

W. W. SCHULEJKIN

Theorie der Meereswellen

Übersetzung aus dem Russischen

Vom Verfasser neu bearbeitete und ergänzte Ausgabe

In deutscher Sprache herausgegeben von Erich Bruns

1960. VII, 158 Seiten — 49 Abbildungen — 3 Tabellen — gr. 8° — Ganzleinen DM 26,—

Für die Seefahrer, Fischer und Schiffsbauer war die Kenntnis über das Verhalten der Meereswellen schon immer von ausschlaggebender Bedeutung. Eine exakte allgemeingültige Theorie der Meereswellen konnte jedoch bisher nicht erarbeitet werden.

So versucht der namhafte Verfasser in diesem Werk eine umfassende Theorie der Meereswellen zu geben, indem er zuerst von der klassischen Wellentheorie ausgeht und danach einige Probleme der Wellen des Seichtwassers und des tiefen Meeres für den Fall einer zweidimensionalen Welle neu löst. Seinen Ergebnissen legt er sowohl theoretische Überlegungen zugrunde, als auch seine zahlreichen Beobachtungen und Messungen von Wellen an der Küste und im offenen Ozean während seiner langjährigen Expeditionstätigkeit. Außerdem verbindet er die Ergebnisse der Theorie und der Beobachtungen durch eigens für diesen Zweck durchgeführte Versuche in einem runden sogenannten „Sturmbecken“, einem von ihm erbauten Speziallaboratorium für Wellenforschungen.

Bestellungen durch eine Buchhandlung erbeten



A K A D E M I E - V E R L A G . B E R L I N

DAW
Institut für Meereskunde
DEUTSCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN
— Bibliothek —
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE

BEITRÄGE ZUR MEERESKUNDE

HERAUSGEGEBEN

VON

ERICH BRUNS

HEFT 1



A K A D E M I E - V E R L A G . B E R L I N

1961

Z-5/1(1)

DEUTSCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE

BEITRÄGE ZUR MEERESKUNDE

HERAUSGEGEBEN

VON

ERICH BRUNS

HEFT 1



AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

1961

7-5/1 (Magazinheft)

INHALT

E. BRUNS: Geleitwort	5
E. BRUNS: Meereskundliche Expeditionen der DDR auf dem Forschungsschiff „M. W. Lomonossov“ im Atlantischen Ozean	7
G. SAGER: Die Größtgeschwindigkeiten der Gezeitenströme zur mittleren Springzeit in der Nordsee, dem Kanal und der Irischen See	19
O. KOLF und CH. ENZENROSS: Über einige Laborerfahrungen bei der Kennzeichnung von Meeressand mit lumineszenten Farbstoffen	27
G. WOLF: Über die hydrologischen Verhältnisse in der westlichen Ostsee im November 1953	39
D. BÖHL: Untersuchungen zur Strömungsmessung mit Fix- und Schleppelektroden	48
K. VOIGT: Äquatoriale Unterströmung auch im Atlantik	56
D. BÖHL: Buchbesprechung zu G. SAGER „Gezeiten und Schifffahrt“	61
E. BRUNS: Buchbesprechung zu W. W. SCHULEJKIN „Theorie der Meereswellen“	62
Beilage: Karte der maximalen Gezeitenströme Fahrtrouten der „Lomonossov“	

Erschienen im Akademie-Verlag GmbH, Berlin W 8, Leipziger Straße 3—4
Copyright 1961 by Akademie-Verlag, Berlin
Alle Rechte vorbehalten
Lizenz-Nr. 202 · 100/555/61
Kartengenehmigung Mdi der DDR Nr. 5852
Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer“ Bad Langensalza
Bestell-Nr.: 2105/1
Preis: DM 12,—
Printed in Germany
ES 18 E 4

Geleitwort

Die bisher in der Deutschen Demokratischen Republik durchgeführten Forschungsarbeiten auf dem umfangreichen Gebiet der Meereskunde hatten eigentlich noch kein eigenes Veröffentlichungsorgan, wie es zum Beispiel in Westdeutschland das Institut für Meereskunde in Kiel durch seine „Kieler Meeresforschungen“ besitzt. Analoge Institute anderer Staaten haben neuerdings auch solche Zeitschriften oder Schriftenreihen, die speziell dem Aufgabengebiet der Meereskunde gewidmet sind. Als Beispiel eines solchen Publikationsorganes sei die „Merentutkimuslaitoksen Julkaisu“ des Merentutkimuslaitos, also des Institutes für Meereskunde Finnlands, angeführt.

In der UdSSR gibt es auch eine Anzahl solcher speziellen Publikationsreihen der dort bestehenden zahlreichen Spezialinstitute der meereskundlichen Forschungsrichtung, wie z. B. die „Werke des Institutes für Ozeanologie“ (Труды Института Океанологии), „Werke des Seehydrophysikalischen Institutes“ (Труды Морского Гидрофизического Института), „Werke des Staatlichen Ozeanographischen Institutes“ (Труды Государственного Океанографического Института) und dergleichen mehr.

Unabhängig davon wurden in verschiedenen Ländern bisher grundsätzlich Aufsätze mit meereskundlichem Inhalt in hydrographischen Publikationsorganen veröffentlicht, so z. B. seit 1946 in der „Deutschen Hydrographischen Zeitschrift“ des Deutschen Hydrographischen Institutes Hamburg als Weiterführung der seinerzeit bekannten deutschen „Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie“. Ähnliches geschah auch in der UdSSR in der bekannten Schriftenreihe der „Annalen für Hydrographie“ (Записки по Гидрографии) der Haupthydrographischen Verwaltung bzw. in Monaco in „International Hydrographic Review“.

In der Deutschen Demokratischen Republik wurden 1951—1958 Aufsätze meereskundlichen Inhalts in den bisher erschienenen neun Heften der „Annalen für Hydrographie“ des Seehydrographischen Dienstes der DDR veröffentlicht, die aber ihr Erscheinen eingestellt haben.

Die Erweiterung der Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Ozean- und Meereskunde in der ganzen Welt, nicht zuletzt durch internationale Zusammenarbeit in dem 1957—1958 durchgeführten Internationalen Geophysikalischen Jahr intensiviert, erfordert neuerdings eine Konzentrierung der diesbezüglichen umfang-

reichen Veröffentlichungen in speziellen Publikationsorganen für Meereskunde, wie es bereits in mehreren, in meereskundlicher Forschungsarbeit maßgebenden Ländern der Fall ist.

Der Gebrauch dieser zahlreichen Veröffentlichungen in einem Spezialorgan für Meereskunde ist immer einfacher und vorteilhafter als in den sehr breit ausgerichteten hydrographischen Organen, umso mehr, als auch in der Hydrographie und Nautik, bedingt durch die Vergrößerung und Spezialisierung der technischen Voraussetzungen für die Navigation, Funkortung, Kartographie, Seezeichenwesen und ähnlichem spezialisierte Veröffentlichungsreihen sich anbahnen.

Dieser neuen spezialisierten Ausrichtung der Veröffentlichungen Rechnung tragend, beginnt das Institut für Meereskunde Warnemünde der Forschungsgemeinschaft der naturwissenschaftlichen, technischen und medizinischen Institute der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin in der Deutschen Demokratischen Republik mit der Veröffentlichung von Arbeiten aus dem Gebiet der Meereskunde, die vorwiegend im Institut selbst entstanden sind, in einer neuen Schriftenreihe, für die die Benennung

„Beiträge zur Meereskunde“

gewählt worden ist.

Die „Beiträge zur Meereskunde“ werden nicht periodisch, sondern nach Anfall von Arbeiten mit fortlaufender Numerierung der Hefte im Akademie-Verlag Berlin erscheinen.

Es wird gebeten, eventuelle Zuschriften zum Inhalt der „Beiträge zur Meereskunde“ an das Institut für Meereskunde in Warnemünde, Seestraße 15 zu richten.

Im März 1960

ERICH BRUNS

Meereskundliche Expeditionen der DDR auf dem Forschungsschiff „M. Lomonossov“ im Atlantischen Ozean

Von ERICH BRUNS

Zusammenfassung: Die Schilderung des Zustandekommens, der Thematik und des Verlaufes der sieben bereits stattgefundenen Fahrten des Forschungsschiffes „M. Lomonossov“ im Nord- und Südatlantik in den Jahren 1957 bis 1960 und einiger ihrer für die Meereskunde wichtigen vorläufigen Ergebnisse hatte das Ziel, einen Gesamtüberblick über die geleisteten Arbeiten zu vermitteln.

Der vorliegende, einführende Aufsatz stellt gewissermaßen den Anfang einer Reihe diesbezüglicher Arbeiten dar, die nach Bearbeitung der Meßwerte die neu gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse der Fahrtteilnehmer auf dem Gebiet der Erforschung des Atlantischen Ozeans schildern werden. Auch der Beschreibung der neuzeitlichen, bei den Messungen verwendeten meereskundlichen Geräte, ihrem Einsatz und der Genauigkeit ihrer Arbeit, soll genügend Platz gegeben werden. Dies umso mehr, als man daraus gewisse Folgerungen über die Genauigkeit der Meßergebnisse und der sich ergebenden Erkenntnisse erhalten kann.

Zustandekommen der meereskundlichen Expeditionen der DDR auf dem Forschungsschiff „M. Lomonossov“ und ihre Bedeutung für die DDR

Das Institut für Meereskunde in Warnemünde der Forschungsgemeinschaft der naturwissenschaftlichen, technischen und medizinischen Institute der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin hat als eine seiner Aufgaben die meereskundlichen Erforschungen der westlichen Ostsee und der mit ihr in Verbindung stehenden Gewässer der mittleren Ostsee sowie der Übergangsgebiete zur Nordsee und dem Atlantischen Ozean durchzuführen.

Die anliegenden großen Ozeangewässer üben bekanntlich bei gewissen Witterungslagen einen Einfluß auf die Zirkulationserscheinungen in der westlichen Ostsee aus, die selbst ein Durchgangsgebiet mit verschiedenen ozeanischen Prozessen darstellt. Die Temperaturverhältnisse und insbesondere die des Salzgehaltes der dort zirkulierenden Wassermassen, ihre Schichtung oder Vermischung hängen mit den Gesamtzirkulationsprozessen der Nord- und Ostsee zusammen. Dieser Wasseraustausch geschieht verhältnismäßig schnell und ist ähnlich variabel, wie die ihn verursachende Witterung. Unabhängig von dem bereits Gesagten hängt diese besondere Lage der westlichen Ostsee auch mit ihren verhältnismäßig geringen Tiefen und den bekannten Eigenarten ihres Bodenreliefs zusammen.

Die meereskundliche Erforschung solch eines komplizierten Gewässers erfordert den gleichzeitigen Einsatz mehrerer Forschungsschiffe nach einem einheitlichen Programm auf Grund internationaler Vereinbarungen, weil nur große Staaten über eine größere Anzahl von Forschungsschiffen verfügen können. Die beiden Expeditionsschiffe des Institutes für Meereskunde, M. S. „Joh. L. Krüger“ und M. S. „Magnetologe“ versuchten in den Jahren bis 1956 das große Gebiet der westlichen und mittleren Ostsee synchron zu den international festgelegten Terminen zu befahren. Es zeigte sich aber, daß diese beiden Schiffe das gesamte Programm für den gegebenen Zweck nicht voll erfüllen können, weil das Seegebiet zu groß ist. Deswegen wurde 1956 auf einer Konferenz mehrerer Randstaaten der Ostsee auf Vorschlag des Verfassers der Plan einer Gesamterforschung der mittleren und westlichen Ostsee mit Hilfe von insgesamt fünf Forschungsschiffen beschlossen und ab 1957 in die Tat umgesetzt. Die Empfehlungen der späteren zwei Konferenzen der Ozeanographen der Ostsee 1957 in Helsinki und 1959 in Kiel hinsichtlich der Abänderung der vier jährlichen Terminfahrten in fünf werden bei der Durchführung der Messungen mit Hilfe von fünf Schiffen ab 1959 weitestgehend berücksichtigt. Auf das Institut für Meereskunde Warnemünde entfällt als DDR-Beitrag auch die laufende Durchführung des Schnittes I im Arkonabecken (Ystad — Swinoujcie).

Alle diese Maßnahmen reichten aber nicht aus, um die Zusammenhänge und den Einfluß des salzigen Ozeanwassers auf das Brackwasser der Ostsee, insbesondere die so lebenswichtigen Probleme der Salzeinbrüche der Wassermassen aus dem nördlichen Teil der Nordsee durch das Skagerrak und das Kattegat in die Ostsee zu erforschen. Deswegen wurden Möglichkeiten zu einer diesbezüglichen Forschung gesucht.

Gleichzeitig wurde das seit 1954 begonnene Konstruieren und Bauen einer Reihe neuartiger meereskundlicher Registriergeräte so ausgerichtet, daß diese jetzt gebauten Geräte nicht nur von den kleineren Forschungsschiffen des Institutes für Meereskunde in der Ostsee, sondern auch auf großen Schiffen mit Hilfe von elektrischen Spezialwinden bei größeren Tiefen einsetzbar waren.

Davon Kenntnis erhalten, schlug die UdSSR, und zwar das Seehydrophysikalische Institut der Akademie der Wissenschaften in Moskau, im Rahmen des Internationalen Geophysikalischen Jahres dem Institut für Meereskunde ab Herbst 1957 eine Zusammenarbeit auf seinem in der DDR auf der Neptun-Werft in Rostock gebauten größten Forschungsschiff „M. Lomonosov“ vor. Es stellte hierfür auch ein größeres Laboratorium für die Aufstellung der Registriergeräte und einen Teil des Hauptdeckes im Vorschiff für das Aufstellen von Spezialwinden zur Verfügung.*

Diese Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Meereskunde unter gleichzeitiger Hinzuziehung einer Reihe an der meteorologischen Erforschung des Atlantiks interessierter Mitarbeiter des Meteorologischen und Hydrologischen Dienstes der

*) An dieser Stelle sei nochmals der gebührende Dank der Akademie der Wissenschaften der UdSSR ausgesprochen.

DDR wurde in den Plan der Arbeiten des Nationalkomitees der DDR für das IGJ und IGC aufgenommen.

Die Hauptaufgaben des Institutes für Meereskunde bei dieser Zusammenarbeit in der meereskundlichen Erforschung des Atlantischen Ozeans, insbesondere in seinem nördlichen Teil, bestehen:

- a) in der Beteiligung an der Erforschung der Dynamik der Oberflächenschicht des Ozeans, insbesondere durch systematische Messungen der Wellenelemente mit Hilfe des neuen Hochseewellenschreibers des VEB WTBG Berlin, sowie in der systematischen Messung der Strömungen mit Hilfe einer Reihe von neuen, für das Institut für Meereskunde erbauten Strömungsmeßanlagen des VEB WTBG Berlin,
- b) in der Erforschung der thermo-halinen Struktur der Oberflächenschicht des Atlantischen Ozeans und des nördlichen Teiles der Nordsee bis zu Tiefen von 400—500 m z. Beispiel mit Hilfe des neu erbauten Temperatur- und Salzgehaltsfühlers des VEB WTGB Berlin, sowie auch
- c) in speziellen erdmagnetischen Messungen im Ozean mit Hilfe eines für das Institut für Meereskunde erbauten neuartigen, geschleppten Seemagnetographen des VEB WTGB Berlin.

Eine jahrelange Forschungsarbeit insbesondere an dem zweiten Thema kann es ermöglichen, bei verschiedenen Witterungsperioden und Jahreszeiten die Veränderungen der Zirkulation vom nordatlantischen Ozeanwasser bis zur Ostsee zu erforschen, bzw. ein diesbezügliches mit verschiedenen Meßmethoden gewonnenes Material nach Möglichkeit synchron mit den Messungen der anderen Forschungsschiffe in der Ostsee zu erhalten.

Die bisherige jahrelange Zusammenarbeit beider Institute gestaltete sich sehr fruchtbar, wie es aus der weiteren kurzen Schilderung der bereits durchgeführten monatelangen Forschungsfahrten im Nord- und Südatlantik hervorgeht.

In den Jahren 1957—1960 durchgeführte Expeditionen, ihre Fahrtrouten und einige meereskundliche Ergebnisse

Das große sowjetische Forschungsschiff „Michail Lomonosov“ (s. Abb. 1) hat 5960 Wasserverdrängungstonnen, so daß die 60 Mann starke Schiffsbesatzung sowie die 66 Mann starke wissenschaftliche Besatzung in guten Kajüten untergebracht sind. Zwölf größere Laboratorien und Meßräume gestatten es, alle Meß- und Registriergeräte unterzubringen. Ein Laboratorium auf dem Hauptdeck im Vorschiff wurde der deutschen Guppe als Arbeitsraum und zum Aufstellen aller Registriergeräte zur Verfügung gestellt. In diesem Laboratorium backbordseits waren die meereskundlichen und steuerbordseits die meteorologischen Registriergeräte der deutschen Gruppe untergebracht.

Auf die „Michail Lomonosov“ entfiel ein guter Teil des großen meereskundlichen Programms des Internationalen Geophysikalischen Jahres, besonders eine Reihe von Arbeiten für die Erforschung der „Tiefenzirkulation“, der „Polarfront-

aufnahmen“ und der sog. „Mehrschiffbeobachtungen“, die auch eng mit der Erforschung des Golfstromes zusammenhängen (s. hierzu einen Aufsatz des Verfassers in „Annalen für Hydrographie“ des SHD der DDR, Stralsund 1957, Heft 9). Die bereits erwähnten zwei meereskundlichen Hauptthemen der deutschen Gruppe sind Teilaufgaben des großen Programms.

Die 60 sowjetischen Wissenschaftler an Bord der „M. Lomonosov“ unterteilten sich in allen Fahrten jeweils in 11 Gruppen und zwar in die Gruppen Hydrologie, Hydrobiologie, Hydrochemie, Meeresgeologie, Thermik, Meteorologie und Aero-

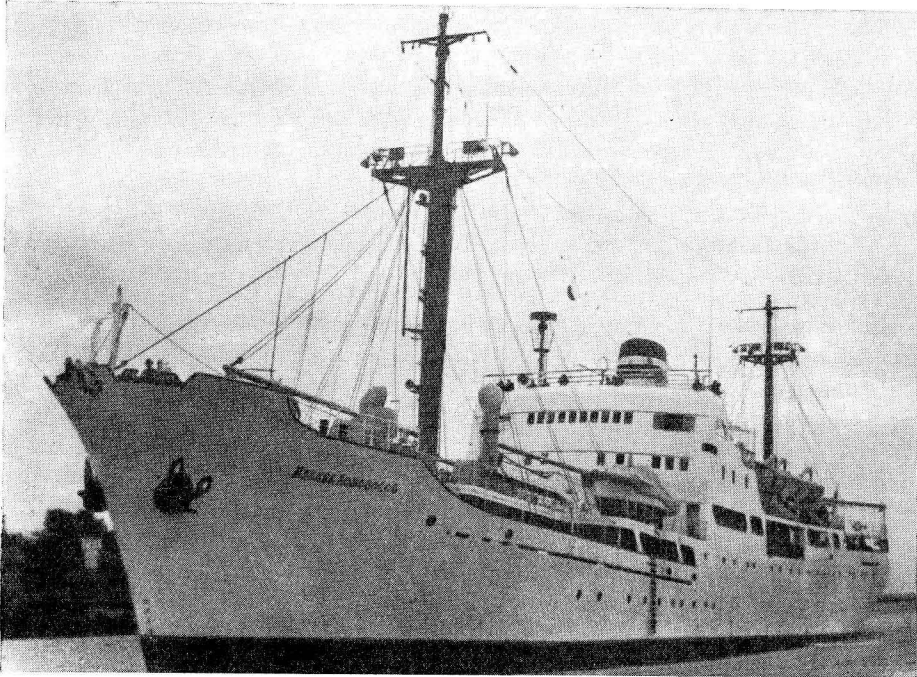


Abb. 1. Das sowjetische Forschungsschiff „Michail Lomonosov“

logie, Schiffsbewegungen und Schiffsfestigkeit, Wellenforschungen, Seevermessung und Lotung, Optik und Akustik.

Die deutsche ozeanologisch-meteorologische Gruppe bestand meist aus 6 Mann und unterteilte sich in zwei Untergruppen, eine ozeanologische und eine meteorologische.

Erste Fahrt der „M. Lomonosov“ im November und Dezember 1957 im Nordatlantik

Die erste Fahrt leitete der stellvertretende Direktor des Seehydrophysikalischen Institutes der UdSSR, Prof. Dr. A. A. Iwanow mit seinem wissenschaftlichen Stellvertreter, Dr. G. P. Ponomarenko. Das Schiff führte Kapitän Rudnich. Die

deutsche Gruppe unter Leitung des Direktors des Institutes für Meereskunde Warnemünde, Prof. Dr. E. Bruns, bestand aus 4 Wissenschaftlern und 2 Ingenieuren und unterteilte sich in:

- | | |
|------------------|--|
| Ozeanologen | — Prof. Dr. E. Bruns, (Inst. f. Meereskunde) |
| | Dipl.-Met. P. Hupfer (Geoph. Inst. K. M.- |
| | Univ. Leipzig) und |
| | Ingenieur Terp (WTBG Berlin) |
| und Meteorologen | — Dr. Skeib (MHD Potsdam) |
| | Dr. H. Hinzpeter (MHD Potsdam) und |
| | Ingenieur Wankowski (WTBG Berlin) |

Die Fahrtroute der „M. Lomonosov“ zeigt Abb. 2 (siehe Beilage). Sie verlief zwischen der Nordsee und den atlantischen Gewässern um Island mit insgesamt 51 Triftstationen bei 4000 Seemeilen der Gesamtstrecke. Auf den Stationen der Ostsee von Warnemünde an, im Kattegat und Skagerrak sowie im nördlichen Teil der Nordsee war im November auf der Hinfahrt in der oberen Wasserschicht von rund 20–25 m Tiefe eine thermo-haline Sprungschicht festzustellen. Diese Erscheinung war auch im Dezember auf der Rückfahrt vorhanden. Die obere Schicht bis zu 20 m Tiefe bestand aus kaltem Ostseewasser von rund +9°C. Anschließend folgte tiefer eine Sprungschicht von rund 4 m Stärke oberhalb eines wärmeren Nordseewassers mit Wassertemperaturen bis zu +11°C. Im Atlantischen Ozean dagegen zeigte sich bei allen Schnitten eine winterliche Homothermie in allen Schichten fast bis 1000 Meter Tiefe. An der Oberfläche war das atlantische Wasser warm mit +9° bis +10° C und in 1000 m Tiefe um +7° C, ohne das sich in noch tieferen Schichten oder am Boden das kalte arktische Wasser aus dem Nordpolarmeer zeigte. In dieser Jahreszeit war das eine Sondererscheinung, denn normalerweise geht die Vermischung der Wasserschichten und der Transport von warmen Wassermassen aus dem Golfstromsystem nur bis zu Tiefen von 400–600 Metern vor sich. Im Dezember erfolgte auf der Rückfahrt ein ozeanologischer Schnitt weiter nördlich zwischen den Faröer- und Shetland-Inseln, um in diesem warmen Winter dort die Verhältnisse mit den Ergebnissen dänischer Ozeanologen zu vergleichen, die diesen Schnitt seit vielen Jahren fahren. Trotz der Homothermie in den oberen Schichten zeigte der Schnitt, daß die Bodentemperaturen negative Werte bis zu –0,50° C aufwiesen. Dieses deutete auf das Vorhandensein schweren arktischen Wassers hin. Zum Vergleich sei angeführt, daß die „Dana“ im Sommer 1946 in 1200 Meter Tiefe dieses Schnittes Temperaturen bis zu –0,94° C gemessen hat. Hieraus ergibt sich die Folgerung, daß die im November–Dezember 1957 angetroffenen Bodenwassertemperaturverhältnisse für diese Jahreszeit als warm zu bezeichnen sind.

