

Autorenkollektiv

## Geophysik und Geologie

(Geophysikalische Veröffentlichungen der Karl-Marx-Universität, Dritte Serie, Band I, Heft 1)

Herausgegeben von R. LAUTERBACH

1974. 145 Seiten — 54 Abbildungen — 11 Tabellen — 25,— M  
Bestell-Nr. 761 906 2 (2018/I/1)

Entsprechend der umfassenden Rolle der Geowissenschaften werden die Geophysikalischen Veröffentlichungen Beiträge zu folgenden Themenkomplexen bringen.

Physikalische Aufschließung von Energie- und mineralischen Rohstoffen; der Erforschung des Erdinneren — Ozeanologie, Hydrologie und Hydrogeophysik — Physik der Atmosphäre, vor allem auch mit Bezug auf ihre Entwicklung — Umweltwissenschaften — Biogeophysik — Ingenieurgeophysik — Paläogeophysik — Entstehung und Entwicklung der Erde und Vergleich mit den Nachbarplaneten.

Das vorliegende erste Heft der neuen Folge enthält nach einer einleitenden Betrachtung von Prof. Lauterbach zum Problem der Wechselbeziehungen der geophysikalischen Teildisziplinen Beiträge aus dem Gebiet der physikalischen Ozeanologie und der maritimen Meteorologie.

*Bestellungen durch eine Buchhandlung erbeten*



AKADEMIE-VERLAG

DDR-108 Berlin, Leipziger Str. 3-4

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR  
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE

## BEITRÄGE ZUR MEERESKUNDE

HERAUSGEGEBEN VON

ERICH BRUNS

UNTER MITWIRKUNG VON

OTTO KOLP, GÜNTHER SAGER, KLAUS VOIGT

HEFT 34



AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

1974

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR  
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE

---

# BEITRÄGE ZUR MEERESKUNDE

HERAUSGEGEBEN VON

ERICH BRUNS

UNTER MITWIRKUNG VON

OTTO KOLP, GÜNTHER SAGER, KLAUS VOIGT

HEFT 34

mit 23 Abbildungen und 9 Tabellen



---

AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

1974

Abteilung für ...  
Bibliothek  
233 Warnemünde  
Dritte Deutsche Republik

12 Nov 1974

Erschienen im Akademie-Verlag, 108 Berlin, Leipziger Straße 3-4  
© Akademie-Verlag, Berlin, 1974  
Lizenznummer: 202 · 100/459/74  
P 85/74  
Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer“, 582 Bad Langensalza  
Bestellnummer: 762 028 2 (2105/34), LSV 1465  
Printed in GDR  
EVP 20,-

## INHALT

HANS-JÜRGEN BROSIN, Untersuchungen zur mittelmaßstäblichen horizontalen Diffusion mit Driftbojen in den Gewässern um Rügen . . . . .	5
LUTZ BRÜGMANN, Die Bestimmung von Zink, Kadmium und Blei in der Ostsee durch inverse Voltammetrie . . . . .	9
LUDWIG GOHS, Über einige hydrographische und hydrooptische Beobachtungen an der Westmole von Warnemünde 1971 und 1972 . . . . .	23
GÜNTHER SAGER, Bestimmung der Gezeitenstromellipse aus zwei Stromvektoren . . . . .	39
HERBERT FRANCK und WOLFGANG MATTHÄUS, Vergleich zweier Methoden zur Berechnung von Jahresgängen aus nichtäquidistanten Meßwerten . . . . .	46
P. HUPFER, Ch. DRUET und O. KUSNEZOW, Internationales Experiment EKAM 73 in der ufernahen Zone der Ostsee bei Zingst (Kurze Mitteilung) . . . . .	61

## Untersuchungen zur mittelmaßstäblichen horizontalen Diffusion mit Driftbojen in den Gewässern um Rügen

Von HANS-JÜRGEN BROSIK

*Zusammenfassung:* Die Ergebnisse von Diffusionsuntersuchungen mit Driftbojen werden diskutiert. Die erfaßten Maßstabbereiche liegen zwischen  $10^4$ – $10^5$  cm, die ermittelten horizontalen Diffusionskoeffizienten bei  $1$ – $4 \cdot 10^4$  cm<sup>2</sup>/s. Für die Maßstabsabhängigkeit des Diffusionskoeffizienten ergibt sich ein Exponentialgesetz mit Exponenten von 0,7–0,8. Damit treten Abweichungen vom „ $4/3$ -Gesetz“ der örtlich-isotropen Turbulenz auf.

In Verbindung mit Geräteerprobungen wurden im Oktober 1970 in den Gewässern um Rügen Treibkörper ausgesetzt, deren Bewegung im Radargerät des Forschungsschiffes „Professor Albrecht Penck“ verfolgt wurde. Es lag nahe, diese Versuche auch zu Untersuchungen der horizontalen turbulenten Diffusion, speziell zur Frage der Maßstabsabhängigkeit des Diffusionskoeffizienten, zu nutzen. Ehe auf Ergebnisse eingegangen wird, noch einige Bemerkungen zur Methodik.

Während der einzelnen Versuche wurden jeweils 6 Treibkörper ausgebracht, deren Drift vom verankerten Schiff aus mit einem Radargerät Decca TM 629 verfolgt wurde. Dabei wurde das Schirmbild alle 10 Minuten fotografiert. Anhand der Fotos konnten später die gewünschten Bahn- und Abstandsparameter bestimmt werden. Der Zeitabstand von 10 Minuten wurde auf Grund der Erfahrungen von DENNER u. a. (1968) gewählt. Die Treibkörper wurden 4 bis 5 Stunden lang verfolgt, danach wurden die Vermessungen abgebrochen. Die Entfernungen der Radarziele vom Schiff bewegten sich während der Versuche zwischen 0,5 und 3 km, so daß meist die Nahbereiche des Radargerätes genutzt werden konnten.

Die verwendeten Treibkörper bestanden aus zwei Stromkreuzen mit einem Querschnitt von 0,8 m<sup>2</sup>, die sich 1–1,5 m unterhalb der Wasseroberfläche befanden und von einem flachen Ekazell-Schwimmer getragen wurden. Der Radarreflektor war an einer dünnen Aluminiumstange 1,8 m über der Wasseroberfläche angebracht.

Während der Experimente herrschte windschwaches Wetter. Die Windgeschwindigkeit lag an allen 3 Versuchstagen zwischen 2 und 3,5 m/s, ebenso wurde nur schwacher Seegang mit Wellenhöhen unter 0,3 m beobachtet. Während der Versuche am 9. und 10. 10. 1970 auf der Position 54°30' N und 14 °E (rund 20 km östlich von Saßnitz) lag die Strömungsgeschwindigkeit unter 7 cm/s, eine thermische oder haline Schichtung war nicht vorhanden.

Bei den Untersuchungen am 12. 10. 1970 etwa 9 km nordwestlich der Insel Hiddensee auf  $54^{\circ}38' N$  und  $12^{\circ}58' E$  lag die Strömungsgeschwindigkeit in Oberflächennähe bei 18–22 cm/s und nahm unterhalb von 10 m Tiefe auf 6 cm/s und weniger ab. Unterhalb von 5 m Tiefe erfolgten eine geringe Abnahme der Temperatur (Temperaturdifferenz 0,5 m–15 m–0,5 °C) und eine leichte Salzgehaltszunahme ( $+1,2\text{‰}$ ). Die Wassertiefe betrug bei allen Experimenten zwischen 16 und 17 m.

