

# Fischkrankheiten

Herausgegeben von WILHELM SCHÄPERCLAUS,  
HUGO KULOW und KURT SCHRECKENBACH

4., bearbeitete und wesentlich erweiterte Auflage

1979. XV, 1089 Seiten (in zwei Teilen) — 479 Abbildungen — 13 mehrf. Tafeln  
5 Falltafeln — 113 Tabellen — gr. 8° — 140,— M  
Bestell-Nr. 7621488 (5129)

In der neubearbeiteten, vierten Auflage wird von zehn Autoren nicht nur versucht, die vom Einzelnen nicht mehr überschaubaren internationalen Publikationen über Krankheiten und Parasiten der Nutz- und Zierfische des Binnenlandes und der Meere zusammenzufassen, sondern sie mit Hilfe der über 50 jährigen eigenen Ergebnisse und Erfahrungen aus Forschung, Lehre und Praxis der Diagnose, Prophylaxe und Therapie von Fischkrankheiten kritisch zu werten. Das Werk ist sowohl für den in der Forschung tätigen Spezialisten als auch für alle Praktiker und Interessenten der Fischkrankheiten als Studien- und Nachschlagewerk gedacht.

Es ist für Biologen, Fischereiwissenschaftler und Veterinärmediziner in Forschung Lehre und im Fischgesundheitsdienst, sowie für Fischzüchter, Fischer, Aquarianer, Sportangler und alle, die sich beruflich oder aus Liebhaberei mit Fragen der Fischkrankheiten befassen, geschrieben worden.

Das Buch umfaßt im allgemeinen Teil vor allem die Kapitel Ursachen und Entstehung von Fischkrankheiten, Arbeitsmethoden der Fischkrankheitsforschung und -praxis, Bedeutung und Beurteilungsgrundsätze der wichtigsten Erkrankungen, gesetzliche Grundlagen und Organisation der Fischkrankheitsbekämpfung sowie Grundlagen der Prophylaxe und Therapie von Fischkrankheiten. Im speziellen Teil werden unter strenger Berücksichtigung der Einheit von Diagnose, Prophylaxe und Therapie die international bekannten Virosen, Bakteriosen, Protozoosen sowie Krankheiten und Schädigungen durch höhere Parasiten entsprechend ihrer wirtschaftlichen Bedeutung ebenso behandelt wie die wichtigen, oft primär wirkenden milieu-, alimentär-, mechanisch-traumatisch und genetisch bedingten Erkrankungen der Fische.

*Bestellungen durch eine Buchhandlung erbeten*



Akademie-Verlag

DDR-1080 Berlin, Leipziger Str. 3-4

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR  
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE

## BEITRÄGE ZUR MEERESKUNDE

30.  
Akademie der Wissenschaften der DDR  
Institut für Meereskunde  
- Bibliothek -  
253 Wor...  
Demokratische Republik

HERAUSGEGEBEN VON

ERICH BRUNS†

UNTER MITWIRKUNG VON

HANS-JÜRGEN BROSIN, OTTO KOLP, GÜNTHER SAGER,  
KLAUS STRIGGOW, KLAUS VOIGT

HEFT 43



AKADEMIE-VERLAG BERLIN

1980

7980.543

7980.543

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR  
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE  
250 Warnemünde  
Deutsche Demokratische Republik.

# BEITRÄGE ZUR MEERESKUNDE

Herausgegeben von

ERICH BRUNS †

unter Mitwirkung von

HANS JÜRGEN BROSIN, OTTO KOLP, GÜNTHER SAGER,  
KLAUS STRIGGOW, KLAUS VOIGT

Heft 43

Mit 78 Abbildungen und 14 Tabellen



AKADEMIE-VERLAG · BERLIN  
1980

## Inhalt

FRIEDRICH MÖCKEL, Die ozeanologische Meßkette OM 75, eine universelle Datenerfassungsanlage für Forschungsschiffe . . . . .	5
EBERHARD FRANCKE, Einsatzerfahrungen mit der Meßkette OM 75 . . . .	15
REINHARD DANCKERT und HENRY WILL, Temperatur- und Leitfähigkeitswandler mit frequenzanalogem Ausgang . . . . .	23
HARDO SEEHASE, Die Wasserschöpfer der ozeanologischen Meßkette OM 75	33
HANS FEILOTTER, FRIEDRICH MÖCKEL und GERHARD VÖRTLER, Bandfilter kleiner Abmessungen mit steilen Flanken und geringer Welligkeit im Durchlaßbereich für die ozeanologische Meßkette OM 75 . . . . .	39
KLAUS STRIGGOW, Messung der Schallgeschwindigkeit Teil I: Übersicht über die bekannten, insbesondere die aus ozeanologischer Sicht interessanten Verfahren zur Messung der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten . . . . .	51
RUDOLF ANGERMANN, WERNER BOHMANN, FRIEDRICH MÖCKEL und GÜNTHER NEUBERT, Ein Aspirationspsychrometer mit frequenzanalogem Ausgangssignal und Eignung zum Langzeiteinsatz auf maritimen Geräteträgern . . . . .	63
GÜNTHER MÜLLER, Ozeanologische Datengewinnungssysteme unter besonderer Berücksichtigung der Bojentechnik . . . . .	73
PETER HUPFER und GÜNTHER NEUBERT, Ein autonomes fernübertragendes Meßsystem für maritim-meteorologische Größen . . . . .	83
HANS-JÜRGEN SCHÖNFELDT, Über die bisherigen Ergebnisse eines Vergleichs zwischen einem herkömmlichen Strömungsmesser und einem Komponentenströmungsmesser . . . . .	93
ERHARD EYCKE, Ein vollelektronischer Seillängenmesser für die Ozeanographie. . . . .	101
HARTMUT PRANDKE, Konstruktion eines Laborstreulichtphotometers für den Einsatz in der Meeresforschung . . . . .	109

Erschienen im Akademie-Verlag, DDR-1080 Berlin, Leipziger Straße 3—4

© Akademie-Verlag Berlin 1980

Lizenznummer: 202 · 100/459/80

Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer“, 5820 Bad Langensalza

Bestellnummer: 762 762 8 (2105/43), LSV 1465

Printed in GDR

DDR 36,— M

- LUTZ BRÜGMANN und ARNO WILDE, Die kontinuierliche Registrierung von Nährstoffen im Meerwasser mit einem Vierkanalanalysator . . . . . 123
- BRIGITTE SIEVERT, Bibliographie über Literatur zur ozeanologischen Meßtechnik in der DDR ab 1960 . . . . . 135

## Die ozeanologische Meßkette OM 75, eine universelle Datenerfassungsanlage für Forschungsschiffe

Von FRIEDRICH MÖCKEL

*Zusammenfassung:* Auf den Forschungsschiffen des Instituts für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR werden elektronische Datenerfassungssysteme mit einem frei programmierbaren Rechner eingesetzt. Die Anlagen sind für die Eingabe frequenzanaloger sowie digitaler Daten ausgerüstet. Sie sind für universelle Anwendung sowohl auf kleinen Schiffen für flache Nebenmeere als auch im ozeanischen Bereich geeignet. Aufbau und Funktion der Anlagen werden beschrieben.

### 1. Einleitung

Auf den Forschungsschiffen des Institutes für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR werden elektronisch fernmessende Geräte zur Erfassung ozeanographischer Daten seit mehreren Jahren eingesetzt. Die ab 1976 verwendeten Anlagen enthalten einen frei programmierbaren Prozeßrechner, ihre Entwicklung und Herstellung erfolgte gemeinsam durch das Institut für Meereskunde in Rostock-Warnemünde (IFM), das Zentralinstitut für Kernforschung in Rossendorf (ZFK) sowie das Zentrum für wissenschaftlichen Gerätebau in Berlin (ZWG). Diese Multimeßketten mit der Typenbezeichnung OM 75 wurden für universellen Einsatz auf bemannten Geräteträgern entwickelt. Sie eignen sich sowohl für ozeanische Anwendungen bis mehrere tausend Meter Tauchtiefe als auch zur Installation auf kleinen, wirtschaftlichen Schiffen mit wenigen Quadratmetern Laborfläche für Schelfgebiete und Nebenmeere.

Bei der Projektierung waren u. a. folgende Forderungen zu erfüllen:

- a) Zur Verbindung zwischen Schiff und tauchender Einheit soll das seit Jahren bewährte Seilkabel SK/63 verwendet werden.
- b) Ohne Umschaltung sollen Bereichsaufösungen je Sensor von wenigstens 24000 Einheiten ( $> 14$  Bit) verarbeitbar sein.
- c) Die tauchende Gruppe soll in der ersten Stufe für wenigstens 8 Meßwandler Kapazität haben, spätere Erweiterung soll möglich sein.
- d) Die Messung aller Variablen soll gleichzeitig erfolgen, die Daten sollen einheitliche Zeittmittel sein, die Pause zwischen aufeinanderfolgenden Zyklen soll klein gegen die Integrationszeit sein.
- e) Die Anlagen müssen auf Schiffen ab 300 t Größe arbeiten, sie sollen auch für Tauchtiefen bis mindestens 2000 m brauchbar sein.
- f) Die Möglichkeit zur Übertragung breitbandiger Informationen (Rauschen) soll vorbereitet sein.

- g) Es sollen mindestens 5 Befehle an die tauchende Einheit übermittelbar sein.  
 h) Die tauchende Sonde soll zusätzlich Wasserproben für Analysen liefern (chemisch, biologisch, Spurenelemente).  
 i) Die Meßkette soll ausbaufähig sein als Zentrale für die Erfassung und Aufbereitung aller an Bord anfallenden Daten (hydrologische, meteorologische, nautische, geologische), sie muß sowohl frequenzanaloge als auch digitale Dateneingänge haben.

## 2. Frequenzschema

Das vorgesehene Kabel (Tab. 2) ist koaxial aufgebaut, die Berechnungsunterlagen sowie experimentell ermittelte Eigenschaften sind bereits veröffentlicht (BENGELSDORFF 1967). Bei 7 mm Außendurchmesser liegt der Zerreißwert über 15000 N. Der Kompromiß zwischen mechanischen Eigenschaften bei geringem Durchmesser wegen des Widerstandes bei Queranströmung führt zu raschem Anstieg der frequenzabhängigen elektrischen Dämpfung

Tabelle 1  
Bänder für tauchende Meßwandler mit frequenzanalogem Ausgang

Band Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f_u$ (kHz)	0,18	0,36	0,72	1,44	2,88	5,76	11,52	23,04	46,08
$f_o$ (kHz)	0,28	0,56	1,12	2,24	4,48	8,96	17,92	35,84	71,68

Tabelle 2  
Kennwerte des Seilkabels SK/63

1. Aufbau	
Innenleiter E Cu F 25 24 × 0,2 = 0,75 mm <sup>2</sup>	
Isolation: Hochdruckpolyäthylen	
1 Lage Seildraht 19 × 0,55 × 180 verzinkt, Linksschlag	
1 Lage Seildraht 25 × 0,55 × 180 verzinkt, Rechtsschlag	
Schutzhülle: Hochdruckpolyäthylen 0,85 mm Ø 7 mm	
2. Mechanische Daten	
Bruchlast	> 15000 N
Seilmasse	ca. 120 kg/km
Seilgewicht in Wasser	ca. 830 N/km
Biegeradius mind. 70 mm, empfohlen	≥ 150 mm
3. Elektrische Daten	
Widerstand Innenleiter	23,5 Ohm/km
Widerstand Außenleiter	ca. 17,5 Ohm/km
Isolationswiderstand	1,5 × 10 <sup>14</sup> Ohm × km
Betriebskapazität	ca. 127 nF/km
Betriebsinduktivität	ca. 0,2 mH/km
Wellenwiderstand	ca. 50 Ohm
Prüfspannung	2 kV
zul. Klima	-20 bis +50 °C
4. Fertigungslänge	
	ca. 5000 m

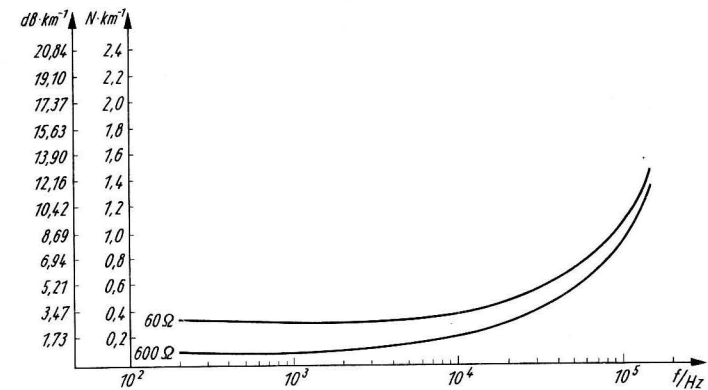


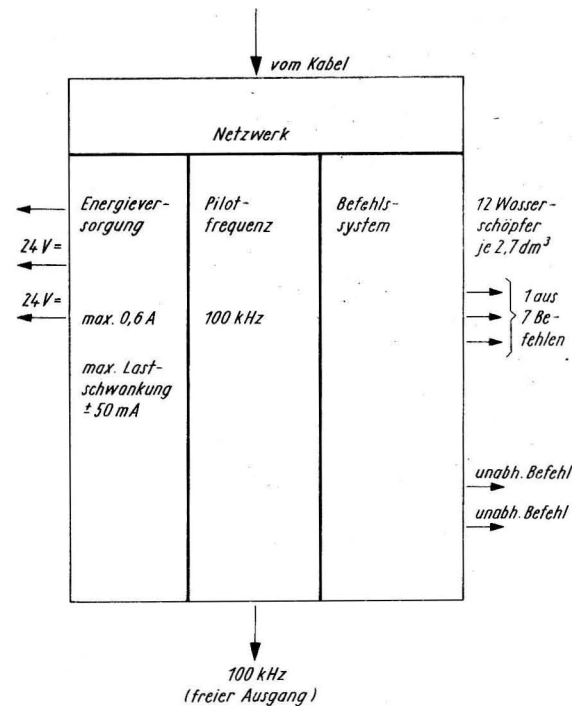
Abb. 1. Frequenzabhängige Dämpfung SK 63  
Liefer Nr. 2135 XE, Lieferlänge 5000 m  
Hersteller: Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree, Berlin

(Abb. 1) oberhalb 10 kHz. Mit Rücksicht hierauf werden breitbandige Signale oberhalb etwa 75 kHz nicht mehr verwendet. Als Übertragungsverfahren im Kabel wurde das Multi-frequenzprinzip gewählt, es eignet sich gut für Wandler mit frequenzanalogem Ausgang. Das gewählte Schema ist in Tab. 1 zusammengestellt.

Alle Bänder haben konstante relative Bandbreite  $f_o(n)/f_u(n) = 1,556$ . Ebenfalls relativ konstant ist die Lücke zwischen benachbarten Bändern  $f_u(n+1)/f_o(n) = 1,286$ , sie ist erforderlich und ausreichend zur sicheren Trennung der Bänder bei der Rückgewinnung der einzelnen Wandlerinformationen. Anstelle der einzelnen Bänder kann auch ein Breitband-signal (z. B. Geräusch im Band 0,18 bis 71 kHz übertragen werden). Zur Befehlsübermittlung an die tauchende Einheit stehen 5 beliebig kombinierbare Frequenzen mit 78,125 Hz Abstand von 85,46875 bis 85,78125 kHz zur Verfügung, zusätzlich wird eine 100 kHz Pilotfrequenz bereitgestellt. Für spätere Erweiterung zur zeitmultiplexen Datenübertragung sind die Frequenzen 120, 125 und 130 kHz frei.

## 3. Tauchende Einheit

Die am Seilkabel abgeseckte Einheit wird durch ein zylindrisches Edelstahlgehäuse gegen Umgebungsdruck bis 30 MPa geschützt. Eine Gruppe von 12 Wasserschöpfern zu je 2,7 dm<sup>3</sup> ist rosettenförmig um den oberen Teil des Zylinders angeordnet. Die Wasserproben sind durch Verwendung von Polytetrafluoräthylen (PTFE, TEFLON) und korrosionsfesten Stahl auch für biologische Untersuchungen und Analysen auf Spurenstoffe geeignet. Das Schließen der Schöpfer erfolgt nacheinander mittels eines Schrittschaltwerkes, welches über das elektronische Befehlssystem betätigt wird. Im allgemeinen geschieht die Steuerung automatisch vom Rechner nach Eingabe einer Auswahl von Wasserdruckwerten. Statt dessen kann die Auslösung durch jede der gemessenen Variablen programmiert werden, Handbetätigung ist ebenfalls möglich. Das Befehlssystem ist ausbaufähig für 2 unabhängige sowie 1 aus 7 Befehlen. Davon ist einer zur Steuerung der Wasserschöpfer, ein weiterer für Umschaltung auf Breitbandinformation belegt (Abb. 2 und 3), die weiteren sind nach Bedarf nutzbar (Schaltvorgänge, Impulsauslösung, Steuerungen z. B. bei Schleppvarianten usw.).



-Abb. 2. Übertragung zur tauchenden Einheit

Zur Energieversorgung wird der über das Kabel gelieferte Konstant-Gleichstrom von 0,65 A benutzt. Über eine Kette von Zenerdioden werden Versorgungsspannungen, meist 24 V, stabilisiert. Der maximale Verbraucherstrom beträgt 0,6 A, die zulässige Lastschwankung  $\pm 50$  mA. Da die Versorgungsspannungen als Kette geschaltet sind, ist Erdung an einzelnen Verbrauchern unzulässig. Sensoren mit elektrischer Verbindung zum Wasser, etwa Elektroden für Sauerstoffmessungen werden über zusätzliche kleine Transverter versorgt.

Unterhalb der Wassers schöpfer ist Raum für Sensoren und Kabelanschlüsse. Gleichzeitig können bis 9 Sensoren mit frequenzanalogen Signalen oder ein Breitbandwandler betrieben werden, spätere Aufrüstung mit Sensoren für digitale Informationsübertragung ist möglich. Für die frequenzanalogen Sensoren erfolgt über Bandpässe die Summierung aller Signale, und eine entsprechend der Kabellänge bis 5 km abgestufte, auswechselbare frequenzabhängige Dämpfungsentzerrung sowie die Einspeisung in das Kabel über ein Netzwerk mit Leitungsübertrager. Verbindlich für alle Meßwandler ist ein Signalpegel entsprechend  $0,75 \pm 0,05$  V der Grundfrequenz lt. Tab. 2. Frequenzanteile außerhalb des Bandes (Grundwelle) werden durch die Bandpässe der tauchenden Einheit so bedämpft, daß keine Störung benachbarter Bänder zu erwarten ist. Die Abmessungen der tauchenden Einheit sind als Tab. 3 zusammengestellt.

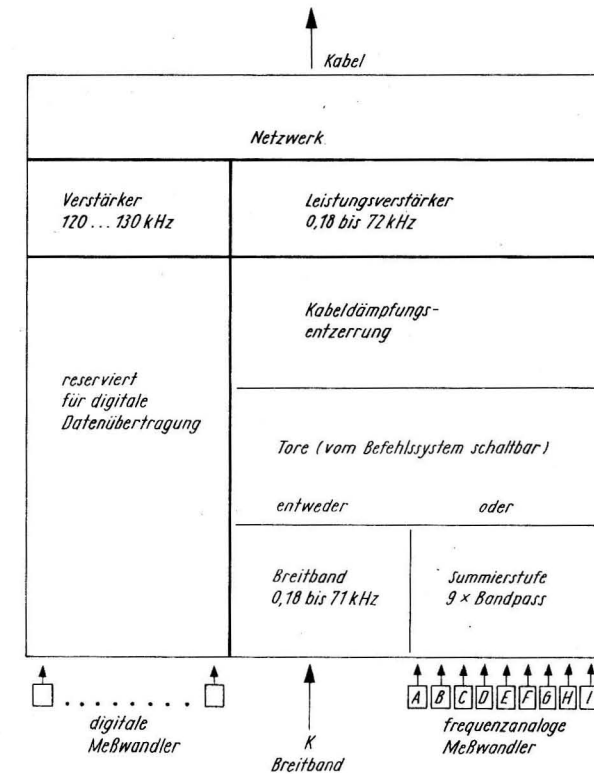


Abb. 3. Information von der tauchenden Einheit

Tabelle 3  
Abmessungen der tauchenden Einheit

Höhe mit Aufhängung	ca. 1200 mm
Durchmesser über Schutzring	ca. 860 mm
Masse mit Wassers schöpfen für $12 \times 2,7$ l ohne Sensoren	ca. 200 kg
Gewicht in Wasser ohne Sensoren	ca. 1600 N
Gewicht je Sensor (Druck, Temperatur, Schallgeschwindigkeit, Sauerstoff) in Wasser	ca. 25 N
Zulässiger Umgebungsdruck	30 MPa
Material: Edelstahl X22CrNi17	

#### 4. On-line Verarbeitung frequenzanaloger Meßwerte in der Bordeinheit

Die über das Seilkabel von der tauchenden Einheit gelieferte, frequenzmultiplexe Information wird mittels L-C-Filtern hoher Güte in die ursprünglichen einzelnen Wandlerfrequenzen aufgeteilt. Zusätzlich können direkt weitere frequenzanaloge Sensoren mit hoher

zeitlicher Auflösung angeschlossen werden (z. B. Wellenmessung, Oberflächentemperatur) bis insgesamt 16.

Eine Gruppe von Frequenzvervielfachern (PLL-Prinzip) transformiert alle niedrigeren Frequenzen in das Band 46,08 bis 71,68 kHz (Tab. 1, Band 9). Ein Satz von 16 Binärzählern mit je 20 Bit führt gleichzeitig für alle Sensoren die Integration über  $1 \pm 1 \times 10^{-6}$  s durch. Damit wird der Meßbereich jedes Sensors in  $71680 - 46080 = 25600$  Stufen aufgelöst. Die Zählresultate werden im Binärcode mittels direktem Speicherzugriff (ADT) an den zur Anlage gehörenden Rechner KSR 4100 übermittelt. Die Pause zwischen zwei aufeinanderfolgenden Integrationszyklen beträgt 0,2 s, hiervon benötigt der ADT nur einen geringen Bruchteil. Während der Integrationspause dürfen im Kabel und der Unterwasser-einheit Schaltvorgänge, Impulse höherer Leistung usw. ausgelöst werden ohne die Messun-

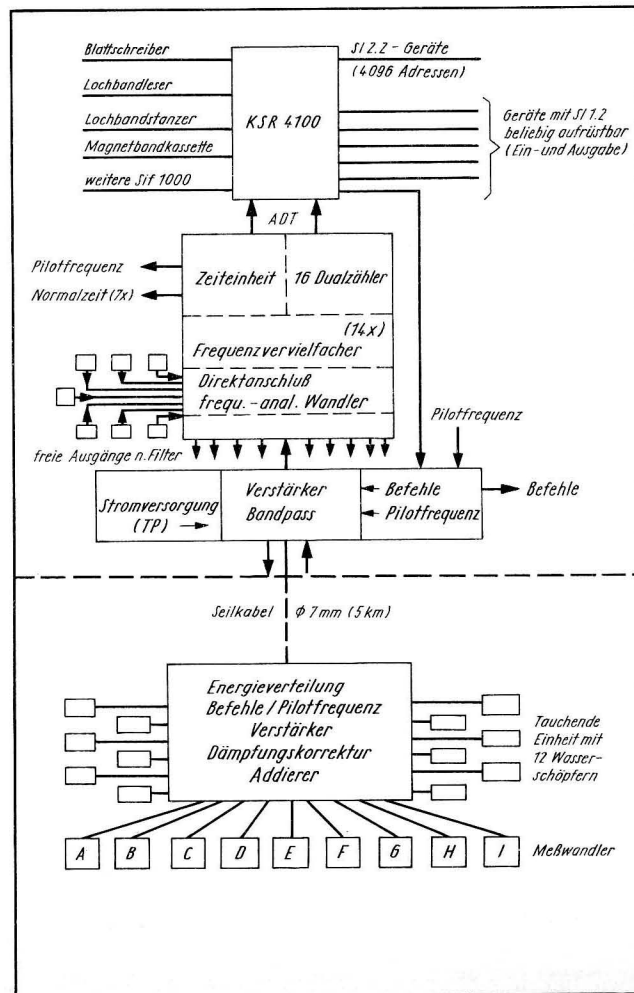


Abb. 4. Aufbauschema ozeanologische Meßkette OM75

gen zu stören. Mit diesem Zeitschema werden 50 simultane Ein-Sekunden-Mittel pro Minute für alle Wandler erfaßt.

Das zur Zeit benutzte Datenerfassungsprogramm läßt für die Berechnung von Absolutwerten eines Parameters  $Y$  aus den Zählfrequenzwerten  $X$  eine Funktion 3. Grades

$$Y = A_0 + A_1X + A_2X^2 + A_3X^3$$

zu. Damit können auch Sensoren mit nur angenähert linearer Wandlerfunktion für Messungen hoher Genauigkeit genutzt werden, der Zwang zur extremen Linearisierung von Sensoren entfällt. Die Anlage gibt die berechneten Meßwerte sofort auf Datenträger in druckfähigem Format aus. Bei geringer Wandleranzahl genügt Lochband, günstiger ist Magnetbandkassette.

Die Bestimmung der Koeffizienten  $A$  jedes Wandlers erfolgt durch Messung einer hinreichenden Anzahl von Wertepaaren  $Y = Y(X)$ , meist 10 bis 20, mit anschließender Ausgleichsrechnung. Die Ordnung der Funktion wird durch Vergleich mehrerer Varianten vom Bearbeiter ausgewählt. Bei Ansatz von Funktionen höher als 3. Grades werden zunehmend die meßmäßig unvermeidbaren Schwankungen der Wertepaare nachgebildet anstelle der gesuchten stetig steigenden bzw. fallenden Wandlerfunktion.

Automatisch wird vom Programm bei Beginn und Ende jeder Serie eine Zeitinformation bestehend aus Sekunde, Minute, Stunde und laufender Tag des Jahres zugefügt. Die quartz-stabilisierte Zeiteinheit steuert direkt Zählung und Pause für die frequenzanalogen Dateneingänge unabhängig vom Rechner, der ein Signal bei Ende jeder Integrationsperiode erhält. Die Zeiteinheit ist zugleich zentrale Uhr, von welcher die im Schiff verteilten Tochteruhren mit Digitalanzeige jede Sekunde synchronisiert werden (Normalzeit Abb. 4).

Der direkte Anschluß von meteorologischen Sensoren wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Aspirationspsychrometer mit Integrationszeiten von 10 Minuten oder von Strahlungsmessungen bis zu 1 h an freie Eingänge für frequenzanalogue Daten ist unzureichend, auch wenn die Informationen in letzterer Form vorliegen wie bei mehreren Sensoren des IfM. Der Rechner wird dadurch mit einer großen Zahl primitiver Transportoperationen belastet, die zügige Abarbeitung komplizierter Aufgaben behindert. In diesen Fällen empfiehlt sich ein zusätzlicher Zählbaustein für die volle Integrationszeit und anschließender Datentransport des Mittelwertes über Digitalanschluß des Interface-Einschubes des KSR 4100.

## 5. Hardware-Verarbeitung digitaler Informationen

### 5.1. Ein-(und Aus-)gabe digitaler Daten am Rechner

Der KSR 4100 verfügt über direkten Speicherzugriff (Autonomer Daten Transfer = ADT) und einen programmierten Ein- und Ausgabekanal mit Interface für Fernschreiber (CCITT) sowie mehrere standardisierte Interface für Ketten-(Stern-)Verkehr und Linienverkehr (Tab. 4). Hier besteht neben der erforderlichen Peripherie (Ziff. 6) die Anschlußmöglichkeit für alle gewünschten Meßwertgeber mit Digitalausgang z. B. Echolote, Funk-Navigationsgeräte (DECCA, LORAN, OMEGA), ausgeführte Kabellänge tauchender Geräte, Schiffskurs und -Geschwindigkeit, meteorologische Daten usw. Der Kanal kann auch zur Ausgabe von Befehlen genutzt werden (Abb. 4). Die weitere Verarbeitung wird durch entsprechende Programmierung bewirkt.

Tabelle 4

*Kenndaten des in der Anlage verwendeten Rechners KSR 4100*

1. Rechnertyp:  
Frei programmierbar, TTL-Technologie mit Zusatzarithmetik für Hardware-Multiplikation und -Division
2. Speicherkapazität:  
Steuerung für 32 kWort bei 12 Bit Wortlänge, in OM75 ausgerüstet mit 16 bis 24 kWort Speicher, Speicherzykluszeit 2,7  $\mu$ s
3. Direkter Speicherzugriff (ADT) für Ein- und Ausgabe mit Multiplexer für 8 Geräte
4. Interner Standardanschluß für 63 Geräte
5. Anschlußsteuerungen für  
Fernschreiber (Blattschreiber T 51 dat) nach CCITT  
ESEG R 1000 Anschluß für 8 Geräte  
ESEG R 1000 mod. Anschluß geeignet für Kopplung mit weiteren Rechner, Datenfernübertragung  
ESEG Standardanschluß Si 1,2 (Stern bzw. Kettenverkehr)  
1 Eingabe, 2 Ausgabekanäle für 48 Bit Wortlänge für Geräte der elektronischen Meßtechnik und des wissenschaftlichen Gerätebaues  
ESEG-Standardanschluß Si 2,2 (Linienverkehr) mit 2047 Adressen für Geräte der Prozeßrechentechnik und Numerik
6. Bauform:  
Schrank 575 breit, 500 mm tief, 1800 mm hoch mit Kasteneinschüben
7. Stromversorgung 220  $\frac{+10}{-15}$  V Wechselstrom ca. 600 VA
8. Klima      Temperatur +5 bis +40 °C  
                  Feuchte      10% bei 40 °C  
  90% bei 30 °C

## 5.2. Sensoren mit digitaler Datenausgabe an der tauchenden Einheit

Zur Erweiterung bei Bedarf sind im System die Frequenzen 120/125/130 kHz reserviert, desgleichen Raum für einige Steckkarten. Die Notwendigkeit zur Aufbereitung von Daten in der tauchenden Einheit nebst zeitmultiplexer Übertragung im Kabel entsteht bereits, sobald optische Sensoren (Extinktion, natürliches Licht, Fluoreszenz) mit höherer spektraler Auflösung zur Anwendung gelangen. Die reservierten Frequenzen erlauben die zusätzliche zeitmultiplexe Übertragung von Informationen in der Größenordnung einiger kBit/s auf dem vorhandenen Seilkabel.

## 6. Peripherie, Zubehör, Personalbedarf

Der Ausstattungsgrad wird bestimmt durch verfügbaren Raum, Zeit zwischen aufeinanderfolgenden Aufhalten des Schiffes im Heimathafen (Service), Einsatz Tiefen und Ausstattung des Forschungsschiffes mit hydrographischen und meteorologischen Sensoren.

### 6.1. Minimalvariante

Die Minimalvariante eignet sich für Schiffe von 200 bis 300 t Größe bei Arbeitstiefen bis etwa 600 m. Sie wird auf dem Forschungsschiff „Prof. A. Penck“ (320 t) in Ost- und Nordsee seit längerem eingesetzt und umfaßt:

1 Gerätesatz entsprechend Abb. 4 (Rechner mit 16 kWort Speicher)

zusätzlich sind notwendig:

je 1 Lochbandleser, Lochbandstanzer, Magnetbandkassettengerät (Ersatz bei Wartung bzw. Störungen)

1 alphanumerischer Seriendrucker z. B. daro 1156 mit 178 Zeichen pro Zeile und 100 Zeichen/s.

1 Satz aller Sensoren (Austauschexemplare)

1000 m Seilkabel als Reserve

Personelle Besetzung: Je Schicht 1 Meßelektroniker

## 6.2. Ausrüstungsvariante für Forschungsschiff mit Reisedauer 3 bis 6 Monate und Arbeitstiefen bis 2000 m

2 Gerätesätze entsprechend Abb. 4 dabei Rechner mit je 24 kWort Speicher

Zusätzliche Reservegeräte:

1 bis 2 Magnetbandkassettengeräte

je 1 Lochbandleser und Lochbandstanzer

vollständiger Satz aller hydrologischen und meteorologischen Sensoren

2 Stck. alphanumerische Drucker daro 1156

Personelle Besetzung: 2 Meßelektroniker pro Schicht

## 7. Programme zur Aufbereitung ozeanologischer und meteorologischer Daten an Bord

Für die Dauer der on-line-Erfassung frequenzanaloger Daten mit 1,2 s Folge des Records werden die einlaufenden Frequenzwerte sofort auf dimensionsgerechte Absolutwerte umgerechnet (vergl. Ziff. 4) mit anschließender Ausgabe auf Datenträger. In dieser Zeit anfallende meteorologische Werte werden intern abgespeichert. Automatisch wird zu jeder Serie die Anfangs- und Endzeit zugefügt.

Die weitergehende Aufbereitung erfolgt in einem zweiten Lauf von Datenträger auf Datenträger, hierbei werden geographische Koordinaten manuell zugefügt. Berechnet werden u. a. Tiefe aus gemessenem Druck, Salzgehalt (aus Temperatur, Leitwert, Druck), Schallgeschwindigkeit (aus Temperatur, Salzgehalt, Druck), weiterhin können die Records nach zunehmendem Druck (Tiefe) sortiert werden. Parallel damit läuft ein einfaches Fehlererkennungs- und Korrekturprogramm mit Formatkontrolle und Prüfung auf Überschreitung vorzugebender Grenzen der verschiedenen Variablen. Ein weiteres Unterprogramm liefert interpolierte Tiefenzeilen in Bereichsweise vorgebbaren Standardtiefen nebst Zusatzzeilen bei Erreichen vorgebbarer Differenzen einzelner Variablen.

Die Tiefensortierung sowie die Interpolation auf Standardtiefen werden benötigt bei der optimalen Auswahl von Daten zur sofortigen Fernübermittlung (Real-Time-Information) sowie für Diagrammdarstellungen mittels alphanumerischer Drucker.

Dank des frei programmierbaren Rechners können laufend weitere Unterprogramme bei Bedarf zugefügt werden.



## 8. Literatur

BENGELSDORFF, E., Ein hochfestes Seilkabel für ozeanographische Geräte.  
Beitr. Meereskunde H. 21 (1967) 72—75.

## Anschrift des Verfassers

Dr. rer. nat. FRIEDRICH MÖCKEL  
Institut für Meereskunde der AdW der DDR  
DDR-2530 Rostock-Warnemünde

## Einsatzerfahrungen mit der Meßkette OM 75

VON EBERHARD FRANCKE

Mit der Meßkette OM 75 wurde den Ozeanologen des Instituts für Meereskunde Warnemünde eine Forschungstechnik zur Verfügung gestellt, die nicht nur den modernen Entwicklungstrend verkörpert, sondern einen qualitativen Sprung darstellt. Nachdem die Forschungstechnologie in der physikalischen Ozeanographie, abgesehen von ständigen Verbesserungen der vorhandenen Ausrüstungen, in ihrer Weiterentwicklung lange Zeit stagnierte, eröffneten elektronische Arbeitsmethoden völlig neue Perspektiven, die in der ozeanologischen Meßkette zielgerichtet genutzt wurden.

Zu den wesentlichen Vorteilen, die der Einsatz der Anlage bietet, gehören:

1. eine hohe Genauigkeit der Meßwerterfassung,
2. eine unmittelbare Meßwertkontrolle (automatisch und manuell) während der Stationsarbeiten,
3. die Erschließung neuer Untersuchungsmethoden infolge der kurzen Ansprechzeiten der Sensoren,
4. die beträchtliche Erhöhung des Informationsgehaltes von Vertikalprofilen und Zeitreihen,
5. eine beträchtliche Zeiteinsparung bei der Gewinnung und Verarbeitung der Meßwerte und
6. wesentliche Erleichterungen bei der Arbeit an Deck.

Darüber hinaus ist es ein Vorzug der Anlage, daß mit ihr synchron zur elektronischen Meßwerterfassung eine Reihe von qualitativ hochwertigen Wasserproben gewonnen werden können. Damit wird die einheitliche Gewinnung von in situ- und Labordaten weitgehend gesichert.

Mit der Einführung des komplexen Meßsystems waren mehrere Probleme zu bewältigen, die sich besonders auf

- die qualitativ veränderte Besetzung der Expeditionen,
- eine Neuorganisierung langjährig erprobter Arbeitsmethoden an Bord und im Institut und
- die Erarbeitung neuer Konzeptionen sowohl für permanente und damit routinemäßig absolvierte, als auch für Meßprogramme, die den neuen Meßmöglichkeiten angepaßt sind,

konzentrieren. Mehr als je zuvor ist die Kooperation zwischen Ozeanologen und ingenieurtechnischem Personal erforderlich, um die Leistungsfähigkeit der Anlage voll auszunutzen.

Von beiden Partnern werden fundierte Kenntnisse auf dem Gebiet der elektronischen Datenverarbeitung gefordert.

Das Meßsystem BS/63 wurde am Institut für Meereskunde ab Herbst 1973 auf FS „Professor Albrecht Penck“ in den Routinebetrieb überführt. Der Einsatz erfolgte vorerst nur mit einem Ausdruck der gewonnenen Frequenzen für die einzelnen Sensoren und mußte für ausgewählte Tiefen per Hand umgerechnet werden. Trotz dieser Einschränkung wurde die Anlage zum frühest möglichen Zeitpunkt voll eingesetzt und auf allen Ostsee-Expeditionen genutzt. Mit der gleichen Arbeitsweise wurde das Meßsystem 1974 und 1976 auf FS „A. v. Humboldt“ während des GATE-Unternehmens und vor der westafrikanischen Küste im Atlantik erfolgreich eingesetzt. Den entscheidenden Qualitätssprung stellte der 1976 eingeführte on line-Betrieb über einen Kleinststeuerrechner KSR 4100 dar, mit dem die zweite Version des Systems, die ozeanologische Meßkette OM 75, ausgerüstet ist.

Erst dadurch wurde die vollkommene Bearbeitung umfangreicher Meßreihen ermöglicht und der manuelle Bearbeitungsaufwand auf ein Mindestmaß reduziert.

Bevor auf die bisher genutzten Möglichkeiten der OM 75 eingegangen wird, soll auf einige Probleme bei ihrem Einsatz hingewiesen werden.

Die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Sensoren aus eigener Entwicklung und aus Importen genügen noch nicht in allen Fällen den Ansprüchen, die von seiten der Ozeanologen an sie gestellt werden. Das betrifft sowohl ihre Langzeitkonstanz als auch in verschiedenen Fällen die Eichgenauigkeit.

Besonders schwierig ist aber die Druckmessung zur späteren Tiefenbestimmung in einem stark temperaturgeschichteten Meer, wie es die Ostsee darstellt. Infolge der Temperaturabhängigkeit der zur Verfügung stehenden Drucksensoren verschiedener Produktion in Verbindung mit den recht hohen Genauigkeitsanforderungen der Nutzer (Fehler nicht größer als 1<sup>0</sup>/<sub>00</sub>) konnten hier die Erwartungen noch nicht befriedigt werden. Insbesondere in den Sommermonaten ist es deshalb notwendig, durch längere Exposition des Sensors im Tiefenwasser für zufriedenstellende Ergebnisse über den größten Teil der Meßstrecke zu sorgen.

Besondere Aufmerksamkeit erfordert auch die Gewinnung qualitätsgerechter Wasserproben. Die Ringwasserschöpfer aus PTFE bieten die Gewähr, daß Proben geschöpft werden können, die den hohen Reinheitsanforderungen der Chemie und der Biologie genügen. Mangels eines geeigneten Gummis ist es allerdings erforderlich, für den Schließmechanismus Edelfahlfedern zu verwenden, mit denen das geschöpfte Wasser längere Zeit in Berührung kommt. Damit ergeben sich gewisse Einschränkungen bei der Untersuchung von Spurenmetallen. Hinzu kommt, daß in den Metallspiralen Luftreste haften bleiben, die besonders in dem sauerstoffarmen Tiefenwasser der Ostsee zu Meßwertverfälschungen führen. Das ist ein Grund dafür, im Falle der Entnahme von Wasserproben nur während des Hievens der Sonde zu messen. Damit werden brauchbare O<sub>2</sub>-Werte gesichert, weil sich in diesen Fällen die Luftreste unter dem hohen Druck des Tiefenwassers schnell auflösen. Intensive Untersuchungen haben diese Annahme bestätigt.

Für die routinemäßig durchgeführten Expeditionen zur Untersuchung großräumiger ozeanologischer Veränderungen in der Ostsee mit sehr komplexen Meßprogrammen ergeben sich im übrigen weitere Vorteile daraus, daß die Vertikalserien am Grund zu beginnen sind. Einmal können die Wasserschichten auch bei unreinem Grund bis dicht über den Boden sorgfältig erfaßt werden, was gerade in der Ostsee von großer Bedeutung für viele Forschungsaufgaben ist. Zum anderen sind die Schöpfer über den Sensoren angebracht; dadurch werden weitgehend ungestörte Wasserproben für chemisch und biologische Labor-

untersuchungen gewonnen. Nicht zuletzt besteht aufgrund der elektronischen Lösung der Sonde eine geringe Zeitverschiebung zwischen der Meßwertgewinnung durch die Sensoren und dem Schließen des Schöpfers sowie der Speicherung dieser Daten an Bord. Diese Verschiebung wird durch das Messen während des Hievens weitgehend aufgehoben.

Selbstverständlich wird die Arbeitsmethodik im Interesse spezieller Programme (z. B. für Feinstrukturuntersuchungen von Parametern, die über elektronisch arbeitende Sensoren gemessen werden) entsprechend abgeändert. In diesen Fällen wird während des Fierens die ungestörte Struktur der Wassermassen durch die im unteren Teil angebrachten Meßfühler erfaßt.

Die bisher mit der Meßkette OM 75 während einer größeren Anzahl von ozeanologischen Expeditionen gemachten Erfahrungen sind insgesamt sehr gut. Die Anlage hat sich als wenig stör anfällig erwiesen. Der Wartungsaufwand hält sich in Grenzen, wenn während der Hafengezeiten eine sorgfältige Durchsicht der bekannten Verschleißstellen gesichert wird.

Relativ anfällig sind die Teile des Systems, an denen sich gehäuft mechanische Bauteile befinden, das sind besonders der Schließmechanismus der Ringwasserschöpfer und die Peripherie des Rechners (Stanzer, Leser).

Obwohl der bordgebundene Teil der Anlage einschließlich des Rechners auf FS „Prof. Albrecht Penck“ in einem relativ kleinen und nichtklimatisierten Labor untergebracht ist, traten bisher keine größeren Störungen an dem Meßsystem auf. Nach Verbesserungen der Auslegetechnik wurden die Decksarbeiten entscheidend verbessert und erleichtert. Die Sonde wurde bei zumutbaren Arbeitsbedingungen noch bis Windstärke 6—7 vom „Penck“ aus eingesetzt, womit gleichzeitig die Grenze der Arbeitsmöglichkeit auf dem Schiff überhaupt erreicht wurde.

Eine erhebliche Intensivierung wurde bei den Stationsarbeiten erreicht. Im Mittel werden für eine 100 m-Station nach der oben beschriebenen Arbeitsmethode 8 Minuten Arbeitszeit benötigt. Im Arkonabecken bei 47 m Meßtiefe dauert eine Station noch 5—6 Minuten (einschließlich der Probengewinnung für die Biologie) gegenüber 40 Minuten mit konventionellen Methoden. Hinzu kommen die genannten Vorteile der einheitlichen Probengewinnung und der erheblichen Erleichterung des körperlichen Einsatzes. Dieser günstige Zeitfaktor wirkt sich vor allem bei Forschungsreisen in Seegebieten mit dichten Stationsnetzen aus. Wichtiger noch als die Fortschritte in bezug auf die Forschungstechnologie erweist sich der Einsatz der OM 75 für eine neue Qualität der Meßdaten.

Ozeanologische Untersuchungen mit Wasserschöpfnern und Tiefseekippthermometern erlaubten bekanntlich nur Messungen an diskreten Punkten über Zeiträume von ca. 10 min. pro Meßwert. Sie stellten also quasi ein Mittel dar, bei dem der Zustand kurz vor dem Schließen bzw. Kippen stärker gewichtet wurde. Mit Meßsystemen, wie der OM 75 ist es möglich, annähernd kontinuierliche Punktreihen auf Vertikal-, Horizontal- oder Zeitprofilen zu gewinnen.

Die Datenerfassung erfolgt synchron im Abstand von 1,2 sec., wobei die Zeitkonstanten der Sensoren in der Sekundengröße liegen. Die Tiefenzuordnung für die einzelnen Meßwerte ist trotz der bekannten Mängel wesentlich sicherer geworden, und die bereits erwähnten komplexen Meßmöglichkeiten führen zu einer besseren Vergleichbarkeit der Daten.

Einige Parameter (u. a. Temperatur, Salzgehalt) können jetzt mit höherer Genauigkeit von etwa einer Zehnerpotenz gemessen werden. Diese Eigenschaften des Meßsystems erlauben eingehende Untersuchungen von Vorgängen in der Feinstruktur des Meeres. 4 Beispiele sollen verschiedene bisher genutzte Anwendungsmöglichkeiten zeigen.

In Abb. 1 wird die Zeitreihe der Temperatur in 10 cm Tiefe im Bornholmbecken während

eines extrem ruhigen und strahlungsreichen Tages am 9. 8. 1975 gezeigt (FRANCKE u. a. 1975). Der mit einem Meßintervall von 20 sec aufgenommene Temperaturverlauf zeigt ein ruhiges Ansteigen bis zu einem Maximum von 24.41 °C um 15.56 Uhr und bei dem nachfolgenden Abfall eine Labilisierung der oberen Wasserschichten, verbunden mit turbulentem Austausch.

Diese noch mit der Meßkette BS 63 (ohne Rechner) aufgenommene Zeitreihe wurde manuell bearbeitet. Eine derartige Meßreihe setzt einen Meßfühler mit kurzer Zeitkonstante und eine hohe Auflösung des Meßwertes voraus. Diese Bedingungen und eine entsprechende Genauigkeit werden von der Anlage gesichert.

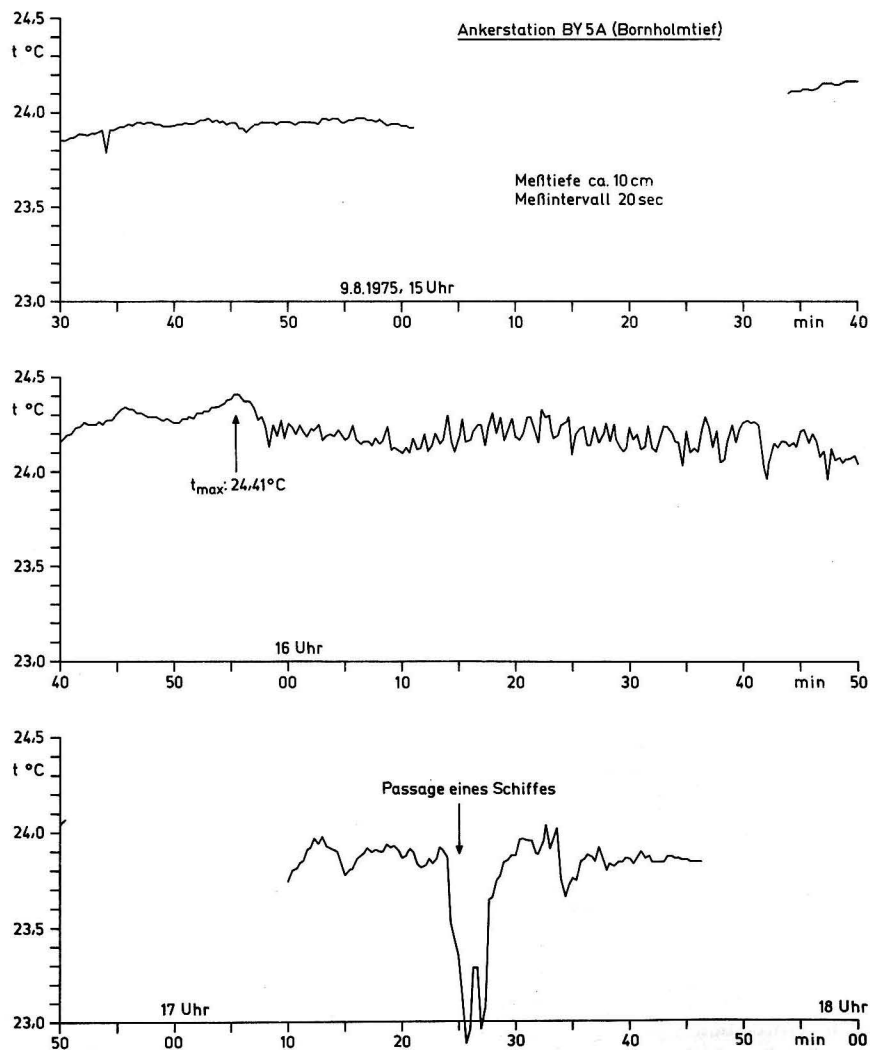


Abb. 1. Temperaturverlauf im Bornholmbecken am 9. 8. 1975 in 10 cm Tiefe (Meßpunktabstand: 20 sec.)

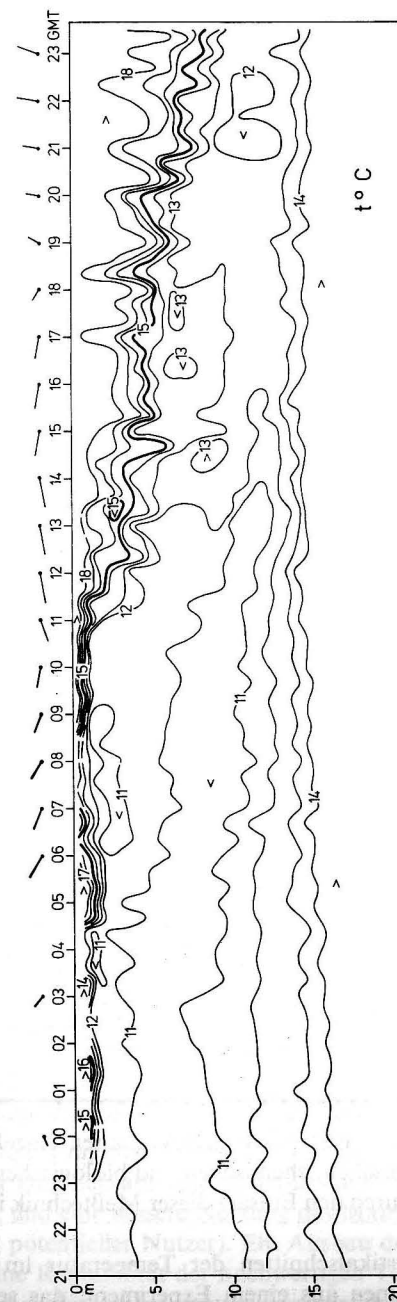


Abb. 2. Vertikalschnitt der Temperatur im 20 min-Abstand am Osthang der Darßer Schwelle im August 1976 — Zeitreihe: 26 Stunden

Abb. 2 zeigt das Ergebnis einer 26stündigen Dauerstation am Osthang der Darßer Schelle. Mit der Meßkette OM 75 wurden im Abstand von 20 min. Vertikalserien der Temperatur gefahren. Der vertikale Meßabstand betrug ca. 40 cm.

Während des Beobachtungszeitraumes passierte eine Kaltfront die Station. Nach mehreren Stunden ruhigen Wetters mit einem entsprechenden ruhigen Verlauf der Isothermen nimmt der Wind rasch zu. Parallel dazu verlagert sich die Sprungschicht nach unten. In Übereinstimmung mit dem Schwellenwert der Windgeschwindigkeit, bei dem sich im betrachteten Seegebiet die Oberflächenwellen zu brechen beginnen, werden interne Schwingungen angeregt (LASS 1977). Das Beispiel deutet an, welche Möglichkeiten für die Lösung von Aufgaben aus dem Problemkreis „Austausch und Vermischung von Wasserkörpern“ mit der OM 75 eröffnet werden.

