Reihe A, 1966 ff und Reihe C, 1968 ff hingewiesen. Inhaltsverzeichnis s. Anhang dieses Heftes.

Ein Rückblick auf die ersten sieben Jahre des Einsatzes von F. S. „Meteor“ ist zugleich ein Blick auf ein wichtiges Stück in der Entwicklung der biologischen Meereskunde in Deutschland. In der Zeit vor dem ersten Weltkrieg und dann wieder zwischen den Kriegen, wurde die biologische Meereskunde in Deutschland von einigen wenigen Forschern getragen: vor allem von V. Hensen, E. Lohmann, E. Hentschel. Die chemischen Aspekte des biologischen Stoffkreislaufs wurden von Wattenberg und Kalle untersucht. Nach dem Kriege arbeitete Krey mit wenigen Schülern über Phytoplankton und Produktionsbiologie.

In den letzten Jahren hat in Deutschland die biologische Meereskunde eine breitere Basis erhalten. Personalvermehrung, enge Auslandskontakte und die Möglichkeit, auf einem großen Schiff mit anderen Sparten der Meereskunde gezielt zusammenzuarbeiten, waren Voraussetzung für diese Entwicklung, die ich im folgenden mit groben Strichen nachzeichnen möchte.

Wir müssen vorausschicken, daß auf den „Meteor“-Fahrten eine ganze Reihe biologischer Arbeiten durchgeführt wurde, die nicht unter der Generalüberschrift „Biologische Meereskunde“ firmieren. Taxonomische, faunistische und physiologische Untersuchungen stellten einen wichtigen Teil der biologischen Programme der „Meteor“-Fahrten dar. In den ersten Jahren standen sie sogar im Vordergrund. Damals waren die Biologen im wesentlichen Mitfahrende, die zwar Raum und Zeit auf den Expeditionen in beträchtlichem Maße in Anspruch nahmen, das wissenschaftliche Gesamtkonzept der Reisen aber nicht entscheidend beeinflussten. Erstmals für die Kuppenfahrten 1967 wirkte Bückmann mit einem biologischen Programm grundlegend auf die Fahrtplanung ein. Die Roßbreiten-Expedition 1970 war überwiegend von Biologen und Chemikern geplant und die 26. Reise wird das erste voll integrierte Programm biologischer, chemischer und physikalischer Untersuchungen des Auftriebsphänomens und seiner biologischen Folgen haben.

Aus der starken Integration biologischer Arbeiten in das Gesamtkonzept der Forschungen auf „Meteor“ erwächst die Notwendigkeit, daß die Biologen nun ihre Aktivitäten selbstkritischer betrachten, um neue Programme verantwortungsvoll verteidigen zu können. Diesem Problem ist der zweite Teil meines Referates gewidmet.

A. RÜCKBLICK

Fünf „Meteor“-Reisen hatten starke biologische Elemente in ihrem Programm. Wegen der Langwierigkeit biologischer Fänge wurde ein erheblicher Teil der Einsatzzeit dieser Reisen biologischen Arbeiten gewidmet.

- Nr. 1 Indischer Ozean
- Nr. 3 und 15 Iberische See
- Nr. 9 Atlantische Kuppenfahrt
- Nr. 13 und 19 Westafrika

Auf acht weiteren Reisen spielte die Biologie zumindest auf einzelnen Fahrabschnitten eine gewisse Rolle. Dabei sind alle Abstufungen der Beteiligung zu verzeichnen: Von der Durchführung eines umfangreichen Benthosprogrammes auf einem Abschnitt der Reise 23 bis hin zu Seevogelbeobachtungen auf einer Vermessungsfahrt vor Ostgrönland.

Wer aus der Tatsache, daß die Biologie bisher erst selten maßgeblich bei der Planung von „Meteor“-Expeditionen mitwirkte, generell eine zu schwache Berücksichtigung biologischer Wünsche ableitet, übersieht zweierlei:

Einerseits stand den marinen Biologen bereits seit langem das hochseetüchtige Fischereiforschungsschiff „Anton Dohrn“ in gewissem Umfange zur Verfügung. Die Forschungsfahrten der „Anton Dohrn“ und später auch der „Walter Herwig“ banden einen Teil der Kapazität der deutschen marinen Biologie und dienten z. T. wissenschaftlichen Aufgaben, die über fischereiliche Tagesfragen hinausgehen.

Andererseits hatten die physikalischen Arbeitsrichtungen der Meereskunde bei Indienstellung der „Meteor“ einen größeren Fundus an Instrumenten und auch an Konzepten, den sie so intensiv wie möglich auf dem neuen Schiff einsetzen wollten.

Wenn trotz dieser hohen Konkurrenz den marinen Biologen von Anfang an Raum und Zeit auf „Meteor“ eingeräumt und die Entfaltung der biologischen Meereskunde gefördert wurde, so ist das zum Teil der Initia-

tive der Herren Bückmann und Krey zu danken. Mindestens ebenso wichtig war das von Herrn Meyl vertretene Konzept der DFG, daß alle Zweige der Meereskunde gleichermaßen von der „Meteor“ profitieren sollten.

Drei Nichtbiologen haben unsere Arbeiten auf „Meteor“ besonders gefördert: Die Herren Roll, Dietrich und Kroebel.

Obschon das Deutsche Hydrographische Institut (DHI) keine Biologie im eigenen Hause betreibt, nahmen Biologen auf Einladung von Herrn Roll an sechs DHI-Fahrten teil. — Herr Dietrich hat seit den frühen Nachkriegsfahrten der „Gauss“ das Konzept einer alle Disziplinen umfassenden Allgemeinen Meereskunde zu verwirklichen versucht. Als Vorsitzender der Senatskommission für Ozeanographie und der Deutschen Wissenschaftlichen Kommission für Meeresforschung war er eifriger Mittler zwischen Meeresphysik und Biologie. Das war aus wissenschaftspolitischen Gründen sicher klug, aus der Sicht der physikalischen Meereskunde aber nicht selbstverständlich. Im Gegensatz zum ausgeglichenen Geben und Nehmen zwischen Biologen, Chemikern und Geologen, ist der Biologe gegenüber dem Physiker vor allem Bittsteller um hydrographische Daten. — Die Meeresphysiker haben früher als die Biologen erkannt, daß moderne Geräteentwicklung nur durch Zusammenarbeit zwischen dem an Meßergebnissen interessierten Wissenschaftler und dem angewandten Physiker mit Ingenieur Erfahrung möglich ist. In den letzten Jahren haben auch die Biologen in wachsendem Maße von der Hilfe und den Anregungen von Herrn Kroebel und seinen Schülern profitiert.

Die *Indische-Ozean-Expedition* knüpfte in ihren biologischen Arbeiten teils an die alten „Meteor“-Expeditionen, die Weltreise der „Galathea“ 1950—52 und die chemisch-biologischen Untersuchungen von Krey und Steemann-Nielsen der fünfziger Jahre an, teils waren es taxonomisch-tiergeographische Sammelarbeiten und in See verpflanzte Laboruntersuchungen. Nur wenige deutsche Biologen hatten nach dem Kriege Hochsee-Erfahrung in tropischen Meeren durch Teilnahme an Fahrten ausländischer Forschungsschiffe gewinnen können. Man kann die Arbeiten der 21 wissenschaftlichen Fahrtteilnehmer in vier Hauptgruppen einteilen:

- 1) Großräumige Aufnahme der Verbreitung und Häufigkeit von Organismen in einem weiten, bisher wenig erforschten Meeresgebiet

- 2) Großräumige Untersuchung von Primärproduktion und Biomasse des Planktons
- 3) Untersuchung der Lebensleistung einzelner Organismen tropischer Meere
- 4) Erforschung ökologischer, faunistischer und floristischer Probleme im Flachwasser und an den Stränden der schwer zugänglichen Farasan Inseln durch die Arbeitsgruppe Gerlach

Die erstgenannte Arbeitsrichtung hat für einige Organismengruppen, für die Spezialisten in der BRD existierten oder herangebildet werden konnten, ein detailliertes Bild des Planktons erbracht. Zu nennen sind die umfassenden Darstellungen von Zeitzschel über die Tintinnen, Bückmann: Appendicularien, Weigmann: Euphausiaceen und Nellen: Fischbrut. Auch wenn tiergeographische und systematische Aspekte bei diesen Arbeiten im Vordergrund standen, so befaßten sie sich doch alle auch mit synökologischen, besonders nahrungsökologischen Fragen.

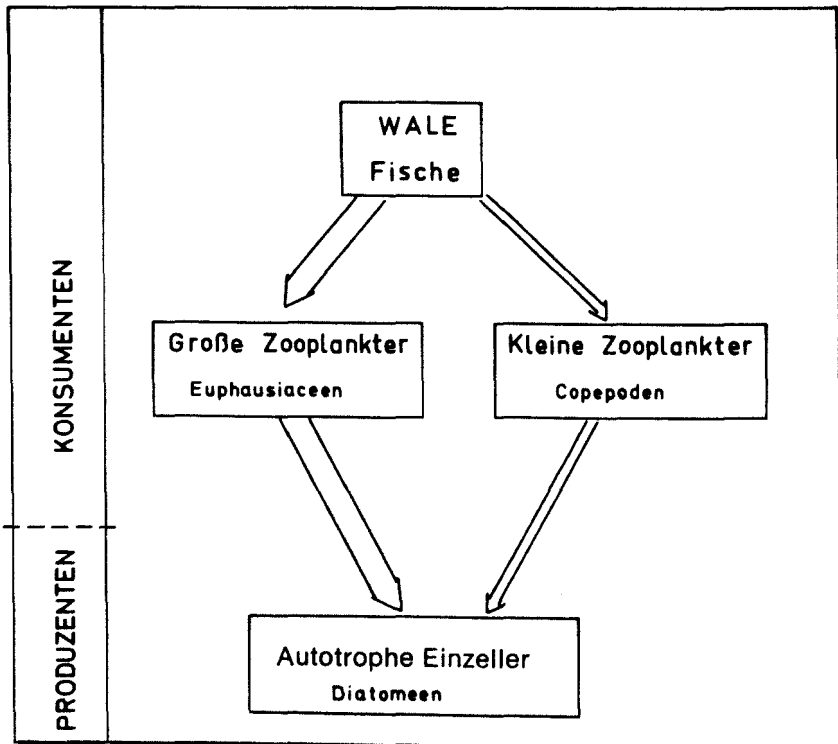


Abb. 36a: Nahrungskette in arktischen und antarktischen Meeren

Weigmann beschreibt die Stellung der Euphausiaceen in tropischen Nahrungsketten (Abb. 36 b), die sich vom arktischen Ökosystem (Abb. 36 a) unterscheidet. Während in phytoplanktonreichen Gebieten, besonders der höheren Breiten Euphausiaceen herbivor oder omnivor sind, müssen sie sich in den Tropen und Subtropen überwiegend carnivor von feinem Zooplankton ernähren, ein besonders schönes Beispiel für die höhere Komplexität der Nahrungskette in Meeren niederer Breiten.