Anhand der Radarfotos wurden aus aufeinanderfolgenden Aufnahmen die Abstandsänderungen zwischen den einzelnen Schwimmerpaaren ermittelt und mit diesen Werten entsprechend der Diffusionsgleichung von RICHARDSON (1926) und der hieraus von STOMMEL (1949) abgeleiteten Beziehung (1) horizontale Diffusionskoeffizienten bestimmt.

$$\overline{F(l_0 + 0,5 \Delta l)} = \frac{(\overline{\Delta l})^2}{2\Delta t} \quad (1)$$

$l_0$  = ursprünglicher Abstand zwischen zwei Treibkörpern

$\Delta l$  = Abstandsänderung während der Zeit  $\Delta t$  ( $\Delta l \ll l_0$ )

Die Mittelbildung erfolgte dabei über alle Paare der diffundierten Partikel (Driftbojen) innerhalb von Gruppen annähernd gleicher Werte von  $l_0$ . Um ein größeres Meßwertkollektiv für die Bearbeitung zu erhalten, wurden die Daten vom 9. und 10. 10. 1970 auf Grund der nahezu identischen Randbedingungen zusammengefaßt.

Mit unseren Versuchen wurden Maßstäbe der Größenordnung von  $10^4$ – $10^5$  an erfaßt. Für die Diffusionskoeffizienten ergaben sich dabei folgende Mittelwerte:

9./10. 10. 1970

$l$ [ $10^2$ cm]	333	490	678	881	1091	1375
$F(l)$ [ $10^2$ cm <sup>2</sup> /s]	114	120	190	185	221	406
Anzahl der Werte	69	161	145	97	70	50

12. 10. 1970

$l$ [ $10^2$ cm]	166	319	477	694	852
$F(l)$ [ $10^2$ cm <sup>2</sup> /s]	88	196	217	320	278
Anzahl der Werte	10	79	84	69	16

Eine Ausgleichung dieser Werte nach der Methode der kleinsten Quadrate ergab folgende Beziehungen für die Maßstabsabhängigkeit des horizontalen Diffusionskoeffizienten:

$$9./10. 10. 1970 \quad F(l) = 2,09 \cdot l^{0,81} \text{ [cm}^2\text{/s]} \quad (2)$$

$$12. 10. 1970 \quad F(l) = 8,18 \cdot l^{0,73} \text{ [cm}^2\text{/s]} \quad (3)$$

Die bei unseren Versuchen ermittelten Diffusionskoeffizienten stimmen größenordnungsmäßig mit den Ergebnissen anderer Experimente in ähnlichen Maßstabsbereichen überein. Auch bei den aus der Literatur bekannten Versuchen mit diskreten Partikeln ergab sich für den horizontalen Diffusionskoeffizienten eine Maßstabsabhängigkeit entsprechend  $F(l) = a l^n$ . Dabei wurde bei Experimenten im Atlantik und Pazifik meist eine Annäherung oder Übereinstimmung mit dem „ $4/3$ -Gesetz“ der Turbulenztheorie gefunden (DENNER u. a. 1968, NEMČENKO 1964, OZMIDOV 1959). Die Wassertiefen betragen bei diesen Versuchen über 1000 m, die Mächtigkeit der durchmischten Oberflächenschicht lag, soweit mitgeteilt, bei etwa 40 m. Bei mehrjährigen umfangreichen Untersuchungen im Schwarzen Meer mit Küstenabständen bis zu 14 km fand ZAČ (1970) erhebliche Abweichungen von dem „ $4/3$ -Gesetz“. Die von ihm bestimmten Exponenten lagen meist zwischen 0,5 und 1,0. Bei kleineren Küstenabständen erfolgte ein geringeres Anwachsen des Diffusionskoeffizienten mit dem Maßstab des untersuchten Diffusionsprozesses als in größerer Entfernung vom Ufer. Damit in Übereinstimmung stehen auch unsere Resultate. In Küstennähe und ebenso auch bei flachen Wassertiefen bewirken offenbar solche Faktoren wie Veränderungen im Bodenrelief und in der Küstengestalt sowie das Strömungsfeld in Küstennähe Veränderungen in der Ausbildung der horizontalen Turbulenz im Meer und damit Abweichungen von dem sich aus der Theorie der örtlich-isotropen Turbulenz ergebenden „ $4/3$ -Gesetz“.

Eine Erklärung der beobachteten Abweichungen von diesem Gesetz versucht auch OZMIDOV (1968). Er geht davon aus, daß die Energiezufuhr, die über den Wind auf die freie Wasseroberfläche erfolgt, zweidimensionalen Charakter hat. Demzufolge muß auch die Ausbreitung der diffundierenden Partikel an der Wasseroberfläche der Diffusion in der darüberliegenden Luftschicht ähneln. Diese Prozesse in der wassernahen Luftschicht können bei kleinen Maßstäben als horizontal isotrop angesehen werden. Wird jedoch die Wassertiefe größer, dann können nach OZMIDOV die Achsen der vom Wind im Wasser erzeugten Turbulenzelemente nicht nur eine vertikale Lage einnehmen, sondern davon mehr oder weniger stark abweichen. Dadurch ist eine Beeinflussung der horizontalen Diffusion möglich. Der Vorgang hängt nicht von der absoluten Wassertiefe ab, sondern vom Verhältnis der vertikalen Mächtigkeit der Wasserschicht ( $H$ ) zu den Abmessungen der Turbulenzelemente ( $l$ ). Bei sehr geringen Werten von  $H/l$  soll das „ $4/3$ -Gesetz“ erfüllt sein. (Diese Voraussetzungen sind z. B. nach OZMIDOV bei den Versuchen im Atlantik erfüllt, da hier die Temperatursprungschicht gewissermaßen als „Boden“ wirkt.)

Die während unserer Versuche erfaßten Tiefen- und Maßstabsbereiche ergeben ein Verhältnis von  $H/l$ , bei dem nach den bei OZMIDOV mitgeteilten Werten Abweichungen vom „ $4/3$ -Gesetz“ auftreten. Es muß allerdings bemerkt werden, daß zu dieser Frage bisher nur sehr wenig Beobachtungsmaterial vorliegt und erst weitere Untersuchungen unter sorgfältiger Erfassung der Randbedingungen eine weitere Klärung ermöglichen könnten.

## Literatur

- [1] DENNER, W. W., GREEN, T. und SNYDER, W. H., Large scale oceanic drogue diffusion. *Nature* **219** (1968\*, S. 361—362.
- [2] NEMČENKO, V. I., Untersuchung der horizontalen turbulenten Diffusion im Atlantischen Ozean (russ.). *Okeanologija* **4** (1964), S. 805—808.
- [3] OZMIDOV, R. V., Untersuchung des mittelmaßstäblichen horizontalen turbulenten Austausches im Ozean mittels Radarbeobachtungen treibender Bojen (russ.). *Dokl. Akad. Nauk SSSR* **126** (1959), S. 63—65.
- [4] OZMIDOV, R. V., Horizontale Turbulenz und turbulenter Austausch im Ozean (russ.). Nauka Moskau (1968) 196 S.
- [5] RICHARDSON, L. F., Atmospheric diffusion shown on a distance-neighbour graph. *Proc. Roy. soc., ser. A*, **110** (1926), S. 709—737.
- [6] STOMMEL, H., Horizontal diffusion due to oceanic turbulence. *J. Mar. Res.* **8** (1949), S. 199—227.
- [7] ZAČ, V. I., Zur Frage der horizontalen turbulenten Diffusion in der küstennahen Zone des Schwarzen Meeres (russ.). *Okeanologija* **4** (1964), S. 249—257.
- [8] ZAČ, V. I., Charakterisierung der mittelmaßstäblichen horizontalen turbulenten Diffusion im Schwarzen Meer (russ.). In: *Ozeanographische Aspekte der Selbstreinigung des Meeres von Verunreinigungen*. Naukova Dumka Kiev (1970) S. 50—68.