Während des stürmischen Wetters dieser ersten Fahrt der „M. Lomonosov“ konnte am 22. November 1957 bei Winden aus Südwest und 8 Beaufort Stärke eine maximale Wellenhöhe von 11,4 Metern mit dem neuen Hochseewellenschreiber des VEB Wissenschaftlich-Technischen Büros für Gerätebau Berlin gemessen werden.

Zweite Fahrt der „M. Lomonossov“ von Februar bis Juni 1958 im Nordatlantik

Diese Fahrt wurde wiederum von Prof. Dr. A. A. Iwanov und seinem wissenschaftlichen Stellvertreter, Dr. G. P. Ponomarenko geleitet. Das Schiff führte erneut Kapitän Rudnich.

Die deutsche Gruppe, wiederum aus 6 Mitgliedern bestehend, unterteilte sich in:

- | | |
|--------------|--|
| Ozeanologen | — Dipl.-Met. G. Wolf (Inst. f. Meereskunde)
Dipl.-Met. R. Helm (Inst. f. Meereskunde) und
Ingenieur Reinfeldt (WTBG Berlin) |
| Meteorologen | — Dr. H. Hinzpeter (MHD Potsdam, gleichzeitig
Leiter der Gesamtgruppe)
Ingenieur Wankowski (WTBG Berlin) und
Ingenieur Matern (MHD Potsdam) |

Entgegen den Plänen mußte die „M. Lomonossov“ auf Wunsch des Internationalen Komitees für das IGJ Schnitte vor der Küste der USA übernehmen und den Bereich ihrer Arbeiten auf den Nordatlantik konzentrieren, wie es Abb. 2 zeigt. Die 5 Längsschnitte verlaufen generell in Richtung NW—SE, der sechste überquert den Ozean in West-Ost-Richtung beim 50. Breitengrad. Die Schnitte 7 und 8 erfolgten nach einem Anlaufen des Hafens Liverpool, wobei zu Anfang der Fahrt die Azoren angelaufen wurden.

Die zweite Fahrt umfaßt insgesamt 145 Triftstationen und drei 24-stündige Ankerstationen bei Tiefen über 4000 m bei einer Gesamtfahrtstrecke von über 12200 Seemeilen. Sie verlief im März und April in aktiven Zyklonengebieten, die restliche Fahrtzeit bei ziemlich ruhigem Wetter.

Wie auf der ersten Fahrt ergab sich im Atlantischen Ozean auch jetzt im Winter und Frühjahr 1958 eine Homothermie, eine tiefe winterliche Vermischung bis 1000 m Tiefe mit Oberflächentemperaturen von $+14^{\circ}$ bis $+8^{\circ}$ C. Die unteren Schichten waren kalt mit Temperaturen bei $-1,0^{\circ}$ C, wobei deren Herkunft aus dem arktischen Bodenwasser am wahrscheinlichsten ist.

Als Maximum der Wellenhöhen wurden nach sowjetischen Messungen 11,0 Meter vorerst festgestellt. Die Bearbeitung der zahlreichen sowjetischen und deutschen Wellenmessungen, insbesondere der 2000 Paar stereophotogrammetrischen Wellenaufnahmen und der 20000 Wellenbeobachtungen mit dem Schlitzwellenmesser von A. A. IWANOV, kann noch andere Ergebnisse zeigen.

Interessant sind die Ergebnisse 80 systematischer sowjetischer Messungen der Radioaktivität der Wassermassen des Atlantischen Ozeans. Eine erhöhte Radioaktivität ist hauptsächlich in drei Zonen vorhanden gewesen. Die höchsten Werte wurden im Quadrat 48° bis 20° N und 55° bis 40° W angetroffen.

Die Verteilung der Zonen mit Verstärkung der radioaktiven Verseuchung gibt die Möglichkeit zu vermuten, daß sie im Ergebnis der Auswaschung eines stark verseuchten Herdes entstanden sind. Die tiefen Wasser des nördlichen Teiles des Atlantischen Ozeans waren im allgemeinen wenig radioaktiv. Nur an zwei Sta-

tionen mit 3700 und 5200 m Wassertiefe war eine Zunahme der Radioaktivität merkbar.

Zahlreiche Plankton- und Bodenproben, sowie Entnahmen von ungestörten Bodenkernen mit leichtem Stoßrohr, ergänzen die umfangreichen Meßergebnisse dieser Fahrt.

Dritte Fahrt der „M. Lomonossov“ im Nordatlantik

Die dritte Fahrt ohne Mitarbeit der deutschen Gruppe aus der DDR, bestand aus einer 15-tägigen Ankerstation der „M. Lomonossov“ im Bereich zwischen Island und den Faröer-Inseln, wobei gleichzeitig noch ein zweites sowjetisches Expeditionsschiff, die „Äquator“, im gleichen Gebiet ebenfalls eine 15-tägige Ankerstation vornahm. Während dieser Zeit wurden Tag und Nacht in kurzen Abständen alle hydrologischen Faktoren in den Schichten bis zum Meeresboden gemessen.

Aus diesen fortlaufenden Messungen erhält man die Pulsation einzelner Faktoren wie Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoffsättigung, Strömungsrichtung und -geschwindigkeit, im Querschnitt und mit der Tiefe, die sonst bei der üblichen Meßmethodik nach Schnitten nie zum Vorschein kommen. Besonders sind diese Messungen zur Feststellung der Veränderlichkeit der Lage der Polarfront geeignet.

Vierte Fahrt der „M. Lomonossov“ vom Oktober bis Dezember 1958 im Nordatlantik

Diese Fahrt leitete Dr. G. P. Ponomarenko. Das Schiff führte der neue Kapitän I. A. Scholtis. Die wiederum 6 deutschen Teilnehmer unterteilten sich in:

- | | |
|--------------|--|
| Ozeanologen | — Dipl.-Met. K. Voigt, (Inst. f. Meereskunde)
Chemiker E. Werner (Inst. f. Meereskunde und
Ingenieur Wetzel (WTBG Berlin) |
| Meteorologen | — Dr. Grasnick (MHD Potsdam, gleichzeitig Leiter
der Gesamtgruppe)
Dipl.-Met. Ch. Popp (MHD Potsdam) und
Cand. phys. Entzian (MHD Potsdam). |

Die Ozeanologen hatten während dieser Fahrt außer den bereits mehrfach eingesetzten Geräten den neuen Temperatur- und Salzgehaltsschreiber und den elektrischen Bifilar- und Unifilarströmungsmesser des VEB WTGB Berlin, die beide bis zu Tiefen von 500 m kontinuierlich einsetzbar sind, mit ihren elektrischen Kabelwinden auf dem Schiff aufgebaut.

Die Fahrtroute (s. Abb. 2) war die gleiche wie bei der zweiten Fahrt. Sie ging, wie das vorige Mal, über das Skagerrak und die Nordsee, den englischen Kanal bis zur Biskaya, wo bei Kap Finisterre die erste Station bei schwerem Seegang anfang, der die nächsten 6 Wochen anhielt und Wellenhöhen bis zu 16 m aufwies.

Die Anlaufhäfen waren dieses Mal zuerst der kanadische Hafen St. Johns auf Neufundland und dann Liverpool.

Die Ergebnisse der vierten Fahrt sind weitgehend denen der zweiten Fahrt ähnlich, nur sind hier die jahreszeitlich bedingten Veränderlichkeiten einzelner Faktoren verschieden wirksam, außerdem auch die sehr schweren atmosphärischen Verhältnisse. So waren die Bewegungsvorgänge intensiver, die Wellen höher und beständiger. Die radioaktive Verseuchung des Nordatlantiks war etwas größer als während der zweiten Fahrt.

Die deutschen Ozeanologen vom Institut für Meereskunde setzten erstmalig den T-S-Fühler ein und führten sehr genaue kontinuierliche Sondierungen der Temperatur und des Salzgehaltes in der oberen Schicht von 400 Metern aus.

Hieraus ergaben sich neue Vorstellungen über die Wärmeverhältnisse und die Salzgehaltsverteilung in den Wassermassen dieser Schicht. Die Resultate der Wellenmessungen mit dem Hochseewellenschreiber haben Neues in der Zusammensetzung des Wellenspektrums gegeben. Strömungsmessungen mit Hilfe des fernregistrierenden und selbstregistrierenden Strömungsschreibers des VEB WTGB Berlin waren erfolgreich.

Fünfte Fahrt der „M. Lomonossov“ von April bis Juli 1959 im Nord- und Südatlantik

Die Fahrtroute der 5. Fahrt (s. Abb. 3) unterscheidet sich sehr von den vorigen Fahrten. Auf Vorschlag des Leiters der Atlantischen Kommission der Akademie der Wissenschaften der UdSSR Akademiemitglied *Prof. Dr. W. W. Schulejkin*, eines namhaften Ozeanologen, wurde ein ozeanologischer Schnitt längs des Meridians 30° West von der Eisgrenze in der Arktis (68° Nord) bis zum Breitengrad von Rio de Janeiro (23° Süd) gelegt.

Auf der Hinfahrt zum Meridian 30° West und ab Rio de Janeiro zurück nach Warnemünde über Dakar und Liverpool erfolgten keine Messungen.

Die Expeditionsleitung lag während dieser Fahrt wieder in der Hand von *Prof. Dr. A. A. Iwanov* und seinem Stellvertreter, *Dr. W. A. Lednew*. Das Schiff führte *I. A. Scholtis*. Die Einteilung der sowjetischen Gruppen ist der der ersten Fahrt gleich.

Die deutsche Gruppe, aus vier Teilnehmern bestehend, unterteilt sich in:

- | | |
|--------------|--|
| Ozeanologen | — Dipl.-Met. <i>K. Voigt</i> (Inst. f. Meereskunde) und
Ingenieur <i>Wetzel</i> (WTBG Berlin) |
| Meteorologen | — <i>Dr. Grasnick</i> (MHD Potsdam, gleichzeitig Leiter
der Gesamtgruppe) und
Dipl.-Met. <i>Ch. Popp</i> (MHD Potsdam) |

und besitzt dieselbe Geräteausrüstung wie bei der vierten Fahrt.

Der Längsschnitt längs dem Meridian 30° West kreuzt alle Strömungssysteme des Atlantischen Ozeans. Aus den Ergebnissen dieser Fahrt lassen sich die Lage

und Grenzen der Strömungssysteme in der betreffenden Jahreszeit feststellen. Hierzu wurden 55 Triftstationen in Abständen von 120—200 Seemeilen und 4 Dauerstationen auf dem Schnitt angeordnet.

Die vier Dauerstationen verteilen sich von der Eisgrenze bis zum Breitengrad von Rio de Janeiro. Die erste lag an der Eisgrenze im Norden, die zweite im Golfstromsystem, die dritte bei den Azoren und die vierte am Äquator. Sie dienten zur Erforschung der Pulsation der Strömungen, der Temperatur und des Salzgehaltes in den verschiedenen Wasserschichten. Während der fünften Fahrt wurde z. B. festgestellt, daß neben dem bekannten Äquatorialen Gegenstrom unmittelbar am Äquator eine zweite Gegenströmung existiert. Die Strömung verlief dort in östlicher Richtung mit ziemlicher Geschwindigkeit von 85 cm/sec. Weitere Einzelheiten hierüber siehe z. B. im Aufsatz von *K. Voigt*.

Die radioaktive Verseuchung des Atlantiks war ungefähr doppelt so groß wie bei der vierten Fahrt.

Bei den Dauerstationen wurde erstmalig eine ganz kurz an einer Trosse verankerte Boje mit Radarreflektor ausgelegt. Unter dieser Boje hing an der Trosse eine Reihe von selbstregistrierenden Strömungsmessern vom Typ *ALEXEJEW* in verschiedenen Tiefen bis zu 1200 m, die synchron über längere Zeit die Stromrichtung und -geschwindigkeit registrierten. Vom Forschungsschiff wurde mit Hilfe des Radargerätes die Boje mit ihren geringen Schwojbewegungen auf dem Radarschirm laufend festgehalten. Gleichzeitig lief der Kursschreiber des Schiffes, der die Bewegungen des verankerten Schiffes wiedergab. Auf dem Forschungsschiff war zu dieser Zeit der deutsche fernregistrierende Strömungsschreiber Typ *WTGB* ausgelegt, der ebenfalls in verschiedenen Tiefen die Stromrichtung und -geschwindigkeit registrierte.

Aus allen diesen Unterlagen können die wahren Strömungsverhältnisse mit einer größeren Sicherheit als bei anderen Methoden bestimmt werden. Auf den weiteren Fahrten der „M. Lomonossov“ wird versucht, die Zahl der Dauerstationen vor Anker und auch die Zahl der auszulegenden Bojen mit Radarschirm zu vergrößern, weil sie viel interessantere Neuigkeiten in den Bewegungsvorgängen der Wassermassen des Atlantischen Ozeans ergeben können als eine Vielzahl von Triftstationen.

Sechste Fahrt der „M. Lomonossov“ vom August bis Dezember 1959 im Nordatlantik

Zu Anfang dieser Fahrt besuchte das Forschungsschiff den amerikanischen Hafen New York, wo in der Zeit vom 30. August bis 12. September eine Internationale Ozeanographische Konferenz stattfand, an der sich die Sowjetunion maßgebend durch 300 Vorträge und Entsendung von über 80 Fachspezialisten als Konferenzteilnehmer beteiligte.

Nach Abschluß der Konferenz, deren Teilnehmer mit großem Interesse das sowjetische Forschungsschiff einschließlich das Laboratorium und die Geräte der DDR besichtigten, begann erst die eigentliche Fahrt.

Die Expeditionsleitung lag bei der sechsten Fahrt in der Hand von *Prof. Dr. Kolesnikov*. Das Schiff führte wiederum Kapitän *I. A. Scholtis*.

Die dieses Mal kleine deutsche Gruppe von nur 3 Mitarbeitern leitete der Chemiker *E. Werner* (Ozeanologe) vom Institut für Meereskunde Warnemünde. Zu ihr gehörten noch die Ingenieure *Kaltschmidt* (WTBG Berlin—Ozeanologe) und *Schultheiß* (MHD Potsdam-Meteorologe).

Das Programm der Arbeiten der deutschen Gruppe war vorwiegend ozeanologisch ausgerichtet und zu diesem Zweck mit denselben Geräten wie bei der fünften Fahrt bestückt.

Bei der sechsten Fahrt erfolgten Messungen an 111 Triftstationen und 4 Dauerstationen (Abb. 3). Während der Fahrt wurde der Hafen Dakar angelaufen.

Im Ergebnis der sechsten Fahrt kann u. a. bestätigt werden, daß sich der Seegang bei Kaltluft wesentlich schneller und stärker ausbildet als bei Warmluft bei gleicher Windgeschwindigkeit. Die besonders rapide Zunahme der Wellenhöhen ist häufig mit der Zufuhr frischer Kaltluft verbunden. Außerdem zeichnen sich dabei die Wellen noch durch ihre Steilheit und Unregelmäßigkeit aus.

Siebente Fahrt der „M. Lomonossov“ vom Januar bis April 1960 im Nordatlantik

Die Fahrtroute der siebenten Fahrt ist aus der Abb. 3 zu ersehen. Die Hauptaufgabe der siebenten Fahrt bestand in der Erforschung der winterlichen Verhältnisse der Sargassosee und der westatlantischen Zweige des Golfstromes, wobei neben mehreren ozeanologischen Schnitten quer zum Verlauf des Golfstromes einige für jeweils 6 Tage geplante Dauerstationen vorgesehen waren.

Die Expeditionsleitung lag während dieser Fahrt in der Hand von Dozent *Dr. W. K. Agenorov* und seines Stellvertreters *Dr. Boguslawskij*. Das Schiff führte der bewährte Kapitän *I. A. Scholtis*.

Entsprechend der Aufgabe waren die sowjetischen Wissenschaftler etwas anders in Gruppen aufgeteilt, wobei die Meeresoptik, die Akustik, die Thermik, die Trübung, sowie die Meeresbiologie als ein Indikator der physikalischen Vorgänge, bevorzugt waren. Die kleine deutsche Gruppe aus 3 Teilnehmern hatte die Aufgabe, meereskundliche Spezialmessungen für dieselbe Thematik auszuführen. Sie bestand aus:

Dipl.-Met. *K. Voigt* vom Institut für Meereskunde der
DAW als Leiter der Gruppe

Ingenieur *Forner* vom VEB WTBG Berlin

Mechanikermeister *E. Geyer* vom Institut für Meereskunde der DAW

Die Ausrüstung der Gruppe bestand aus den bereits im Ozeaneinsatz erprobten Geräten, wie dem Temperatur- und Salzgehaltsfühler, dem Hochseewellenschreiber und dem selbstregistrierenden Strömungsschreiber.

Es waren alles Geräte des VEB WTBG Berlin, die im Auftrage des Institutes für Meereskunde vor Jahren entwickelt und gebaut wurden, wobei der T-S-Fühler

hinsichtlich der Genauigkeit und Belastbarkeit im Dauereinsatz als ein wertvolles Instrument der modernen ozeanologischen Expeditionsmeßtechnik anzusehen ist.

Im Verlaufe der Expedition kam auf dem Luftwege noch ein weiteres neuartiges Gerät auf die „M. Lomonossov“. Das war der Tiefenströmungsschreiber des WTBG, der in beliebigen Meßtiefen die kleinsten Strömungen registrieren soll, wenn er an der Trosse einer verankerten Boje in größeren Tiefen befestigt wird. Die Ersterprobung dieses äußerst handlichen und nur 12 kg wiegenden Gerätes während der siebenten Fahrt in 600 m und mehr als 4000 m Tiefe zeigt, daß es mit wenigen kleinen Verbesserungen seinen Zweck erfüllen wird. Das Gerät vermag Geschwindigkeiten ab 2 cm/sec und Stromrichtungen bis 10° genau zu registrieren. Die Registrierung erfolgt jede Stunde auf eine Metallfolie. Dieses auf Veranlassung des Verfassers erbaute Gerät kann wesentlich dazu beitragen, die bisher instrumentell praktisch noch gar nicht erforschten Tiefenzirkulationsprozesse des Ozeans zu erhellen.

Die Fahrtroute der Expedition führte von Warnemünde aus über den Nordostseekanal in die Nordsee und durch den Englischen Kanal in die Biskaya. Hier begann ein 3200 Seemeilen langer Schnitt durch die Azoren und Sargassosee bis kurz vor die westindischen Inseln. In der Sargassosee gelang eine sechstägige Dauerstation in dieser schweren Jahreszeit. Von den westindischen Inseln folgte ein Schnitt im Antillenstrom längs den Bahamainseln bis Florida. Im Anschluß daran erfolgten drei eintägige Dauerstationen im Hauptstromstrich des Golfstromes, sowie zwei Schnitte quer zum Golfstrom zwischen den Bermudas und dem Festland Amerikas.

Als Versorgungshafen wurde der kanadische Hafen Halifax angelaufen, wonach eine einwöchige Meßperiode auf der Neufundlandbank und ein Wiederholungsschnitt der sechsten Fahrt zwischen Neufundland und den Azoren sich anschloß.

Auf der Rückfahrt wurde der englische Hafen Southampton angelaufen.

Während der Fahrt herrschte vorwiegend stürmisches Wetter, welches die Messungen entweder sehr erschwerte oder manchmal unmöglich machte. Als Beispiel hierzu sei angeführt, daß die mittlere Windstärke während der ganzen Fahrt 7 Beaufort betrug. Höchstgeschwindigkeiten des Windes von über 36 Meter pro Sekunde konnten gemessen werden.

Zu den sehr interessanten und vielseitigen Ergebnissen der deutschen Gruppe während der siebenten Fahrt gehört u. a. die Feststellung von internen Wellen mit Hilfe der in 3- bis 6-stündigem Abstand erfolgten quasikontinuierlichen T-S-Fühlerregistrierungen bis 400 m Tiefe auf den Dauerstationen im Golfstrom.

Die Erforschung der gefundenen wesentlichen Einzelheiten der Schichtung mit Hilfe der normalen Standardmessungen mit Kippthermometern und Wasserschöpfern in verschiedenen Standardtiefen wäre unmöglich. Der T-S-Fühler gibt aber die Möglichkeit, jeweils alle 30 Sekunden die Temperatur, die Leitfähigkeit und den hydrostatischen Druck im Registriergerät an Bord als vierstellige Zahlenwerte gedruckt zu haben. Dadurch kann die erreichte Meßgenauigkeit von 0,02°C bei der Temperatur und $1 \cdot 10^{-5} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ bei der elektrischen

Leitfähigkeit voll für die Berechnung des Salzgehaltes mit einer Genauigkeit von 0,02 bis 0,03⁰/₀₀ verwendet werden.

Zu den Gesamtergebnissen der siebenten Fahrt gehört die Feststellung, daß während der ganzen Fahrt ein sehr intensiver und ausgeprägter Zirkulationsprozeß im Golfstromsystem herrschte. Zum Beispiel waren Strömungsgeschwindigkeiten bis 4 Knoten keine Seltenheit. Deswegen konnte auch nur eine Dauerstation von 6 Tagen erreicht werden. Bei den anderen Dauerstationen wurde das Schiff trotz doppelter Anker nicht zum Stehen gebracht. Die besonders interessanten Dauer-messungen auf der 6-tägigen Dauerstation in der Sargassosee ergaben eine Reihe neuer Erkenntnisse, insbesondere hinsichtlich des Zusammenhanges der optischen Verhältnisse mit der Trübung und den biologischen Bestandteilen des Ozeanwassers, deren Besonderheiten nur im Zusammenhang erklärt werden können.

Die Größtgeschwindigkeiten der Gezeitenströme zur mittleren Springzeit in der Nordsee, dem Kanal und der Irischen See

Von GÜNTHER SAGER

Zusammenfassung: Für das Gebiet der Nordsee, des Englischen Kanals und der Irischen See wird eine Karte der geographischen Verteilung der Maximalwerte der Gezeitenströme zur mittleren Springzeit gegeben und ausführlich erläutert. (siehe Beilage).

I. Einleitung

Als die Schifffahrt vor reichlich hundert Jahren den Linienverkehr über größere Distanzen aufnahm, empfand man neben den bestehenden und zum Teil schon erfüllten Forderungen nach verbesserten Gezeitenvorhersagen auch den Wunsch nach kartenmäßiger Erfassung der Gezeitenströme, um diese bei der Navigation berücksichtigen zu können. So entstanden um die Mitte des vorigen Jahrhunderts die ersten „tidal stream charts“, die hauptsächlich auf Erfahrungen der Schiffsführer beruhten, die sie aus den Versetzungen gewonnen hatten. In der Folgezeit kamen Messungen durch das Log und das planmäßige Aussetzen von Flaschenposten hinzu. Die Sammlung von Unterlagen wurde neben einer nautischen in wachsendem Maße auch eine Sache der Geographen.