Nellens Bearbeitung der Fischbrut des Arabischen Meeres zeigt die enorme Vielfalt der tropischen Fischfauna: während in unseren heimischen Meeren wenige, ökonomisch wichtige und wegen ihrer Einheitlichkeit leicht nutzbare Arten dominieren, weist Nellen in der Fischbrut des Arabischen Meeres mehr als hundert Familien nach und zeigt deren unterschiedliche Verbreitungsschwerpunkte auf (Abb. 37). Die Bindung des Planktons an bestimmte Wasserkörper konnte dank der guten hydrographischen Daten für verschiedene Planktongruppen recht genau erfaßt werden.

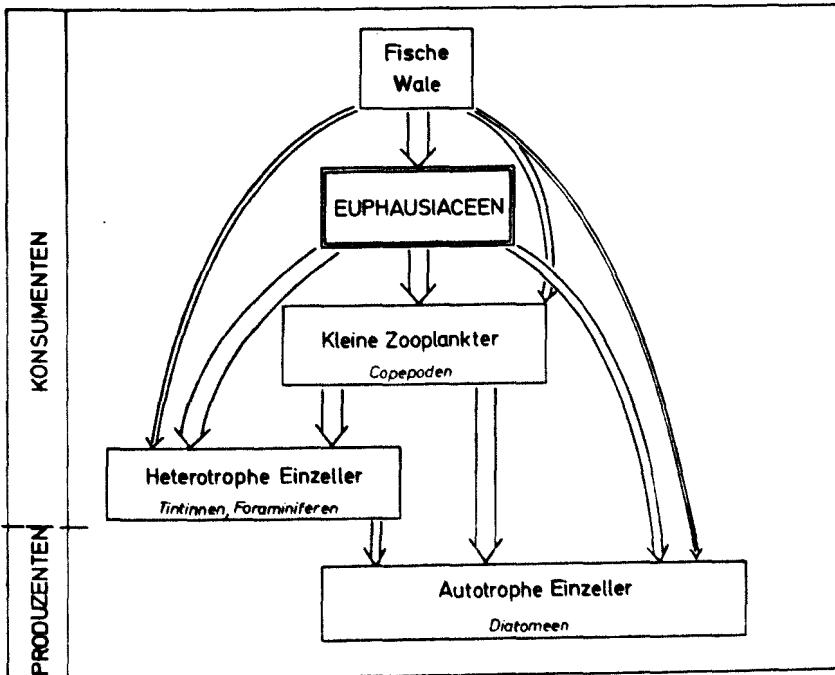


Abb. 36b: Stellung der Euphausiaceen in der tropischen Nahrungskette (nach Weigmann, 1970)

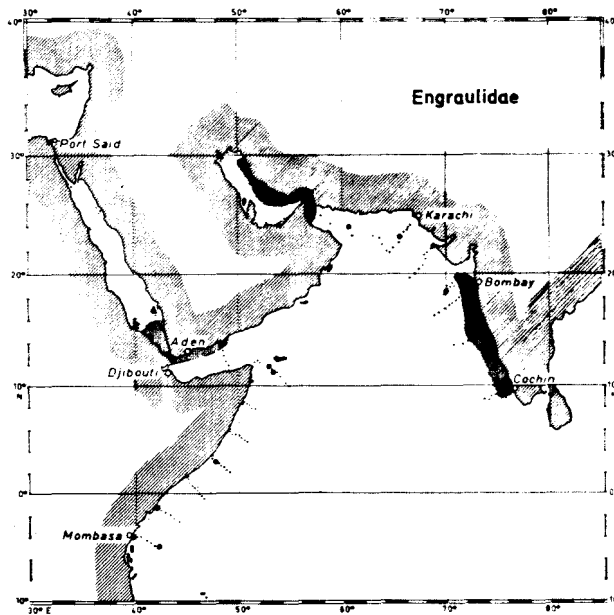


Abb. 37: Verbreitung der Sardellenbrut im Arabischen Meer (aus Nellen, 1972)

Die Untersuchungen des Benthos haben auf ganz unterschiedlichen Gebieten Ergebnisse geliefert: Kotthaus bearbeitete die Bodenfische des Arabischen Meeres und hat eine ganze Reihe von Artbeschreibungen und Erstnachweisen vorgelegt. In den bisher erschienenen 10 Heften der biologischen Reihe der „Meteor“-Forschungsergebnisse nehmen die ichthyologischen Beiträge knapp ein Drittel des Raumes ein.

Als floristisches Gegenstück — allerdings kleineren Umfanges — seien die Untersuchungen von Nizzamuddin und Gessner über die Algen des Sublitorals des Persischen Golfs genannt.

Eine biologisch sehr wichtige Entdeckung der Indischen-Ozean-Expedition ist bis heute noch nicht im Detail publiziert worden: Thiel sammelte erstmalig das Meiobenthos, d. h. millimetergroße Tiere im Sediment der Tiefsee. In Flachmeeren ist das Meiobenthos im Vergleich zu den größeren Tieren mengenmäßig unbedeutend. In der Tiefsee macht es dagegen bis zur Hälfte der gesamten tierischen Biomasse aus. Da der Stoffwechsel kleiner Tiere pro Gewichtseinheit hoch ist, wird der tierische Stoffwechsel am Boden der Tiefsee wahrscheinlich im wesentlichen vom Meiobenthos geprägt und ist um ein Mehrfaches größer als früher

angenommen wurde. Neuere Untersuchungen im Atlantik von Thiel, Gerlach und dessen Mitarbeitern haben diesen Befund bestätigt. Vermutlich liegt aber die Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen, vor allem der Bakterien, noch um eine Zehnerpotenz über der des Tiefsee-Meio-benthos.

Die auf der Indischen-Ozean-Expedition gewonnenen Globalangaben pflanzlicher Produktion und Biomasse bilden Bestandteile des Atlases der chemischen Biologie des Indischen Ozeans, den Krey im Auftrag der Intergovernmental Oceanographic Commission herausgibt. Die großzügige Förderung der DFG ist hier besonders hervorzuheben. In zäher Arbeit wurden die Daten von Chlorophyll, Eiweiß und Primärproduktion zusammengetragen und die Inhomogenität der Angaben der verschiedenen Institute ausgeglichen. Die bisher fertiggestellten Karten zeigen bereits deutlich, in welchen Gebieten des Indischen Ozeans Phytoplankton und Primärproduktion konzentriert sind und wie sie jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen. Ich glaube, daß der Atlas den vorläufigen Schlußstrich unter die Bemühungen um eine pauschalierende Darstellung der Biomasse und Produktionsverhältnisse in ganzen Ozeanen ziehen wird. Ein neuer Anlauf erscheint erst sinnvoll, wenn unsere Meßmethoden vereinheitlicht sind, und wenn wir auf Grund von Detailstudien die Produktionsvorgänge und die Wechselwirkung von Biomasse und Produktion auf den verschiedenen trophischen Ebenen verstehen. Bis dahin wird der Atlas lange Zeit das Referenzwerk der biologischen Meereskunde des Indischen Ozeans sein. Für die dritte Arbeitsrichtung, die Untersuchung einzelner lebender Organismen an Bord, sei nur ein Beispiel angeführt: Werner gelang es, kleine Polypen der Gattung *Stephanoscyphus* an Bord lebend zu halten und zu kultivieren. Seit sieben Jahren leben die Polypen in der Biologischen Anstalt Helgoland. Werner konnte an ihnen u. a. grundsätzliche Fragen der Stammesgeschichte dieser Gruppe klären, da sich herausstellte, daß gerade *Stephanoscyphus* einen sehr ursprünglichen Typ der Scyphozoen repräsentiert.

Viel Kritik ist an der Indischen-Ozean-Expedition (IIOE) geübt worden: Der Mangel an einem gemeinsamen Forschungskonzept der Biologen und die Überlastung des Programmes mit Einzelaufgaben. Die hier aufgeführten Ergebnisse scheinen mir trotzdem den Aufwand zu rechtfertigen. Darüberhinaus war die Expedition die „Schule der Nation“

für die deutsche biologische Meeresforschung. Die hier von Vielen gesammelten Erfahrungen waren zusammen mit den erzielten Ergebnissen das Fundament für weitere Entwicklungen.

Eine besonders wichtige Folge der 1. „Meteor“-Expedition war das Bemühen um bessere quantitative *Fangtechniken*. Manche Geräte der HIOE unterschieden sich nicht wesentlich von denen der Jahrhundertwende. Die Beteiligung von Biologen an späteren Forschungsfahrten diente vielfach der Erprobung neuer Fanggeräte. Die Notwendigkeit in wohldefinierten Horizonten Mikronekton und Plankton quantitativ (mit Kontrolle von Wasserdurchfluß und Schlepptiefe) zu fangen, war spätestens durch den Nachweis der tiefen Echostreuschichten und der O₂-armen Schichten im offenen Ozean evident geworden. Diesem Problem hat sich Kinzer mit viel Geduld gewidmet.

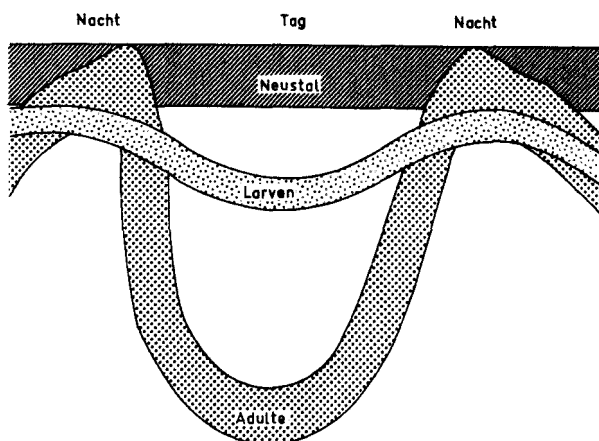


Abb. 38: Tagesperiodische Wanderungen von Zooplankton (nach Weikert, 1972)

Die quantitative Erfassung der Bodenfauna und ihrer räumlichen Verteilung erstrebte Thiel durch den Einsatz von Unterwasserfernsehen, UW-Photographie und Sammelgeräten. Der Photoschlitten mit seinen langen, kontinuierlichen Bildfolgen ist wohl zur Zeit das beste Gerät, um Besiedlungsdichte, Besiedlungsflecken und Lebensspuren (Kriechspuren, Bohrlöcher) zu erfassen. Wichtige Neuentwicklungen der Institute in Bremerhaven und Kiel sind der Bodenwassersammler von Wellershaus und die Planktonpumpe von Lenz.