Anschrift des Verfassers:

Dr. H.-J. BROSIK  
 Institut für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR  
 DDR-253 Rostock-Warnemünde

## Die Bestimmung von Zink, Kadmium und Blei in der Ostsee durch inverse Voltammetrie

Von LUTZ BRÜGMANN

*Zusammenfassung:* Unter Verwendung einer stationären Quecksilberlektrode vom КЕМУЛА-Typ ist es möglich, durch inverse Voltammetrie die „labilen“ Konzentrationen von Zink, Kadmium, Blei und Kupfer im Meerwasser zu bestimmen. Die Methode findet Anwendung zur Analyse von Wasserproben aus der Ostsee. Der Einfluß verschiedener Variablen auf die Größe des Meßsignals wird untersucht.

*Summary:* Inverse voltammetry can be used in conjunction with a stationary mercury electrode of the КЕМУЛА type for determining the "labile" concentrations of zinc, cadmium, lead and copper in sea water. The method is used for the analysis of water samples taken from the Baltic. The influence of a number of variables on the magnitude of the measurement signal is investigated.

*Резюме:* С использованием стационарного ртутного электрода типа „КЕМУЛА“, имеется возможность определить с помощью обратной вольтамметрии „нестабильные“ концентрации цинка, кадмия, свинца и меди морской воде. Метод находит применение при анализе водяных проб Балтийского моря. Исследуется влияние разных переменных на величину измеряемого сигнала.

### 1. Einleitung

Definitionsgemäß werden alle Elemente, deren Konzentration im Meerwasser 1 mg/l nicht übersteigt, als Spurenelemente bezeichnet. Da viele von ihnen durch Meeresorganismen angereichert und außerdem große Mengen durch industrielle oder kommunale Abwässer ins Meer hineingetragen werden, ergeben sich in vertikaler und horizontaler Richtung teilweise beträchtliche Konzentrationsunterschiede, die Rückschlüsse auf biologische Aktivitäten oder Verunreinigungen der Hydrosphäre zulassen. Schwermetalle wie Zink und Kupfer nehmen Einfluß auf biologische Reaktionen und stellen damit einen der regulierenden Faktoren für die Phytoplanktonentwicklung dar [5, 8, 10, 16, 17, 19, 20]. So ist allgemein bekannt, daß Kupfer bei Redox- und Zink bei Karboxylierungsvorgängen in die biochemischen Reaktionszyklen eingreifen. Andere Spurenelemente, z. B. Blei und Kadmium, werden ebenfalls beim Durchlaufen der Nahrungskette akkumuliert. Sie können in stark verunreinigten Gewässern infolge ihrer schädlichen Wirkung auf den Stoffwechsel in höheren Lebewesen toxische Konzentrationen erreichen.

So übersteigt beispielsweise der Bleigehalt im Oberflächenwasser der Ozeane in der nördlichen Hemisphäre das natürliche Niveau um das Fünffache. Die gegenwärtig jährlich in das Weltmeer eingetragenen Bleimengen liegen bei etwa  $40 \times 10^{10}$  g gegenüber  $1,8 \times 10^{10}$  g Pb in vorgeschichtlicher Zeit [18, 24]. In einigen Gebieten nahm auch der Kadmiumberhalt aufgrund industrieller Abwässer rapide zu. In tragischer Weise wurde das durch das Auftreten der „Itai-Itai“-Krankheit in Japan widergespiegelt [12].

Die zur Erforschung biochemischer Prozesse und zur Kontrolle der Hydrophäre auf Verunreinigungen notwendigen Schwermetallanalysen erfordern Bestimmungsmethoden, die es gestatten, mit minimalem Aufwand an Zeit und Geld eine möglichst große Anzahl von Spurenbestandteilen in einer Vielzahl von Proben zuverlässig und mit hoher Empfindlichkeit zu bestimmen. In der Ozeanographie wurden bisher vor allem die Atomabsorptionsspektrometrie, die Neutronenaktivierungs- und Isotopenverdünnungsanalyse sowie einfache kolorimetrische Verfahren verwendet [4, 6, 7, 25]. Da die Konzentrationen der Schwermetalle zumeist unter der Bestimmungsgrenze der Methoden im Meerwassermilieu liegen, sind vorherige Trenn- und Anreicherungs-schritte wie Extraktion, Mitfällung oder Ionenaustausch erforderlich.

Obgleich die inverse Voltammetrie fast alle der oben gestellten Bedingungen erfüllt, fand sie bisher nur vereinzelt Eingang in die Spurenanalytik des Meerwassers. Sie benötigt keinerlei Vorbehandlung der Proben, wodurch die Gefahr einer Kontamination [21] verringert wird, und ermöglicht die Bestimmung amalgambildender Metalle mit hoher Empfindlichkeit. Der Anwendungsbereich des Verfahrens ist jedoch auf den ionalen oder mit schwachen Liganden kombinierten Anteil der Spurenelemente beschränkt.

Als Arbeitselektrode bei der inversvoltammetrischen Bestimmung von Meerwasserkomponenten diente in fast allen Fällen ein Quecksilbertropfen definierter Größe, der an einem Platindraht hing [1, 2, 26–28]. MATSON [15] verwendete eine amalgamierte Graphit- und MACCHI [14] eine Quecksilbertropfenelektrode mit extrem langen und kontrollierten Tropfzeiten. Lediglich BRANICA und Mitarbeiter [3] sowie KREMLING [13] benutzten bisher eine Extrusionselektrode, die sich aufgrund der verringerten Wasserstoffüberspannung, reproduzierbarer Tropfenbildung und relativ einfacher Handhabung für Serienmessungen gut eignet.

## 2. Experimenteller Teil

### 2.1 Meßanordnung und verwendete Lösungen

Das Quecksilberreservoir der Meßelektrode vom KEMULA-Typ (11) (Radiometer Kopenhagen) betrug  $0,13 \text{ cm}^3$ . Der Kapillarinne Durchmesser lag bei  $0,1 \text{ mm}$  und die verwendeten Hg-Tropfen besaßen eine Oberfläche von  $1,52 \text{ mm}^2$ . Alle Potentialangaben beziehen sich auf die gesättigte Kalomelektrode. Das

Meßgefäß wurde auf  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 0,1$ ) thermostatisiert. Ein Magnetrührer bewegte mit  $222 \text{ U/Min.}$  die Lösungen. Die Voltammogramme wurden mit dem Polarographen GWP 563 aufgezeichnet. Als Spülgras diente Argon, das wahlweise zur Entlüftung der Proben oder als Schutzgas während der Messungen verwendet werden konnte. Die einzelnen Bestandteile der Meßanordnung gewährleisteten aufgrund ihrer fixierten Lage reproduzierbare Meßergebnisse.