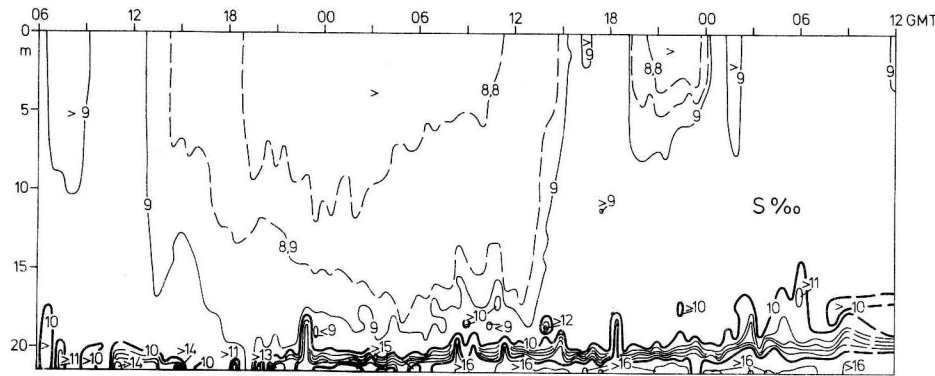


Abb. 3. Vertikalschnitt des Salzgehaltes im 1 h-Abstand am Osthang der Darßer Schelle im Februar 1977  
— Zeitreihe: 48 Stunden

Abb. 3 zeigt den Salzgehaltsverlauf im Februar 1977 an der gleichen Station über 48 Stunden. Der Salzgehalt steigt erst wenige Dezimeter über Grund an, ein Indiz für den am Grund einwärts gerichteten Kompensationsstrom in die Ostsee. Eine derart flache Wasserschicht konnte nur dadurch nachgewiesen werden, daß die Sonde bei ruhiger See auf Grund gesetzt wurde. Mit konventionellen Methoden wäre sie kaum festgestellt worden. Die Untersuchung der komplizierten Schichtung insbesondere der westlichen Ostsee wird offensichtlich durch diese Meßtechnik überhaupt erst möglich. Die in diesen 3 Beispielen dargestellten Ergebnisse zeigen, welche Bedeutung das Meßsystem für verschiedene praktische und theoretische Fragestellungen der Ozeanologie besitzt. Es sei hier nur auf die Klärung von Zusammenhängen zwischen meteorologischen und ozeanologischen Parametern und die genaue Untersuchung interner Vorgänge im Meer hingewiesen. Die Interpretation von Schwingungen der Wassermassen in Abhängigkeit von Luftdruck und Wind, die Neigung von Grenzflächen und deren detaillierte Form, das Verhalten einzelner Wasserkörper, die Beziehungen zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Vorgängen und andere relevante Probleme kommen durch den Einsatz dieser Meßtechnik ihrer Lösung näher.

Die Abb. 4 zeigt eine Reihe von Vertikalschnitten der Temperatur im Gebiet vor Kühlungsborn am 23. 10. 1973. Sie stammen aus einem Experiment, das seit mehreren

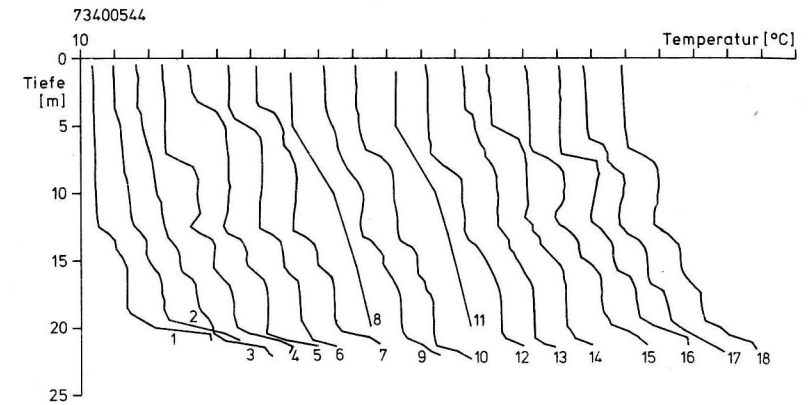


Abb. 4. Vertikale Temperaturprofile im 1,5 h-Abstand vor Kühlungsborn am 23. 10. 1973

Jahren durchgeführt wird, um advective Vorgänge im Bereich der DDR-Küste zu untersuchen und sind mit direkten Strömungsmessungen an Bojenstationen gekoppelt. Die über 12 Tage gewonnenen 1,5-stündigen Vertikalprofile verschiedener physikalischer Parameter erfordern eine Meßtechnik, die die Bewältigung einer außerordentlich großen Zahl von Informationen mit hoher absoluter Genauigkeit und Zuverlässigkeit ermöglicht.

Besonders dieses Beispiel demonstriert die sprunghafte Erhöhung der wissenschaftlichen Aussagekraft und des Informationsgehaltes, die durch die Datengewinnung mit dem elektronischen System gegenüber der herkömmlichen Technik gewonnen wurden. Die Profile 8 und 11 wurden mit Wasserschöpfern gemessen, die übrigen 16 mit der BS/63.

Die Fortschrittskriterien mit Hinblick auf die Zielstellungen solcher Advektionsfahrten bestehen darin, daß

- Feinstrukturmessungen der vertikalen  $T_w$ - und  $S$ -Verteilung und daraus eine differenzierte Erfassung von advektionsaktiven Schichten möglich werden,
- repräsentative Berechnung der  $T_w$ -Schichtmitteltemperaturen mit dem Ziel einer genaueren Erfassung der Tages- und 1,5 Stunden-Summen der horizontalen Wärmeadvektion durchgeführt werden können und
- über die genaue Erfassung der Wasseroberflächentemperatur eine sehr zuverlässige Abschätzung einer Reihe von Wärmehaushaltskomponenten (vor allem turbulente Wärmeströme) ermöglicht werden.

Der Einsatz der bordgebundenen Anlage steht erst am Anfang. Die bereits vorliegenden Resultate und Erfahrungen zeigen jedoch, daß die computergebundene Meßtechnik ein Umdenken erfordert und eine große Anzahl neuer Probleme aufwirft. Neben den bereits gemachten (z. B. der Neuorientierung der Forschungstechnologie und den entsprechenden Anforderungen an die mit den Untersuchungen betrauten Menschen) sind das auch landseitige Fragestellungen z. B. die Bewältigung des anfallenden Datenmaterials, besonders im Hinblick auf eine sinnvolle und einem ständigen Zugriff gesicherte Datenarchivierung, und eine bessere Nutzung des Materials für operative Zwecke (beispielsweise die Beratung potentieller Nutzer). Ein Ausbau des Meßsystems gehört zu den wichtigsten Zielen, die eine Rentabilität der hochwertigen Technik begründen. So ist der vorgesehene Anschluß meteorologischer Sensoren verschiedenster Art außerordentlich wichtig. Die Mög-

lichkeit, weitere hydrophysikalische Meßgrößen zu erfassen, muß durch neue Meßfühler erschlossen werden. Hier stehen besonders chemische Komponenten, ab 1978 ein Sauerstoffsensoren, die in situ-Messung des pH-Wertes, sowie optische Meßgrößen und beispielsweise der Chlorophyllgehalt in Diskussion. Ein entscheidender Schritt wird weiter die beabsichtigte Einbeziehung nautischer Größen (Standort, Wassertiefe, Fahrt des Schiffes u. a.) sein. Eine weitere Zielgröße ist die Strömungsmessung. Bei all diesen Vorhaben erweist es sich als günstig, daß die Ozeanologische Meßkette OM 75 so konzipiert wurde, daß der Anschluß einer größeren Anzahl verschiedener Meßfühler möglich ist. Diese Pläne werden auch in Zukunft in der bewährten Weise verwirklicht werden, daß Entwicklungsingenieure und Ozeanologen der verschiedenen Fachrichtungen ihre Wünsche und Möglichkeiten gemeinsam ausloten und auf eine optimale Lösung hinsteuern.

### Literatur

- FRANCKE, E., D. NEHRING und M. STURM, Hydrography of the Baltic Sea during 1975. Conseil Permanent International Pour L'Exploration de la Mer. Ann. Biol. Vol. XXXII 1975 (1977).  
LASS, U., Anregung interner Wellen. Unveröffentlichte Arbeit (1977).

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Met. EBERHARD FRANCKE  
Institut für Meereskunde der AdW der DDR  
DDR-2530 Rostock-Warnemünde

## Temperatur- und Leitfähigkeitswandler mit frequenzanalogem Ausgang

VON REINHARD DANKERT und HENRY WILL

*Zusammenfassung:* Dieser Beitrag stellt zwei Geräte der frequenzanalogen Meßtechnik zur Bestückung tauchender Sonden vor. Die Grundlage dieser Präzisionsmeßwandler ist ein universell einsetzbarer Phasenschiebergenerator, der den Anschluß von Meßfühlern (Sensoren) mit Vierpolcharakter gestattet, deren Übertragungsfunktion von der Meßgröße abhängig ist. Anhand eines bereits einsetzbaren Temperatur- und eines in der Entwicklung befindlichen Leitfähigkeitswandlers wird die Komplettierung des Generators durch geeignete Sensorvierpole beschrieben.

### 1. Phasenschiebergenerator

#### 1.1. Schaltungskonzeption

Die vorgestellte Schaltung (Abb. 1) ist ein Phasenschiebergenerator, der durch Amplitude und Phase einer Wechsellspannung  $U_S^L$  verstimmbar wird, so daß die Ausgangsfrequenz eine Funktion dieser Spannung ist.

$$f = f(U_S, \varphi_S) \quad (1)$$

Gelingt es, Anordnungen zu finden, die aus einer bestimmten physikalischen, chemischen oder auch optischen Größe  $X$  eine Wechsellspannung

$$U_S^L = U_S^L[X] = U_S^L[U_S(X), \varphi_S(X)] \quad (2)$$

ableiten, kann man frequenzanaloge Messungen dieser Größen durchführen:

$$f = f(X) \quad (3)$$

Die Meßgröße ist über ein Polynom der Form

$$X = A_0 + A_1 f + A_2 f^2 + \dots + A_n f^n \quad (4)$$

aus der Wandlerfrequenz bestimmbar.

Die funktionsbestimmenden Baugruppen des Wandlers sind:

- Sensorvierpol, der die von der Meßgröße abhängige Übertragungsfunktion besitzt,
- Phasendrehglieder (OV 1 und OV 4),
- Summierverstärker zur Überlagerung der phasenschiebenden Sensorspannung  $U_S^L$  mit der Bezugsspannung  $U_1^L$  (OV 2),
- Amplitudenstabilisierung (OV 3).

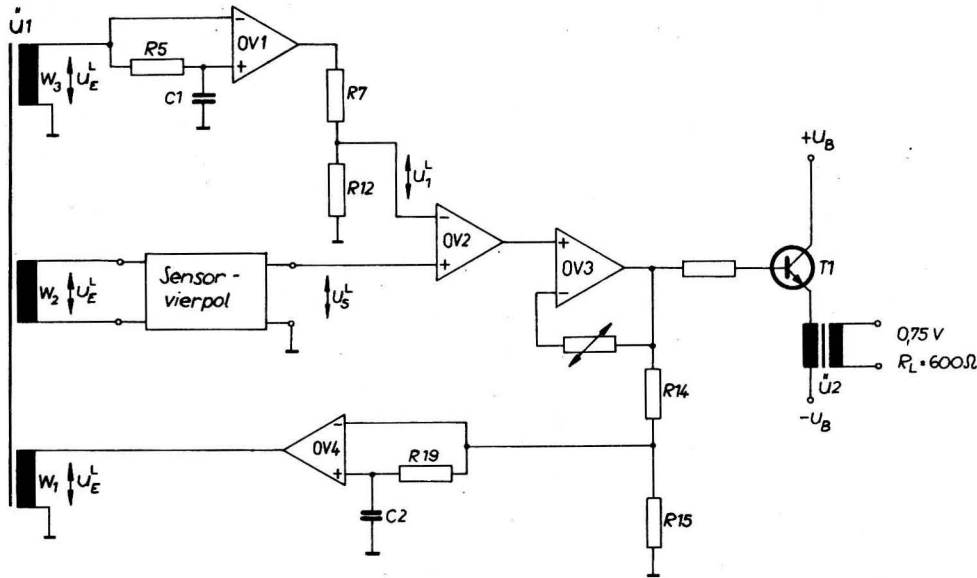


Abb. 1. Phasenschiebegerator (Variante Temperaturwandler)

Die Wandlerfrequenz wird über die Impedanzwandlerstufe  $T1$  ausgekoppelt.

Der Übertrager  $\dot{U}_1$  ist eine Variante zum Schließen des Kreises und Einspeisen des Sensorvierpols. Die Amplitudenstabilisierung bewirkt, daß am Speisepunkt des Sensorvierpols eine konstante Amplitude trotz unterschiedlicher Ausgangsamplituden zur Verfügung steht.

Die Phasendrehglieder besitzen folgende Übertragungsfunktion:

$$F(j\omega) = \frac{V_0}{V_0 + 2} \cdot \frac{1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \quad (5)$$

Mit  $v_0 \gg 2$  ist der Betrag der Verstärkung 1 und frequenzunabhängig. Das Aufspalten in Imaginär- und Realteil ergibt:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}\{F(j\omega)\} &= \cos \varphi = \frac{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \\ \operatorname{Im}\{F(j\omega)\} &= \sin \varphi = \frac{-2 \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \end{aligned} \quad (6)$$

Der Phasengang lautet damit

$$\varphi(\omega) = -\arctan \frac{2 \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \quad (7)$$

oder durch Anwendung eines trigonometrischen Theorems

$$\varphi(\omega) = -2 \arctan \frac{\omega}{\omega_0} \quad (8)$$

Für das erste Phasendrehglied OV 1 gilt

$$\omega_0 = \omega_{01} = 2\pi f_{01} = \frac{1}{R_5 C_1} \quad (9)$$

und analog für OV<sub>4</sub>

$$\omega_0 = \omega_{02} = 2\pi f_{02} = \frac{1}{R_{19} C_2} \quad (10)$$

Qualitativ besagen die Glgn. (7) und (8), daß der Betrag der sich einstellenden Phase proportional der Frequenz ist. Bei  $f = f_0$  beträgt die Phase  $-90^\circ$ .

Die Spannung  $U_1^L$ , um  $\varphi_1$  gegenüber  $U_E^L$  gedreht, gelangt an den invertierenden, die Sensorspannung  $U_S^L$  an den nicht invertierenden Eingang des Operationsverstärkers OV 2. Soll der Wandler Proportionalität zwischen Sensorspannung und Frequenz besitzen, muß  $U_S^L$  an diesem Punkt um  $180^\circ$  gegenüber  $U_E^L$  verschoben sein. Dann erscheint am Ausgang von OV 2 die Summe aus Sensor- und Bezugsspannung. Für bestimmte Anwendungsfälle muß eine zusätzliche Phasenverschiebung  $\varphi_S$  berücksichtigt werden, so daß man für die Phase nach OV 2

$$\varphi = 180^\circ + \arctan \frac{U_S \sin \varphi_S + U_1 \sin \varphi_1}{U_S \cos \varphi_S + U_1 \cos \varphi_1} \quad (11)$$

angeben kann. Das Phasendrehglied OV 4 ergänzt den Betrag von  $\varphi + 180^\circ$  um  $\varphi_2$  zu  $360^\circ$ . Die Schwingbedingung lautet also:

$$|\varphi| + |\varphi_2| = 180^\circ \quad (12)$$

Glg. (12) beinhaltet die Annahme, daß die restlichen Phasendrehungen im geschlossenen Kreis vernachlässigbar klein sind. Dies gestattet für den Fall  $\varphi_S = 0$  eine relativ einfache Herleitung der Amplituden-Frequenz-Funktion gemäß Glg. (1).

In Glg. (11) werden die Ausdrücke für  $\sin \varphi_1$  und  $\cos \varphi_1$  aus Glg. (6) eingesetzt. Den Betrag von  $\varphi_2$  bestimmt man nach Glg. (7). Aus der Schwingbedingung Glg. (12) geht damit die folgende Beziehung hervor:

$$f = \sqrt{f_{01} \cdot f_{02}} \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{f_{01}}{f_{02}} + \frac{f_{01}}{f_{02}} \cdot \frac{U_S}{U_1}}{1 + \frac{f_{01}}{f_{02}} - \frac{U_S}{U_1}}} \quad (13)$$

Das Verhältnis der beiden 90°-Frequenzen  $f_{01}$  und  $f_{02}$  ist bei  $C_1 = C_2 = C$  durch das Widerstandsverhältnis  $R_{19}/R_5 = r$  gegeben. Die Leerlauffrequenz  $f_0$  stellt sich bei  $U_S = 0$  ein und wird nach

$$f_0 = \sqrt{f_{01} \cdot f_{02}} = \frac{1}{2\pi C \sqrt{R_5 R_{19}}} \quad (14)$$

bestimmt.

In normierter Form lautet die Amplituden-Frequenz-Funktion:

$$\frac{f}{f_0} = \sqrt{\frac{1 + r + r \frac{U_S}{U_1}}{1 + r - \frac{U_S}{U_1}}} \quad (15)$$

Der Spannungsteiler  $R_7/R_{12}$  (Abb. 1) erzeugt die Bezugsspannung  $U_1^L$  und legt damit den Frequenzhub  $f/f_0$  fest.

In Abb. 2 sind einige Verläufe nach Glg. (15) bei ausgewählten Parametern  $r$  dargestellt. Aus ihnen ist ersichtlich, daß die nichtlineare Amplituden-Frequenz-Funktion in bestimmten Abschnitten als linear angenähert werden kann. Andererseits gestattet die Dimensionierung von  $r$  bei nichtlinearem Zusammenhang zwischen Meßgröße  $X$  und Betrag  $U_S$  eine vom zulässigen Fehler abhängige Linearisierung der Glg. (3) und damit auch einen linearen Ansatz in Glg. (4).

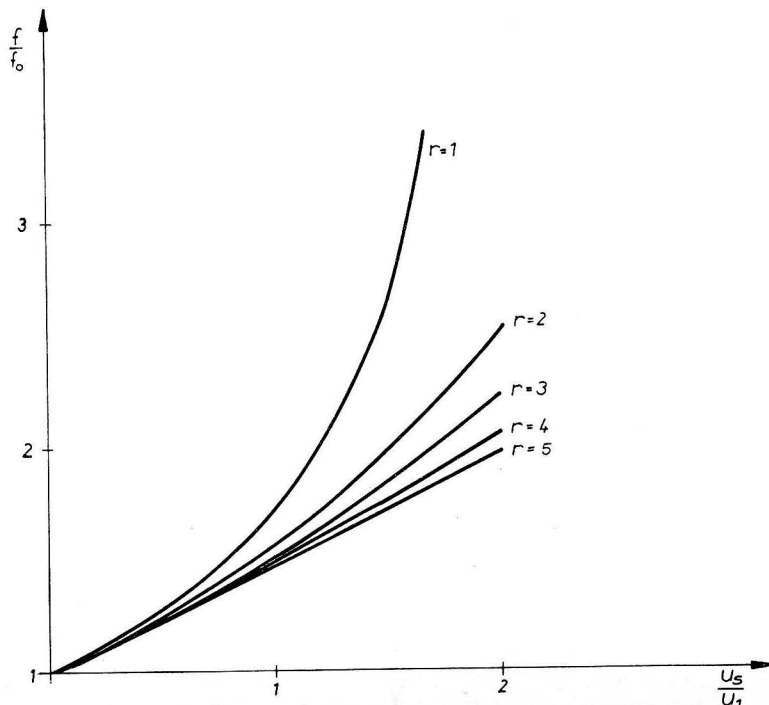


Abb. 2. Amplituden-Frequenz-Funktion des Phasenschiebegerators

## 1.2. Temperaturkompensation

Die Frequenz soll ausschließlich eine Funktion der Meßgröße  $X$  sein. Der Temperatureinfluß bildet erfahrungsgemäß den Hauptbestandteil des Fehlverhaltens von elektronischen Schaltungen. Für die Anwendung in der Ozeanologie müssen bei einem Temperaturintervall von  $-2 \dots +38 \text{ }^\circ\text{C}$  und dem jeweiligen Wandlerfrequenzbereich relative Frequenzfehler  $\Delta f/f \leq 10^{-4}$  erreicht werden. Wichtigster Ansatzpunkt für die Temperaturkompensation des Wandlers ist das in die 90°-Frequenzen der Phasendrehglieder eingehende Produkt  $R \cdot C$  nach Glg. (9) bzw. (10). Die Temperaturkoeffizienten der Widerstände und Kondensatoren müssen entgegengesetzt und ihrem Betrage nach gleich sein, so daß über den gesamten Temperaturbereich eine ausreichende Temperaturkompensation möglich ist. Damit ist gleichzeitig das Verhältnis der 90°-Frequenz, ausgedrückt im Parameter  $r$  der Glg. (15), weitestgehend temperaturabhängig.

Ebenfalls aus Glg. (15) geht hervor, daß das Verhältnis  $U_S/U_1$  keine Funktion der Temperatur sein darf. Es empfiehlt sich jedoch, jeweils  $U_S$  und  $U_1$  für sich temperaturunabhängig zu machen, um den Einfluß von Temperaturgradienten zwischen Baugruppen bei raschem Umgebungstemperaturwechsel auszuschließen. Das gilt sinngemäß auch für die Phasendrehglieder.

## 2. Temperaturwandler

### 2.1. Kurzbeschreibung

Basierend auf der unter 1. beschriebenen Schaltung wurde ein Temperaturwandler entwickelt.

Er ist ein Präzisionsmeßgerät für Messungen hoher Absolutgenauigkeit in Flüssigkeiten. In seinen technischen Daten wurde er besonders den Forderungen der ozeanologischen Meßtechnik angepaßt.

Durch seine kleine Zeitkonstante und hohe Ansprechempfindlichkeit ist er zugleich für Fluktuationsuntersuchungen in Limnologie und Ozeanologie geeignet.

Die verwendeten Werkstoffe gewährleisten Beständigkeit gegen Korrosion in wäßrigen Elektrolyten, u. a. in Meerwasser, der konstruktive Aufbau gestattet Messungen auch unter hohem Umgebungsdruck.

Das temperatursensible Element ist ein Fühler aus Platindraht, druckgeschützt in einer Kapillare. Die Ausgangsfrequenz des Wandlers ist eine eindeutige Funktion der Temperatur, in erster Näherung linear. Die elektrischen Anschlußbedingungen haben die bei Fernsprechsystemen üblichen Werte. Damit können diese Wandler einzeln über handelsübliche Kabel zur Fernmessung eingesetzt werden.

Der Temperaturwandler Typ TW 01:75 ist zur Anwendung als Baustein in komplexen Meßketten wie auch als Einzelgerät z. B. in Verbindung mit handelsüblichen Geräten der Digitaltechnik verwendbar (Techn. Daten sh. Tab. 1).

### 2.2. Schaltungsbeschreibung

Die unter 1. beschriebene Schaltung wird durch eine Wheatstone-Brücke ergänzt, in der ein Zweig mit dem temperatursensiblen Platinwiderstand  $R_{pt}$  bestückt ist. Gespeist wird die Brücke vom Übertrager Ü 1 (Abb. 3).

Tabelle 1

Technische Daten: Temperaturmeßwandler Typ TW 01:75

— Temperaturbereich (andere Bereiche sind möglich)	-2 ... +38 °C
— Fehler (absolut)	±0,02 K
— Auflösungsvermögen	±0,002 K
— Zeitkonstante	= 0,4 s
— Stromversorgung	24 ± 2 V/22 mA GL.
— Signalausgang (2-polig mit Leitungsübertrager)	
Sinus	0,75 ± 0,1 0,05 V
	an 600 Ohm = 60 Ohm
— Innenwiderstand des Ausganges	1440 ... 2240 Hz
— Frequenzband	
— Abmessungen	
Länge	ca. 200 mm
Durchmesser	ca. 70 mm
Masse	ca. 2,5 kg
Gewicht im Wasser	ca. 1,5 kg
— Prüfdruck (Standard)	p = 40 MPa
(auf Bestellung möglich bis	p = 100 MPa
— Steckverbindung	
Sonderausführung	4-polig, vergoldet
— Zulässige Strömungsgeschwindigkeit in Wasser	max. 5 m/s
— Zulässige Umgebungstemperatur bei Transport und Lagerung	-30 bis +60 °C

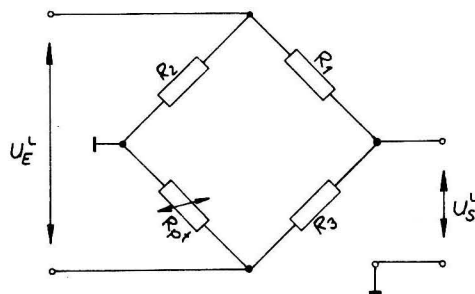


Abb. 3. Sensorvierpol zur Temperaturmessung

Die Brücke soll sich bei 0 °C im abgeglichenen Zustand befinden. Es wird

$$k = \frac{R_3}{R_1 + R_3} = \frac{R_{Pt}(0\text{ °C})}{R_2 + R_{Pt}(0\text{ °C})} \quad (16)$$

gewählt. Da die Brücke nur aus reellen Bauelementen besteht, gilt für die Abhängigkeit des Betrages der Sensorspannung von der Temperatur:

$$\frac{U_S}{U_E} = k \left( 1 - \frac{1 + \alpha T}{1 + k\alpha T} \right) \quad (17)$$

Darin sind  $\alpha$  der Temperaturkoeffizient des Platins und  $T$  die Temperatur.

Der Wandler schwingt bei 0 °C auf seiner Leerlaufrezquenz  $f_0$ , die nach Glg. (14) bestimmt wird (1,5 kHz).

Eine große Bedeutung kommt ebenfalls der Temperaturkompensation zu. Durch entsprechende Auswahl der Brückenwiderstände nach ihren Temperaturkoeffizienten wird der Temperaturfehler der Brücke (Faktor  $k$ ) vernachlässigbar klein.

Durch geringfügige Variation des Widerstandsverhältnisses  $r$  in der Grundschtung kann erreicht werden, daß für die Bestimmung der Temperatur aus der Frequenz gemäß Glg. (4) der lineare Ansatz beim angegebenen Temperaturfehler ausreicht.

### 3. Leitfähigkeitswandler

#### 3.1. Meßprinzip

Der Sensorvierpol besteht aus zwei Toroidspulen, die durch eine Leiterschleife miteinander verkoppelt sind (Abb. 4). Nach Anlegen einer Wechselspannung  $U_E^L$  wird in der Leiterschleife eine Spannung induziert. Es fließt ein vom Leitwert  $1/R$  abhängiger Strom. Dieser erzeugt in Spule 2 die dem Leitwert proportionale Sensorspannung  $U_S^L$ .

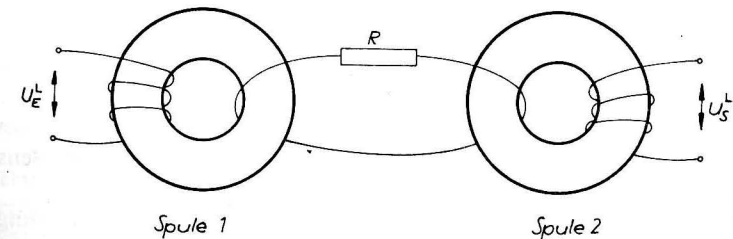


Abb. 4. Prinzip der induktiven Leitfähigkeitsmessung

#### 3.2. Ersatzschaltbild und Übertragungsfunktion

Unter Berücksichtigung von Quell- und Lastwiderstand kann man für den Sensorvierpol das Ersatzschaltbild (Abb. 5) angeben.

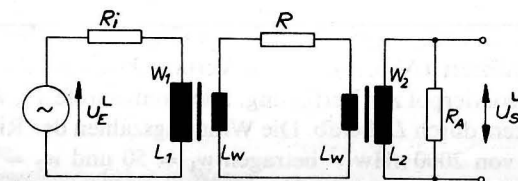


Abb. 5. Ersatzschaltbild des Sensorvierpols zur induktiven Leitfähigkeitsmessung



Darin bedeuten:

$R_i$ : Innenwiderstand der Spannungsquelle

$L_{1,2}$ : Induktivität der Toroidspulen

$L_w$ : Induktivität der Leiterschleife

$R$ : Widerstand der Schleife

$R_A$ : Abschlußwiderstand

Es ergeben sich die folgenden Ausdrücke für Betrag

$$\frac{U_S}{U_E} \approx \frac{1}{w_1 w_2} \frac{R_A}{R} \left\{ \left[ 1 + \left( \frac{R_A}{\omega L_2} \right)^2 \right] \left[ 1 + \left( \frac{R_i}{\omega L_1} \right)^2 \right] \right\}^{-1/2} \quad (18)$$

und Phase

$$\varphi_S \approx \arctan \frac{\frac{R_i}{\omega L_1} + \frac{R_A}{\omega L_2}}{1 - \frac{R_i R_A}{\omega_2 L_1 L_2}} \quad (19)$$

Die Dimensionierung des Vierpols nach Glg. (18) wird stark beeinflusst durch die Temperatur- und Druckabhängigkeit der Toroidspulen. Man muß hier mit Al-Wert- und damit Induktivitätsänderungen von 10 ... 20% des Normwertes rechnen.

Aus diesem Grund muß man das Verhältnis  $R_A/\omega L_2$  sowie  $R_i/\omega L_1$  sehr viel kleiner als 1 wählen, damit Amplituden- und Phasenänderung der Sensorspannung vernachlässigbar klein werden. Durch die Ansteuerung mit gegengekoppelten Operationsverstärkern lassen sich Quellwiderstände extrem niedrig halten, so daß  $R_i/\omega L_1$  mit Sicherheit vernachlässigbar ist. Bei der Dimensionierung von  $R_A$  muß man einen Kompromiß zwischen dem notwendigen Sensorspannungsbetrag und der Unterdrückung der Induktivitätsschwankungen machen. Das gleiche gilt für die entgegengesetzten Forderungen bezüglich der Windungszahlen  $w_1$  und  $w_2$ . Einerseits bringt ein kleines Windungszahlprodukt  $w_1 \cdot w_2$  eine hohe Sensorspannung, andererseits dürfen die Spulenimpedanzen nicht zu klein werden.

Aus Glg. (18) ist weiterhin die Notwendigkeit einer hohen Eingangsspannung, hoher Arbeitsfrequenzen und hoher Al-Werte der Ringkerne abzuleiten.

### 3.3. Realisierung

Als Arbeitsfrequenz wurde der Bereich von 13 ... 20 kHz gewählt. Der Wandler soll die elektrische Leitfähigkeit zwischen 0 ... 70 mS/cm<sup>-1</sup> messen. Der angestrebte Fehler von 0,01 mS/cm<sup>-1</sup> in der Leitfähigkeit bedeutet, daß der Gesamtfrequenzfehler des Wandlers 1 Hz betragen darf. Das entspricht einem relativen Frequenzfehler von kleiner  $5 \cdot 10^{-5}$ .

Ausgehend von den Anforderungen, die sich aus Glg. (18) ergeben, wurde der Phasenschiebergenerator modifiziert (Abb. 6). Durch Vertauschen von OV 4 und OV 3 stehen etwa 2 V<sub>eff</sub> für den Sensorvierpol zur Verfügung. Die Treiberstufe  $T_1, T_2$  setzt die Belastung des Operationsverstärkers durch  $L_1$  herab. Die Windungszahlen der Ringkerne aus Manifer 180 mit dem Al-Wert von 2000 nHw<sup>-2</sup> betragen  $w_1 = 50$  und  $w_2 = 200$ . Damit sind die Impedanzen bei 13 kHz etwa 0,4 und 6 kOhm.

Als Abschlußwiderstand wurde experimentell  $R_A = 100$  Ohm ermittelt.

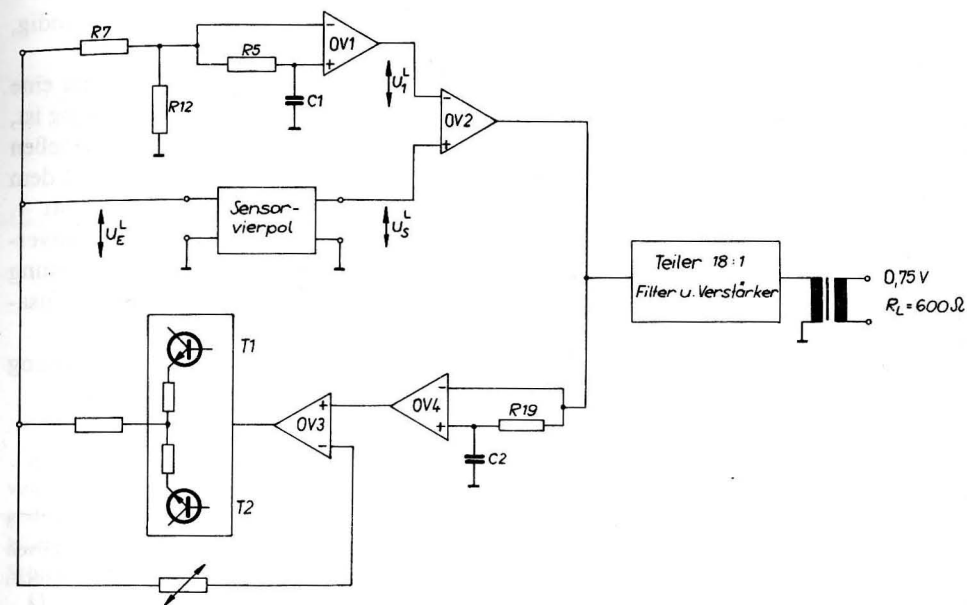


Abb. 6. Phasenschiebergenerator (Variante Leitfähigkeitswandler)

Tabelle 2

Vorläufige technische Daten für Ostseeanwendung

— Leitfähigkeit	5 ... 40 mS/cm
— Fehler (absolut)	± 0,02 mS/cm
— Auflösung	± 0,002 mS/cm
— Umgebungstemperatur bei Messing	-2 ... +25 °C
— Stromversorgung	24 ± 2 V/25 mA GL.
— Signalausgang (2-polig mit Leitungsübertrager)	0,75 + 0,1 - 0,05 V
Sinus	an 600 Ohm = 60 Ohm
— Innenwiderstand des Ausganges	720 ... 1120 Hz
— Frequenzband	
— Abmessungen	
Länge	ca. 270 mm
Durchmesser	ca. 70 mm
Masse	ca. 2,5 kg
Gewicht im Wasser	ca. 1,5 kg
— Prüfdruck	20 MPa
— Steckverbindung	
Sonderausführung	4-polig, vergoldet
— Zulässige Strömungsgeschwindigkeit in Wasser	max. 5 m/s
— Zulässige Umgebungstemperatur bei Transport und Lagerung	-30 ... +60 °C

Diese Maßnahme machte das Einfügen eines Sensorspannungsverstärkers  $OV_5$  notwendig, der damit als Bestandteil des Sensorvierpols anzusehen ist.

Eine weitere wichtige Vereinfachung ist der Wegfall des Übertragers  $\ddot{U}_1$ . Das hat eine Herabsetzung der zusätzlichen Phasendrehung, die darüber hinaus temperaturabhängig ist, zur Folge. Da der Spannungsteiler  $R_7/R_{12}$  hier vor  $OV_1$  liegt, ist bei direktem Schließen des Kreises eine genügende Entkopplung durch  $R_7 = 47 \text{ k}\Omega$  zwischen  $OV_1$  und dem Sensorvierpol gegeben. Für die Temperaturkompensation gilt das unter Abschnitt 1. Gesagte. Zusätzlich erzeugen bei diesen relativ hohen Arbeitsfrequenzen die Operationsverstärker bereits merkbare Phasendrehungen, die das Temperaturverhalten der Schaltung wesentlich verschlechtern, so daß ein erheblicher meßtechnischer Aufwand zur Kompensation notwendig ist.

Für den Einsatz in der Ostsee ab 1978 gelten die Daten lt. Tabelle 2. Eine Ausführung mit erweiterten Bereichen (Leitwert, Wassertemperatur) ist in Entwicklung.

### Literatur

- DANKERT, R., Untersuchung von Verfahren zur Leitwertmessung in wäßrigen Elektrolyten mit induktiven Methoden und frequenzanalogem Signalausgang. Diplomarbeit 1976, Reg.-Nr. D 4/76/21, WPU Rostock, Sektion Technische Elektronik.
- HOFFMANN, E., Die wesentlichsten Realisierungsmöglichkeiten aktiver Allpässe für Phasen- und Laufzeitkorrekturen. Techn. Mitteilung des RFZ, Heft 2, 1969.
- WILLIAM, GOLD and NAIDITCH, Two Transformer Method for Electrodeless Conductivity Measurement. The Review to Scientific Instruments **26** (1965) H. 8, S. 1121—1129.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. REINHARD DANKERT, Ing. HENRY WILL  
 Institut für Meereskunde der AdW der DDR  
 DDR-2530 Rostock-Warnemünde

## Die Wasserschöpfer der ozeanologischen Meßkette OM 75

VON HARDO SEEHASE

*Zusammenfassung:* Die tauchende Einheit der ozeanologischen Meßkette OM 75 kann mit einer Gruppe von 12 Wasserschöpfern ausgerüstet werden. Das Schließen dieser Wasserbehälter wird elektronisch gesteuert, im allgemeinen durch den zur Anlage gehörenden Prozeßrechner. Volumen und Material der Behälter sind so gewählt, daß Analysen sowohl chemisch-biologischer Art als auch auf Spurenstoffe, Schwermetalle usw. möglich sind.

Die Geräte haben sich über 5 Jahre als wartungsarm und betriebssicher erwiesen, unabhängig vom Einsatzgebiet (Tropen bis winterliche Ostsee). Wasserschöpfer der gleichen Bauform wurden auch als selbständige Geräte unabhängig von der OM 75 eingesetzt. Aufbau, Funktion und Steuerung der Wasserschöpfer werden beschrieben.

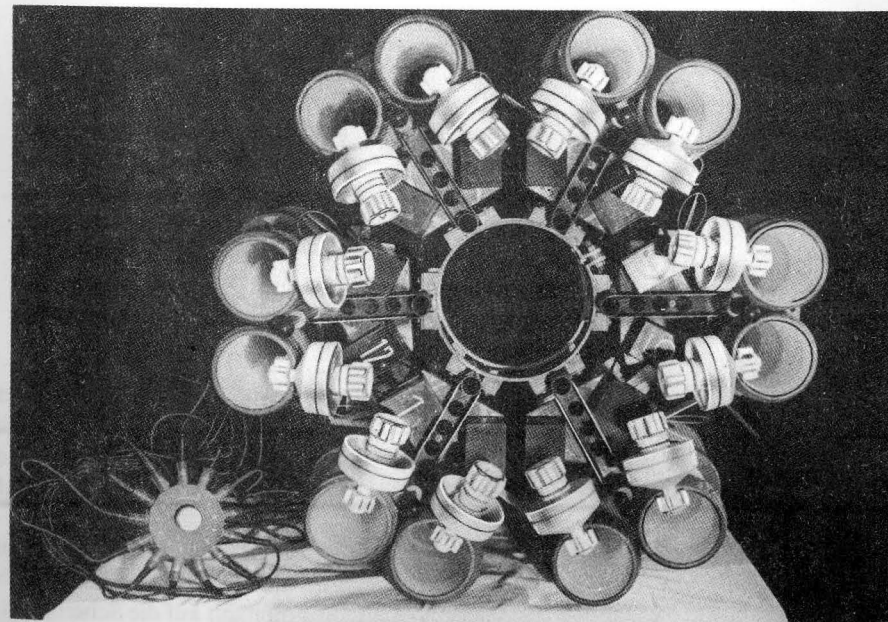


Abb. 1. Ansicht auf eine Wasserschöpfergruppe, Deckel geöffnet, zentraler Sondenkörper entfernt, (oberer Teil des Sondenkörpers s. Abb. 4)

### 1. Aufbau des Wasserschöpfer

Als Wasserbehälter werden Rohre mit Endverschlüssen aus polymerisiertem Tetrafluoräthylen (PTFE, TEFLON) benutzt von je etwa  $2,7 \text{ dm}^3$  Volumen. In die Endverschlüsse sind die Ventile eingearbeitet zum Abfüllen der Proben bzw. zum Lufteinlaß. Damit wurden seitlich herausragende, schadengefährdete Hähne vermieden. Rohrenden und Verschlüsse laufen konisch ineinander. Absenken von an der Oberfläche gefüllten Schöpfern auf Tiefen über 5000 m ist zulässig, die Dichtung wird durch je einen Rundring bewirkt. Beide Endverschlüsse werden durch eine gemeinsame Spiralfeder im Innern des Gefäßes (Abb. 1 u. 2) aus Edelstahl X 12 CrNi 17.7 TGL 1487 zugezogen. Als Schutz

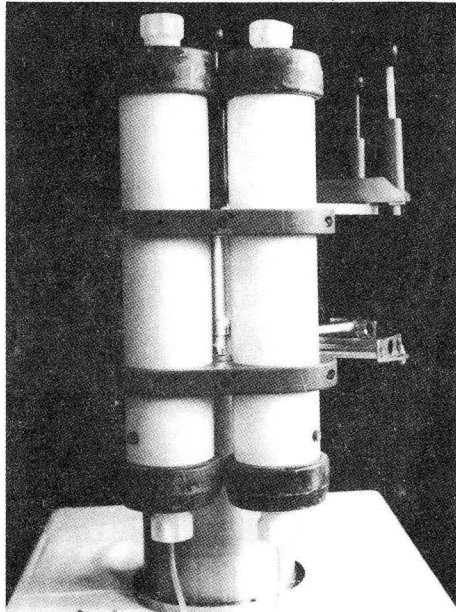


Abb. 2. Ein Wasserschöpferpaar in Betriebslage, Deckel geschlossen

gegen Einbeulen bei versehentlichem Absenken geschlossener luftgefüllter Schöpfer enthält jedes Rohr eine Bohrung im Mantel, welche mit einem von innen eingesetzten konischen Gummipfropfen verschlossen ist (Abb. 3), der bei äußerem Überdruck in den Behälter gedrückt wird. Konstruktiv sind je 2 Behälter zu einem Paar zusammengefaßt. Die Behälterpaare sind leicht ohne Werkzeug auswechselbar.

Am Griff jedes Verschlusses ist ein Perlonseil mit kleinem Handgriff zum Spannen sowie einer Schlaufe, die beim Spannen über einen Stift an der Scheibe der Auslösung gehängt wird (Abb. 4 u. 5). Damit wird gleichzeitig ein Drehmoment auf die Scheibe mit dem Stift erzeugt. Die Drehung verhindert der Raststift in einer Bohrung der zugehörigen Scheibe. Beim Auslösen wird dieser Raststift kurzzeitig durch einen Elektromagneten zurückgezogen, die Scheibe durch den Seilzug gedreht, die Seilschlaufen freigegeben, der



Abb. 3. Unteres Ende eines Behälterrohres, Handhabung des Ventils, Gummistopfen als Schutz gegen Einbeulen

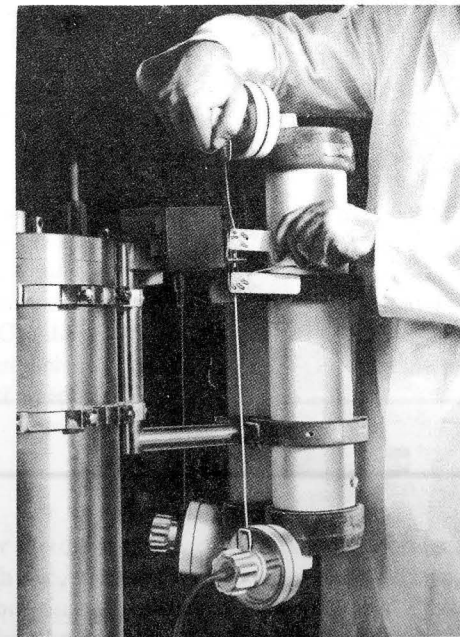


Abb. 4. Spannen des Verschlusses, oben

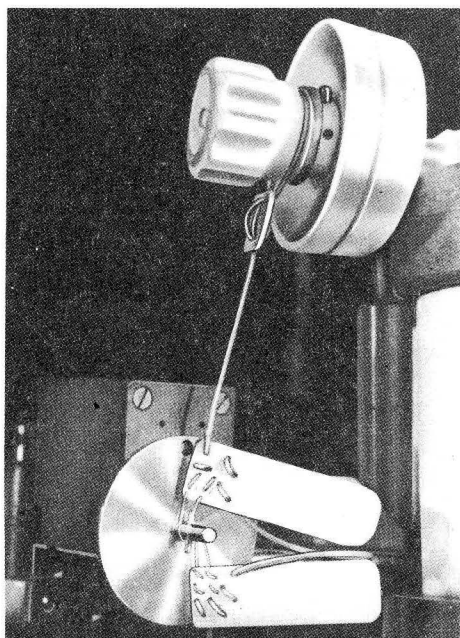


Abb. 5. Auflösung mit eingehängten Schlaufen, Wasserschöpfer betriebsbereit

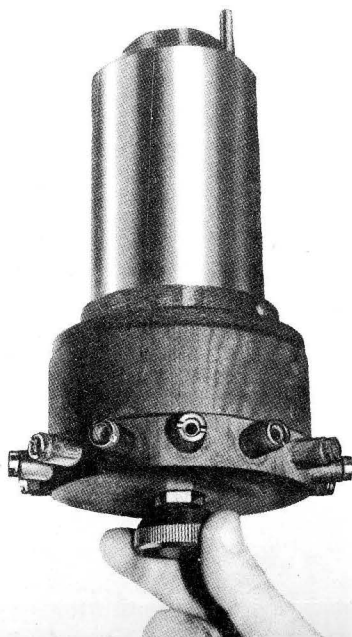


Abb. 6. Schrittschaltwerk, offene Steckerbuchsen

Schöpfer geschlossen. Der erforderliche elektrische Antriebsimpuls wird vom Schrittschalter geliefert, er liegt bei 24 V unter 0,05 As. Dieser geringe Energiebedarf wird mittels eines hammerähnlichen Ankers zur Überwindung der Haftreibung erreicht. Die gesamte Auslösung ist in einem Bad unter Evakuierung mit entgastem Silikonöl gefüllt, eine weiche Gummimembrane sorgt für druck- und temperaturabhängigen Volumenausgleich. Die Auslösung kann damit in beliebigen Wassertiefen benutzt werden.

Die aufeinanderfolgende Betätigung von maximal 12 Schöpfern mit Hilfe des gleichen, einfachen Signals wird über ein Schrittschaltwerk gelöst (Abb. 6). Es enthält Netzwerke von Kondensatoren und Widerständen, welche einerseits die zur Betätigung der Auslösemagneten sowie des Kurzhubmagneten für den 12-stelligen Umschalter erforderlichen hohen Stromimpuls liefern, andererseits die Energieaufnahme vom 24 V-Versorgungsnetz auf 50 mA Spitzenstrom begrenzen. Hierbei ist eine Schaltfolge von  $\geq 3$  s zulässig. Ein Relais mit 2 Umschaltern gewährleistet die galvanische Trennung der Stromversorgung vom Gehäuse und umgebenden Wasser. Für die Ansteuerung (Schließen eines Schöpfers und Weiterschalten zu Bereitschaft für den folgenden) ist ein Steuerimpuls von  $U = 10$  bis 12 V,  $I = 30$  mA und  $t \geq 0,3$  s notwendig.

Alle Teile sind sorgfältig elektrisch entstört. Vor Beginn jeder Serie wird das Schrittschaltwerk mit Hand aufgezogen. Der elektrische Anschluß an die Zentraleinheit erfolgt über 4-polige Steckverbinder. Das Schrittschaltwerk kann bis über 5000 m Wassertiefe eingesetzt werden, als Gehäusewerkstoff dient polierter korrosionsfester Edelstahl (X 22 CrNi 17).

An der tauchenden Einheit der OM 75 sind 12 Schöpfer (6 Paare) rosettenförmig um den oberen Teil des zylindrischen Gehäuses angeordnet nebst Halterung mit Auslösmagneten. Die Verkabelung zwischen Schrittschalter und Auslösemagneten erfolgt mit handelsüblichen Laborschnüren, die Steckverbindungen sind durch übergeschobene Gummischlauchmuffen mit Silikonfettfüllung gegen Eindringen von Wasser geschützt. Die Anordnung der Schöpfer oberhalb der Sensoren der OM 75 entspricht Meßreihen mit Vorzugsrichtung Senken, hierbei werden bei driftenden Schiffen bzw. Stromscherungen große Tauchtiefen leicht erreicht, die schnell ansprechenden Sensoren liegen im wenig durch die Wasserschöpfergruppe gestörten Gebiete. In der ozeanologischen Meßkette OM 75 wird das Schließen der Wasserschöpfer im allgemeinen vom Rechner ausgelöst bei Erreichen vorgegebbarer Wasserdrücke. Anstelle des statischen Wasserdruckes kann auch jede andere gemessene Variable wie Temperatur, Kabellänge, Sauerstoff usw. zur Auslösung programmiert werden. Fine Umschaltung auf manuelle Auslösung ist möglich. Die Zuordnung von Wasserschöpfern wird automatisch in den Datenstreifen registriert. Bei Verwendung der Wasserschöpfer an anderen Geräten müssen die 24 V-Stromversorgung für das Schrittschaltwerk (max. 50 mA) z. B. durch einen Batteriesatz sowie Steuerimpulse von  $U = 12$  V,  $I = 30$  mA und  $t \geq 0,3$  s geliefert werden.

## 2. Applikationserfahrungen

Die Wasserschöpfer werden seit über 5 Jahren im routinemäßigen Betrieb sowohl im Atlantik, einschließlich der Äquatorzone sowie über alle Jahreszeiten in der Ostsee benutzt. Die Geräte arbeiten bei einmaliger Wartung pro Monat (Spülen, Reinigen der Behälter, Reinigen der Steckverbindungen evtl. noch Nachsetzen der Spannseile) über Jahre ohne Verschleiß, Korrosion wurde nicht festgestellt. Die Wasserproben zeigen auch nach Stunden mit

den zum Schließen verwendeten Edelstahlfedern im Innern keine meßbaren Anreicherungen von Spuren-Schwermetallen. Bei starkem Frost sind nach dem Eintauchen mehrere Minuten Wartezeit zum Abtauen von Eisresten notwendig. Bei Analysen auf Sauerstoff muß mehrere Minuten in getauchtem Zustand gespült werden, um Luftreste an den Federn zu beseitigen.

Gummi als federndes Element erwies sich als unzureichend beständig. Der Gummi erschlaffte häufig nach wenigen Wochen, ein sicherer Verschuß war nicht über längere Zeit gewährleistet. Auf Grund dieser guten Erfahrung mit der Schöpfergruppe wurden einzelne Schöpferpaare mit zusätzlicher, mechanischer Auslösung auch für Bodenwasserproben in über 5000 m Tiefe eingesetzt.