Noch vor der Jahrhundertwende erschienen Gezeitenstromkarten von französischer, belgischer und niederländischer Seite und 1906 konnte die „Deutsche Seewarte“ einen „Atlas der Gezeiten und der Gezeitenströme für das Gebiet der Nordsee und der Britischen Gewässer“ herausgeben. Mit der um diese Zeit einsetzenden Entwicklung von Strommeßgeräten wurde die Messung der Gezeitenströme zu einer der Hauptaufgaben der sich allmählich aus der Geographie entwickelnden Ozeanographie.

Als am Ende der zwanziger Jahre wesentlich verbesserte Strömungsmesser geschaffen worden waren, konnte 1936 eine gründlich überarbeitete Fassung des deutschen Gezeitenstromatlas erscheinen. Nach einer durch den Krieg verzögerten Spanne von zwei Jahrzehnten legte das inzwischen entstandene „Deutsche Hydrographische Institut“ ein neues Werk vor, das unter dem Titel „Atlas der Gezeiten und der Gezeitenströme für die Gebiete der Nordsee und der Britischen Gewässer“ bekannt ist und wohl die derzeit genauesten Karten für ein größeres Gebiet enthält.

Alle Gezeitenstromatlanten sind auf die Verhältnisse einer mittleren Springzeit bezogen, d. h. einer Springzeit bei mittlerer Entfernung Erde-Mond und Mittelwerten der Deklination von Mond und Sonne. Sie enthalten 13 Stromkarten mit dem Bild der Gezeitenströme in stündlichem Abstand, das entweder auf die Meridiandurchgangszeit des Mondes in Greenwich oder auf die Hochwasserzeit eines Bezugsortes abgestimmt ist. Jede dieser Karten liefert ein Augenblicksbild

der Verteilung der Gezeitenströme an der Oberfläche, das sich ständig ändert. Es fehlt daher allen diesen Atlanten ein Überblick über die Werte, die der Gezeitenstrom an einem bestimmten Ort maximal während des Ablaufs der Gezeit erreicht.

Um den maximalen Betrag des Gezeitenstroms an einem Ort unter den Verhältnissen einer mittleren Springzeit zu ermitteln, muß man im allgemeinen alle 13 Karten für den nächstgelegenen Punkt mit Gezeitenstromangaben durchsehen; ein Überblick ist auf diese Weise auch für ein nur kleines Seegebiet kaum zu erlangen. Deshalb hat HANSEN 1950 für den Englischen Kanal erstmalig eine Karte mit Linien gleicher Größtgeschwindigkeit des Gezeitenstroms in der „Deutschen Hydrographischen Zeitschrift“ veröffentlicht, der Beobachtungen und theoretische Erwägungen zugrunde liegen.

In der anschließend zu besprechenden Karte ist dieser Versuch gelegentlich einer vom Institut für Meereskunde des Seehydrographischen Dienstes erfolgenden Bearbeitung eines Gezeitenstromatlanten vom Verfasser auf die Nordsee und die Britischen Gewässer ausgedehnt worden. Als Unterlagen dienten die Gezeitenstromatlanten der Anliegerstaaten der behandelten Gewässer, die schon erwähnte Karte von HANSEN sowie die amtlichen „Seehandbücher“.

Dabei ist zu betonen, daß der Verlauf der Linien im großen und ganzen als endgültig anzusehen ist, wogegen lokale Besonderheiten auf Grund späterer gründlicherer Beobachtungen und neuerer theoretischer Gesichtspunkte hier und da geringe Modifikationen erfahren können. In Küstennähe ist eine Berücksichtigung aller Einzelheiten bei dem kleinen Maßstab der Darstellung nicht möglich. Es darf insbesondere aus dem Verlauf der Linien nicht auf die Werte der Stromgeschwindigkeit in Buchten, Fjorden, Seegatten, engen Fahrwassern, Flußmündungen, Kanälen, Hafeneinfahrten oder an vorspringenden Kaps geschlossen werden, wozu auf die Seehandbücher verwiesen werden muß.

Alle hier mitgeteilten Angaben gelten für mittlere Verhältnisse der Konstellation Erde-Mond-Sonne. Fällt die Springzeit mit der Erdnähe des Mondes zusammen, so können die Werte des Tidenhubs und entsprechend der Gezeitenströme um 12—16% gegenüber den Daten für die Situation zur mittleren Springzeit zunehmen. Fällt die Springzeit außerdem noch in die Zeit der Tag- und Nachtgleichen, so muß man mit Zuschlägen von rund 18—23% rechnen. Beim Eintritt der Erdferne des Mondes und um die Zeit der Solstitien ermäßigen sich die Werte um ähnliche Beträge gegenüber der mittleren Situation.

II. Beschreibung der Karte der maximalen Gezeitenströme zur mittleren Springzeit

Die Karte wird im Norden durch den 60. und im Süden durch den 48. Breitenkreis begrenzt. Nach Westen reicht sie bis zum 8°-Meridian (West), im Osten bis zum 10°-Meridian (Ost). Durch diese Einteilung werden die folgenden Meere bzw. Seegebiete berührt:

- a) Die Nordsee mit ihrem gesamten mittleren und südlichen Teil sowie der größere Teil der nördlichen Nordsee und des Skagerraks,

- b) der gesamte Englische Kanal als Teilgebiet der Nordsee,
 c) die Irische See mit Ausnahme eines kleinen Teils im Südwesten als Teilgebiet des Nordatlantiks,
 d) der Nordatlantische Ozean südwestlich der Irischen See und des Kanals (bis Landsend in Cornwall) und dem Nordausgang der Irischen See bis Cape Wrath (Nordwestkap Schottlands),
 e) das Europäische Nordmeer von Cape Wrath bis zur Linie Duncansby Head-Orkneys-Shetlands.

a) Das Seegebiet der Nordsee ohne den Englischen Kanal

Die Nordsee ist ein Gebiet mit durchschnittlich schwachen bis mäßigen Gezeitenströmen. Vom Skagerrak und der Norwegischen Rinne als Gebiet minimaler Gezeitenströme von höchstens $\frac{1}{4}$ Knoten ist ein langsamer Anstieg der Stromstärken nach Süden und Westen zu beobachten. So setzt die $\frac{1}{2}$ -Knoten-Linie am Nissum-Fjord etwa halbwegs zwischen dem Lim-Fjord und dem Ringköbing-Fjord ein, zieht sich zunächst westsüdwestlich zur Südlichen Schlickbank und dann westlich zum Mittel-Riff, von wo sie sich nordwärts wendet und dann grob dem 2°-Meridian (Ost) folgt.

Viel weiter holt die 1-kn-Linie aus, die von Blaavands-Huk über den Sylter Inngrund verläuft und sich dann weitgehend der 40-m-Tiefenlinie anschließt, die zwischen dem Austergrund und der Terschellinger-Bank zum Western-Mud-Hole zieht. Dort erreicht die 1-kn-Linie ihren südlichsten Punkt und biegt dann nach Nordwesten, wo sie dicht an der Outer Silver Pit vorbei über das Skate Hole etwa zum Baymans Loch verläuft und dann unweit von St. Abbs Head die englische Küste erreicht. Sie grenzt ferner den inneren Firth of Forth ab und beginnt erneut bei Fife Ness, von wo aus sie sich in breitem Bogen vor die schottische Küste legt, die sie bei Kinnairds Head wieder erreicht. Ihr nördlichster Zweig umspannt von Clyth Ness nach Nordwesten ausgehend die Orkney-Shetland-Schwelle, wobei sie auf deren Westseite grob der 100-m-Tiefenlinie folgend ein Stück in das Europäische Nordmeer vorspringt. Ausnahmen im Bereich der 1-kn-Linie bilden nur das Gebiet um Horns-Riff-Südgrund mit höheren und die Smith-Bank im Firth of Moray mit sehr geringen Stromgeschwindigkeiten.

Die $1\frac{1}{2}$ -kn-Linie verläuft der 1-kn-Linie auf weiten Strecken äquidistant. Sie folgt zunächst etwa der Küstenlinie der Deutschen Bucht und geht von der Fanö-Bucht aus nach Süden hart an Sylt vorbei bis vor die Küste von Eiderstedt. Hier biegt sie nach Westsüdwest und läuft etwa parallel zur Kette der ost- und westfriesischen Inseln über den Norderney- und Schiermonnikoog-Grund zur Terschellinger-Bank und zum Vlieland-Riff. Alsdann lenkt die Linie nach Westen ein und wird in der Gegend des Braune-Bank-Grunds der 1-kn-Linie parallel, der sie über Sole-Pit und Flamborough-Head-Grund bis zum Castle-Grund folgt, wo sie dann unvermittelt zur Küste umbiegt, die sie bei Kettle Ness erreicht. Man trifft sie dann von Girdle Ness bis Rattray Head — etwa vor Aberdeen bis Peterhead — und schließlich vor der Orkney-Shetland-Schwelle wieder, wo sie die 1-kn-Linie im Abstand von etwa 10 Seemeilen begleitet und auf die Südspitze

der Shetland-Inseln stößt. Auf der Westseite der Schwelle verläuft die von der Nordspitze der Shetlands ausgehende $1\frac{1}{2}$ -kn-Linie dicht unter den Orkneys vorbei, wendet sich dann nach Westen und verläuft schließlich zum Cape Wrath zurück. Eine Besonderheit bildet das durch die $1\frac{1}{2}$ -kn-Linie umgrenzte Gebiet geringer Ströme südlich vom Seegat von Texel über die Breiten Vierzehn bis zum Schouwen-Grund und im Bogen zurück zur Hoek van Holland, das den Ijmuiden- und Brielle-Grund einschließt und bei Tidenhuben von nur 1 bis 2 m durchweg unter 30 m tief ist.

Die 2-kn-Linie zeigt bereits viel weniger Zusammenhang und grenzt hauptsächlich die Mündungstrichter der größeren Tideflüsse wie Elbe, Weser, Ems und Schelde ab. In der Deutschen Bucht begleitet sie etwa die äußere Linie der nordfriesischen Inseln und schwenkt dann nach Wangerooge hinüber. Am ausgeprägtesten ist die 2-kn-Linie in der Umgebung der Themse- und Humber-Mündung entwickelt, wo sie von der französischen Küste zwischen Dünkirchen und Calais ausgehend über die Sandbänke der Themse-Mündung bis zur Tiefen Rinne und Smith Knoll ausholt, sich dann der nördlichen Küste von Norfolk nähert und schließlich an The Wash und der Humber-Mündung vorbeizieht, bis sie zwischen Spurn Head und Flamborough Head auf die Küste trifft. Von lokalen Erscheinungen um einige Kaps abgesehen, findet man die 2-kn-Linie bei Noss Head wieder, von wo sie in unmittelbarer Nachbarschaft der $1\frac{1}{2}$ -kn-Linie an der Ostseite der Orkneys vorbei nach Sumburgh-Head zieht, aus welcher Gegend sie auch zur Nordküste der Orkneys zurückkehrt. Sie läuft dann etwa in der westlichen Begrenzung der Inselgruppe weiter und erreicht die schottische Küste bei Strathy Point.

Von den $2\frac{1}{2}$ - und 3-Knoten-Linien findet man die erstere in der inneren Deutschen Bucht von Eiderstedt zum Jever-Land und vor der Küste von Suffolk und dem östlichen Norfolk, während beide die Gebiete starker Gezeitenströme in der Straße von Dover und zwischen den Orkney-Inseln mit dem Pentland-Firth abgrenzen, wo örtlich Maximalstromstärken von 5 bzw. 8—9 Knoten auftreten, die zugleich die größten Stärken des Gezeitenstroms in der Nordsee sind.

b) Das Seegebiet des Englischen Kanals

Der Ärmelkanal gehört in bezug auf die Gezeitenströme zu den interessantesten Gebieten. Von weniger als $1\frac{1}{2}$ Knoten Geschwindigkeit vor dem Westteil und weniger als 2 kn vor der östlichen Durchfahrt steigen die Stromgeschwindigkeiten in den Verengungen des Kanals auf 3 und mehr Knoten an, wobei sich ein ausge dehntes Gebiet starker Ströme um die Halbinsel Cotentin zieht und bis in die Nähe der englischen Küste reicht. Ein kleinerer, aber fast ebenso kräftiger Stromgürtel breitet sich beiderseits der Enge Dover-Calais aus. Demgegenüber stehen mehrere Gebiete schwacher Ströme in Buchten, die eine Verbreiterung des Kanals bedingen. Fast ausnahmslos weist die französische Küste mit ihrem Vorfeld größere Stromgeschwindigkeiten als die gegenüberliegende englische Seite auf, wie das auch für den Tidenhub der Fall ist, woran neben der Küstenkonfiguration die ablenkende Kraft der Erdrotation maßgeblichen Anteil hat.

Die Linien gleicher Maximalgeschwindigkeit des Gezeitenstroms zur Springzeit ziehen sich daher im westlichen Kanal durchweg in der Richtung Südwest-Nordost hin. Dabei biegt die $1\frac{1}{2}$ -kn-Linie etwa 30 sm südlich Lizard Head nach Westen um und holt in etwa diesem Abstand um Cornwall herum, wobei sie die Scilly-Inseln umschließt. Am wenigsten in ihrer Richtung beeinträchtigt ist die 2-kn-Linie, die 20 sm querab der Insel Quessant verläuft und sich nach Nordosten in Richtung auf die Halbinsel Portland zieht. In wechselndem Abstand von 10 bis 30 sm folgt ihr die $2\frac{1}{2}$ -kn-Linie, die zur Bucht von St. Malo hin stärker ausbiegt und ebenfalls nordwestlich von Portland Bill auf die englische Küste trifft. Vor der gesamten Nordküste der Bretagne herrschen kräftige Ströme von $2\frac{1}{2}$ bis 3 Knoten, die nur in einigen kleineren Buchten schwächer sind, dagegen bei Sept Isles, Les Héaux de Bréhat und im westlichen Teil der Bucht von St. Brieuc auf nahezu 4 kn anwachsen.

Die Halbinsel Cotentin, die sich wie ein Riegel nach Norden vorschiebt, gibt Anlaß zu den größten Tidenhuben und den stärksten Gezeitenströmen des Kanals. Ein in den europäischen Gewässern in dieser Ausdehnung einmaliges Gebiet starker Gezeitenströme von mehr als 3 Knoten beginnt südlich vom Cap de la Hague, reicht bis zu dem gefährlichen Plateau des Minquiers, dehnt sich in großem Bogen bis westlich über Guernsey und nahe unter die englische Küste bei St. Alban's Head und St. Catherine's Point — dem Südkap der Insel Wight — aus und endet wenig südlich von Pointe de Barfleur, dem Nordostkap von Cotentin. In diesem Gebiet werden verschiedentlich 4 bis 6 kn erreicht, zwischen Alderney und dem Festland sogar 8—9 kn. — Ein bescheidenes Gegenstück bildet ein Gebiet starker Ströme mit bis zu 7 kn vor Portland Bill, wo gefährliche Stromkabbelungen auftreten.

Von der Linie St. Catherine's Point—Pointe de Barfleur nimmt der Gezeitenstrom von durchschnittlich 3 kn nach Osten hin bis zur Linie Hastings—Dieppe auf rund $1\frac{1}{2}$ kn ab. Dabei sinkt die Stromstärke durchweg von der Kanalmitte nach beiden Küsten hin. Unter dem Einfluß des Gebiets starker Ströme um die Halbinsel Cotentin schiebt sich die $2\frac{1}{2}$ -kn-Linie mit den Ausgangspunkten Ostküste Isle of Wight—Reede von St. Vaast zungenförmig weit nach Osten zur Kanalmitte vor. Dagegen wird die anschließende 2-kn-Linie durch ausgeprägte Schwachstromgebiete beeinflusst und krümmt sich daher der $2\frac{1}{2}$ -kn-Linie entgegen. Das ausgedehnteste dieser Gebiete mit weniger als $1\frac{1}{2}$ kn reicht von der englischen Küste zwischen Hastings und Dungeness ausgehend in Richtung Dieppe bis dicht unter die französische Küste.

Nach der anschließenden Straße von Dover bzw. dem Pas de Calais hin nehmen die Gezeitenströme infolge der beträchtlichen Verengung des Kanal-Querschnitts sehr schnell zu. Der Gürtel stärksten Stroms von über $2\frac{1}{2}$ kn erstreckt sich von der Canche-Mündung nach Folkestone im Westen und von Calais bis Deal im Osten der Enge. Nach der Nordsee zu nimmt die Stromstärke zuerst schneller und dann langsamer ab, wie bereits unter a) beschrieben wurde.

Als wichtigste lokale Besonderheiten infolge des wechselnden Durchflußprofils des Kanals seien noch die folgenden genannt: Erhöhte Gezeitenstromgeschwindig-

keiten findet man an der englischen Küste vor Lands End, Lizard Head, Start Point, Portland Bill, St. Alban's Head, The Needles und Catherine's Point auf Wight, Selsey Bill, Dungeness und South Foreland. An der französischen Küste sind zu nennen Cap Gris Nez, Cap de la Hève, Pointe de Barfleur, Cap de la Hague, Les Héaux de Bréhat, Pointe de St. Mathieu vor Brest und Pointe du Raz. — Relativ gezeitenstromarme Gebiete hat die englische Küste von der Falmouth Bay bis zur Bigbury Bay — etwa innerhalb der Linie Lizard Head—Start Point —, ferner in der Lime Bay, östlich Selsey Bill bis Burrow Head (westlich von Beachy Head) und in der Rye-Bucht. An der französischen Küste ist das einzige größere Gebiet geringerer Gezeitenströme die innere Seine-Bucht mit Ausnahme des eigentlichen Mündungsgebiets.

c) *Das Gebiet der Irischen See (einschließlich Bristol-Kanal)*

Das Gebiet der Irischen See hat wie der Ärmelkanal einen relativ mannigfaltigen Verlauf der Linien gleichen Maximalstroms, der durchschnittlich als mäßig bis stark bezeichnet werden kann. Ähnlich wie in den engen Teilen des Kanals treten an beiden Zugängen — dem St. Georgs-Kanal im Süden und dem Nord-Kanal — Gebiete kräftigen Gezeitenstroms auf, zwischen denen sich ein annähernd in Ost-West-Richtung verlaufender Streifen geringerer Stromgeschwindigkeit über das Gebiet mit der größten Breitenausdehnung der Irischen See erstreckt. Im einzelnen bietet sich etwa das folgende Bild:

Vor dem St. Georgs-Kanal trifft man relativ schwache Ströme, die von kaum $\frac{3}{4}$ Knoten vor der irischen Küste gegen Cornwall hin auf $1\frac{1}{2}$ kn zunehmen und um Lands End herum über 2 kn erreichen. Die $1\frac{1}{2}$ -kn-Linie begleitet die Küste von Cornwall in 10 bis 15 sm Abstand bis vor Trevose Head und biegt dann zur irischen Küste ab, die etwa bei Hook Point erreicht wird. In 5 bis 20 sm Abstand nach Nordosten folgt die 2-kn-Linie, die etwa die Gebiete vor Hartland Point und Carnsore Point verbindet und nur gegen den Eingang des Bristol-Kanals hin ausbiegt. Ein Gebiet stärkerer Gezeitenströme erstreckt sich zwischen Hartland Point und der Insel Lundy. Nach dem inneren Bristol-Kanal zu werden die Gezeitenströme ständig stärker und erreichen Werte von fast 5 Knoten.

Der Südeingang der Irischen See wird von der $2\frac{1}{2}$ -kn-Linie durchzogen, die aus der Nähe von St. Gowans Head kommend nach Raven Point nördlich von Carnsore Point verläuft. Im anschließenden Gebiet stärkerer Gezeitenströme tritt zweimal die 3-kn-Linie auf, nämlich einmal in weit ausholendem Bogen von St. Anns Head bis St. Davids Head und zum anderen vor der irischen Küste etwa zwischen Cahore Point und Six Mile Point. Als innere Begrenzung dieses Gebiets stärkerer Ströme im Südteil der Irischen See verläuft die $2\frac{1}{2}$ -kn-Linie jenseits von Davids Head ziemlich genau nach Norden und zieht dann in großem Bogen nach Bray Head in Irland hinüber. Zur Cardigan Bay hin sinken die Geschwindigkeiten zunächst auf 2 Knoten zwischen Strumble Head und dem Westteil der Halbinsel Carnarvon und dann in großen Teilen der Bucht auf unter 1 kn ab.

Im Mittelteil der Irischen See führt die 2-kn-Linie vom Südteil der Dublin Bay bis vor die Küste von Anglesea und rundet sie in weitem Bogen, bis sie bei Great

Ormes Head die wallisische Küste erreicht, von der sie sich weiter durch die Liverpool Bay nach Formby Head zieht. Ein Gebiet geringer Gezeitenströme dehnt sich quer über die Mitte der Irischen See aus. Es wird durch die beiden $1\frac{1}{2}$ -kn-Linien begrenzt, von denen die südliche von der Lambay-Insel (nördlich der Dublin Bay) zur Walney-Insel (nördlich der Morecambe Bay) hinüberläuft, während die nördliche vom Süden der Ards-Halbinsel zentral auf die Insel Man stößt und sich an ihrer Ostküste von Maughold Head bis Whitehaven nördlich St. Bees Head fortsetzt. Innerhalb dieser Zone liegt halbkreisförmig vor der irischen Küste ein ausgedehntes stromarmes Gebiet, das sich von der Insel Rockabill bis vor Loch Strangford erstreckt und in der Dundalk- und Dundrum Bay ausgesprochene Stillwasserflächen aufzuweisen hat.

Ein ganz anderes Bild bietet sich nördlich der Insel Man, deren Nordteil mit Ayre Point bereits von der 2-kn-Linie getroffen wird, die der $1\frac{1}{2}$ -kn-Linie in wenigen Seemeilen Abstand parallel läuft. Dieser folgt mit knapp 10 sm Distanz bereits die $2\frac{1}{2}$ -kn-Linie, die ein Gebiet kräftiger Gezeitenströme vor der schottischen Küste abgrenzt, in dem häufig 3 kn überschritten werden, wie im inneren Solway Firth, der Wigton Bay und dem Seegebiet zwischen der Isle of Man und den Kaps Mull of Galloway und Burrow Head. Dieses Gebiet intensiver Gezeitenströme verlagert sich sodann zur Küste von Nord-Irland, wobei die $2\frac{1}{2}$ -kn-Linie vom Südteil der Halbinsel Rinns of Galloway nach Mull of Kintyre und Mull of Oa, dem Südkap von Islay, zieht und dann im Bogen nach Nordwesten ausholend den Nord-Kanal quert und zum Ballyaghan Point zurückbiegt.