Für die Standardzugaben wurden  $10^{-3} \text{ m}$  Zn-, Cd-, Pb- und Cu-Lösungen aus analysenreinen Reagenzien bereitet und bei Bedarf entsprechend verdünnt. Die Meerwasserproben wurden während ozeanographischer Expeditionen des Forschungsschiffes „Prof. Albrecht Penck“ von mehreren Stationen in der Ostsee genommen. Zur Probenentnahme diente ein Wasserschöpfer vom Typ „Hydrobios“ mit Plastehähen. Die Proben wurden in sorgfältig vorbehandelte  $100 \text{ ml}$ -Polyäthylenflaschen gegeben und bis zur Analyse durch sofortiges Einfrieren konserviert.

### 2.2 Analysendurchführung

Die Meßzelle wird täglich vor Inbetriebnahme mit verdünnter Salpetersäure und tridestilliertem Wasser gereinigt und dann jeweils zweimal mit der Probenlösung gespült. Man gibt  $50 \text{ ml}$  Meerwasser hinein und entlüftet intensiv  $8 \text{ Min.}$  unter Rühren. Dann wird ein Hg-Tropfen aus der Kapillare gepreßt und in Abhängigkeit von der Zinkkonzentration  $1\text{--}5 \text{ Min.}$  bei  $-1,2 \text{ V}$  elektrolysiert. Man stoppt den Rührer und zeichnet nach  $30 \text{ Sek.}$  das Voltammogramm auf. Es erfolgt dann eine Standardzugabe, die den ursprünglichen Spitzenstrom möglichst etwa verdoppeln sollte und nach  $2 \text{ Min.}$ , die zur Gleichgewichtseinstellung in der Probe beitragen, eine Wiederholung der Analyse unter gleichen Bedingungen.

Anschließend wird  $5\text{--}30 \text{ Min.}$  bei  $-0,8 \text{ V}$  angereichert und dann nach dem Stillstand und weiteren  $30 \text{ Sek.}$  das Voltammogramm des Cd, Pb und Cu registriert. Falls sich die Cd/Pb- und die Cu-Konzentrationen um eine Größenordnung unterscheiden, ist eine dritte Analyse für Cu erforderlich. Die Potentiometerablaufgeschwindigkeit betrug jeweils  $33 \text{ mV/Sek.}$  Zwischen den Messungen wurde ein Hg-Tropfen verworfen. Bei Bedarf konnten wiederholte Analysen einer Probe erfolgen.

Die Berechnung der gesuchten Konzentration erfolgte aus dem Verhältnis der Peakhöhen von Probe und Probe plus Standard. Teilweise wurden die Flächen unter den Kurven mit einem Planimeter ausgemessen und verglichen. Der erhöhte Aufwand erbrachte gute Resultate.

## 3. Versuchsergebnisse und Diskussion

Zuerst wurde der Einfluß der Variablen, Potentiometerablauf rate, Rührgeschwindigkeit, Anreicherungszeit, Elektrolysepotential, Temperatur und Trop-

fenoberfläche, auf das Meßsignal untersucht. Die Messungen beschränkten sich auf Zn, Cd und Pb, da eine quantitative polarographische Bestimmung von Cu im Meerwasser problematisch ist und nur bei Abwesenheit organischer Stoffe möglich erscheint. Bei gealterten Proben wird aufgrund der Vielzahl organischer Komplexbildner, die durch die Zersetzung organischer Materie entstehen, das Potential des Cu-Peaks in positiver Richtung verschoben und demzufolge von der Hg-Auflösung überlagert.

Mit steigender Rührgeschwindigkeit und vergrößerter Tropfenoberfläche war eine proportionale Zunahme der anodischen Peaks zu beobachten. Es wurden 222 U/Min. und 1,52 mm<sup>2</sup> als optimale Größen gewählt, da bei höheren Werten die Stabilität der Hg-Tropfen an der Kapillarmündung rasch abnahm. Zwischen der Quadratwurzel aus der Potentiometerablauftrate und der Spitzenstromstärke wurde in Übereinstimmung mit der Theorie voltammetrischer Bestimmungen eine direkte Proportionalität festgestellt. Als Optimum wurden etwa 33 mV/Sek. angesehen, da bei höheren Ablaufraten der Empfindlichkeitsgewinn pro mV/Sek. stark abnahm und sich andererseits die Auflösung der Peaks einzelner Schwermetallkomponenten bis zu einer Überlagerung verringerte.

Während bei der Bestimmung von Zn und Pb eine fast lineare Abhängigkeit zwischen Anreicherungszeit und Peakhöhe bestand, verringerte sich bei zunehmender Elektrolysedauer beim Cd der Anstieg dieser Kurve. Die in das Innere der Kapillare diffundierende Menge des abgeschiedenen Cd-Amalgams machte sich bei Zeiten über 30 Min. bemerkbar. Dieser Effekt schien beim Zn und Pb aufgrund ihrer geringeren Löslichkeit im Quecksilber weniger ausgeprägt zu sein. Bei einer Elektrolysezeit von 60 Min. konnten jedoch nur noch in dem der Anreicherung unmittelbar folgenden Hg-Tropfen geringe Cd- und Pb-Spuren nachgewiesen werden. Es ist deshalb anzunehmen, daß die Gefahr einer Verfälschung der nach längeren Elektrolysezeiten unmittelbar folgenden Analysen bei Verwendung nicht zu großer Kapillarinne Durchmesser in der Literatur häufig überschätzt wird.

Die Spitzenstromstärke nimmt bei einer Annäherung des Elektrolysepotentials an das Peakpotential und entgegengesetzt bei zunehmender Entladung von Wasserstoffionen ab. Die Spitzenpotentiale selbst waren von der Zusammensetzung der Lösungen abhängig und betragen bei  $S = 35\text{‰}$  etwa  $-0,95\text{ V}$  (Zn),  $-0,59\text{ V}$  (Cd) und  $-0,42\text{ V}$  (Pb). Es war möglich, alle drei Schwermetalle durch eine Analyse zu bestimmen (Abb. 1). Die Elektrolyse erfolgte hierzu 5–30 Min. bei  $-1,2\text{ V}$ . Das Voltammogramm des Zn wurde dann bei entsprechender Empfindlichkeit bis  $-0,75\text{ V}$  registriert. Nach 2 Min. konnten dann bei größerer Verstärkung des Elektrolysestroms die Strom/Spannungskurven von Cd, Pb und eventuell auch Cu im Bereich bis  $+0,1$  aufgezeichnet werden. Der Nachteil dieser Variante bestand in der herabgesetzten Tropfenstabilität bei sehr langen Anreicherungszeiten im negativeren Potentialbereich und in der Gefahr der Bildung intermetallischer Verbindungen (z. B. CuZn). Der Temperaturkoeffizient der Messungen betrug  $3,05\text{‰ pro }^\circ\text{C}$ .