### 3. Kenndaten

#### 3.1. Elektrische Anschlußdaten

Stromversorgung  $U = 24 \pm \frac{1}{3}$  V,  $I_{\max} = 0,05$  A  
 Energieverbrauch ca. 0,05 As je Auslösung  
 Signal für Auslösung  $U = 12 \pm 3$  V,  $I = 30$  mA,  $t \geq 0,3$  s  
 Pause zwischen aufeinanderfolgenden Schöpfern = 3 s  
 Schaltung ohne galvanische Verbindung mit Gehäuse und Wasser;  
 zulässige Spannung gegen Gehäuse 100 V

#### 3.2. Mechanische Daten

Probevolumen je 2,7 dm<sup>3</sup>/Behälter  
 Anzahl der Behälter max. 12  
 Material der Behälter PTFE (TEFLON)  
 Material der Schließfeder Edelstahl X12CrNi17.7 TGL 1487  
 Abmessungen Behälterpaar  $H \times B \times T = 600 \times 260 \times 130$  mm<sup>3</sup>; ca. 4,7 kg  
 Abmessungen Schrittschaltwerk 220 mm lg  $\times$  135 mm  $\varnothing$ ; ca. 4,5 kg  
 Abmessungen Auslösung je 100  $\times$  90  $\times$  80 mm<sup>3</sup> ca. 0,8 kg  
 Masse Gestell ca. 9 kg  
 Prüfdruck Standard 40 MPa (80 möglich)

Anschrift des Verfassers:

Ingenieur HARDO SEEHASE  
 Institut für Meereskunde der A. d. W. der DDR  
 DDR-2530 Rostock-Warnemünde

## Bandfilter kleiner Abmessungen mit steilen Flanken und geringer Welligkeit im Durchlaßbereich für die ozeanologische Meßkette OM 75

VON HANS FELOTTER, FRIEDRICH MÖCKEL, GERHARD VÖRTLER

*Zusammenfassung:* Die Benutzung der frequenzmultiplexen Übertragungsmethode für frequenzanaloge Daten im Rahmen der ozeanologischen Meßkette OM 75 macht den Einsatz von Bandfiltersätzen bei der Einspeisung der Information und zur Zurückgewinnung dieser Daten aus dem Frequenzgemisch notwendig. Diese Filter müssen hohe Sperrdämpfung, steile Flanken und geringe Welligkeit in den Durchlaßbereichen bei kleinstmöglichen Abmessungen aufweisen. Die Arbeit gibt einen Einblick in den Ablauf der Entwicklung derartiger optimierter Filter, die unter Benutzung der modernen Katalogliteratur aus normierten Tiefpässen abgeleitet werden. Die Spulentransformation, ein vorteilhaftes Transformationsverfahren wird vorgestellt und seine Anwendung erklärt.

### 1. Allgemeines

Zur automatisierten Erfassung hydrologischer, meteorologischer und nautischer Daten wurde für die Forschungsschiffe des Instituts für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR (IfM) die ozeanologische Meßkette OM 75 entwickelt. Neben digital

Tabelle 1  
 Bänder der Sensoren mit frequenzanalogem Signalausgang

Kanal Nr.	Frequenzband in kHz		
	$f_{\min}$	$f_{\text{mitt}}$	$f_{\max}$
1	0,18	0,224	0,28
2	0,36	0,449	0,56
3	0,72	0,898	1,12
4	1,44	1,796	2,24
5	2,88	3,59	4,48
6	5,76	7,18	8,96
7	11,52	14,37	17,92
8	23,04	28,74	35,84
9	46,08	57,48	71,68
$n$	(0,09	0,112	$0,14) \times 2^n$ ( $1 = n = 9$ )

$$f_{\max}(n)/f_{\min}(n) = 1,556 = \text{relative Kanalbreite (konstant)}$$

$$f_{\max}(n) - f_{\min}(n) = 0,05 \times 2^n = \text{absolute Kanalbreite}$$

$$f_{\min}(n+1)/f_{\max}(n) = 1,286 = \text{relativer Abstand benachbarter Bänder}$$

arbeitenden Einheiten enthält die Anlage Gruppen zur frequenzmultiplexen Übertragung frequenzanaloger Daten von einer tauchenden zur Überwassereinheit über 1-adriges Koaxialkabel. In diesem System wird zur Rückgewinnung der Einzelinformation aus dem vom Kabel ankommenden Frequenzgemisch ein Satz von 9 Bandfiltern benötigt.

Ein weiterer Filtersatz in der tauchenden Einheit sorgt dafür, daß unabhängig von der Form der Ausgangssignale der einzelnen Sensoren nur die im zugeteilten Frequenzband liegenden spektralen Komponenten zur Weiterverarbeitung ausgefiltert werden. Vom Gesamtsystem vorgegeben sind die in Tab. 1 aufgeführten Kanäle für die Ausgänge der Sensoren:

Mit Rücksicht auf die Temperaturdrift von Bauelementen werden bei der Berechnung aller Filter gegenüber Tab. 1 beidseitig um ca. je 3% erweiterte Frequenzbänder zugrunde gelegt (Übertragungsbänder s. Tab. 2).

Tabelle 2  
Erweiterte Frequenzbänder (Übertragungsbänder)

Kanal Nr.	Frequenzband in kHz		
	$f_{\min}$	$f_{\text{mit}}$	$f_{\max}$
1	0,175	0,223	0,285
2	0,35	0,447	0,57
3	0,70	0,894	1,14
4	1,40	1,787	2,28
5	2,80	3,57	4,56
6	5,60	7,15	9,12
7	11,20	14,29	18,24
8	22,40	28,59	36,48
9	44,80	57,17	72,96
$n$	(0,0875	0,112	$0,143) \times 2^n$ ( $1 \leq n \leq 9$ )

## 2. Filter zur Trennung der 9 Kanäle im Überwasserteil

### 2.1. Funktion in der Anlage und Forderungen an die Filter

Wie unter 1. ausgeführt, können in der tauchenden Einheit 9 Sensoren eingesetzt werden, die frequenzanaloge Information abgeben. Jedem dieser Sensoren ist eins der in Tab. 1 aufgeführten Frequenzbänder zugeordnet. Die Übertragung auf die Überwassereinheit erfolgt frequenzmultiplex über ein 1-adriges Koaxialkabel. In der Überwassereinheit wird das Frequenzgemisch einer Gruppe von 9 Bandfiltern zugeführt, mit Übertragungsbereichen entsprechend Tab. 2. An den Ausgängen dieser Bandpässe stehen die einzelnen Frequenzen für die weitere Verarbeitung zur Verfügung. Zur Gewährleistung hoher Signalqualität wurden die Richtwerte der Filter wie folgt festgelegt:

Übertragungsbereich:  $(0,0875 \dots 0,1425) \times 2^n$  kHz ( $1 \leq n \leq 9$ )

Zulässige Welligkeit im Durchlaßbereich:  $\pm 1,5\%$

Dämpfungswerte im Sperrbereich:

$$A_B \geq 50 \text{ db für } f \leq 0,81f_{\min} \text{ und } f \geq 1,23f_{\max}$$

$$A_B \geq 60 \text{ db für } 0,5 \text{ Hz} \leq f \leq 0,40f_{\min}$$

$$A_B \geq 60 \text{ db für } 2,45f_{\max} \leq f \leq 30 \text{ MHz}$$

Filterabschlußwerte: Frei wählbar, da die Einführung in die Anlage über Operationsverstärker erfolgt.

Größe und Zahl der Bauelemente und damit die Abmessungen der Pässe sollen so klein wie möglich gehalten werden.

### 2.2. Auswahl und Berechnung der optimalen Lösung

Eine Methode, optimierte Filterschaltungen der unter 2.1 geforderten Art zu entwerfen, ist in den von G. FRITZSCHE herausgegebenen „Theoretischen Grundlagen der Nachrichtentechnik“ [1] angegeben. Der Verfasser geht dabei von Tiefpaßschaltungen aus, deren normierte PN-Daten und Schaltelemente-Werte man dem von FRITZSCHE und BUCHHOLZ verfaßten Filterkatalog [2] entnehmen kann.

Die Daten sind für folgende Tiefpaßarten angegeben:

Potenzfilter  
Tschebyscheff-1-Filter  
Tschebyscheff-2-Filter  
Cauerfilter.

Für unsere Zwecke erscheinen die Cauer- und die Tschebyscheff-1-Filter als die geeignetsten, diese wurden deshalb einer vergleichenden Betrachtung unterzogen. Beim Tschebyscheff-1-Filter zeigt der Verlauf der Dämpfungskurve, daß die Übergänge vom Durchlaßbereich in die Sperrbereiche sehr steil sind. Die Kurve verläuft von den Übertragungsbereichs-Grenzen an kontinuierlich ansteigend im oberen und unteren Sperrbereich. Zwischen der Steilheit des Dämpfungsverlaufs und der Welligkeit im Durchlaßbereich besteht ein direkter Zusammenhang, jedoch kann letztere hinreichend klein gehalten werden.

Das Cauerfilter erreicht mit gleichen Bauelementeaufwand dieselbe Sperrdämpfung wie der Tschebyscheff-Typ. Die Dämpfungskurve hingegen zeigt in den Sperrbereichen durch die bei dieser Filterart vorhandenen Dämpfungspole eine relativ große Welligkeit im Gebiet der unteren und oberen Polfrequenzen.

Die Welligkeit im Durchlaßbereich ist nicht größer als die des vergleichbaren Tschebyscheff-1-Filters.

Das Tschebyscheff-1-Filter weist somit einige Vorzüge gegenüber dem Cauerfilter auf, die bei den zu erfüllenden Forderungen Bedeutung haben. Für seine Verwendung spricht darüber hinaus eine bei Herstellung, Abgleich sowie Prüfung ganz wesentliche Eigenschaft:

Alle das Filter bildenden Resonanzkreise haben genau die Mittenfrequenz des jeweiligen Bandes. Damit die vorgegebenen Dämpfungswerte im Sperrbereich erreicht werden, ist nach dem im Filterkatalog [2] angegebenen Diagramm ein 7-gliedriger normierter Tschebyscheff-1-Tiefpaß notwendig. Dafür wurde eine Variante gewählt, bei der die Schwankung der Ausgangsspannung im Durchlaßbereich einen Wert von  $A_{\max} = 0,18$  db nicht überschreitet. Abb. 1 zeigt die Schaltung des gewählten normierten Tiefpasses.

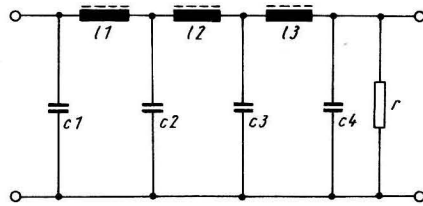


Abb. 1. Grundsaltung des Tiefpasses

Folgende normierte Werte wurden dem Katalog [2] entnommen:

$$c_1 = c_4 = 1,335; \quad c_2 = c_3 = 2,240; \quad l_1 = l_3 = 1,389; \quad l_2 = 1,515$$

(normierte Werte werden mit kleinen, die wirklichen dimensionsbehafteten Werte mit großen Buchstaben bezeichnet).

Zur Errechnung der dimensionsbehafteten Werte des aus dem Tiefpaß abzuleitenden Bandpasses benötigt man:

$$\text{die Mittenfrequenz } \omega_B = \sqrt{\omega_{\min} \cdot \omega_{\max}}$$

$$\text{die relative Bandbreite } \delta_B = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_B}$$

den Abschlußwiderstand  $R_B$ , den wir in unserem Fall mit 6,8 kOhm frei wählen können.

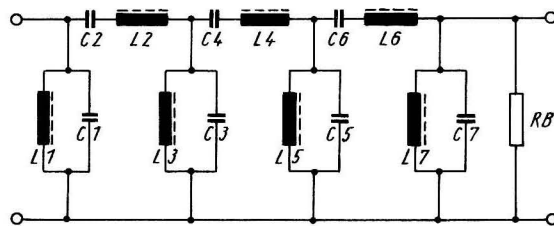


Abb. 2. Bandfilter nach Filterkatalog

Die Größe der Bauelemente des in Abb. 2 aufgezeichneten Bandpasses ergibt sich dann wie folgt:

$$L_1 = L_7 = \frac{\delta_B R_B}{c_1 \omega_B}$$

$$C_2 = C_6 = \frac{\delta_B}{l_1} \frac{1}{R_B \omega_B}$$

$$L_2 = L_6 = \frac{l_1 R_B}{\delta_B \omega_B}$$

$$C_3 = C_5 = \frac{c_2}{\delta_B} \frac{1}{R_B \omega_B}$$

$$L_3 = L_5 = \frac{\delta_B R_B}{c_2 \omega_B}$$

$$C_4 = \frac{\delta_B}{l_2} \frac{1}{R_B \omega_B}$$

$$L_4 = \frac{l_2 R_B}{\delta_B \omega_B}$$

$$C_1 = C_7 = \frac{c_1}{\delta_B} \frac{1}{R_B \omega_B}$$

Wenn die errechneten L- und C-Werte eingehalten bzw. abgeglichen werden, beträgt die Resonanzfrequenz aller Serien- und Parallelkreise der Filter  $\omega_B$ .

Bei der Durchführung der obigen Berechnungen mit den Parametern eines Passes für Kanal 3 (Tab. 2.2) ergeben sich für diesen folgende Bauelemente-Größen:

$$L_1 = L_7 = 466 \text{ mH}; \quad C_1 = C_7 = 69,4 \text{ nF}$$

$$L_2 = L_6 = 3,32 \text{ H}; \quad C_2 = C_6 = 9,75 \text{ nF}$$

$$L_3 = L_5 = 278 \text{ mH}; \quad C_3 = C_5 = 116,5 \text{ nF}$$

$$L_4 = 3,62 \text{ H}; \quad C_4 = 8,9 \text{ nF}$$

Unter Verwendung von KS-Kondensatoren nach TGL 200-8404 und Schalenkernen der optimalen Reihe (Hersteller VEB Keramische Werke Hermsdorf) wurde ein Laboraufbau dieses Filters für Kanal 3 hergestellt und gemessen. Der Paß, dessen Frequenzgang in Abb. 3 dargestellt ist, erfüllte die gestellten Dämpfungsforderungen, lag jedoch in der Welligkeit im Durchlaßbereich zu hoch (5,3%). Ursache ist die teilweise zu niedrige und zu unterschiedliche Güte der Spulen. Eine bedeutende Verringerung der Welligkeit ist durch die

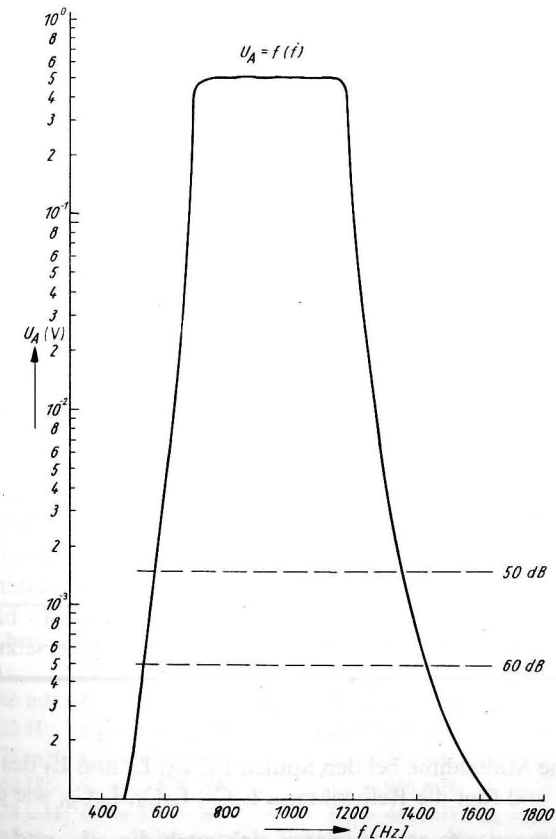


Abb. 3. Dämpfungsverlauf des Bandfilters entspr. Abb. 2

Verwendung von Spulen und Kondensatoren wenig unterschiedlicher Größe in allen Kreisen eines Filters zu erreichen.

Der nächste Schritt mußte demnach sein, durch eine NORTON-Transformation die Herabsetzung und Angleichung der unerwünscht großen Induktivitäten und Abmessungen der Spulen  $L_2$ ,  $L_4$  und  $L_6$  an die übrigen zu erreichen.

2.2.1. NORTON-Transformation

Die NORTON-Transformation, die aus der einschlägigen Literatur bekannt ist [1], [3] und auf deren Durchführung hier nicht eingegangen werden soll, wurde mit dem Ziel  $L_1 = L_2 \dots L_7$  angewendet, der transformierte Paß aufgebaut und gemessen. Frequenzgang und Sperrdämpfung waren befriedigend, die Welligkeit verbesserte sich auf  $\pm 4,3\%$ .

Abb. 4 zeigt den Stromlaufplan des transformierten Passes. Wie man sieht, wird die Verkleinerung und Gleichheit der Spulen  $L_1 \dots L_7$  durch den Einsatz einer erheblich höheren

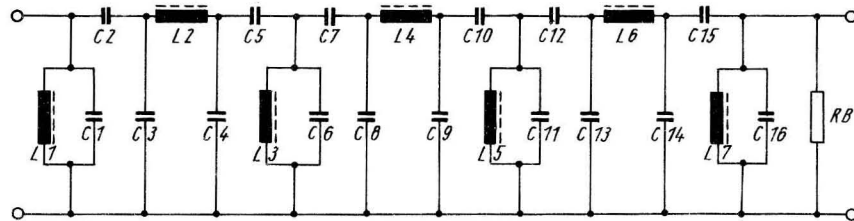


Abb. 4. Stromlaufplan Bandfilter mit Norton-Transformation

Anzahl von Kondensatoren erreicht. Sechs der Kondensatoren ( $C_3, C_4, C_8, C_9, C_{13}, C_{14}$  in Abb. 4) haben zudem Größen von  $86 \dots 99,5 \text{ nF}$ , erreichen somit im Kanal 1 Wert° von ca.  $0,4 \mu\text{F}$  und machen damit diesen Weg aus Aufwand- und Platzgründen ungangbar.

2.2.2. Spulentransformation

Eine Methode, die Größen der Spulen  $L_2, L_4$  und  $L_6$  der Filterschaltung an die L-Werte der übrigen Spulen ohne Vergrößerung der Bauelementezahl anzupassen, wurde mit dem von uns als Spulentransformation bezeichneten Verfahren gefunden. Sie soll, da sie — soweit bekannt — bisher noch nicht angewendet worden ist, nachstehend erläutert werden:

Versieht man eine Spule mit einer Anzapfung, so verhält sich der L- bzw.  $\omega$ L-Wert der Gesamtwicklung zu dem der Teilwicklung wie das Quadrat des Übersetzungsverhältnisses

$$\frac{\omega L_{\text{ges}}}{\omega L_{\text{teil}}} = \ddot{u}^2$$

Führt man eine solche Maßnahme bei den Spulen  $L_1, L_3, L_5$  und  $L_7$  des in Abb. 2 dargestellten Passes durch und fügt die Reihenkreise  $L_2C_2, L_4C_4, L_6C_6$ , wie dies Abb. 5 zeigt, zwischen diese Anzapfungen ein, so reduzieren sich auch die  $\omega$ L- und  $\frac{1}{\omega C}$ -Werte dieser Kreise um den Faktor  $1/\ddot{u}^2$ .

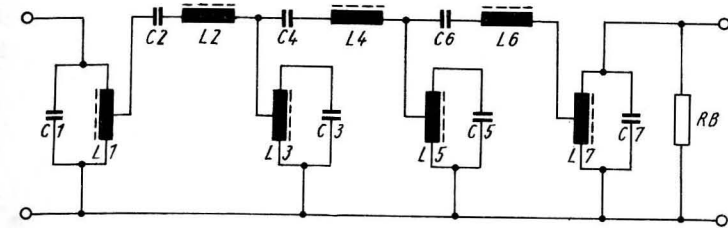


Abb. 5. Bandfilter mit Spulentransformation

Gibt man den Spulen  $L_1, L_3, L_5$  und  $L_7$  eine Mittelanzapfung, dann bedeutet dies, daß sich die Größen der Serienspulen auf  $1/4$  ihres bisherigen L-Wertes verkleinern und die Kondensatoren der Serienkreise die vierfache Größe annehmen.

Mit den Werten des als Beispiel herangezogenen Passes für Kanal 3 (2.2.) bedeutet dies:

$$L'_2 = L'_6 = \frac{L_2}{4} = 830 \text{ mH}; \quad C'_2 = C'_6 = 4 C_2 = 39 \text{ nF}$$

$$L'_4 = \frac{L_4}{4} = 905 \text{ mH}; \quad C'_4 = 4 C_4 = 35,6 \text{ nF}$$

Als nächstes werden die Spulen  $L_3$  und  $L_5$  so korrigiert, daß die neuen Induktivitätswerte dieser Spulen  $L'_3$  und  $L'_5$  gleich denen der Spulen  $L_1 = L_7$  werden. Unverändert bleiben dabei die unteren Teile ( $0,25 L_3 = 0,25 L_5$ ). Damit liegen bei  $L'_3 = L'_5$  die Anzapfungen außerhalb der Mitte. Es werden die Kapazitäten  $C_1 = C'_3 = C'_5 = C_7$  und die Induktivitäten  $L_1 = L'_3 = L'_5 = L_7$ .

Die Vorteile dieser Transformation zeigt die nachstehende Gegenüberstellung der Bauelementegrößen (Beispiel Kanal 3), Tab. 3.

Wie man aus der Gegenüberstellung sieht, verhalten sich die extremen Größen der erforderlichen Spulen und Kondensatoren bei der normal berechneten Version des Filters wie 1:13, während dieses Verhältnis bei der spulentransformierten Ausführung nur 1:1,9 beträgt. Die übermäßig hohen Induktivitätswerte sind beseitigt. Es können für die Induktivitäten  $L_2, L_4$  und  $L_6$  die gleichen kleinen Kerne verwendet werden wie für die anderen Induktivitäten.

Tabelle 3

Normal berechnetes Filter	Spulentransformiertes Filter
$L_1 = 466 \text{ mH}; C_1 = 69,4 \text{ nF}$	$L_1 = 466 \text{ mH}; C_1 = 69,4 \text{ nF}$
$L_2 = 3,32 \text{ H}; C_2 = 9,75 \text{ nF}$	$L_2 = 830 \text{ mH}; C_2 = 39 \text{ nF}$
$L_3 = 278 \text{ mH}; C_3 = 116,5 \text{ nF}$	$L_3 = 466 \text{ mH}; C_3 = 69,4 \text{ nF}$
$L_4 = 3,62 \text{ H}; C_4 = 8,9 \text{ nF}$	$L_4 = 905 \text{ mH}; C_4 = 35,6 \text{ nF}$
$L_5 = 278 \text{ mH}; C_5 = 116,5 \text{ nF}$	$L_5 = 466 \text{ mH}; C_5 = 69,4 \text{ nF}$
$L_6 = 3,32 \text{ H}; C_6 = 9,75 \text{ nF}$	$L_6 = 830 \text{ mH}; C_6 = 39 \text{ nF}$
$L_7 = 466 \text{ mH}; C_7 = 69,4 \text{ nF}$	$L_7 = 466 \text{ mH}; C_7 = 69,4 \text{ nF}$



Da die Messungen an einem mit den transformierten Werten aufgebauten Filter befriedigende Resultate zeigten, wurde die gefundene Dimensionierungsmethode bei allen Pässen der behandelten Gruppe angewendet.

### 2.3. Elektrische und mechanische Daten der hergestellten Filter

Zur Herstellung der 9 Filter wurden gescherte Schalenkerne der optimalen Reihe aus Manifer 163 und KS-Kondensatoren nach TGL 200-8404 verwendet. Die in der Richtwertaufstellung geforderten Sperrdämpfungswerte wurden mit der erarbeiteten Schaltung in allen Bereichen erreicht. Die Welligkeit im Durchlaßbereich liegt bei den Kanälen 3 ... 9 bei  $\pm 3\%$ . Bei Kanal 2 wurde eine solche von  $\pm 4\%$  und bei Kanal 1 eine solche von  $\pm 6\%$  zugelassen, da die Abmessungen der einsetzbaren Spulenkern hier der Spulengüte eine Grenze setzen. In der Abb. 6 ist die Gesamtschaltung des beschriebenen Bandpasses mit den am Ein- und Ausgang eingesetzten Operationsverstärkern dargestellt. Ergebnis der durchgeführten Optimierung war, daß die Filter für die Kanäle 1 ... 3 auf je 2 und die Pässe für die Kanäle 4 ... 9 auf je einer Platte von  $110 \times 135$  mm untergebracht werden können und daß dabei eine befriedigende Annäherung an die vorgegebenen Richtwerte erreicht wurde.

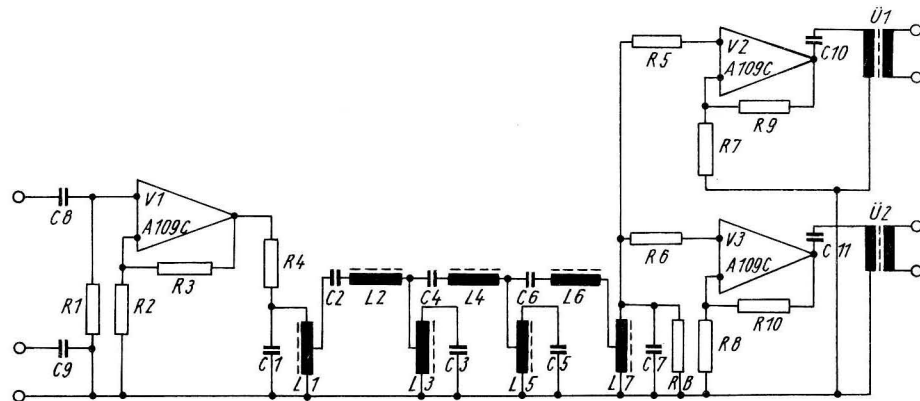


Abb. 6. Gesamtschaltung der Bandfilter

## 3. Filter für die 9 frequenzanalogen Eingangskanäle der tauchenden Einheit

### 3.1. Funktion in der Anlage und Forderungen an die Filter

Die Bandpässe werden in der tauchenden Einheit der Anlage zwischen den Sensoren und dem Summierverstärker eingesetzt. Ihre Qualität muß — wie unter 1. ausgeführt — so sein, daß, unabhängig von der Form der Sensorsignale (Sinus, Dreieck, Rechteck), nur die im zugehörigen Kanal liegenden Frequenzkomponenten vom Bandpaß durchgelassen werden.

Es wurden folgende Richtwerte vorgegeben:

Übertragungsbereich:  $(0,0875 \dots 0,143) \times 2^n$  kHz ( $1 \leq n \leq 9$ )

Zulässige Welligkeit im Durchlaßbereich:  $= \pm 5\%$

Dämpfungswerte im Sperrbereich:

$$A_B \geq 25 \text{ db für } f = 0,81f_{\min} \text{ und } f = 1,23f_{\max}$$

$$A_B \geq 50 \text{ db für } 0,5 \text{ Hz} = f = 0,4f_{\min}$$

$$A_B \geq 50 \text{ db für } 2,5f_{\max} = f = 1 \text{ MHz}$$

Eingang: Der Bandpaß muß an Quelle mit  $R_i = 60 \dots 600$  Ohm, die 0.75 V an einen Verbraucher mit  $Z = 600$  Ohm abgibt, arbeiten.

Eingangsschaltung: Trennübertrager

Ausgangswiderstand: 600 Ohm

Ausgangsschaltung: Asymmetrisch

Es sollen kleinstmögliche Abmessungen angestrebt werden, die Unterbringung aller 9 Filter auf 3 Steckplatten mit den Abmessungen je  $132 \times 131$  mm ist erwünscht.

### 3.2. Auswahl und Berechnung der optimalen Lösung

Die Bandpässe wurden ebenfalls als Tschebyscheff-1-Filter ausgeführt. Ihre Dimensionierung erfolgte wiederum unter Benutzung des Filterkatalogs [2].

Bei der gestellten Dämpfungsforderung mußte von einem 5-gliedrigen normierten Tiefpaß ausgegangen werden. Es wurde verwendet: Tiefpaß Typ Tschebyscheff 1;  $n = 0,5$ ;  $A_{\min} = 0,18$  db.

Wie unter 2.2. beschrieben, erfolgte die Umwandlung in den Bandpaß und die Gewinnung der Bauelemente-Größen unter Verwendung der normierten Werte des Tiefpasses. Anschließend wurde wiederum eine Spulentransformation zur Angleichung der Spulen  $L_2$  und  $L_4$  an die Spulen  $L_1$ ,  $L_3$  und  $L_5$  durchgeführt.

Abb. 7 zeigt den Stromlaufplan des normierten Tiefpasses und Abb. 8 die Schaltung des transformierten Bandpasses. Die auf die Spulen  $L_1$  und  $L_5$  aufgebrachten zweiten Wicklungen erfüllen die Forderung einer Übertragerkopplung am Eingang, ermöglichen die Anpassung des Filters an die geforderten Anschlußwerte und bewirken, daß die für die optimale Auslegung der Schaltung wichtige Größe von  $R_B$  von Fall zu Fall frei wählbar

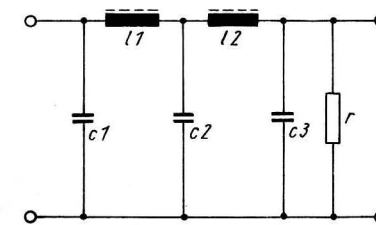


Abb. 7. Normierter Tiefpaß nach Katalog

bleibt. Bei  $R_B = 12$  kOhm ergeben sich für die 9 Filter die in der folgenden Tab. 4 aufgezzeichneten Bauelemente-Werte. Baut man die Filter entsprechend dieser Tabelle auf, so erfüllen alle Pässe der Kanäle 2 ... 9 die vorgegebenen Forderungen. Lediglich im Kanal 1 liegt die Welligkeit etwas höher. Eine Betrachtung der mechanischen Abmessungen der vorgesehenen Bauteile zeigt jedoch, daß die Unterbringung auf drei Steckplatten der Größe  $132 \times 131$  mm ausgeschlossen ist. Vor allem in den unteren Kanälen (1 ... 5) muß eine Mög-

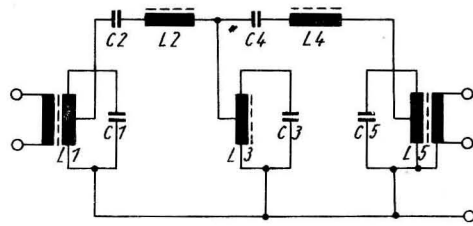


Abb. 8. Kompletter Bandpaß mit Spulentransformation

Tabelle 4  
Filtermessung nach Katalog [2]

Kan. Nr.	$L_1, L_3, L_5$ H	$L_2, L_4$ H	$C_1, C_3, C_5$ nF	$C_2, C_4$ nF	Vorzuschende Spulenkern
1	3,60	5,57	145	94	36 × 22 AL 1600
2	1,77	2,79	74	47	36 × 22 AL 1600
3	0,887	1,41	37	23,2	30 × 19 AL 1000
4	0,435	0,695	18,4	11,5	30 × 19 AL 1000
5	0,218	0,344	9,2	5,82	26 × 16 AL 1000
6	0,109	0,171	4,58	2,92	26 × 16 AL 400
7	0,054	0,084	2,30	1,47	22 × 13 AL 400
8	0,027	0,043	1,15	0,72	18 × 11 AL 400
9	0,013	0,021	0,575	0,36	14 × 8 AL 160

lichkeit gefunden werden, die Spulenkern drastisch zu verkleinern und die Kreiskapazitäten herabzusetzen. Dazu wurde der (rechnerische) Abschlußwert  $R_B$  des Passes erhöht, und zwar so, daß nicht nur erheblich kleinere Kapazitäten anfielen, sondern auch Kapazitätswerte, die aus möglichst wenig Kondensatoren der Reihen E6 ... E12 zusammengesetzt werden können. Dies tritt z. B. ein, wenn man  $R_B$  auf 24 kOhm erhöht. Dann ändern sich im Kanal 1 die Querkapazitäten ( $C_1, C_3, C_5$ ) von 145 nF in 72 nF, die sich aus  $2 \times 36$  nF zusammensetzen lassen. Für die Serienkreise ist je ein Kondensator von 47 nF erforderlich. Bei Kanal 2 erhält man bei Beibehaltung von  $R_B = 24$  kOhm für die Querkondensatoren den Listenwert 36 nF, und die Längskapazitäten von 23,5 nF lassen sich durch 2 parallel geschaltete Kondensatoren gewinnen. Bei Kanal 3 und 4 ist die Beibehaltung des hohen  $R_B$ -Wertes auch noch vorteilhaft. Für Kanal 5 ... 9 wird mit einem  $R_B = 12$  kOhm gerechnet.

Eine Verkleinerung der mechanischen Abmessungen der Spulen, d. h. der Übergang auf einen kleineren Kerntyp ist nur dann sinnvoll, wenn dieser einen gleich hohen oder nach Möglichkeit höheren AL-Wert als der bisher vorgesehene Typ besitzt. Am einfachsten wäre dieses Problem durch den Einsatz von kleineren ungescherten Spulenkernen zu lösen. Diese haben jedoch einen gegenüber den Typen mit Luftspalt erheblich höheren Temperaturbeiwert und sollen deshalb im vorliegenden Fall nicht verwendet werden. Eine bei labormäßiger Herstellung der Spulen anwendbare Lösung ist, in die ungescherten Kerne kleinere als die handelsüblichen Luftspalte einzuschleifen und damit relativ stabile Kerne mit großen AL-Werten zu gewinnen. So konnten beispielsweise Kerne der Größe 30 × 19, die unge-

schert einen AL-Wert von 3100 haben, durch Schleifen am Mittelzylinder auf einen Wert von 2200 gebracht werden, der sie für den Einsatz im Filter 1 verwendbar macht. Das gleiche Verfahren wurde bei Kernen bis herab zu 22 × 13 angewendet.

### 3.3. Elektrische und mechanische Daten der Pässe

Die entsprechend den unter 3.2. formulierten Grundsätzen aufgebauten Filter zeigten bei den durchgeführten elektrischen Messungen die erwarteten Ergebnisse. Der geforderte Frequenzgang und die vorgegebenen Sperrdämpfungswerte wurden bei allen 9 Filtern erreicht. Die Welligkeit im Durchlaßbereich liegt bei den Kanälen 2 ... 9 zwischen  $\pm 2,5$  und  $\pm 4,3\%$ , also unterhalb des zugelassenen Maximalwertes von  $\pm 5\%$ ; im Kanal 1 müssen etwa  $\pm 6\%$  zugelassen werden. Als Kapazitäten wurden in den Kanälen 1 ... 3 verlötete KS-Kondensatoren nach TGL 200-8404 verwendet, in den Kanälen 4 ... 9 mußten aus Platzgründen KS-Kondensatoren nach TGL 5155 (Nacktwickel) eingesetzt werden. Bei Zusammenfassung der Filter 1 und 3; 2, 4 und 5; sowie 6, 7, 8 und 9 zu je einer Baueinheit konnte die Forderung, alle 9 Pässe auf insgesamt 3 Steckkarten der Abmessung 132 × 131 mm unterzubringen, erfüllt werden.

### Literatur

- [1] FRITZSCHE, G., Theoretische Grundlagen der Nachrichtentechnik. VEB Verlag Technik, Berlin 1972.
- [2] FRITZSCHE, G. und G. BUCHHOLZ, Filterkatalog. Nachrichtentechnik 14 (1964) 4 ... 15 (1965) 2 und 15 (1965) 5 ... 16.
- [3] FELDTKELLER, R., Einführung in die Siebschaltungstheorie der elektrischen Nachrichtentechnik. Hirzel Verlag Stuttgart 1967.
- [4] MÖCKEL, F., Die ozeanologische Meßkette OM 75, eine universelle Datenerfassungsanlage für Forschungsschiffe. Beitr. Meereskunde, S. 5 dieses Heftes. Akademie Verlag, Berlin 1979.

Anschrift der Verfasser:

HANS FEILLOTTER  
DDR-7030 Leipzig, Am Bogen 23

Dr. rer. nat. FRIEDRICH MÖCKEL  
Institut für Meereskunde der A. d. W. der DDR  
DDR-2530 Rostock-Warnemünde

GERHARD VÖRTLER  
DDR-1113 Markkleeberg, Energiestr. 10

## Messung der Schallgeschwindigkeit

### Teil I: Übersicht über die bekannten, insbesondere die aus ozeanologischer Sicht interessanten Verfahren zur Messung der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten

Von KLAUS STRIGGOW

*Zusammenfassung:* Für die Messung der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten sind interferometrische Verfahren, Laufzeitverfahren, Phasenverfahren und optische Verfahren bekannt.

Speziell für die in-situ-Messung der Schallgeschwindigkeit des Meereswassers ist das Impuls-Umlauf- oder „sing-around“-Verfahren — eine Variante des Laufzeitverfahrens — das Standardverfahren geworden, mit welchem eine relative Genauigkeit von etwa  $10^{-4}$  entsprechend  $\pm 15$  cm/s erreicht werden kann. Für höhere Genauigkeit und zeitliche Stabilität wurde eine auf dem Phasenverfahren beruhende Generatorschaltung entwickelt, welche die Schalllaufstrecke als frequenzbestimmenden Rückkopplungszeitverhältnis verwendet.

Beide Verfahren zeichnen sich durch die für eine Meßwertfernübertragung günstige Eigenschaft aus, daß die Schallgeschwindigkeit in eine *Frequenz* umgesetzt wird, welche ihr direkt und der Laufstreckenlänge indirekt proportional ist.

Beide Verfahren werden üblicherweise im Labor mit Hilfe reinen Wassers bei Temperaturvariation geeicht. Die dafür erforderlichen Absolutmessungen der Schallgeschwindigkeit reinen Wassers als Funktion der Temperatur wurden sowohl nach dem interferometrischen Verfahren, nach dem Laufzeitverfahren und nach verfeinerten Varianten des Phasenverfahrens durchgeführt. Trotz des deutlichen Fortschrittes lieferten jedoch auch die neueren Präzisionsmeßverfahren noch Werte, die bis zu einigen cm/s voneinander abweichen, so daß der tatsächliche Meßfehler zumindest teilweise weit größer ist als der von den Autoren abgeschätzte. Eine relative Genauigkeit von  $10^{-5}$  für Schallgeschwindigkeitsmessungen ist daher auch heute noch eine schwer erreichbare Grenze.

### 0. Einleitung

Die Kenntnis der Schallgeschwindigkeit des Meerwassers wurde wichtig mit dem Aufkommen der Echolote und gewann an Bedeutung, als die hydroakustische Ortung die Frage nach den Ausbreitungswegen der Schallstrahlen im Meer stellte. Mit der Vervollkommnung der Meßtechnik wurde die Schallgeschwindigkeit schließlich aus metrologischen Gründen interessant, weil sie weit genauer als viele andere ozeanologische Parameter und praktisch trägheitslos gemessen werden kann.

Vom thermodynamischen Standpunkt wird nämlich der Zustand des Meerwassers durch drei Zustandsgrößen eindeutig beschrieben, wozu in der Regel die Temperatur  $T$ , der Salzgehalt  $S$  und der Druck  $p$  gemessen werden, aus denen dann bei Bedarf alle weiteren Zustandsgrößen — wie z. B. die Dichte  $\rho$  — rechnerisch ermittelt werden können. Die Tatsache verallgemeinernd, daß bei in-situ-Messungen die Salzgehalts-Titration nicht angewendet werden kann und deshalb durch eine — überdies genauere — Messung der elektrischen Leitfähigkeit  $L$  ersetzt worden ist, wurde schon in den 60er Jahren der inzwischen

weitgehend akzeptierte Vorschlag unterbreitet, die nach dem damaligen (und auch heutigen) Stand der Technik am wenigsten genau meßbare Zustandsgröße, nämlich den Druck  $p$ , durch eine Präzisionsmessung der Schallgeschwindigkeit  $c$  zu ersetzen und aus dem gemessenen Tripel  $T$ ,  $L$  und  $c$  alle anderen Zustandsgrößen, wie z. B.  $S$ ,  $\rho$  und  $g$ , rechnerisch zu bestimmen (KROEBEL, [1]; БАБИЙ, [2]). Da ferner die Schallgeschwindigkeit praktisch trägeheitslos gemessen werden kann, ist sie auch ein nützlicher Indikator für Feinstrukturen in der Schichtung des Meerwassers sowie für Turbulenzerscheinungen (vgl. КОЛЕШНИКОВ [3] und ДЫКМАН [4]).

Heute gehören Schallgeschwindigkeitsmeßgeräte zur Standardausrüstung des messenden Ozeanographen, wobei gewöhnlich das auf FREUND und HIEDEMANN zurückgehende, mit diskreten Ultraschallimpulsen arbeitende „sing-around“-Verfahren und bei höheren Genauigkeitsforderungen ein von KROEBEL ausgearbeitetes, mit kontinuierlichen sinusförmigen Ultraschallwellen arbeitendes Verfahren Anwendung finden.

Schallgeschwindigkeitsmeßgeräte für ozeanologischen Einsatz müssen folgenden *Grundforderungen* genügen:

- (A) Sie müssen eine hohe und über längere Zeit konstante *Genauigkeit* aufweisen.
- (B) Sie müssen ein *Ausgangssignal* liefern, welches ohne Fehler über ein (bis zu mehreren Kilometer langes) Kabel zu einem Registrier- oder Anzeigegerät auf dem Schiff *fernübertragbar* ist.
- (C) Sie müssen die Meßwerte mit hinreichender *Schnelligkeit* liefern, damit ein vertikales Profil (bis zu einigen hundert oder tausend Metern Tiefe) noch unverfälscht mit Senkgeschwindigkeiten von mindestens 1 m/s aufgenommen werden kann.
- (D) Sie müssen an den natürlichen Variationsbereich der Schallgeschwindigkeit von 1400 bis 1550 m/s angepaßt sein, dürfen weder bei langsamen noch bei schnellen Änderungen der Umgebungstemperatur zwischen 38 °C und -2 °C ein Fehlsignal liefern und dürfen auch durch den hydroakustischen Druck nicht beeinflußt werden.

Entwicklung und Bau von Präzisionswandlern für die Schallgeschwindigkeit schließen das Problem der *Eichung* ein. Üblicherweise erfolgt diese im Labor mit Hilfe destillierten Wassers bei verschiedenen, genau gemessenen Temperaturen, wobei die Schallgeschwindigkeit des reinen Wassers als Funktion der Temperatur als bekannt angenommen wird. So setzt also die *relative in-situ-Messung* der Schallgeschwindigkeit des *Meerwassers* eine *absolute Labor-Messung* der Schallgeschwindigkeit *reinen* Wassers voraus. Tabellen der Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit reinen Wassers bei Normaldruck wurden von GREENSPAN und TSCHIEGG [5], WILSON [6], MCSKIMIN [7], CARNVALE u. a. [8], WILLIAMSON [9], DEL GROSSO und MADER [10] sowie von KROEBEL und MAHRT [11] bestimmt und veröffentlicht. Aus den Abweichungen zwischen diesen Tabellen kann für die neueren auf einen Fehler in der Größenordnung von nur einigen cm/s geschlossen werden, während die Tabelle von GREENSPAN und TSCHIEGG um etwa 30 cm/s und diejenige von WILSON um etwa 60 cm/s zu große Werte liefert.

Der Physiker kennt eine Reihe von Verfahren zur Messung der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten (s. EDER [12]), dort auch weitere Literaturangaben und technische Einzelheiten), die in der Reihenfolge

- interferometrische Verfahren
- Laufzeitverfahren
- Phasenverfahren
- optische Verfahren

im Hinblick auf ihre Anwendung bzw. Anwendbarkeit in der Meeresforschung besprochen werden sollen.

## 1. Interferometrische Verfahren

Das Prinzip des *akustischen Interferometers* besteht darin, eine Flüssigkeits-(oder Gas-)säule bekannter Länge von einem Ultraschallschwinger zu Longitudinalschwingungen anzuregen und die Rückwirkung auf den Sender zu beobachten.

Bei der Standardausführung wird die Flüssigkeitssäule auf dem einen Ende durch einen ebenen Schwingquarz und auf der anderen Seite durch einen ebenen und zum Quarz parallelen Reflektor begrenzt. Der Reflektor läßt sich mittels einer Mikrometerschraube in Richtung auf den Quarz verschieben. Gemessen wird der vom Schwinger aufgenommene Strom. Dieser Strom ist eine periodische Funktion der Säulenlänge, wobei die Periode gleich der halben Schallwellenlänge ist. Aus der so ermittelten Wellenlänge  $\lambda$  und der bekannten Frequenz  $f$  wird die Schallgeschwindigkeit gemäß der Formel

$$c = \lambda \cdot f$$

berechnet.

Eine bekannt gewordene Variante benutzt einen Reflektor, der gleichzeitig als Ultraschallkondensator wirkt. Wird im Brennpunkt ein dünnes Thermolement angeordnet, so zeigt dieses beim Verschieben des Reflektors ausgeprägte Maxima wie beim gewöhnlichen Interferometer. Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, daß kein spezieller HF-Generator benötigt wird.

Da dieses Verfahren zeitaufwendig und nicht ohne weiteres für die Fernübertragung der Meßwerte geeignet ist sowie darüber hinaus mechanisch bewegte Teile erfordert, scheidet es für die ozeanologische in-situ-Anwendung aus. Für das Labor ist es jedoch wegen seiner Genauigkeit sehr gut geeignet, und es muß erwähnt werden, daß die auch für den Ozeanologen wichtigen Schallgeschwindigkeits-Tabellen für reines Wasser von DEL GROSSO und MADER [10] mit seiner Hilfe ermittelt wurden.

## 2. Laufzeitverfahren

Das Prinzip des *Laufzeitverfahrens* besteht darin, die Laufzeit  $t$  zu messen, die der Schall gebraucht, um vom Sender zu einem im Abstand  $l$  befindlichen Empfänger zu gelangen. Die Schallgeschwindigkeit ist dann

$$c = \frac{l}{t}$$

Das Laufzeitverfahren erfordert die Verwendung von Schallimpulsen, möglichst solchen mit steilen Flanken. Es liefert daher prinzipiell die *Gruppengeschwindigkeit*, wobei allerdings für Wasser wegen des Fehlens einer Dispersion Gruppen- und Phasengeschwindigkeit betragsmäßig zusammenfallen.

Es sind zwei Varianten des Laufzeitverfahrens bekannt geworden, welche sich durch das Fehlen bzw. Vorhandensein einer Rückkopplung unterscheiden.

## 2.1. Das Echolot-Verfahren

Diese ursprüngliche Form des Laufzeitverfahrens ist das akustische Analogon des mit elektromagnetischen Impulsen arbeitenden Radarverfahrens. Von einem Schallsender werden kurze Impulse in die Flüssigkeit gesandt. Gleichzeitig wird die lineare Zeitablenkung eines Oszillographen gestartet. Der Sende- und der Empfangsimpuls werden auf den y-Eingang des Oszillographen gegeben. Die Laufzeit kann als horizontaler Abstand von Sende- und Empfangsimpuls auf dem Schirm abgelesen werden. Ist der Abstand  $l$  von Sender und Empfänger bekannt, wird  $c$  gemäß  $c = l/t$  berechnet.

## 2.2. Das Impuls-Umlauf- oder „sing-around“-Verfahren

Verwendet man das Echo dazu, den Schallsender erneut zu einem Impuls anzustoßen, so entsteht das Impuls-Umlauf- oder „sing-around“-Verfahren, welches auf eine Patentanmeldung von FREUND und HIEDEMANN aus dem Jahre 1940 zurückgeht und von GREENSPAN und TSCHIEGG [13, 14, 15] in die Meeresforschung übernommen wurde. (Bezüglich der Geschichte dieses Verfahrens vgl. [15]).

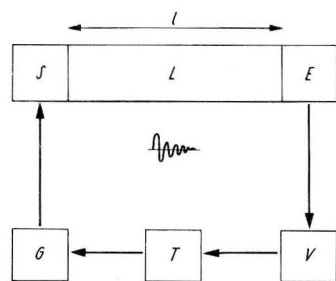


Abb. 1. Prinzip des Impuls-Umlauf- („sing-around“-)Verfahrens zur Messung der Schallgeschwindigkeit

S	Schallsender	G	Impulsgenerator
E	Schallempfänger	V	Impulsverstärker
L	Schallaufstrecke	T	Trigger (Schwellwertschalter)
l	Länge von L		

Das Prinzip sei an Hand von Abb. 1 erläutert. Der Impulsgenerator  $G$  erzeugt einen kurzen Impuls, mit dem der in der Flüssigkeit angeordnete Schallsender  $S$  zu einer kurzen Schwingung angestoßen wird. Wenn der Ultraschallimpuls den im Abstand  $l$  befindlichen Empfänger  $E$  erreicht, wird in diesem ein elektrischer Impuls erzeugt, der nach entsprechender Verstärkung (Verstärker  $V$ ) über den Trigger  $T$  oder Schwellwertschalter den Impuls-generator  $G$  zu einem zweiten Impuls anstößt, womit sich der beschriebene Vorgang wiederholt und eine Impulsfrequenz

$$f = \frac{c}{l}$$

einstellt.

Der Vorteil des Impuls-Umlauf-Verfahrens gegenüber dem Echolotverfahren besteht darin, daß das Ausgangssignal in Form einer Frequenz erscheint. Diese Eigenschaft und

seine Einfachheit haben es zum Standardverfahren in der Meeresforschung werden lassen. Es sind zahlreiche Geräteausführungen beschrieben worden [13 bis 21] und verschiedene renommierte Hersteller ozeanologischer Instrumente bieten nach diesem Verfahren arbeitende Geräte an [22 bis 25]. Auch die bereits zitierten älteren Schallgeschwindigkeitstabellen für reines Wasser von GREENSPAN und TSCHIEGG [5] und von WILSON [6] wurden mit Hilfe dieses Verfahrens bestimmt.

Als zweckmäßig hat es sich erwiesen, den Schallimpuls eines Reflektors genau auf den Schallsender zurückzuspiegeln (wobei dann der Sender kurzzeitig als Empfänger arbeitet), wodurch der Einfluß von Bewegungen des Wassers — seien es kleinmaßstäbliche Turbulenzen, echte Strömungen oder auch nur die Relativbewegung des Wassers gegen das Meßgerät während des Senkens — auf das Meßergebnis (bis auf Fehler 2. Ordnung in  $v/c$ ) aufgehoben wird.

Vielfach wird bei ausgeführten Geräten eine (effektive) Schallstreckenlänge von 1 dm verwendet, da dann bei Verwendung handelsüblicher Frequenzzähler (bei der Zählung über 1 Sekunde) das angezeigte Ergebnis direkt die Schallgeschwindigkeit in der Maßeinheit dm/s darstellt.

Bei einer genaueren Betrachtung der Vorgänge im Impuls-Umlaufkreis muß neben der Schallaufzeit  $t_s = l/c$  noch eine sogenannte Totzeit  $t_T$  berücksichtigt werden, wodurch die Beziehungen zwischen Schallgeschwindigkeit  $c$  und Frequenz  $f$  die Form

$$f = \frac{1}{t_s + t_T} = \frac{c}{l + t_T c} \quad \text{und} \quad c = \frac{l f}{1 - t_T f}$$

annehmen.