Trotz der größeren methodischen Schwierigkeiten hatten die Biologen

weder bei uns noch in USA oder UdSSR den Mut der Physiker zu sehr teuren Entwicklungen. Auch fehlte der nötige Kontakt zur Industrie. Eine gewisse Wende zeichnet sich jetzt ab: Die Überwachung der Meeresverschmutzung erfordert im großen Ausmaß kontinuierlich und rationell arbeitende biologische Meßgeräte.

Nach der Indischen-Ozean-Expedition haben sich die biologischen „Meteor“-Arbeiten auf den iberischen und kanarischen Raum beschränkt — und zwar sowohl auf den ozeanischen als auch den küstennahen Bereich.

Die ozeanischen Untersuchungen konzentrieren sich auf zwei Fragen: Einerseits die Zusammensetzung der Echo-Streuschicht und die Vertikalwanderungen ihrer Komponenten und andererseits die Besiedlung des Tiefseebodens, des Kontinentalabhanges und der Seeberge mit Makro-, Meio- und Mikrobenthos.

Ein Sondergebiet planktologischer Arbeit wurde seit 1967 bei uns so stark vorangetrieben, daß wir hier, zusammen mit sowjetischen Arbeitsgruppen, führend sind: Die Untersuchung des Neuston, d. h. der Tiere in den obersten Zentimetern der Wassersäule (Abb. 38). In ausführlichen Studien von Hartmann und Weikert und einer Reihe kleinerer Arbeiten wurde die Bedeutung dieses Biotops für Fischbrut und Evertebraten untersucht. Vergleiche mit anderen Meeresgebieten zeigten, daß sich in warmen Meeren mehr als in den höheren Breiten eine typische Neustonfauna ausbildet.

Auf der *Kuppenfahrt 1967* und auf dem 2. Abschnitt der *Roßbreiten-Expedition 1970* sollten die Fauna und die Lebensbedingungen auf isolierten Seebergen untersucht werden (Abb. 39). Vergleiche mit dem Schelf zeigten dabei folgendes: Die Besiedlung des Bodens der Meteorbank ist erheblich ärmer an Arten und Individuen als vergleichbare Abschnitte des Kontinentalabhanges in ca. 300 m Tiefe. Die meisten Bodentiere der Bank sind Filtrierer, die sich von Plankton und Detritus, z. T. auch von aufgewirbeltem Bodenmaterial ernähren. Auch die recht arme Fischfauna der Meteor-Bank nährt sich von Zooplankton. Wahrscheinlich ist die autochthone Planktonproduktion über der Bank nicht hoch. So wurde postuliert, daß ozeanisches Plankton, das über die Bank driftet und im Rahmen seiner tagesperiodischen Wanderungen auf dem Plateau der Bank strandet, eine wichtige zusätzliche Nahrungsquelle ist. Der Beweis hierfür steht aber noch aus.

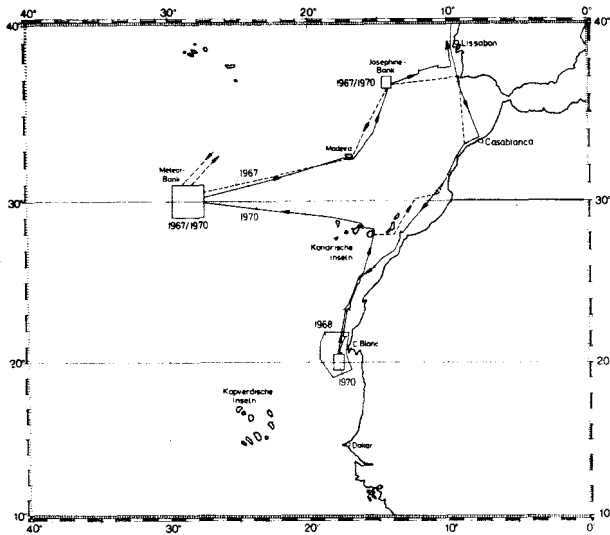


Abb. 39: Arbeitsgebiete der „Meteor“-Reisen 9, 13, 19

Eine befriedigende Antwort auf die Frage nach der Fortpflanzung der Kuppenfauna wurde noch nicht gefunden. Für eine Reihe von Arten zeigte sich, daß sie entweder eine direkte Entwicklung oder ganz kurze Larvenstadien haben und daher selbsterhaltende Populationen auf der Bank bilden können. Andere Arten scheinen auf Rekrutierung von außen angewiesen zu sein. Zur Beurteilung des Nahrungs- und Larventransportes im Bereich der Großen Meteor-Bank waren die Strommessungen von Meincke von entscheidender Bedeutung.

1968 unternahm das DHI eine Fahrt ins westafrikanische *Auftriebsgebiet*, an der auch einige Biologen teilnahmen. Diese Untersuchungen wurden auf der Roßbreitenexpedition 1970 von Planktologen, Mikro- und Fischereibiologen sowie Chemikern des Instituts für Meereskunde, Kiel, gemeinsam mit der kleinen physikalischen Arbeitsgruppe Wooster und Tomczak jr. fortgesetzt: Auf einer 12-tägigen Drift wurde das Altern eines frisch an die Oberfläche gelangten Wasserkörpers verfolgt. Dabei wurden regelmäßig chemische und physikalische Größen in verschiedenen Tiefen im Zentrum des Wasserkörpers gemessen. Veränderungen in der Konzentration der Nährsalze lassen sich zum Teil auf die gleichzeitige starke Vermehrung des Phytoplanktons zurückführen. Daneben spielten aber zweifellos Vermischungsvorgänge eine

wichtige Rolle. Die Analyse der physikalischen Messungen, eines Teiles der Nährstoffdaten und der Angaben über die Biomasse und Produktion des Phytoplanktons zeigt, daß unser Konzept von einem isolierten, alternden Wasserkörper, in dem die Produktion ausschließlich vom Angebot an Nährsalzen gesteuert wird, wahrscheinlich nicht korrekt ist. Über die Rolle des Zooplanktons als Weidetiere im Auftriebsgebiet wissen wir sehr wenig. Alle Netze waren in kürzester Zeit von Algen verklebt, so daß quantitative Zooplanktonfänge kaum möglich waren. Zwar war das Auftriebsunternehmen 1970 — auch international gesehen — der bis dahin gründlichste Versuch, das Auftriebsgeschehen vor Westafrika in seinen chemischen und biologischen Konsequenzen zu erfassen, so war es doch naiv anzunehmen, daß wir binnen zwei Wochen mit einem einzigen Schiff ein befriedigendes Bild erhalten würden. Die 26. Reise der „Meteor“ von Januar bis März 1972 wird kombiniert mit dem Einsatz von „Planet“ und einem Flugzeug. So werden ca. 40 Wissenschaftler und Techniker im Auftriebsgebiet jeweils gleichzeitig

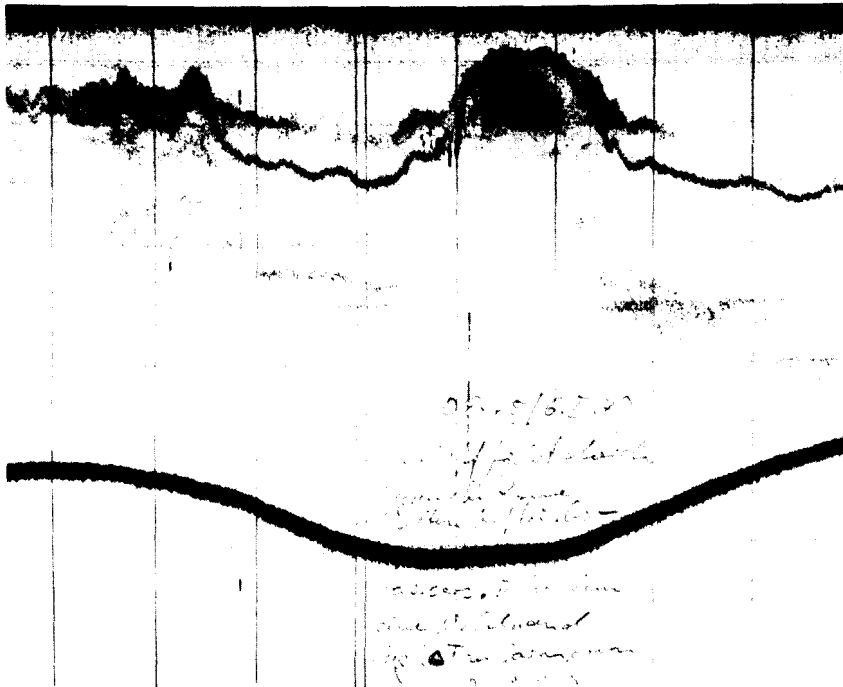


Abb. 40: In kleinräumigen Auftriebswasserkörpern wurde 1970 eine Aufwölbung und Verstärkung der Echostruschicht beobachtet

arbeiten. Wir erhoffen uns davon Aussagen über Größe und Häufigkeit von Auftriebswasserkörpern, über ihre Genese und Auflösung, über Vorgänge an der Front von Auftriebskörpern und über den Vertikaltransport. Vor diesem physikalischen Hintergrund — und nur durch ihn — lassen sich dann hoffentlich die räumlichen und zeitlichen Unterschiede in der Konzentration der Nährstoffe und Gase sinnvoll interpretieren, soweit sie nicht unmittelbar vom biologischen Geschehen abhängen. Eine starke biologische Gruppe wird sich des Planktons aller Größenklassen und trophischen Ebenen annehmen und die Lage der Echostreuschichten untersuchen (Abb. 40).

B. AUSBLICK

Mit dem Hinweis auf die Auftriebsexpedition sind wir aus dem Rückblick schon herausgetreten. Wir müssen jetzt fragen: wo steht die deutsche Biologie im Rahmen der internationalen Meeresforschung und wo soll sie im Hinblick auf künftige „Meteor“-Fahrten ihre Schwerpunkte setzen?