Die $2\frac{1}{2}$ -kn-Linie ist immer dicht von der 2-kn-Linie begleitet, der sich von der Halbinsel Kintyre nach Nordwesten die $1\frac{1}{2}$ -kn-Linie anschließt, die unweit der 2-kn-Linie in der Umgebung von Malin Head an der Nordspitze Irlands endet. Während sich die Geschwindigkeiten zwischen der Halbinsel Kintyre und der schottischen Küste bald mäßigen und im äußeren Firth of Clyde durchweg unter $1\frac{1}{2}$ Knoten bleiben, erstreckt sich ein Gebiet starker Ströme bis zu 5 kn vor der Nordostküste Irlands bis fast über den Nord-Kanal. Es beginnt bei der Halbinsel Magee am Lough Larne, reicht bis kurz vor Mull of Kintyre, schickt dann einen Ausläufer nach Nordwesten und endet schließlich bei Bengore Head westlich von Fair Head (Benmore Head).

Auf die gewöhnlich vor den Kaps und in engen Durchfahrten verstärkten Gezeitenströme sowie ihre geringen Werte in manchen Buchten kann hier nicht im einzelnen eingegangen werden; sie sind nur bei größerer Ausdehnung noch in der Karte angedeutet. Dasselbe gilt für die in manchen Teilen der Irischen See über flacheren Stellen auftretenden Stromwirbel (races), auf die in den Seekarten und Seehandbüchern hingewiesen ist.

d)–e) *Das Seegebiet vor der schottischen West- und Nordküste (einschließlich Hebriden)*

Der Nord-Kanal, dessen engste Passage zwischen Mull of Kintyre und Fair Head die Irische See vom Nordatlantik trennt, war bereits unter c) als Gebiet

kräftiger Gezeitenströme charakterisiert worden. Die schon erwähnte $1\frac{1}{2}$ -kn-Linie, die sich von der Nordwest-Huk der Insel Islay in großem Bogen nach Nordirland zieht, bildet die Grenze zu den nach Norden anschließenden Gebieten schwächerer Gezeitenströme, die im offenen Seegebiet bis vor Cape Wrath zumeist unter 1 Knoten bleiben. Ausgenommen sind nur ein in der Verlängerung des Nord-Kanals nach Nordwesten bis an die südlichen Ausläufer der Hebriden gehender Streifen, Teile des Gebiets zwischen den Mull vorgelagerten Inseln Colonsay, Tiree und Coll sowie das unter Little Minch bekannte Seegebiet zwischen der Insel Skye und den mittleren Hebriden, wo die Werte aber im allgemeinen überall unter $1\frac{1}{2}$ kn bleiben.

Große Abweichungen treten dagegen in den vielen Lochs und engen Durchfahrten der zerklüfteten Westküste Schottlands auf, wo die Stromgeschwindigkeiten örtlich 7—8 kn ausmachen können, so daß die Navigation nicht selten auf die kurzen Stillwasserzeiten beschränkt ist. Größere Stromgeschwindigkeiten trifft man auch zwischen den Durchfahrten der Hebriden, soweit diese nicht zeitweilig trockenliegen, wie das mitunter eine längere Zeit hindurch der Fall ist. Schließlich verdient das vor den mittleren Hebriden gelegene und erheblich ausge dehnte Stillwassergebiet Erwähnung, das sich einige Dutzend Seemeilen in den offenen Atlantik ausweitet. Die vor der Nordküste Schottlands in Richtung auf die Orkney-Inseln zunehmenden Gezeitenströme sind unter a) bereits im Zusammenhang besprochen worden, so daß sich eine Wiederholung erübrigt.

Über einige Laborerfahrungen bei der Kennzeichnung von Meeressand mit lumineszenten Farbstoffen

Von OTTO KOLP und CHARLOTTE ENZENROSS

Zusammenfassung: Auf dem Wege der Arbeit mit lumineszenten Farbstoffen bei der Erkundung der untermeerischen Sandumlagerung sind vier Schritte zu tun:

Vorbereitung im Labor, Eingabe und Entnahme markierter Sande in See mit Hilfe geeigneter Geräte, Auffindung der richtigen Abmessungen bei der Arbeit in See (Eingabemengen, Zeitmaßstab, Dichte der Entnahmestellen) sowie die Sicherstellung der Ergebnisse im Labor und bei der Auswertung. Es wurden im Labor systematisch Versuche durchgeführt, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Die Bemühungen galten der Erweiterung der Farbskala durch Hinzunahme anorganischer Leuchtstoffe und geeigneter Braunkohlenteerdestillate. Hitzeempfindlichkeit, Lichtempfindlichkeit, Löslichkeit und der Grad der Destillation spielten bei einigen Luminoforen eine beachtliche Rolle. Im Hinblick auf quantitative Untersuchungen in See war es nötig, sehr harte Bindemittel (Wasserglas, Kunstharze und Lacke) zu verwenden und die bisher bekannten, in Wasser löslichen Kolloide betreffs ihrer Lebensdauer in der Brandung einer Prüfung zu unterziehen. Es wurde die Änderung des Korngemisches bei der Herstellung sehr dauerhafter Überzüge durch Erhöhung der Konzentration des Bindemittels und mehrfache Färbung untersucht. Die größere Haltbarkeit feinkörniger, gefärbter Sande gegenüber Grobsanden und Kiesen zeigte sich eindeutig. Das Ergebnis wurde in Form einer Rangordnung der Luminoforen und einer Härteskala der Bindemittel vorgelegt.

Die Kennzeichnung mariner Sande mit lumineszenten und radioaktiven Stoffen zur Erforschung der Sandumlagerung vor der Küste eröffnet angesichts der Kompliziertheit der Vorgänge neue Möglichkeiten. Infolge des raschen Transports und der großen Streuung bei feinen Korngrößen ergibt sich eine derart hohe Verdünnung eingegebener Farbsandproben, daß mit gewöhnlichen Farbstoffen gekennzeichnete Einzelkörner unmöglich wiedergefunden werden können. Es dürfte schwer fallen, unter 100000 Mineralkörnern, die bei der Fraktion 0,2—0,1 mm nur etwa 1 g ausmachen, ein einzelnes mit gewöhnlicher Farbe gekennzeichnetes Korn unter dem Mikroskop aufzufinden. Statt dessen verrät sich ein lumineszentes Korn im UV-Licht sofort, da praktisch alle anderen dunkel bleiben. Es besteht bei marinen Sanden die Möglichkeit, daß gelegentlich fluoreszierende Mineralkörner wie Zirkon oder Kalkspat angetroffen werden, die sich aber bei einiger Übung leicht von den gefärbten Körnern unterscheiden lassen.

Eine vorherige Einwaage ermöglicht es, bei bekannter Kornzahl einer Fraktion für die Menge 1 g das Verdünnungsverhältnis in einfacher Weise zu bestimmen.

Es enthalten z. B.

0,1 g der Fraktion 0,1—0,2 mm etwa	12000—13000 Körner,
0,1 g der Fraktion 0,2—0,4 mm etwa	3000—3300 Körner,
0,1 g der Fraktion 0,4—0,6 mm etwa	800—850 Körner und
0,1 g der Fraktion 0,6—1,0 mm etwa	100—140 Körner.

Zur Bestimmung des Verdünnungsgrades ist es nötig, die Fraktionen des in See entnommenen Korngemisches vorher zu trennen. Dieses Verfahren setzt harte Bindemittel voraus, die nach der Beanspruchung in See auch noch der Siebung standhalten müssen. Es stellt aber die getrennte Untersuchung der Fraktionen eine unerläßliche Forderung dar, da die Fraktionen ganz unterschiedlich transportiert werden. Das betrifft sowohl die Transportart (rollend, springend, schwebend) und die Transportgeschwindigkeit, als auch die Streuung. Es genügt ein Farb-

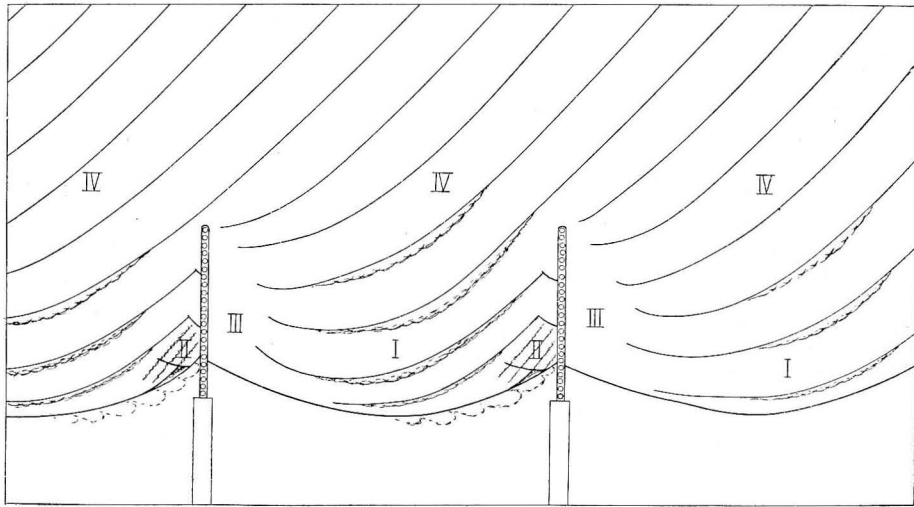


Abb. 1. Schräg anlaufende Wellen im Bühnenfeld

stoff, um die 5 Sandfraktionen (sehr grob, grob, mittel, fein, sehr fein) jede für sich beobachten zu lassen.

Die Bedeutung der Luminforen ist angesichts des Zusammenspiels von uferparallelem und orthogonal gerichtetem Transport sowie der Umlagerung des Sandes in bestimmter Schichtstärke im Zuge der Rippelbildung und der Schüttung am Ende der einzelnen Riffschollen um so höher zu veranschlagen. Führt man sich ferner die zahlreichen Möglichkeiten der Eingabeorte vor Augen, für die jeweils mit eigenen Umlagerungs- und Sedimentationsbedingungen zu rechnen ist, so kann man annähernd den Wert der neuen Hilfsmittel in Gestalt von Luminforen und Radioisotopen ermessen. In der Brandungszone sind in der Regel 2 bis 3 Riffe und ebenso viele Rinnen sowie der Luvhang der Strandschwelle gesondert zu betrachten. Im Bühnenfeld sind mindestens 3 Teilflächen zu berücksichtigen, die sich bei Beachtung der Refraktion und Reflexion der Wellen bei

schräg anlaufender See deutlich unterscheiden lassen: Das vertiefte und durch Einspringen der Uferlinie kenntliche Mittelfeld, das im Luv vor der Bühne gelegene Dreieck, in dem sich die an der Bühne retardierenden und einschwenkenden Wellen mit den reflektierten Wellen kreuzen und schließlich das im Lee jeder Bühne durch das Abreißen der Wellenkämme bezeichnete stille Dreieck. Bei einem größeren Bühnenwerk würde das vor der Streichlinie der Bühnenköpfe zu suchende Strömungs- und Transportband als vierter Eingabeort hinzukommen. (Abb. 1).

Die Forderung, einzelne Korngrößen getrennt zu verfolgen, und die Vielzahl der Eingabeorte mit eigenen Vorbedingungen lassen für umfassende Versuche die Schwierigkeit eines rationellen Gebrauchs durch Luminforen gekennzeichnete Sande erkennen.

Zur bestmöglichen Ausnutzung der wenigen guten Luminforen wurde bereits auf die Trennung der Fraktionen bei der Färbung, Eingabe und späteren Untersuchung hingewiesen. Es genügt dann 1 Farbton für alle Fraktionen an einem typischen Eingabeort.

Leider ist die Anzahl greifbarer lumineszenter Stoffe noch gering. Deshalb wurden außer den Steinkohlenteerderivaten auch Braunkohlenteerdestillate und anorganische Luminforen auf Zinksulfid-selenid Basis in die Untersuchung einbezogen. Es sollten die Leuchtkraft unter UV-Strahlung, die Reinheit und Konstanz der Farben sowie günstige und ungünstige Eigenschaften der verschiedenen Stoffe einander gegenübergestellt werden. Außerdem ging es bei den zu besprechenden Versuchen darum, die Zahl der für verschiedene Zwecke geeigneten Bindemittel zu erhöhen und dieselben innerhalb zusammengehöriger Gruppen hinsichtlich ihrer Qualität zu vergleichen.

I. Hinweise auf vorangegangene Veröffentlichungen

Die Verwendung von Luminforen zur Kennzeichnung von Meeressand wurde zuerst von sowjetischen Wissenschaftlern vorgeschlagen und erprobt. V. P. ZENKOVITCH gab nach einer Reihe früherer Veröffentlichungen über die Verwendung lumineszenter Stoffe eine knappe Zusammenfassung im Bulletin d'information du Comité Central d'Océanographie et d'étude des côtes (COEC) im Mai 1958. Danach wurden Anthracen und Lumogen (grüngelb und orangerot) verwendet. Insbesondere wurde auf die Zersetzung von Anthracen im Sonnenlicht verwiesen. Als Bindemittel wurden Agar-Agar, Knochenleim, Gummi arabicum und Stärke auch in Mischung untereinander empfohlen.

Eine dankenswerte Zusammenfassung der neueren Forschungsergebnisse sowjetischer Wissenschaftler gab GRIESSEIER 1959 [2].

G. LUDWIG unternahm es, die von ZENKOVITCH genannten Bindemittel auf ihre Haltbarkeit zu prüfen und berichtete 1959 in Acta Hydrophysica [3].

Besondere Beachtung verdient im Gesamtzusammenhang die 1957 erschienene Arbeit von N. A. AJBULATOV über die Mächtigkeit der Ströme von in Schwebefindlichen sandigen Sedimenten an Meeresufern [1], zumal die Untersuchungen unter ähnlichen Bedingungen wie vor der deutschen Ostseeküste erfolgten.

II. Beschaffung und Auswahl lumineszenter Stoffe

Die Beschaffung geeigneter Luminoforen bereitete mit Ausnahme von Anthracen einige Mühe. Es wurde deshalb das Angebot auch eines Braunkohlenteerdestillats hoher Qualität gerne angenommen. Zur Bereicherung der Farbskala wurden außerdem anorganische Luminoforen mit herangezogen.

Der höhere Wert der Kohlenwasserstoffe lag auf der Hand, wenn auch gute Ergebnisse mit einigen anorganischen Leuchtstoffen erzielt werden konnten.

Der ungleiche Wert beruht darauf, daß die Lumineszenz auch bei Lösung der Kohlenwasserstoffe z. B. in Benzol oder Aceton durch erneute feinkörnigere Auskristallisation nach dem Verdunsten des Lösungsmittels erhalten bleibt. Dadurch wird eine feinste gleichmäßige Bindung an die Quarzfläche erzielt, die dem durchsichtigen Mineral einen durchscheinenden Glanz verleiht. In der Aufsicht eines Kornes unter dem Mikroskop findet eine Summierung der Leuchtkraft für die senkrechten Flächen in dem helleren Rand und dem etwas dunkleren zentralen Teil Ausdruck. Zweifelsohne erfolgt aber auch eine Verstärkung durch das Korn hindurch, da bei opaken Körnern die organischen Luminoforen fast versagen. Hierauf gilt es bereits bei der Wahl des zu färbenden Sandes zu achten.

Ein an opaken Mineralen reicher Sand kann eher erfolgreich mit anorganischen Luminoforen behandelt werden. Es handelt sich dabei stets um ein mehr oder weniger punktförmiges Anfärben der Sandkörner durch größere Kristalle, die bei genügender Verdichtung an der Oberfläche von opaken Körnern eine stärkere Leuchtwirkung als der hauchdünne Film der Kohlenwasserstoffverbindungen hervorrufen.

Eine Besonderheit bei dem als Tetracen angebotenen Braunkohlenteerdestillat bestand darin, daß sich Halbdestillat und Volldestillat nicht nur durch die Helligkeit, sondern auch im Farbton wesentlich unterschieden. Das Zwischenprodukt erschien grün und sehr hell leuchtend, während das Volldestillat eine rein weiße Farbe von mittlerer Helligkeit aufwies.

Die Tabelle 1 enthält eine Auswahl der für die Markierung von Sanden geeigneten Stoffe.

TABELLE 1

Überblick über Farbtöne und Leuchtkraft der verwendeten Luminoforen

Name	Preis je kg	Farbton im UV-Licht	Leuchtkraft	Anmerkungen
Organische Leuchtstoffe (techn. rein)				
Anthracen	11 DM	aquamarinblau	sehr stark	
Coronen	— TDM	olivinfarben	sehr stark	
Phenanthren	50 DM	ultramarinblau	mittel	
Tetracen	—	weiß	mittel	Volldestillat
Tetracen	—	grün	sehr stark	Zwischenprodukt

Fortsetzung von Tabelle 1

Name	Preis je kg	Farbton im UV-Licht	Leuchtkraft	Anmerkungen
Anorganische Stoffe (F = fluoreszent; P = phosphoreszierend)				
Blaugrün F	60 DM	smaragdgrün	sehr stark	
Gelb F	50 DM	chromgelb	stark	
Orange F	78 DM	orange	mittel	
Weiß F	52 DM	weißlich-brillierend	mittel	Mischfarbe in blau, gelb, rot aufspaltend
Gelbgrün F	49 DM	olivgrün	mittel	Kristalle ungleich leuchtend

Die anorganischen Leuchtstoffe wurden sämtlich vom VEB Leuchtstoffwerk in Bad Liebenstein geliefert.

Anthracen wurde von der DHZ Chemie-Laborchemikalien, Berlin N 4, Chausseetr. 24 erworben.

300 g Coronen stellte das Kombinat „Otto Grotewohl“ in Böhlen freundlicherweise zur Verfügung. Ein laufender Bezug ist leider nicht möglich.

Tetracen als Braunkohlendestillat (Polycyklenkristalliat II) wurde zunächst in 2 Proben vom Paraffin-Werk „Vorwärts“ in Webau, Kr. Hohenmölsen überlassen. Hierfür sei an dieser Stelle den beiden leitenden Chemikern, Herrn Dr. Kersten und Herrn Dipl.-Chemiker Lobedan herzlicher Dank ausgesprochen. Ein Bezug in zu vereinbarenden Menge ist weiterhin möglich.

Phenanthren wurde in Probenmengen vom Labor für Organische Synthese, Leipzig O 5, Bergstr. 23 für unsere Versuche abgegeben.

Unter den Kohlenwasserstoffen steht Coronen sowohl wegen seiner Leuchtkraft als auch der Intensität der olivgrünen Färbung an erster Stelle. Der hohe Preis von einigen Zehntausend DM je kg zwingt jedoch bei der Färbung größerer Sandmengen von Coronen Abstand zu nehmen.

Das weit billigere Anthracen steht ihm an Leuchtkraft nicht nach und besitzt trotz seiner blässeren Aquamarinfarbe für die Praxis erstrangige Bedeutung.

An dritter Stelle wäre das als Zwischenprodukt bezeichnete, grün leuchtende Polycyklenkristalliat zu nennen, welches die gleiche Stärke wie Anthracen aufweist.

Hinter diesen 3 Stoffen tritt Phenanthren als zweitrangig zurück.

Von den anorganischen Farben aus Liebenstein besitzt ein Blaugrün die größte Helligkeit.

Dank seiner kräftigen Farbe kommt außerdem Gelb F besondere Bedeutung zu.

Es stehen somit 4 lichtstarke Luminoforen außer Coronen zur Verfügung. Diese können durch 4 weitere ebenfalls brauchbare Leuchtstoffe in den Farbtönen ultramarin, weiß, orange und olivgrün vermehrt werden. Dabei ist das organische Weiß dem anorganischen vorzuziehen.

Die Löslichkeit der Kohlenwasserstoffe wurde bereits als Vorzug angeführt. Ein vorheriges sorgfältiges Mörsern der organischen Luminoforen sichert den Erfolg.

Dagegen ließen gepulverte anorganische Leuchtstoffe infolge der Zerstörung der Kristalle einen merklichen Helligkeitsverlust beobachten.* Nach der Färbung ließen sich in den Schälchen stets nicht am Sand haftende Farbrückstände erkennen.

Eine Lichtempfindlichkeit von Anthracen ist nicht von der Hand zu weisen. Sie wurde bereits von ZENKOVITCH angeführt und durch die eigenen Versuche mit verschiedenen Leuchtstoffen bestätigt.

Eine starke Erhitzung wirkte sich jedoch weit nachteiliger aus. Erste Erfahrungen wurden beim Trocknen auf dem Sandbad und im Trockenschrank wie auch bei Erwärmung im UV-Licht der Analysenquarzlampe gesammelt.

Mit Anthracen gefärbte Sande ließen bei der Erhitzung auf 90° nach einer halben Stunde eine leichte Farbänderung erkennen. Derselbe Effekt trat bereits bei einer Temperatur von 65° nach einer Stunde ein. Bei 100° machte sich nach 10 Minuten ein erheblicher Helligkeitsverlust bemerkbar.

Bei den übrigen Kohlenwasserstoffverbindungen und den anorganischen Luminophoren ließen sich bei gleichen Temperaturen weder Farbänderungen noch Helligkeitsverluste erkennen. Ein Einfluß verschiedener Überzüge der mit Anthracen gefärbten Sande war bei diesen Versuchen nicht nachzuweisen.

In jedem Falle scheint es ratsam, mit Luminophoren behandelte Sande in mäßig temperierten Räumen und dunklen Behältern zu lagern.

Für die Färbung von 100 g feinkörnigen Sandes (0,1—0,2 mm) wurden jeweils 0,5 g Trockensubstanz eines Leuchtstoffes benötigt, für 100 kg entsprechend 500 g.

III. Wahl geeigneter Binde- und Lösungsmittel

Die Wahl geeigneter Bindemittel ist nicht weniger wichtig als die Suche nach guten lumineszenten Stoffen. Es kommt darauf an, für kurz- und langfristige Versuche Überzüge zu erproben, die die jeweils gewünschte Haltbarkeit gewährleisten. Es stehen in jedem Falle die Forderungen einer guten Bindung des Leuchtstoffes an den Quarz und einer gleichmäßigen Färbung aller Körner im Vordergrund. Zum anderen soll das Bindemittel weder die Leuchtkraft mindern noch den Farbton des fluoreszenten Stoffes ändern.

Es wurden folgende Binde- und Lösungsmittel verwendet:

Polystyrol	— Benzol,	Wasserglas	— Wasser,
Nitrokombilack	— Aceton,	Agar-Agar	— Wasser,
Geiseltallack	— Aceton,	Knochenleim	— Wasser,
Zaponlack	— Aceton,	Stärke	— Wasser.

Polystyrol wurde von den Buna-Werken Schkopau bei Merseburg und Nitrokombilack vom Leuchtstoffwerk Bad Liebenstein bezogen.

*) Vgl. hierzu STAUER, E. V. u. ROZENBLAM, M. G., Der Einfluß einer Zerkleinerung auf die optischen und elektrischen Eigenschaften von ZnS-Elektroluminophoren. Optik u. Spektroskopie. Leningrad 7 (1959) 4, S. 570—71.

Betreffs der Güte der Färbung können Wasserglas, Nitrokombilack und Polystyrol als gleichwertige Bindemittel bezeichnet werden. Es folgen der Reihe nach Zaponlack, Geiseltallack, Agar-Agar, Stärke, Gelatine und Knochenleim.

Es ist ein Vorteil, daß sowohl die organischen Leuchtstoffe wie auch Polystyrol und die Lacke in einunddemselben Mittel, Benzol oder Aceton, gelöst werden können. Beide Lösungsmittel verfliegen rasch während der Färbung.