Die Hauptursache der Totzeit liegt in dem mechanischen Verhalten der als Sender und Empfänger verwendeten piezoelektrischen Schwinger, für deren Resonanzfrequenz bei der folgenden Abschätzung der typische Wert  $f_0 = 2,5$  MHz eingesetzt wird. Wird ein solcher Schwinger elektrisch mit einem unendlich kurzen und hohen Nadelimpuls (mathematisch dargestellt durch die DIRAC'sche Delta-Funktion  $\delta(t)$ ) angestoßen, so beginnt er eine exponentiell gedämpfte Sinusschwingung (mathematisch dargestellt durch  $e^{-\alpha t} \sin \omega_0 t$ ) aus, welche als Schallimpuls in die Flüssigkeit abgestrahlt wird. Gelangt dieser Impuls nach Durchlaufen der Schallstrecke wieder an den Schwinger, so wird dieser nun mechanisch zu einer (Dicken-)Schwingung angeregt, die sich erst im Verlaufe einiger Schwingungsperioden bis zu einer gewissen Maximalamplitude aufschauelt und danach wieder abklingt. (Sofern sich der Schwinger wie ein lineares System verhält, wird die Reaktion auf das Echo durch das Faltungsprodukt der Funktion  $e^{-\alpha t} \sin \omega_0 t$  mit sich selbst dargestellt, was — in guter Übereinstimmung mit der oszillographischen Beobachtung — auf die Funktion  $e^{-\alpha t} (\sin \omega_0 t - \omega_0 t \cdot \cos \omega_0 t)$  führt). Wenn es gelingt, die Triggerschwelle so einzustellen, daß der Trigger bereits bei dem im Vergleich zum Hauptmaximum noch kleinen ersten Maximum auslöst, liegt die Totzeit in der Größenordnung von  $T_0/2 = 0,2 \mu\text{s}$ , andernfalls ist ihr Wert noch um ein Vielfaches hiervon größer.

Tatsächlich liegt bei praktisch ausgeführten Geräten die Totzeit  $t_T$  in der Größenordnung von  $0,5 \mu\text{s}$ , also bei der üblichen Laufstreckenlänge von 10 cm nur um zwei Größenordnungen unter der Schallaufzeit. Deshalb muß für Präzisionsmessungen die aus der Eichung zu ermittelnde Totzeit in Rechnung gesetzt werden.

Wie jedoch aus den obigen Erläuterungen hervorgeht, hängt die Länge der Totzeit direkt von den Signalamplituden und damit indirekt von der Versorgungsspannung, von der Temperatur der elektronischen Schaltung, von der Schalldämpfung im Wasser und — worauf

GIENAPP [26] hinweist — möglicherweise auch noch von der Temperatur der Schwinger sowie dem auf sie wirkenden hydrostatischen Druck ab. Deshalb ist die rechnerische Berücksichtigung der unter Laborbedingungen ermittelten Totzeit bei ozeanologischen in-situ-Messungen nicht ganz problemlos. LEMON u. a. [27] haben aus diesem Grunde vorgeschlagen, den vom Empfänger gelieferten Echoimpuls automatisch auf eine konstante Amplitude zu regeln.

### 3. Phasenverfahren

Das *Phasenverfahren* arbeitet mit einer sinusförmigen Schallwelle, wobei deren Phasenverschiebung zwischen Anfangs- und Endpunkt der Laufstrecke gemessen wird. Ist  $l$  die Länge der Laufstrecke,  $\omega = 2\pi f$  die Kreisfrequenz der Schallwelle und  $c$  ihre (Phasen-) Geschwindigkeit, so gilt für die Phasenverschiebung

$$\Phi = \omega t = \omega l / c .$$

Da Phasenwinkel bekanntlich nur modulo  $2\pi$  gemessen werden können, liefert das Phasenverfahren prinzipiell *vieldeutige* Aussagen, weshalb zur Gewinnung eindeutiger Aussagen noch *zusätzliche* Überlegungen oder Messungen erforderlich sind.

Es sind — wie beim Laufzeitverfahren — zwei Varianten bekannt geworden, welche sich durch das Fehlen bzw. Vorhandensein einer Rückkopplung unterscheiden.

#### 3.1. Phasenverfahren ohne Rückkopplung

In seiner ursprünglichen Form besitzt das Phasenverfahren keine Rückkopplung und arbeitet mit eingepprägter Schallfrequenz.

Trotz des Nachteiles der fehlenden Eindeutigkeit ist eine ozeanologische Anwendung bekannt geworden (RAO [28]), wobei mit  $f = 500$  kHz und  $l \approx 24$  cm gearbeitet wurde und Sende- und Empfängerschwingung — zum Zwecke der Fernübertragung auf Kabel — mit den aus der Rundfunktechnik üblichen Mitteln (ohne Änderung der Phasenverschiebung) in den Tonfrequenzbereich transponiert wurden, um an Bord des Schiffes die Phasenverschiebung ausmessen zu können. Dabei entsprach dem Vollwinkel ein Schallgeschwindigkeitsbereich von 18 m/s.

In dem speziellen Anwendungsfall, daß die Schallgeschwindigkeit  $c_0$  eines bestimmten Bezugzustandes der Flüssigkeit bereits bekannt ist und nur für einen dicht benachbarten Zustand gemessen werden soll, spielt die prinzipielle Vieldeutigkeit keine Rolle. Denn aus

$$\Phi_0 = \omega l / c_0$$

und

$$\Phi_0 + \Delta\Phi = \omega l / (c_0 + \Delta c)$$

folgt

$$\Delta c = c_0^2 \Delta\Phi / \omega l ,$$

so daß die mehrwertige Größe  $\Phi_0$  gar nicht bekannt zu sein braucht. Hiervon machte KAULGUD [29] Gebrauch bei der Untersuchung der Schallgeschwindigkeit elektrolytischer Lösungen, deren Konzentration von 0 beginnend kontinuierlich erhöht wurde. Für ozeanolo-

gische Anwendungen ist diese Methode jedoch wegen des Fehlens eines solchen Bezugzustandes ungeeignet.

Für allgemeinere Anwendungen des Phasenverfahrens wurde eine Reihe von Methoden zur Beseitigung der Vieldeutigkeit erdacht, welche nachstehend beschrieben werden sollen.

#### 3.1.1. Beseitigung der Vieldeutigkeit durch Abstandsvariation

Die einfachste Methode zur Beseitigung der Vieldeutigkeit besteht darin, die Laufstrecklänge  $l$  kontinuierlich um einen genau auszumessenden Betrag  $\Delta l$  zu variieren, wobei sich die Phasenverschiebung um einen Betrag

$$\Delta\Phi = \omega \Delta l / c$$

ändert, welcher *ohne Unbestimmtheit* gemessen werden kann, selbst wenn er größer als  $2\pi$  ist (MOSELEY [30]).

Diese Methode zeichnet sich ferner dadurch aus, daß eventuell vorhandene Phasensprünge an den Grenzflächen zwischen Flüssigkeit und Schwingern keine Rolle spielen.

Eine meereskundliche Anwendung ist nicht bekannt geworden; ihr stünde — genau wie dem interferometrischen Verfahren — die Notwendigkeit mechanisch bewegter Teile entgegen.

#### 3.1.2. Beseitigung der Vieldeutigkeit durch Frequenzvariation

Eine andere Methode zur Beseitigung der Vieldeutigkeit besteht darin, die Frequenz  $f$  kontinuierlich zu erhöhen und dabei festzustellen, bei welchen Frequenzwerten  $f_1, f_2, f_3, \dots$  die Phasenverschiebung den gleichen Wert modulo  $2\pi$  annimmt. Es gilt dann

$$\Phi_1 = 2\pi f_1 l / c = \varphi + 2\pi m$$

$$\Phi_2 = 2\pi f_2 l / c = \varphi + 2\pi(m + 1)$$

$$\Phi_3 = 2\pi f_3 l / c = \varphi + 2\pi(m + 2)$$

.....

worin  $\varphi$  irgendein Winkel zwischen 0 und  $2\pi$  und  $m$  eine zunächst noch unbekannte natürliche Zahl bedeuten. Werden irgendzwei dieser Gleichungen voneinander subtrahiert, so fallen sowohl  $\varphi$  als auch  $m$  heraus; beispielsweise liefern die ersten beiden Gleichungen den *eindeutigen* Wert

$$c = l(f_2 - f_1) .$$

Auch für diese Methode sind keine meereskundlichen Anwendungen bekannt geworden; jedoch wurden die bereits zitierten Tabellen der Schallgeschwindigkeit reinen Wassers von McSKIMIN [7], CARNAVALE [8] und WILLIAMSON [9] nach verfeinerten Varianten dieser Methode ermittelt.

Anknüpfend an McSKIMIN arbeiten auch CARNAVALE und WILLIAMSON mit getasteten Sinusschwingungen hoher Trägerfrequenz, welche über einen Quarzglaspufer in ein zylindrisches Wasservolumen mit exakt parallelen Deckflächen und von genau ausgemessener Länge  $l$  geleitet werden. Dabei bringt die Verwendung getasteter Wellen den Vorteil, daß die auf den Sendequarz zurückgeworfenen Echos diesen während der *Sendepause* erreichen und damit

nicht mehr auf die ausgestrahlte Schwingung zurückwirken können. Ein in den Flüssigkeitszylinder eindringender Schallimpuls wird sowohl an der rückseitigen Deckfläche als auch an der vorderseitigen mehrmals partiell reflektiert, so daß von der vorderen Deckfläche Impulse in Richtung Sender geworfen werden, welche den Wasserzylinder 0-, 2-, 4-, ... -mal durchlaufen haben und mit  $V_0, V_2, \dots$  bezeichnet werden sollen. Ähnlich verlassen den Wasserzylinder auf seiner Rückseite Impulse, welche ihn 1-, 3-, ... -mal durchlaufen haben und mit  $R_1, R_3, \dots$  bezeichnet werden sollen.

MCSKIMIN beobachtet nun bei langsamer Erhöhung der Trägerfrequenz  $f$  oszillographisch, bei welchen Werten  $f_1, f_2, \dots$  „Resonanz“ der  $R_0, R_2, R_4, \dots$  auftritt und ermittelt aus den Resonanzbedingungen

$$2l = m\lambda = mc/f_1 \quad (m = 1, 2, \dots)$$

$$2l = (m + 1)\lambda = (m + 1)c/f_2$$

.....

oder

$$2lf_1 = mc$$

$$2lf_2 = (m + 1)c$$

.....

durch Subtraktion den eindeutigen Wert

$$c = 2l(f_2 - f_1).$$

CARNALE strahlt *Doppelimpulse* (mit passend eingestelltem Abstand  $T$ ) in die Flüssigkeit und beobachtet die dem ersten und dem zweiten Impuls entsprechenden Impulsfolgen

$$R_1, R_3, R_5, \dots$$

und

$$r_1, r_3, r_5, \dots$$

Nun wird zunächst der Impulsabstand so eingestellt, daß  $R_3$  zeitlich mit  $r_1$  zusammenfällt und sodann  $f$  kontinuierlich erhöht. Sind dabei  $f_1, f_2, \dots$  diejenigen Frequenzen, bei denen die Überlagerung ein Minimum ergibt, so gilt — nach ähnlichen Überlegungen wie oben —

$$c = 2l(f_2 - f_1).$$

Vergleichsmessungen mit verschiedenen Trägerfrequenzen (10, 30 und 70 MHz bei konstantem  $T$  und  $l$ ) lieferten übereinstimmende Werte für die Schallgeschwindigkeit. Dagegen zeigten Vergleichsmessungen mit verschiedenen Laufstreckenlängen (zwischen 1 und 10 cm bei konstantem  $T$  und  $f$ ) systematische Unterschiede bis zu 18 cm/s. Die Ursache für diesen sog. „Weglängen-Effekt“ ist nicht bekannt. CARNALE fand jedoch, daß dieser Effekt verschwindet, wenn in der Gleichung für die Schallgeschwindigkeit für  $l$  ein um  $1,5 \mu\text{m}$  größerer Wert als der tatsächliche Wert eingesetzt wird, und führt die weiteren Messungen zur Eliminierung des Fehlers mit unterschiedlichen Weglängen durch.

WILLIAMSON vergleicht die Phasenlage der Impulse  $R_1, R_3, \dots$  mit der Phase der ungestörten Trägerschwingung. Sind  $f_1, f_2, \dots$  diejenigen Frequenzen, bei denen alle Impulse  $R_1, \dots$  um  $\pi/2$  gegen die Trägerschwingung verschoben sind, so ist

$$c = 2l(f_2 - f_1).$$

### 3.1.3. Beseitigung der Vieldeutigkeit durch Verwendung einer Doppelschallstrecke mit zwei verschiedenen Frequenzen

UHLIG [31] modifizierte das Phasenverfahren zwecks Erweiterung auf den gesamten ozeanologisch interessanten Meßbereich, indem er zwei örtlich dicht benachbarte Schallstrecken gleicher Länge  $l$  mit verschiedenen, aus einer quarzstabilen Frequenz  $f_0 = 25 \text{ MHz}$  durch Teilung abgeleitete Frequenzen

$$f_1 = f_0/32 = 781250 \text{ Hz}$$

$$f_2 = f_0/33 = 757567 \text{ Hz}$$

betrieb und die Verschiebung von Koinzidenzen von positiven Nulldurchgängen an den beiden Sendern und den beiden Empfängern ausmaß. Solche Koinzidenzen traten (nachdem  $f_1$  mit Hilfe eines Phasenschiebers passend gedreht war) mit der Periode

$$T = 32 \cdot 33/f_0 = 42,24 \mu\text{s}$$

(entsprechend einer Frequenz  $1/T = 23674,24 \text{ Hz}$ ) auf. Bei einer Laufstreckenlänge  $l = 21 \text{ cm}$  entsprachen dem interessierenden Schallgeschwindigkeitsbereich von 1450 bis 1600 m/s Phasenlaufzeiten zwischen 131,2 und 144,8  $\mu\text{s}$ , welche stets zwischen  $3T$  und  $4T$  liegen. Daher konnte die Phasenverschiebung zwischen den Koinzidenzen eindeutig der Schallgeschwindigkeit des Meerwassers zugeordnet werden.

Wenn auch ein nach diesem Verfahren arbeitendes Gerät von UHLIG erfolgreich zum ozeanologischen Einsatz gebracht werden konnte, hat es wegen der elektronischen Aufwendigkeit keine weitere Bedeutung erlangt.

### 3.2. Phasenverfahren mit Rückkopplung (Frequenzverfahren)

Wird nach einem Vorschlag KROEBELS [32] gemäß Abb. 2 die akustische Laufstrecke  $L$  mit Sender  $S$  und Empfänger  $E$  als Rückkopplung eines phasendrehungsfreien Wechselspannungsverstärkers  $V$  (mit nachgeschaltetem Dämpfungsglied  $D$  zur Amplitudenbegrenzung) verwendet, so entsteht eine Generatorschaltung, deren Frequenz  $f$  — sofern Phasen-

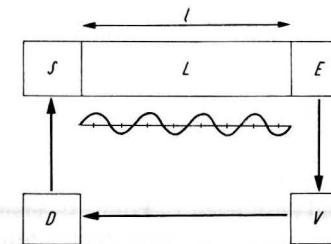


Abb. 2. Prinzip des Frequenzverfahrens zur Messung der Schallgeschwindigkeit (Es ist der Schwingungsmodus mit  $m = 4$  angedeutet)

- |   |                   |   |                               |
|---|-------------------|---|-------------------------------|
| S | Schallsender      | l | Länge von L                   |
| E | Schallempfänger   | V | Wechselspannungsverstärker    |
| L | Schalllaufstrecke | D | amplitudenabh. Dämpfungsglied |

sprünge am Sender- und Empfängerquarz vernachlässigt werden dürfen — durch die Bedingung

$$\Phi = \omega l / c = 2\pi m \quad (m = \text{natürliche Zahl})$$

festgelegt ist, woraus sich

$$f = mc/l$$

ergibt. Das Ausgangssignal dieser Anordnung ist also eine Sinusschwingung mit einer Frequenz, welche der Schallgeschwindigkeit direkt und der Laufstreckenlänge indirekt proportional (und ein ganzzahliges Vielfaches der „sing-around“-Frequenz beim Impuls-umlaufverfahren — vgl. Abschnitt 2.2.) ist.

KROEBEL und Mitarbeiter entwickelten auch Methoden, um diese Rückkopplungsschaltung mit *bekanntem*  $m$  schwingen zu lassen, bauten entsprechende Geräte in hoher mechanischer und elektronischer Vollkommenheit und setzten sie erfolgreich für ozeanologische Untersuchungen ein.

In der ursprünglichen Version [33] wurde ein eindeutiger Wert für  $m$  durch eine aufwendige *elektronische* Schaltung mit einem breitbandigen und einem schmalbandigen Verstärkerkanal erzwungen. Später wurde die Eindeutigkeit mit *geometrischen* Mitteln, nämlich durch die Aufspaltung des Schallweges unter Verwendung vollständig spiegelnder bzw. teildurchlässiger Flächen erreicht [34, 36, 1]. Der Grundgedanke hierbei besteht darin, durch Interferenz der auf Wegen verschiedener Länge laufenden Schallstrahlen alle möglichen Wellenlängen bis auf eine einzige Ausnahme auszulöschen.

Für Eichzwecke modifizierte KROEBEL [35, 36, 1] dieses Verfahren, um im Labor *absolute* Messungen der Schallgeschwindigkeit reinen Wassers durchführen zu können, indem erstens der Schwingungsmodus  $m$  um einen bekannten (ganzzahligen!) Betrag  $\Delta m$  erhöht wurde und zweitens die Länge  $l$  der Laufstrecke um einen solchen (interferometrisch mit Hilfe eines Laser-Strahles) ausgemessenen Betrag  $\Delta l$  vergrößert wurde, daß die Generatorschaltung wieder genau auf der Ausgangsfrequenz arbeitete. Die Frequenzgleichheit in beiden Zuständen bedeutet, daß durch die Laufstreckenänderung  $\Delta l$  (— unabhängig davon, ob an den Oberflächen von Sender und Empfänger Phasensprünge stattfinden —) die Phasenverschiebung um exakt

$$\Delta\Phi = 2\pi m$$

vergrößert wurde, woraus sich

$$c = \frac{\Delta l}{\Delta m} f$$

ergibt. Da  $\Delta m$  (als natürliche Zahl) exakt bekannt ist und  $f$  und  $\Delta l$  mit relativen Fehlern von beziehungsweise  $10^{-7}$  und  $2,5 \cdot 10^{-7}$  gemessen werden konnten, ließ sich die Schallgeschwindigkeit mit einem relativen Fehler von nur  $3,5 \cdot 10^{-7}$  ermitteln.

Um diese Präzision weitgehend ausnutzen zu können, versuchte KROEBEL auch noch den Einfluß von geometrischen Verzerrungen des Schallfeldes durch einen geeigneten Versuchsaufbau klein zu halten und überdies rechnerisch zu berücksichtigen.

#### 4. Optische Verfahren

Das Prinzip der *optischen Verfahren* zur Messung der Schallgeschwindigkeit beruht auf den Beugungserscheinungen von Licht an einer schalldurchstrahlten Flüssigkeit.

Da der Brechungsindex der Flüssigkeit von ihrer Dichte abhängt, wirken die mit einer Ultraschallwelle einhergehenden periodischen Dichteschwankungen wie ein Beugungsgitter, dessen „Gitterkonstante“ der Wellenlänge des Ultraschalls entspricht und mit den aus der Optik bekannten Methoden aus der Lage der Beugungsbilder ermittelt werden kann (vgl. CRANDALL [37]). Die Schallgeschwindigkeit (= Phasengeschwindigkeit) wird aus Frequenz  $f$  und Wellenlänge  $\lambda$  des Ultraschalls gemäß

$$c = \lambda \cdot f$$

ermittelt.

Ozeanologische Anwendung dieses Verfahrens sind noch nicht bekannt geworden.

#### Literatur

- [1] KROEBEL, W., und K.-H. MAHRT, Direkte Präzisionsschallgeschwindigkeitsmessungen auf „Meteor“ — Fahrten und Diskussion der gefundenen Differenzen gegenüber den aus der WILSON-Formel aus Salzgehalt, Temperatur und Druck berechneten Werten. Kongreßbericht „Interocean '73“, 1974, Bd. 2, Nr. 655, auch: Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Bd. 27 (1974) H. 1, 9—19.
- [2] БАБИЙ, В. И., Взаимные характеристики полей температуры и скорости звука в море. „Исследования турбулентной структуры океана“ (Материалы I Всесоюзного симпозиума по океанической турбулентности, Калининград, сентябрь, 1974 г.) Изд. МГИ АН УССР, Севастополь, 1975, стр. 147—160.
- [3] Колесников, А. Г., Г. Ю. АРЕТИНСКИЙ, В. З. ДЫКМАН, Исследование тонкой вертикальной структуры гидрофизических полей. „Исследования турбулентной структуры океана“ (Материалы I Всесоюзного симпозиума по океанической турбулентности, Калининград, сентябрь, 1974 г.). МГИ АН УССР, Севастополь, 1975, стр. 59—64.
- [4] ДЫКМАН, В. З., Г. Ю. АРЕТИНСКИЙ, П. Г. БУЛГАКОВ, Ю. М. ШИМОВ, Методика и аппаратура для исследования вертикальной микроструктуры океана. Результаты исследований северной части тропической зоны Атлантического океана по программе „ДЕКАЛАНТ“. Изд. МГИ АН УССР, Севастополь, 1975, стр. 131—138.
- [5] GREENSPAN, M. and C. E. TSCHIEGG, Speed of sound in water by a direct method. J. Res. NBS Report No. 2795, 59 (1957) 249.
- [6] WILSON, W. D., Speed of sound in distilled water as a function of temperature and pressure. J. Acoust. Soc. Amer., 31 (1959) 1067.
- [7] McSKIMIN, H. J., Velocity of Sound in Distilled Water for the Temperature Range 20°—75 °C. J. Acoust. Soc. Amer., 37 (1965) No. 2, pp. 325—328.
- [8] CARNVALE, A., P. BOWEN, M. BASILEO and J. SPRENKE, Absolute Sound-Velocity Measurement in Distilled Water. J. Acoust. Soc. Amer., 44 (1968) pp. 1098—1102.
- [9] WILLIAMSON, R. C., Echo Phase-Comparison Technique and Measurement of Sound Velocity in Water. J. Acoust. Soc. Amer., 45 (1969) pp. 1251—1257.
- [10] DEL GROSSO, V. A. and C. W. MADER, Speed of sound in pure water. J. Acoust. Soc. Amer., 52 (1972) 1442.
- [11] KROEBEL, W. and K.-H. MAHRT, Recent Results of Absolute Sound Velocity Measurements in pure water and sea water at atmospheric pressure. ACUSTICA, 35 (1976) No. 3, 154.
- [12] EDER, F. X., Moderne Meßmethoden der Physik, Teil I, 3. Auflage. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1968.
- [13] GREENSPAN, M. and C. E. TSCHIEGG, Sing-Around Ultrasonic Velocimeter for Liquids. Rev. Sci. Instrum., 28, No. 11 (Nov. 1957) pp. 891—901.
- [14] TSCHIEGG, C. E. and E. E. HAYS, Transistorized Velocimeter for Measuring the Speed of Sound in the Sea. J. Acoust. Soc. Am., 31, No. 7 (July 1959) pp. 1038—1039.
- [15] GREENSPAN, M. and C. E. TSCHIEGG, A Sing-around Velocimeter for Measuring the Speed of Sound in the Sea. Underwater Acoustics, Pennsylvania State Univ. 1961, pp. 87—101.



- [16] DULBERGER, L., Deep-Ocean Velocimeter Aids Sonar Systems Design. Electronics, 1961, June, pp. 41—43.
- [17] LOVETT, J. R., The SVTP-Instrument and some Applications to Oceanography. Marine Sciences Instrumentation, 1, Plenum Press New York 1962, pp. 168—172.
- [18] SUELLENTROP, F. J., A. E. BROWN and E. RULE, An Instrument for the Direct Measurement of the Speed of Sound in the Ocean. Marine Sciences Instrumentation, 1, Plenum Press New York 1962, pp. 186—189.
- [19] ULONSKA, A. und J. JARKE, Ein Gerät zur in-situ Messung der Schallgeschwindigkeit in marinen Sedimenten. Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Jg. 19 (1966) H. 3, S. 113—120.
- [20] Антонов, В. И., В. И. Бабий, Б. П. Казинюк, В. К. Куприянов, Измеритель скорости звука с цифровым выходом. „Приборы для измерения гидрофизических данных“, АН УССР, Морской гидрофизич. инст-т, том 39, Киев, 1967, стр. 107—112.
- [21] STRIGGOW, K. und A. TIFFERT, Der Schallgeschwindigkeitswandler SGW-73, Beiträge zur Meereskunde (in Vorbereitung).
- [22] Hydroproducts Co San Diego, California Firmenprospekt: Deep sea velocimeter/Services TR 4.
- [23] NUS Corporation Paramus, New Jersey, Firmenprospekt: Deep sea velocimeter/Model 1030.
- [24] Plessey Environmental Systems San Diego, California, Firmenprospekte: Sound velocity sensors/Models 4031/4310.
- [25] Crouzet Paris, Firmenprospekt: Celerimetre Crouzet Type 100.
- [26] GIENAPP, H., Messungen der Schallgeschwindigkeit im westafrikanischen Auftriebsgebiet. Der Seewart, Bd. 33, Heft 4, 1972.
- [27] LEMON, St. G., W. F. EISEMAN and CH. E. JEANNE, Sing-around Velocimeter. US-Patent No. 3.392.574 (Angemeldet 13. 6. 1966, erteilt 16. 7. 1968).
- [28] RAO, V. N., An Instrument for Measuring Small Changes in the Velocity of Sound in the Sea. Indian Journal of Pure and Applied Physics, 1, No. 2 (Febr. 1963) pp. 69—72.
- [29] KAULGUD, M. V., Velocity of Sound in Dilute Electrolyte Solutions. Zeitschr. f. Physik. Chem. Neue Folge 47 1/2, 1965, S. 24—41.
- [30] MOSELEY, D. S., Periodic Interferometer for Measuring Relative Velocity of Sound in Fluids. J. Acoust. Soc. Amer., 37 (1965) p. 1209.
- [31] UHLIG, K., Ein Verfahren zur Messung der Schallgeschwindigkeit durch analoge Umwandlung der Durchlaufzeit eines Schallsignals in eine Frequenz einer Wechsellspannung. Dissertation, Universität Kiel, 1971.
- [32] KROEBEL, W., Deutsches Patent Nr. 1219700 (angem. 15. 5. 1962).
- [33] KROEBEL, W., Ein Generator zur Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Wellen nach dem Frequenzverfahren. Zeitschrift für Angewandte Physik, Bd. XVIII (1965) S. 275—285.
- [34] KROEBEL, W., Eine Methode zur präzisen Bestimmung von Schallgeschwindigkeiten als Grundlage zur Messung nichtelektrischer Größen von Systemzuständen. Atomkernenergie, 12. Jg., 1967, H. 5/6, 207—213.
- [35] KROEBEL, W., Die absolute Messung der Schallgeschwindigkeit. Kongreßbericht „INTEROCEAN '70“, Düsseldorf 1970, Bd. 2, Originalbeiträge 265—268.
- [36] KROEBEL, W., und K.-H. MAHRT, High Precision Oscillators for Absolute Sound Speed Measurements in the Laboratory and in the free Ocean. IEEE International Conference on Engineering in the Ocean Environment, II, 1974, 263—269.
- [37] CRANDALL, A. J., Measurement of the velocity of sound in water by optical methods. Michigan State University, East Lansing, Dept. of Physics, Ultrasonic Laboratory, Technical Report No. 17, 31 pages, Nov. 1967.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. KLAUS STRIGGOW

Institut für Meereskunde der AdW der DDR

DDR-2530 Rostock-Warnemünde

## Ein Aspirationspsychrometer mit frequenzanalogem Ausgangssignal und Eignung zum Langzeiteinsatz auf maritimen Geräteträgern

Von RUDOLF ANGERMANN, WERNER BOHMANN, FRIEDRICH MÖCKEL und GÜNTHER NEUBERT

*Zusammenfassung:* Zur Anwendung auf Schiffen und unbemannten schwimmenden Geräteträgern wurde ein robustes Aspirationspsychrometer entwickelt. Es liefert für die Temperatur des trockenen sowie des feuchten Thermometers je ein frequenzanaloges Ausgangssignal. Das Gerät entspricht den Forderungen der WMO, die Signalausgänge sind zur Übertragung auf normalen Fernspreitleitungen über mehrere Kilometer geeignet. Aufbau und Funktion des Gerätes werden beschrieben.

### 1. Einleitung

Das nachstehend beschriebene Aspirationspsychrometer ist in Kooperation der Karl-Marx-Universität (KMU) in Leipzig — Sektion Physik, Arbeitsgruppe Ozeanologie mit dem Institut für Meereskunde (IfM) — Meßwesen — der Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW) in Warnemünde entwickelt worden [1].

Die Grundlagen dieser Variante eines Psychrometers sind einerseits die langjährigen Erfahrungen an der Universität Leipzig [2] in der Gestaltung der Luftführung und in der Beherrschung der Wasserpegelhaltung (Befeuchtungsmechanismus) und andererseits deren Verknüpfung mit den bewährten tauchfähigen Temperatur-Frequenzwandlern, die im Institut für Meereskunde entwickelt und im Zentrum für wissenschaftlichen Gerätebau der AdW in Berlin gebaut wurden.

Es soll herausgestellt werden, daß hier die Erfahrungen zweier sonst unabhängig voneinander arbeitender wissenschaftlicher Einrichtungen auf verschiedenen Gebieten in kurzer Zeit zur Musterfertigung eines Gerätes nach dem neuesten Stand der Meßtechnik führten. Für beide Einrichtungen wurde dabei eine echte Bedarfslücke geschlossen. Die Herstellung erfolgte ausschließlich mit Bauelementen der DDR-Produktion.

Die Kenntnis des Funktionsprinzips eines Aspirators wird für die nachfolgende Beschreibung vorausgesetzt [3]. Bei der Entwicklung des Gerätes konnte der international vorgeschlagene Weg der Umsetzung gemessener physikalischer Parameter in ein elektronisches Signal unmittelbar am Meßort berücksichtigt werden, wobei eine der Temperatur proportionale Frequenz als Ausgangssignal gewählt wurde.

### 2. Aufgabenstellung und Einsatzzweck

Als Sensorgruppe zu der im IfM entwickelten Ozeanologischen Meßkette OM 75 sollte ein Psychrometer entwickelt werden, das frequenzanaloges Ausgangssignal hat und den Bedingungen

der WMO-Empfehlungen [4] über ozeanologische und maritim-meteorologische Instrumente sowie Beobachtungspraktiken genügt. Aus dieser WMO-Empfehlung ist zu entnehmen, daß für maritim-meteorologische Messungen sowohl der Luftfeuchtigkeit als auch der Lufttemperatur Aspirationspsychrometer geeignet sind. Sinngemäß gilt dies für Temperatur- und Feuchtemessungen auf Schiffen, ozeanologischen Plattformen, Bojen [5], Inseln und Küstenstationen, also überall, wo im Bereich der Kontaktzone Meer-Atmosphäre gemessen werden soll. Selbstverständlich kann das Gerät allgemein, z. B. im Bereich der Wirtschaft und Industrie und für die Meteorologie genutzt werden.

Psychrometer an sich, manuell betrieben oder automatisch fernregistrierend, werden seit langem zur Feuchtigkeitsmessung mit Erfolg eingesetzt. Dabei hat sich das Verfahren der getrennten Trocken- und Feuchttemperaturmessung mittels Platinwiderstandsthermometer (meistens mit einem Widerstandswert von 100  $\Omega$  bei 0 °C) durchgesetzt [6]. Bislang sind die an die Pt-100-Fühler anschließenden Registrierverfahren meist analoger Art.

In amplitudenanaloge Daten gehen die Eigenschaften der Zuleitungen ein, und aufwendiger Leitungsabgleich ist notwendig, die Leitungslängen sind sehr begrenzt. Das hier vorgestellte Gerät vermeidet diesen Nachteil. Es hat einen erdfreien, 2-poligen Transformatorausgang und gibt eine sinusförmige Wechselspannung im NF-Bereich ab, wobei Frequenzbereich, Anpassung und Pegel den internationalen Bestimmungen der Post für drahtgebundenen Telefonverkehr genügen. Damit sind Zuleitungen von mehreren Kilometern unproblematisch, und die elektrische Weiterverarbeitung durch Zähler und Digitaltechnik ist mit einfachen industriell gefertigten Bausteinen möglich.

Ein gewisser Nachteil des neuen Gerätes sind seine Größe und sein Gewicht. Hier sind weitere Verbesserungen durch Verwendung höher integrierter Schaltkreise möglich. Wenn gleichzeitig noch eine Verkleinerung des Wasservorratsbehälters vorgenommen werden kann, weil die wartungsfreie Periode nicht in der Größenordnung von Monaten liegen muß, ist die Herstellung eines kleinen handlichen Gerätes mit sonst gleichen Eigenschaften gegeben. Wartungsempfindliche Baugruppen sind weiterhin der Docht (Versalzung, Verschmutzung) und in größeren Abständen die rotierenden Teile für die Belüftung.

### 3. Lösungsweg

Die Aufgabenstellung fordert eine richtungsunabhängige Funktion des Gerätes, daher wurde einem Vertikalpsychrometer der Vorzug gegeben, d. h. die Luft wird unten angesaugt, durchsetzt das Innere des Psychrometers und tritt oben seitlich wieder aus (Abb. 1).

Die Temperaturen des „feuchten“ und des „trockenen“ Thermometers (je Pt 100 nach TGL 0-43760) werden einzeln in analoge elektrische Frequenzen umgesetzt. Dies geschieht mit Hilfe hochempfindlicher Phasenschiebegeräten. Dabei sind die Ausgangsfrequenzen eindeutige, in erster Näherung lineare Funktionen der Temperaturen.

Das Instrument ist gegen Strahlwasser geschützt. Die Wartungsperiode beträgt ca. 1 Monat bei Dauerbetrieb und wird weniger durch den Wasservorrat, sondern in erster Linie vom Zustand des Befeuchtungsdochtes bestimmt (Verschmutzung, Versalzung). Die Wasserpegelhaltung für die Befeuchtung des Feuchttemperaturfühlers ist so gestaltet, daß Schlingerbewegungen, Rollbewegungen und Krängungen sowie die dabei auftretenden Beschleunigungen ohne Einfluß auf die Wasserführung bleiben.

Für einen breiten Anwenderkreis ist es unerlässlich, die Psychrometerkonstante  $c = 0,5$  zu erreichen. Diese ist in der „Sprungschen Formel“ für die Berechnung des Dampfdruckes

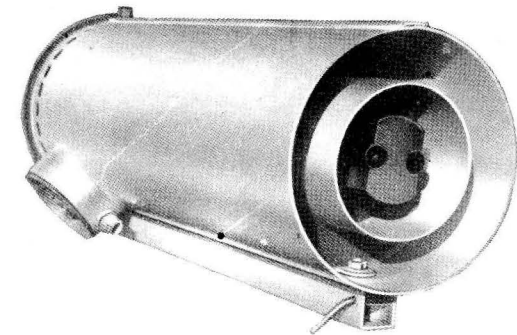


Abb. 1. Das Gerät von unten gesehen. Die Lufteintrittsöffnungen für „feucht“ (mit Docht) und „trocken“ sind deutlich sichtbar

aus der „Psychrometrischen Differenz“ enthalten und bildet die Grundlage für die allgemein gebräuchlichen psychrometrischen Tabellen (z. B. denen des VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie oder des Akademieverlages) zur Ableseung der relativen Luftfeuchtigkeit in Prozent oder anderer Feuchtemaße [7].

Dabei ist im Falle mittleren Luftdruckes

$$e = E' - c(t - t') \quad \text{Torr}$$

oder

$$e = E' - c \cdot 1,333(t - t') \quad \text{mbar.}$$

Sollen hingegen Luftdruckschwankungen berücksichtigt werden, so ist die Größe

$$\Delta e = c(t - t') \frac{755 - p}{755} \quad \text{Torr}$$

oder

$$\Delta e = c \cdot 1,333(t - t') \frac{1006,6 - p}{1006,6} \quad \text{mbar}$$

additiv hinzuzufügen.

Mit  $c = 0,5$  ergeben sich die o. a. Berechnungsformeln unter Berücksichtigung des Luftdruckes zu

$$e = E' - 0,5(t - t') \left(1 - \frac{755 - p}{755}\right) \quad \text{Torr}$$

oder

$$e = E' - 0,667(t - t') \left(1 - \frac{1006,6 - p}{1006,6}\right) \quad \text{mbar.}$$

- $e$  = Dampfdruck  
 $E'$  = Sättigungsdampfdruck bei der Temperatur des feuchten Thermometers  
 $p$  = Luftdruck  
 $t'$  = Temp. des feuchten Thermometers  
 $t$  = Temp. des trockenen Thermometers  
 $c$  = Psychrometerkonstante

Die Psychrometerkonstante  $c$  hängt von der Form des befeuchteten Thermometerkörpers und der Ventilationsgeschwindigkeit ab. Letztere soll nach [4] 2,5 m/s bis 10 m/s betragen, wenn der Wert  $c = 0,5$  konstant bleiben soll. Im vorliegenden Fall sind etwa 3 m/s vorgesehen, wobei die Belüftung in Abhängigkeit von der Motordrehzahl bzw. der Gestaltung der Windflügel in weiten Grenzen einstellbar ist.

#### 4. Aufbau und Konstruktionsmerkmale des Psychrometers

##### a) Mechanik

Der Aufbau des Psychrometers wurde im wesentlichen von der Form und Größe der Elektronikplatinen des bereits im IfM entwickelten und erprobten Phasenschiebergenerators bestimmt, der seinerseits Hauptbestandteil des „Temperatur-Meßwandlers Typ TW 01:75“ ist [8], und somit die Anpaßbedingungen an die ozeanologische Meßkette dieses Institutes erfüllt.

Da diese Platine zweimal vorhanden sein muß für die Temperatur des befeuchteten und des trockenen Fühlers, bot es sich an, die Platinen in einem Metallzylinder unterzubringen, dessen Boden Einschrauböffnungen für die beiden Pt 100 Widerstandsthermometer enthält (Abb. 2 und 3).

Um die Wärmeableitung so gering wie möglich zu halten, wurden die Fühler in Gehäuse aus glasfaserverstärktem Polyesterharz eingegossen, sie bilden mit dem Einschraubstutzen eine Einheit. Der Abstand des Fühlers vom Stutzen ist so gewählt, daß der Wärmeaustausch mit der Grundplatte des Umsetzergehäuses vernachlässigbar ist.

Die Befeuchtungsautomatik besteht aus dem Wasservorratsbehälter 4 mit Falleitung 5, der Luftleitung 12 und dem Nachfüllbehälter 6, aus welchem der Docht des Feuchtefühlers

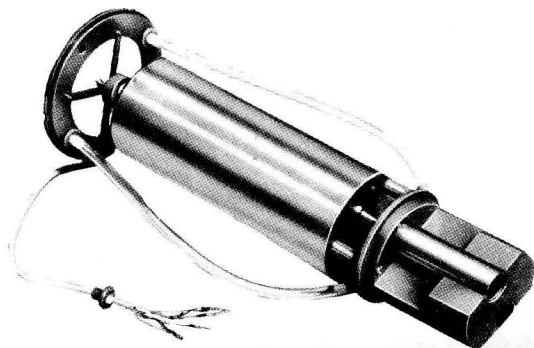


Abb. 2. Umsetzergehäuse mit Nachfüllbehälter (unten) und Bajonettring (oben)

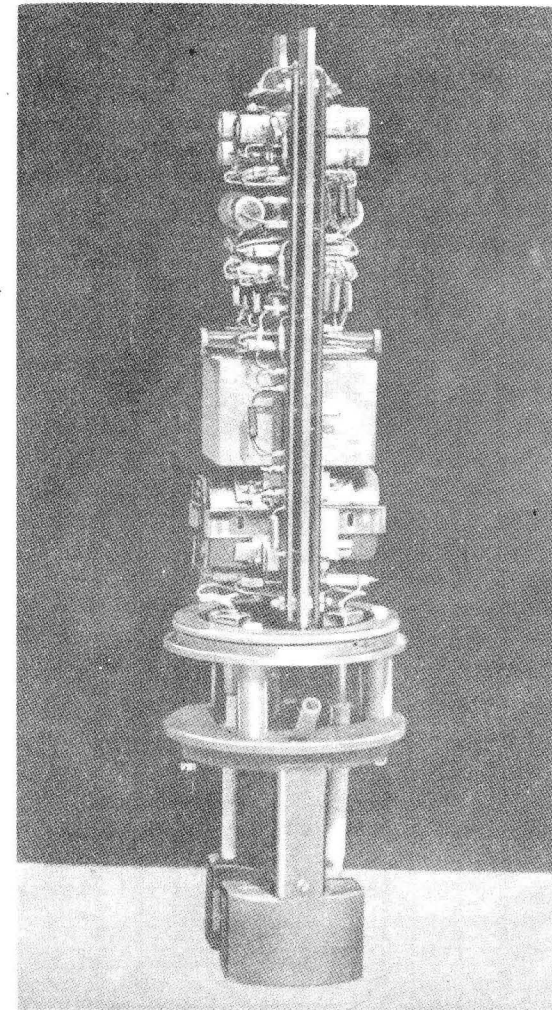


Abb. 3. Umsetzelektronik (Metallschutzzyliner entfernt)

das zu verdunstende Wasser zieht. Das System ist selbstregulierend, d. h. im Nachfüllbehälter, welcher dem atmosphärischen Druck ausgesetzt ist, stellt sich ein bestimmter Pegelstand ein. Dieser Pegel wird auf folgende Weise konstant gehalten (Abb. 4): Wenn der Vorratsbehälter mit destilliertem Wasser gefüllt ist, fließt in den Nachfüllbehälter solange Wasser ein, bis die unteren Öffnungen sowohl der Falleitung als auch der Luftleitung eintauchen. Damit ist der stationäre Zustand hergestellt. Verdunstet nun über den Docht im Zusammenhang mit der Ventilation Wasser, sinkt der Pegel im Nachfüllbehälter ab, bis die Öffnung der Luftleitung frei wird. Jetzt gelangt über die Lufteintrittsbohrung 2 Luft in den Vorratsbehälter, das Wasser in den Nachfüllbehälter läuft nach, der Pegel steigt, bis das Luftrohr vom Wasser wieder verschlossen wird. Damit dieses System auch bei einer kurzzeitigen Schräglage des Psychrometers bis zu 40 Grd reguliert, ist das Ende der Luftleitung

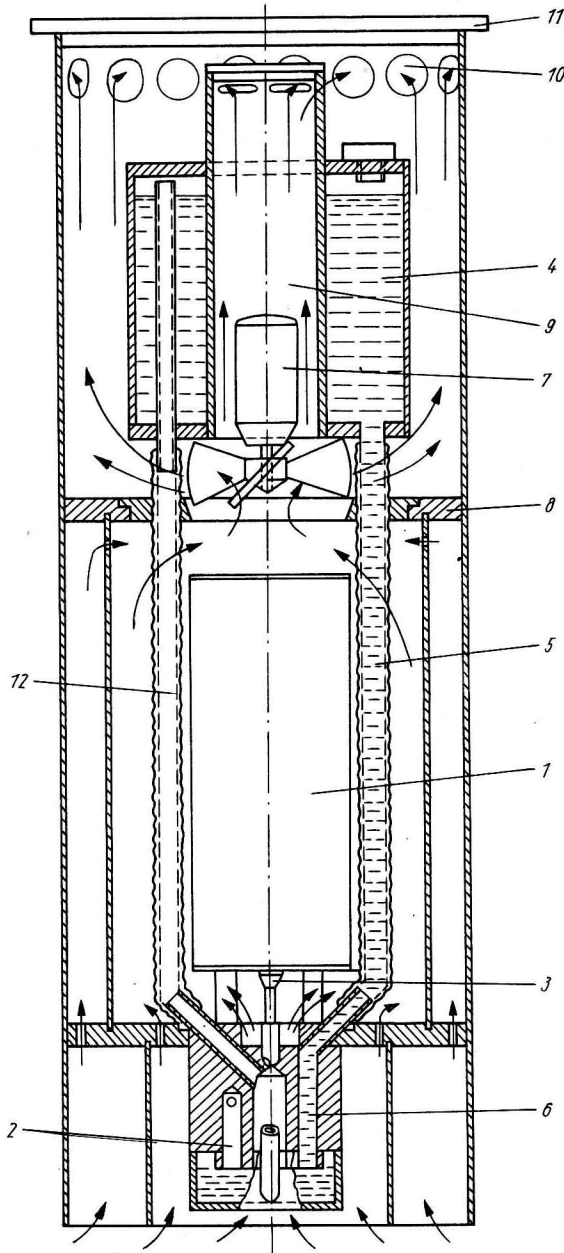


Abb. 4. Schnittdarstellung des Psychrometers im Maßstab 1:2,5

$R_5/C_1$	} rechenbestimmende RC-Glieder, temperaturkompensiert
$R_{19}/C_2$	
$R_3$	Hubeinstellung
$R_4$	Amplitudenregelung (Thermistor)
Pt 100	temperatursensibler Widerstand
Tr 1/Tr 2	Ferrit-Schalenkernübertrager

im Nachfüllbehälter in dessen Mitte angeordnet. Der Wasservorratsbehälter kann 1 l Wasser aufnehmen. Beim Öffnen des Nachfüllstutzens schließt sich selbsttätig ein Ventil in der Nachfülleitung, das Ausströmen des Wassers aus dem Nachfüllbehälter wird unterbrochen.

Die angesaugte Außenluft strömt durch die beiden Messingrohre mit dem Feucht- und Trockenfühler 3, umspült das Umsetzergehäuse 1, tritt durch den Bajonetting 8 und teilt sich. Ein Teil umwirbelt und kühlt den Motor 7 im Motorrohr 9, und der andere Teil umstreicht den Wasservorratsbehälter. Oberhalb dieses Behälters vereinigen sich die beiden Luftströme wieder und werden durch Bohrungen 10 im Außenmantel unterhalb des Deckels 11 nach außen geleitet. Gegen Strahlungseinflüsse sind die Temperaturfühler durch ihre Messingschutzrohre, den inneren Strahlungsschutz und den äußeren Psychrometermantel geschützt. Die Zwischenräume zwischen innerem und äußerem Strahlungsschutz werden demzufolge ebenfalls ventiliert, so daß an keiner Stelle des Systems ein Wärmestau auftreten kann. Mit dieser Anordnung wird gleichzeitig eine Abschirmung der Fühler gegen hochfrequente elektromagnetische Störeinstrahlung erreicht.

Für den Ventilatormotor sind zwei Ausführungen gefertigt worden. Die erste Variante verwendet einen Gleichstrommotor der Type GNP-Einbau-Motor 1020.8 24 V = 8000 U/min mit zusätzlicher Entstörung der Bürsten (Gleichstrom-Kollektor-Motor mit Permanentmagnet).

Die zweite Ausführung benutzt einen kollektorlosen Einbauinduktionsmotor nach TGL 50-29053. An der Anzahl der Zuführungsleitungen ändert sich dabei nichts. Bei Wechselstromspeisung ist in der Anschlußdose des Gerätes eine Gleichrichteranordnung vorgesehen, welche die für die Platinen notwendige Gleichspannung erzeugt. Spannungsstabilisierung ist ohnehin (in beiden Fällen) auf jeder Platine vorgesehen.

#### b) Elektronik

Zur Erzeugung der Sinusschwingungen, deren Frequenz vom temperaturabhängigen Wert der Platinenmeßwiderstände abhängt, wird für jeden Fühler ein getrennter Phasenschiebergenerator benutzt. Die beiden Ausgangsfrequenzen sind eindeutige, in guter Näherung lineare Funktionen der Temperaturen. Der temperaturabhängige Widerstand ist ein Zweig in einer Wheatstone-Brücke. Das Funktionsprinzip ist die Summierung einer um 90° phasenverschobenen Referenzspannung mit der temperaturabhängigen Ausgangsspannung der Brücke (Abb. 5).

Zur Proportionalität von Temperatur und Frequenz soll die Phasendrehung des Brückenausgangs (nichtinvertierender Eingang von OV 2) 180° betragen. Da OV 2 nur die Referenzspannung invertiert, ist der Phasenwinkel der Summe am Ausgang von OV 2  $270^\circ \pm \varphi(T)$ . Der Phasenschieber bei OV 4 ergänzt die Gesamtphasendrehung auf 360°.

Die Phasendrehung der Glieder an OV 1 und OV 4 ist frequenzabhängig. Da aber der Phasenwinkel des Brückenausgangs eine Funktion der Temperatur ist, wird die Schwingungsbedingung ( $\varphi = 360^\circ$ ) durch je nach der Temperatur verschiedene Frequenzen erfüllt. Der Verstärker OV 3 dient in Verbindung mit einem Thermistor zur Amplitudenstabilisierung. Kleine Amplitudenschwankungen haben keinen Einfluß auf die Ausgangsfrequenz, da nur der Quotient von Referenz- und Brückenspannung von Bedeutung ist und beide vom gleichen Übertrager gespeist werden.

Die frequenzbestimmenden Gruppen  $R_5$ ,  $C_1$ ,  $R_{19}$ ,  $C_2$  (Brücke) sind statisch und dynamisch sorgfältig temperaturkompensiert. Die im Meßfühler in Wärme umgesetzte Leistung von 2  $\mu$ W verursacht keine Verfälschung des Meßergebnisses. Auch Thermospannungen bleiben

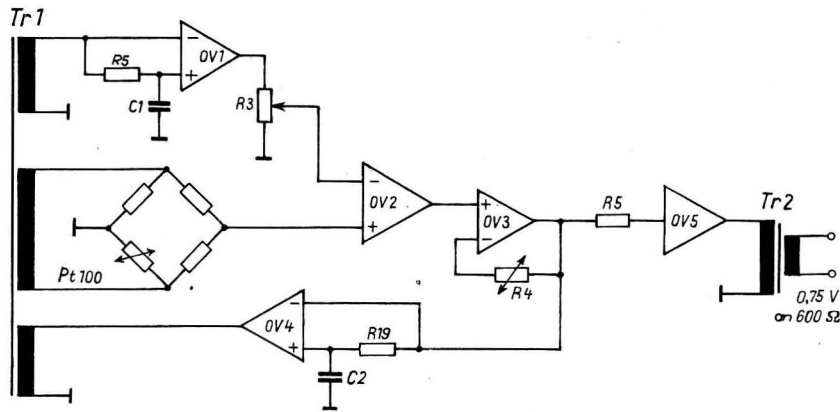


Abb. 5. Prinzipdarstellung des Phasenschiebegerators

ohne Einfluß, weil die Brückenspeisespannung eine Wechselspannung ist. Der Ausgangsverstärker OV 5 gestattet mittels des Übertragers Tr2 die Anpassung an übliche Telefonkabel.

Da die Frequenzaufbereitung für „feucht“ und „trocken“ getrennt vorgenommen wird, stehen die Ausgangssignale gleichzeitig an zwei getrennten Übertragungswicklungen zur Verfügung. Für den linearen Zusammenhang zwischen Temperatur und Frequenz wurden für das bei der KMU befindliche Mustergerät folgende Regressionsbeziehungen ermittelt:

Feuchtes Thermometer  $T = 0,0481 \cdot f - 78,22$   $T$  in °C  
 Trockenes Thermometer  $T = 0,0978 \cdot f - 169,85$   $f$  in Hz

Der mittlere Fehler der Ausgleichsrechnung beträgt bei beiden Kanälen 0,01 K, so daß sich bei sorgfältiger Eichung der Pt 100 Meßeinsätze bzw. des Meßsystems Meßgenauigkeiten von ±0,1 K mit Sicherheit erreichen lassen. Hier war bei der Einstellung des Hubes ein TK von  $3,85 \cdot 10^{-3}$  (nach TGL) zugrunde gelegt worden. Die geringfügig abweichenden Werte sind auf Streuungen der verwendeten Pt-100-Meßeinsätze in TK und Absolutwert zurückzuführen.