Zwei Hauptarbeitsgebiete der biologischen Meereskunde lassen sich erkennen, die eng miteinander verknüpft sind:

- 1) Der biologische Stoffkreislauf und Energiefluß, und
- 2) die räumliche Verteilung der Organismen

Im Ausland ist der Stoff- und Energiehaushalt von Ökosystemen im letzten Jahrzehnt fast ausschließlich in küstennahen Gewässern, meist abgeschlossenen Buchten, studiert worden. Neben der pauschalierenden, chemischen Analyse ist man dazu übergegangen, einzelne wichtige Glieder des Ökosystems isoliert zu betrachten, um Nahrungsauswahl, -bedarf und -ausnutzung kennenzulernen und damit die Stellung der einzelnen Glieder innerhalb des Netzwerkes, das wir vergrößernd „Nahrungskette“ nennen, kennenzulernen. In jüngster Zeit werden parallel dazu mathematische Modelle entwickelt, die die Beziehungen innerhalb des Netzwerkes beschreiben sollen. Die Modelle können uns auch Anhaltspunkte dafür liefern, welche Daten aus Freilandmessungen oder physiologischen und ökologischen Laborversuchen zum Verständnis der Systeme besonders dringend erforderlich sind. Die deutsche Meeresforschung ist auf diesem Gebiet im Rückstand: Ein Kieler Sonderforschungsbereich hat ein entsprechendes Programm für die Kieler Bucht entwickelt, das gerade erst anläuft. Wie kann man solche, durch hypothetische Modelle ge-

gesteuerte Analysen auf Ökosysteme der offenen See übertragen? Auf Grund der beträchtlichen räumlichen und zeitlichen Konstanz erscheint das Studium benthischer Gemeinschaften noch relativ einfach. Hier haben die deutschen Untersuchungen in verschiedenen Klimazonen und Tiefenstufen bereits wichtige Daten geliefert. Wir wissen aber fast nichts über die Stoffwechselleistungen.

Die Entwicklung von System-Modellen des Pelagials der offenen See trifft auf weit größere Schwierigkeiten durch Verdriftungen und Vermischungen. Wenn z. B. der Oberflächenstromzirkel im Nordatlantik nach Wyrтки eine Umlaufzeit von ca. sechs Monaten hat, müssen wir annehmen, daß ständig erhebliche Mengen organischen Materials, lebend und tot, partikulär und vor allem gelöst aus den hochproduktiven höheren Breiten in die Subtropen gelangen. Sorokin versucht anhand sowjetischer Untersuchungen nachzuweisen, daß die Bakterien die wichtigste Nahrungsquelle filtrierender Zooplankter warmer Meere sind, daß aber diese Bakterien im wesentlichen von gelöster organischer Substanz leben, die aus höheren Breiten herantransportiert wird. Auch zwischen den Lebensgemeinschaften der Auftriebswasserkörper und der benachbarten Wassermassen oder zwischen den Gemeinschaften der Tiefenstreuerschicht und des Oberflächenwassers bestehen solche Wechselwirkungen.

Trotzdem müssen wir auch für die offene See zu brauchbaren Vorstellungen über den Stoff- und Energiehaushalt kommen — allein schon, um die Frage nach der Rolle des Meeres als Nahrungsquelle des Menschen aus dem Nebel vager Spekulationen herauszuziehen. Das Longterm and Expanded Programme of Ocean Research der Vereinten Nationen setzt hier klare Prioritäten.

Die Frage nach der räumlichen Verteilung der Meeresorganismen hat einen bio-geographischen und einen kleinräumigen Aspekt. Die großräumige Verbreitung ist auf zahlreichen Expeditionen — zuletzt durch die Zusammenarbeit vieler Schiffe — erforscht worden. Der deutsche Beitrag zu dieser Art von Untersuchungen war stets groß. Er fand seinen Niederschlag in sehr guten Verbreitungskarten. Vom rein geographischen Aspekt führte der Weg zur Untersuchung der Bindung der Organismen an bestimmte Wassermassen und zur Beschreibung langfristiger Schwankungen in der räumlichen Verteilung und Häufigkeit von Organismengruppen.

Derartige Fragen lassen sich nur durch starr eingehaltene Routine-Programme beantworten, wie sie im Ausland teilweise auf Handels- und Wetterschiffen durchgeführt werden. Abgesehen vom rein wissenschaftlichen Wert solcher Arbeiten, kommt ihnen heute eine zentrale Bedeutung bei der Untersuchung der Langzeiteffekte der Meeresverschmutzung zu. Außer wenigen Beobachtungsserien in der Nordsee und der Kieler Bucht, sind in der Bundesrepublik keine derartigen Arbeiten durchgeführt worden und es scheint mir fraglich, ob wir uns hier engagieren sollen. Sicher sind „Meteor“ und die beschränkte Forschungskapazität unserer Universitätsinstitute hierfür nicht geeignet.

Im engen Zusammenhang mit dem Problem des Stoff- und Energiehaushaltes steht die kleinräumige Verteilung der Organismen, d. h. die Frage nach Entstehung und innerem Zusammenhalt von Organismenwolken. Die ökologische Bedeutung der Tatsache, daß die Tiere des Meeres nicht zufallsmäßig im Wasser und Sediment verteilt sind, sondern vielfach Aggregate bilden, ist bisher längst nicht genug beachtet worden. Nur solche oasenartigen Anhäufungen sichern in vielen Fällen Ernährung und Fortpflanzung in der Weite des Meeres.

Die biologische Meeresforschung der BRD kann nicht allumfassend sein. Für die Schaffung von Prioritäten sind Kriterien zu entwickeln, die auf der einen Seite spezielle, z. T. traditionsgebundene wissenschaftliche Interessen, gesellschaftliche Aspekte und die Einpassung in ein sich entwickelndes System internationaler Zusammenarbeit und Arbeitsteilung ins Auge fassen, zum anderen aber die vorhandene materielle und personelle Kapazität in den Grenzen ihrer Ausbaufähigkeit berücksichtigen. Im „Gesamtprogramm Meeresforschung“, das vom Bundeswissenschaftsministerium neu bearbeitet wird, steht neben den fünf Schwerpunkten angewandter Meeresforschung die Grundlagenforschung. Im wahren Wortsinne sollten die biologischen Arbeiten auf „Meteor“ Grundlagen schaffen, einerseits für unser Verständnis der Erde und andererseits für die angewandte Forschung. Auch im Hinblick auf das „Gesamtprogramm“ haben wir damit eine unmittelbare Rechtfertigung der „Meteor“-Reisen, die ja nicht an der Beziehung zu den „Schwerpunkten“ zu messen sind. Darüberhinaus haben aber bestimmte Arbeiten, etwa Untersuchungen der Belastung ozeanischer Organismen mit chlorierten Kohlenwasserstoffen oder die Produktionsstudien in Auftriebsgebieten unmittelbaren Bezug zu Verschmutzungs- und Fischereiproblemen.

Speziell auf die „Meteor“-Reisen bezogen, scheinen mir zwei Haupt-schwerpunkte sinnvoll zu sein: In erster Linie das weitere von Modell-vorstellungen gelenkte Studium der Auftriebsgebiete und in zweiter Linie Untersuchungen am Kontinentalhang. Während das Studium des Auftriebsphänomens und seiner biologischen Folgen in erster Linie einen Einblick in die Produktionsvorgänge in freiem Wasser bietet, würden sich die Untersuchungen am Kontinentalhang vor allem auf das Benthos richten und hierin die Verbindung herstellen zwischen dem gut unter-suchten Schelf und der Tiefsee. Vor Westafrika treffen sich die beiden hier anvisierten Projekte. Ihre Beziehung zu anderen Zweigen der Meeresforschung ist offensichtlich, denn diese Arbeiten werden nur durch die gezielte Kooperation mit Physikern, Chemikern und Geologen sinn-voll. Sie lassen sich nur auf einem Schiff von der Größe der „Meteor“ durchführen, das den verschiedenen Arbeitsrichtungen gleichzeitig Platz bietet.

Daneben steht eine Reihe langgehegter Wünsche an, z. B. der Wunsch nach behutsam gefangenem und konserviertem Plankton und Benthos für taxonomische Zwecke, nach dem Studium der abiotischen und mikro-biologischen Faktoren an der Meeresoberfläche im Hinblick auf unsere Neustonuntersuchungen und nach einem systematischen Vergleich des lebenden Inventars verschiedener Wassermassen. Auch ein Ostsee-unternehmen, bei dem endlich einmal eine größere Anzahl verschiedener Arbeitsgruppen gleichzeitig auf einem Schiff arbeiten kann, scheint in vielerlei Hinsicht verlockend. Den meisten Ostseeanliegern stehen hierfür keine geeigneten Schiffe zur Verfügung.

Über alle diese Wünsche und Vorschläge müßte man bei der künftigen Forschungsplanung im Lichte der genannten Prioritätskriterien disku-tieren. Für den sinnvollen Einsatz der „Meteor“ für die biologische Meereskunde sind aber noch einige Voraussetzungen zu erfüllen, mehrere Arbeitsrichtungen müssen bei uns intensiviert werden:

- a) Physiologische Studien an Hochseetieren als Ergänzung und Funda-ment synökologischer Arbeit. Hierfür bedarf es der Entwicklung ge-eigneter Fang-, Hälterungs- und Kulturmethoden für den Bordgebrauch.
- b) Die Mikrobiologie leistet in der Bundesrepublik, wie in den meisten anderen Ländern, noch nicht ihren vollen Beitrag zur Analyse des Stoffhaushaltes des Meeres, obschon unsere sporadischen Kenntnisse auf eine dominierende Rolle mikrobieller Prozesse hinweisen.

c) Ein Detailstudium der Ökosysteme und ihrer räumlichen Strukturen ist ohne sichere Artdiagnose nicht befriedigend durchführbar. Die Zahl der Taxonomen ist heute in vielen Fällen zum limitierenden Faktor für Quantität und Qualität ökologischer Aussagen geworden. Der Mangel an taxonomischen Spezialisten in der Bundesrepublik läßt sich beispielsweise daran ablesen, daß Gruppen des Benthos und des Planktons der Kuppenfahrten 1967 bis heute nicht vollständig bearbeitet sind, während über die etwa gleichzeitig durchgeführte südafrikanische Expedition zum Vema-Seamount bereits ausführliche Veröffentlichungen vorliegen. — Die Fischbrutfänge der ersten „Meteor“ Reise benötigen 105 Stunden Stationszeit. Sie wurden in etwa 2000 Arbeitsstunden durch technische Kräfte sortiert und in weiteren 3000 Stunden durch Nellen taxonomisch bearbeitet. Objekterkennung durch Laserstrahlen wird in nicht zu ferner Zukunft hoffentlich die Sortierarbeit beschleunigen. Sie kann aber nicht den Taxonomen ersetzen. Die von der DFG ins Leben gerufene und jetzt vom Bundeswissenschaftsminister finanzierte Gruppe von sechs Taxonomen ist ein Anfang, den es durch gezielte Werbung und Finanzierung auszubauen gilt.