Bei den in Wasser löslichen Kolloiden, Agar-Agar, Knochenleim etc. wird eine intensivere Färbung mit organischen Luminophoren durch Zugabe von 12 ccm Aceton zu 100 g Trockengemisch von Sand und Leuchtstoff erzielt. Erst nach Verdunsten des Acetons wird das in Wasser gelöste Kolloid hinzugegeben. Ohne vorherige Anwendung von Aceton wurden insofern schlechte Ergebnisse erzielt, als zuviel ungebundener Leuchtstoff zurückblieb. Nach der Zugabe der kolloidalen Lösung ist beim Trocknen des gefärbten Sandes in Rücksicht auf die organischen Stoffe Vorsicht geboten. Es empfiehlt sich, 40°C nicht zu überschreiten. Bei dieser Temperatur dauerte die Trocknung von Agar-Agar und Wasserglas etwa 1 Stunde.

Zur Prüfung der Haltbarkeit wurde mit allen Bindemitteln ein rigoroser Versuch unternommen. 50 g gefärbten Sandes wurden mit 400 ccm Seewasser in 1 Liter Kolben einer Umwälzmaschine (52 U/min) gegeben. Die Sandmenge war etwa doppelt so groß wie die bei Windstärke 5 in der Brandung dicht über dem Boden mit dem Horizontalwasserschöpfer gefangene Menge von etwa 30 g pro Liter. Jeden Tag wurde das alte durch frisches Seewasser ersetzt. Die für die stündliche bzw. tägliche Untersuchung entnommene Sandmenge betrug etwa 0,1 g. Es wurde darauf geachtet, wie lange sich die Leuchtkraft sämtlicher Körner unverändert erhielt, wann zuletzt alle gefärbten Körner noch einwandfrei erkennbar waren und bis zu welchem Zeitpunkt bei den weniger dauerhaften Überzügen die Leuchtkraft aller Körner erlosch.

Die Mengen von Binde- und Lösungsmitteln betragen jeweils für 100 g Sand und 0,5 g Leuchtstoff:

10 ccm Agar-Agar	0,5%ig,
12 ccm Wasserglas	(2 Teile Wasserglas/3 Teile Wasser),
12 ccm Polystyrol	(0,65 g/100 ccm Benzol),
12 ccm Nitrokombilack	(10 ccm Lack/60 ccm Aceton),
10 ccm Geiseltallack	(20 ccm Lack/80 ccm Aceton),
10 ccm Zaponlack	(20 ccm Lack/80 ccm Aceton).

Einen Überblick über die Haltbarkeitsversuche mit der Umwälzmaschine zeigt die Tab. 2.

Es ist diesen Versuchen eindeutig die Reihenfolge der Widerstandsfähigkeit zu entnehmen. Außerdem kommt die stärkere Abnutzung beim größeren Korn einheitlich zum Ausdruck.

Eine größere Haltbarkeit wie auch Licht- und Farbintensität konnte durch wiederholte Färbungen und höhere Konzentration des Bindemittels erreicht werden. So wurde z. B. bei einem weiteren Versuch mit Polystyrol zunächst die Kon-

zentration von 0,65 g Polystyrol/100 ccm Benzol auf 2,6 g P./100 ccm B. gesteigert und dann einundderselbe Sand wiederholt gefärbt. (siehe Tab. 3).

Der Versuch wurde nach 360 Stunden abgebrochen. Ein Vergleich mit den Angaben in Tab. 2 läßt auf den ersten Blick eine beträchtliche Zunahme der Haltbarkeit feststellen.

TABELLE 2

Überblick über Haltbarkeitsversuche mit der Umwälzmaschine
(Sand mit Anthracen und verschiedenen Bindemitteln)

Bindemittel	Sandfraktionen/mm				Reihenfolge n. d. Haltbark.
	1,0—0,6	0,6—0,4	0,4—0,2	0,2—0,1	Anmerkungen
Agar-Agar unverändert bis gut erkennbar bis erloschen ab	x < 8 Std. 8 24	x < 8 Std. 8 40	x < 8 Std. 8 112	x < 8 Std. 8 112	6
Wasserglas unverändert bis gut erkennbar bis erloschen ab	—	—	32 208 x	—	1 Versuch nach 208 Stunden abgebrochen
Polystyrol unverändert bis gut erkennbar bis erloschen ab	—	x < 24 40 160	x < 24 40 160	x < 24 40 x	3
Nitrokombilack unverändert bis gut erkennbar bis erloschen ab	x < 8 16 256	x < 8 16 256	24 112 256	24 112 256	2
Zaponlack unverändert bis gut erkennbar bis erloschen ab	—	x < 24 32 160	x < 24 32 160	x < 24 72 208*)	4 *) 0,2—0,1 nach 208 Std. stark geschw.
Geiseltallack unverändert bis gut erkennbar bis erloschen ab	—	x < 24 32 x	x < 24 32 x	x < 24 32 x	5 nach 136 Std. alle 3 Proben stark geschw.

Es kann bei doppeltem Aufwand an Benzol oder Aceton gegenüber dem in Tab. 2 zu erkennenden härtesten Überzug mit Wasserglas ein bedeutender Vorteil durch zweimalige Färbung und Erhöhung der Konzentration erzielt werden. Dabei bleibt die für das wiederholte Färben mit flüchtigen Lösungsmitteln benötigte Zeit immer noch unter derjenigen für die Trocknung des mit Wasserglas behandelten Sandes.

Ein Nachteil bei der wiederholten Färbung oder erhöhter Konzentration des Bindemittels entsteht durch stärkeres Verkleben der Körner. Es empfiehlt sich in jedem Fall, bei der Färbung den Sand gründlich zu rühren und kleine Zusammenballungen zu zerreiben.

TABELLE 3

Haltbarkeit von Mehrfachüberzügen mit Polystyrol

Anzahl der Überzüge	1		2		3	
	0,4—0,2; 0,2—0,1					
Anthracen + Polystyrol (2,6/100)	Stunden:					
Probe unverändert	48	—	120	216	120	192
Probe gut erkennbar	192	—	192	240	240	240
einzel. Körner nicht erkennb.	360	—	336	360	360	360
Probe erloschen	x	—	x	x	x	x

Die durch das Verkleben einzelner Sandkörner hervorgerufenen Verschiebungen des Korngemisches zugunsten der größeren Fraktionen sind aus den Tabellen 4 bis 6 zu ersehen. Auch hierbei lassen die verschiedenen Bindemittel Eigenheiten erkennen, die es von Fall zu Fall zu berücksichtigen gilt. Es wurden Überzüge mit Polystyrol, Nitrokombilack und Wasserglas verschiedener Konzentrationen miteinander verglichen.

Für Polystyrol ergaben sich die geringsten Abweichungen von der ursprünglichen Kornverteilung, während Überzüge mit Wasserglas und Nitrokombilack bei feinkörnigen Sanden zu erheblichen Veränderungen des Korngemisches führten.

Für Polystyrol ließen sich für Mittelsand selbst bei zwölffacher Konzentration nur geringe Unterschiede feststellen, während bei Feinsand mit dem Vierfachen der ursprünglichen Konzentration eine Grenze erreicht wurde.

Für Nitrolack und Wasserglas lassen sich die eingangs angegebenen Konzentrationen für Mittelsand noch als günstig, für Feinsand aber als zu hoch erkennen, da nach der Färbung über 20% der Gesamtmasse aller Körner in die nächsthöhere Fraktion rückten. Bei der Härte dieser Überzüge nützte auch ein starkes Reiben nicht, um eine Änderung des neuen Kornverhältnisses herbeizuführen.

Für kurzfristige Versuche bieten Stärke, Knochenleim und Agar-Agar die Gewähr, daß die Sande am ehesten ihre Leuchtkraft verlieren und neue Versuche mit den gleichen Farbstoffen möglich werden. Es ist spätestens nach Ablauf eines Tages in der Brandung damit zu rechnen, daß ein größerer, unbekannt bleibender Teil der gefärbten Körner durch Quellen und Ablösen des Bindemittels seine Fluoreszenz verloren hat.

Für länger dauernde Versuche steht dieser Gruppe diejenige der Lacke sowie Polystyrol und Wasserglas gegenüber. Die vorstehend angegebene Rangordnung möge die Wahl des für den jeweiligen Zweck günstigsten Bindemittels erleichtern.

Der Vorteil der Verwendung von Luminophoren ist vor allem darin zu suchen, daß sämtliche Fraktionen bei einunddemselben Versuch getrennt beobachtet werden können. Bei Verwendung radioaktiven Sandes würde dieses nur erreicht, wenn ebenfalls nach der Eingabe Proben entnommen und nach Fraktionen gesondert

TABELLE 4
Veränderung des Korngemisches bei Polystyrolüberzügen¹⁾

Korn-gemisch	Korn-größe mm	ungefärb-ter Sand Gew. %	Polystyrol 0,65/100 cm ³ Benzol		Polystyrol 1,3 g/100 cm ³ Benzol		Polystyrol 2,6 g/100 cm ³ Benzol		Polystyrol 5,2 g/100 cm ³ Benzol		Polystyrol 7,8 g/100 cm ³ Benzol	
			un-gerieben	gerieben	un-gerieben	gerieben	un-gerieben	gerieben	un-gerieben	gerieben	un-gerieben	gerieben
Feinsand	>0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	>0,2	1,0	1,0	4,8	4,7	5,4	5,6	13,2	10,8	13,1	12,8	
	>0,1	94,6	96,4	92,7	92,3	90,0	92,0	85,2	88,6	85,6	85,6	
	>0,06	4,2	2,3	2,1	2,7	3,6	1,9	1,5	0,4	1,2	0,3	
Mittel-sand	>0,4	0,2	0,3	0,4	0,3	1,0	0,5	0,1	0,2	0,1	1,3	0,6
	>0,2	0,4	0,8	0,6	1,0	1,0	0,7	1,1	1,3	1,3	0,6	
	>0,1	91,9	92,9	94,5	92,5	94,4	92,7	90,8	93,5	94,2	95,7	
	>0,06	6,2	6,1	4,8	6,3	4,2	6,2	8,0	5,1	3,9	3,6	
	>0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,6	0,1	—
	>0,2	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	—
	>0,1	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	—
	>0,06	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	—

1) Die Proben wurden lediglich zwischen den Fingern gerieben. Ein Granulator wurde nicht verwendet.

TABELLE 5
Veränderung des Korngemisches bei Wasserglasüberzügen

Korn-gemisch	Korn-größe mm	ungefärb-ter Sand Gew. %	1 Teil Wasserglas 3 Teile Wasser		2 Teile Wasserglas 3 Teile Wasser		1 Teil Wasserglas 1 Teil Wasser	
			un-gerieben	gerieben	un-gerieben	gerieben	un-gerieben	gerieben
Feinsand	>0,6	—	1,5	1,6	2,2	1,0	3,3	0,5
	>0,4	—	8,8	4,5	22,4	12,9	22,5	6,2
	>0,2	10,6	33,5	36,9	44,9	49,4	41,4	33,9
	>0,1	88,3	55,2	56,5	30,3	36,2	32,6	58,7
	>0,06	1,1	1,0	0,5	0,2	0,5	0,2	0,7
	<0,06	—	—	—	—	—	—	—
Mittel-sand	>0,6	—	—	—	1,6	1,1	1,6	1,1
	>0,4	0,7	1,2	0,4	10,0	5,3	11,0	5,3
	>0,2	93,2	94,1	93,3	85,2	90,6	84,7	90,6
	>0,1	6,0	4,6	6,2	3,0	2,8	3,4	2,8
	>0,06	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2
	<0,06	—	—	—	—	—	—	—

TABELLE 6
Veränderung des Korngemisches bei Überzügen mit Nitrokombilack

Korn-gemisch	Korn-größe mm	ungefärb-ter Sand Gew. %	1 Teil Nitrolack 6 Teile Aceton		2 Teile Nitrolack 6 Teile Aceton		3 Teile Nitrolack 6 Teile Aceton	
			un-gerieben	gerieben	un-gerieben	gerieben	un-gerieben	gerieben
Feinsand	>0,4	—	—	—	—	—	0,40	—
	>0,2	1,16	3,40	2,48	19,04	19,00	24,30	24,15
	>0,1	93,80	94,40	94,54	80,20	80,20	74,70	74,95
	>0,06	4,74	2,00	2,86	0,70	0,70	0,55	0,83
	<0,06	0,30	0,20	0,12	0,10	0,10	0,05	0,07
Mittel-sand	>0,4	0,43	1,16	0,64	5,00	4,74	6,84	5,10
	>0,2	91,90	93,80	88,80	92,20	92,22	90,90	92,70
	>0,1	6,20	4,74	9,27	2,69	2,86	2,29	2,10
	>0,06	1,41	0,30	1,21	0,10	0,11	0,03	0,10
	<0,06	0,06	—	0,08	0,01	0,07	—	—

würden. Beschränkt man sich aber auf ein Zählen der Impulse mit dem Geiger-Zählrohr von Bord eines Schiffes aus, so wird man niemals die rechte Vorstellung von den vielgestaltigen Vorgängen in der Brandungszone gewinnen. Auch wenn Proben radioaktiven Sandes entnommen und nach Fraktionen getrennt untersucht werden, bietet die Vielfarbigkeit der Luminoforeszenz die Möglichkeit zu umfassenderen Versuchen.

Literatur

- [1] AJBULATOV, N. A., Ermittlung der Mächtigkeit der Ströme von in Schwebelag befindlichen sandigen Sedimenten an Meeresufern. Doklady AN SSSR **116** (1957) Nr. 2, 281—283.
- [2] GRIESSEIER, H., Über die Verwendung von Luminophoren beim Studium der litoralen Materialbewegung. Acta Hydrophysica VI, H. 1, Berlin 1959.
- [3] LUDWIG, G., Über die Anfärbung rezenter Sande mit lumineszierenden Stoffen zum Erkennen ihrer Transportwege. Acta Hydrophysica V, H. 3, Berlin 1959.
- [4] ZENKOVITCH, V. P., Emploi des luminophores pour l'étude du mouvement des alluvions sablonneuses. Bulletin d'information, Comité Central d'Océanographie et d'Étude des Cotes (C.O.E.C.), Paris, Mai 1958, 243—253.

Über die hydrologischen Verhältnisse in der westlichen Ostsee im November 1953

Von G. WOLF

Zusammenfassung: Die Terminfahrt im November 1953 wurde während einer Einstromperiode durchgeführt. Die hydrologische Situation hatte sich kurze Zeit nach dem Auslaufen der beiden Forschungsschiffe „Joh. L. Krüger“ und „F. C. Gauß“ geändert. Die Messungen lassen erkennen, daß das salzreiche Tiefenwasser nur während der vorangegangenen Ausstromlage zum Arkonabecken vorgedrungen sein kann. Besonderheiten dieser Bewegungsvorgänge, die die ablenkende Kraft der Erdrotation bewirkt, werden besprochen.

Als die meereskundliche Forschung in dem 1953 neu gegründeten Hydro-Meteorologischen Institut und dem späteren Institut für Meereskunde des SHD aufgenommen wurde, richtete sich das Augenmerk natürlicherweise auf die der Küste der DDR vorgelagerten Teile der Ostsee. Damit gewann aber gleichzeitig die Frage des Wasseraustausches zwischen Nord- und Ostsee durch die Belte und den Sund an Bedeutung. Das Programm der Meßfahrten wurde im Laufe der Jahre mehrmals geändert und neuen Anforderungen angepaßt. Bei den älteren Terminfahrten, wie z. B. der vorliegenden, stand die Kontrolle der Bewegung der sog. Beltseefront, der Grenze zwischen Nord- und Ostseewasser, im Vordergrund. Meist handelte es sich um synchrone Untersuchungen mittels zweier Schiffe zu den bekannten Terminen, die in der Zwischenzeit durch Dekadenfahrten ergänzt wurden.

Im November 1953 waren die beiden Forschungsschiffe „J. L. Krüger“ und „F. C. Gauß“ mit der Durchführung der Terminfahrt beauftragt, deren Fahrtroute aus Abb. 1 zu ersehen ist und die im Bereich der minengefährdeten Gebiete grundsätzlich auf den Zwangswegen verlief. Außer der üblichen Ausrüstung befand sich ein Zeiss'sches Pulfrich-Photometer an Bord des „J. L. Krüger“, um die Seewasserproben spektral untersuchen zu können.

Der „F. C. Gauß“, der in Wismar ausgerüstet worden war, begann seine Fahrt am 4. 11. 1953, und zur gleichen Zeit verließ der „J. L. Krüger“ den Hafen von Stralsund.

Die Wetterlage war bis dahin charakterisiert durch ein ausgeprägtes Hochdruckgebiet mit seinem Kern über dem westlichen Teil der UdSSR und einem Tief über den britischen Inseln. Im gesamten Gebiet der Ostsee, einschließlich ihrer Zugänge, wechselten die Windrichtungen zwischen Ost und Süd und waren die Ursache einer langanhaltenden Ausstromlage. Diese wurde am 5. 11. 1953 dadurch abgeschlossen, daß sich die Störung von den britischen Inseln weiter nach Norden

verlagerte und auf der Nordflanke eines bis Ostfrankreich reichenden Hochkeiles Winddrehung auf Südwest bis West erfolgte.

Der bei dem Feuerschiff „Fehmarnbelt“ des DHI gemessene Oberflächenstrom [1] kenterte am Nachmittag des 5. 11. 1953 und setzte anfangs mit etwa 50 cm/sec und später mit veränderlicher, aber immer zunehmender Intensität nach Osten (Abb. 2).

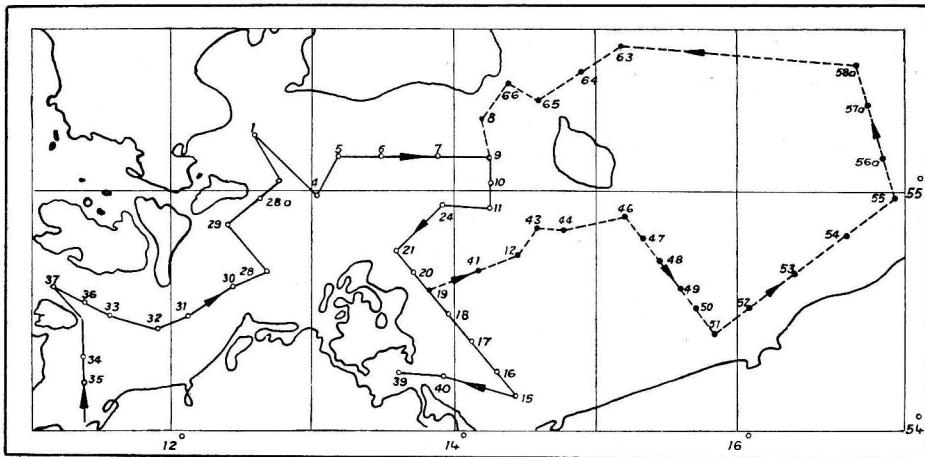


Abb. 1. Fahrtrouten der Expeditionsschiffe „J. L. Krüger“ (-----) und „F. C. Gauß“ (—) im November 1953

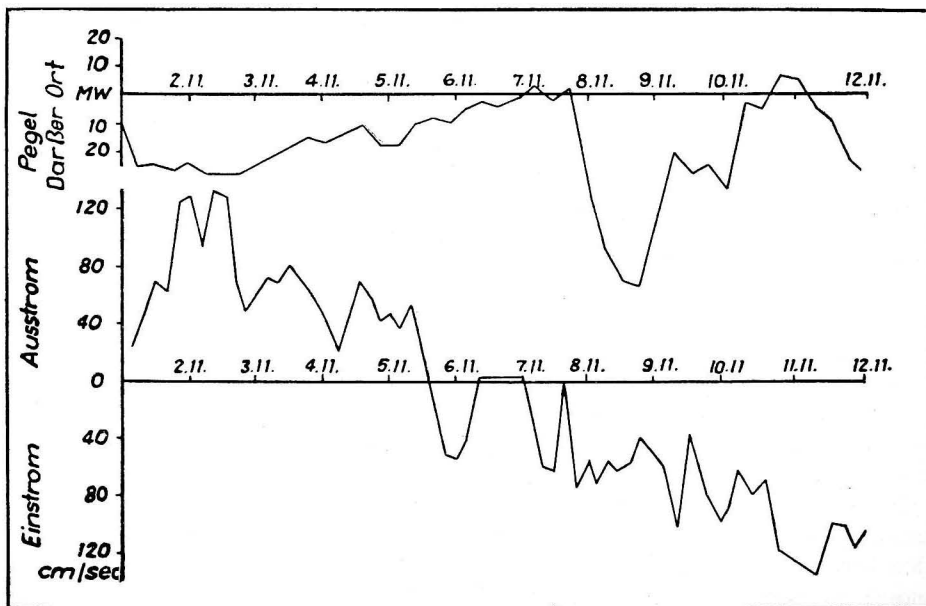


Abb. 2. Oberflächenstrom am Feuerschiff „Fehmarnbelt“ und Wasserstandsänderungen am Pegel „Darßer Ort“ in der Zeit vom 1. 11. bis 12. 11. 1953

Aus den Meßprotokollen ist ersichtlich, daß der Wechsel zwischen Aus- und Einstrom gegen 18 Uhr stattfand, als sich das Schiff auf dem Wege zur Station 28 befand. Für das Verständnis der Beobachtungen ist es notwendig, die Änderungen des Windes und des Stromes näher zu untersuchen, die natürlich einander nicht genau entsprechen. Den ersten Teil der Terminfahrt, nämlich bis zum 7. 11. 1953, kann man in drei Abschnitte gliedern, wie sie die Tab. 1 enthält.

TABELLE 1

Wind- und Strömungsrichtung in verschiedenen Zeitabschnitten der Terminfahrt

Datum und Uhrzeit	bereiste Stationen	Windrichtung und mittlere Stärke	Stromrichtung an der Station	Bemerkung
5. 11. 1953 03 ^h bis 18 ^h	37 bis 28	SW 4	Ausstrom	Station 32 und 33 Einstrom in allen Tiefen
5/6. 11. 1953 19 ^h bis 14 ^h	29 bis 4	SE 4	Einstrom	Seit 8 ^h am 6. 11. Stromstille am Feuerschiff F. B.
6/7. 11. 1953 15 ^h bis 03 ^h	5 bis 9	SSW 3	NW-Strom	Noch Stromstille am Feuerschiff F. B.

Danach waren in der Zeit vor und nach dem Kentern des Stromes Wind und Strom einander entgegengerichtet. Im letzten Zeitabschnitt herrschte wahrscheinlich im Sund Ausstrom, während im Fehmarnbelt Stromstille beobachtet wurde.

Es ist nun bemerkenswert, daß an den Stationen 33 und 32 in allen Tiefen Einstrom festgestellt wurde, und an der Station 34 sogar 12 Stunden früher. Während dieser gesamten Zeit bestand am Fehmarnbelt-Feuerschiff die Ausstromperiode ohne Unterbrechung auch weiterhin. Wie im folgenden noch weiter ausgeführt wird, sieht der Verfasser darin die Wirkung der ablenkenden Kraft der Erdrotation in Verbindung mit den o. a. Windverhältnissen.