Im praktischen Betrieb erfolgt die Frequenzmessung mit Zählfrequenzmessern, wobei sich im einfachsten Fall die o. a. Regressionsbeziehung so auswirkt, daß von dem Zähler angezeigten Frequenzwert (Zeitbasis z. B. 1 s) der Zahlenwert derjenigen Frequenz, die der Fühler bei 0 °C erzeugt, abzuziehen ist. Nach Einführung des Kommas ergibt sich dann der Temperaturwert für die Auswertung in den psychrometrischen Tabellen. Bei Verwendung setzbarer Zählbausteine erfolgt die Subtraktion automatisch, es wird sofort der Temperaturwert in Zehntelgrad geliefert.

### 5. Erprobung

Neben anderen Erprobungen fand in der Zeit vom 4. bis 15. 3. 77 eine Vergleichsuntersuchung an Bord des Forschungsschiffes „Prof. Albrecht Penck“ statt.

Als Standort für alle Vergleichsmessungen mit einem Aspirationspsychrometer nach

ASSMANN wurde die Brückennock gewählt. Das elektrische Psychrometer befand sich dabei backbord an einem Träger und war ca. 1 m von der Bordwand und 4 bis 5 m von der Wasseroberfläche entfernt. Die Messungen wurden in Luv durchgeführt.

Die Tab. 1 zeigt die Häufigkeiten der aufgetretenen Differenzen. Bei beiden Thermometern bleibt die Gesamtabweichung stets unter 1 K. Die maximalen Häufigkeiten der aufgetretenen Differenzen liegen um 0 K.

Tabelle 1  
 Häufigkeiten der aufgetretenen Differenzen zwischen dem elektrischen Psychrometer und dem Aspirator nach ASSMANN

Kelvin	Gegenüber Aspirationspsychrometer nach ASSMANN														
	höher							niedriger							
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6 bis 0,9	
trocken (%)	4,6	1,5	1,5	4,6	3,0	9,1	9,1	16,7	18,2	13,6	9,1	3,0	4,5	0	1,5
feucht (%)	1,5	1,5	3,0	6,0	3,0	13,4	10,4	37,3	11,9	7,5	3,0	1,5	1,5		

Dieses Ergebnis wird als gut eingeschätzt, da die Randbedingungen für den ersten Meßeinsatz auf See ungünstig waren. U. a. konnte die Einweisung in die Handhabung des Gerätes nur kurzfristig vorgenommen werden.

Der zwecks Vergleich mit dem handbedienten Psychrometer gewählte Aufstellungsort erwies sich als unzuverlässig, häufig traten Störungen durch Raumluft aus darunterliegenden Fenstern und Türen auf.

Prüfung und Vergleich mit Standardgeräten des Meteorologischen Dienstes der DDR in Berlin zeigten gute Übereinstimmung mit den standardisierten Psychrometertafeln.

### 6. Technische Daten

Temperaturbereiche	trocken -30 ... +50 °C ± 1 K (Frequenzhub 10 Hz pro K) feucht -10 ... +30 °C ± 1 K (Frequenzhub 20 Hz pro K)
Frequenzband	Standard 1440 ... 2240 Hz (andere Bänder möglich)
Signalausgänge (tr u. fe)	Spannung 0,75 V an 600 Ohm (Sinus) (Leitungsübertragung, frei von Massepotential und Gleichspannung)
Zeitkonstanten	trocken 37 s feucht 24 s (gemessen bei ca. 4 m/s Ventilation)
Energieversorgung	24 ± 2 V Gleichspannung bei ca. 0,3 A davon Ventilator ca. 6 VA Elektronik ca. 1 VA (Variante mit kollektorlosem Wechselstrommotor und Gesamtpeisung mit 24 V ± 2 V liegt vor)

Abmessungen	Höhe 610 mm    Durchmesser 220 mm
	Masse ca. 8 kg
Wasservorrat	ca. 1000 ml (Plastbehälter, so daß bei Messungen um die Frostgrenze Ammoniakzusatz möglich)
Dochtmaterial	reine Baumwolle (Spezialanfertigung)
Rollbewegung der Meßplattform	Winkel bis 40°    Periode $\geq 3$ s
Kabelanschluß	2 Adern Stromversorgung 2 x 2 Adern Signalabgänge (über wasserdichte Steckverbindung)
Wartung	Wassernachfüllung, Dochtwechsel, Motorverschleißkontrolle

### 7. Literatur

- [1] Karl-Marx-Universität Sektion Physik AG. Ozeanologie Jahresforschungsbericht 1977 Anlage 6 Entwicklung eines Aspirationspsychrometers mit frequenzanalogem Ausgang zum Langzeiteinsatz.
- [2] Patentschrift, Nr. 34025 Wirtschaftspatent Kl.: 42, 19/02 v. 05. XII. 1964.
- [3] Autorenkollektiv, Lehrbuch der Automatisierungstechnik. Verlag Technik Berlin (1965).
- [4] Intergovernmental Oceanographic Commission, Guide to oceanographic and marine meteorological instruments and observing practices. UNESCO 1975.
- [5] HUPFER, P., G. NEUBERT, Ein autonomes fernübertragendes Meßsystem für maritim-meteorologische Größen (in diesem Heft).
- [6] LÜCK, W., Feuchtigkeit. R. Oldenburg Verlag München, Wien (1964).
- [7] SONNTAG, D., Hygrometrie. Akademie-Verlag Berlin (1966—68).
- [8] Institut für Meereskunde der AdW der DDR, Temperaturmeßwandler Typ TW 01:75. Geräteunterlagen für Anwender (Ausgabe August 1975).

#### Anschriften der Verfasser:

Ingenieur RUDOLF ANGERMANN  
Institut für Meereskunde der AdW der DDR  
DDR-2530 Rostock-Warnemünde

WERNER BOHMANN  
Karl-Marx-Universität Leipzig  
Sektion Physik  
Arbeitsgruppe Ozeanologie  
DDR-7020 Leipzig, Thalstr. 35

Dr. rer. nat. FRIEDRICH MÖCKEL  
Institut für Meereskunde der AdW der DDR  
DDR-2530 Rostock-Warnemünde

Ingenieur GÜNTHER NEUBERT  
Karl-Marx-Universität Leipzig  
Sektion Physik  
Arbeitsgruppe Ozeanologie  
DDR-7010 Leipzig, Thalstr. 35

## Ozeanologische Datengewinnungssysteme unter besonderer Berücksichtigung der Bojentechnik

Von GÜNTHER MÜLLER

Im Laufe der letzten Jahrzehnte wurden die Landgebiete der Erde mit einem für die Belange der Wetterüberwachung ausreichend dichten Netz meteorologischer Beobachtungsstationen überzogen. Völlig unzureichend sind dagegen die wenigen Informationsmöglichkeiten bezüglich ozeanologischer und hydro-meteorologischer Parameter im Bereich der Meere und Ozeane, die etwa 70% der Erdoberfläche bedecken. Ursache dafür ist der um ein Vielfaches höhere technische und materielle Aufwand bei der Errichtung und beim Betrieb einer den extremen Einsatzbedingungen auf See genügenden Meßplattform.

Auf Grund der wachsenden ökonomischen und politischen Bedeutung der Erschließung mariner Ressourcen im Bereich des Festlandssockels aber auch der Hochsee nahm die maritime Ingenieurwissenschaft — die Meerestechnik — besonders in den letzten Jahren eine stürmische Entwicklung. Die auf diesem Gebiet inzwischen vorliegenden umfangreichen Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen bieten nicht nur im kommerziellen Bereich, sondern auch bei der Lösung von Fragen der Umweltüberwachung und der Grundlagenforschung neue Möglichkeiten.

Obwohl in jüngster Zeit neben dem Forschungsschiff weitere Meßplattformen wie Bojen, Flugzeuge und Erdsatelliten als Instrumententräger für die ozeanologische Forschung in den Blickpunkt treten, wird das Forschungsschiff als Leiteinheit für den Einsatz neuer Geräteträger und besonders in seiner klassischen Funktion als Basis für den Einsatz des Menschen im Meer seine Bedeutung behalten.

### Ozeanologische Datengewinnungssysteme

Der Oberbegriff Ozeanologisches Datengewinnungssystem beinhaltet alle Geräteträger und Meßplattformen, angefangen vom Forschungsschiff über verschiedene Arten von Bojensystemen bis hin zum Erdsatellit. Das nachfolgende Schema gibt in verallgemeinerter Form einen Überblick über die Gesamtheit der dazugehörigen Systeme.

- Die wichtigsten Vertreter der beweglichen Datengewinnungssysteme sind auch heute noch die Forschungsschiffe. Meist als Mehrzweckfahrzeuge ausgelegt, sind sie vielseitig einsetzbar in bezug auf die zu erfüllende Meßaufgabe und dank ihrer großen Beweglichkeit natürlich erst recht bezüglich des Einsatzortes.
- Freischwimmende Systeme dienen, indem sie durch ihre Drift direkt der Bahnbewegung der Wassermassen folgen, z. B. unmittelbar als Meßgerät zur Beschreibung großräumiger

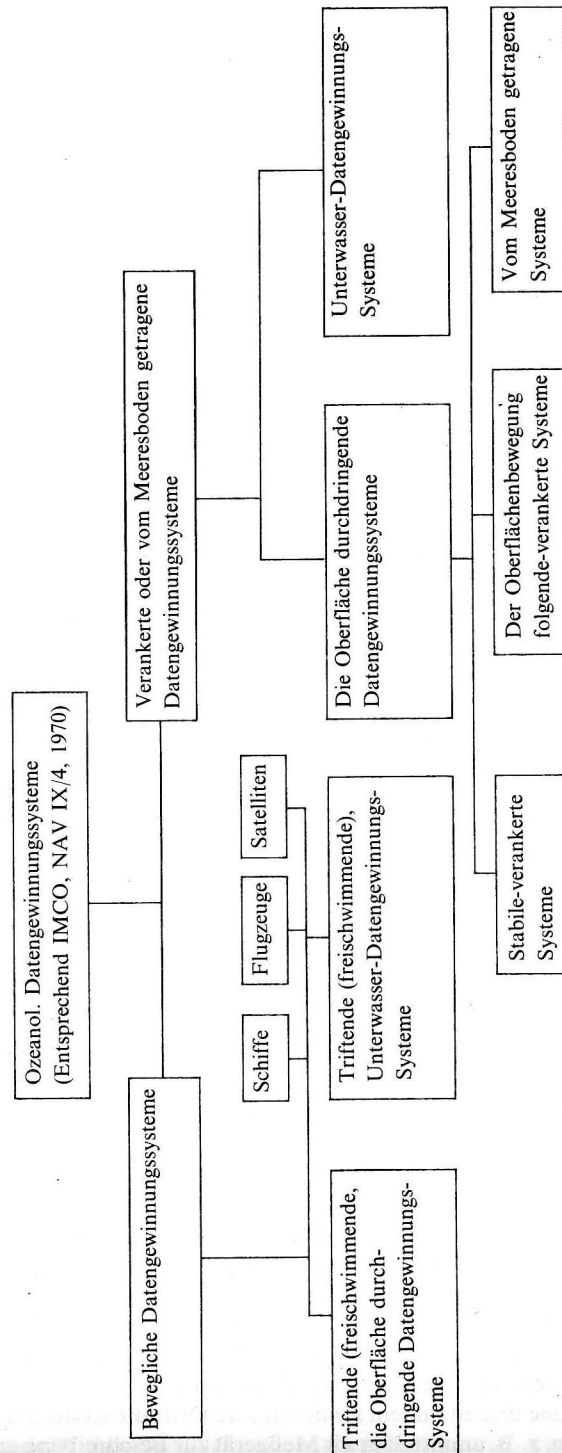


Abb. 1. Gliederung ozeanologischer Datengewinnungssysteme

Strömungssysteme. Eine enge Kopplung zwischen Driftboje und bewegtem Wasserkörper wird durch den Einsatz großer Treibschirme (etwa 50 m<sup>2</sup> Fläche) erreicht. Die fortlaufende Ortsbestimmung dieser Driftbojen kann mittels spezieller Verfahren der Satellitennavigation erfolgen.

Ebenso wie die Driftkarten, die meist in großer Stückzahl zur Simulation der Öldrift an der Wasseroberfläche unter verschiedenen hydro-meteorologischen Bedingungen eingesetzt werden, gehören auch die einem vorbestimmten Dichteniveau entsprechend tarrierten Unterwasserdriftkörper wohl zu den kleinsten beweglichen Datengewinnungssystemen.

Neben den bereits genannten herkömmlichen Geräteträgern auf der Basis sogenannter „in situ-Meßverfahren“ gewinnen die auf kontaktloser Fernmessung beruhenden Meßsysteme, wie Flugzeug und Erdsatellit für die ozeanologische Datengewinnung zunehmend an Bedeutung. Ihre hohe Geschwindigkeit versetzt sie in die Lage, große Meeresgebiete in kurzer Zeit zu überstreichen. Recht brauchbare kontaktlose Meßverfahren existieren beispielsweise bereits zur Bestimmung der Oberflächentemperatur, des Seeganges und der Eisbedeckung des Meeres, wobei besonders bei Erdsatelliten der große Abstand zur Meeresoberfläche und der Einfluß der Erdatmosphäre erschwerend wirken.

Die folgenden Betrachtungen gelten besonders den verankerten oder vom Meeresboden getragenen Datengewinnungssystemen.

- Auf dem Meeresboden aufsitzende Meßplattenformen, ausgenommen kleinere Unterwassersysteme, sind in ihrer Konstruktion sehr aufwendig und in Gebieten mit Meereis problematisch. Als Plattformen dieser Art dienten bisher meist Bohrinseln und im Meer errichtete Navigationseinrichtungen, die für die Realisierung ozeanologischer Meßaufgaben mitgenutzt wurden.
- In weitaus größerem Maße erfolgte besonders in den letzten Jahren der Einsatz verankerter Geräteträger. Für die Erfassung ozeanologischer Daten besitzen sie inzwischen eine große Bedeutung. Ein gut durchkonstruiertes Bojensystem bleibt gegenüber dem Wasserkörper seiner Umgebung nahezu rückwirkungsfrei — seine Eigenbewegung ist klein. Verankerte Bojen eignen sich besonders für die Untersuchung kurzzeitiger Veränderungen ozeanologischer Feldverteilungen oder komplizierter räumlicher Feinstrukturen: Bei einer quasisynoptischen Aufnahme mit nur einem Schiff können z. B. kurzperiodische Störungen erhebliche räumliche Unterschiede vortäuschen, obwohl lediglich eine periodische Änderung an verschiedenen Orten in verschiedener Phase erfaßt wurde. Ein maßgeblicher Vorteil des Einsatzes von Bojen sind jedoch ihre relativ geringen Kosten, selbst bei Langzeiteinsatz und Verankerung auf ozeanischen Tiefen.

#### Definition einiger Grundbegriffe der Bojentechnik

- Als *Boje* bezeichnet man einen Schwimmkörper, der durch seine Konstruktion die Voraussetzung bietet, Meßgeräte und Vorrichtungen zur Datenerfassung zu tragen oder in sich aufzunehmen.
- Die *Bojenstation* besteht aus einem Bojen- und einem Datensystem. Als Bojensystem bezeichnet man das relativ selbständige mechanische System, das der jeweiligen ozeanologischen Meßaufgabe entsprechend aus verschiedenen Baugruppen, wie Verankerung, Bojenstander (Anordnung von Stahl- oder Kunststoffseilen, Schäkeln, Wirbeln, Ketten,

Sollbruchstellen) Auslösevorrichtung, Auftriebskörper und zum Teil einer Oberflächenmarkierung zusammengefügt wird. Zum Datensystem gehören die Baugruppen für Datenerfassung, -speicherung und -übertragung.

### Arten mechanischer Bojensysteme

Bei den die Wasserlinie durchdringenden Bojensystemen (meist als *Oberflächenbojen* bezeichnet) wird der für eine ausreichende Stabilisierung des Geräteträgers erforderliche Auftrieb durch eine nur teilweise eintauchende Boje realisiert. Der Einsatz solcher Systeme erlaubt neben der Gewinnung ozeanologischer Daten bis hin zum oberflächennahen Bereich gleichzeitig die Erfassung meteorologischer Parameter. Besonders im ozeanischen Tiefenbereich werden fast ausschließlich *Oberflächenbojen* eingesetzt. Dabei ist der Bojenstander straff gespannt und besteht unterhalb 1000 m Tiefe (Fischbißbereich) aus elastisch gerecktem Kunststoffseil. Die gewünschte Seilspannung wird mit Hilfe von Bojen realisiert, die auf Grund ihrer Größe und Form (meist toroid- oder diskusförmig) eng an die Bewegung der Meeresoberfläche gekoppelt sind. Bojenstationen dieser Art haben den Vorteil einer geringen horizontalen Verschiebung bei Einwirkung von Meeresströmungen und einer damit verbundenen geringen Tiefenverlagerung der Meßhorizonte. Jedoch können dabei hohe Seilspannungen und starke mechanische Beanspruchung der Boje sowie oberflächennaher Bauteile auftreten, wodurch die Gefahr des Verlustes einer solchen Bojenstation mit der Einsatzdauer rasch zunimmt. Den typischen Aufbau einer straff verankerten Oberflächenboje zeigt Abb. 2.

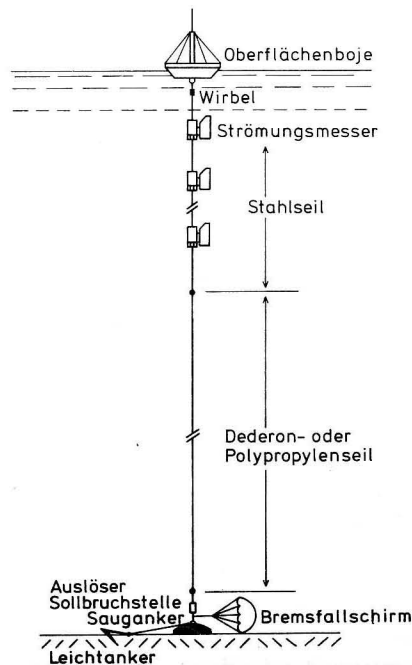


Abb. 2. Straff verankerte Oberflächenboje

### Unterwasserbojenstationen

Diese Systeme enthalten keine Boje an der Wasseroberfläche. Der höchste meist kugelförmige Auftriebskörper befindet sich unterhalb der seegangsbewegten Wasserschicht. Daraus resultiert eine wesentlich reduzierte mechanische Belastung des Bojensystems. Auch seegangbedingte Eigenbewegungen der Boje sowie ihre Rückwirkung auf die zu messenden Parameter treten nicht auf. Ebenso sind Kollisionen mit Schiffen (außer Fischerei) oder eine mutwillige Zerstörung der Bojenstation ausgeschlossen. Allerdings sind derartige Bojensysteme für Meeresgebiete mit starker Strömung wenig geeignet, da die hier auftretenden dynamischen Kräfte durch Schrägstellung des Bojenstanders, verbunden mit einer zum Teil beträchtlichen Tiefenverlagerung der Meßhorizonte, kompensiert werden. Das Aufschwimmen derartiger Bojenstationen wird durch das Abtrennen der Verankerung mit Hilfe akustisch aktivierbarer oder zeitgesteuerter Auslösevorrichtungen bewirkt. Eine typische Unterwasserbojenstation zeigt Abb. 3.

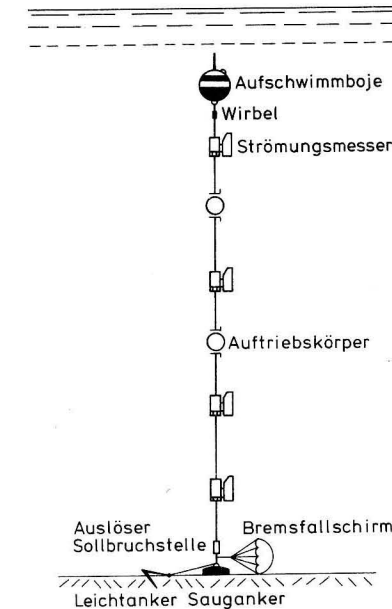


Abb. 3. Aufbau einer Unterwasserbojenstation

### Bojenform und dynamisches Verhalten

Entsprechend ihres dynamischen Verhaltens lassen sich Bojenkörper zwei Hauptgruppen zuordnen:

#### 1. Hub- und neigungsstabilisierte Bojen

Die meist stab- bzw. spierenförmigen Bojen, auch *Stabile Bojen* genannt, haben Hub- und Rollresonanzperioden, die groß sind gegenüber den charakteristischen Seegangsprio-



den des Einsatzgebietes. Diese Eigenschaft wird durch eine große Baulänge (vertikale Massenverteilung), kleinen Querschnitt im Bereich der Wasserlinie und eine große Masse (Trägheitsmoment) erreicht. Dieser Bojentyp ist dank seiner geringen Eigenbewegung besonders als Sensorplattform für hydro-meteorologische und ozeanologische Messungen mit hohem Auflösungsgrad geeignet. Die Neigungsstabilität bietet zusätzlich Vorteile bei der Funkdatenübertragung. Die größten Spierenbojen (z. B. BOHRA I und II, SPAR und FLIP) haben eine Länge von 50 bis 100 m, wovon 5/6 eintauchen. Im Bereich der Wasserlinie verjüngt sich der Durchmesser des Bojenunterteils von etwa 5 auf 3 m. Die Hubresonanzperioden liegen zwischen 21 und 27 s. Die Hubamplitude beträgt 5 bis 10% der Wellenhöhe. Die Rollamplitude liegt in der Größenordnung von 1 Grad. Im Flachwasser, wo die Wellenlänge relativ zur Wassertiefe groß ist, sind die erforderlichen Baulängen solcher Spieren nicht mehr realisierbar. Dieses Problem wurde mit der Einführung sogenannter verkürzter Spieren (Ringbojen) überwunden. Die Hub- und Rollstabilisierung dieser bei großen Ausführungen bis zu 20 m eintauchenden Bojen wird durch einen gefluteten Ring von maximal 10 bis 15 m Durchmesser erreicht, der horizontal unterhalb der Boje liegt und über Streben mit ihr verbunden ist. Mit stark anwachsendem Seegang folgt dieser Ringbojentyp zunehmend der Wellenbewegung, was als eine Art Selbstschutzverhalten positiv zu werten ist.

## 2. Oberflächenfolgende Bojen

Im ozeanischen Tiefwasserbereich mit entsprechend großen Wellenhöhen und -perioden werden bevorzugt eng an die Bewegung der Oberflächenwellen gekoppelte Bojenkörper eingesetzt. Dieser auch *Oberflächenfolger* genannte Bojentyp schließt dank seines strengen *in-Phase-Verhaltens* extreme Belastungssituationen aus. Da diese Bojen in ihrer Vertikalbewegung und Neigung der Wellenform folgen, sind sie für den Einsatz in Randmeeren mit kurzen steilen Wellen nicht geeignet. Typische Vertreter dieser weder hub- noch rollstabilisierten Oberflächenfolger sind die Toroidboje (Abb. 4) und die Diskus-, Linsen- oder Para-Boje — entsprechend zweier zusammengesetzter parabelförmiger Halbschalen oder einer daraus abgeleiteten Form (Abb. 5, 6).

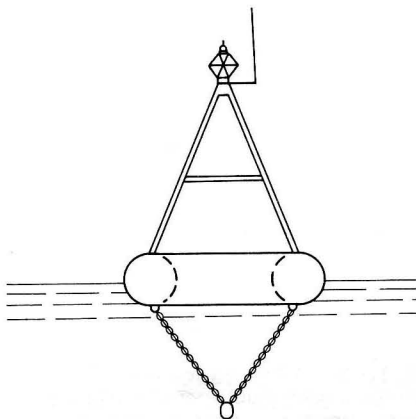


Abb. 4. Toroid-Boje

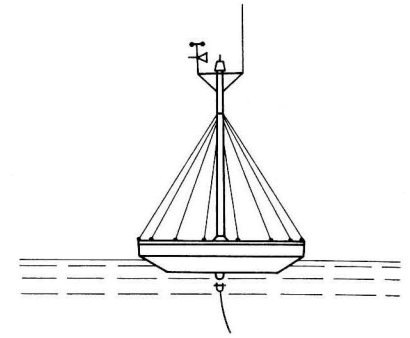
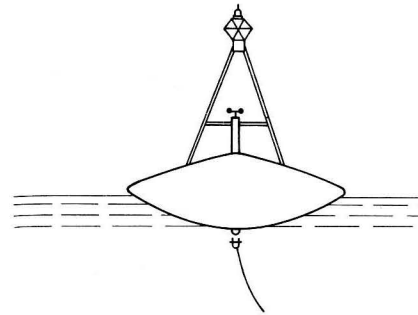


Abb. 5. Diskusboje mit parabelförmigem Querschnitt      Abb. 6. Diskusboje in stark abgewandelter Form

Elastisch-straft verankerte Diskusbojen zeichnen sich durch ein gutes Schlechtwetterverhalten, einen geringen Strömungswiderstand und einen kleinen Schwojkreis aus.

Neben dieser bereits genannten Gruppe gibt es auch rollstabilisierte Oberflächenfolger. Dazu gehören im wesentlichen die Kugel- und Kugelschichtbojen. Ihre Rollstabilität resultiert aus der Tatsache, daß die einwirkenden hydro-dynamischen Kräfte normal zur Kugeloberfläche gerichtet sind und ihre Wirkungslinien durch den Kugelmittelpunkt verlaufen. Bei einer entsprechenden Dimensionierung und Massenverteilung wird eine recht gute Rollstabilität erreicht.

Ein recht anschauliches Merkmal für das Strömungsverhalten verschiedener Bojenformen ergibt sich aus dem Verhältnis der Größen Widerstand und Wasserverdrängung (LONG, 1971).

Bojenform und -größe	Widerstand	
	Wasserverdrängung	
Kugel-Boje 1,5 m Ø	0,047	
Toroid-Boje 2,5 m Ø	0,022	
Para-Boje 1,8 m Ø	0,014	
Para-Boje 2,5 m Ø	0,0095	

Stromlinienförmige Bojenkörper finden infolge ihres sehr ungünstigen Seegangsverhaltens kaum Verwendung.

## Bojenverankerungen

Der Meßaufgabe und den Einsatzbedingungen einer Bojenstation entsprechend wird auch die Art der Verankerung gewählt. Grundsätzlich unterscheidet man Ein- und Mehrpunktverankerungen. Dabei kann der Bojenstander zwischen Anker und Boje straff gespannt sein (typisch bei Unterwasserbojen, aber auch bei Oberflächenbojen unter Verwendung hochelastischer gereckter Kunststoffseile möglich). Lose Verankerungen, deren Länge des Bojenstanders die Wassertiefe um 30 bis 100% übersteigt, sind bei der Verankerung von Ober-

flächenbojen sehr verbreitet. Aber auch die Kombination beider Arten ist möglich: Eine solche Verankerung besteht aus einem Unterwasserschwimmkörper, der zum Meeresboden hin straff verankert ist und z. B. einer kleinen Markierungsboje an der Wasseroberfläche, die ein loses, meist schwimmfähiges Seil mit dem Unterwasserschwimmkörper verbindet.

Mit Hilfe einer Mehrpunktverankerung läßt sich die horizontale Bewegungsfreiheit einer Boje stark einschränken. Besonders Zwei- und Dreipunktverankerungen kamen bisher zum Einsatz.

### Eigene Aktivitäten

Im Institut für Meereskunde der AdW der DDR wurden den Aufgaben und Möglichkeiten entsprechend in den letzten Jahren verstärkt Aktivitäten zur Entwicklung von Bojenbauteilen und Bojensystemen besonders für den Einsatz in Schelfmeeren entfaltet. Hervorzuheben ist dabei das nach dem Baukastenprinzip variabel einsetzbare Geräteträgersystem „Schelf 73“. Es handelt sich dabei um ein einfaches und robustes Bojensystem mit Einpunktverankerung, das besonders als Träger autonomer Strömungs- und Temperaturmeßgeräte eingesetzt wird (Abb. 7).

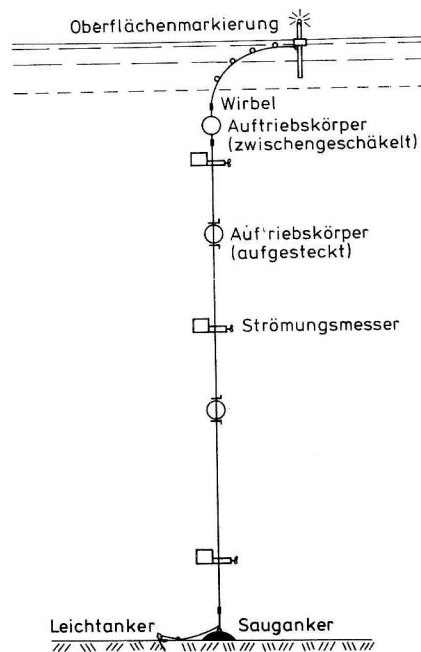


Abb. 7. Geräteträgersystem „Schelf 73“

Gleichzeitig mit dem Geräteträgersystem wurde auch eine den Einsatzbedingungen entsprechende Technologie für das Auslegen und Aufnehmen der Bojenstation entwickelt. Da sonst allgemein übliche horizontale Ausbringen einer Bojenstation mit abschließendem Absenken der Verankerung läßt die Konstruktion unserer Strömungsmeßgeräte vom Typ

LSK 801.2 nicht zu. Deshalb werden diese Bojenstationen mit der Verankerung voran ausgebracht und die mit speziellen Halterungen ausgerüsteten Meßgeräte und geschlitzten Auftriebskugeln an das in einem Stück durchlaufende Seil angeklemt. Zwischengeschälte kurze Kettenstücken und eine spezielle Abfangvorrichtung ermöglichen eine sichere Handhabung der Bojenstation während des Auslegevorganges.

Mit Bojenstationen vom Typ „Schelf 73“ wurden von Juli 1972 bis Dezember 1977 2300 Bojeneinsatztage in verschiedenen Gebieten der Ostsee und 140 im Atlantik erreicht. Kontinuierlich betriebene Stationen werden etwa alle 40 Tage gewartet. Obwohl wiederholt Bojenstationen von unbekanntem Schiffen überfahren wurden, traten keine Totalverluste auf — lediglich zerstörte Oberflächenmarkierungen und Schäden an oberflächennahen Meßgeräten waren Folgen dieser Kollisionen.

Recht erfolgreich verliefen erste Langzeiterprobungen mit 2 dreipunktverankerten schweren Navigationsbojen. Im Blickpunkt dieser Untersuchungen standen besonders die Erarbeitung einer geeigneten Auslegetechnologie, das Seegangverhalten der Boje sowie Ortsstabilität und Lebenserwartung des Verankerungssystems. Mit einem Spezialschiff erforderte das Auslegen dieser Dreipunktverankerung auf 23 m Wassertiefe einen Zeitaufwand von etwa 70 Minuten. Die Verankerung lag 15 Monate im Seegebiet der Darßer Schwelle. Sie widerstand unbeschadet extremen Schlechtwetter. Der mechanische Verschleiß der Verankerungselemente war deutlich geringer als der einpunktverankerter Bojen gleicher Art.

In Vorbereitung befindet sich die kleine 10 m lange Spierenboje „Spargel I“ — ein nahezu rückwirkungsfreier Geräteträger, mit dem der Forderung nach ungestörten maritim-meteorologischen Messungen im Bereich der erweiterten Grenzfläche Luft-Wasser entsprochen werden soll.

Hauptsächlich zur Untersuchung großräumiger ozeanischer Strömungssysteme werden in den nächsten Jahren zunehmend Driftbojen zum Einsatz kommen. Im Rahmen der Erstellung eines geeigneten Driftbojensystems wurde in Kooperation mit einem Spezialbetrieb die Entwicklung eines 50 m<sup>2</sup>-Treibschirmes abgeschlossen. Der besonderen Gestaltung der Kappe und ihrer exakten Symmetrie verdankt dieser Treibschirm seine gute Stabilisierung in Richtung des mittleren Stromvektors sowie seine vernachlässigbar geringe Rotationsneigung. Untersuchungen zeigten, daß die Drift herkömmlicher Rundkappenschirme zum Teil mit mehr als 30 Grad aus dem mittleren Stromvektor herausläuft. Sowohl die Schirmverpackung als auch der speziell entwickelte Auslöse- und Öffnungsmechanismus entsprechen den spezifischen Einsatzbedingungen auf See.

### Konzipierung von Bojenprojekten

Unsere derzeitigen Kenntnisse über eine Vielzahl wichtiger ozeanologischer und maritim-meteorologischer Grundparameter sind, wie eingangs bereits erwähnt, noch unzureichend. Sowohl für aktuelle Aufgaben der Volkswirtschaft als auch für die Grundlagenforschung werden in zunehmendem Maße kontinuierliche Meßwerte aus der marinen Umwelt benötigt. Daraus erklärt sich die wachsende Bedeutung autonomer Bojenstationen bzw. Plattformen als Träger komplexer für den Langzeiteinsatz geeigneter Meßsysteme.

In einigen Ländern entwickelt, baut oder erprobt man bereits Prototypen verschiedenartiger Geräteträgersysteme, die vorerst für den Aufbau nationaler Bojenetze vorgesehen sind, jedoch zum Teil bereits den Empfehlungen für ein zukünftiges weltweites Bojenmeßnetz entsprechen.

Konzipierung, Entwicklung und Anwendung eines Geräteträgersystems für ozeanologische und maritim-meteorologische Untersuchungen bilden ein sehr komplexes meeres technisches Vorhaben. Die Projektbearbeitung beginnt zweckmäßig mit einer gründlichen Analyse der zu realisierenden Meßaufgabe und der anschließenden Formulierung der Aufgabenstellung. Im Rahmen einer Projektstudie wird dann ein Realisierungsplan erarbeitet, der die Aspekte der Meeresforschung und der Meerestechnik gleichermaßen berücksichtigt. Auch Fragen der Wechselwirkung eines Geräteträgersystems mit der marinen Umwelt, mit technischen Systemen an Land und auf See sowie mit gesellschaftlichen und juristischen Strukturen sind innerhalb der Projektstudie zu erarbeiten. Diese umfangreichen analytischen Arbeiten werden meist erfahrenen Ozeanologen übertragen. Erst zur Definition und Konstruktion der Baugruppen des Systems werden Spezialisten aus dem ingenieurtechnischen Bereich herangezogen.

Besondere Aufmerksamkeit bei der Konzipierung einer Bojenstation sollte dem mechanischen Bojensystem gelten. Zugeständnisse z. B. zu Gunsten des Datensystems gehen auf Kosten der Sicherheit der gesamten Bojenstation. Eine Bojenstation soll einfach, robust und für den wartungsarmen Langzeiteinsatz geeignet sein. Auch empfiehlt es sich, anfangs mit möglichst einfachen und wenig kostenaufwendigen Bojensystemen ausreichende praktische Erfahrungen zu sammeln. Wie die Praxis zeigt, treten meist empfindliche Verluste auf, wenn versucht wird, diese Experimentierphase in der Bojenentwicklung durch den verfrühten Einsatz komplizierter teurer Systeme zu umgehen.

Die Bearbeitung der hier mit nur wenigen Beispielen angedeuteten komplizierten spezifischen Probleme führte in den letzten Jahren zur Profilierung der Meeresforschungstechnik als notwendiges Bindeglied im Grenzbereich zwischen maritimer Ingenieurtechnik und Meeresforschung.

#### Literatur

- BERTEAUX, H. O., Buoy Engineering, New York 1976.  
 DIETRICH, G. u. K. KALLE, Allgemeine Meereskunde, Berlin 1976.  
 HUPFER, P. u. H. NEUBERT, Konzeption über die Entwicklung und den Einsatz von oz. Bojen, Leipzig 1970 (unveröffentlicht).  
 MÜLLER, G., Bojen als Geräteträger für oz. Untersuchungen, Seewirtschaft, Heft 11, 1974.  
 MÜLLER, G., Über den Einsatz der Flachwasserbojenstation Schelf-73, Seewirtschaft, Heft 9, 1974.  
 OLBRÜCK, G., ODAS, Der Seewart, Heft 6, 1975.  
 ROHDE, J., Untersuchung verschiedener Bojentypen . . . , Interocean — Kongreßbericht 1973.  
 SIEDLER, G., Verankerte Meßsysteme für die Tiefsee, Interocean — Kongreßbericht 1976.  
 SNYDER, R. M. u. N. P. FOFONOFF, Buoys and Buoy-Systems, Handbook of Ocean and Underwater Engineering, New York 1969.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Met. GÜNTER MÜLLER  
 Institut für Meereskunde der AdW der DDR  
 DDR-2530 Rostock-Warnemünde

## Ein autonomes fernübertragendes Meßsystem für maritim-meteorologische Größen

Von PETER HUPFER und GÜNTHER NEUBERT

### 1. Einleitung

Autonome, d. h. von der öffentlichen Netzstromversorgung unabhängige Meßsysteme zur Erfassung von Zeitreihen interessierender meteorologischer, hydrologischer oder ozeanologischer Größen sind bisher vornehmlich für die Anwendung als Bojenstationen auf dem Meer entwickelt und zum Einsatz gebracht worden. Parallel zu dieser Entwicklung laufen die Bemühungen, die herkömmlichen meteorologischen Stationen mit automatisch arbeitenden Systemen auszurüsten bzw. die Netzdichte namentlich in schwer zugänglichen Gebieten zu erhöhen (siehe E. PETERS u. a. 1971).

Die Notwendigkeit einer Erhöhung der raum-zeitlichen Informationsdichte zur Verbesserung der operativen meteorologischen und/oder verwandten Beratungs- und Vorhersagepraxis besteht in den meisten Maßstabsbereichen. Autonome automatische Stationen eignen sich auch für zeitlich begrenzte Spezialuntersuchungen im Gelände bei verschiedenen Aufgabenstellungen.

Die Arbeitsgruppe Ozeanologie der Sektion Physik der Karl-Marx-Universität Leipzig befaßte sich seit 1967 mit der Entwicklung und dem Einsatz automatischer Stationen, wobei der Anlaß für diese Arbeitsrichtung in der gegebenen Notwendigkeit bestand, meteorologische und ozeanologische Parameter in der Küstenzone des Meeres zu erfassen. Als Träger für die automatische Station diente bei diesem Einsatz eine verankerte Boje. Über die ersten Ergebnisse dieser Arbeiten hat G. NEUBERT 1974 berichtet.

Im folgenden wird über die Grundlage des Meßsystems KFB-2 berichtet, das einen vorläufigen Abschluß der Entwicklungsarbeiten darstellt.

### 2. Ausgangsforderungen an das Meßsystem

Der Entwicklung des Meßsystems KFB-2 lagen folgende Hauptforderungen zugrunde, die sich sowohl aus den Wünschen in bezug auf die zu messenden Größen als auch aus den gesammelten Erfahrungen mit den vorher zum Einsatz gebrachten, ähnlichen Bojenstationen (1968 bzw. 1971) ergaben:

- Das Meßsystem soll möglichst universell und erweiterungsfähig sein; Anpassung an verschiedene Aufgabenstellungen.

- Übertragung der Meßwerte kurz nach der Messung durch Funk an die Zentrale bzw. Empfangsstation (im Fall des Bojeneinsatzes „Landstation“), d. h. eine real-time-Datenerfassung.
- Art der Datenausgabe und -übertragung soll der der herkömmlichen meteorologischen Netze angepaßt sein, d. h. die Daten sollen automatisch im Klartext auf einer Fernschreibmaschine ausgedrückt werden.
- Einfache Gestaltung des gesamten Meßsystems, so daß Service-Arbeiten durch eingewiesenes Personal möglich sind.
- Weitestgehende Verwendung industriell gefertigter Bausteine und Gefäße.
- Unabhängigkeit des Meßsystems (außer dem Teil in der Zentrale) von der Netzstromversorgung.
- Wartungsfreier Zeitraum von mindestens 1 Monat bei einem Meßzyklus/Stunde. Das bedeutet Gewährleistung eines minimalen Stromverbrauches aller Funktionsgruppen des Meßsystems.
- Reichweite der drahtlosen Übertragung magn.  $10^1$  km.
- Hohe Betriebssicherheit unter Einschluß einer weitgehenden Klima-, Lage- und Beschleunigungsunabhängigkeit der einzelnen Bestandteile des Meßsystems.

### 3. Angewandte Lösungsvarianten

Hinsichtlich der Systemgestaltung für automatische fernmeldende Stationen haben sich ziemlich einheitliche Grundlinien herausgebildet. So enthalten solche Systeme die Sensoren/Meßwertwandler sowie die Datenspeicher in analoger oder digitaler Form und die Übertragungsanlage (drahtlos oder über Leitung). Dazu kommen die Funktionsgruppen Stromversorgung, Programmanlage mit Uhr, A/D-Wandler, Codierungseinrichtung usw.

Für die konkrete Ausführung eines automatischen Meßsystems ergeben sich jedoch unter Berücksichtigung der gestellten Forderungen verschiedene Varianten, die auf dem Weg zu einer vertretbaren Problemlösung untersucht werden müssen.

Für das Meßsystem KFB-2 entsprechen die folgenden Varianten am besten den oben formulierten Anforderungen.

**Sensoren:** Entsprechend dem Einsatzzweck des gefertigten Prototyps waren Temperatur- und Windgeschwindigkeitsmessungen vorzusehen. Als Temperatursensoren wurden einheitlich Platinwiderstandsthermometer Pt 100 verwendet. Für die Luft- und Feuchttemperaturmessung wurde ein speziell für den Langzeiteinsatz entwickeltes Psychrometer eingesetzt. Bei diesem Psychrometer (Abb. 1) ist die Wasserversorgung des feuchten Thermometers für einige Wochen gewährleistet. Die erforderliche Belüftungszeit vor jeder Messung beträgt 2,5 min. Außerdem sind weitere 2 Temperaturfühler vorhanden, die beispielsweise für die Messung der Wassertemperatur bei See-Einsatz verwendet werden können. Zur Messung der mittleren stündlichen Windgeschwindigkeit wurde ein hinsichtlich der Impulserzeugung modifiziertes Schalensternkontaktanemometer (Fertigung VEB Anemometerbau Dresden) eingesetzt, bei dem die Zahl der Impulse/Stunde bis auf eine Korrektur gerade der mittleren Windgeschwindigkeit in m/s entspricht.

**Analog-Digital-Wandler und Meßwertspeicher:** Hierbei handelt es sich um die entscheidenden Baugruppen, besonders unter den Bedingungen des Batteriebetriebes der Meßanlage. Das günstigste A/D-Wandlungsverfahren bestand in einer Umwandlung der Winkelstellung der Achse des Meßpotentiometers eines Motorkompensators in Impulsraten und

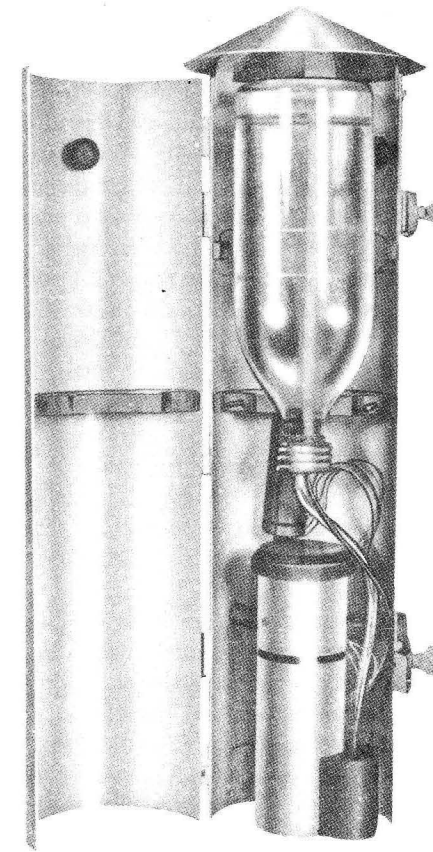


Abb. 1. Psychrometer für Langzeiteinsatz

Auszählung der Impulszahlen mit Hilfe eines Vorwärts-Rückwärts-Zählers. Dazu wurde ein Motorkompensator (Meßgerätewerk „Erich Weinert“ Magdeburg) durch Einbau eines zweiten, mit dem vorhandenen Meßstellenumschalter synchron laufenden Meßstellenumschalters so modifiziert, daß ein sechsfacher Impulsausgang vorliegt. Die Impulsausgabe erfolgt über eine Lochscheibe, die einen Lichtweg freigibt oder verschließt. Es handelt sich dabei um eine inkrementale Messung mit Richtungsdiskriminator und Vorwärts-Rückwärts-Zähler. Zu bemerken ist, daß die Gesamtfunktion des verwendeten Kompensationsbandschreibers (Anzeigeskala, Möglichkeit der Analogregistrierung) voll erhalten bleibt. Nach jeder Messung wird der jeweilige Meßwert in untereinander entkoppelte Meßwertspeicher übernommen. Als günstigste Speicherelemente erwiesen sich Relaispeicher in Form polarisierter Kleinstrelais, die während der Speicherzeit ohne Energieverbrauch sind und als mechanischer Ersatz für bistabile Multivibratoren angesehen werden können.

Die Forderung, daß zur Vermeidung von Fehlmessungen die Lochscheibe im Moment der Übernahme des Zählergebnisses in den Speicher absolut stillsteht, konnte durch eine einfache Blockierung der Verstärkung im Meßverstärker des Motorkompensators erfüllt werden.

Die zum Betrieb des Motorkompensators notwendige Wechselspannung von 220 V bei 50 Hz konnte durch einen Halbleitersinusleistungsgenerator sichergestellt werden, der über ein internes Ablaufprogramm entsprechend dem Meßrhythmus des Motorkompensators ein- und ausgeschaltet wird.

Die Einschaltdauer dieses relativ stromaufwendigen Generators beträgt immer nur wenige Sekunden, und bei Verwendung speziell für die Widerstandsmessungen vorgesehener Motorkompensatoren, die keine Einlaufzeit benötigen und sich sofort nach Einschalten der Versorgungsspannung auf den Meßwert einstellen, ist ein ökonomischer Betrieb möglich.

Umwandlung der gespeicherten Daten in Fernschreibsignale: Nach der Beendigung jedes Meßzyklus werden die gespeicherten Signale von einem internen Abfragesystem abgerufen, mittels eines Parallel-Serienwandler in den internationalen CCIT-5-Kanal-Fernschreibcode (Telegraphenalphabet 2) umcodiert und schließlich dem Tastzusatz für den Sender zugeführt. Dieses Teilsystem erzeugt frequenzumgestastete Niederfrequenzsignale, mit denen der Sender nach dem Prinzip der Nullphasenwinkelmodulation moduliert wird.

Sender: Die Übertragung der Daten erfolgt mit dem Sendeteil aus der Verkehrsfunkanlage UFS 601 (Funkwerk Köpenick) auf einer Frequenz im 2-m-Band. Der an die 24-V-Gleichstromversorgung angepaßte Sender hat eine HF-Leistung von 10 Watt und besitzt eine Rundstrahlantenne (Typ 2 AR 8) zum Betreiben der Einkanalübertragung mit einer Zeichengeschwindigkeit von 50 Baud. Ein Meßzyklus dauert 180 s, davon entfallen 17 s auf die Sendezeit.

Auf diese Weise konnte im Rahmen des Meßsystems KFB-2 der Funkfernschreibbetrieb im UKW-Verkehrsfunkband in einer sehr störunanfälligen Weise realisiert werden.

Stromversorgung: Die Stromversorgung der Anlage könnte mit einem thermoelektrischen Generator, einer Isotopenstromquelle oder Akkumulatoren erfolgen. Letzterem wurde unter den gegebenen Bedingungen der Vorzug gegeben (Bleisammlersatz 24 V, 84 Ah), da die geforderte Betriebszeit ohne weiteres eingehalten werden kann. Zum eigentlichen Meßsystem gehören ferner noch u. a. das Hauptprogramm zur Steuerung der internen Abläufe einschließlich einer Uhr mit elektrischem Aufzug, die auch die Einstellung der gewünschten zeitlichen Meßfolge erlaubt.

Empfangsstation: Infolge der beschriebenen Gestaltung des eigentlichen Meßsystems konnte die Empfangsstation sehr einfach gehalten werden. Die ankommenden Signale werden von einer Doppelrichtstrahlantenne (Typ 2 AY 11/B) aufgenommen und dem UKW-Verkehrsfunkempfänger aus der schon erwähnten Anlage UFS 601 zugeführt. Der Empfänger wurde durch entsprechende Stufen erweitert, die die Verarbeitung der frequenzumgestasteten NF-Signale ermöglichen und dem Frequenzhub (Shift) angepaßt sind. Vom Empfänger gelangen die Signale zu einer Fernschreibmaschine Blattschreiber T 51, wo sie in Klarschrift ausgedruckt und zusätzlich mittels des Empfangslochers auf Lochstreifen gespeichert werden können.

Es ergab sich jedoch die Notwendigkeit, einen Ferneinschaltzusatz zu entwickeln, der auf ein zeitcodiertes Signal von der Station her die Fernschreibmaschine zu jeder Sendung ein- und danach wieder ausgeschaltet. Damit wird verhindert, daß die Fernschreibmaschine in den Pausen zwischen den Sendungen, wenn kein HF-Träger anliegt, durch Störungen ausgelöst wird.

4. Gesamtübersicht und Gestaltung

Die Abb. 2 und 3 zeigen die Blockschemata der Gesamtanlage für die Station („Seeanlage“ bei Bojeneinsatz) und der Empfangsstation („Landanlage“ bei Bojeneinsatz).