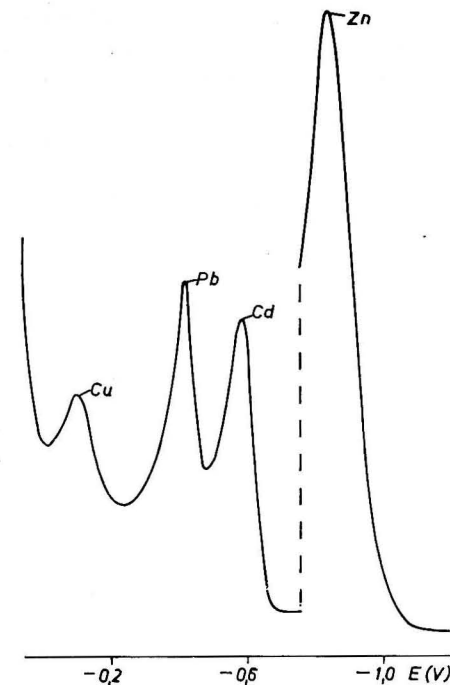


Abb. 1. Voltammetrisches Spektrum im Meerwasser.

Anreicherung = 5 Min.; Elektrolysepotential =  $-1,2\text{ V}$ , Spannungsänderung =  $33\text{ mV pro Sek.}$ ; Rührgeschwindigkeit =  $222\text{ U/Min.}$

Tabelle 1

Relative Standardabweichung für Spurenanalysen im Meerwasser  
( $S = 32,5\text{‰}$ ;  $c_{\text{Zn}} = 7 \times 10^{-7}\text{ m}$ ;  $c_{\text{Cd}} = 8 \times 10^{-10}\text{ m}$ ;  $c_{\text{Pb}} = 1,7 \times 10^{-9}\text{ m}$ )

Element	Standardabweichung ohne Lösungswechsel (%)	Anzahl der Proben	Standardabweichung mit Lösungswechsel (%)	Anzahl der Proben
Zn	$\pm 2,6$	51	$\pm 2,9$	10
Cd	$\pm 10,2$	15	$\pm 9,0$	10
Pb	$\pm 4,2$	15	$\pm 4,2$	10

Tabelle 1 gibt die Standardabweichungen für Zn, Cd und Pb mit bzw. ohne einen Wechsel der Probenlösungen in der Zelle wieder. Die Reproduzierbarkeit der Messungen kann als zufriedenstellend eingeschätzt werden.

Es wurden Eichkurven unter Verwendung von Meerwasser mit entsprechenden Standardzugaben aufgestellt. Sie verliefen im Bereich von  $10^{-7}\text{ m}$  bis  $2 \times 10^{-6}\text{ m}$  (Zn), von  $10^{-9}\text{ m}$  bis  $2 \times 10^{-8}\text{ m}$  (Cd), von  $10^{-8}\text{ m}$  bis  $3 \times 10^{-8}\text{ m}$  (Pb) und von  $10^{-8}\text{ m}$  bis  $4,5 \times 10^{-6}\text{ m}$  (Cu) linear. Bei Routinemessungen sollte aber immer die Methode der Eichzusätze verwendet werden, da die erhaltenen Meß-



signale von der Konzentration organischer Stoffe im Meerwasser, die als Komplexliganden und als oberflächenaktive Stoffe wirksam werden, abhängen. Die erhaltenen Spitzenströme können dadurch stark gedämpft oder völlig unterdrückt werden. Es kommt bei der Wiederauflösung der Amalgame auch zu Mehrstufenreaktionen, die aus der Form der Voltammogramme ersichtlich werden und eine Auswertung nach der Peakhöhe erschweren. Eingehende Untersuchungen zu diesen Problemen wurden von MATSON [15] durchgeführt.

Tabelle 2 gibt einige Analysenergebnisse von Proben aus der Ostsee wieder. Die Werte der mittleren und westlichen Ostsee liegen im Durchschnitt am höchsten und deuten auf eine Verschmutzung hin, die durch den Einstrom von verunreinigtem, salzreichem Wasser aus der Nordsee und von Flußwasser sowie durch Abfallstoffe aus der Atmosphäre (Pb) hervorgerufen werden. In Horizonten mit Schwefelwasserstoff übersteigt die Zn-, Cd- und Pb-Mengen um Größenordnungen die sich aus dem Löslichkeitsprodukt der Sulfide ergebenden Konzentrationen. In der Salzgehaltssprungschicht oder darüber war in einigen Fällen ein intermediäres Maximum der Schwermetallgehalte festzustellen.

Tabelle 2  
Schwermetallkonzentrationen in der Ostsee

Stat. Nr.	Tiefe (m)	Proben- nahme 1972	Salzgehalt (‰)	Zn (µg/l)	Cd (µg/l)	Pb (µg/l)
113 (54°55,5' N; 13°30,0' E)	0,5	05. 04.	8,60	4,54	0,13	0,55
	20		12,47	3,61	0,10	0,49
	40		21,35	5,89	0,47	0,97
161 (54°01,3' N; 14°17,5' E)	0,5	06. 04.	8,11	4,07	0,19	0,81
	10		8,11	2,30	0,09	0,69
142 (55°24,3' N; 14°32,2' E)	0,5	07. 04.	8,00	5,40	0,19	0,88
	20		8,00	4,03	0,09	0,41
	40		8,53	3,39	0,21	0,53
200 (55°23,0' N; 15°20,0' E)	0,5	07. 04.	8,00	5,24	0,16	0,56
	40		8,15	4,51	0,12	0,34
	80		15,77	4,58	0,09	0,57
256 (55°19,6' N; 18°15,1' E)	0,5	08. 04.	7,86	8,30	0,21	1,22
	30		7,86	4,07	0,09	0,43
	60		7,86	7,58	0,25	0,63
260 (56°38,0' N; 19°35,0' E)	0,5	09. 04.	7,61	2,62	0,08	0,62
	50		7,62	3,32	0,08	0,79
	100		11,00	9,94	0,11	0,04
	140		12,43	32,43	0,16	0,41
271 (57°20,0' N; 20°03,0' E)	0,5	09. 04.	7,62	4,15	0,03	0,13
	50		7,73	2,41	0,08	0,24
	100		10,98	4,44	0,09	0,61
	150		12,14	5,58	0,25	0,71
225	12,56	3,27	0,12	0,51		

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Stat. Nr.	Tiefe (m)	Proben- nahme 1972	Salzgehalt (‰)	Zn (µg/l)	Cd (µg/l)	Pb (µg/l)
030 (54°43,4' N; 12°47,0' E)	0,5	13. 04.	8,04	9,81	0,38	0,73
	10		8,29	1,98	0,18	0,48
	18		9,12	1,40	0,07	0,28
012 (54°18,9' N; 11°33,0' E)	0,5	14. 04.	11,04	4,77	0,37	0,94
	10		16,31	2,69	0,11	0,55
	20		20,40	3,41	0,19	0,59
020 (54°11,3' N; 11°27,8' E)	0,5	14. 04.	15,66	5,80	0,13	0,36
	10		16,69	9,15	0,16	0,90
	21		22,40	4,22	0,14	1,10
021 (54°09,3' N; 11°17,6' E)	0,5	14. 04.	15,81	3,62	0,08	0,46
	15		18,57	3,31	0,17	0,69
023 (54°03,5' N; 11°03,3' E)	0,5	05. 05	12,48	1,90	1,81	
	15		15,72	8,70	0,24	
041 (54°24,4' N; 12°03,7' E)	0,5	05. 05.	9,25	4,90	1,52	
	15		11,46	3,07	0,24	
030	0,5	06. 05.	8,22	5,03	1,25	
	10		8,22	5,30	0,11	
	18		15,12	2,62	0,05	
113	0,5	06. 05.	8,06	8,50	0,79	
	20		8,17	4,45	0,21	
	40		—	5,35	0,18	
161	0,5	08. 05.	7,63	5,69	0,24	
	10		7,70	4,58	0,15	
200	0,5	09. 05.	7,62	4,18	0,49	
	40		8,29	7,98	0,36	
	80		16,95	3,47	0,44	
213 (55°15,0' N; 15°59,0' E)	0,5	10. 05.	7,79	2,35	0,11	
	40		8,11	4,25	0,04	
	80		16,78	3,40	0,12	
271	0,5	19. 05.	7,50	—	0,25	
	50		7,77	3,01	0,37	
	150		11,91	3,14	0,09	
	235		12,43	7,32	—	
260	0,5	20. 05.	7,66	3,27	0,07	
	50		7,66	6,47	0,19	
	100		11,00	2,55	0,19	
	140		12,09	4,51	—	