Die Begeisterung für internationale Großprojekte der biologischen Erforschung einzelner Meeresregionen durch den Einsatz vieler Forschungsschiffe ist bei uns, wie in manchen anderen Staaten, erlahmt. Statt regionaler Aufnahmen werden jetzt Prozesse und Verteilungsmuster studiert. Dies setzt eine neue Form der arbeitsteiligen Zusammenarbeit mit jeweils speziell ausgewählten ausländischen Forschungsschiffen, Instituten und Einzelforschern voraus. Die Gewährung von Auslandsstipendien der DFG an jüngere Meeresforscher hat hier reiche Früchte getragen. Die so geknüpften Kontakte sollten wir jetzt nutzen, in dem man bestimmte Forschungsvorhaben auf „Meteor“ und in unseren Laboratorien mit internationaler Besetzung durchführt. So läßt sich das bescheidene Potential unserer Meeresforschung stärken und einem Provinzialismus entgegenwirken.

LITERATUR

Es wird auf die „Meteor“-Forschungsergebnisse Reihe A, 1966 ff und Reihe D hingewiesen. Inhaltsverzeichnis s. Anhang dieses Heftes.

RÜCKBLICK UND AUSBLICK IN DER „METEOR“-FORSCHUNG*

VON G. DIETRICH

Zum Abschluß möchte ich im Namen des Auditoriums danken, und zwar den fünf anwesenden Rednern, den Herren Meyl, Roll, Brocks, Closs und Hempel als auch dem abwesenden Redner, Herrn Seibold, der vom Magnetband zu uns sprach. Viele der Zuhörer haben an den Arbeiten in See auf „Meteor“ teilgenommen, alle „Meteor“-Fahrer hätten keinen Platz in diesem Saal gehabt. Es sind nämlich allein 580 verschiedene Wissenschaftler und Techniker in den Jahren 1964 bis 1971 an Bord gewesen, davon 100 Wissenschaftler aus dem Ausland. Sie kamen von 103 verschiedenen Instituten, darunter 40 ausländischen. Es ist beeindruckend, nicht nur die Reisewege der ersten 25 „Meteor“-Fahrten vor sich zu sehen (s. Abb. 41), die eine Gesamtlänge von 210 000 Seemeilen haben und auf der 39 verschiedene ausländische Häfen angelaufen wurden, sondern auch einen Einblick in die wissenschaftlichen Ergebnisse zu erhalten. Keiner der Zuhörer wird von den Rednern Vollständigkeit erwartet haben, dafür sind die Ergebnisse zu vielfältig. Die 31 Hefte der „Meteor“-Forschungsergebnisse, in denen 121 Autoren in 107 Beiträgen 1966 bis 1971 zu Worte kamen, ist ein Hinweis; ebenso viele weitere Hefte sind in Vorbereitung.

Die Ergebnisse, die veröffentlicht vorliegen, sind das sichtbar bleibende Zeugnis von harter Forschungsarbeit auf F. S. „Meteor“ in See, die vor sieben Jahren mit der Indischen Ozean Expedition ihren Anfang nahm. Die Möglichkeiten für solche Arbeit sind nicht selbstverständlich. Es ist das Vorrecht der älteren Generation, zu der ich mich ab heute zählen kann, die Vergangenheit in die Erinnerung zu rufen und auf den Weg zurück zu blicken, der zu „Meteor“ führte. Ich tue dies, indem ich sechs hervorragende Männer nenne, die unter uns sind, und entscheidend zu diesem Schiffe beigetragen haben.

* Schlußworte am 15. 11. 1971 in Kiel auf dem Kolloquium anlässlich der 25. „Meteor“-Fahrt

Ich wende mich zuerst an Herrn J. N. Carruthers (Großbritannien): It is my privilege, Dr. Carruthers, to summarize the feeling of my generation, which saw the development of science in the last decades. You gave us the opportunity to start again oceanography in our country in 1945. You arranged that not all instruments and ships were confiscated, so that in Hamburg and Kiel the scientists could find working facilities after the war. It was in the German Hydrographic Institute in Hamburg under the directorship of Dr. Böhnecke and in the Institut für Meereskunde in Kiel under the directorship of Prof. Wüst. Warmest thanks again for your help.

Damit habe ich bereits zwei weitere Herren genannt, die der heutigen „Meteor“ und der ozeanischen Meeresforschung den Weg bereiteten, nachdem beide schon die alte „Meteor“ 1925—27 zu einem Begriff in der Meeresforschung werden ließen. Sie beide, Herr Böhnecke und Herr Wüst, haben uns Jüngeren die Möglichkeit gegeben, in Nord- und Ostsee und im Nordatlantik wieder mitzuarbeiten. Darunter waren Großunternehmen, wie das Internationale Geophysikalische Jahr 1958 und das „Overflow“-Unternehmen 1960. Wir konnten wieder dabei sein, wenn auch mit bescheidenen Hilfsmitteln, was die Geräte und die Forschungsschiffe anbelangte. Ich erinnere mich der ersten Gespräche vor dem Auslaufen in den winterlichen Atlantik 1958 mit „Gauß“, die zwischen Ihnen, Herr Böhnecke, als verantwortlichem Präsidenten des Deutschen Hydrographischen Instituts, und einigen Fahrtteilnehmern stattfanden. Wir waren uns bewußt, daß wir an die Grenze des Tragbaren gingen; für uns an Bord war diese Fahrt gleichsam eine Demonstration, daß es so nicht weiter gehen konnte. Deshalb war es eine schwere Enttäuschung, als uns im Atlantik die Nachricht erreichte, daß sich in Kiel eine Kommission gegen ein großes Forschungsschiff ausgesprochen hatte. Uns schien es gleichbedeutend mit der Absage an eine ozeanische Meeresforschung. Daß es nicht dazu kam, ist das Verdienst eines vierten Mannes, den ich nenne, nämlich Herr Bargmann.

Als Vizepräsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft trat Herr Bargmann für eine Aktivierung der Meeresforschung ein, sorgte für den Schwerpunkt „Meeresforschung“ und rief die Senatskommission für Ozeanographie ins Leben und wurde ihr erster Vorsitzender. Die Meeresforschung sollte sich daran erinnern, daß im entscheidenden Moment ein Anatom einsprang und schnell Abhilfe schuf. Ich möchte

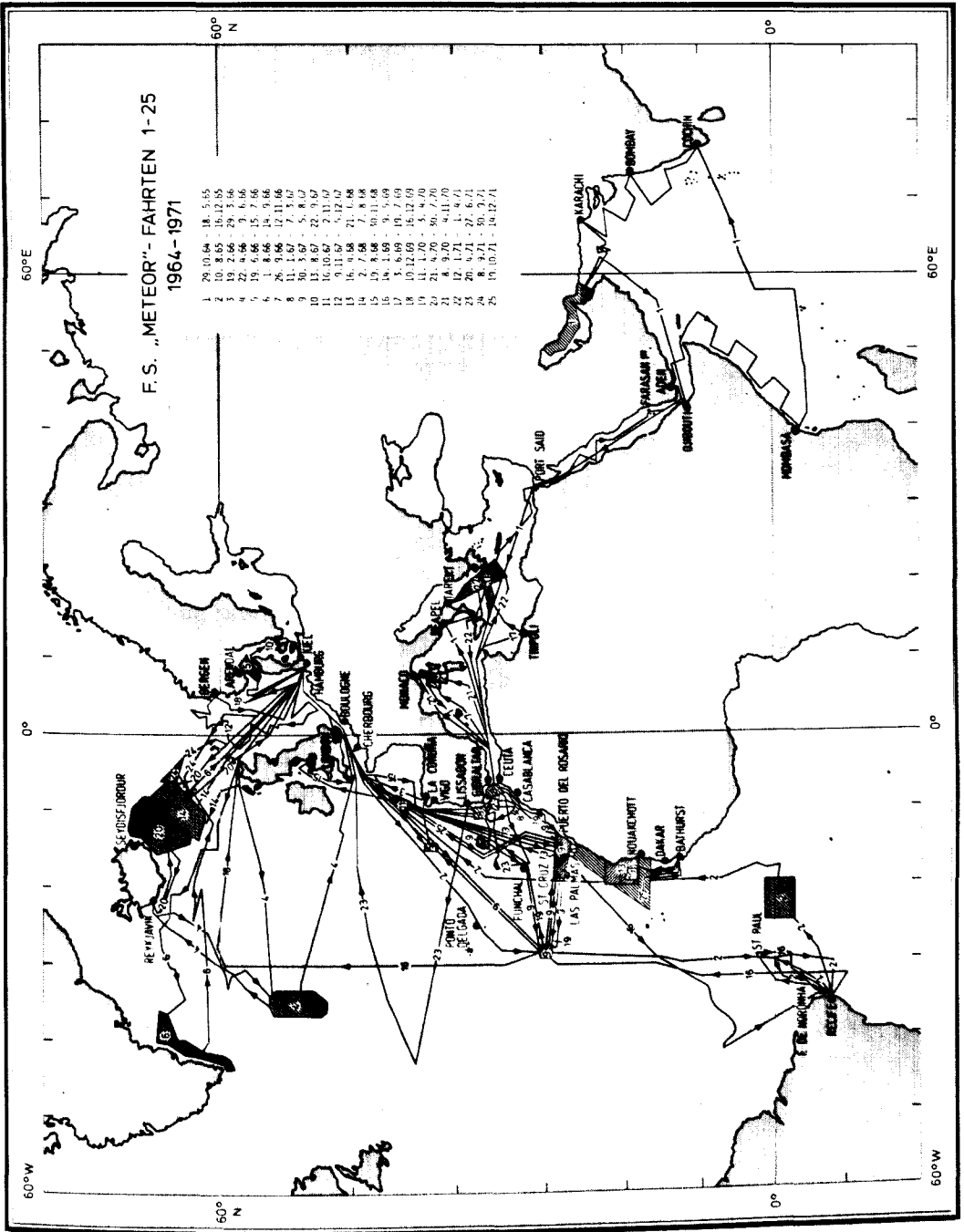


Abb. 41: Reisewege der ersten 25 „Meteor“-Fahrten

dafür Herrn Bargmann Dank sagen, zugleich der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die stets in der Selbstverwaltung der Wissenschaft Männer in ihren Entscheidungsgremien hat, die neue Wege zu gehen bereit sind.