H. WATTENBERG [2] weist bei der Besprechung der Ausstromlagen darauf hin, daß dieser Vorgang im Fehmarnbelt durch den Einfluß der Erdrotation stark unterstützt wird. Bei Ausstrom wird das salzarme Wasser an die Küste von Laaland gedrückt, so daß die Isohalinen etwa parallel zur Stromrichtung verlaufen. Als Beispiel führt WATTENBERG einen Querschnitt durch den Fehmarnbelt an, in dem diese Wirkung deutlich zum Ausdruck kommt (s. Abb. 3a).

Allerdings handelt es sich hierbei um den recht seltenen Fall, daß im Fehmarnbelt infolge des anhaltenden Ausstromes keine Sprungschicht mehr existierte. E. PALMÉN [3] fand im Finnischen Meerbusen ähnliche Verhältnisse bei einem starken NE-Sturm und für das Gebiet der Darßer Schwelle enthalten die Messungen der Dekadenfahrten längs des Schnittes Warnemünde—Gjedser zahlreiche Beispiele, die den Einfluß der Erdrotation gut erkennen lassen (Abb. 3b). Diese Fahrt

z. B., die gegen Ende einer Ausstromperiode stattfand, veranschaulicht die Verhältnisse beim Vorhandensein einer Sprungschicht. In solchen Fällen kann durch die Rechtsablenkung eine beachtliche Schrägstellung der Isohalinen bewirkt werden, wobei nicht selten die Sprungschicht an die Oberfläche tritt. Das salzreiche Tiefenwasser, das bei Ausstrom durch den Fehmarnbelt eindringt, wird also nach

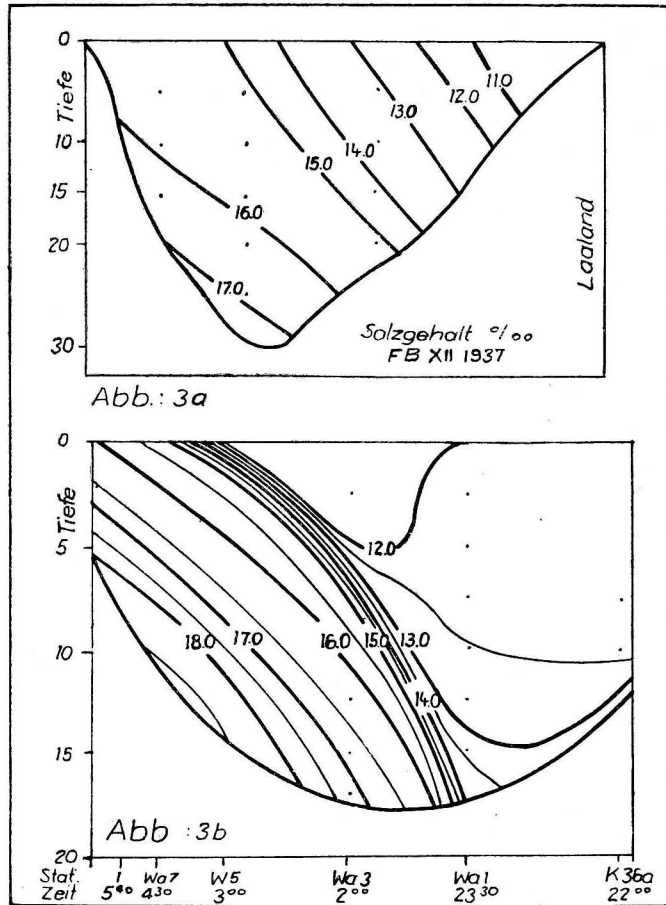


Abb.: 3a

Abb.: 3b

Abb. 3a u. b. Einfluß der Erdrotation auf den Verlauf der Isohalinen im Fehmarnbelt (nach Wattenberg am 8. 12. 37) und dem Querschnitt Warnemünde—Gjedser am 16. 12. 1959

rechts zur Küste abgelenkt und tritt oftmals deutlich als „Küstenstrom“ hervor, der von den Stromverhältnissen im vorgelagerten Seegebiet abweicht, und der je nach der Entwicklung der Ausstromlage einen kleineren oder größeren Teil des Querschnittes einnimmt. Mit dem Übergang zur Einstromlage, bei der die Stromrichtung vor der Küste wechselt, erfaßt der Einstrom an der Oberfläche bald die gesamte Breite. Die Intensität der Sprungschicht verringert sich und kann bei extremen Lagen völlig aufgelöst werden.

Wenn nun diese Deutung der angetroffenen Verhältnisse richtig wäre, so müßte sich das auch auf den Aufbau der Wassermassen im Bereich der Stationen 33 und 32 auswirken. Führt man sich nämlich den vermutlichen Verlauf der Stromgrenze in der Mecklenburger Bucht vor Augen, so hätte man Strömungsverhältnisse zu erwarten, wie sie schematisch in Abb. 4 dargestellt sind.

Die Stationen 33 und 32 befinden sich danach in einem Divergenzgebiet, in dem das Tiefenwasser zur Oberfläche aufsteigt. Ein solcher Effekt ist tatsächlich zu erkennen, und zwar besonders eindrucksvoll an dem Verlauf der Isohalinen (vergl. Abb. 5).

Es ist von verschiedenen Meßfahrten bekannt, daß auch nördlich der Insel Rügen besondere Stromverhältnisse vorkommen, die in Stärke und Richtung von denen des vorgelagerten Seegebietes abweichen. Der Verfasser [5] konnte im Rahmen einer Untersuchung in den Hiddenseer Gewässern zeigen, daß z. B. zwischen den Strömungsverhältnissen im Libben und den Ein- und Ausstromverhältnissen im Fehmarnbelt ein Zusammenhang besteht.

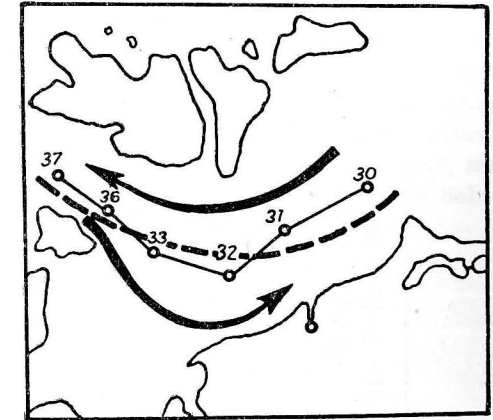


Abb. 4. Stromgrenze in der Mecklenburger Bucht zu Beginn der Terminfahrt (-----)

Das Vordringen salzreichen Tiefenwassers in das Arkonabecken wurde bislang den von H. WATTENBERG [2] definierten Einstromlagen zugeschrieben. Die Untersuchung verschiedener Ein- und Ausstromlagen zeigt aber im allgemeinen das Gegenteil. Die Bewegung der Front an der Oberfläche erfaßt zwar das Westliche der hydrologischen Vorgänge, aber es ist notwendig, auch die Verhältnisse in der Tiefe zu berücksichtigen. Diese Erkenntnis in Verbindung mit der aus früheren Forschungen seit langem bekannten Tatsache, daß die Sprungschicht über die Darßer Schwellen hinwegreicht, hat K. WYRTKI [4] klar abgeleitet.

Aus Abb. 5 ersieht man, daß die Salzgehaltssprungschicht zum Zeitpunkt des Kenterns am Rande des Arkonabeckens endet. Sie befindet sich in einer Tiefe von etwa 10 m, und der Salzgehalt ändert sich innerhalb weniger Meter von 9‰ auf 20‰. Der Salzgehalt im Fehmarnbelt beträgt am Boden mehr als 23‰. Auch in der Temperatur und im Sauerstoffgehalt treten die unterschiedlichen Wassermassen deutlich hervor. Im Arkonabecken erfolgt in 30 m Tiefe ebenfalls eine Salzgehaltzunahme von 7,5‰ auf etwa 16‰ in 40 m Tiefe.

Zwischen den Stationen 28 und 4 liegt eine zeitliche Differenz von 18 Stunden, die bei der Beurteilung der hydrologischen Situation zu berücksichtigen ist. Sie deutet aber darauf hin, daß das salzreiche Tiefenwasser während der Ausstrom-

lage in das Arkonabecken eingeschoben wurde. Wie K. WYRTKI [4] ausführt, ist das besonders am Anfang einer Ausstromperiode der Fall, denn die vorangegangene Einstromlage hat durch die Schaffung eines starken inneren Kraftfeldes die Energie für den Einstrom in der Tiefe bereitgestellt.

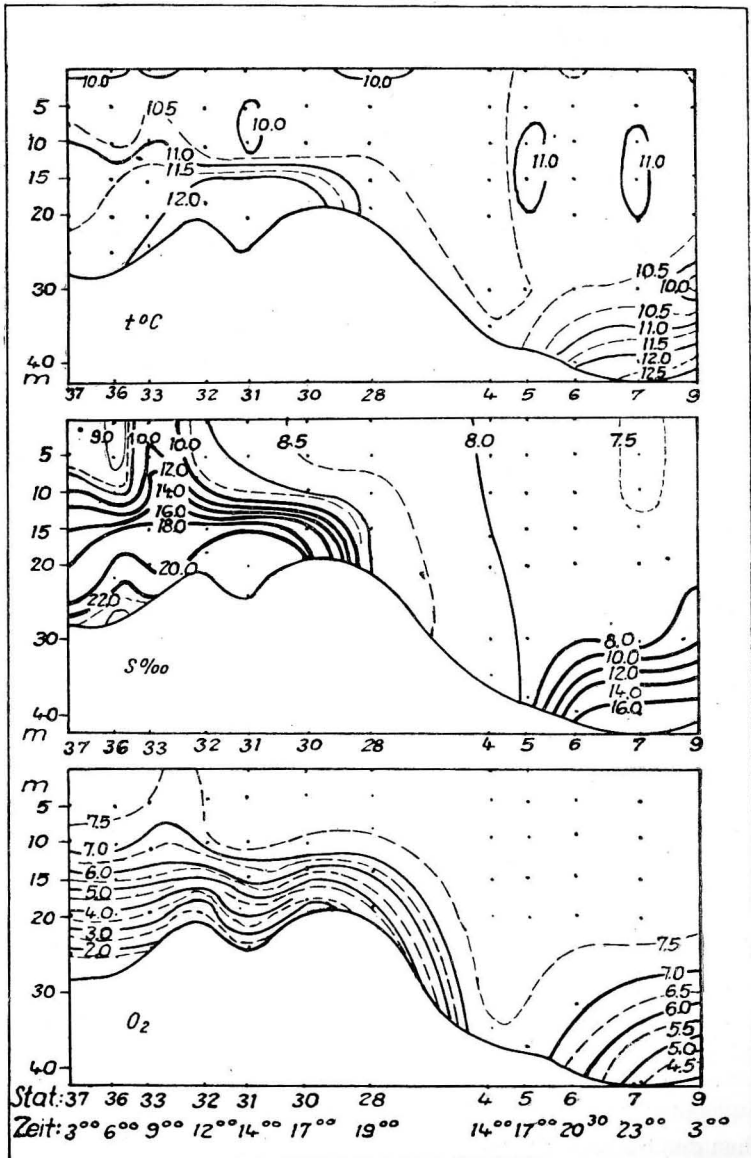


Abb. 5. Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt längs eines Schnittes vom Fehmarnbelt bis zum Arkonabecken am 5. und 6. 11. 1953

Im Arkonabecken setzte der Strom in allen Tiefen mit etwa 8 cm/sec nach NW, so daß vermutlich im Sund Ausstrom herrschte, während am Feuerschiff Fehmarnbelt Stromstille beobachtet wurde.

Die im gleichen Zeitabschnitt mit dem Forschungsschiff „J. L. Krüger“ durchgeführten Untersuchungen auf dem Schnitt Rügen—Bornholm, bzw. Bornholm—Stolpmünde, führten ebenfalls zu

einigen bemerkenswerten Ergebnissen. Die ersten Messungen wurden östlich Rügens an der Station 19 gegen 19³⁰ durchgeführt, also etwa zu dem Zeitpunkt, als der Strom kenterte. An den Stationen 19 und 41 setzte der Strom entlang der Ostküste Rügens nach SE. Diese Stromrichtung muß bereits während der Ausstromlage vorhanden gewesen sein. Vergleichen wir an Hand der Tab. 2 die Salzgehaltsverteilung an den Stationen 28 und 19 einerseits und den Stationen 19 und 41 andererseits, deren Messungen zeitlich höchstens zwei Stunden auseinanderliegen! Die Stationsabstände verhalten sich wie 3,5:1. Da der horizontale Salzgehaltsgradient im allgemeinen nach E abnimmt, so muß man folgern, daß der relativ hohe Salz-

TABELLE 2
Salzgehalt in ‰ an 3 Terminfahrtstationen

Tiefe	Stat. 28	Stat. 19	Stat. 41
0	8.33	7.79	7.47
5	8.30	7.90	7.50
10	8.64	7.98	7.57
15	8.93	8.13	7.54
18	8.93	8.31	7.68

gewesen sein. Vergleichen wir an Hand der Tab. 2 die Salzgehaltsverteilung an den Stationen 28 und 19 einerseits und den Stationen 19 und 41 andererseits, deren Messungen zeitlich höchstens zwei Stunden auseinanderliegen! Die Stationsabstände verhalten sich wie 3,5:1. Da der horizontale Salzgehaltsgradient im allgemeinen nach E abnimmt, so muß man folgern, daß der relativ hohe Salz-

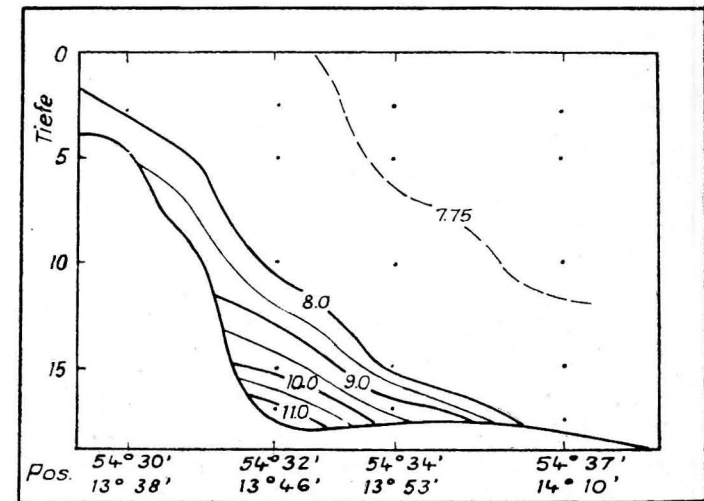


Abb. 6. Salzgehalt in ‰ während der Dekadenfahrt vom 11. 9. 1956 vor Saßnitz

gehalt der Station 19 (die Salzgehaltsdifferenzen zwischen den Stationen sind annähernd gleich) nur durch einen Transport salzreichen Wassers entlang der Küste hervorgerufen sein kann. An den anderen, weiter östlich gelegenen Stationen dieses Schnittes, setzte der Strom nach W bis NW. Solche Verhältnisse kann man bei langanhaltenden Ausstromlagen recht oft feststellen, wie man den Dekadenfahrten von Saßnitz entnehmen kann (Abb. 6).

Die als Beispiel gewählte Fahrt fand während einer bereits 12 Tage anhaltenden Ausstromlage statt. Die in der Abbildung gestrichelte 7.75‰-Isohaline markiert etwa die Stromgrenze zwischen dem an der Küste mit etwa 10 cm/sec nach SE und auf der Seeseite mit 5 cm/sec nach NW setzenden Strom.

Die hydrologischen Verhältnisse an den Stationen 46 bis 51, die südöstlich Bornholm aufeinanderfolgen, sind in Abb. 7 dargestellt. Südöstlich Bornholms setzte

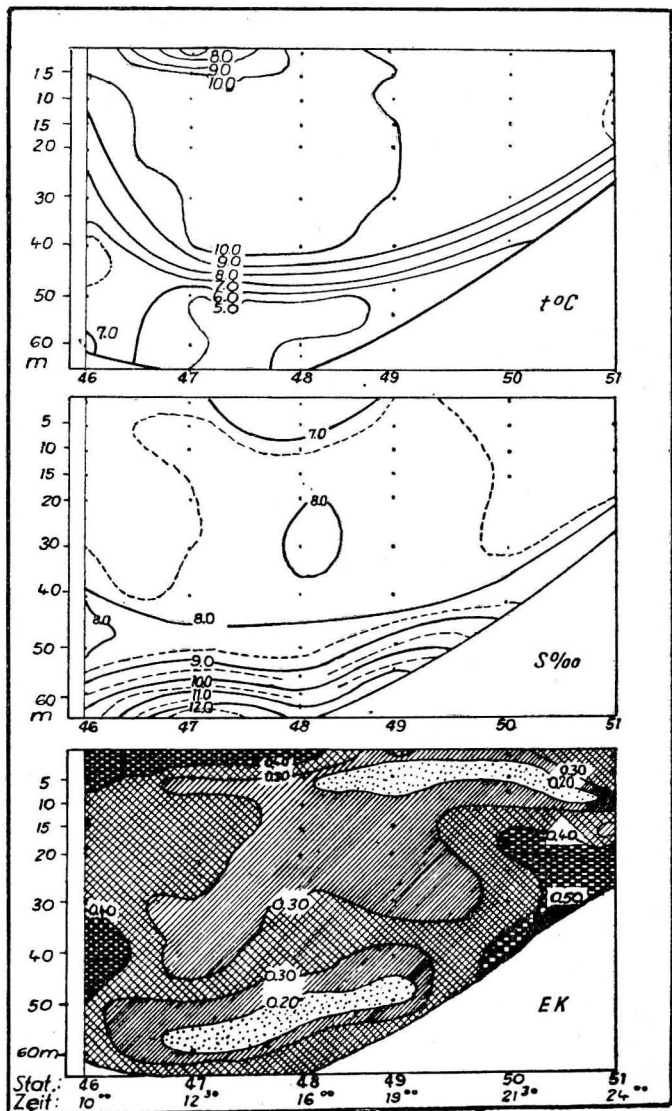


Abb. 7. Temperatur, Salzgehalt und Extinktion des Schnittes Bornholm—Stolpmünde am 6. 11. 1953

der Strom nach E bis etwa 30 m Tiefe, während am Boden die Richtungen wechselten. Ähnlich waren die Verhältnisse vor der polnischen Küste. In der Mitte des Querschnittes wurde bis 40 m Tiefe W-Strom und darunter bis zum Boden E-Strom gemessen. Die Geschwindigkeit des Bodenstromes betrug 8 cm/sec. In der Oberflächenschicht bis 10 m Tiefe an der Station 49 herrschte ebenfalls E-Strom. Die Salzgehaltssprungschicht lag in 40 m Tiefe, in der eine Zunahme von 8‰ auf 13‰ erfolgte, während die Temperaturabnahme etwa 5°/10 m betrug. Für die Darstellung der Extinktionskoeffizienten wurden die mit dem Filter S 72 gemessenen EK (m^{-1}) verwendet. Die Sprungschicht, die als solche besonders in der Temperatur deutlich hervortritt, ist durch eine Schicht mit relativ hoher Extinktion markiert, die an den beiden Küsten dieses Schnittes die höchsten Werte erreicht.

Am 7. 11. 1953 mußten beide Schiffe die Meßfahrt infolge des stark auffrischenden Windes unterbrechen. Beim Durchzug des Sturmtiefs, das an sämtlichen Pegeln der DDR-Küste eine Wasserstandsänderung von 75 bis 80 cm verursachte (vergl. Abb. 2), verlor „J. L. Krüger“ bei Windstärke 9 bis 10 einen Anker mit 100 m Trosse. Nach einer 3-tägigen Unterbrechung, während der starker Einstrom festgestellt werden konnte, wurden am 10. 11. 53 die Messungen auf der Rückfahrt in Form eines verkürzten Programmes (Driftstationen) wieder aufgenommen und die Terminfahrt am 11. 11. 1953 abgeschlossen.

Literatur

- [1] DHI, Beobachtungen auf den deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee im Jahre 1953. Hamburg 1954.
- [2] WATTENBERG, H., Die Salzgehaltsverteilung in der Kieler Bucht und ihre Abhängigkeit von Strom und Wetterlage. Kieler Meeresforschungen Bd VI, 1949.
- [3] PALMÉN, E. und LAURILA, E., Über die Einwirkung eines Sturmes auf den hydrographischen Zustand im nördl. Ostseegebiet. Soc. Scient. Tenn. Comm. Phys.-Math. X (1938) H. 1.
- [4] WYRTKI, K., Die Dynamik der Wasserbewegungen im Fehmarnbelt I. Kieler Meeresforschungen Bd. IX, 1953.
- [5] WOLF, G., Die hydrologischen Verhältnisse östlich und westlich der Halbinsel Bug im Sommer 1956. Warnemünde 1957 (unveröff.).

Untersuchungen zur Strömungsmessung mit Fix- und Schleppelektroden

VON DIETRICH BÖHL

Zusammenfassung: Ergänzend zu der Arbeit von G. SAGER „Die Methode der Fix- und Schleppelektroden — ein neuer Weg in der Messung von Meeresströmungen“ wird der allgemeine funktionelle Zusammenhang zwischen den Widerständen der Meßanordnung, den zwischen den Elektroden strömenden Wassermassen und den Rückleitungen unter Berücksichtigung der dort induzierten Spannungen entwickelt.

Vor zehn Jahren berichtete W. S. VON ARX ausführlich über ein Gerät zur Messung der Oberflächenströmung vom fahrenden Schiff aus, den sogenannten „Geomagnetic Electrokinetograph“ (G. E. K.). Seitdem sind insbesondere im Ausland zahlreiche Veröffentlichungen auf diesem Gebiet erschienen. G. SAGER hat in seinem Aufsatz „Die Methode der Fix- und Schleppelektroden, — ein neuer Weg in der Messung von Meeresströmungen“ 1957 eine Darstellung des derzeitigen Standes des G. E. K. gegeben. Die nachfolgenden Untersuchungen habe ich ergänzend zum dritten Kapitel der genannten Arbeit durchgeführt, und ich möchte Herrn Sager an dieser Stelle für die Anregung danken.

Der Vollständigkeit halber sei das Grundprinzip der Fix- und Schleppelektroden kurz aufgezeigt. Durch die Bewegung einer Wassermasse relativ zum erdmagnetischen Feld wird in ihr eine elektrische Spannung induziert, die mittels zweier durch ein Meßgerät und seine Zuleitungen verbundenen Elektroden gemessen werden kann. Die Induktionsspannung ist proportional der zur Verbindungslinie der Elektroden senkrechten Komponente der Strömung. Die beiden Elektroden können entweder ortsfest aufgestellt sein oder von einem Schiff geschleppt werden. Im Gegensatz zu der stationären Meßanordnung treten bei geschleppten Elektroden auch in den Zuleitungen zum Meßgerät Induktionsspannungen auf. Eine teilweise Ableitung des Induktionsstromes durch den Meeresboden oder durch die tieferliegenden und schwächer bewegten Wassermassen verfälscht die Messung geringfügig. Bei der festen Aufstellung der Elektroden kann diese Ableitung vernachlässigt werden. Bei der geschleppten Meßanordnung muß sie jedoch berücksichtigt werden, um überhaupt eine von Null verschiedene Meßspannung zu erhalten.