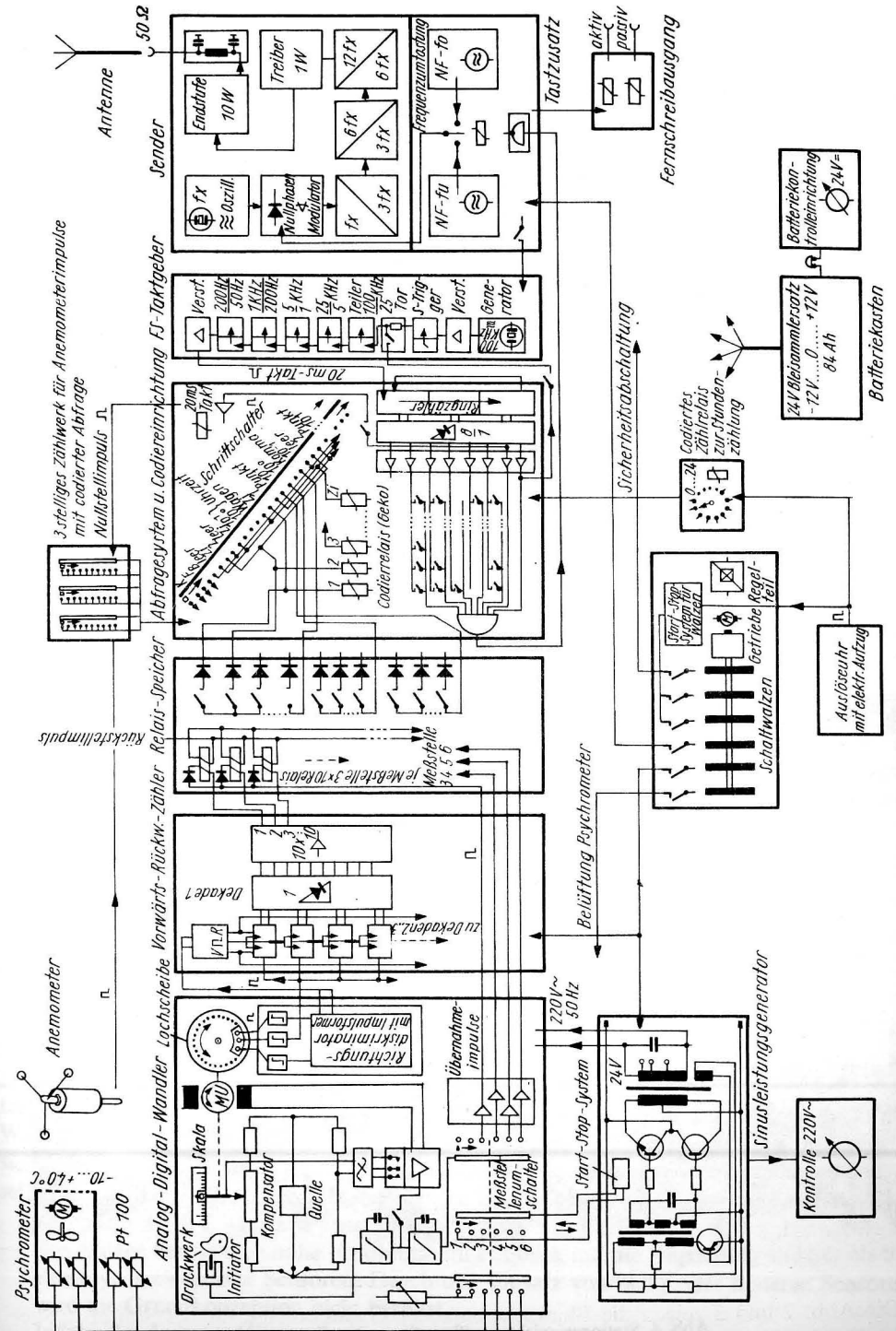


Abb. 2. Blockschemata der „Seeanlage“ bei Bojeneinsatz

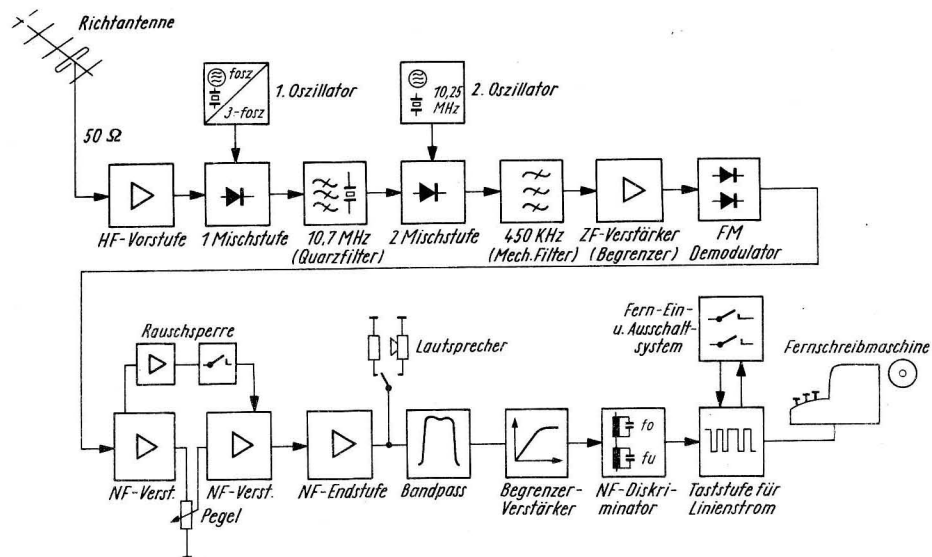


Abb. 3. Blockscheema der „Landanlage“ bei Bojeninsatz

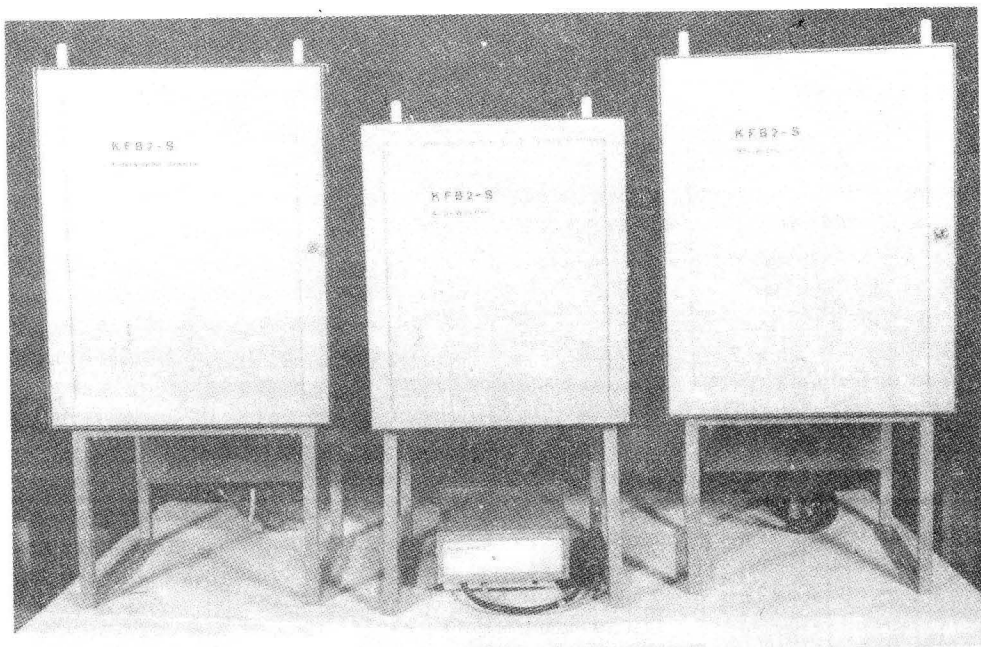


Abb. 4. Stationseinrichtung (Seeanlage ohne Sensoren)

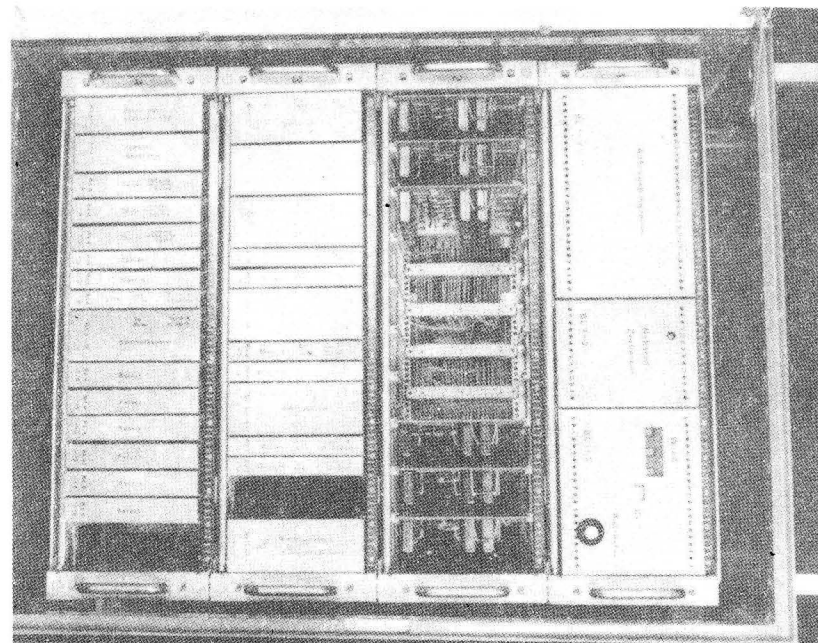


Abb. 5. Stationseinrichtung (Datenspeicher-Umsetzer)

Während die Sensoren an den für die Messung vorgesehenen Plätzen in geeigneter Weise angebracht sind, befinden sich alle Einrichtungen der Station in insgesamt 5 Gefäßen. Dabei handelt es sich um den der Aufnahme der Batterien dienenden Kasten, das Sendergehäuse und drei weitere Gefäßeinheiten (Abb. 4 und 5).

Alle Einheiten sind leicht transportabel.

Ein Beispiel für die Registrierung zeigt die Abb. 6. Die Temperaturmessung erfolgt im Bereich  $-10/+40$  °C. Ausgedruckt werden Zehntelgrad +100, um negative Werte zu vermeiden.

## 5. Schlußfolgerungen und Anwendungsmöglichkeiten

Der Prototyp des Meßsystems KFB-2 arbeitete als Bojenstation (Abb. 7) in einer Entfernung von der Landstation von ca. 20 km. Der wartungsfreie Zeitraum (zwischen dem Wechsel der Akkumulatoren) beträgt etwa 5–6 Wochen. Die Anlage hat sich als betriebsicher erwiesen, wenngleich Störungen durch Ausfall von Bauteilen oder Funktionsgruppen selbstverständlich nicht ausgeschlossen werden können.

Die Anlage KFB-2 hat nach unserer Ansicht folgende Vorteile:

- Die Anlage besitzt eine hohe Flexibilität im Hinblick auf die Anpassung anderer als im Prototyp verwendeter Sensoren. Durch den Einsatz von mehr oder anderen Sensoren wird die Grundkonzeption nicht berührt.
- Infolge der digitalen Übertragungsart der Daten ist die Fehlerquote gering, die Empfangs-

Wind	Feuchttemp.	Trockentemp.	Wassertemp.	Bojeninnentemp.	noch frei
kfb 2	16				
1.04,4	2.27,0	3.29,4	4.28,5	5.30,6	6.,
kfb 2	17				
1.04,1	2.27,1	3.28,9	4.28,5	5.30,3	6.,
kfb 2	18				
1.03,7	2.27,0	3.28,6	4.28,2	5.29,6	6.,
kfb 2	19				
1.03,6	2.27,2	3.28,5	4.28,3	5.28,6	6.,
kfb 2	20				
1.04,5	2.27,1	3.28,2	4.28,2	5.28,7	6.,
kfb 2	21				
1.04,7	2.27,0	3.28,3	4.28,3	5.28,4	6.,
kfb 2	22				
1.05,4	2.26,9	3.28,2	4.28,3	5.28,2	6.,
kfb 2	23				
1.04,8	2.27,0	3.28,2	4.28,2	5.28,1	6.,
kfb 2	24				
1.04,3	2.27,1	3.28,1	4.28,2	5.27,9	6.,

Alle Temperaturen sind um 10 °C zu reduzieren!

**Bedingung:** Entfernung 18 km

Gelände: Wasser + 3 km Waldgebiet

Abb. 6. Ausschnitt aus einer Registrierung von See

station ist sehr einfach. Der gleichzeitige Empfang der übertragenen Daten an verschiedenen Empfangsstationen ist möglich.

- Es ist ferner möglich, die Übertragungsgeschwindigkeit auf 200 Baud zu erhöhen, falls diese Forderung gestellt wird.
- Die Gesamtanlage ist dem bestehenden meteorologischen Meß- und Kommunikationsnetz angepaßt, indem mit FS-Signalen gearbeitet wird.
- Das Meßsystem ist transportabel und leicht auf- bzw. abrüstbar. Es ist infolge der soweit wie möglich erfolgten Anwendung standardisierter Bauteile und -gruppen und des industriellen Gefäßsystems servicefreundlich und relativ billig.

Als kritisch ist das Problem zu werten, daß bei dem realisierten Prototyp zwar Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit, aber „Augenblickswerte“ der Temperaturen (in Abhängigkeit von der Trägheitszeit der verwendeten Fühler) gemessen werden. Meßfolge (in der Regel eine pro Stunde) und dynamisches Verhalten der Fühler sind daher noch nicht aufeinander abgestimmt, was bei bestimmten Fragestellungen in der Auswertung eine Rolle spielt. Anwendungen des beschriebenen Meßsystems sind überall dort möglich, wo real-time-Informationen innerhalb der Reichweite des verwendeten Senders erwünscht sind, die in herkömmlicher Weise nicht ohne weiteres zu erhalten sind. Das betrifft in erster

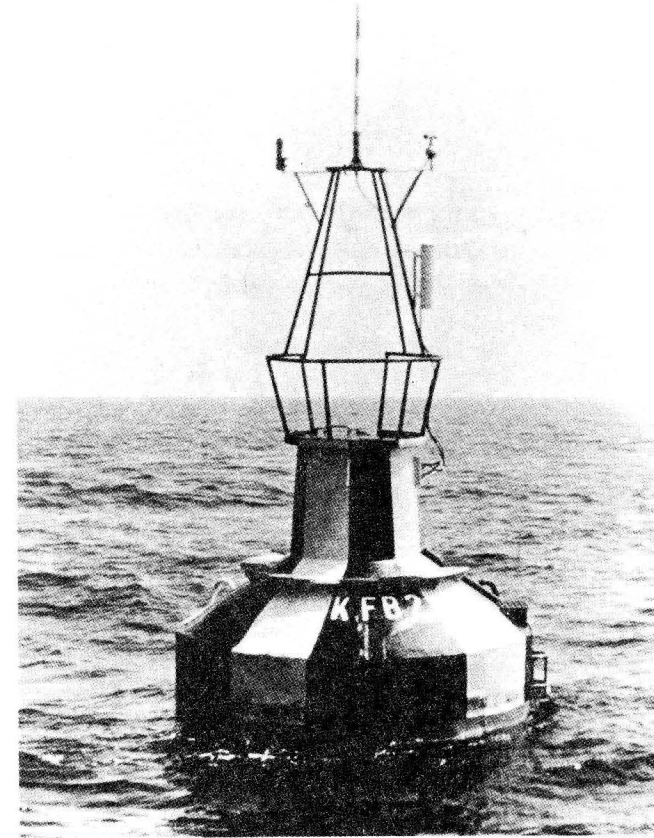


Abb. 7. Boje mit Meßsystem KFB-2

Linie Binnengewässer, Felder und andere freie Flächen, Wälder usw. Selbstverständlich kann das Meßsystem auch über eine direkte Leitung zwischen Station und Zentrale betrieben werden.

Das Meßsystem KFB-2 stellt somit eine Ergänzung der bereits eingeführten Automatischen Fernmeldenden Meteorologischen Stationen (siehe E. PETERS u. a. 1971) dar mit breiten Anwendungsmöglichkeiten — neben dem Einsatz als Bojenstation auf See — auch bei der Lösung meteorologischer und hydrologischer Aufgaben im Rahmen des Umweltschutzes und der sozialistischen Landeskultur.

Entwicklung und Fertigung des Prototyps der beschriebenen Meßanlage erfolgten im Labor/Werkstatt der Arbeitsgruppe in Leipzig unter wesentlicher Mitwirkung von Funkmechanikermeister M. ENGELHORN und Mechaniker H. BÜRKHOLZ, denen auch an dieser Stelle herzlich gedankt sei.

#### Literatur

- NEUBERT, G., Über den Einsatz automatischer hydro-meteorologischer Bojen in Küstennähe. Geophysik und Geologie, Geophys. Veröff. K.-M.Univ., 3. Ser., 1 (1974) 1, 91—101.

PETERS, E., u. a., Symposium „Automatische Meteorologische Stationen“ 17.—18. 3. 1970 Potsdam. Z. f. Meteor. 22 (1971) 8/10, 235—312.

Anschrift der Verfasser:

Dr. sc. P. HUPFER und Ing. G. NEUBERT  
Sektion Physik der Karl-Marx-Universität,  
Fachbereich Geophysik,  
DDR-7010 Leipzig, Thalstraße 35

## Über die bisherigen Ergebnisse eines Vergleichs zwischen einem herkömmlichen Strömungsmesser und einem Komponentenströmungsmesser

Von HANS-JÜRGEN SCHÖNFELDT

*Zusammenfassung:* Es werden Ergebnisse von Vergleichsmessungen zwischen einem Strömungsmesser mit getrennter Richtungs- und Geschwindigkeitsmittelung und einer Komponentenanlage in der ufernahen Zone mitgeteilt. Für die uferparallele Komponente (Ostkomponente) wurde ein um den Faktor 0,8 kleinerer Wert und für die ufernormale Komponente (Nordkomponente) ein um den Faktor 1,27 größerer Strömungswert mit der Komponentenanlage ermittelt.

*Резюме:* Сообщаются результаты сравнительных измерений, проведенных измерителем течений с отдельным усреднением направлений и скоростей и компонентным измерителем в прибрежной зоне. Компонентным измерителем течений получены уменьшенные на коэффициент 0,8 значения течений для параллельной берегу (восточной) составляющей и увеличенные на коэффициент 1,27 значения для нормальной (северной) составляющей.

### Einleitung

Herkömmliche Strömungsmesser registrieren die Strömungsgeschwindigkeit und die Strömungsrichtung getrennt. Dabei wird in den meisten Fällen je nach Aufgabenstellung eine Mittelung der Daten vorgenommen, d. h. die Strömungsrichtung und die Strömungsgeschwindigkeit werden tiefpaßgefiltert. Bei der Berechnung der Komponenten aus diesen Werten nimmt man einen systematischen Fehler in Kauf. In der Literatur wurde schon vielfach auf diesen Fehler hingewiesen (MAC CREADY, 1966, P. HUPFER, H. U. LASS, 1976). Berechnet man die Komponenten der Strömung aus der mittleren Strömung und der mittleren Strömungsrichtung, so erhält man

$$\bar{v}'_E = \bar{v} \sin \bar{\alpha} \neq \overline{v \sin \alpha} = \bar{v}_E \quad (1)$$

$$\bar{v}'_N = \bar{v} \cos \bar{\alpha} \neq \overline{v \cos \alpha} = \bar{v}_N \quad (2)$$

Unter der Annahme, daß Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsrichtung statistisch unabhängig sind, kann man für Gleichung (1) und (2) schreiben:

$$\bar{v}_E = \overline{v \sin \alpha} = \bar{v} \overline{\sin \alpha} \quad (3)$$

$$\bar{v}_N = \overline{v \cos \alpha} = \bar{v} \overline{\cos \alpha} \quad (4)$$



Für den Fall der statistischen Abhängigkeit ist für Gleichung (3) und (4) der entsprechende Kreuzkorrelationswert für die Zeitverschiebung  $\tau = 0$  einzusetzen. Setzen wir weiter voraus, daß  $\alpha$  normalverteilt ist, so gilt nach D. CAMUFFO (1976)

$$\frac{\overline{\sin \alpha}}{\sin \bar{\alpha}} = \frac{\overline{\cos \alpha}}{\cos \bar{\alpha}} = \exp(-\sigma^2/2), \quad (5)$$

wobei  $\sigma^2$  die Dispersion des Winkels  $\alpha$  bedeutet. Unter den oben gemachten Annahmen lassen sich Gleichung (3) und (4) weiter umformen und ein Vergleich mit den linken Seiten der Gleichungen (1) und (2) ist möglich.

$$\overline{v_E} = \overline{v \sin \alpha} = \bar{v} \overline{\sin \alpha} = \bar{v} \sin \bar{\alpha} \exp(-\sigma^2/2) \quad (6)$$

$$\overline{v_N} = \overline{v \cos \alpha} = \bar{v} \overline{\cos \alpha} = \bar{v} \cos \bar{\alpha} \exp(-\sigma^2/2). \quad (7)$$

Im Falle der statistischen Unabhängigkeit von Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsrichtung bei normalverteilter Strömungsrichtung gilt also

$$\overline{v'_E} = \bar{v}_E \exp(\sigma^2/2) \quad (8)$$

$$\overline{v'_N} = \bar{v}_N \exp(\sigma^2/2). \quad (9)$$

Die Dispersion der Strömungsrichtung läßt sich aber genauso schwierig im zu untersuchenden Frequenzbereich bestimmen, wie die Strömungskomponenten selbst, denn es müßten Augenblickswerte der Strömungsrichtung über den Mittelungszeitraum vorliegen.

Verwendet man die Strömungsmessungen, die durch getrennte Richtungs- und Amplitudenmittelung gewonnen wurden, so ist es vorteilhaft, sich durch Vergleichsmessungen über die Größe dieses Fehlers einen Überblick zu verschaffen. Solche Vergleiche sind aus der Literatur bekannt, und die Ergebnisse zeigen z. T. recht erhebliche Unterschiede (SAUNDERS, 1974; UNESCO technical papers in marine science, 1975). Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit dem Vergleich zweier Meßsysteme, die in der ufernahen Zone des Meeres eingesetzt waren.

Kernstück der verwendeten Komponentenanlage ist ein Sinus-Kosinus-Potentiometer (H. J. SCHÖNFELDT, 1976). Die Strömungsgeschwindigkeit wird mit einem Savoniusrotor gemessen und die Strömungsrichtung mit einer Richtungsfahne. Das Potentiometer ist mit der Richtungsfahne verbunden. Am Potentiometer liegt eine Spannung, die der momentanen Strömung proportional ist, so daß die an den Schleifern des Sinus-Kosinus-Potentiometers anliegende Spannung den Komponenten der Strömung entspricht. In nachgeschalteten Integriergliedern werden die Mittelwerte der Komponenten gebildet.

Bei der entsprechenden Analoganlage werden die Momentanwerte der Strömung und der Richtung direkt auf zwei gleiche Integrierglieder gegeben. Für die Vergleichsmessungen wurde ein und derselbe Savoniusrotor für beide Anlagen verwendet. Die Gleichheit beider Systeme gestattet es, die am Schwellwertschalter anliegende Spannung einmal direkt zu mitteln und parallel dazu die Komponenten analog zu berechnen und anschließend zu mitteln (H. J. SCHÖNFELDT, 1976; P. HUPFER, H. U. LASS, 1976). Einflüsse eines unterschiedlichen dynamischen Verhaltens von Rotoren sind damit ausgeschlossen. Auch Zeitglieder und Registriereinheit sind analog bzw. gleich. Alle Werte wurden auf einem Kompensationsbandschreiber registriert. Lediglich der Fehler, der durch ungleiches dynamisches

Verhalten der Richtungsgeber entsteht, konnte nicht ausgeschlossen werden, da zwei Richtungsgeber mit gleichen Abmessungen im Abstand von 60 cm verwendet wurden. Der Registrierzeitraum erstreckte sich bis auf einige Lücken durch Geräteausfall vom 10. 8. 76—16. 9. 76. Es wurde im Meßfeld des Maritimen Observatoriums Zingst in 120 m Uferentfernung nacheinander in vier verschiedenen Horizonten registriert. Die Wassertiefe am Meßort betrug 2,70 m.

Die gewonnenen Zeitreihen wurden mit einem AD-Wandler digitalisiert. Es wurde ein Rechenprogramm aufgestellt, das die notwendigen Korrekturen vornimmt und Stundensummen sowie Stundenbetragssummen der Strömungskomponenten berechnet. Aus den Stundensummen wurden fortschreitende Vektordiagramme hergestellt. Die Stundenbetragssummen gestatten einen direkten Vergleich beider Anlagen über längere Zeiträume, auch wenn die Strömung ihre Richtung umkehrt.

### Ergebnisse

Die gewonnenen Reihen wurden nach unterschiedlichen Gesichtspunkten untersucht. In der Zeit vom 20. 8.—22. 8. 76 und am 27. 8. 76 herrschten relativ stationäre Bedingungen vor. Das fortschreitende Vektordiagramm für die Zeit vom 20. 8.—22. 8. 76 ist in Abb. 1 dargestellt. Die Windgeschwindigkeit betrug im Mittel 7 m/s aus ENE und der Seegang hatte die Stärke 3 aus NNE. Der Komponentenströmungsmesser zeigte eine um den Faktor 1,14 kleinere Ostkomponente und eine um den Faktor 1,65 kleinere Nordkomponente als der herkömmliche Strömungsmesser, wobei die Uferlinie am Meßort und die Ost-Westrichtung nahezu identisch sind. In Abb. 2 ist das fortschreitende Vektordiagramm für den 27. 8. 76 dargestellt. Die äußeren Bedingungen waren durch eine Windgeschwindigkeit aus NNE von 8 m/s und einem Seegang aus NNE der Stärke 4 gekennzeichnet. Die Verhältniszahlen zwischen den Komponenten beider Anlagen sind in Tab. 1 angegeben. Die Strömungsrichtung stimmt in beiden Registrierbeispielen im wesentlichen überein. In der übrigen Meßzeit war der Wind sehr wechselhaft bzw. es herrschte

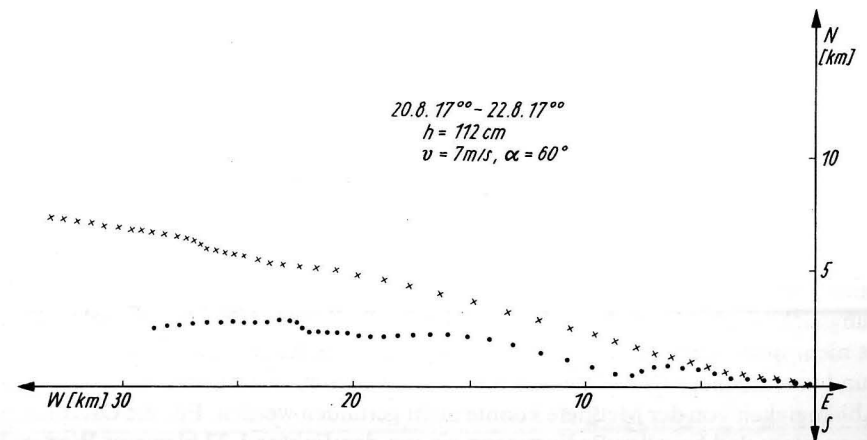


Abb. 1—6. Fortschreitende Vektordiagramme der Strömung in der ufernahen Zone bei Zingst. Die Meßpunkte der herkömmlichen Anlage sind als Kreuze dargestellt, die der Komponentenanlage als Punkte

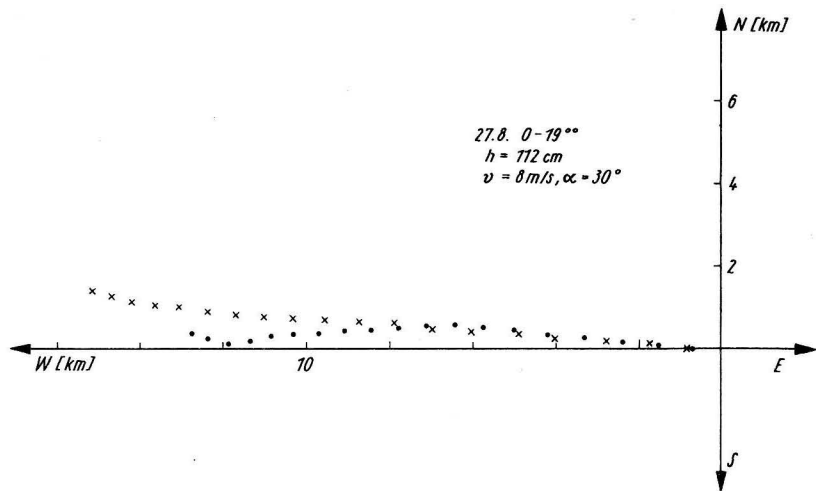


Abb. 2

Tabelle 1

Zeitraum	$\frac{\bar{v}_E}{\bar{v}_E}$	$\frac{\bar{v}_N}{\bar{v}_N}$	mittlere Strömung $\bar{v}$ /cm/s	Meßtiefe h/cm
10. 8.—14. 8.	1,125	0,565	14	168
14. 8.—16. 8.	1,08	0,69	8,9	168
16. 8.—19. 8.	1,2	0,572	12	168
19. 8.—22. 8.	1,16	1,28	17,5	112
23. 8.—30. 8.	1,31	0,666	18,8	112
27. 8.	1,21	0,874	24,5	112
30. 8.— 2. 9.	1,16	0,719	17	224
2. 9.— 5. 9.	1,36	0,96	24	224
13. 9.—16. 9.	1,08	0,93	9,1	56
10. 8.—16. 9.	1,27	0,805	15,2	—
Standard- abweichung	0,127	0,229	—	—

Windstille. Aus Abb. 3 bis 6 ist zu sehen, daß die relativ gute Übereinstimmung der Strömungsrichtung beider Anlagen für instationäre Bedingungen in der ufernahen Zone des Meeres nicht mehr gegeben ist. Die Komponentenanlage liefert eine größere Nordkomponente und eine kleinere Ostkomponente als die herkömmliche Strömungsmesseinrichtung. Eine Abhängigkeit von der Meßtiefe konnte nicht gefunden werden. Für die Ostkomponente wurde ermittelt, daß bei allen Bedingungen ein um den Faktor 1,27 kleinerer Wert mit dem Komponentenströmungsmesser gemessen wurde. Für die Nordkomponente kann kein allgemeingültiges Verhältnis gegeben werden. Hierzu sind detaillierte Untersuchungen nötig

(s. Tab. 1). Die Ergebnisse zeigen weiter, daß die für Gleichung (8) und (9) gemachten Voraussetzungen für die ufernahe Zone nicht zutreffen, da die jeweiligen Faktoren aus Tab. 1 für die Ostkomponente und für die Nordkomponente unterschiedlich groß sind. Außerdem scheinen die sich aus Gleichung (8) und Tab. 1 ergebenden Dispersionen zu groß zu sein, so daß Gleichung (8) und (9) auch nicht in 1. Näherung für die ufernahe Zone anwendbar sind.

Für die uferparallele Strömung (Ostkomponente) wurde ein Kopplungsfaktor zwischen Windkomponente und Strömungskomponente, mit der Komponentenanlage gemessen, von 0,04 für den 27. 8. und 0,03 für den 20. 8 bis 22. 8. 76 bestimmt. Nach P. HUPFER 1975 erhält man einen theoretischen Wert ohne Berücksichtigung der Gefälleströmung von 0,03 für die Ostkomponente und von -0,002 für die Nordkomponente. Für die ufernormale Triftströmung (Nordkomponente) wurde ein Faktor von -0,0066 für den 27. 8. und -0,02 für den 20.—22. 8. 76 (ebenfalls Komponentenanlage) bestimmt.

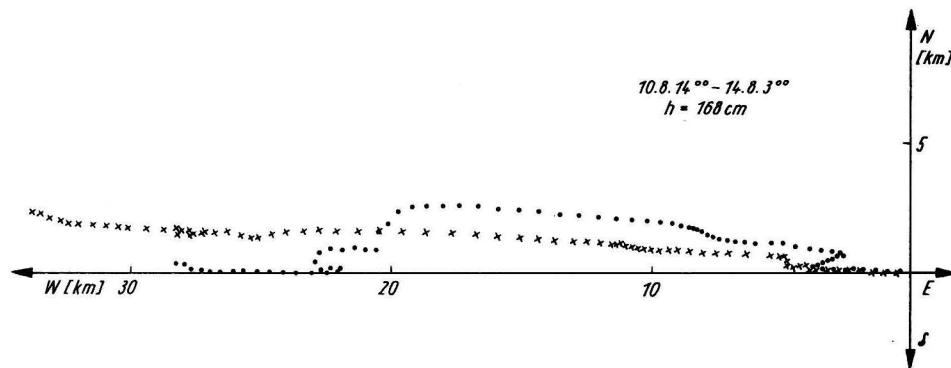


Abb. 3

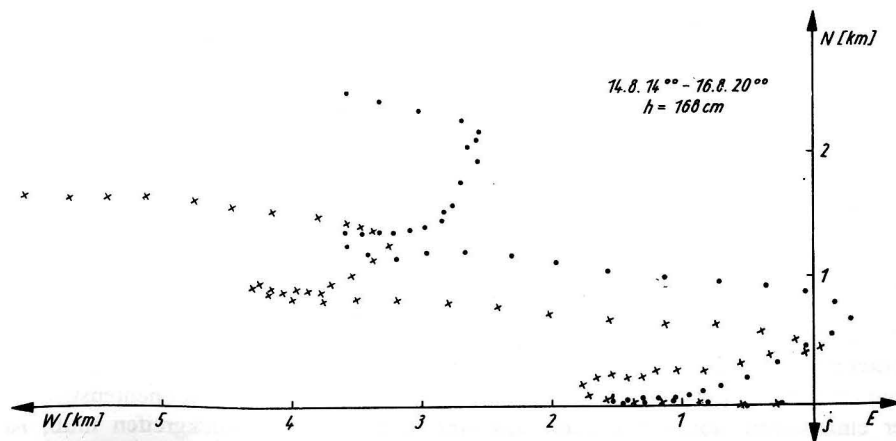


Abb. 4

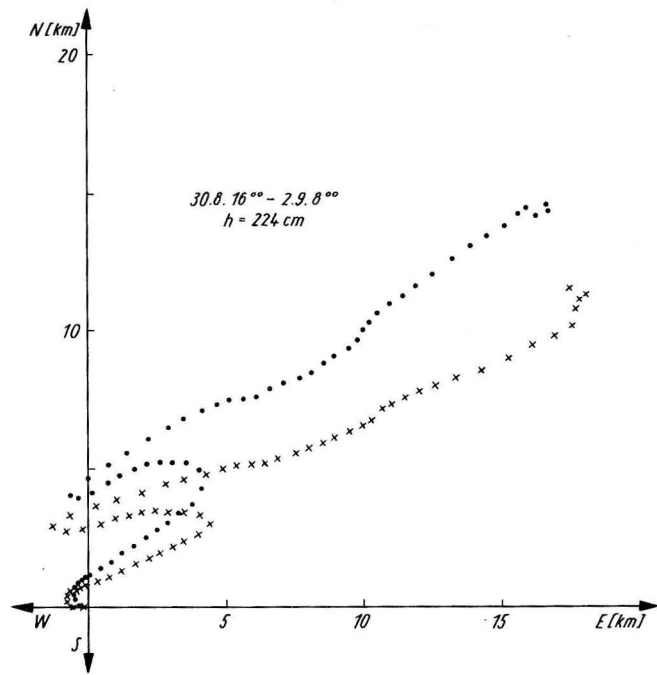


Abb. 5

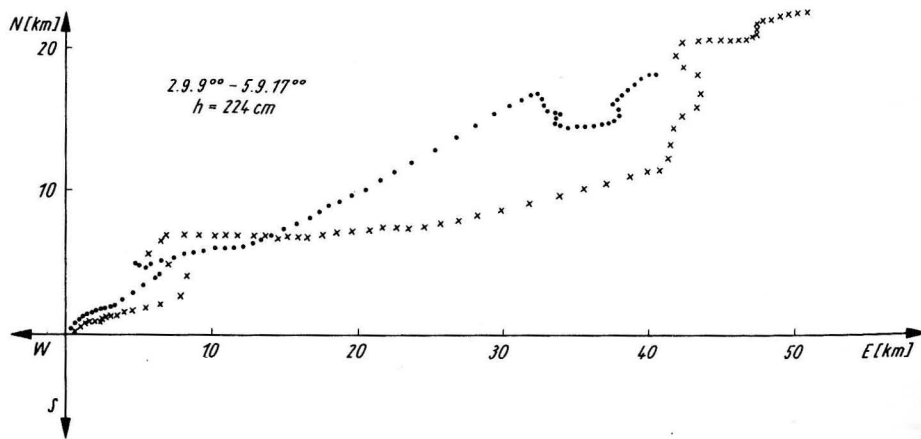


Abb. 6

Wie die oben dargestellten Ergebnisse zeigen, treten recht erhebliche Unterschiede zwischen den Registrierungen eines Komponentenströmungsmessers und eines herkömmlichen Strömungsmessers auf. Da man nicht generell die Möglichkeit hat Komponentenströmungsmesser einzusetzen, sondern oft auf das einfachere System zurückgreifen muß, ist es zweckmäßig, diese Ergebnisse durch weitere Experimente zu stützen. Darum sind weitere Vergleichsmessungen auch an anderen Küstenabschnitten vorgesehen.

## Literaturverzeichnis

- CAMUFFO, D., How to obtain mean value and variance of wind direction by using a sin-cosine transducer. *Atmospheric Environment* 10 (1976) 167—168.
- HUPFER, P., unveröffentlichter Bericht (1975).
- HUPFER, P. und H. U. LASS, Über ein kombiniertes Strömungs- und Windmeßsystem. *Beitr. Meereskunde* H. 37 (1976) 137—144.
- MAC CREADY, P. B. jr., Mean wind speed measurements in turbulence. *J. Appl. Meteorology* 5 (1966) 2, 219.
- SAUNDERS, P., More intercomparisons of near — surface current measurements. *MODE Hot Line News*, 68, 1974.
- SCHÖNFELDT, H. J., Eine Anlage zur Registrierung der Komponenten von Wind und Strömung. *Zeitschrift für Meteorologie*, 26 (1976) 286—288.
- UNESCO technical papers in marine science, 23, UNESCO 1975.

Anschrift des Verfassers:

Dr. HANS-JÜRGEN SCHÖNFELDT  
Karl-Marx-Universität, Sektion Physik, Maritimes Observatorium Zingst  
DDR-2385 Zingst

## Ein vollelektronischer Seillängenmesser für die Ozeanographie

Von ERHARD EYCKE

*Zusammenfassung:* Bei fast allen ozeanographischen Feldarbeiten ist es notwendig, die Länge der ausgefahrenen Seile oder Kabel mit hinreichender Genauigkeit zu kennen. Für die Messung werden vorwiegend mechanische Zählwerke eingesetzt. Durch den rauhen Bordbetrieb und die Einwirkung von Seewasser sind diese stark belastet und oft gestört. Der Pflege- und Instandhaltungsaufwand ist sehr hoch.

Es wird ein Gerät beschrieben, bei dem die Messung der ausgefahrenen Seillänge mittels eines vollelektronischen Systems erfolgt. Der zugehörige Impulsgeber kann leicht an jeden Block oder jede Rolle angebaut werden. Die Impulse werden kontaktlos erzeugt und über ein beliebig langes Kabel zum Anzeigergerät übertragen. Fast ausschließlich finden handelsübliche Baugruppen Verwendung.

### 1. Forderungen an einen Seillängenmesser für ozeanographische Zwecke

- Es besteht die Aufgabe, Kabel- oder Seillängen von 0 ... 10000 m mit einer Genauigkeit von 0,1 m zu messen.
- Sowohl beim Fieren als auch beim Hieven muß ohne zusätzliche Schalthandlungen ständig die ausgefahrene Länge angezeigt werden.
- Der Zähler muß auf einfache Weise auf Null rückstellbar sein.
- Die Konstruktion muß die rauhen Umweltbedingungen berücksichtigen sowie pflege- und wartungsarm sein.
- Eine universelle Verwendbarkeit wird angestrebt.

### 2. Technische Realisierung

#### 2.1. Der elektronische Zähler

Die Forderungen bezüglich der anzuzeigenden Seillänge ist mit einem fünfstelligen Dezimalzähler zu erfüllen. Es ergibt sich ein Anzeigebereich: 0000,0—9999,9 m. Die Umschaltung auf Vor- und Rückwärtsbetrieb ist durch Vertauschen einer L-H-Information an 2 Anschlüssen zu realisieren.

Durch eine weitere Schaltungsmaßnahme ist mittels Tasten auch die Rückstellung aller Dekaden auf Null möglich. Die Zähler (VRZ 1) und die Anzeigebausteine (A1V) sind mit diskreten Bauelementen aufgebaut [1]. Für die Anzeige werden Glimmentladungs-Zif-

fernanzeigeröhren verwendet, die auch aus einer Entfernung von 2 ... 3 m gut erkennbar sind.

## 2.2. Erzeugung der Impulse für die Längenmessung

Für die Erzeugung der Zählimpulse entfielen von vornherein durch Nocken betätigte mechanische Schalter. Hier wären ähnliche Probleme wie bei den mechanischen Zählwerken aufgetreten. Die Benutzung von Reed-Relais hätte Probleme bei der Justierung der Betätigungsmagnete gebracht. Die Entscheidung fiel auf handelsübliche Schlitzinitiatoren [2]. Diese Bausteine sind wasserdicht vergossen. Sie arbeiten nach dem Aussetzgeneratorprinzip mit induktiver Rückkopplung. Das Eintauchen eines Metallteils in den Schlitz ändert die Rückkopplung. Die daraus resultierende Stromänderung wird durch einen Schwellwertschalter in ein elektrisches L-H-Signal umgewandelt, mit dem der Zähler angesteuert werden kann.

Die Konstruktion des Impulsgebers ist einfach. Mit der Welle, die mit der verwendeten Meßrolle zu koppeln ist, ist ein Laufrad fest verbunden, an dessen Umfang Metallfahnen befestigt sind. Diese Metallfahnen tauchen beim Rotieren des Laufrades in die Schlitzze, der in einem Kunststoffgehäuse eingeklebten Initiatoren ein (Abb. 1). Außer dem Laufrad werden keine beweglichen Teile verwendet. Die Lagerung der Welle erfolgt in Kunststoff und ist damit wartungsarm.

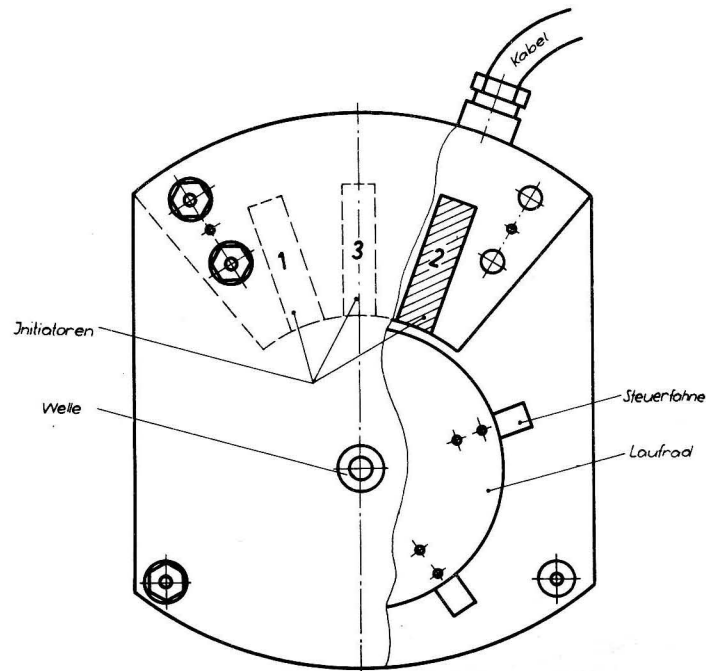


Abb. 1. Impulsgeber

Für die Meßrolle, an die der Impulsgeber angebaut werden soll, besteht als einzige Bedingung:

$$U = \pi \cdot D = n \cdot 0,1 \text{ m} \quad (n \text{ ganzzahlig})$$

$$(D = \varnothing \text{ der Rolle})$$

Die Anpassung von Rollen verschiedener Durchmesser erfolgt über die Anzahl der am Laufrad angebrachten Metallfahnen (Tab. 1).

Tabelle 1  
Anpassung des Impulsgebers  
an verschiedene Durchmesser der Meßrolle

Umfang m	Durchmesser m	Zahl der Fahnen
0,7	0,223	7
0,6	0,191	6
0,5	0,159	5
0,4	0,127	4
0,3	0,095	3
0,2	0,064	2
0,1	0,032	1

In anderen Fällen ist der Antrieb über ein Getriebe vorzusehen.

## 2.3. Bildung der Drehrichtungsinformation

Die verwendeten elektronischen Zähler können durch Negieren einer H- und einer L-Information von Vor-(Addieren) auf Rückwärtsbetrieb (Subtrahieren) umgeschaltet werden. Diese Information ist automatisch zu erzeugen.

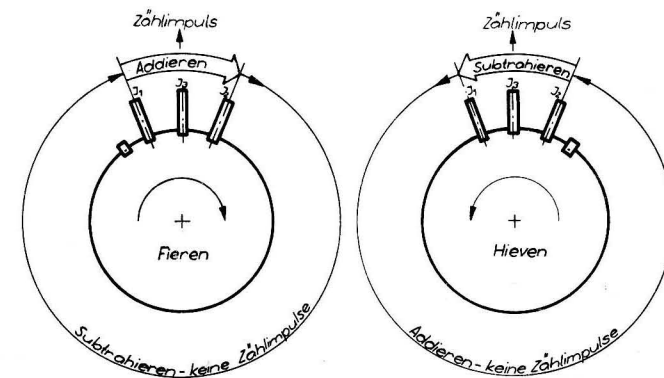


Abb. 2. Bildung der Drehrichtungsinformation

Tabelle 2  
Bildung der Drehrichtungsinformation

Betr.-Art	Drehrichtung der Welle	Initiator vor 3	Steuerung am Zähler	Betr.-Art des Zählers
Fieren	rechts	1	H L	Add.
Hieven	links	2	L H	Subtr.

Hierzu wird folgendes Prinzip verwendet:

Seitlich des für die Längeninformation genutzten Initiators (3) sind um jeweils 20° versetzt, 2 weitere Initiator (1 und 2) im Impulsgebergehäuse eingebaut.

Jedem dieser Initiator ist eine Zählrichtung zugeordnet. Beim Durchlauf einer Fahne wird über einen statischen, bistabilen Multivibrator (RS-Flip-Flop) der Zähler auf die zugehörige Zählrichtung geschaltet. Jeweils die letzte Umschaltung vor der Erzeugung des Längenimpulses bestimmt die wirksame Zählrichtung (Tab. 2, Abb. 2) des elektronischen Zählers.

Die Schwellwertschalter und der statische bistabile Multivibrator sind zu einem Baustein (Impulsbaustein) zusammengefaßt.

#### 2.4. Akustische Signalisierung

Um auch beim Hieven mit höherer Geschwindigkeit die Sicherheit zu gewährleisten, wurde eine akustische Signalisierung vorgesehen. Diese spricht bei einer fest eingestellten Tiefenanzeige an.

Zur technischen Realisierung wurden die letzten 3 Stellen des 5-stelligen Zählers über ein UND-Gatter so gekoppelt, daß beim Übergang von 0020,0 m auf 0019,9 m die Signalgabe erfolgt.

#### 2.5. Prüfen der elektronischen Zähler

Das Gerät wird mit einem Schalter in Betrieb gesetzt. Zwei weitere Stellungen des Schalters ermöglichen einen Test des elektronischen Zählers. Hierbei wird der Eingang des Zählers an 50-Hz-Wechselspannung gelegt. Test in den Betriebsarten Addieren und Subtrahieren ist durch Vertauschen der Polarität einer Gleichspannung an den Steuereingängen der Zähldekaden möglich.

#### 2.6. Stromversorgung

Die Stromversorgung erfolgt mit 220 V Wechselspannung. Alle benötigten Gleichspannungen werden intern erzeugt und z. T. stabilisiert.

Um bei Ausfall des Bordnetzes die Längeninformation nicht zu verlieren, werden die für den Betrieb der Zähler und der Initiator benötigten Spannungen durch Batterien ge-

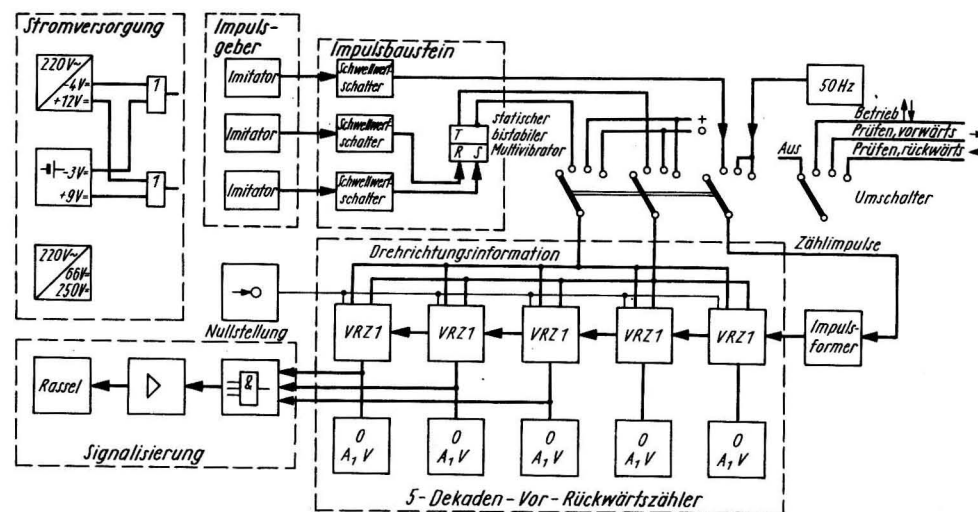


Abb. 3. Blockschaubild des Seillängenmessers SLM/72

Tabelle 3  
Technische Daten des Seillängenmessers SLM/72

Impulsgeber und Impulsbaustein:

- Quantelung des Meßwertes 0,1 m
- Anpassung an verschiedene Rollendurchmesser möglich
- maximale Seilgeschwindigkeit 2 m/s
- Ausgang: digital L-Signal 0—0,5 V  
H-Signal 7,5—12 V
- Stromversorgung: intern aus Zähler
- Abmessungen: 125 × 150 × 60 mm  
Wellendurchmesser 6 mm
- Masse: 1,5 kg

Elektronischer Zähler:

- Betriebsart vor- und rückwärtszählend
- Eingang: intern mit Impulsbaustein verbunden
- Anzeige: 5-stellig durch Ziffernanzeigeröhren
- Löschung: elektronisch durch Taste
- Genauigkeit: max ±1 pro Reversierung
- Testung: durch Ansteuerung mit Netzfrequenz, addierend und subtrahierend
- Stromversorgung: 220 V 50 Hz  
Pufferung der Betriebsspannungen durch 8 Monozellen 1,5 V (R 20)
- Abmessungen: 400 × 220 × 190 mm
- Masse: 11 kg
- Verbindung zum Impulsgeber über Stecker und Kabel

puffert. Durch diese Maßnahme wird nach Wiederkehr der Bordnetzspannung sofort wieder der aktuelle Längenwert angezeigt. Messungen brauchen nicht wiederholt zu werden. Bei getrennter Stromversorgung der Winden kann unter Umständen sogar weitergefahren werden.

### 2.7. Zusammenfassung der technischen Daten des Seillängenmessers SLM/72

Der Aufbau des Gerätes ist im Blockschaltbild (Abb. 3) dargestellt. Abb. 4 zeigt Zähler und Impulsgeber im einbaufertigen Zustand.

In Tab. 3 sind alle technischen Daten zusammengefaßt worden.

### 3. Einsatzerfahrungen

Der beschriebene Seillängenmesser wird seit 1973 eingesetzt. Sowohl unter winterlichen Temperaturen in der Ostsee, als auch im äquatorialen Atlantik arbeitete er zuverlässig.

Zeitweilig traten Störungen bei der Verwendung frei aufgehängter Meßrollen (Blöcke) auf. In dieser Betriebsart kann bei stehender Winde durch Pendeln des Blocks verbunden mit einer ungünstigen Stellung des Laufrades ein Eintauchen der Steuerfahne in den mittleren Initiator erfolgen. Die so entstehenden Impulse werden vom Zähler mit erfaßt.

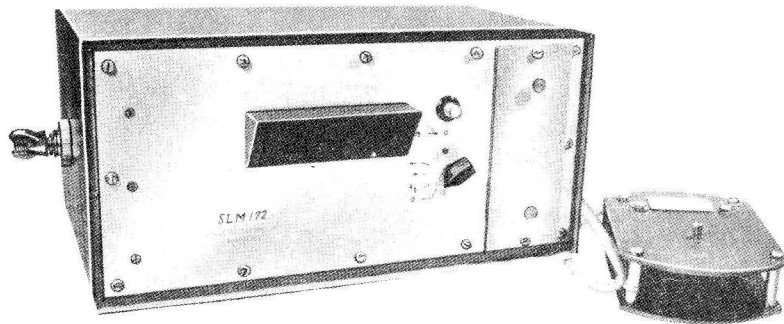


Abb. 4. Zähler und Impulsgeber in einbaufertigem Zustand

Beim Feststellen solcherart entstandenen Impulse wurde durch geringfügiges Hieven oder Fieren ein störungsfreier Zustand wiederhergestellt.

Im Rahmen der technischen Weiterentwicklung erfolgte eine Umstellung auf integrierte Bausteine unter Beibehaltung des Grundprinzips. Der obengenannte Mangel der beschriebenen Schaltung konnte durch Taktung der Vor-Rückwärtsumschaltung beseitigt werden. Die Möglichkeit des Anschlusses an einen Rechner ist vorgesehen.