Die „Meteor“, sowohl ihre Vorgeschichte, wie ihr Einsatz, ist mit einem weiteren Namen verknüpft, mit dem von Herrn Meyl, als dem Betreuer des Schiffes in der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Herr Meyl hat die Sache der Meeresforschung seit 1958 bis zum heutigen Tage zu seiner eigenen gemacht. Wir haben viele Gründe, ihm für sein unentwegtes, selbstloses Engagement dankbar zu sein.

Was wäre die Wissenschaft mit einem kostbaren Instrument, wenn dieses Instrument nicht einsatzbereit gehalten würde. Herr Roll, als Präsident des Deutschen Hydrographischen Instituts, das die Bereederung des Schiffes betreibt, zeichnet für die Einsatzfähigkeit verantwortlich. Wer mit arbeitsintensiven Schiffen zu tun hat, weiß, welche Sisyphusarbeit dies bedeutet, und sie wird mit den Jahren nicht leichter. Ich bitte Sie, Herr Roll, den Mitgliedern des DHI, die ihre Arbeitskraft in den Dienst der Bereederung stellen, unseren herzlichen Dank zu sagen.

Moderne Forschung wird am effektivsten von Wissenschaftlern selbst getragen. Selbstverwaltung führt zur Selbstverantwortung und spornt die wissenschaftliche Initiative an. Wissenschaftler dienen hierbei nicht nur als Berater, sondern haben Gelegenheit ihre Ideen zu verwirklichen. Daß dieser Weg zu fruchtbaren Ergebnissen führt, die in der wissenschaftlichen Welt Beachtung finden, haben die „Meteor“-Fahrten erwiesen.

Ich möchte dieses Schlußwort mit einem Ausblick abschließen, der nach 25 „Meteor“-Fahrten in den letzten sieben Jahren am Platze scheint. Es tauchte die Frage auf, ob ein solch großes Forschungsschiff wie die „Meteor“ sich nicht überlebt hat. Eigentlich kann ich mir die Antwort ersparen, weil sie in den vorgetragenen Ergebnissen unausgesprochen zum Ausdruck kommt. Hinter diesen Ergebnissen verbirgt sich ein technisch-wissenschaftlicher Einsatz, der mit einem kleinen Schiff nicht durchführbar ist. Ich denke an drei Anforderungen, die erfüllt sein müssen:

1. Der Einsatz von Großgeräten,
2. die interdisziplinäre Zusammenarbeit,

3. der Einsatz von empfindlichen Meßgeräten, die ein extrem ruhiges Schiff voraussetzen.

Zur ersten Anforderung sei festgehalten: Es gibt nach der Erfahrung mit „Meteor“ kaum eine Disziplin, die nicht auf den Einsatz von schweren Großgeräten an Bord angewiesen ist:

Die physikalische Ozeanographie ist zur Verankerung langer Meßketten mit vielen Strommessern und Thermographen übergegangen. 10 Ketten mit 55 Strommessern kommen z. B. auf der nächsten Reise, der „Auftriebs-Expedition 1972“ zum Einsatz. Sie wiegen mit Zubehör 25 Tonnen und nehmen einen großen Deckplatz bei der Vorbereitung der Verankerung in der Tiefsee ein.

Die maritime Meteorologie bedient sich bei ihrer Erschließung der Wechselwirkung zwischen Ozean und Atmosphäre großer Meßbojen, von denen eine auf der „Atlantischen Expedition 1969“ allein 2,5 Tonnen wog.

Die Meeresgeologie hat ihre Erfolge nur dank schwerer Sammelgeräte erzielt, wie den Vibrocorer, der 2,6 Tonnen wiegt. Die Geräte für lange Sedimentkerne erfordern über 20 m freie Deckslänge und die Bedienung mit starken Kränen.

Die marine Geophysik bedient sich pneumatischer Schallquellen, die mächtige Kompressoren erfordern, die auf der 25. „Meteor“-Fahrt das ganze Achterdeck einnahmen und dabei eine elektrische Leistung erfordern, die nur eine starke E-Zentrale zu liefern vermag.

Die Meeresbiologie, soweit es sich um aktuelle Tiefseebiologie handelt, ist auf schwere Dredgen und Fotoschlitten angewiesen, die, wenn auch bei langsamer Fahrt, das Schleppen mit mehreren Kilometer langer Trosse erfordert, die Belastungen bis 7 Tonnen erfährt.

Die zweite Anforderung, die interdisziplinäre Zusammenarbeit, ist nur erfüllbar, wenn verschiedene Arbeitsgruppen gleichzeitig an einem Problemkreis arbeiten, was nicht nur die Unterbringung von Wissenschaftlern und Technikern, sondern auch hinreichende Laborplätze erfordert. Dies ist naturgemäß nur auf einem großen Forschungsschiff möglich.

Die dritte Anforderung wird vom Einsatz von empfindlichen Meßgeräten bestimmt und besitzt verschiedene Gesichtspunkte. Hier sei nur an den Vortrag von Prof. Lacombe — Paris erinnert, in dem sensationelle Ergebnisse über die erstaunlichen Absinkbewegungen im Mittel-

meer dargelegt wurden. Nur dank der großen Forschungsschiffe, die die notwendige ruhige Meßplattform bildeten, waren die Präzisionsmessungen möglich.

Es ist nicht das große Schiff an sich, das die Meeresforscher reizt; im Gegenteil: ein kleines Schiff ist viel angenehmer im Einsatz. Es sind die Anforderungen der modernen Meßtechnik, die für viele wesentliche Aufgaben ein großes Schiff voraussetzen. Dieses Grundkonzept, daß uns bei der Erstellung von „Meteor“ leitete, bleibt auch für die Zukunft erhalten, gewiß auch dann, wenn an eine neue „Meteor“ in den nächsten Jahren gedacht werden muß.

Damit ist nicht gesagt, daß wir neben „Meteor“ nicht kleine Forschungsschiffe benötigen. Für das Institut für Meereskunde in Kiel und für die Universität Hamburg steht dank der Bereitwilligkeit des Bundesministers für Bildung und Wissenschaft und des Landes Schleswig-Holstein sowie der Freien und Hansestadt Hamburg je ein Neubau 1972 vor der Ausschreibung. Jedes Schiff wird nur $\frac{1}{4}$ der Tonnage von „Meteor“ besitzen und trotzdem mehreren Disziplinen dienen können, aber stets nur einer oder zwei zur Zeit.

Zum Abschluß möchte ich an die gegenwärtigen „Meteor“-Fahrer erinnern. Sie stehen mit dem Schiff im östlichen Nordatlantik vor Dakar. Wir grüßen Besatzung und Eingeschiffte, besonders Kapitän Lemke und Leitenden Ingenieur Ammermann, die beide schon an der Bauaufsicht von „Meteor“ teilnahmen und seit der Indienstellung 1964 das Schiff auf 25 Reisen gefahren haben. Ich nenne weitere acht Mitglieder der Stammbesatzung, die an fast allen Fahrten von der ersten bis zur 25sten mitgewirkt haben; es sind die Herren Meyer, Pakulat, Hamann, Vorwerk, Heinsohn, Tebbens, Schneider und Fellner. Alle an Bord haben das Glück, gegenwärtig in der strahlenden Sonne der Subtropen zu arbeiten, derweil ihre Angehörigen im Novemberwetter den Männern nur in Gedanken folgen können.

„METEOR“ FORSCHUNGSERGEBNISSE

Herausgegeben von der Deutschen Forschungsgemeinschaft
Stand 1. März 1972

REIHE A

ALLGEMEINES, PHYSIK UND CHEMIE DES MEERES

Redaktion: G. Dietrich — W. Hansen — J. Joseph

No. 1: 80 Seiten. Mit 19 einfarbigen, 12 mehrfarbigen Abbildungen, 29 Fotos, 8 Tabellen und 1 vierfarbige Tafel. 1966.

Inhalt: 1. Reisebericht der Indischen Ozean-Expedition mit dem Forschungsschiff „Meteor“ 1964—1965 von G. Dietrich, G. Krause, E. Seibold und K. Vollbrecht. — 2. Struktur des heißen salzreichen Tiefenwassers im zentralen Roten Meer von G. Krause und J. Ziegenbein. — 3. Trübungsmessungen im Persischen Golf und im Golf von Oman von J. Ziegenbein.

No. 2: 8 Seiten, 134 Seiten mit 149 Tabellen. 1966.

Inhalt: Physikalische und chemische Daten nach Beobachtungen des Forschungsschiffes „Meteor“ im Indischen Ozean 1964/65 von G. Dietrich, W. Düing, K. Grasshoff und P. H. Koske.

No. 3: 92 Seiten. Mit 54 Textabbildungen und 21 Tafeln. 1967.

Inhalt: 1. Hydrographische Beobachtungen im Arabischen Meer während der Zeit des Nordostmonsuns 1964/65 von W. Düing und P. H. Koske. — 2. Ausbreitung und Vermischung des salzreichen Wassers aus dem Roten Meer und aus dem Persischen Golf von W. Düing und W.-D. Schwill. — 3. Die Vertikalzirkulation in den küstennahen Gewässern des Arabischen Meeres während der Zeit des Nordostmonsuns von W. Düing. — 4. Hydrographische Beobachtungen auf einem Äquatorschnitt im Indischen Ozean von W. Düing, K. Grasshoff und G. Krause.

No. 4: 100 Seiten. Mit 114 Textabbildungen und 8 Tabellen. 1968.

Inhalt: 1. Schichtungs- und Bewegungsverhältnisse am Südausgang des Roten Meeres von G. Siedler. — 2. Struktur und Verteilung des Wassers aus dem Roten Meer im Nordwesten des Indischen Ozeans von G. Krause.

No. 5: 84 Seiten. Mit 46 Abbildungen und 14 Tabellen und einer zweifarbigen Ausschlagtafel. 1969.

Inhalt: „Atlantische Kuppenfahrten 1967“ mit dem Forschungsschiff „Meteor“. — Reisebericht, bearbeitet von H. Closs, G. Dietrich, G. Hempel, W. Schott und E. Seibold. — Schiffstechnische Meßfahrten mit dem Forschungsschiff „Meteor“ 1967 von S. Schuster.

No. 6: 76 Seiten. Mit 43 Abbildungen und 20 Tabellen. 1969.

Inhalt: Zur Chemie des Roten Meeres und des Inneren Golfs von Aden nach Beobachtungen von F. S. „Meteor“ während der Indischen Ozean-Expedition 1964/65 von K. Grasshoff.

No. 7: 130 Seiten. Mit 52 Textabbildungen und 2 Tafeln. 1970.