Der Einfachheit halber haben sowohl G. SAGER als auch die anderen von ihm zitierten Autoren bei der Ableitung der Formeln vorausgesetzt, daß in den als

Rückleitung dienenden tieferliegenden Wassermassen keine Induktionsspannungen auftreten. Sie waren sich darüber im klaren, daß dieses nur einen Idealfall darstellt. Die Berücksichtigung der verschiedenen, durch vertikale Strömungsverteilung bedingten Induktionsspannungen ist tatsächlich fast unmöglich, zumal die Leitfähigkeit in den einzelnen Tiefen Schwankungen unterworfen ist und auch der Meeresboden noch für eine teilweise Rückleitung sorgt.

Um diesen Tatsachen besser gerecht werden zu können, wird in der nachfolgenden Ableitung der Einfluß von N verschiedenen Rückleitungen betrachtet. Darüber hinaus wird in jeder der verschiedenen als Rückleitung dienenden Wassermassen eine Eigenbewegung zugelassen und deshalb die entsprechende Induktionsspannung U_n berücksichtigt. Dies ist nur ein kleiner Schritt weiter, da über den Zusammenhang zwischen den U_n und den Bodenströmungen noch keine Aussage gemacht werden kann. Beim Vergleich der hier angegebenen Formeln mit denen der Arbeit von G. SAGER ist zu berücksichtigen, daß eine Änderung der Indizes der Spannung vorgenommen werden mußte.

Entsprechend den geschilderten Verhältnissen beim GEK sind die beiden Elektroden, elektrotechnisch gesehen, durch folgende Leitungen verbunden:

1. Durch die stark strömende Wassermasse, deren Induktionsspannung gemessen werden soll. Der Kürze halber werde sie im Folgenden als *Strömungsleitung* bezeichnet. Die darin induzierte Spannung sei U_v , ihr Widerstand R_v und der dort fließende Strom I_v .
2. Durch das Meßinstrument und seine Zuleitungen. Dafür wird hier die Kurzbezeichnung *Meßleitung* gewählt. Der Gesamtwiderstand der Meßleitung sei R_m , der hier fließende Strom I_m und die induzierte Spannung U_m .
3. Durch die N *Rückleitungen*, d. h. den Boden und die schwach bewegten tieferliegenden Wasserschichten, über welche die teilweise Rückleitung des Stromes erfolgt. Der in der n -ten Rückleitung fließende Strom sei I_n , ihr Widerstand R_n und die in ihr induzierte Spannung U_n . Dabei ist n eine ganze Zahl zwischen 1 und N . Wird nur eine Rückleitung berücksichtigt, so erhalten deren elektrische Größen den Index 0.

Abb. 1 zeigt für den Fall *einer* Rückleitung sowohl den schematischen Stromverlauf bei Schleppelektrodenmessungen als auch die entsprechende elektrische Schaltung. Die galvanischen Elemente sollen dabei andeuten, daß in den Leitungen Spannungen induziert werden. Die stark gezeichneten Verzweigungspunkte entsprechen den beiden Elektroden. Bei dem Meßinstrument ist zu beachten, daß jedes nichtstatische Voltmeter ein Strommeßgerät ist, gegen dessen Innenwiderstand die Widerstände der Zuleitungen vernachlässigt werden können.

Ein Voltmeter für so geringe Spannungen, wie sie bei den Schleppelektrodenmessungen auftreten, hat einen verhältnismäßig kleinen Innenwiderstand. Dennoch sei vorausgesetzt, daß gegen diesen der Widerstand der übrigen Elemente der Meßleitung klein sei oder daß bei der Eichung des Instrumentes der Gesamtwiderstand der Meßleitung berücksichtigt wurde. Somit ist die abgelesene Meß-

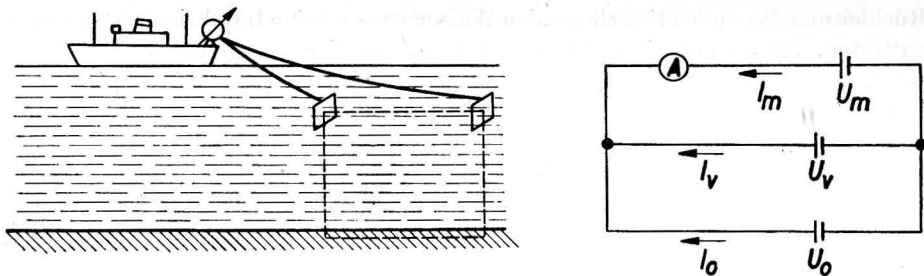


Abb. 1. Stromverlauf bei Schleppelektrodenmessungen

a) schematische Zeichnung

b) die elektrische Schaltung

spannung $U = R_m I_m$. Die Ableitung des funktionellen Zusammenhanges zwischen der Meßspannung U , den Induktionsspannungen $U_1, U_2, \dots, U_N, U_v$ und U_m

und den Einzelwiderständen $R_1, R_2, \dots, R_N, R_v$ und R_m erfolgt über die beiden von KIRCHHOFF aufgestellten Grundregeln:

1. Bezeichnet man für einen Verzweigungspunkt die Stromstärken der zu dem Punkte hinfließenden Ströme durch positive Vorzeichen, dagegen die Stromstärken für die abfließenden Ströme durch negative Vorzeichen, so ist für jeden Punkt des Stromleiters die Summe der Stromstärken gleich Null.

$$\sum I_n = 0.$$

Auf die Elektroden des GEK als Verzweigungspunkte angewandt, bedeutet dies, daß

$$I_m + I_v + \sum_{n=1}^N I_n = 0 \quad (1)$$

ist.

2. In einem geschlossenen Stromkreis ist die Summe der elektromotorischen Kräfte U gleich der Summe der für die einzelnen Leitungen gebildeten Produkte aus den Stromstärken I mit den Widerständen R :

$$\sum U_n = \sum I_n R_n.$$

Die Vorzeichen der Induktionsspannungen und der Ströme sind dabei gegeneinander einheitlichen Umlaufssinn zu rechnen.

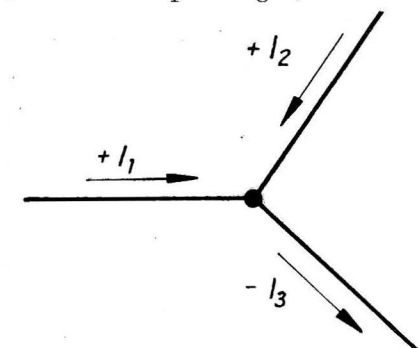


Abb. 2. Verzweigungspunkt

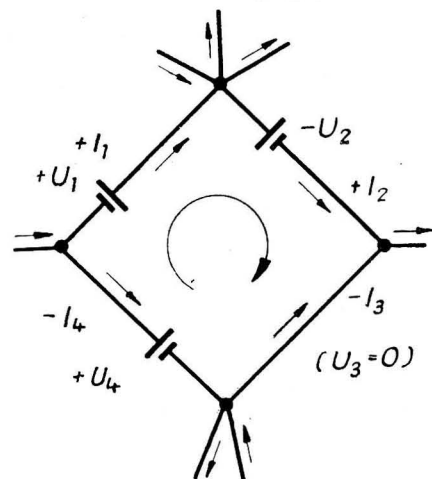


Abb. 3. Geschlossener Stromkreis mit EMK

Die zweite KIRCHHOFFSche Regel wird auf die $N + 1$ Teilkreise aus Strömungsleitung und Meßleitung und aus jeder der Rückleitungen und der Meßleitung angewandt. Unter Berücksichtigung des Umlaufsinns ergeben sich folgende Gleichungen:

$$U_m - U_v = I_m R_m - I_v R_v, \quad (2)$$

$$U_m - U_1 = I_m R_m - I_1 R_1, \quad (3)$$

$$U_m - U_n = I_m R_m - I_n R_n, \quad (3)$$

$$U_m - U_N = I_m R_m - I_N R_N. \quad (3)$$

Um die Meßspannung $U = I_m R_m$ in Abhängigkeit von den Teilspannungen und Teilwiderständen darstellen zu können, werden die Gleichungen (2) und (3) durch R_v bzw. durch R_n dividiert und addiert

$$U_m \left(\frac{1}{R_v} + \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} \right) - \left(\frac{U_v}{R_v} + \sum_{n=1}^N \frac{U_n}{R_n} \right) = I_m R_m \left(\frac{1}{R_v} + \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} \right) - \left(I_v + \sum_{n=1}^N I_n \right).$$

Unter Berücksichtigung der Gleichung (1) kann für die rechte Seite dieser Gleichung auch

$$I_m R_m \left(\frac{1}{R_m} + \frac{1}{R_v} + \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} \right)$$

geschrieben werden und für die Meßspannung U folgt daraus:

$$U = \frac{U_m \left(\frac{1}{R_v} + \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} \right) - \left(\frac{U_v}{R_v} + \sum_{n=1}^N \frac{U_n}{R_n} \right)}{\frac{1}{R_m} + \frac{1}{R_v} + \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n}}. \quad (4)$$

Wird nur eine Rückleitung angenommen, so lautet diese Gleichung

$$U = \frac{U_m \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_0} \right) - \left(\frac{U_v}{R_v} + \frac{U_0}{R_0} \right)}{\frac{1}{R_m} + \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_0}}, \quad (5)$$

wobei R_0 und U_0 die elektrischen Größen der einzigen Rückleitung sind. Der Vergleich der beiden Gleichungen (4) und (5) zeigt, wie Induktionsspannung und Widerstand verschiedener Rückleitungen zusammengefaßt werden müssen, um durch die entsprechenden Größen einer scheinbaren Rückleitung ersetzt werden zu können. Während sich der Gesamtwiderstand R_0 aus der Summation der Reziprokwerte der Teilwiderstände wie bei parallelgeschalteten Widerständen ergibt,

$$\frac{1}{R_0} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n}, \quad (6)$$

folgt die Gesamtspannung aus der Summation der in Gleichung (4) schon ausgeschalteten Teilströme. Deshalb lautet die Gleichung für die Gesamtspannung

$$\frac{U_0}{R_0} = \sum_{n=1}^N \frac{U_n}{R_n} \text{ bzw. } U_0 = \frac{\sum_{n=1}^N U_n}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n}}. \quad (7)$$

Unter Berücksichtigung der soeben aufgezeigten Zusammenhänge ist die Gleichung (5) nicht auf den Fall beschränkt, daß tatsächlich nur *eine* Rückleitung vorhanden ist, sondern sie gilt auch für den Fall, daß der Einfluß mehrerer Rückleitungen gemäß Gleichung (6) und (7) zu einer *scheinbaren* Rückleitung zusammengefaßt ist.

Ein Beispiel möge diese Zusammenfassung erläutern. Angenommen die Rückleitung erfolge über vier verschiedene Schichten, deren Widerstände und Induktionsspannungen

$R_1 = 1,0 \text{ M}\Omega$	$U_1 = -1 \cdot 10^{-4} \text{ V}$	(Wasserschicht 1)
$R_2 = 1,2 \text{ M}\Omega$	$U_2 = +3 \cdot 10^{-4} \text{ V}$	(Wasserschicht 2)
$R_3 = 1,2 \text{ M}\Omega$	$U_3 = +1 \cdot 10^{-4} \text{ V}$	(Wasserschicht 3)
$R_4 = 3,5 \text{ M}\Omega$	$U_4 = 0$	(Boden)

sein. Die scheinbare Rückleitung hätte dann einen Widerstand

$$\frac{1}{R_0} = 1 + \frac{1}{1,2} + \frac{1}{1,2} + \frac{1}{3,5} = \frac{62}{21} \left[\frac{1}{\text{M}\Omega} \right],$$

$$R_0 = 0,34 \text{ M}\Omega$$

und eine scheinbare Induktionsspannung von

$$U_0 = 0,34 \left(-1 + \frac{3}{1,2} + \frac{1}{1,2} \right) = 2,33 \cdot 0,34 \left[\text{M}\Omega \frac{10^{-4} \text{ V}}{\text{M}\Omega} \right],$$

$$U_0 = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ V}.$$

Sollte es aus irgend einem Grunde angebracht erscheinen, mehr als eine Strömungsleitung zu berücksichtigen, so können in Gleichung (4) z. B. R_v , R_1 , R_2 bzw. U_v , U_1 und U_2 als ihre elektrischen Größen aufgefaßt werden. Bei der Zusammenfassung zu einer scheinbaren Rückleitung ist die Summation nur über die für die Rückleitungen verbleibenden Glieder, im Beispiel von $n = 3$ an, durchzuführen. Auch die Glieder der Strömungsleitung lassen sich entsprechend zusammenfassen.

Den weiteren Betrachtungen kann die Gleichung (5) zugrunde gelegt werden, da bei Berücksichtigung mehrerer Strömungs- oder Rückleitungen diese wie vorstehend ausgeführt zu *einer* Strömungs- und *einer* Rückleitung zusammengefaßt werden können. Obwohl die Gleichung (5) gegenüber Gleichung (4) schon wesentlich vereinfacht ist, enthält sie doch noch drei im Allgemeinen voneinander unabhängige Induktionsspannungen und ist deshalb nicht auswertbar. Erst wenn eine gegenseitige Abhängigkeit dieser Induktionsspannungen vorliegt, wird die Auswertung sinnvoll.

Durch die Annahme einer ruhenden Rückleitung, in der keine Spannung auftritt, also $U_0 = 0$ ist, vereinfacht sich die Gleichung wesentlich, ermöglicht aber trotzdem noch keine exakte Messung der in der Strömung induzierten Spannungen. Dies wird erst durch die bei der Messung mit dem GEK auftretende weitere Spezialisierung möglich. Für den Fall der stationären Anordnung der Elektroden ist, wie schon erwähnt, auch $U_m = 0$, so daß

$$U = \frac{R_m R_0}{R_m R_0 + R_m R_v + R_0 R_v} U_v \quad (5a)$$

wird. Bei fehlender Rückleitung, d. h. einer Rückleitung mit unendlich großem Widerstand ist

$$U = \frac{R_m}{R_m + R_v} U_v \quad (5b)$$

$$\text{für } R_0 \rightarrow \infty; \quad U_0 = 0; \quad U_m = 0.$$

Das ist zugleich die Formel für jede Spannungsmessung, bei der gegen den Innenwiderstand des Meßgerätes der Gesamtwiderstand der übrigen Teile des Stromkreises nicht vernachlässigt werden darf.

Eine in ihrer Längsrichtung geschleppte Meßanordnung hat die gleiche wirkliche Querkomponente der Bewegung wie die Strömung selbst, da Schiff und Meßanordnung mit der Strömung quer zum Schiffskurs treiben. Deshalb werden auch die Induktionsspannungen von Strömungs- und Meßleitung gleich. Unter diesen Voraussetzungen ist

$$U = \frac{R_m R_v}{R_m R_0 + R_m R_v + R_0 R_v} U_v \quad (5c)$$

bzw.

$$U = \frac{U_v}{1 + R_0 \frac{R_m + R_v}{R_m R_v}},$$

$$\text{für } U_0 = 0; \quad U_m = U_v.$$

Ein unendlich großer Widerstand der Rückleitung, der das Fehlen einer Rückleitung charakterisiert, führt zu $U = 0$. Deshalb wurde auch eingangs erwähnt, daß bei der geschleppten Meßanordnung die Rückleitung unbedingt berücksichtigt werden muß. Die hier entwickelten Formeln (5a—c) stimmen mit den von G. SAGER angegebenen überein, wenn die Änderung der Indizes berücksichtigt wird.

Die allgemeine Formel zeigt aber noch eine andere Tatsache. Erfolgen die Schleppelektrodenmessungen ($U_m = U_v$) in einem Seegebiet, in dem die Rückleitung ganz oder teilweise durch schwach bewegte Wassermassen geschieht, die Induktionsspannung der Rückleitung also von Null verschieden ist, so folgt aus Gleichung (5)

$$U = \frac{R_m R_v}{R_m R_0 + R_m R_v + R_0 R_v} (U_v - U_0) \quad (5d)$$

$$\text{für } U_0 \neq 0; \quad U_m = U_v.$$

Anstelle der Induktionsspannung der Strömungsleitung tritt in dieser Gleichung die Differenz der Induktionsspannungen von Strömungs- und Rückleitung auf, was auf eine Relativmessung hindeutet. Leider kann U_0 aus der Tiefenströmung nicht direkt bestimmt werden, da die Strömung in den verschiedenen Tiefen nicht gleich und der Anteil des über dem Boden abfließenden Stromes am gesamten Rückstrom nicht bekannt ist. U_0 entspricht lediglich der *scheinbaren* Tiefenströmung, die mit der tatsächlichen Tiefenströmung nur in Ausnahmefällen übereinstimmen wird. Unter dieser Voraussetzung besagt die Gleichung (5d), daß die Oberflächenströmung relativ zur *scheinbaren* Tiefenströmung gemessen wird.

Werden die beiden Elektroden senkrecht zu ihrer Verbindungslinie geschleppt, so ist die Induktionsspannung U_v der in Schlepprichtung liegenden Komponente der zu messenden Strömung proportional. Die Schleppgeschwindigkeit beeinflusst dabei aber die in der Meßleitung induzierte Spannung, die aus der bekannten „Fahrt des Schiffes“ und der Längsschiffskomponente der Strömung zusammengesetzt werden kann. Dementsprechend ist in diesem Fall die Induktionsspannung U_m um eine der Fahrt des Schiffes proportionale Spannung E größer als U_v . In diesem Falle lautet Gleichung (5)

$$U = \frac{R_m}{R_m R_0 + R_m R_v + R_0 R_v} [(U_v + E)(R_0 + R_v) + U_v R_v], \quad (5e)$$

für $U_0 = 0$; $U_m = U_v + E$.

Diese Meßanordnung bedingt in der Praxis ein gegen Wasser elektrisch isoliertes Quergestänge, an dessen Enden die Elektroden befestigt sind, was ihre Anwendung erschwert. Da die gemessene Komponente der Strömung jetzt in Fahrtrichtung des Schiffes liegt, beim Hintereinanderschleppen der Elektroden dagegen die quer zur Schlepprichtung liegende Komponente gemessen wurde, ist es durch gleichzeitige Messungen mit beiden Elektrodenanordnungen möglich, die Gesamtströmung sowohl nach ihrer Richtung als auch nach ihrer Stärke ohne Kursänderung des Schiffes zu bestimmen. Vielleicht wird deshalb auch diese außergewöhnliche Elektrodenanordnung einmal Verwendung finden.

Neben der Unsicherheit des Widerstandes der Rückleitung und der Strömungsleitung beeinträchtigt auch die ungenaue Kenntnis der Vertikalintensität B_z die Genauigkeit der Messung. Die durch die Änderung der Vertikalintensität B_z von Ort zu Ort und durch die zeitliche Änderung des erdmagnetischen Feldes bedingte Unsicherheit der Schleppelektrodenmessung ließe sich durch gleichzeitige erdmagnetische Messungen zumindest der Vertikalintensität ausschalten. Im Seeinsatz haben sich magnetische Meßinstrumente mit Saturationskernsonden gut bewährt, zumal sie auch eine Fernregistrierung erlauben. Sie eignen sich deshalb zum Einbau in einen Schleppkörper, so daß eine hinreichend genaue Messung der Intensität der horizontalen und vertikalen Komponenten des erdmagnetischen Feldes selbst von einem eisernen Vermessungsschiff ohne wesentlichen Zeitverlust möglich ist. Über die Erfahrungen mit einem derartigen Gerät, dem Seemagnetographen des Institutes für Meereskunde, wird in einem der nächsten Hefte dieser

Zeitschrift berichtet werden. Die Ausmaße des Meßgerätes würden sich erheblich verringern, wenn nur die Vertikalintensität gemessen werden soll.

Die zusätzliche Anschaffung und Mitführung von magnetischen Meßgeräten, die den GEK zu komplizieren scheinen, rentiert sich jedoch dadurch, daß gleichzeitig mit den ozeanologischen Arbeiten auch neue und weitergehende Kenntnisse über die Größe der Komponenten des erdmagnetischen Feldes gewonnen werden, zumal auf dem Ozean bisher an verhältnismäßig wenigen Punkten erdmagnetische Messungen vorgenommen wurden.

Literatur

- [1] SAGER, G., Annalen der Hydrographie H. 8. Stralsund 1957.
 [2] GRIMSEHL, Lehrbuch der Physik, Bd. 2. Leipzig 1954.

Äquatoriale Unterströmung auch im Atlantik

(Ergebnisse von Strömungsmessungen auf einer atlantischen Ankerstation der „Michail Lomonossov“ am Äquator im Mai 1959)

Von KLAUS VOIGT

Zusammenfassung: Strömungsmessungen während einer Reise des sowjetischen Forschungsschiffes „Michail Lomonossov“, die von der an Bord arbeitenden deutschen Gruppe auf einer Ankerstation am Äquator auf 30° West im Mai 1959 durchgeführt wurden, ergaben in den oberen 200 m eine entgegen der allgemeinen Ansicht nach Ost setzende kräftige Strömung. Es ist anzunehmen, daß es sich um eine meist als Unterstrom ausgebildete Gegenströmung im Südäquatorialstrom handelt, wie sie in jüngster Zeit von amerikanischer Seite schon im Pazifik entdeckt und untersucht wurde. Diese neue Auffassung vom äquatorialen Stromsystem wurde im IGY gewonnen, in seinen Grundzügen aber bereits 1895 von C. Puls beschrieben.

Im Verlaufe der 5. Atlantischen Expedition des Forschungsschiffes „Michail Lomonossov“ der Akademie der Wissenschaften der UdSSR — während der unter anderem ein ozeanographischer Längsschnitt auf 30° W zwischen dem nördlichen Polarkreis und dem südlichen Wendekreis durchgeführt wurde — nahm die an Bord arbeitende deutsche Gruppe [1] auch Messungen mit einem selbstregistrierenden Strommesser an verschiedenen Ankerstationen vor.

Der noch nicht abgeschlossenen Auswertung sämtlicher deutschen Meßergebnisse vorweggenommen seien hier die Resultate der direkten Strommessungen auf der Ankerposition 0° 09' N und 30° W vom 21./22. Mai 1959, wobei das Schiff auf einer Tiefe von rund 3500 m mit 4200 m Trosse verankert war. Die Wetterverhältnisse während der Ankerstation waren typisch für die innertropische Konvergenzzone — nur von schwachen umlaufenden Winden zeitweise unterbrochene Windstille, intensive langanhaltende Niederschläge mit entsprechender Bewölkung. Nur eine schwache Dünung aus der Südostpassatregion ließ sich in der vom Wind wenig bewegten Wasseroberfläche erkennen. Diese schwachwindige Zone erstreckte sich während der Kreuzfahrt der „Michail Lomonossov“ etwa 2° beiderseits des Äquators.

Die über 16 Stunden hinweg durchgeführten Strommessungen in 50 m Tiefe ergaben nach Elimination des halbtägigen Gezeitenstroms einen mit 88 cm/s nach Ost setzenden Reststrom. Neben den Dauermessungen in 50 m erhielten wir bei sporadischen Messungen in 100 m ähnliche Ergebnisse, während die Geschwindigkeit in 150 m Tiefe auf 40 cm/s abnahm. Die Stromrichtung war in der gesamten Schicht einheitlich Ost. Wie die Kursbeobachtungen erkennen lassen, lag das

verankerte Schiff an der Oberfläche ebenfalls in einer östlichen Strömung. Dabei war die sicher über 1 kn starke Oberflächenströmung visuell sehr deutlich durch die Turbulenzbewegung des Wassers am verankerten Schiff zu erkennen, die Drahtwinkel der oberen hydrologischen Serien und anderer Geräte waren ebenfalls recht beträchtlich.