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Stat. Nr.	Tiefe (m)	Proben-nahme 1972	Salzgehalt (‰)	Zn (µg/l)	Cd (µg/l)	Pb (µg/l)
255 (55°38,0' N; 18°36,0' E)	0,5	21.05.	7,76	4,12	0,05	
	40		7,83	4,84	0,14	
	75		9,60	10,26	0,46	
1973						
023	0,5	08. 02.	15,97	11,57	0,08	0,19
	5		17,41	4,51	0,17	0,90
	20		19,27	6,80	0,06	0,77
021	0,5	08. 02.	14,56	16,93	0,19	1,15
	5		14,55	6,01	0,06	0,91
	22		19,59	4,18	0,04	0,94
020	0,5	08. 02.	14,90	13,34	0,13	0,74
	5		14,91	0,72	0,05	0,52
	20		18,13	2,42	0,03	0,88
012	0,5	08. 02.	14,92	16,02	0,10	0,88
	5		14,94	11,90	0,06	0,49
	22		16,35	6,73	0,04	0,62
030	0,5	09. 02.	13,36	12,62	0,17	0,55
	5		13,35	14,71	0,09	0,98
	10		13,35	2,22	0,06	0,28
	18		15,37	3,60	0,04	0,33
113	0,5	09. 02.	8,56	3,20	0,07	1,20
	5		8,57	3,27	0,13	0,76
	20		9,86	5,17	0,11	1,80
	40		15,05	3,20	0,11	1,01
142	0,5	10. 02.	8,09	7,71	0,10	0,83
	5		8,09	4,51	0,02	0,42
	20		8,09	4,64	0,03	0,49
	40		10,15	3,14	0,08	0,58
161	0,5	11. 02.	7,82	2,62	0,03	0,48
	5		7,82	4,84	0,03	0,71
	10		7,82	5,49	0,08	0,67
200	0,5	11. 02.	7,95	5,69	0,18	0,39
	5		7,95	3,92	0,06	0,54
	40		7,99	27,13	0,05	0,65
	60		14,15	5,88	0,10	0,81
	80		15,74	5,88	0,05	0,65
213	0,5	12. 02.	7,85	6,80	0,32	0,0
	5		7,85	16,93	0,09	0,36
	20		7,90	2,16	0,07	0,23
	40		8,06	12,29	0,45	0,93
	60		12,14	7,91	0,06	0,52
	80		17,03	6,86	0,05	0,70

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Stat. Nr.	Tiefe (m)	Proben-nahme 1973	Salzgehalt (‰)	Zn (µg/l)	Cd (µg/l)	Pb (µg/l)
041	0,5	18. 02	11,88	5,43	0,04	0,52
	5		11,89	8,43	0,05	0,45
	15		16,51	4,90	0,05	1,51
041	0,5	24. 03.	12,13	28,89	0,11	1,73
	5		12,75	52,50	0,17	1,35
	17		14,67	41,38	0,04	0,82
030	0,5	25. 03.	9,79	31,12	0,05	0,29
	5		9,82	6,66	0,07	0,50
	21		11,32	43,41	0,07	0,93
113	0,5	25. 03.	8,24	14,97	0,11	0,65
	5		8,23	4,51	0,04	0,20
	20		8,31	4,90	0,09	0,52
	40		13,07	5,62	0,03	0,44
161	0,5	27. 03.	5,83	4,18	0,08	0,24
	5		6,67	5,75	0,23	0,64
	10		8,18	4,24	0,03	1,11
213	0,5	28. 03.	7,88	4,64	0,06	0,60
	5		7,94	5,75	0,09	0,34
	40		8,00	10,20	0,09	0,67
	80		16,85	11,37	0,11	0,49
271	0,5	31. 03.	7,50	8,43	0,08	0,44
	5		7,50	10,52	0,08	0,61
	20		7,54	6,73	0,09	0,61
	50		7,58	8,69	0,09	0,57
	100		11,29	14,57	0,06	0,55
	150		12,21	8,30	0,05	0,56
	240		12,53	2,09	0,04	0,27

Tabelle 3 gibt die mittleren Konzentrationen, die relativen Standardabweichungen sowie den Konzentrationsbereich für Zn, Cd und Pb wieder. Dabei werden die Oberflächenwerte getrennt berücksichtigt. Nach GOLDBERG [9] liegen die Konzentrationen dieser Elemente im Weltmeer bei 10 µg/l (Zn), 0,11 µg pro l (Cd) und 0,03 µg/l (Pb). Es zeigt sich in der Ostsee gegenüber dem natürlichen ozeanischen Gehalt eine starke Zunahme der Bleimengen. Die von TATSUMOTO und PATTERSON [24] postulierte Erhöhung des Bleigehalts im Nordatlantik nimmt hier noch einmal um einen Faktor von etwa vier zu. Aus der Analyse der erhaltenen Meßergebnisse werden ebenfalls eine relative Abnahme der Zinkkonzentration und eine starke Zunahme des Kadmiumgehalts der Oberflächenwerte ersichtlich. In der mittleren und westlichen Ostsee ist diese Erscheinung besonders ausgeprägt.