### Literatur

- [1] STANDFUSS, B., Digitalbausteine aus dem VEB Werk für Fernsehelektronik. radio fernsehen elektronik, Berlin, 20 (1971) H. 15, S. 506—509; H. 16, S. 540—543.
- [2] Initiatorenprogramm Bausteine im System URSAMAT. Firmenschrift VEB Meßgerätewerk Beierfeld (1971).

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. ERHARD EYCKE

Institut für Meereskunde der AdW der DDR

DDR-2530 Rostock-Warnemünde

## Konstruktion eines Laborstreulichtphotometers für den Einsatz in der Meeresforschung

Von HARTMUT PRANDKE

*Zusammenfassung:* Mit dem Streulichtphotometer PSP 75 wurde ein Meßgerät entwickelt und aufgebaut, das speziell für die Belange der Meeresoptik ausgelegt ist. Es ist für den See- und Landeinsatz geeignet und gestattet die Messung der Lichtstreuung in einem Winkelbereich von 5 bis 170 Grad bei verschiedenen Wellenlängen.

*Abstract:* The light-scattering photometer PSP 75 is a special instrument for the use in the marine optics. It can be placed in ship- or land-laboratories. With the PSP 75 the light-scattering can be measured in an angular-range from 5 to 170° in different wavelengths.

### 1. Einleitung

Wie auch in anderen Wissenschaften gewinnt die Optik in der Meeresforschung zunehmend an Bedeutung. Vielfach lassen sich mit optischen Methoden Probleme schneller und genauer als mit anderen Methoden lösen. Dies trifft z. B. zu für quantitative Ermittlung des Gehaltes an gelösten organischen und suspendierten Stoffen im Meereswasser. Viele Aufgaben lassen sich ausschließlich mit optischen Meßverfahren realisieren, z. B. die Bestimmung des Energietransportes/Energieangebotes für die Primärproduktion im Meer. Schließlich sei auch auf optische Probleme bei der Fernerkundung hingewiesen, wo die Erfassung der Reflexionserscheinungen an der Grenzschicht Meer-Luft sowie des Lichtfeldes im Meer eine wesentliche Voraussetzung bildet. Die Verteilung des Lichtes im Meer wird bestimmt durch die Wechselwirkungsprozesse des einfallenden Lichtes mit dem reinen Wasser, den im Wasser gelösten organischen und anorganischen Stoffen und den in dieser Lösung suspendierten Partikeln. Diese Wechselwirkungsprozesse sind Absorptions- und Streuprozesse, die im allgemeinen sehr komplizierter Natur sind. Zur Untersuchung der Streuprozesse des Lichtes, vor allem an den suspendierten Stoffen, wurde das hier beschriebene Streulichtphotometer PSP 75 konstruiert und gebaut.

### 2. Anforderungen an das Meßgerät

Als Einsatzorte für das Streulichtphotometer PSP 75 sind Land- und Schiffslabors vorgesehen, da sowohl genau kontrollierte Laboruntersuchungen an Land sowie auch Meßprogramme auf Forschungsschiffen an geschöpften Seewasserproben durchgeführt werden



sollen. Aus dem geplanten Schiffseinsatz ergeben sich eine Reihe besonderer Forderungen an das Meßgerät:

1. Es muß hohen mechanischen Ansprüchen genügen, da es weitestgehend unempfindlich gegen Erschütterungen, denen das Schiff durch Maschinenschwingungen, Seegang und anderes ausgesetzt ist, sein muß.
2. Auf Grund des beschränkten Platzangebotes in Schiffslabors ist es notwendig, das Gerät in seinen äußeren Abmessungen möglichst klein auszulegen. Es ist günstig, die gesamte Anlage aus mehreren, durch Steck- bzw. verschraubbare Kabel miteinander verbundenen Einheiten aufzubauen. Dadurch läßt sich der vorhandene Platz in den Schiffslabors besser ausnutzen, zum anderen wird der Transport Landlabor-Schiff vereinfacht.
3. In der Regel werden, besonders beim See-Einsatz, eine große Anzahl von Proben vermessen. Um ein rasches und störungsfreies Arbeiten zu gewährleisten, müssen Probenwechsel und Reinigung des Probenbehälters schnell und sicher durchzuführen sein.

Die meßtechnischen Anforderungen an das Streulichtphotometer ergeben sich einmal aus der Lichtstreucharakteristik des Meerwassers und aus den zu lösenden Meßaufgaben. Es sind dies die Messung der Volumenstreuungsfunktion  $\beta(\theta)$ , also der Winkelverteilung der Streuintensität, und die Messung der spektralen Abhängigkeit der Lichtstreuung.

Reines Meerwasser streut nur einen sehr geringen Teil des einfallenden Lichtes. Der weitaus größte Anteil der Streuintensität resultiert aus Streuprozessen des Lichtes an den im Meerwasser suspendierten Teilchen [1, 2]. Durch diese Streuprozesse an den suspen-

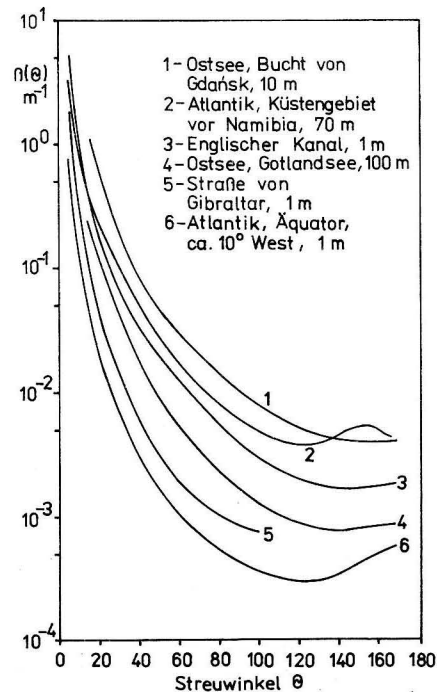


Abb. 1. Darstellung ausgewählter Volumenstreuungsfunktionen  $\beta(\theta)$  für verschiedene Seegebiete (gemessen vom Autor mit dem PSP 75 im Zeitraum September—November 1976). Die Meterangaben sind die Meßtiefen.

dierten Stoffen wird das Bild der Volumenstreuungsfunktion  $\beta(\theta)$  im wesentlichen bestimmt. Abb. 1 zeigt eine solche graphische Darstellung der Funktion  $\beta(\theta)$ : Die Streuintensität im Bereich kleiner Winkel ist wesentlich größer als im Bereich großer Streuwinkel. Das Minimum der Kurven liegt etwa im Streuwinkelbereich von 110—140°. Die Volumenstreuungsfunktion von Meerwasser zeigt keine ausgeprägte Strukturierung.

Aus dieser Streucharakteristik des Meerwassers ergaben sich für das aufzubauende Meßgerät folgende Aspekte:

- Die Messung der Volumenstreuungsfunktion muß bis zu kleinen Winkeln hin möglich sein. Dabei werden an die Winkelauflösung keine besonderen Anforderungen gestellt. Eine Winkelauflösung von 1° ist völlig ausreichend.
- Bei der Untersuchung der suspendierten Stoffe ist es außerdem notwendig, den Probenbehälter mit einem Rührwerk zu versehen, um ein Absinken der größeren Schwebeteilchen während des Meßvorganges zu verhindern [3].

In der Literatur sind zahlreiche Angaben zur Konstruktion von Laborstreulichtphotometern zu finden [4, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. In diesen Arbeiten werden, mit Ausnahme von [10], Photometer beschrieben, die für die Untersuchung makromolekularer Stoffe oder für andere spezielle Untersuchungen, [11], ausgelegt sind. Diese Geräte genügen den oben dargelegten Anforderungen für den Einsatz in der Meeresoptik nicht oder nur bedingt.

### 3. Diskussion der bisher bekannten Prinziplösungen für Laborstreulichtphotometer

Für die Untersuchung der Winkelabhängigkeit der Lichtstreuung an Stoffen, die im flüssigen Aggregatzustand vorliegen, gibt es bisher zwei verschiedene prinzipielle konstruktive Lösungen des Aufbaues von Laborstreulichtphotometern.

#### 3.1. Allgemein angewendete konstruktive Lösung

Die zu untersuchende Probe befindet sich in einer Meßzelle aus lichtdurchlässigem Material (Glasküvette). Die Lichtquelle ist fest angeordnet, der Lichtempfänger bewegt sich auf einer Kreisbahn um die Meßzelle (s. Abb. 2).

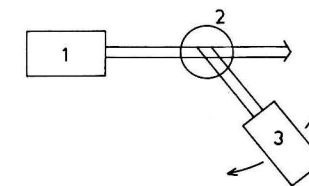


Abb. 2. Der allgemein angewendete prinzipielle Aufbau von Laborstreulichtphotometern (Draufsicht)

- 1 — Lichtquelle mit optischem System zur Fokussierung des Primärstrahles  
 2 — Meßzelle mit Probe  
 3 — Optisches System zur Ausblendung des Streulichtes und Lichtempfänger

Fast alle kommerziellen und unikatnen Laborstreulichtphotometer sind entsprechend diesem Grundschema aufgebaut. Die Nachteile dieser allgemeinen Lösung entsprechend den unter 2. dargelegten Anforderungen sind:

- Große Abmessungen des Gerätes, bedingt durch die Bewegung des Auslegers mit dem Lichtempfänger,
- relativ hoher Aufwand zur Reinigung der Glasküvette,
- Korrektur der Brechung an den runden Glaswandungen,
- Bewegung elektrischer Meßleitungen.

### 3.2. Konstruktive Lösung nach Koslyaninov

Speziell für die Messung der Lichtstreuung an geschöpften Meerwasserproben wurde von KOSLYANINOV [10] ein visuelles Streulichtphotometer mit den nachstehenden konstruktiven Merkmalen entwickelt.

Die zu untersuchende Probe befindet sich in einer Meßzelle, die mit einem lichtdurchlässigen Fenster versehen ist. Der Lichtempfänger ist hinter diesem Fenster fest angeordnet. Die Lichtquelle und das optische System zur Formung des Primärstrahles befinden sich in einer wasserdichten Einheit, die mit ihrem unteren Teil, in dem sich ein lichtdurchlässiges Fenster befindet, in die Probenflüssigkeit taucht und sich so auf einer Kreisbahn bewegt, daß der in horizontaler Richtung aus dieser Einheit austretende Primärstrahl immer auf einen festen Punkt auf der optischen Achse des Systems zur Ausblendung des gestreuten Lichtes gerichtet ist (s. Abb. 3).

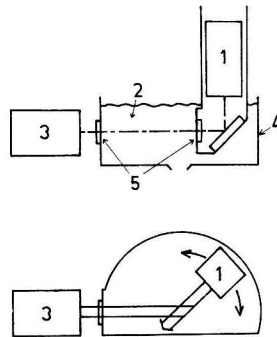


Abb. 3. Streulichtphotometer nach Koslyaninov

- |  |                    |
|--|--------------------|
| 1 — Lichtquelle mit optischem System zur Formung des Primärstrahles      | 4 — Probenbehälter |
| 2 — Probe  | 5 — Fenster        |
| 3 — Optisches System zur Ausblendung des Streulichtes und Lichtempfänger |                    |

Die Lichtquelle ist hier Teil der beweglichen Einheit. Dadurch ergeben sich bezüglich den unter 2. dargelegten Anforderungen folgende Nachteile:

- Wegen der notwendig leistungsstarken Lichtquelle läßt sich die bewegliche Einheit

nicht hinreichend klein aufbauen. Das erfordert auch für die Meßzelle relativ große Abmessungen und somit größere Probenmengen.

- Spezielle Lichtquellen, z. B. Lasergeräte lassen sich nicht einsetzen.

Beim Aufbau eines Streulichtphotometers, das den unter 2. zusammengestellten Anforderungen genügt und die unter 3. diskutierten Mängel weitgehend vermeidet, mußte eine im wesentlichen neue konstruktive Lösung gefunden und realisiert werden.

Das Laborstreulichtphotometer PSP 75 wurde entsprechend dieser Vorgabe entwickelt und aufgebaut. Dabei wurde der optisch-mechanische Aufbau des Gerätes gegenüber den oben diskutierten Varianten in wesentlichen Teilen geändert.

### 4. Der Aufbau des Streulichtphotometers PSP 75

Der Grundgedanke bei der Konstruktion des PSP 75 besteht darin, daß sowohl der Lichtempfänger als auch die Lichtquelle fest angeordnet sind. Dies wurde durch die neuartige Konstruktion des optischen Systems zur Ausblendung des Streulichtes erreicht. Es ist so ausgebildet, daß das unter jedem beliebigen Winkel gestreute Licht von diesem System stets auf den fest angeordneten Lichtempfänger trifft.

Entsprechend den unter 2., Pkt. 2 genannten Anforderungen wurde das Streulichtphotometer aus mehreren separaten Einheiten aufgebaut. Es sind dies das Goniometerenteil, die Steuereinheit für das Goniometerenteil und ein elektronischer Integrator. Zum kompletten Streulichtphotometer gehören außerdem noch einige kommerzielle Geräte: Stabilisierte Hochspannungsquelle Typ 4203 vom VEB STATRON Fürstenwalde (zur Stromversorgung für den SEV), DC-Milli-Pico-Meter MV 40 vom VEB Radio und Fernsehen Karl-Marx-Stadt (zur Messung des Photostromes) und ein Stromversorgungsteil für die Laserlichtquelle bzw. Versorgungsgerät für eine andere Lichtquelle.

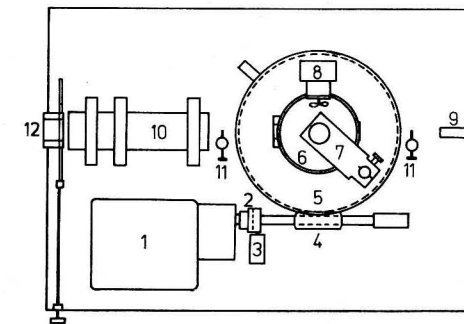


Abb. 4. Der Aufbau des Goniometerteils (Draufsicht)

- |   |  |
|---|--|
| 1 — Motor                                 | 8 — Rührwerk                                       |
| 2 — Rutschkupplung                        | 9 — Vorrichtung zur Vernichtung des Primärstrahles |
| 3 — Winkelzähleinrichtung                 | 10 — Optische Bank                                 |
| 4 — Schnecke                              | 11 — Endanschläge für Schneckenrad                 |
| 5 — Schneckenrad                          | 12 — Lichteintrittsöffnung mit Verschuß            |
| 6 — Probenbehälter                        |  |
| 7 — Optik zum Ausblenden des Streulichtes |  |

## 4.1. Goniometerteil

Das Goniometerteil besteht aus einem lichtdichten, innen geschwärzten Aluminiumgehäuse, in dem folgende Baugruppen enthalten sind (s. auch Abb. 4).

- Motor mit Schneckentrieb, Rutschkupplung und Winkelzahleinrichtung
- Probenbehälter mit Wasserablaßhahn
- Rührwerk
- Optisches System zur Ausblendung des Streulichtes
- Optische Bank mit Linsen, Blenden und Filtern zur Formung des Primärstrahles
- Photometerkopf mit SEV

Der zylinderförmige Probenbehälter (Abb. 5) besteht aus geschwärztem Messing und ist von innen mit einer wasserabweisenden schwarzen Spezialfarbe gespritzt. Der Reflexions-

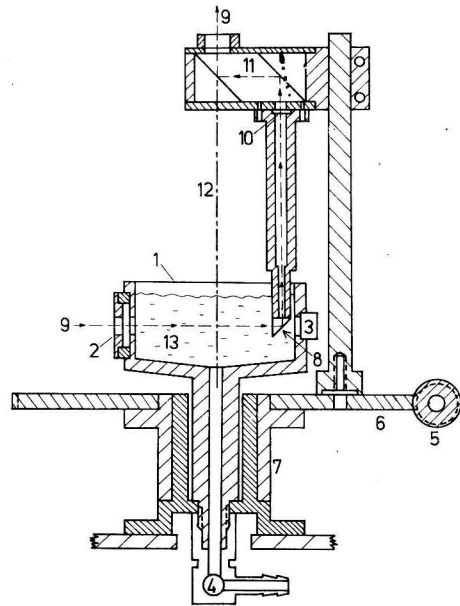


Abb. 5. Schnitt durch den Probenbehälter und das optische System zur Ausblendung des Streulichtes

- |   |   |
|---|---|
| 1 — Probenbehälter                                      | 8 — 90°-Prisma mit verspiegelter Hypothenusenfläche |
| 2, 3 — Eintritts- und Austrittsfenster für Primärstrahl | 9 — Lichtweg Primärlicht—Streulicht                 |
| 4 — Absperrhahn   | 10 — Blende   |
| 5 — Schnecke  | 11 — Doppelprisma                                   |
| 6 — Schneckenrad  | 12 — Drehachse des optischen Systems                |
| 7 — Gleitlager  | 13 — Zu untersuchende Meerwasserprobe               |

koeffizient der so präparierten Oberfläche des Probenbehälters wurde zu  $2 \cdot 10^{-5}$  bestimmt. Er ist damit so klein, daß im ungünstigsten Fall (bei einem Streuwinkel von  $170^\circ$ ) der Anteil des an der Wand des Probenbehälters reflektierenden Streulichtes von  $10^\circ$  kaum mehr als 1% der bei  $170^\circ$  gemessenen Gesamtintensität des Streulichtes beträgt (s. Abb. 6).

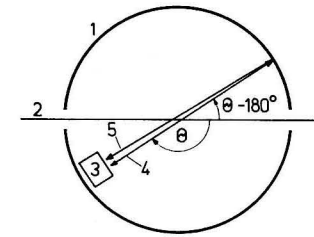


Abb. 6. Darstellung der Reflexionsverhältnisse im Probenbehälter

- |   |  |
|---|--|
| 1 — Wandung des Probenbehälters                       | 4 — Streulicht unter dem Streuwinkel $\theta$  |
| 2 — Primärstrahl                                      | 5 — An der Wandung des Probenbehälters reflektiertes Streulicht des Winkels $\theta - 180^\circ$ |
| 3 — Optisches System zur Ausblendung des Streulichtes |  |

Der Probenbehälter ist mit zwei Glasfenstern für den Eintritt bzw. Austritt des Primärlichtes versehen. Das Austrittsfenster ist so angeordnet, daß der Einfallswinkel des Primärlichtes auf dieses Fenster etwa  $45^\circ$  beträgt. Dadurch wird verhindert, daß das an diesem Fenster reflektierte Primärlicht in das Innere des Probenbehälters gelangt und zu einer Verfälschung der Meßwerte führt. Trifft das Primärlicht senkrecht auf das Austrittsfenster und wird nur 0,1% dieses Lichtes an der Grenzfläche Probe — Glasfenster reflektiert, so kann bei Meerwasser bei einem Streuwinkel von  $160^\circ$  schon ein Fehler bis etwa 30% auftreten, denn es wird neben dem „echten“ Streulicht von  $160^\circ$  noch das Streulicht von  $20^\circ$  des reflektierten Teiles des Primärstrahles registriert.

Die zu untersuchende Wasserprobe wird von oben in den Probenbehälter gegossen. Der Abfluß erfolgt nach Beendigung der Messung über einen Absperrhahn.

Diese beim PSP 75 bei dem Probenbehälter angewandte konstruktive Lösung hat gegenüber den allgemein verwendeten Glasküvetten zwei wesentliche Vorteile:

Der Probenwechsel geht schnell und unproblematisch vor sich. Zum anderen entfallen aufwendige Reinigungsprozeduren, wie sie bei der Verwendung von Glasküvetten unumgänglich sind (Glasküvetten müssen von innen und außen gut gereinigt werden). Diese Vorteile wiegen besonders beim See-Einsatz, wo man außerdem noch mit einem höheren Verschleiß von Glasgeräten rechnen muß. Die Vergrößerung der benötigten Probenmenge, 120 ml gegenüber 20—50 ml bei Glasküvetten, ist bei der Untersuchung von Meerwasser unkritisch, da normalerweise weitaus größere Probenmengen zur Verfügung stehen. Das optische System zur Ausblendung des Streulichtes beim PSP 75 stellt gegenüber den bisher gebauten Laborstreulichphotometern ebenfalls eine neue konstruktive Lösung dar. Dieses optische System, bestehend aus einem 90°-Prisma mit verspiegelter Hypothenusenfläche, zwei Blenden und einem Doppelprisma, ist als kompakter Block ausgebildet, der horizontal und vertikal justierbar gehalten ist und mit seinem unteren Teil, dem 90°-Prisma, in die zu untersuchende Meerwasserprobe taucht (Abb. 5). Das gestreute Licht wird zunächst an dem 90°-Prisma mit verspiegelter Hypothenusenfläche aus der horizontalen in die vertikale Richtung umgelenkt und durch zwei Blenden von je 3 mm  $\varnothing$  und einem Abstand von 85 mm wird ein Streulichtbündel mit hinreichend kleiner Strahlendivergenz ausgeblendet. Dieses Streulichtbündel wird von dem Doppelprisma durch zweimalige Totalreflexion parallel versetzt, so daß es das optische System in der Drehachse dieses Systems verläßt. D. h. unabhängig von der jeweiligen Winkelstellung zum Primärstrahl trifft der ausgeblendete

Streulichtanteil immer einen festen Punkt auf dem Gehäusedeckel. An dieser Stelle ist der Gehäusedeckel durchbrochen und von außen ein Photometerkopf, der als Lichtempfänger einen Photovervielfacher enthält, angeflanscht. Durch diese feste Anordnung des SEV war es möglich, die äußeren Abmessungen des Goniometerbauteils entsprechend klein zu halten ( $48 \times 25 \times 34$  cm). Zwischen Gehäusedeckel und Photometerkopf befindet sich ein Übergangsstück, in dem verschiedene neutrale Graufilter in den Lichtweg gebracht werden können. Der Photometerkopf selbst ist mit einem standardisierten Koppelflansch versehen und läßt sich innerhalb weniger Sekunden komplett gegen einen anderen auswechseln.

Das optische System zur Ausblendung des Streulichtes wird von einem Wechselstromtriebemotor (15 U/min) über ein Schneckengetriebe (Übersetzung 1:180) bewegt. Dazu ist das optische System fest auf das Schneckenrad montiert. Bei einer Umdrehung der Welle, auf dem die Schnecke sitzt, wird das optische System also um  $2^\circ$  weiter bewegt. An der Schneckenwelle ist eine Vorrichtung angebracht, die jeweils nach einer halben Umdrehung der Welle, d. h. auf die Bewegung des Schneckenrades bezogen nach jeweils  $1^\circ$  einen elektrischen Kontakt schließt. Die Anzeige der Winkel erfolgt in der Steuereinheit zum Goniometerbauteil. Der Drehbereich des Schneckenrades wird durch zwei verstellbare Anschläge begrenzt. Praktisch realisierbar ist ein Winkelbereich von  $0-170^\circ$ . Eine Rutschkupplung zwischen Motor und Schneckenwelle verhindert nach Erreichen eines Anschlages eine Überlastung des Antriebssystems.

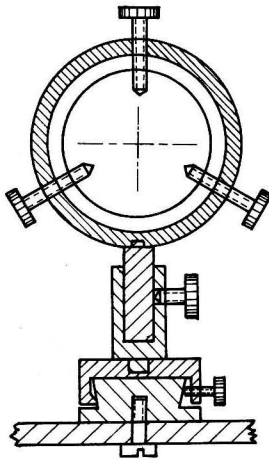


Abb. 7. Querschnitt durch die optische Bank

Die optische Bank im PSP 75 (Abb. 7) wird benötigt, wenn statt der Laserlichtquelle eine andere konventionelle Lichtquelle eingesetzt wird. Sie ist so konstruiert, daß man mit ihrer Hilfe verschiedene Beleuchtungstechniken realisieren kann [4, 5]. Alle Blenden und Linsen sind austauschbar und lassen sich in Längsrichtung beliebig verschieben. Auch eine seitliche genaue Justierung ist möglich. Als Lichtfilter sind Metallinterferenzfilter (Hersteller: VEB Carl Zeiss Jena) vorgesehen; es können aber auch andere Filter verwendet werden.

Das Rührwerk, bestehend aus 24 V Gleichstrommotor mit angebaute kleinen Propeller, ist seitlich am Probenbehälter befestigt. Die Drehzahl des Motors läßt sich von der Steuereinheit aus stufenlos regeln.

#### 4.2. Steuereinheit zum Goniometerbauteil

Die Steuereinheit ist mit dem Goniometerbauteil über ein 12-adriges Kabel mit Steckverbindern des VEB Mikrophontechnik Gefell verbunden. Mit der Steuereinheit lassen sich folgende Betriebszustände schalten:

Motor (des Antriebssystems) ein „0—180““

Motor ein „180—0““

Motor „stop“

Rührwerk „ein—aus“

Die Spannungen für den Motor des Antriebssystems und das Rührwerk lassen sich stufenlos regeln.

Registriert wird die Drehbewegung des optischen Systems für das gestreute Licht (Anzeige des jeweiligen Winkelstandes) und das Erreichen der Endanschläge (rote Signallampe). Der von der Winkelzähleinrichtung gelieferte Spannungsimpuls (+20 V gegen Masse) liegt an einem gesonderten Ausgang an und kann zur Steuerung einer eventuell eingesetzten Meß- und Registerelektronik (z. B. Meßwertumsetzer mit Drucker) verwendet werden.

#### 4.3. Integrator

Bedingt durch die Konstruktion der Meßzelle und des optischen Systems zur Ausblendung des Streulichtes ist das Streuvolumen beim PSP 75 relativ klein. Es beträgt bei einem Streuwinkel von  $90^\circ$  nur etwa  $10 \text{ mm}^3$ . Bei den natürlich vorkommenden Meerwassersuspensionen ist die Zahl der in einem solchen kleinen Volumen momentan vorhandenen Streuzentren (größere suspendierte Teilchen) starken statistischen Schwankungen ausgesetzt. Dies macht sich bei der Messung des vom Photovervielfacher gelieferten Stromes störend bemerkbar, da dieser entsprechende Schwankungen zeigt. Bei einer minimalen Frequenz von ca. 2 Hz beträgt die Amplitude dieser Schwankungen bis zu 50% des mittleren Wertes. Damit macht sich eine Mittelung des Photostromes über einen bestimmten Zeitraum erforderlich.

Die Mittelung wird mit einem elektronischen, quartzesteuerten Analogintegrator durchgeführt, der an den Schreiberanalogausgang des MV 40 angeschlossen ist. Als Integrationszeit haben sich 10 Sekunden als günstig erwiesen. Die Integrationskonstante wurde so gewählt, daß bei konstantem Vollausschlag des MV 40 (unabhängig vom jeweiligen Meßbereich) nach Ablauf der Integrationszeit eine Spannung von 10 V am Integratorausgang anliegt. Der am Integratorausgang gemessene Spannungswert kann somit leicht auf den mittleren Photostrom umgerechnet werden.

#### 4.4. Lichtquelle

Da sich die Lichtquelle außerhalb des Goniometerbauteils befindet, läßt sich prinzipiell jede für Lichtstreuuntersuchungen geeignete Beleuchtungseinrichtung verwenden. Zur Zeit befinden sich zwei Lichtquellen im Einsatz:

Ein He-Ne-Laser vom Typ LA 1000 (ca. 0,4 mW Leistung, Wellenlänge ca. 633 nm) der Firma Metra Blansko, CSSR, und eine 30 W Lichtwurflampe (der Einsatz einer leistungsstärkeren Lampe ist vorgesehen). Der He-Ne-Laser wird zur genauen Messung

der Winkelabhängigkeit der Lichtstreuung verwendet. Bei seinem Einsatz kann im Winkelbereich von 5–170° gearbeitet werden. Die Begrenzung des Winkelbereiches für die Messung des Streulichtes auf 5–170° gegenüber dem praktisch realisierbaren Winkelbereich von 0–170° ist durch die spezielle Konstruktion des Systems zur Ausblendung des Streulichtes bedingt. Wird bei Winkeln kleiner 5° gearbeitet, so gelangt ein Teil des Primärstrahles mit auf die Photokathode des SEV. Zur Untersuchung der spektralen Abhängigkeit der Lichtstreuung wird die Lichtwurf Lampe eingesetzt. Die Befestigung des Lampengehäuses der Lichtwurf Lampe erfolgt mittels Koppelstück, in dem sich ein Kondensortsystem befindet, am Gehäuse der Goniometereinheit.

### 5. Die Kalibrierung des PSP 75

Mit dem Streulichtphotometer werden zunächst relative Werte der Volumenstreuungsfunktion  $\beta(\Theta)$  gemessen. Es ist aus verschiedenen Gründen aber günstiger, die Funktion  $\beta(\Theta)$  in absoluten Werten zu erhalten. Zu einer entsprechenden Umrechnungsformel (Relativwerte in Absolutwerte) führen folgende Überlegungen (s. auch [12]):

Der unter dem Streuwinkel  $\Theta$  gemessene relative Wert  $R(\Theta)$  ist der in Richtung  $\Theta$  in den Raumwinkel  $d\omega$  gestreuten Lichtintensität  $dI(\Theta)$  proportional (s. Abb. 8).

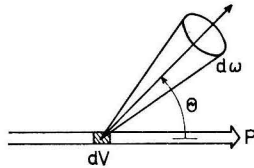


Abb. 8. Schematische Darstellung der Streuverhältnisse

$P$  — Primärstrahl  
 $dV$  — Streuvolumen  
 $\Theta$  — Streuwinkel

$d\omega$  — durch die Geometrie des optischen Systems zur Ausblendung des Streulichtes festgelegter Raumwinkel, der vom Streulicht des Streuwinkels  $\Theta$  ausgeleuchtet wird

$$R(\Theta) \cdot K = dI(\Theta) \cdot d\omega \quad (1)$$

$K$  ist der Proportionalitätsfaktor, der von der Geometrie und der Meßelektronik des Gerätes bestimmt wird.

Die Volumenstreuungsfunktion ist definiert zu

$$\beta(\Theta) = \frac{dI(\Theta)}{E \cdot dV} \quad (2)$$

Dabei ist  $dV$  die Größe des Streuvolumens, aus dem die gestreute Lichtintensität  $dI(\Theta)$  kommt und  $E$  ist die Lichtstärke, mit der das Streuvolumen ausgeleuchtet wird. Setzt man voraus, daß das Streuvolumen in Richtung des Primärstrahles einen konstanten Querschnitt der Fläche  $A$  hat, so gilt

$$E = \frac{E_0}{A} \quad (3)$$

wobei  $E_0$  die ausgestrahlte Energie der Lichtquelle ist. Setzt man (3) in (2) ein, so erhält man für  $\Theta = 90^\circ$

$$\beta(\Theta) = \frac{dI(\Theta)}{E_0 \cdot dl} \quad (4)$$

( $dl$  ist die Länge des Streuvolumens bei  $\Theta = 90^\circ$ ), und für beliebige Streuwinkel mit der Volumenkorrektur

$$\beta(\Theta) = \frac{dI(\Theta) \cdot \sin \Theta}{E_0 \cdot dl} \quad (5)$$

Um den Zusammenhang zwischen  $R(\Theta)$  und  $\beta(\Theta)$  zu erhalten, wird Gl. (5) nach  $dI$  umgestellt und in (1) eingesetzt:

$$R(\Theta) \cdot K = \beta(\Theta) \frac{E_0 \cdot dl \cdot d\omega}{\sin \Theta} \quad (6)$$

Der Proportionalitätsfaktor  $K$  läßt sich eliminieren, wenn mit dem Streulichtphotometer auch der relative Wert  $R_0$  des Primärstrahles gemessen wird. Es gilt dann

$$R_0 \cdot K = E_0 \quad (7)$$

Aus der Kombination von Gl. (6) und (7) erhält man

$$\frac{R(\Theta)}{R_0} = \frac{\beta(\Theta) \cdot d\omega \cdot dl}{\sin \Theta} \quad (8)$$

oder

$$\beta(\Theta) = \frac{R(\Theta) \cdot \sin \Theta}{R_0 \cdot d\omega \cdot dl} \quad (9)$$

Nach (9) erhält man aus den gemessenen  $R(\Theta)$ - und  $R_0$ -Werten die Funktion  $\beta(\Theta)$  in absoluten Einheiten [ $\text{m}^{-1}$ ].

Die beiden konstanten Größen  $d\omega$  und  $dl$  werden aus der Geometrie des optischen Systems zur Ausblendung des Streulichtes bestimmt. Aus der Abb. 9 ist zu ersehen, daß  $d\omega$  durch den Abstand  $P - B_2$  und die Größe der Blende  $B_2$  festgelegt ist. Bei der gegebenen

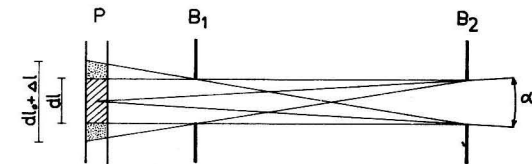


Abb. 9. Zur Geometrie des optischen Systems zur Ausblendung des Streulichtes

$P$  — Primärstrahl

$B_1, B_2$  — Lochblenden, Durchmesser je 3 mm

Anordnung ergibt sich für  $\alpha/2$  ein Wert von  $0,715^\circ$  ( $\alpha$ -Öffnungswinkel des optischen Systems zur Ausblendung des Streulichtes).

Daraus errechnet man für

$$d\omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) \quad (10)$$

den Wert von  $4,89 \cdot 10^{-4}$ .

Die Bestimmung der Länge des Streuvolumens erfordert bei dem verwendeten optischen System einige Überlegungen. Wie aus der Abb. 9 ersichtlich ist, füllt nur das Licht aus dem Bereich  $dl_0$  des Primärstrahles (schraffierter Bereich) den Raumwinkel  $d\omega = 4,89 \cdot 10^{-4}$  aus. Das aus dem Bereich  $dl_0 + \Delta l$  (gepunkteter Bereich) registrierte Licht füllt einen kleineren Raumwinkel  $4,89 \cdot 10^{-4} > d\omega > 0$  aus. In der Abb. 10 sind diese Verhältnisse

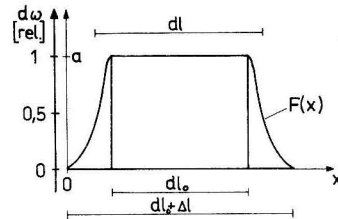


Abb. 10. Die Änderung des Raumwinkels über der Länge des Streuvolumens

unter der vereinfachenden Annahme, daß die Streuintensität in dem gesamten Bereich  $dl_0 + \Delta l$  und im Winkelbereich  $\theta \pm \alpha/2$  konstant sei, dargestellt. Da die registrierte Lichtmenge unter dieser Annahme dem Raumwinkel  $d\omega$  proportional ist, entspricht die in Abb. 10 dargestellte Kurve  $F(x)$  auch der Verteilung der registrierten Lichtmenge über den Bereich  $dl_0 + \Delta l$ . Es läßt sich eine mittlere Länge  $dl$  bestimmen, für die gilt

$$a \cdot dl = \int_0^{dl_0 + \Delta l} F(x) \cdot dx \quad (11)$$

Bei dem verwendeten System errechnet man nach Gl. (11) den Wert  $dl = 3,75 \cdot 10^{-3}$  m.

## 6. Einschätzung des PSP 75

Das PSP 75 stellt eine Kompromißlösung dar. Es erreicht nicht die Empfindlichkeit der speziellen Streulichtphotometer für die Untersuchung makromolekularer Stoffe in der Chemie [4, 6, 7]. Mit seinem Winkelbereich von  $5-170^\circ$  und einer Winkelauflösung von  $1^\circ$  ist es aber für die Untersuchung von Meerwasserproben besser geeignet als kommerzielle Geräte, die im allgemeinen einen kleineren Winkelbereich ausnutzen (ARL Photo-Gonio-Diffusometer Modell 42000:30–150°, ARL FICA 50 (Modell 50000):15–150°). Der robuste Aufbau und die kleinen Abmessungen der Goniometereinheit sowie der Aufbau der Gesamtanlage aus mehreren separaten Einheiten gestatten vorteilhaft den Einsatz des Gerätes in Schiffslaboren. Die beim Probenbehälter und dem optischen System zur Aus-

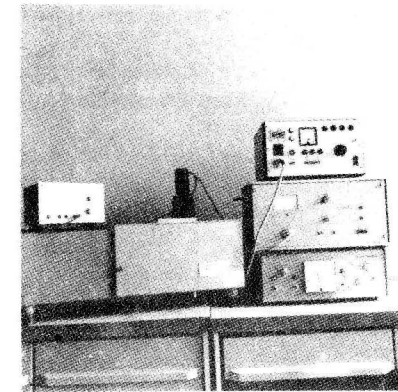


Abb. 11. Gesamtansicht des Streulichtphotometers PSP 75 (Mit He-Ne-Laser als Lichtquelle)

Foto: Lückstaedt, IfM

Links oben: DC-Milli-Pico-Meter MV 40,  
links unten: He-Ne-Laser (unter Verkleidung),  
Mitte: Goniometerteil mit aufgesetztem Photometerkopf,

rechts oben: Steuereinheit für Goniometerteil,  
rechts Mitte: Hochspannungsquelle,  
rechts unten: Stromversorgungs- und Kontrollteil für Laser

blendung des Streulichtes angewendete neue konstruktive Lösung gestattet einen schnellen und unproblematischen Probenwechsel und sichert so besonders bei der Untersuchung größerer Serien von Proben ein rationelles Arbeiten.

Das PSP 75 wurde inzwischen auf einer Reihe von meereskundlichen Expeditionen in der Ostsee und im Atlantik erfolgreich eingesetzt. Die mit diesem Gerät gewonnenen Meßwerte sind von guter Qualität und stimmen mit den für die jeweiligen Seegebiete publizierten Werte überein.

## Literatur

- [1] JERLOV, N. G., Marine Optics. Elsevier Oceanography Series Vol. 14. Amsterdam-Oxford-New York 1976.
- [2] IVANOV, A. P., Fisičeskiye osnovy gidrooptiki, Verlag „Nauka i Technika“, Minsk 1975.
- [3] GOHS, L., Untersuchung der Lichtextinktion an suspendierten Teilchen. Beitr. Meereskunde H. 33, S. 5–44, Berlin 1974.
- [4] AUGHEY, W. H. und F. J. BAUM, Angular-Dependence Light-Scattering — A High-Resolving Recording Instrument for the Angular Range  $0,05-140^\circ$ . J. Opt. Soc. Am. Vol. 44, No. 11, 833–837.
- [5] UTIYAMA, H., N. SUGI, M. KURATU und M. TAMURA, Precise Light-Scattering Studies on Dilute Polymer Solutions I. Bull. Inst. Chem. Res. Kyoto Univ. Vol. 46, No. 2, 1968.
- [6] WIMS, A. M. und M. E. MYERS, jr., An Automated, Laser Light-Scattering Photometer ( $0,1$  to  $170^\circ$  Range) with a single Photon Counting System.
- [7] CLAESSON, S. und J. ÖHMAN, Construction and calibration of a recording light scattering instrument Arkiv för Kemi, Band 23, nr 7 (1964).
- [8] MCINTYRE, D. und G. C. DODERER, Absolute Light-Scattering Photometer: I. Design and Operation. Journal of Research of the National Bureau of Standards Vol. 62, No. 4, 1959.

- [9] BEATTIE, W. H. und W. S. GALLAWAY, Light-Scattering Accessory for Beckman DK Spectrophotometers. Applied Optics, Vol. 4, December 1965.
- [10] KOZLYANINOV, M. B., Novy pribor dla ismerenija optičeskich svojstv morskoi vody, russ. (Ein neues Instrument für die Untersuchung der optischen Eigenschaften von Meerwasser) Trudy IOAN, 25, 134—142, 1957.
- [11] GÖCKE, W., G. HERMS und G. WALTER, Konstruktion eines registrierenden Streulichtphotometers hoher Auflösung für einen großen Winkelbereich. WZ der Univ. Rostock, M 5, 24, 1975.
- [12] KULLENBERG, G., Scattering of Light by Sargasso Seawater. Deep-Sea Research, 15, 1968.

Anschrift des Verfassers:

Dr. rer. nat. H. PRANDKE  
 Institut für Meereskunde  
 A. d. W. d. DDR  
 DDR-2530 Rostock-Warnemünde

## Die kontinuierliche Registrierung von Nährstoffen im Meerwasser mit einem Vierkanalanalysator

Von LUTZ BRÜGMANN und ARNO WILDE

*Zusammenfassung:* Zur kontinuierlichen Registrierung von Nitrit-, Nitrat-, Silikat- und Ammoniumkonzentrationen im oberflächennahen Wasser des Atlantiks wird ein modifizierter Vierkanalanalysenautomat eingesetzt. Es erfolgt eine genaue Beschreibung des verwendeten Gerätesystems einschließlich einer speziellen Dosiervorrichtung, die eine reproduzierbare Zugabe von Probenwasser, Spülflüssigkeit und Standardlösungen gewährleistet. Die vier Bestimmungsmethoden werden mit Hilfe von Fließdiagrammen erläutert.

Der Automat wurde im Verlaufe einer dreimonatigen Expedition in den Südostatlantik unter Feldbedingungen erprobt. Daraus resultierende Erfahrungen und Schlußfolgerungen werden mitgeteilt.

### 1. Einleitung

Die Verwendung von Technicon-AutoAnalyzern® zur Bestimmung der Nährstoffkonzentrationen im Meerwasser wurde bereits von mehreren Autoren beschrieben [1—7, 10—25]. In den letzten Jahren konnte nachgewiesen werden, daß auch der „Kontinuierliche Analysenautomat“ des VEB PGW Medingen nach entsprechender Modifizierung Nitrit-, Nitrat- und Silikatanalysen in diskontinuierlich gewonnenen Ostseewasserproben ermöglicht [8, 9]. Das Ziel weiterer Arbeiten auf diesem Gebiet bestand jetzt darin, weitere Komponenten zu registrieren, durch den Aufbau eines Mehrkanalanalysators den relativen Platzbedarf pro Bestimmung zu verringern und die Aussagekraft der aus einer Probe gewonnenen Resultate zu erhöhen sowie eine Analyse von kontinuierlich entnommenem Oberflächenwasser bei Überfahrten zu den Arbeitsgebieten bzw. zwischen den Stationen anzustreben. Es sollte dabei versucht werden, die mit Technicon-Automaten bei der kontinuierlichen Registrierung von Nährstoffkonzentrationen erhaltenen Resultate [1, 4, 14, 16, 25] auch mit dem modifizierten Vierkanalsystem zu erreichen.

### 2. Meßanordnung

Der „Kontinuierliche Analysenautomat“ wurde vom Hersteller in erster Linie als Einzelkanalgerät für den Einsatz in klinisch-chemischen Laboratorien konzipiert. Die in Verbindung damit angebotene Dosierpumpe für maximal 32 Schläuche, die formgünstig und gering dimensionierten Kolorimeter sowie die auch relativ kleinen und übereinander anzuordnenden Kompensationsschreiber schienen jedoch bei entsprechender Anpassung eine

gute Grundlage zum Aufbau einer Vierkanalvariante zu bilden. Dazu mußten vor allem Veränderungen am Reaktionssystem vorgenommen werden. Verbindungs-, Winkel- und Mischstücke sowie andere Glasteile, z. B. Mischwendeln, Zweifachverteiler, Doppelwinkel und Umlenkstücke, wurden so auf dem verbreiterten Träger des Thermostaten angeordnet, daß alle vier Systeme nebeneinander lagen und jederzeit zugänglich bzw. auswechselbar waren. Um zusätzliche Turbulenzquellen, die bei der Verwendung von Schlauchmuffen auftreten, zu vermeiden, wurden die einzelnen Glasteile vielfach fest miteinander verschmolzen. Es kam eine thermostatierte Vierfachreaktionswendel zum Einsatz, die voll belegt wurde. Zur Ammoniumbestimmung diente darüber hinaus eine 20 ml-Wendel, die sich in einem Gefäß befand, das von einem kleineren externen Thermostaten gespeist wurde.

Die Andrucksegmente der Dosierpumpe mußten leicht verändert werden, um auch das reproduzierbare Fördern geringer Reagenzmengen zu gewährleisten. Die Pumpschläuche bestanden aus PVDC (Polyvinylidenchlorid). Die Kolorimeter wurden nebeneinander in einem Gestell untergebracht, das den Transport erleichterte und eine stabile Lage auch unter Bordbedingungen sicherte.

Die Entnahme der Proben vom fahrenden Schiff erfolgte über eine schnellfördernde Kreiselpumpe ( $> 100$  l/min) direkt aus etwa 5 m Tiefe. Einem Überlaufgefäß im Meßraum würden dann mit einer Laborpumpe 20 l/h entnommen und einem Dosierautomaten zugeführt, der anstelle des für diskontinuierlich gewonnene Proben üblichen Probenspeichers das Vierkanalsystem in regulierbaren Abständen mit Meerwasser, Spülflüssigkeit oder Standardlösungen beschickte. Bei verankertem oder driftendem Schiff wurde die Laborpumpe direkt zur Probenentnahme eingesetzt.

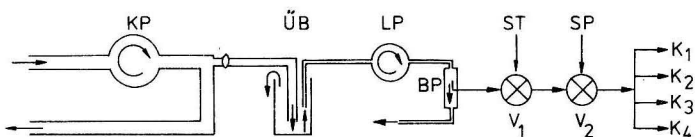


Abb. 1. Schematische Darstellung der Probendosierung

KP	—	Kreiselpumpe	ST	—	Standards
ÜB	—	Überlaufgefäß	SP	—	Spülflüssigkeit
LP	—	Laborpumpe	K <sub>1-4</sub>	—	Analysenkanäle
V <sub>1,2</sub>	—	Ventile	BP	—	„by-pass“

Die Dosiervorrichtung beinhaltet im wesentlichen den „bypass“ und zwei elektromagnetisch betätigte Ventile  $V_1$  und  $V_2$ , die über entsprechende Relais geschaltet wurden. Die Steuerung dieser Relais erfolgte mit Hilfe einer Schaltuhr, die aus einem Synchronmotor mit aufgesetzten Kontaktscheiben bestand.

Neben der automatischen Steuerung war dabei eine manuelle Regulierung möglich, so daß die Funktionsweisen „Spülung“, „Standard“ und „Probe“ beliebig lange eingeschaltet oder das laufende Programm an beliebigen Stellen unterbrochen bzw. von neuem abgearbeitet werden konnte. Im stromlosen Zustand lag immer die Ventilstellung „Spülung“ vor. Bei automatischem Betrieb wurde in einer Stunde neunmal die Schaltung „Probe“ und einmal die Funktion „Standard“ realisiert. Zwischen den einzelnen Meerwasser- oder Standardproben wurde Spülflüssigkeit dosiert. Das Verhältnis zwischen Probenahme- und Spülzeit betrug dabei 1:1 (jeweils 3 min). Aus der Probenfrequenz von 10/h resultieren

als Ergebnisse Meßwerte, die über 3 min integriert waren. Eine höhere Probenrate war unzweckmäßig, da die Ammoniumbestimmung bei geringen Probe- und Spülzeiten unreproduzierbar wurde und andererseits dann auch bei den übrigen Parametern nicht der „steady-state“-Zustand zu erreichen war.

Im einzelnen bestand die Meßanordnung aus folgenden Einzelgeräten:

- 1 Analysenpumpe Typ 312646: 1.0300 — Laborpumpe (VEB Reglerwerk Dresden),
- 1 Dosierautomat (Eigenbau),
- 1 Dosierpumpe DP 2-2 mit Anbauteil (VEB MLW Labortechnik Ilmenau),
- 1 Thermostat Typ U 10 A (VEB PGW Medingen) mit einem 4-fach Glasreaktionssystem (Eigenbau),
- 1 Thermostatiergefäß für 20 ml-Wendel (Eigenbau),
- 1 Thermostat Typ 03 (VEB PGW Medingen),
- 4 Durchflußkolorimeter Typ DFK 1 mit 5 V-Wolframlampe (VEB PGW Medingen),
- 2 Wechselspannungsregler Typ 1200 (VEB Statron Fürstenwalde),
- 4 Kompensationsschreiber Typ TZ 212 S (Laborgeräte Prag, CSSR).

Der Platzbedarf des beschriebenen Gerätesystems lag etwa bei  $0,6 \times 2$  m.

Gegenwärtig ist der Vierkanalanalysator für den Einsatz bei diskontinuierlich gewonnenen Wasserproben noch nicht geeignet, da bei einem Probenbedarf von etwa 10–15 ml in Verbindung mit dem Probenspeicher APS 2-N jeweils nur 3 ml zur Verfügung stehen. Es ist geplant, durch Veränderungen an den Probenkassetten, dem Schrittvorschub und der Kassettenauswerfvorrichtung Gefäße mit etwa 25 ml einzusetzen und damit diese Anwendungslücke für den Automaten zu schließen.

### 3. Bestimmungsmethoden

Die Abb. 2–5 zeigen die detaillierten Fließdiagramme für die automatische Bestimmung von Nitrit-, Nitrat-, Silikat- und Ammoniumkonzentrationen im Meerwasser. Das von der Pumpe geförderte Flüssigkeitsvolumen wird dabei jeweils in ml/min angegeben. Als Spülflüssigkeit diente nährstoffarmes Oberflächenwasser aus dem Atlantik. Versuche mit künstlichem Meerwasser und destilliertem Wasser schlugen fehl, da hohe Blindwerte für Nitrat und Ammonium auftraten und bei der Bestimmung geringer Silikat-, Nitrit- oder Ammoniummengen „negative“ Salzpeaks, verursacht durch die unterschiedliche Dichte von Proben- und Spülflüssigkeit, zu verzeichnen waren. Zur Eichung der Meßapparatur fand ein Mischstandard Verwendung, der mehrmals täglich frisch bereitet wurde. Die Reagenzlösungen wurden filtriert und zwischen den Messungen kühl und dunkel aufbewahrt. Zu ihrer Bereitung diente doppelt destilliertes Wasser, das zur Herstellung der Reagenzien für die Ammoniumbestimmung unmittelbar vor der Verwendung zusätzlich über verdünnter Schwefelsäure destilliert wurde.

#### 3.1. Nitrit (Abb. 2)

Reagenz A 1: 5 g Sulfanilsäureamid (krist.) werden in 50 ml konzentrierter Salzsäure (HCl, z. A.) und etwa 500 ml Wasser gelöst und auf 1000 ml gebracht. Das Reagenz ist mehrere Monate stabil.



**Reagenz B 1:** 0,5 g N-(1-naphthyl)-äthylendiamindihydrochlorid werden in 1000 ml Wasser gelöst und in einer braunen Glasflasche aufbewahrt. Diese Lösung muß erneuert werden, wenn eine Braunfärbung einsetzt. Die Stabilität des Reagenzes hängt dabei vor allem von der Qualität der organischen Chemikalie ab.

**Standard:** Wasserfreies Natriumnitrit ( $\text{NaNO}_2$ , z. A.) wird 1 h bei  $100^\circ\text{C}$  getrocknet. 0,690 g werden in 1000 ml Wasser gelöst. Diese Stammlösung enthält  $10\ \mu\text{g-at. NO}_2^-$ -N/ml. Sie wird in einer braunen Glasflasche aufbewahrt und durch die Zugabe einiger Tropfen Chloroform konserviert. Da der Gehalt an  $\text{NaNO}_2$  in kommerziell erhältlichem Natriumnitrit häufig unter 100% liegt, empfiehlt sich ein Abgleich gegen einen Nitratstandard.