Inhalt: Schwankungen von Schichtung und Strömung im westafrikanischen Auftriebsgebiet während der „Deutschen Nordatlantischen Expedition“ 1937 von M. Tomczak. — Die Topographie und die hydrographischen Verhältnisse unterhalb 2000 m Tiefe im Gebiet der Romande-Bruchzone von G. Tomczak und R. Annusch.

No. 8: 90 Seiten. Mit 22 Abbildungen und 129 Tabellen. 1970.

Inhalt: 1. Hydrographische und chemische Beobachtungen auf einer Ankerstation im östlichen Nordatlantischen Ozean von J. M. Gieskes, J. Meincke und A. Wendk. — 2. Einige Beobachtungen über Lösungsvorgänge am Boden des Ozeans von J. M. Gieskes. — 3. Reisebericht der Atlantischen Expedition 1965 (IQSY) mit dem Forschungsschiff „Meteor“, bearbeitet von K. Brocks. — 4. Physikalische und chemische Daten nach Beobachtungen des Forschungsschiffes „Meteor“ im Persischen Golf 1965 von G. Brettschneider, K. Grasshoff, P. H. Koske und L. von Trepka.

No. 9: 94 Seiten. Mit 74 Abbildungen und 22 Tabellen im Text und auf 2 Beilagen. 1971.

Inhalt: 1. Zur Schichtung des Mittelmeerwassers westlich von Gibraltar von W. Zenk. — 2. Schichtungs- und Strömungsmessungen im Bereich der Großen Meteorbank von W. Horn, W. Hussels und J. Meincke. — 3. Die zeitliche Veränderlichkeit der Temperatur der ozeanischen Deckschicht im Gebiet der Großen Meteorbank von W. Horn. — 4. Die Vertikalgeschwindigkeit von Bewegungen mit Gezeitenperiode im Gebiet der Großen Meteorbank von W. Hussels. — 5. Der Einfluß der Großen Meteorbank auf Schichtung und Zirkulation der ozeanischen Deckschicht von J. Meincke.

REIHE B

METEOROLOGIE UND AERONOMIE

Redaktion: K. Brocks — H. U. Roll

No. 1: 63 Seiten. Mit 62 Abbildungen. 1967.

Inhalt: Das meteorologisch-aeronomische Programm der Atlantischen Expedition 1965 (IQSY) mit dem Forschungsschiff „Meteor“ von K. Brocks. — 1. Ergebnisse der Messungen zur Strahlungsbilanz während der Fahrtabschnitte zwischen Suez und Aden II der Indischen Ozean-Expedition 1964—1965 von H. Hinzpeter. — 2. Erste Ergebnisse der Ionosphärenbeobachtung während der Atlantischen Expedition (IQSY) 1965 des Forschungsschiffes „Meteor“ von G. Rose und H. U. Widdel. — 3. Optische Be-

stimmung der Kontinuum-Absorption maritimer Luftmassen im Spektralbereich der Sonnenstrahlung von H. Quenzel. — 4. Tagesgang der Wasseroberflächentemperatur in der Nähe des Äquators von H. Hinzpeter. — 5. Eine Apparatur zur Messung des vertikalen Wind-, Temperatur- und Feuchteprofils über dem Ozean von M. Dunkel. — 6. Dreikanal-Radiosonde zur kontinuierlichen Messung der Temperatur, der Feuchte und des Luftdrucks von G. Stilke, K. Mollnhauer und L. Jahnke.

No. 2: 93 Seiten. Mit 73 Abbildungen und 19 Tabellen. 1968.

Inhalt: 1. Radiosondenaufstiege zur Messung des Lichtstromes in der Atmosphäre von H. P. Fimpel, M. E. Gass und H. G. Müller. — 2. Messungen der Normsichtweite mit einem Streulichtschreiber während der Atlantischen Expedition 1965 „Meteor“ von H. P. Fimpel, H. G. Müller und G. H. Ruppersberg. — 3. Luftpotelektrische Messungen auf dem Meer. Ergebnisse von der Atlantik-Fahrt des Forschungsschiffes „Meteor“ 1965. Teil 1: Feldstärke- und Ionenmessungen von R. Mühleisen. — 4. Untersuchungen der Konzentration atmosphärischer Spurengase über dem Atlantik von H. Kühme.

No. 3: 79 Seiten. Mit 84 Abbildungen. 1969.

Inhalt: 1. Wind-, Temperatur- und Feuchteprofile in der wassernahen Luftschicht über dem äquatorialen Atlantik von H. Hoerber. — 2. The Quality of Wind Speed Measurements on a Semi-stabilized Buoy by E. Augstein und J. Wudknitz. — 3. Der Strahlungsfehler der Radiosonde M 60 und der Tagesgang der Lufttemperatur oberhalb der 500 mb-Fläche nach Messungen an der Äquatorstation auf der Atlantischen „Meteor“-Expedition 1965 (IQSY) von F. Nagel. — 4. Fallout und Konzentration aerosolgetragener Radioaktivität auf dem Atlantik von G. Schumann und U. Möller. — 5. Der Einfluß des Erdmagnetfeldes auf die kosmische Strahlung. I. Untersuchungen der Nukleonkomponenten der kosmischen Strahlung während der Atlantischen Expedition IQSY 1965 auf dem Forschungsschiff „Meteor“ von O. C. Allkofer, R. D. Andresen, E. Bagge, W. D. Dau und H. Funk.

No. 4: 120 Seiten. Mit 1 Abbildung und 3 Tabellen. 1969.

Inhalt: Aerologische Daten gewonnen durch Radiosondenaufstiege und Radarwindmessungen während der Indischen Ozean-Expedition 1964/65 des Forschungsschiffes „Meteor“ von F. Defant.

No. 5: 94 Seiten. Mit 91 Abbildungen und 14 Tabellen. 1970.

Inhalt: 1. Der Einfluß des Erdmagnetfeldes auf die kosmische Strahlung. II. Untersuchungen der Myonenkomponente der kosmischen Strahlung während der Atlantischen Expedition IQSY 1965 auf dem Forschungsschiff „Meteor“ von O. C. Allkofer, R. D. Andresen und W. D. Dau. — 2. Luftpotelektrische Messungen auf dem Meer. Ergebnisse von den Atlantischen Expeditionen 1965 und 1969. II. Das luftpotelektrische Feld in Troposphäre und Stratosphäre über dem Atlantischen Ozean von R. Mühleisen und H. Rieker. — 3. Luftpotelektrische Messungen auf dem Meer. Ergebnisse von der Atlantischen Expedition 1969. Teil III. Untersuchungen zum Elektrodeneffekt

beim luftelektrischen Feld über dem Meer und die Konsequenzen für den globalen luftelektrischen Stromkreis von R. Mühleisen und H. Riekert. — 4. Ein Lidar-System zur Messung der vertikalen Dunstverteilung in der Atmosphäre während des Atlantischen Passat Experiments (APEX) auf W. F. S. „Planet“. I. Technischer Teil von H. Helbig und Ch. Werner. — 5. Ein Lidar-System zur Messung der vertikalen Dunstverteilung in der Atmosphäre während des Atlantischen Passat Experiments (APEX) auf W. F. S. „Planet“. II. Meßergebnisse von Ch. Werner. — 6. Ergebnisse von Messungen des Temperaturfeldes der Atmosphäre nahe der Grenzfläche Ozean-Atmosphäre von E. Clauss, H. Hinzpeter und J. Müller-Glewe. — 7. Messungen zur Temperaturstruktur im Wasser an der Grenzfläche Ozean-Atmosphäre von E. Clauss, H. Hinzpeter und J. Müller-Glewe.

No. 6: 71 Seiten. Mit 39 Abbildungen und 17 Tabellen. 1971.

Inhalt: 1. N₂O Measurements in Air and Seawater over the Atlantic by C. Junge, B. Bockolt, K. Schütz and R. Beck. — 2. Eine Methode zur kontinuierlichen Analyse des CO₂-Partialdruckes im Meerwasser von W. Rudolf. — 3. Die Änderung des maritimen Dunst-Streukoeffizienten mit der relativen Feuchte von G. H. Ruppertsberg. — 4. Struktur maritimer Regen gemessen auf der Atlantischen Expedition 1969 (GARP) mit dem Forschungsschiff „Meteor“ von N. Czerwinski.

No. 7: 83 Seiten. Mit 32 Abbildungen und 10 Tabellen. 1971.

Inhalt: 1. Messungen der Aerosolgrößenverteilung über dem Atlantik von R. Jaenicke, Ch. Junge und H. J. Kanter. — 2. Ergebnisse der CO₂-Konzentrationsmessung in der ozeannahen Luftschicht und im Oberflächenwasser während der Atlantischen Expedition 1969 von M. Büchen. — 3. Ein Beitrag zum atmosphärischen Schwefelhaushalt über dem Atlantik von M. Büchen und H. W. Georgii. — 4. Eine Apparatur zur Bestimmung atmosphärischer Vertikalprofile von Spurengaskonzentrationen von H. Kühme.

REIHE C

GEOLOGIE UND GEOPHYSIK

Redaktion: E. Seibold — H. Closs

No. 1: 105 Seiten. Mit 25 Abbildungen, 25 Tafeln und 10 Tabellen. 1968.

Inhalt: 1. Die Echolotungen des Forschungsschiffes „Meteor“ im Arabischen Meer während der Internationalen Indischen Ozean-Expedition von J. Ulrich. — 2. Untersuchungen an der heißen Salzlauge und am Sediment des Atlantis II-Tiefs im Roten Meer von M. Hartmann und L. Lohmann. — 3. Zusammensetzung, Gefüge und mechanische Eigenschaften rezenter Sedimente vom Nildelta, Roten Meer und Golf von Aden von G. Einsele und

F. Werner. — 4. Die Verteilung höherer, geradkettiger Paraffine und Fettsäuren in einem Sedimentprofil aus dem Persischen Golf von D. H. Welte und G. Ebhardt. — 5. Sedimentechogramme vom ibero-marokkanischen Kontinentalrand von W. Giesel und E. Seibold.

No. 2: 77 Seiten. Mit 1 Tafel, 51 Abbildungen im Text auf 2 Beilagen, davon 1 Farbkarte, 1969.

Inhalt: 1. Ergebnisse seismischer Untersuchungen im nördlichen Arabischen Meer. Ein Beitrag zur Internationalen Indischen Ozean Expedition. I. Einführung und Problemstellung von H. Closs, II. Instrumentarium und Durchführung der seismischen Messungen von H. Bungenstock und H. Closs, III. Auswertung und Ergebnisse der seismischen Messungen und ihre geologische Deutung von K. Hinz und H. Closs. — 2. Die Bodengestalt des Persischen Golfs von E. Seibold und K. Vollbrecht. — 3. Von Tintinniden agglutinierte Coccolithophoriden im Persischen Golf und im nördlichen Arabischen Meer von E. Martini. — 4. The Great Meteor Seamount. Results of seismic reflection measurements with a pneumatic sound source, and their geological interpretation by K. Hinz.