Tabelle 3  
Konzentration von Spurenelementen in der Ostsee

Proben- nahme 1972	Probe	Element	Proben- anzahl	mittlere Konzentr. ( $\mu\text{g/l}$ )	Konzentr.- Bereich ( $\mu\text{g/l}$ )	Standard- Abweichung (%)	
April	A <sub>1</sub>	Zn	48	5,68	1,40–32,43	$\pm 85$	
		Cd	48	0,15	0,03– 0,47	$\pm 57$	
		Pb	48	0,61	0,13– 1,22	$\pm 39$	
	B <sub>1</sub>	Zn	16	5,45	2,62–11,38	$\pm 45$	
		Cd	16	0,18	0,03– 0,38	$\pm 52$	
		Pb	16	0,66	0,13– 1,22	$\pm 39$	
	A <sub>1</sub> –B <sub>1</sub>	Zn	32	5,80	1,40–32,43	$\pm 98$	
		Cd	32	0,14	0,04– 0,47	$\pm 57$	
		Pb	32	0,58	0,24– 1,10	$\pm 39$	
Mai	A <sub>2</sub>	Zn	45	5,50	0,98–20,73	$\pm 61$	
		Cd	43	0,31	0,04– 1,81	$\pm 120$	
	B <sub>2</sub>	Zn	16	5,34	1,90–13,40	$\pm 57$	
		Cd	17	0,48	0,05– 1,81	$\pm 113$	
	A <sub>2</sub> –B <sub>2</sub>	Zn	29	5,59	0,98–20,73	$\pm 66$	
		Cd	26	0,16	0,04– 0,46	$\pm 77$	
	April +	A <sub>1</sub> + A <sub>2</sub>	Zn	93	5,60	0,98–32,43	$\pm 75$
			Cd	91	0,23	0,03– 1,81	$\pm 110$
	Mai	B <sub>1</sub> + B <sub>2</sub>	Zn	32	5,40	1,90–13,40	$\pm 50$
Cd			33	0,33	0,03– 1,81	$\pm 127$	
(A <sub>1</sub> + A <sub>2</sub> ) –(B <sub>1</sub> + B <sub>2</sub> )		Zn	61	5,70	0,98–32,43	$\pm 84$	
		Cd	58	0,15	0,04– 0,47	$\pm 69$	
1973							
Februar	A <sub>3</sub>	Zn	56	6,40	0,72–16,93	$\pm 63$	
		Cd	57	0,08	0,01– 0,45	$\pm 91$	
		Pb	57	0,65	0,00– 1,80	$\pm 48$	
	B <sub>3</sub>	Zn	16	8,72	1,96–16,93	$\pm 53$	
		Cd	16	0,11	0,03– 0,32	$\pm 68$	
		Pb	16	0,60	0,00– 1,26	$\pm 54$	
	A <sub>3</sub> –B <sub>3</sub>	Zn	40	5,47	0,72–16,93	$\pm 63$	
		Cd	41	0,07	0,01– 0,45	$\pm 99$	
		Pb	41	0,66	0,23– 1,80	$\pm 47$	
März	A <sub>4</sub>	Zn	33	17,16	2,09–62,89	$\pm 97$	
		Cd	33	0,10	0,03– 0,26	$\pm 60$	
		Pb	33	0,68	0,20– 1,73	$\pm 54$	
	B <sub>4</sub>	Zn	9	15,78	4,18–31,12	$\pm 56$	
		Cd	9	0,12	0,05– 0,26	$\pm 65$	
		Pb	9	0,68	0,24– 1,73	$\pm 69$	
	A <sub>4</sub> –B <sub>4</sub>	Zn	24	17,69	2,09–62,89	$\pm 104$	
		Cd	24	0,09	0,03– 0,23	$\pm 56$	
		Pb	24	0,68	0,20– 1,49	$\pm 49$	

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Proben- nahme 1973	Probe	Element	Proben- anzahl	mittlere Konzentr. ( $\mu\text{g/l}$ )	Konzentr.- Bereich ( $\mu\text{g/l}$ )	Standard- Abweichung (%)
Februar +	A <sub>3</sub> + A <sub>4</sub>	Zn	89	10,39	0,72–62,89	$\pm 112$
		Cd	90	0,09	0,01– 0,45	$\pm 76$
		Pb	90	0,66	0,00– 1,80	$\pm 54$
März	B <sub>3</sub> + B <sub>4</sub>	Zn	25	11,26	1,96–31,12	$\pm 67$
		Cd	25	0,11	0,03– 0,32	$\pm 68$
		Pb	25	0,63	0,00– 1,73	$\pm 66$
(A <sub>3</sub> + A <sub>4</sub> ) –(B <sub>3</sub> + B <sub>4</sub> )		Zn	64	10,05	0,72–62,89	$\pm 129$
		Cd	65	0,08	0,01– 0,45	$\pm 79$
		Pb	65	0,67	0,20– 1,80	$\pm 47$

A – Berücksichtigung der Werte aller Tiefen;

B – Berücksichtigung der Oberflächenwerte.

Die Messungen des Jahres 1973, die vor einer vollen Planktonentwicklung durchgeführt wurden, zeigen auch relativ hohe Zinkkonzentrationen an der Oberfläche und deuten damit auf schwache biologische Aktivitäten hin. Um jedoch klare Aussagen über die Zusammenhänge zwischen der lebenden organischen Materie und den Zinkgehalten des Meerwassers machen zu können, sind Messungen über den Zeitraum mehrerer Jahre in Verbindung mit produktionsbiologischen Untersuchungen erforderlich.

Vergleichswerte über die Bestimmung der genannten Schwermetalle in der Ostsee sind verhältnismäßig selten. Die von SEN GUPTA [22, 23] erhaltenen Ergebnisse können nur mit Vorbehalt herangezogen werden, da sie durch Atomabsorptionsspektrophotometrie gewonnen wurden und demzufolge nicht nur die ionischen (labilen) Anteile repräsentieren. Bessere Vergleichsmöglichkeiten bieten die Werte von KREMLING [13], die mit einer ähnlichen polarographischen Meßanordnung wie in dieser Arbeit erhalten wurden. Obgleich seine Meßergebnisse auf sofortigen Analysen der Proben auf See beruhen, ist eine relativ gute Übereinstimmung mit den vorliegenden Resultaten festzustellen.

#### 4. Folgerungen

Die in der vorliegenden Arbeit beschriebene Methode der inversen Voltammetrie läßt sich zur Bestimmung der Konzentration labiler Schwermetallspuren im Meerwasser verwenden. Bei genauer Konstanz der Versuchsvariablen und der Wahl optimaler Analysenbedingungen liegt die relative Standardabweichung in Grenzen, die eine Differenzierung von Wassermassen nach ihrem Gehalt an Spurenelementen gestatten. Die Untersuchungen belegen die im Vergleich zu

natürlichen ozeanischen Konzentrationen besonders hohe Belastung der mittleren und westlichen Ostsee mit Blei und Kadmium.

Da die Ostsee (ca. 5 mg C/l) gegenüber ozeanischen Gebieten (ca. 1–2 mg C/l) verhältnismäßig reich an organischem Kohlenstoff ist, sind die Anteile der an suspendierte oder gelöste organische Materie gebundenen Spurenelemente naturgemäß hoch. Um zu fundierten Aussagen über die Rolle der Schwermetalle in der Biosphäre zu gelangen, ist es deshalb notwendig, neben der labilen Menge auch die anderen Erscheinungsformen der Spurenelemente quantitativ zu erfassen.