Es liegt zunächst nahe, diese am Äquator angetroffene Strömung als den äquatorialen Gegenstrom zu deuten. Dieser Auffassung entgegen stehen aber nicht nur alle neueren Darstellungen der Strömung im tropischen Atlantik [5, 11, 14, 15, 19], die die Südgrenze des nach Osten setzenden äquatorialen Gegenstroms stets auf der Nordhalbkugel (im Mai zwischen 4° und 6° N) verzeichnen, sondern auch die verschiedenen Erklärungen für die Entstehung der tropischen Ostströmung [6, 7, 12, 16, 17, 18]. Diese fordern aus der im Mittel asymmetrischen Lage der beiden Passate zum Äquator die Existenz einer stets der Nordhalbkugel angehörenden Ostströmung.

Bei unseren am Äquator erhaltenen Ergebnissen handelt es sich aber nicht um diesen Gegenstrom, sondern um eine bereits 1885 von PULS [13] im Pazifik und Atlantik gefundene, jedoch bis zu ihrer Wiederentdeckung im Pazifik durch CROMWELL 1954 [2] nicht wieder in Strömungsdarstellungen verzeichnete zweite Gegenströmung unmittelbar unter dem Äquator und südlich des eigentlichen äquatorialen Gegenstroms.

Diese zweite äquatoriale Gegenströmung wurde von CROMWELL als „equatorial undercurrent“ bezeichnet und erst im Internationalen Geophysikalischen Jahr in vollem Umfang erforscht (siehe weiter unten), doch kannte bereits PULS klar das erst 6 Jahrzehnte nach ihm wiederentdeckte Strombild, was folgende Auszüge aus seiner Arbeit bestätigen:

S. 27: [Hervorhebungen wie im Original]

Noch eine besonders wichtige und auffallende Erscheinung weisen die Stromverhältnisse unserer Zone (Äquatorialgürtel d. Stillen Ozeans. Anm. d. Verf.) im März auf. Das ist eine in der Mehrzahl der Jahre westlich von den Galapagos unter dem Äquator mitten im südlichen Äquatorialstrom herrschende *Gegenströmung*. Diese, ebensowenig wie die große Gegenströmung, vom Winde hervorgerufene Ostströmung wird von etwa 100° W. Lg. an bis zu den Galapagos angetroffen, jedesmal, *wenn das obenerwähnte Gebiet der Kalmen unter dem Äquator und noch südlich davon auftritt*, also ausnahmsweise schon im Februar, gewöhnlich im März und Anfang April, zuweilen aber auch noch bis in den Mai hinein . . .

und weiter unten:

Auch im Atlantischen Ozean kommen im März und April bei Windstillen ganz *analoge Ostströmungen* im südlichen Äquatorialstrom gerade da vor, wo gewöhnlich der stärkste Weststrom auftritt; nur scheint dieses Auftreten hier nicht so regelmäßig vorzukommen wie im Stillen Ozean, sondern nur als Ausnahme, weshalb darüber auch noch nichts veröffentlicht worden ist . . .

und auf Seite 36:

Die Darstellung, daß beide Äquatorialströmungen ineinander übergangen, wie es die Passate tun, ist jedenfalls nicht gerechtfertigt; immer bleibt eine (allerdings nicht immer in derselben Breite liegende) Zwischenzone, in welcher oft Westströme, aber auch oft,

jedesmal wenn möglich, Ostströme vorkommen. Vielleicht kann man annehmen, daß in einiger Tiefe, unterhalb der Schicht, bis wohin ein einige Wochen hindurch anhaltender Wind seine treibende Wirkung ausübt, beständiger Gegenstrom herrscht. Hierfür liegen aber keine Beobachtungen vor . . .

Die Ergebnisse der „Lomonossov“-Ankerstation sind also so zu interpretieren, daß die innertropische Stillenzone vorübergehend weit von ihrer mittleren Lage nach Süden ausgewandert war und der „äquatoriale Unterstrom“ infolge der fehlenden Schubkraft des Südostpassats sich bis an die Meeresoberfläche durchsetzte.

Auf welche Weise diese Existenz einer zweiten Ostströmung in Vergessenheit geraten war, läßt sich vielleicht folgendermaßen erklären:

PULS [13] betrachtete jede Kreuzfahrt über den Äquator einzeln und verglich die in den Schiffstagebüchern enthaltenden Versetzungsangaben mit dem tatsächlichen Windfeld. Die Bearbeiter nach ihm legten ihren Stromkarten, oft unter Benutzung gleichen Materials, Gradfeldmittel bzw. entsprechende Häufigkeitswerte zugrunde und schieden dadurch die wenigen seltenen Fälle aus, in denen die heute als mächtiger Unterstrom am Äquator erkannte Strömung bis zur Meeresoberfläche durchgriff. Aber auch in theoretischen Untersuchungen oder auf Grund der Temperatur-Salzgehalts- sowie Sauerstoff-Verteilung wurde eine derartige zweite Ostströmung am Äquator weder im Pazifik noch im Atlantik vorausgesagt.

Wie kam es nun zur Revision der bisherigen Auffassung über das äquatoriale Strömungssystem?

Auf Grund der Beobachtung von Bojen, an denen zum Fang tiefschwimmender Thunfische Fanggeräte (sogen. „long-line fishing gear“) angebracht waren, und die gegen die Oberflächentrift des Südostpassats nach Osten trieben [3], schloß man im Pazifik in unmittelbarer Nähe des Äquators auf eine kräftige Unterströmung unter dem Südäquatorialstrom.

Im August 1952 gelang CROMWELL [2] an Bord des Forschungsschiffes „Hugh M. Smith“ der Nachweis dieser als „equatorial undercurrent“ bezeichneten Strömung durch Beobachtung von Driftkörpern (sogen. „drags“).

Die weitere Erforschung dieser Strömung im Pazifik war die Hauptaufgabe der Dolphin-Expedition von März bis Juni 1958 im Internationalen Geophysikalischen Jahr. Dabei wurde durch direkte synchrone Strommessungen die vertikale und horizontale Ausdehnung dieser neuen Meeresströmung erforscht [9, 10]. Es zeigte sich, daß es sich um einen überaus mächtigen Strom handelt (Spitzengeschwindigkeit in 100 m bis 3 kn), der sich in einem nur 200 bis 300 km breiten Streifen auf einer Länge von 3500 sm von mindestens 140° W bis zu den Galapagos erstreckt. KNAUSS [10] vermutet sogar eine Ausdehnung der 1958 nur bis 140° W untersuchten Strömung bis 160° E. Mit einem mittleren Wassertransport von 39 Millionen m³/s auf 140° W werden durch diesen neu entdeckten Unterstrom ähnliche Wassermengen wie vom eigentlichen äquatorialen Gegenstrom transportiert.

Erklärungen für die Aufrechterhaltung dieses in Erinnerung an seinen tödlich verunglückten Entdecker als CROMWELL-*Strom* bezeichneten Zweig des äquatorialen Strömungssystems gaben HIDAHA [8] und YOSHIDA [20]: Danach läßt sich diese Ostströmung aus einer charakteristischen Massenverteilung, für die längs

des Äquators stattfindende Auftriebsvorgänge verantwortlich sind, dynamisch berechnen. YOSHIDA schreibt dabei dem Äquator ähnliche Grenzeigenschaften zu wie den Küsten und führt den längs dieser Grenze herrschenden Auftrieb auf die vorwiegend parallel zu ihm wehenden Winde zurück.

Der zu große Stationsabstand bei den Messungen mit unserer fernregistrierenden Temperatur-Leitfähigkeits-Druck-Sonde auf dem erwähnten Meridianschnitt der „Michail Lomonossov“ gestattete es allerdings nicht, auf eine ähnliche charakteristische Verteilung der ozeanographischen Elemente wie bei den Untersuchungen im Pazifik zu schließen, wo der Stationsabstand bei 10 sm lag.

Verbunden mit den Auftriebszonen ist eine entsprechende Fauna, die die pazifische Äquatorregion zu einem lohnenden Fanggebiet macht [3].

Somit dürfte nach den erfolgreichen Forschungen innerhalb des IGJ und der bevorstehenden Erforschung des Indischen Ozeans im Rahmen der Internationalen Geophysikalischen Kooperation auch die äquatoriale atlantische Region großes Interesse verdienen, worauf bereits 1943 A. SCHUMACHER mit folgenden Worten hinwies: „Jedenfalls wird Übereinstimmung darüber herrschen, daß der Gegenstrom wie überhaupt das äquatoriale Strömungsgebiet ein überaus dankbarer Gegenstand intensiver simultaner ozeanographischer Untersuchung wäre, die sich möglichst über ein ganzes Jahr zu erstrecken hätte“ [15].

Anmerkung:

Während der Drucklegung der vorstehenden Mitteilung über den direkten Nachweis des „Äquatorialen Unterstroms“ im Atlantik erschienen in „Deep Sea Research“ 6, 4 (1960) u. a. 7 Artikel vor allem zur dynamischen Erklärung dieser neuen Meeresströmung. Dabei kommt G. NEUMANN zu dem Schluß, daß auch im Atlantik eine derartige zweite Gegenströmung möglich ist, wie alte Versetzungsbeobachtungen von Segelschiffen bereits vermuten ließen.

Literatur

- [1] BRUNS, E., Meereskundliche Expeditionen der DDR auf dem Forschungsschiff „M. Lomonosow“ im Atlantischen Ozean [i. d. Heft].
- [2] CROMWELL, T., MONTGOMERY, R. B. and STROUP, E. D., Equatorial undercurrents in Pacific Ocean, revealed by new methods. *Science* **119** (1954).
- [3] CROMWELL, T. and AUSTIN, S., Mid-pacific oceanography II and III, transequatorial waters. US Fish and Wildlife Service, Spec. Sc. Rpt. — Fish. No. 131 (1954).
- [4] CROMWELL, T., Eastropic expedition. *Contrib. Scripps Inst. of Oceanogr.* No. 899 (1956).
- [5] DEFANT, A., Der Äquatoriale Gegenstrom. *Sitz. ber. Preuß. Akad. Wiss. Phys. Math. Kl.* 1935.
- [6] DEFANT, A., Zur Dynamik des äquatorialen Gegenstromes. *Ann. Hydr. marit. Met.* 1941.
- [7] DIETRICH, G. und KALLE, K., Allgemeine Meereskunde, Kap. X Regionale Ozeanographie. Berlin 1957.
- [8] HIDAHA, K., Importance of lateral mixing in the dynamic computations of an equatorial current system. *Internat. Oceanogr. Congress New York 1959*, Reprints p. 509.
- [9] KNAUS, J. A. and KING, J. E., Observations of Pacific equatorial undercurrent. *Nature* **182** (1958).

- [10] KNAUSS, J. A., Direct current measurements at the equator — the Cromwell Current Internat. Oceanogr. Congress New York 1959, Reprints p. 515.
- [11] MBEYER, H. F., Die Oberflächenströmungen des Atlantischen Ozeans im Februar. Veröff. Inst. f. Meereskunde N. F. Reihe A H. 11 (1923).
- [12] NEUMANN, G., Über die Entstehung des äquatorialen Gegenstroms. Forsch. u. Fortschritte 1947.
- [13] PULS, C., Oberflächentemperaturen und Strömungsverhältnisse des Äquatorialgürtels des Stillen Ozeans. Aus d. Archiv d. Dtsch. Seewarte 18 (1895).
- [14] SCHOTT, G., Geographie des Atlantischen Ozeans, 1943.
- [15] SCHUMACHER, A., Monatskarten der Oberflächenströmungen im äquatorialen und südlichen atlantischen Ozean. Ann. Hydr. u. marit. Met. 1943.
- [16] SHTOKMAN, W. B., Theoretische Bestimmung der meridionalen Grenzen der Zonalzirkulation in der nördl. Hälfte des Stillen Ozeans. (russ.) Meteorologija i Gidrologija V (1956).
- [17] SHTOKMAN, W. B., Der äquatoriale Gegenstrom. (russ.) Moskau 1948.
- [18] THORADE, H., Der äquatoriale Gegenstrom im Atlantischen Ozean und seine Entstehung (nach neueren Arbeiten) Ann. Hydr. marit. Met. 1941.
- [19] WENDLER, O., Die Oberflächenbewegung des Guineastroms. Gerl. Beitr. z. Geophysik 44 (1935).
- [20] YOSHIDA, K., Certain boundary phenomena in the oceans: Part I: Coastal circulation and equatorial circulation, with special reference to the upwelling and undercurrents. International Oceanogr. Congress N. Y. 1959, Reprints p. 525.

Buchbesprechungen

GÜNTHER SAGER „Gezeiten und Schiffahrt“

Im Dezember des vergangenen Jahres erschien im Fachbuchverlag Leipzig ein 170 Seiten umfassendes Buch von GÜNTHER SAGER mit dem Titel „Gezeiten und Schiffahrt“. In erster Linie ist es für die Schüler der Seefahrtsschule gedacht, da aber nur wenige Seiten dieses Buches ausschließlich für den Kapitän zugeschnitten sind, kann es durchaus jedem Leser empfohlen werden, der sich für die Gezeitenerscheinungen und ihre Auswirkung auf die Schiffahrt interessiert.

In fast erzählender Form berichtet der Verfasser im ersten reich bebilderten Teil über die Erscheinung und Wirkung der Gezeiten. Die wichtigsten Grundbegriffe der Gezeitenlehre werden jeweils im Text genau definiert. Ausführlich wird weiterhin über Tidehäfen, Verteilung des Tidenhubs in den verschiedenen Gebieten der Erde, Methoden zur Messung von Tidenhub und Gezeitenstrom und über die eindrucksvollen Erscheinungen der Flutbrandung und der Sturmfluten gesprochen.

Die weiteren Teile des Buches sind wesentlich spezieller. Durch den flüssigen Stil des Verfassers und zahlreiche, gut ausgewählte Abbildungen sind aber auch diese Teile ohne besondere Vorkenntnisse verständlich. Der zweite Teil des Buches beschäftigt sich mit der Entstehung der Gezeiten und bringt somit die eigentliche *Gezeitentheorie*. Ausgehend von der Darstellung der Bewegungen von Erde und Mond um die Sonne und den dabei auf die Erdoberfläche wirkenden Kräften, erläutert der Verfasser das Zusammenwirken der solaren und lunaren Gezeitenanteile. An zahlreichen, teilweise in tabellarischer Form zusammengefaßten Beispielen wird sodann der Einfluß der Oberflächengestaltung der festen Erde auf die theoretisch errechneten Gezeiten gezeigt. Ein historischer Rückblick auf die Gezeitenforschung beschließt diesen Teil des Buches.

Der letzte Teil ist den verschiedenen Methoden der Gezeitenvorhersage gewidmet. Dabei wird die historische Entwicklung der Gezeitentafeln und der zu ihrer Aufstellung verwendeten Verfahren aufgezeigt und ein kurzer Überblick über den Aufbau und die Wirkungsweise der Gezeitenrechenmaschinen gegeben. Abschließend erläutert der Verfasser an einigen Beispielen die in der Navigation üblichen Methoden der Vorausberechnung mit der Gezeitentafel. In diesem *praktischen Teil* des Buches sind die für das Verständnis der durchgerechneten Aufgaben notwendigen Auszüge aus einer Gezeitentafel abgedruckt. Auf eine direkte Aufgabensammlung wurde bewußt verzichtet.

Zusammenfassend sind im Anhang nochmals alle wichtigen Begriffe der Gezeitenlehre und Gezeitenvorhersage definiert. Außerdem sind die in den europäischen Ländern verwendeten Definitionen des Seekartennulls zusammengestellt. Für denjenigen, der auch mit ausländischer Literatur arbeitet, dürfte das mehrsprachige Verzeichnis der Fachausdrücke (Russisch, Englisch, Deutsch, Französisch, Niederländisch) eine große Hilfe sein.

Dem Verfasser ist mit diesem Buch eine wertvolle Ergänzung der deutschsprachigen Gezeitenliteratur gelungen. Mit Ausnahme der mehr oder weniger umfangreichen Kapitel über die Gezeiten in den Lehrbüchern der Navigation gab es bisher kein Buch, nach dem der angehende Kapitän den in Gezeitenlehre gebotenen Stoff vertiefen konnte. Noch mehr

fehlte ein derartiges Buch für den Leserkreis, der sich ohne speziellen Hinblick auf die Navigation über Ursache und Auswirkung der Gezeiten informieren wollte. Dem Leser, der sich intensiver mit den in Teil I dieses Buches nur kurz angedeuteten Auswirkungen der Gezeiten befassen möchte, ist auch das vor kurzem erschienene Buch „Ebbe und Flut“ desselben Verfassers zu empfehlen.

Böhl

W. W. SCHULEJKIN „Theorie der Meereswellen“

(vom Verfasser neubearbeitete und ergänzte Ausgabe und in deutscher Sprache herausgegeben von Dr. E. Bruns) Akademie-Verlag, Berlin 1960

Die neubearbeitete und ergänzte deutsche Ausgabe des Werkes „Theorie der Meereswellen“ von W. W. SCHULEJKIN ist mit der 1956 im Akademie-Verlag der UdSSR als Band IX der Abhandlungen des Seehydrographischen Institutes der Akademie der Wissenschaften der UdSSR erschienen russischen Fassung nicht identisch. Das Werk wurde auf Beschluß des Forschungsrates des Seehydrographischen Institutes der Akademie der Wissenschaften der UdSSR aus Anlaß des 60sten Geburtstages und der 40jährigen wissenschaftlichen Tätigkeit des Direktors des Seehydrographischen Institutes und Akademiemitgliedes WASSILIJ WLADIMIROWITSCH SCHULEJKIN veröffentlicht. Der Verfasser hat in der deutschen Fassung in Zusammenarbeit mit dem wissenschaftlichen Redakteur mehrere Änderungen und Ergänzungen im Text vorgenommen und eine Reihe neuer Abschnitte eingefügt. Dadurch ist das Werk in deutscher Fassung im Herbst 1958 auf den neuesten Stand der zeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisse gebracht worden.

Im vorliegenden Werk versucht der namhafte sowjetische Gelehrte W. W. SCHULEJKIN, eine umfassende Theorie der Meereswellen zu geben, indem er zuerst von der klassischen Wellentheorie ausgeht und danach einige Probleme der Wellen des Seichtwassers und des tiefen Meeres für den Fall einer zweidimensionalen Welle neu löst. Seinen Ergebnissen legt er sowohl theoretische Überlegungen zu Grunde, als auch seine zahlreichen Beobachtungen und Messungen von Wellen an der Küste und im offenen Ozean während seiner langjährigen Expeditionstätigkeit. Außerdem verbindet er die Ergebnisse der Theorie und Beobachtungen durch eigens für diesen Zweck durchgeführte Versuche in einem ringförmigen sogenannten „Sturmbecken“, einem von ihm erbauten Speziallaboratorium für experimentelle Wellenforschungen.

In diesem großen Laboratorium konnten die verschiedenen Arten von Wellen bei ihrer Entstehung, ihrem Wachstum und ihrem Abklingen gemessen werden. Die Versuche in diesem sehr großzügig erbauten Laboratorium bildeten eine neue Möglichkeit für die Lösung von Problemen der Meereswellen, insbesondere in den Fällen, wo nur mit Hilfe der Theorie bzw. aus Beobachtungen in der Natur allein der betreffende Fragekomplex nicht gelöst werden konnte. Das vorliegende Werk vermag viele Details der Naturerscheinung zu erklären, die im Widerspruch zu den bisher bekannten Wellentheorien standen oder von ihnen überhaupt nicht erklärt werden konnten. Die Klärung dieser Probleme ist ein großer Verdienst des Verfassers, und das ganze Werk erscheint als sehr wertvoll für die internationale Literatur über Meereswellen.

Nach der Ableitung der klassischen Beziehungen für ein tiefes und seichtes Meer befaßt sich W. W. SCHULEJKIN vorerst mit der Gruppengeschwindigkeit und der Energie der Wellen sowie mit ihrem Transport.

Das Profil und die Hauptparameter der Meereswellen, sowie die Fragen der Zerstörung der Wellen unter Einwirkung des Seichtwassers werden in weiteren Abschnitten behandelt. Dann folgt die Kinematik der Wellen maximaler Steilheit, die Zerstörung der Wellen unter der Einwirkung von Seichtwasser und die Erläuterung der Entstehung von Windwellen auf einer glatten Wasseroberfläche. Einige Hypothesen über die Zunahme der Wellenenergie stehen vor der Beschreibung des Sturmbeckens und in ihm durchgeführter Versuche. Dann folgen die Betrachtungen der Ergebnisse der Versuche im Sturmbecken und Schluß-

folgerungen aus den gesamten Erkenntnissen in Bezug auf einzelne Probleme der Wellen und ihrer Lösung. Es werden nacheinander die Energiebilanz der Wellen und die Zunahme der Wellenhöhe, die Theorie des Anfachsens der Wellen durch die Energie des Windes, die Theorie der Zunahme der Wellenlängen unter der Einwirkung des Windes sowie ein genaueres Gesetz über die Zunahme der Länge von Windwellen behandelt. Danach folgt die Darstellung der Entstehungen der stationären Toten See, des Verhaltens der Wellen bei einem Wechsel der Windrichtung. Hier werden auch Kontrollbestimmungen der Einwirkung der Beckenwände und der turbulenten Zähigkeit gegeben, die bei der Auswertung von Versuchen in Laboratorien berücksichtigt sein müssen. Im folgenden befaßt sich der Verfasser mit einer Reihe weiterer Probleme der Meereswellen und gibt für sie die entsprechenden Lösungen. Diese sind: die Analyse der Messungen von maximal großen Windwellen auf dem Ozean, die Differentialgleichung des Windwellenfeldes auf dem Ozean, sowie das genaue Integral der Gleichung des Windwellenfeldes auf dem Ozean und seine physikalische Bedeutung. Dann folgen die Lösungen für zwei wichtige Fragen des seichten Meeres und zwar für die Entwicklung von Windwellen in einem seichten Meer in großer Entfernung vom luvseitigen Ufer und für das Windfeld in solch einem Meer.

Zuletzt befaßt sich der Verfasser mit den Fragen der Tangentialkraft des Windes bei der Energiezunahme der Wellen und mit dem sehr wichtigen Problem der Refraktion der Wellen auf einem Küstenabhang.

Am Ende des Werkes faßt W. SCHULEJKIN noch einmal ganz kurz die erzielten Ergebnisse zusammen und gibt noch eine zweite Ableitung einer Formel auf einem anderen elementaren Wege.

Trotzdem alle Fragen der Wellentheorie für zweidimensionale Wellen gelöst sind, stellt das Werk von W. SCHULEJKIN einen markanten Meilenstein auf dem Wege zur Erkenntnis der Gesetzmäßigkeiten des Entstehens, des Wachstums und des Abklingens der Wellen des tiefen und seichten Meeres bzw. Ozeans dar. Als solches ist es wärmstens zu begrüßen.

Erich Bruns