No. 3: 88 Seiten. Mit 79 Abbildungen und 4 Tafeln. 1970.

Inhalt: 1. Zur Bodengestalt des nordwestlichen Golfs von Oman von E. Seibold und J. Ulrich. — 2. Bestimmung der Sedimentationsrate nach der Jo/Th- und Pa/Jo-Methode an Sedimenten des Indischen Ozeans von D. Heye. — 3. Correlation of sedimentary cores from the Indian Ocean on the basis of their magnetization by D. Heye. — 4. Magnetic investigations of sediment cores from the region of the Great Meteor Seamount by D. Heye. — 5. Über den Aufbau der untermeerischen Tafelberge südlich der Azoren an Hand eines gravimetrischmagnetischen Nord-Süd-Profiles über die Große Meteor-Bank von U. Fleischer, O. Meyer und H. Schaaf. — 6. Über die Struktur der Großen Meteor-Bank nach seismischen Ergebnissen von K. Aric, H. Hirschleber, H. Menzel und W. Weigel. — 7. Beiträge zur Morphologie des Schelfes und der Küste bei Kap Sines (Portugal) von H. G. Gierloff-Emden, H. Schroeder-Lanz und F. Wieneke. — 8. Magnetische Untersuchungen an Sedimentkernen des Mittelmeeres von D. Heye.

No. 4: 76 Seiten. Mit 47 Abbildungen und 12 Tabellen im Text. 1971.

Inhalt: 1. Oberflächensedimente im Persischen Golf und Golf von Oman. I. Geologisch-hydrologischer Rahmen und erste sedimentologische Ergebnisse von M. Hartmann, H. Lange, E. Seibold und E. Walger.

No. 5: 113 Seiten. Mit 4 Tafeln sowie 45 Abbildungen und 8 Tabellen im Text und im Anhang. 1971.

Inhalt: 1. Oberflächensedimente im Persischen Golf und Golf von Oman. II. Quantitative Komponentenanalyse der Grobfraktion von M. Sarnthein.

No. 6: 82 Seiten. Mit 16 Tafeln, 47 Abbildungen und 5 Tabellen im Text sowie 1 siebenfarbige Kartenbeilage. 1971.

Inhalt: 1. Über die Struktur des nördlichen Teiles des westlichen Mittelmeeres von O. Leenhardt. — 2. Ein ferngesteuerte Meßboje mit Datenspeicherung für refraktionsseismische Untersuchungen auf See von H.-W. Kebe. — 3. Lebendbeobachtungen an Groß-Foraminiferen (*Heterostegina*) aus dem Persischen Golf von G. F. Lutze, G. Grabert und E. Seibold. — 4. Untersuchungen über die Zooxanthellen der Foraminifere *Heterostegina depressa* Orbigny von G. Dietz-Elbrächter. — 5. Zur Topographie und Morphologie der Großen Meteorbank von J. Ulrich. — 6. Morphometrische Untersuchung an Hangterrassen der Großen Meteorbank von H. Pasenau.

No. 7: 102 Seiten. Mit 13 Tafeln sowie 54 Abbildungen und 10 Tabellen im Text und 1 Beilage. 1971.

Inhalt: 1. Über die Pollenführung von Sedimentproben aus dem Persischen Golf und dem Golf von Oman von H.-J. Beug. — 2. Porositäten von Plankton-Foraminiferen als Klimaanzeiger? von U. Pflaumann. — 3. Planktonische Foraminiferen in Sedimenten vom iberomarokkanischen Kontinentalrand von J. Thiede.

No. 8: 83 Seiten. Mit 6 Tafeln sowie 52 Abbildungen und 15 Tabellen im Text. 1972.

Inhalt: 1. Cruise to the Norwegian Sea with F. S. „Planet“, August 4—21, 1969. I. General Report by the Chief Scientist H. Closs. II. Preliminary Contributions by the Scientists G. Fritzsche, K. Fromm, M. A. Geyh, R. Hänel, K. Hinz, S. Plaumann. 2. Kieselsäure-Skelette in Sedimenten des iberomarokkanischen Kontinentalrandes und angrenzender Tiefsee-Ebenen von H. J. Schrader. 3. Zur spätpleistozänen und holozänen Sedimentation im zentralen und östlichen Persischen Golf von L. Diester (Mit einem Beitrag: Die Gehalte an organischem Kohlenstoff, Gesamtstickstoff und Karbonat in einem Kern der Hormusbucht von P. Müller).

REIHE D

BIOLOGIE

Redaktion: J. Krey — A. Bückmann — O. Kinne — W. Schäfer

No. 1: 88 Seiten. Mit 7 Textabbildungen und 89 Abbildungen und 2 Tafeln. 1967.

Inhalt: 1. Fische des Indischen Ozeans. Ergebnisse der ichthyologischen Untersuchungen während der Expedition des Forschungsschiffes „Meteor“ in den

Indischen Ozean, Oktober 1964 bis Mai 1965 von A. Kotthaus. — 2. „Multi-
netz“, ein MehrfachschlieBnetz für Phytoplankton von R. Simonsen.

No. 2: 98 Seiten. Mit 80 Abbildungen. 1967.

Inhalt: 1. Bericht über den Forschungsaufenthalt der Litoralgruppe auf der Insel Sarso (Rotes Meer) von S. A. Gerlach. — 2. Die Fauna des Küstengrundwassers am Strand der Insel Sarso (Rotes Meer) von S. A. Gerlach. — 3. Freilebende Meeres-Nematoden von den Sarso-Inseln (Rotes Meer) von S. A. Gerlach. — 4. Die physiographische Zonierung der Saumriffe von Sarso von W. Klausewitz. — 5. Beiträge zur Ökologie und Biologie litoralbewohnender Salariae und Gobiidae (Pisces) aus dem Roten Meer von C. D. Zander. — 6. *Acentrogobius meteori* n. sp. (Pisces, Gobiidae) von W. Klausewitz und C. D. Zander. — 7. Beobachtungen über den Fischadler im Roten Meer *Pandion haliaetus* (L.) von W. Kost.

No. 3: 66 Seiten. Mit 84 Abbildungen (8farbig). 1 Tafel. 1968.

Inhalt: 1. *Coeloplana meteoris* nov. spec. (Ctenophora, Platyctenea). Beschreibung und systematische Stellung von H. Thiel. — 2. Fische des Indischen Ozeans. Ostariophysi und Apodes von A. Kotthaus. — 3. Zur Küstenvegetation der Sarso-Inseln im Roten Meer von R. Simonsen.

No. 4: 101 Seiten. Mit 45 Abbildungen und 24 Tafeln. 1969.

Inhalt: 1. Fische des Indischen Ozeans. Synentognathi von A. Kotthaus. — 2. Fische des Indischen Ozeans. Solenichthyes und Anacanthini von A. Kotthaus. — 3. Tintinnen des westlichen Arabischen Meeres, ihre Bedeutung als Indikatoren für Wasserkörper und Glied der Nahrungskette von B. Zeitzschel.

No. 5: 70 Seiten. Mit 78 Abbildungen im Text und 1 Beilage. 1970.

Inhalt: 1. Forcipiger longirostris und Chaetodon leucopleura (Pisces, Perciformes, Chaetodontidae), zwei Neunachweise für das Rote Meer, und einige zoogeographische Probleme der Rotmeer-Fische von W. Klausewitz. — 2. The Pycnogonida collected off northwestern Africa during the cruise of the „Meteor“ by J. H. Stock. — 3. Zur Ökologie und Ernährungsbiologie der Euphausiaceen (Crustacea) im Arabischen Meer von R. Weigmann. — 4. Fische des Indischen Ozeans. A. Systematischer Teil VI: Anacanthini (2), Berycomorphi, Zeomorphi von A. Kotthaus.

No. 6: 75 Seiten. Mit 17 Abbildungen, 27 Tafeln und 1 Karte im Text. 1970.

Inhalt: 1. The marine algae of the northern part of the Arabian Sea and of the Persian Gulf by M. Nizamuddin and F. Gessner. — 2. Fische des Indischen Ozeans. A. Systematischer Teil VII: Percomorphi (1) von A. Kotthaus. — 3. Fische des Indischen Ozeans. A. Systematischer Teil VIII: Percomorphi (2) von A. Kotthaus.

model
wegen
werden
Die Erp
Bände
einzel
Die Er
umfan
Aussta
An Er

Reihe
Nr. 1:

Nr. 2:

Nr. 3:

Nr. 4:

Reihe E
Nr. 1:

Nr. 2:

Nr. 3:

Nr. 4:

Nr. 5:

Nr. 6:

Nr. 7:

In Vorb
Nr. 8:

Die
Institut,
schrift er
(1962) e
Die Deu
Deutschi
Meteorol
Bibliogr
däsie, N
denen v

No. 7: 58 Seiten. Mit 31 Abbildungen, davon 4 farbig, und 13 Tabellen im Text. 1970.

Inhalt: 1. Die biologischen Arbeiten auf den „Atlantischen Kuppenfahrten 1967“ des F. S. „Meteor“. Vorwort von G. Hempel. — 2. Probleme und Methoden der planktologischen Arbeiten auf den Atlantischen Kuppenfahrten von F. S. „Meteor“ März bis Juli 1967 von J. Kinzer und G. Hempel. — 3. Bericht über die Benthosuntersuchungen während der „Atlantischen Kuppenfahrten 1967“ von F. S. „Meteor“ von H. Thiel. — 4. Die neue, ökologisch extreme Sand-Ascidie von der Josephine-Bank: *Seriocarpa rhizoides* Diehl 1969 (Asciacea, Styelidae) von M. Diehl.

No. 8: 70 Seiten. Mit 33 Abbildungen und 12 Tabellen im Text. 1971.

Inhalt: 1. Verteilung und Nahrung des Ichthyoneuston im subtropischen Nordostatlantik von J. Hartmann. — 2. On the near-bottom plankton and benthic invertebrate fauna of the Josephine Seamount and the Great Meteor Seamount by I. H. Hesthagen.

No. 9: 120 Seiten. 1971.

Inhalt: Planktologisch-chemische Daten der „Meteor“-Expedition in den Indischen Ozean 1964/65 von J. Krey, R. Boje, M. Gillbricht und J. Lenz.