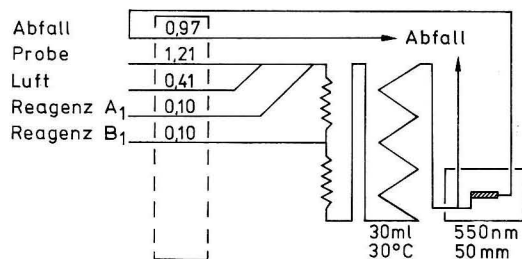


Abb. 2. Nitritbestimmung

### 3.2. Nitrat (Abb. 3)

**Reagenz A 1 und B 1** wie bei der Nitritbestimmung.

**Reagenz C 1:** 10 g Ammoniumchlorid ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ , z. A.), das zur Verringerung seines Nitratgehalts vor Gebrauch umkristallisiert wurde, werden in 1000 ml Wasser gelöst. Der pH-Wert wird mit Ammoniak (etwa 1,5 ml konz.  $\text{NH}_3$ ) auf 8,5 gebracht.

**Kadmiumreduktor:** Als Reduktionssäule dient ein U-förmiges Glasrohr mit einem Innendurchmesser von 3 mm und einer Gesamtlänge von 180 mm. Die Säulenfüllung besteht aus Kadmiumfeilspäne, die mit einem Magneten von Eisenresten befreit, entfettet, kurzzeitig mit konzentrierter Salzsäure behandelt, durch Schütteln mit gesättigter Quecksilber(II)chloridlösung amalgamiert und dann gründlich gewaschen wurden. Nach dem Hindurchleiten von etwa 20 ml Probenwasser mittleren Nitratgehalts ist der Reduktor einsatzbereit.

**Standard:** Kaliumnitrat ( $\text{KNO}_3$ , z. A.) wird 1 h bei  $100^\circ\text{C}$  getrocknet. 1,011 g werden in 1000 ml Wasser gelöst. Diese Stammlösung enthält  $10\ \mu\text{g-at. NO}_3^-$ -N/ml.

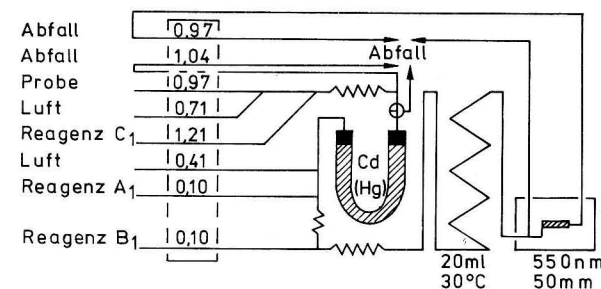


Abb. 3. Nitratbestimmung

### 3.3. Silikat (Abb. 4)

**Molybdatlösung:** 32 g Ammoniummolybdat ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\ \text{H}_2\text{O}$ , z. A.) werden in etwa 800 ml Wasser gelöst und auf 1000 ml gebracht. Das Reagenz ist bei Aufbewahrung in einer Plasteflasche außerhalb direkter Sonnenbestrahlung ziemlich stabil und kann, solange es klar bleibt, verwendet werden.

**Schwefelsäure:** 1,25 N: 35 ml konzentrierte Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , z. A.) werden in etwa 800 ml Wasser gegeben. Nach dem Abkühlen wird auf 1000 ml gebracht. Die Aufbewahrung erfolgt in einer dickwandigen Polyäthylflasche.

**Reagenz A 2:** Die Molybdatlösung und die 1,25 N Schwefelsäure werden im Volumenverhältnis 1:1 gemischt. Dabei ist darauf zu achten, daß das Molybdat zur Schwefelsäure gegeben wird. Die Aufbewahrung erfolgt kühl und dunkel. Bei beginnender Blaufärbung ist das Reagenz zu verwerfen.

**Reagenz B 2:** 7,5 g Oxalsäure  $(\text{COOH})_2 \cdot 2\ \text{H}_2\text{O}$ , z. A.) werden in etwa 400 ml Wasser gelöst, mit 10 ml 1,25 N Schwefelsäure versetzt und auf 500 ml gebracht. Diese Lösung kann in einer Plasteflasche bei Raumtemperatur aufbewahrt werden. Sie bleibt über Monate stabil.

**Reagenz C 2:** 1,5 g Ascorbinsäure ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ , z. A.) werden in 500 ml Wasser gelöst. Das Reagenz wird unter Kühlung in einer braunen Glasflasche aufbewahrt. Es ist wirksam, solange es farblos bleibt.

**Standard:** Natriumhexafluorosilikat ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ , z. A.) wird 1 h bei  $100^\circ\text{C}$  getrocknet. 1,88 g werden in 1000 ml Wasser gelöst. Diese Stammlösung enthält  $10\ \mu\text{g-at. SiO}_3^-$ -Si/ml und ist stabil. Entsprechende Arbeitslösungen werden durch Verdünnen mit künstlichem oder natürlichem silikatarmem Meerwasser bereitet und müssen innerhalb weniger Stunden verwendet werden.

### 3.4. Ammonium (Abb. 5)

**Reagenz A 3:** 140 g Natriumzitat ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\ \text{H}_2\text{O}$ , z. A.) und 1 g Natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$ , z. A.) werden in ammoniumfreiem Wasser gelöst

und auf 1000 ml gebracht. Das Reagenz wird in einer Plasteflasche aufbewahrt und ist stabil.

Reagenz B 3:

17,5 g über Zinkstaub destilliertes Phenol ( $C_6H_5OH$ ) und 0,2 g Natriumnitroprussid ( $Na_2Fe(CN)_5NO \cdot 2 H_2O$ ) werden in ammoniumfreiem Wasser gelöst und auf 1000 ml gebracht. Das Reagenz wird in einer braunen Glasflasche kühl aufbewahrt und ist dann mindestens 1 Monat stabil. Bei einsetzender Grünfärbung ist es zu verwerfen.

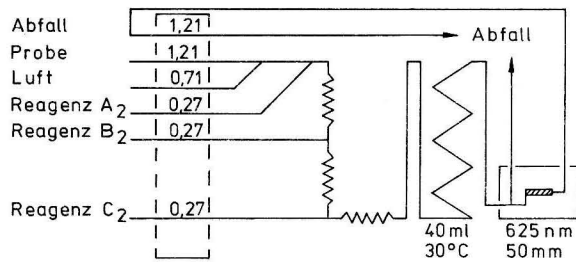


Abb. 4. Silikatbestimmung

Reagenz C 3:

20 g Natriumhydroxid ( $NaOH$ , z. A.) und 2 g DTT (Dichlor-s-triazin-2,4,6(1H,3H,5H)-trion, Na-Salz) werden in ammoniumfreiem Wasser gelöst und auf 1000 ml gebracht. Das Reagenz ist etwa 2 Tage stabil und sollte zwischen den Messungen kühl aufbewahrt werden. Es empfehlen sich zumeist kleinere Ansätze zwischen 100 und 500 ml.

Standard:

Ammoniumchlorid ( $NH_4Cl$ , z. A.) wird über konzentrierter Schwefelsäure getrocknet. Davon werden 53,5 mg in ammoniumfreiem Wasser gelöst und auf 1000 ml gebracht. Diese Stammlösung enthält 1  $\mu g$ -at.  $NH_4^+$ -N/ml. Sie wird mit einigen Tropfen Chloroform konserviert, kühl aufbewahrt und ist dann mindestens 1 Monat stabil.

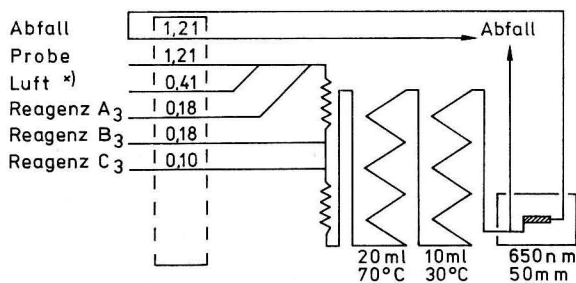


Abb. 5. Ammoniumbestimmung

\*) Die Luft wird über eine mit halbkonzentrierter Schwefelsäure gefüllte Waschflasche angesaugt

#### 4. Einsatz des Vierkanalanalysators unter Feldbedingungen

Während einer Expedition mit dem ozeanologischen Forschungsschiff „A. v. Humboldt“ in das Wasserauftriebsgebiet vor der Küste Südwestafrikas im Zeitraum September bis Dezember 1976 kam erstmals das oben beschriebene Vierkanalanalysensystem zum Einsatz. Dabei wurden auf der Anreise zum Arbeitsgebiet und während der Überfahrten zu den

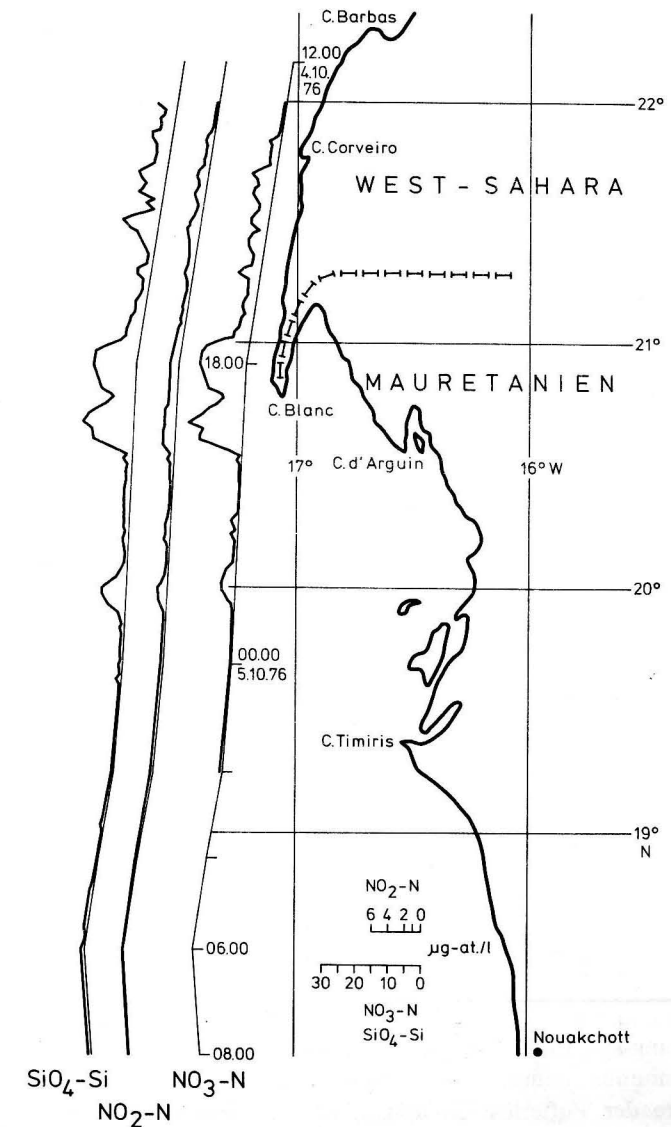


Abb. 6. Kontinuierliche Nitrit-, Nitrat- und Silikatregistrierungen im nordwestafrikanischen Wasserauftriebsgebiet zwischen Cap Barbas und Nouakchott

Versorgungshäfen Lobito und Luanda (VR Angola) automatische Registrierungen der Nitrit-, Nitrat-, Silikat- und Ammoniumkonzentrationen im oberflächennahen Wasser vorgenommen. Da die Proben im Abstand von 6 Minuten in das System eingespeist wurden und die mittlere Schiffsgeschwindigkeit bei rund 12 sm/h lag, betrug die Entfernung zwischen den Meßpunkten etwa 1,2 sm.

Untersuchungen wurden sowohl im nordwest- als auch südwestafrikanischen Wasserauftriebsgebiet durchgeführt. Auf eine weitere Auswertung der erhaltenen Ammoniumkonzentrationen wurde verzichtet, da diese auf Grund von apparativen Störungen nur sporadisch bestimmt wurden. In der Abb. 6 sind die Ergebnisse von Registrierungen zwischen Cap Barbas und Nouakchott ( $18^{\circ}$ – $22^{\circ}$  N), die vom 4.–5. Oktober 1976 erfolgten, dargestellt. Das Auftriebsgebiet im Südostatlantik wurde zwischen  $14,5^{\circ}$  und  $22^{\circ}$  S zweimal, vom 31. 10. bis 2. 11. und vom 19. bis 21. 11. 1976, untersucht. Die Messungen wurden dabei während der zweiten Aufnahme durch hydrographische Arbeiten auf den Stationen 334–341 kurzzeitig unterbrochen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können den Abb. 7 und 8 entnommen werden.

Die graphischen Darstellungen belegen, daß durch die kontinuierlichen Messungen bei fahrendem Schiff eine eindimensionale Abgrenzung von Wasserauftriebsgebieten und generell von bestimmten Wasserkörpern möglich ist. Die registrierten Absolutmengen und das Verhältnis der einzelnen Nährstoffkomponenten zueinander in Abhängigkeit vom Seegebiet und der dort anzutreffenden allgemeinen hydrographischen Situation führen in Verbindung mit anderen physikalischen, chemischen und biologischen Meßgrößen zu interessanten Schlußfolgerungen hinsichtlich des biologisch-chemischen Stoffkreislaufs, auf die hier jedoch nicht weiter eingegangen werden soll.

Während der Expedition wurden insgesamt etwa 2400 Meerwasserproben automatisch analysiert. Das Gerätesystem war rund 275 h im Einsatz, dabei mehrmals über 3 Tage hintereinander und auch teilweise unter extremen Bedingungen wie Raumtemperaturen bis  $44^{\circ}\text{C}$  und sehr hohen Luftfeuchtigkeiten.

Der Einsatz des Analysators an Bord brachte zusätzlich folgende Erfahrungen:

- Eine Stabilisierung der Spannung ist erforderlich, da im Schiffsnetz erhebliche Schwankungen auftreten können.
- Der freie Ablauf vom Luftabscheider sollte ein starkes Gefälle besitzen, um Stauungen bei starken Schiffsbewegungen zu vermeiden.
- Der Nitratkanal arbeitete sehr stabil. Innerhalb von 24 h wurde keine Veränderung der Standards festgestellt. Zwischen  $0,5$  und  $30\ \mu\text{g-at. NO}_3^- \text{-N/l}$  wurde eine lineare Eichkurve aufgenommen. Dabei war die Drift des Schreibers sehr gering.
- Beim Nitritkanal kam es zu einer Drift von etwa 1 Skalenteil/h. Die Standards blieben etwa 2–3 h stabil. Die Eichkurve verlief im Bereich von  $0,08$ – $3,0\ \mu\text{g-at. NO}_2^- \text{-N/l}$  linear.
- Die Silikatbestimmung bereitete ebenfalls kaum Schwierigkeiten. Die Standards waren etwa 6 h stabil. Eichkurven verliefen von  $0$ – $100\ \mu\text{g-at. SiO}_4^{2-} \text{-Si/l}$  linear. Nach etwa 2–3 Tagen ununterbrochenen Registrierungen kam es zu Molybdänsäureniederschlägen im Leitungssystem, die sich leicht mit verdünnter Natronlauge entfernen ließen.
- Die Ammoniumbestimmung war stark von einer genauen Dosierung der Reagenzien, insbesondere der Pufferlösung, abhängig. Bei Abwesenheit von Nitrit blieben die

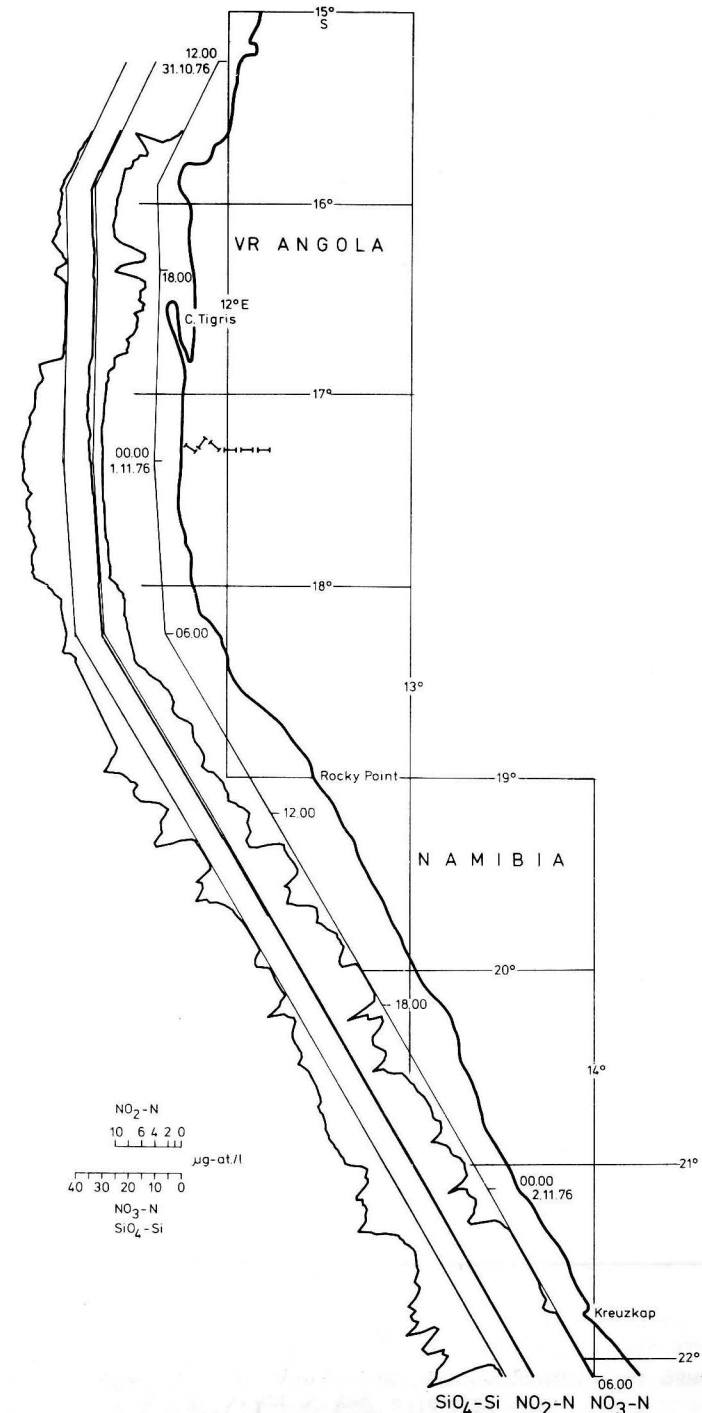


Abb. 7. Kontinuierliche Nitrit-, Nitrat- und Silikatregistrierungen im südwestafrikanischen Wasserauftriebsgebiet zwischen  $15^{\circ}$  und  $22^{\circ}$  S (31. 10.–2. 11. 1976)

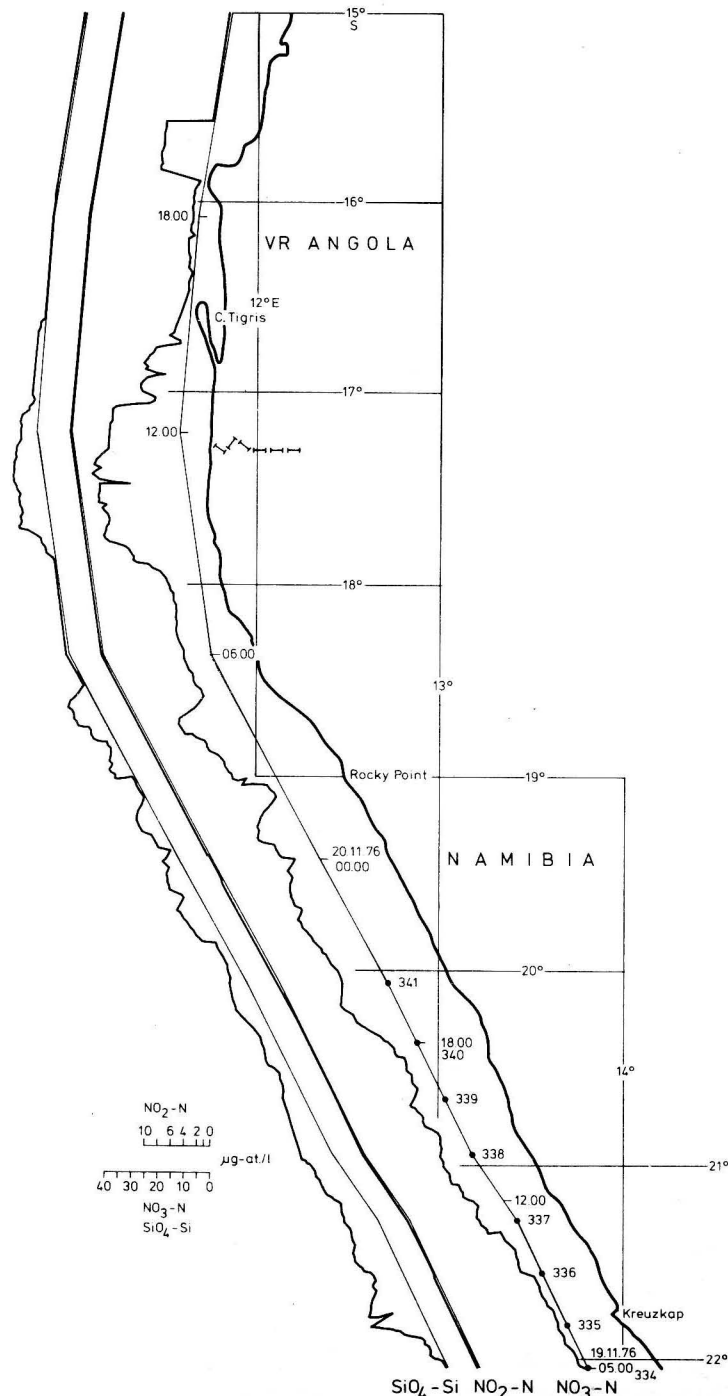


Abb. 8. Kontinuierliche Nitrit-, Nitrat- und Silikatregistrierungen im südwestafrikanischen Wasserauftriebsgebiet zwischen 22 und 15° S (19. 11.—20. 11. 1976)

Standards ungefähr 3 h stabil. Das System wurde so eingestellt, daß Konzentrationen zwischen 0 und 4 µg-at. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/l gemessen werden konnten.

## 5. Schlußfolgerungen

Bei der Erarbeitung der Analysenmethoden, dem Aufbau des Vierkanalsystems und dessen ersten Einsatz an Bord eines Schiffes ergaben sich mehrere Hinweise für weitere Aktivitäten auf dem Gebiet der Automatisierung von Nährstoffbestimmungen:

- Bei einer Kopplung der engabständigen Registrierung der Verteilung von Nährstoffen mit kontinuierlichen Salzgehalts- und Temperaturmessungen könnten wichtige Aussagen über das Ausmaß von Auftriebsvorgängen abgeleitet werden.
- Kommt es zu einem verstärkten Einsatz des Gerätesystems, sollte man zu zweidimensionalen Nährstoffaufzeichnungen übergehen, um zumindestens die seewärtigen Grenzen des Auftriebs zu lokalisieren. Die im Wechsel küstensenkrecht und küstenparallel zu fahrenden ozeanographischen Schnitte könnten zweckmäßigerweise mit vollen hydrographischen Serien kombiniert werden, um Anhaltspunkte über alle drei räumlichen Dimensionen zu erlangen.
- Zur vollen Absicherung der unter b) gestellten Forderungen sind künftig die Anstrengungen darauf zu konzentrieren, durch einen Umbau des Probenspeichers APS 2-N die Analyse diskontinuierlich geschöpfter Proben zu realisieren. Ein nach Abgabe des Manuskripts ausgeführter Umbau des APS 2-N zur Aufnahme von 30 ml-Probengefäßen bewährte sich auf einer Expedition in den Südostatlantik (September—Dezember 1979) bei der Vierkanal-Nährstoffanalyse mehrerer tausend diskontinuierlich geschöpfter Proben.

## 6. Literatur

- ARMSTRONG, F. A. J., C. R. STEARNS und J. D. H. STRICKLAND, The measurement of upwelling and subsequent biological processes by means of the Technicon AutoAnalyzer® and associated equipment. *Deep-Sea Res.*, **14** (1967) 381—389.
- ATLAS, E. L., S. W. HAGER, L. I. GORDON und P. K. PARK, A practical manual for use of the Technicon AutoAnalyzer in seawater nutrient analyses. Technical Report 215, Ref. 71-22, Corvallis/Oregon 1971.
- BENESCH, R. und P. MANGELSDORF, Eine Methode zur kolorimetrischen Bestimmung von Ammoniak im Meerwasser. *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, **23** (1972) 365—375.
- BERNHARD, M. und G. MACCHI, Anwendung und Möglichkeiten der automatischen chemischen Analyse mit dem AutoAnalyzer in der Ozeanographie. *Automation Anal. Chem.*, (1965) 83—93.
- BREWER, P. G. und J. P. RILEY, The automatic determination of nitrate in sea water. *Deep-Sea Res.*, **12** (1965) 765—772.
- BREWER, P. G. und J. P. RILEY, The automatic determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. *Anal. Chim. Acta*, **35** (1966) 514—519.
- BREWER, P. G. und J. P. RILEY, A study of some manual and automatic procedures for the determination of nitrate and silicate in ocean water. *Deep-Sea Res.*, **14** (1967) 475—477.
- BRÜGMANN, L., Anwendung des kontinuierlichen Analysenautomaten zur simultanen Bestimmung von Nitrit/Nitrat im Meerwasser. *Labortechnik*, **8** (1975) 28—31.
- BRÜGMANN, L., Die automatische Bestimmung von Nitrat, Nitrit und Silikat im Ostseewasser. *Beitr. Meereskunde*, **38** (1976) 95—102.

- [10] CHAN, K. M. und J. P. RILEY, The automatic determination of phosphate in sea water. *Deep-Sea Res.*, **13** (1966) 467—471.
- [11] CHAN, K. M. und J. P. RILEY, The automatic determination of fluoride in sea water and other natural waters. *Anal. Chim. Acta*, **35** (1966) 365—369.
- [12] GRASSHOFF, K., Über automatische Methoden zur Bestimmung von Fluorid, gelöstem anorganischem Phosphat und Silikat im Meerwasser. *Kieler Meeresforsch.*, **22** (1966) 42—46.
- [13] GRASSHOFF, K., Über eine empfindliche und direkte Methode zur automatischen und manuellen Bestimmung von Ammoniak im Meerwasser. *Z. anal. Chem.*, **234** (1968) 13—22.
- [14] GRASSHOFF, K., A simultaneous multiple channel system for nutrient analysis in seawater with analog and digital data record. *Advances in automated analysis*, (1970) 133—145.
- [15] GRASSHOFF, K. und K. M. CHAN, An automatic method for the determination of hydrogen sulphide in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, **53** (1971) 442—445.
- [16] GRASSHOFF, K. und M. EHRHARDT, Automated chemical analysis. In: K. GRASSHOFF: *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie Weinheim/New York 1976, 263—297.
- [17] GRASSHOFF, K. und H. JOHANNSEN, A new sensitive and direct method for the automatic determination of ammonia in sea water. *J. Cons. int. Explor. Mer.*, **34** (1972) 516—521.
- [18] HAGER, S. W., E. L. ATLAS, L. I. GORDON, A. W. MANTYLA und P. K. PARK, A comparison at sea of manual and AutoAnalyzer analyses of phosphate, nitrate and silicate. *Limnol. & Oceanogr.*, **17** (1972) 931—937.
- [19] HEAD, P. C., An automated phenolhypochlorite method for the determination of ammonia in sea water. *Deep-Sea Res.*, **18** (1971) 531—532.
- [20] HENRIKSEN, A., An automatic method for determining low-level concentrations of phosphates in fresh and saline waters. *Analyst*, **90** (1965) 29—34.
- [21] HENRIKSEN, A., An automatic method for determining nitrate and nitrite in fresh and saline waters. *Analyst*, **90** (1965) 83—88.
- [22] HENRIKSEN, A. und A. R. SELMER-OLSEN, Automatic methods for determining nitrate and nitrite in water and soil extracts. *Analyst*, **95** (1970) 514—518.
- [23] MAC ISAAC, J. J. und R. K. OLUND, An automated extraction procedure for the determination of ammonia in seawater. *Inv. Pesq.*, **35** (1971) 221—232.
- [24] SLAWYK, G. und J. J. MAC ISAAC, Comparison of two automated ammonium methods in a region of coastal upwelling. *Deep-Sea Res.*, **19** (1972) 521—524.
- [25] WEICHART, G., Kontinuierliche Registrierung der Temperatur und der Phosphat-Konzentration im Oberflächenwasser des nordwestafrikanischen Auftriebswassergebietes. *Dt. hydrogr. Z.*, **23** (1970) 49—60.

Anschriften der Verfasser:

Dr. L. BRÜGMANN und A. WILDE  
 Institut für Meereskunde der AdW der DDR  
 DDR-2530 Rostock-Warnemünde

## Bibliographie über Literatur zur „Ozeanologischen Meßtechnik“ in der DDR ab 1960

### 1. Physik

#### 1.1. Temperatur

- BAUDLER, H., Über eine Anlage zur Messung kurzperiodischer Wassertemperaturfluktuationen. *Beiträge zur Meereskunde*. (1977) 39, S. 17—23.
- FRANCKE, E., Einige Erfahrungen mit den Tiefseekippthermometern des VEB Thermometerwerke Gera-Berg/Thür. *Beiträge zur Meereskunde*. (1965) 16, S. 15—19.
- und R. RIEKHER, Eine parallaxefreie Lupe mit eingebauter Beleuchtung zum Ablesen von Tiefseekippthermometern. *Beiträge zur Meereskunde*. (1968) 22, S. 19—23.
- MATTHÄUS, W., The historical development of methods and instruments for the determination of depth-temperatures in the sea in situ. *Bull. Inst. Océanogr.* **1** (1968) No. spéc. 2, S. 35—47.
- Die historische Entwicklung der meereskundlichen Temperaturmeßgeräte für größere Tiefen. *NTM — Schriftenreihe Gesch., Naturwiss. Techn. Med.* **3** (1966) 8, S. 58—73.
- und R. WANKE, Ein fernregistrierendes Temperaturmeßgerät zur Untersuchung der thermischen Struktur von ozeanischen Deckschichten, Schelfgewässern und Binnengewässern. *Beiträge zur Meereskunde*. (1965) 16, S. 37—40.
- VOIGT, K., R. HELM, H.-U. LASS, F. MÖCKEL und M. STRUM, Vorläufige Ergebnisse der GATE-Expedition des Forschungsschiffs „A. von Humboldt“ in den äquatorialen Atlantik im Juli/August 1974. *Beiträge zur Meereskunde*. (1976) 37, S. 7—27.
- WOLF, G., Über die Trägheit der druckgeschützten und druckungeschützten Umkippthermometer des VEB Glaswerke Ilmenau sowie ihre Brauchbarkeit zur thermometrischen Tiefenmessung auf See. *Fein-gerätetechnik*. **9** (1960) 6, S. 249—252.

#### 1.2. Strömung

- FRANCKE, E. u. a., An intercomparison of some current meters. II. *Unesco technical papers in marine science*. Paris, 1974. 116 S.
- An intercomparison of some current meters. III. *Unesco technical papers in marine science*. Paris, 1975. 42 S.
- FRANCKE, E. und F. MÖCKEL, Zwischenbericht zum Teilthema „Internationale Vergleiche von ozeanologischen Meßmethoden und Geräten in Zusammenarbeit mit der Sowjetunion“. Warnemünde: Institut für Meereskunde, 1971. (unveröffentlichter Bericht)
- FRANCKE, E., D. BÖHL, U. LASS, F. MÖCKEL und K. VOIGT, Bericht über internationale Experimente zum Vergleich von Geräten zur Messung der Meeresströmung. *Beiträge zur Meereskunde*. (1977) 39, S. 103—106.
- HELM, R., Über die Durchführung und Bearbeitung von Strömungsmessungen des Instituts für Meereskunde in der Ostsee. *Biuletyn PIHM*. (1964) 2, S. 25—27.

- Drei neue Strömungsmesser des Instituts für Meereskunde. Beiträge zur Meereskunde. (1962) 2/3, S. 33—41.
- Strömungsmessungen in der Ostsee — Methoden und Geräte. Wiss. Zeitschrift der Karl-Marx-Univ. Leipzig. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe. **13** (1964) 3, S. 417—419.
- HUPFER, P. und H.-U. LASS, Über ein kombiniertes Strömungs- und Windmeßsystem. Beiträge zur Meereskunde. (1976) 37, S. 137—144.
- SCHÖNFELD, H.-J., Eine Anlage zur Registrierung der Komponenten von Wind und Strömung. Zeitschrift für Meteorologie. **26** (1976) 5, S. 286—288.
- A Device for Direct Recording of Wind and Current Components. Properties and Transformation of Hydrodynamical Processes in Coastal Zone of Nontidal Sea. Raporty MIR. Ser. R (1976) 2a, S. 63—67.
- SCHOMMARTZ, G., Fahrtmessung auf Schiffen. Seewirtschaft. **2** (1970) 2, S. 156—158.
- Elektronische Strömungsmessung in der Ozeanographie. Wiss. Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Univ. Rostock. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe. **24** (1975) 3, S. 407—413.
- Induktive Strömungsmessung. Berlin, 1974. 192 S.
- Der elektrodynamische Vorbeiflußmesser zur Messung freier Strömungen. Messen — steuern — regeln. **11** (1968) 1, S. 15—18.
- STRIGGOW, K., Strömungsmessung in der Brandungszone — Aufgabenstellung und Voruntersuchungen zur Lösung eines meßtechnischen Problems der Küstenforschung. Beiträge zur Meereskunde. (1966) 17/18, S. 111—126.
- Verfahren und Einrichtung zur Messung der Strömungs- und/oder Fahrtgeschwindigkeit. DDR-Patentschrift Nr. 57229 (ausgegeben 5. 8. 1967).

### 1.3. Seegang — Wasserstand

- Bericht über die Konstruktion einer mit integrierten elektronischen Schaltkreisen ausgerüsteten Meßeinrichtung zur Langfristregistrierung des Seegangs im Küstenbereich. Neuererorschlag 1/74, FUG. Berlin, Institut für Geographie und Geoökologie der AdW der DDR.
- CZEPA, O., Elektronische Bausteine für Geräte zur Seegangsanalyse. Acta Hydrophysica. **14** (1969) 1, S. 9—16.
- Einsatzmöglichkeiten von Kapazitätsverfahren zur Seegangsregistrierung. Acta Hydrophysica. **15** (1971) 3, S. 165—178.
- Vereinfachte Magnetbandkorrelation des Seegangs. Gerlands Beiträge zur Geophysik. **79** (1970) 2, S. 152—156.
- Methoden der Seegangsmessung im Küstenbereich. Acta Hydrophysica. **17** (1973) 2/3, S. 85—103.
- MATTHÄUS, W., Der Durchflußkoeffizient bei Rohrpegelanlagen. Beiträge zur Meereskunde. (1969) 26, S. 59—95.
- Zur historischen Entwicklung der Methoden und Geräte zur Beobachtung und Registrierung des Wasserstandes. NTM-Schriftenreihe Gesch. Naturwiss. Techn. Med. **7** (1970) 1, S. 46—59; **7** (1970) 2, S. 71—97.
- Zur Geschichte des Hochseepegels. NTM-Schriftenreihe Gesch. Naturwiss. Techn. Med. **5** (1968) 12, S. 101—112.
- On the history of recording tide gauges. Proc. Roy. Soc. Edinburgh. B. **73** (1972) S. 25—34.
- Die Messung von Durchflußkoeffizienten an Rohrpegelmodellen. Monatsberichte Dt. Akad. Wiss. **11** (1969) S. 315—321.
- Water-level measurements of Antiquity. Bull. Inst. Océanogr. **1** (1968) No. spéc. 2, S. 1—6.
- STRIGGOW, K., Digital Wave-Measuring by a Step-Type Gage. Second International Oceanographic Congress, 30 May—9 June 1966, Moscow. Abstracts of Papers. Moscow, 1966. S. 352—353.
- Entwicklung und Einsatz einer elektronischen Stufensonde zur Seegangsmessung in der Brandungszone. Rostock, Fak. für Mathematik, Naturwissenschaften und Technik. Diss. 1973.
- Entwicklung und Einsatz einer elektronischen Stufensonde zur Seegangsmessung in der Brandungszone. Beiträge zur Meereskunde. (1976) 38, S. 7—31.

- Verfahren zur Messung und Codierung der Standhöhe einer Flüssigkeit und zur Auswertung der Meßergebnisse bei zeitlich veränderlicher Standhöhe. DDR-Patentschrift Nr. 50009 (ausgegeben 5. 9. 1966).
- Ein neuer automatischer Wellenschreiber des Instituts für Meereskunde, Warnemünde. Beiträge zur Meereskunde. (1963) 10, S. 44—49.
- Ein Wellenmesser mit Stufensonde und interner Datenreduzierung. Beiträge zur Meereskunde. (1966) 17/18, S. 100—110.

### 1.4. Meteorologische Parameter

- FOKEN, TH., Die Messung der Mikrostruktur der vertikalen Lufttemperaturverteilung in unmittelbarer Nähe der Grenze zwischen Wasser und Atmosphäre. Zeitschrift für Meteorologie. **25** (1975) 5, S. 292—295.
- Temperaturmessung mit Perlthermistoren in Meteorologie und Ozeanologie. Hermsdorfer Techn. Mitt. (1976) 46, S. 1451—1455.
- Punktförmige Temperaturmessung und Perlthermistoren in Luft und Wasser. Geophysikalische Veröffentlichungen der Karl-Marx-Univ. Leipzig. Ser. 3. **1** (1974) S. 103—112.
- , N. HIPPMANN, U. LEHMANN und D. SONNTAG, Feuchtigkeitsmessung mit Bariumfluorid-Meßfühlern. I. Aufbau und Eigenschaften eines Miniatur-Barium-Fluorid-Feuchtigkeitsmeßfühlers. Zeitschrift für Meteorologie. (im Druck)
- HAGEN, E., Ein einfaches und vielseitig einsetzbares Strahlungsmeßgerät. Zeitschrift für Meteorologie. **26** (1976) 1, S. 253—255.
- HUPFER, P. und G. NEUBERT, Ein neues autonomes fernübertragendes Meßsystem für meteorologische Größen. Zeitschrift für Meteorologie. (im Druck)
- NEUBERT, G., Über den Einsatz automatischer hydro-meteorologischer Bojen in Küstennähe. Geophysikalische Veröffentlichungen der Karl-Marx-Univ. Leipzig. Ser. 3. **1** (1974) 1, S. 91—101.
- SCHÖNFELDT, H.-J., Strahlungsintegrator zur Gewinnung von Stundenwerten der Globalstrahlung. Zeitschrift für Meteorologie. **27** (1977) 1, S. 72—73.

### 1.5. Optische Parameter

- MATTHÄUS, W., Ein verbessertes Meßverfahren für ozeanographische Lichtextinktionsmessungen in situ. Beiträge zur Meereskunde. (1965) 16, S. 31—36.
- SHELLENBERGER, G., Ein Richtungsphotometer zur Messung der Unterwasserstrahlungsverteilung und seine Anwendung. Gerlands Beiträge zur Geophysik. **76** (1967) S. 321—333.
- WOLF, G., Farbmessungen nach dem Spektralverfahren mit dem Pulfrich-Photometer. Beiträge zur Meereskunde. (1961) 2/3, S. 26—32.

### 1.6. Sedimentdynamik

- HARTKE, H., Quantitative Bestimmung der hydrodynamisch bedingten Sedimentumlagerung mit Hilfe von magnetischen Indikatoren. Monatsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften. **9** (1967) S. 578—583.
- und P. MAUERSBERGER, Ein magnetostatisches Meßverfahren zur quantitativen Bestimmung der hydrodynamisch bedingten Sedimentabtragung. Acta Hydrophysica. **12** (1968) 1, S. 27—55.
- und P. MAUERSBERGER, Verfahren und Anordnung zur quantitativen Bestimmung von Sedimentabtragungen. Patentschrift 69410 vom 20. 10. 1969.
- HOEG, S. und H. GRIESSEIER, Über einige Erfahrungen im Umgang mit lumineszenten Leitstoffen. Acta Hydrophysica. **17** (1973) 2/3, S. 135—159.

- und W. HOEG, Verfahren zur automatischen Zählung magnetisch markierter Sedimente. *Acta Hydrophysica*. 15 (1971) 3, S. 179—191.
- und G. VOIGT, Über die Haltbarkeit von lumineszierenden Markierungen auf Sandkörnern. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*. 76 (1967) S. 497—512.
- und G. SCHELLENBERGER, Messung der wellenbedingten Sedimentaufwirbelung in der küstennahen Zone. *Acta Hydrophysica*. 16 (1971) 2, S. 45—82.
- KOLP, O., Neue Geräte des Seehydrographischen Dienstes für die Untersuchungen der Sandverfrachtung in der ufernahen Zone. *Annalen für Hydrographie*. (1957) 9, S. 61—65.
- Färbung von Meeressand zu Versuchszwecken. *Annalen für Hydrographie*. 1 (1955) 2/3, S. 96—98.
- Farbsandversuche mit lumineszenten Sanden in Bühnenfeldern. Ein Beitrag zur Hydrographie der ufernahen Meereszone. *Petermanns Geographische Mitteilungen*. 114 (1970) 2, S. 81—102.
- Untersuchung der Wirksamkeit von Seebuhnen mit Hilfe von Farbsandversuchen. *Beiträge zur Meereskunde*. (1966) 17/18, S. 61—90.
- und CH. ENZENROSS, Über einige Laborerfahrungen bei der Kennzeichnung von Meeressand mit lumineszenten Farbstoffen. *Beiträge zur Meereskunde*. (1961) 1, S. 27—38.
- MAUERSBERGER, P., Über die Anordnung von Förster-Sonden nahe einer zylindrischen Probe magnetisch markierten Sandes. *Acta Hydrophysica*. 14 (1969) 3, S. 285—306.
- SCHELLENBERGER, G. und S. HOEG, Zur Messung der Sinkstoffkonzentration auf optischem Wege. *Acta Hydrophysica*. 16 (1972) S. 133—144.
- STRIGGOW, K., Anordnung zur Zählung farbiger Teilchen. DDR-Patentschrift Nr. 52556 (ausgegeben 5. 12. 1966).
- Automatische Zählung lumineszenter Sandkörner. Bekannte Verfahren und ihre Weiterentwicklung im Institut für Meereskunde der DAW. *Beiträge zur Meereskunde*. (1966) 17/18, S. 91—95.

## 2. Chemie

- BRÜGMANN, L., Anwendung des kontinuierlichen Analysenautomaten zur simultanen Bestimmung von Nitrit/Nitrat im Meerwasser. *Labortechnik*. 8 (1975) S. 28—31.
- Die automatische Bestimmung von Nitrat, Nitrit und Silikat im Ostseewasser. *Beiträge zur Meereskunde*. (1976) 38, S. 95—102.
- und A. WILDE, Die Bestimmung des Gehalts an organischem Phosphor und Stickstoff im Meerwasser durch einen Aufschluß mit ultraviolettem Licht. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*. 3 (1975) S. 203—211.
- NEHRING, D. und K.-H. ROHDE, Weitere Untersuchungen über anomale Ionenverhältnisse in der Ostsee. *Beiträge zur Meereskunde*. (1967) 20, S. 10—33.
- , K.-H. ROHDE und H. BERGE, Bedeutung und Arbeitsmethodik der Chemie in der Meeresforschung. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Univ. Rostock. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe*. 16 (1967) 9/10, S. 1085—1097.
- ROHDE, K.-H., Untersuchungen über die Calcium-Chlor- und Magnesium-Chlor-Relationen in Flußmündungen und Bodden der westlichen Ostsee. *Beiträge zur Meereskunde*. (1967) 20, S. 34—42.
- Untersuchungen über die Calcium- und Magnesiumanomalie in der Ostsee. *Beiträge zur Meereskunde*. (1966) 19, S. 18—31.

## 3. Biologie

- OERTZEN, J.-A. VON und G. SCHLUNGBAUM, Experimentell-ökologische Untersuchungen über O<sub>2</sub>-Mangel und H<sub>2</sub>S-Resistenz an marinen Evertabraten der westlichen Ostsee. *Beiträge zur Meereskunde*. (1972) 29, S. 79—91.

## 4. Geologie und Geophysik

### 4.1. Geologische Probenahmetechnik

- MÖCKEL, F., Bemerkungen zur Funktion des Vibrationsstehrohres 4700/1. *Beiträge zur Meereskunde*. (1965) 12—14, S. 149—151.
- RUDOLF, F., Vorrichtung zur Stabilisierung von Bodengreifern, insbesondere für den Tiefsee-Einsatz. DDR-Wirtschaftspatent 121455, Int. Cl. B 66c, 3/00. (angemeldet 12. 2. 1975)
- SCHMIDT, W. und O. KOLP, Beschreibung und Ergebnisse der Erprobung eines im Auftrage des Instituts für Meereskunde gebauten Vibrationsstehrohres 4700/1. *Beiträge zur Meereskunde*. (1965) 12—14, S. 143—148.
- , E. EYCKE und O. KOLP, Beschreibung und Ergebnisse der Erprobung des 9 m langen Vibrationsstehrohres 4700/1 mit neuer Kolbenzieheinrichtung. *Beiträge zur Meereskunde*. (1969) 24—25, S. 175—185.

### 4.2. Geophysikalische Verfahren

- KÜHN, P., Ausnutzung des natürlichen elektromagnetischen Feldes der Erde für die Tiefenerkundung wasserbedeckter Gebiete. Freiberg, Bergakad. Freiberg. Diss., 1970.
- und F. KÜHN, Einige Ergebnisse der Messung tellurischer Ströme vom fahrenden Schiff im Nordatlantik. *Zeitschrift für angewandte Geologie*. 22 (1976) 6, S. 272—275.
- MAYER, P. und W. SCHÜLER, Seeboden-Ultraschallsondierung. Ein geophysikalisches Verfahren in der Meeresforschung. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*. 2 (1974) 10, S. 1213—1220.
- SCHÜLER, W., W. KESSEL und P. MAYER, Verfahren und Anordnung zur Bestimmung der physikalischen und geologischen Eigenschaften des Bodens eines Gewässers, insbesondere der Eigenschaften des Meeresbodens. DDR-Wirtschaftspatent Nr. 97756, Int. Cl.: G 01v, 1/24; Kl.: 42c, 42 (angemeldet 20. 4. 72).
- TILL, K.-H., Messungen des geomagnetischen Feldes in der Ostsee. *Biuletyn PIHM*. (1964) 2, S. 15—19.
- Der „Seemagnetograph“, ein neues Schleppgerät zur Messung der horizontalen und vertikalen Komponente des erdmagnetischen Feldes auf See. *Beiträge zur Meereskunde*. (1961) 2/3, S. 102—109.

## 5. Meeresforschungstechnik

### 5.1. Allgemeine Fragen

- BENGELSDORFF, E., Anlagen zur Nachbildung von Tiefsee-Verhältnissen. *Beiträge zur Meereskunde*. (1971) 28, S. 9—18.
- Ein neues hochfestes Seilkabel für ozeanographische „in-situ-Geräte“. *Beiträge zur Meereskunde*. (1967) 21, S. 72—75.
- FIEDLER, O., Aufbau und Anwendung lichtelektrischer Meßstrecken. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Univ. Rostock*. 24 (1975) 3, S. 321—328.
- WAGNER, S., G. SCHOMMARTZ und J. GÄTKE, Probleme der elektronischen Fischortung. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Univ. Rostock*. 21 (1972) 9, S. 925—930.

### 5.2. Geräteträger

- GÄTKE, J., Zur Lagestabilität eines Körpers in der Strömung. *Schiffbauforschung*. 15 (1976) 5/6, S. 180—184.
- MÜLLER, G., Bojen als Geräteträger für ozeanologische Untersuchungen. *Seewirtschaft* (1974) 11, S. 690—692.
- Über den Einsatz der Flachwasser-Bojenstation „Schelf 73“. *Seewirtschaft*. 6 (1974) 9, S. 563—565.

- Gießharz zur Befestigung von Terminalen an Stahl- und Kunststoffseilen. Seewirtschaft. 7 (1975) 10, S. 629—630.

## 6. Ortsbestimmung und Navigation

- ALBRECHT, H., Ein „automatischer Kapitän“. Schiffbautechnik. 17 (1967) 1, S. 33—35.  
 — Probleme und Entwicklungstendenzen der Navigation. Schiffbauforschung. (1966) Sonderh., S. 39—45.  
 — Probleme der Koppelnavigation in der Schifffahrt. Seewirtschaft. 1 (1969) 11, S. 898—900.  
 KÜHN, P., GUSE, KAMITZSCH und BENSNER, Ergebnisse von Genauigkeitsuntersuchungen und praktische Erfahrungen bei Arbeiten mit dem Omega-Navigationssystem im Nordatlantik. (1973—1976). Seewirtschaft (im Druck)  
 PÄTOW, H., Grundlegende Fehlerbetrachtungen zur automatischen Koppelnavigation. Seewirtschaft. 3 (1971) 1, S. 45—50.  
 — Automatische Koppelnavigation auf vollelektronischer Basis. Seewirtschaft. 5 (1973) 4, S. 258—264.  
 — Durch den Seegang entstehende Strömung und ihre Bedeutung für die Standortbestimmung. Seewirtschaft. 2 (1970) 5, S. 389—392.  
 STANGE, G., Magnetische Leitlinien als Hilfsmittel für eine Navigation in engen Fahrwassern. Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Univ. Rostock. 24 (1975) 3, S. 345—349.  
 — Das Magnetfeld in der Umgebung einer kreisförmigen Leiterschleife. Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Univ. Rostock. 24 (1975) 3, S. 337—343.

## 7. Meßwertspeicherung und -verarbeitung

- PÄTOW, H., Probleme der Meßwerterfassung und -verarbeitung in der Meeresforschung. Seewirtschaft. 5 (1973) 8, S. 620—625.  
 SCHÖNFELDT, H.-J. und H. BAUDLER, Beiträge zum Problem Digitalisierung von Meßreihen. Messen steuern regeln (im Druck).

D. RICHTER/W. NEUBERT/A. KLÄMT

# Temperatur und Wärmehaushalt des thermisch belasteten Stechlin- und Nehmitzsees

(Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR)

1979. 40 Seiten — 29 Abbildungen — 16 Tabellen — 4° — 20,— M  
Bestell-Nr. 762 725 7 (2023/123)

In dieser Arbeit werden die Temperaturverhältnisse und die Veränderungen im Wärmehaushalt des Stechlin- und Nehmitzsees auf Grund von Temperaturmessungen und Wärmehaushaltsbetrachtungen für die Periode 1958 bis 1966 (ohne thermische Belastung der genannten Seen) und für die Periode 1967 bis 1976 (mit thermischer Belastung der genannten Seen) untersucht und einander gegenübergestellt.

Im einzelnen geht es um die Analyse der vertikalen und horizontalen Temperaturverteilungen, um die effektive Erhöhung der Wassertemperatur, den Verlauf des Abkühlungsprozesses und seine Beeinflussung durch die Vermischung sowie um die Veränderung der Wärmebilanz der Wasseroberfläche beider Gewässer einschließlich der Testung von Berechnungsverfahren für die Berechnung der einzelnen Wärmebilanzkomponenten.

Die Erhöhung der Verdunstung und die Repräsentativität der in Stationsnähe gemessenen Verdunstungswerte für die gesamte Seefläche sowie die Verringerung in der Eisbedeckung dieser Seen werden ebenfalls untersucht.

*Bestellungen durch eine Buchhandlung erbeten*



Akademie-Verlag

DDR-1080 Berlin, Leipziger Str. 3—4



## Berichtigung

Auf Seite 24 muß Gl. (5) richtig lauten:

$$F(j\omega) = \frac{V_0}{V_0 + 2} \cdot \frac{1 - j \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}{1 + j \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}.$$