### Literatur

- [1] ARIEL, M. und U. EISNER, Trace analysis by anodic stripping voltammetry. I. Trace metals in dead sea brine. 1. Zinc and cadmium. *J. Electroanal. Chem.* **5** (1963), 362.
- [2] ARIEL, M., U. EISNER und S. GOTTESFELD, Trace analysis by anodic stripping voltammetry. II. The method of medium exchange. *J. Electroanal. Chem.* **7** (1964), 307.
- [3] BRANICA, M., M. PETEK, A. BARIC und L. JEFTIC, Polarographic characterisation of some trace elements in sea water. *Rapp. Comm. int. Mer. Medit.* **19** (1969), 929.
- [4] BROOKS, R. R., B. J. PRESLEY und I. R. KAPLAN, Determination of copper in saline waters by atomic absorption spectrophotometry combined with APDC-MIBK extraction. *Anal. Chim. Acta* **38** (1967), 321.
- [5] BRYAN, G. W., A discussion on biological effects of pollution in the sea. The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. *Proc. Roy. Soc. Lond. B* **177** (1971), 389.
- [6] BURRELL, D. C., Trace elements in marine waters by atomic absorption spectrophotometry. *Anal. Chim. Acta* **38** (1967), 447.
- [7] BURRELL, D. C. und G. G. WOOD, Direct determination of zinc in seawater by atomic absorption spectrophotometry. *Anal. Chim. Acta* **48** (1969), 45.
- [8] DIXON, M. und E. C. WEBB, *Enzymes*. Academic Press, Inc., New York, 2nd ed., 1964.
- [9] GOLDBERG, E. D., Minor elements in sea water. In: RILEY, J. P. und G. SKIRROW, *Chemical Oceanography*, vol. I, Academic Press, Inc., New York, 1965.
- [10] GUTKNECHT, J., Mechanism of radioactive zinc uptake by *Ulva lactuca*. *Limnol. Oceanogr.* **6** (1961) 426.
- , Zn<sup>65</sup> uptake by benthic marine algae. *Limnol. Oceanogr.* **8** (1963), 31.
- , Uptake and retention of cesium <sup>137</sup> and zinc <sup>65</sup> by seaweeds. *Limnol. Oceanogr.* **10** (1965), 58.
- [11] KEMULA, W. und Z. KUBLIK, Application of hanging mercury drop electrodes in analytical chemistry. In: *Advances in analytical chemistry and instrumentation*, Ed. REILLEY, New York 1963.
- [12] KOBAYASHI, J., Relation between the „Itai-Itai“ disease and the pollution of river water by cadmium from a mine. 5th Int. Water Poll. Conf., San Francisco, 1970.
- [13] KREMLING, K., Trace metal analysis of Baltic waters by anodic stripping voltammetry. 8th Conf. Balt. Oceanogr., Copenhagen, 1972.
- [14] MACCHI, G., The determination of ionic zinc in seawater by anodic stripping voltammetry using ordinary capillary electrodes. *J. Electroanal. Chem.* **9** (1965), 290.
- [15] MATSON, W. R., Trace metals, equilibrium and kinetics of trace metal complexes in natural median. Ph. D. thesis, Mass. Inst. Technol., Cambridge, 1968.
- [16] OSTERBERG, C., J. PATULLO und W. PEARCY, Zn<sup>65</sup> in euphausiids as related to Columbia River water off the Oregon coast. *Limnol. Oceanogr.* **9** (1964), 249.

- [17] OSTERBERG, C., W. PEARCY und H. CURL, Radioactivity and its relationship to oceanic food chains. *J. Mar. Res.* **22** (1963), 12.
- [18] PATTERSON, C., Contaminated and natural lead environment of man. *Archs environ. Hlth.* **11** (1965), 344.
- [19] POLIKARPOV, G. G., Radioecology of aquatic organisms. Reinhold Publ. Corp., New York, 1966.
- [20] RICE, T. R., Review of zinc in ecology. In: *Proc. 1st Nat. Symp. Radioecol.*, Colorado State University, 1961, Reinhold Publ. Corp., New York, 1963.
- [21] ROBERTSON, D. E., Role of contamination in trace element analysis of sea water. *Anal. Chem.* **40** (1968), 1067.
- [22] SEN GUPTA, R., Photosynthetic production and its regulating factors in the Baltic Sea. 8th Conf. Balt. Oceanogr., Copenhagen, 1972.
- [23] SEN GUPTA, R., On some trace metals in the Baltic. *Ambio* **1** (1972), 226.
- [24] TATSUMOTO, M. und C. PATTERSON, The concentration of common lead in sea water. *Earth science and meteorites*, North-Holland (1963), 74.
- [25] TUREKIAN, K.K. und D. F. SCHUTZ, Trace element economy in the oceans. *Symp. on Mar. Geochem.*, Narragausett Marine Lab., Univ. of Rhode Island, 1965.
- [26] WHITNACK, G. C. und R. SASSELLI, Application of anodic-stripping voltammetry to the determination of some trace elements in sea water. *Anal. Chim. Acta* **47** (1969), 267.
- [27] ZIRINO, A., Voltammetric measurement, speciation and distribution of zinc in ocean water. Ph. D. thesis, Univ. Wash., Seattle, 1970.
- [28] ZIRINO, A. und M. L. HEALY, Voltammetric measurement of zinc in the northeastern tropical Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.* **16** (1971), 773.
- , pH-controlled differential voltammetry of certain trace transition elements in natural waters. *Environmental Science & Technol.* **6** (1972), 243.

Abschluß der Arbeit: 9. 5. 1973

Anschrift des Verfassers:

Dr. rer. nat. L. BRÜGMANN  
Institut für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR  
DDR-253 Rostock-Warnemünde

## Über einige hydrographische und hydrooptische Beobachtungen an der Westmole von Warnemünde 1971 und 1972

Von LUDWIG GOHS

*Zusammenfassung:* Es werden aus den Schülerbeobachtungen die Lufttemperatur und die Temperatur an der Wasseroberfläche, der Wind und die Oberflächenströmung, die Meeresfarbe, die Sichttiefe, die Lichtextinktion und die Extinktionsspektralkoeffizienten in Tabellen und Graphiken mitgeteilt.

*Summary:* The observation of the pupils are given for the temperature of air, the temperature of the surface at sea, the wind and the current of surface, the colour at sea, the depth of visibility, the light extinction and the extinction spectral coefficient.

### 1. Einführung

Vom September 1971 bis Mai 1972 beschäftigte sich eine Schülergruppe aus der erweiterten Herder-Oberschule Rostock im Rahmen der wissenschaftlich-praktischen Arbeit mit der Aufgabe, zeitliche Änderung der Lichtextinktion, der Sichttiefe, der Meeresfarbe und der Oberflächentemperatur an fünf Punkten auf der Westmole in Warnemünde festzustellen. Außerdem sollten visuelle Beobachtungen über das Wetter, über die Strömungen und über andere Ereignisse an der Wasseroberfläche vorgenommen werden.

Diese Arbeiten führten die Schüler Christine NEUMANN und Henning BARTELS aus.

Das Ziel der wissenschaftlich-praktischen Arbeit — kurz WPA — ist es, die Schüler mit der wissenschaftlichen Arbeit in einem wissenschaftlichen Institut oder in einer entsprechenden Einrichtung eines Volkseigenen Betriebes bekanntzumachen, indem sie ein Problem unter Anleitung lösen. Ferner trägt die wissenschaftlich-praktische Arbeit wesentlich dazu bei, den Grundsatz der Verbindung von Bildung und Erziehung mit dem Leben, der Verbindung von Theorie und Praxis und der Verbindung von Lernen und produktiver Tätigkeit zu verwirklichen (KIRSTEN 1970).

An einem Arbeitstag wurde alle 14 Tage im Institut für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR die wissenschaftlich-praktische Arbeit ausgeführt.

Die Arbeit gliederte sich in folgende Abschnitte:

1. Schöpfen von Wasser auf der Mole an den vorgegebenen Meßpunkten und Vornahme von visuellen Beobachtungen mit entsprechender Protokollführung.

2. Ausführung von Messungen an den geschöpften Wasserproben.
3. Technische Bearbeitung der Meßwerte und ihre erste Bewertung.

Die Ergebnisse dieser Beobachtungen und Messungen werden hier vorgelegt, da hydrooptische Beobachtungen aus dem Hafenbereich nur selten vorliegen. Zur Feststellung der zunehmenden Verschmutzung des Wassers in den Häfen ist eine einfache Methode zur Charakterisierung des Verschmutzungsgrades erforderlich. Die hydrooptische Methode könnte dieser Forderung gerecht werden, wenn dazu noch umfangreiche Untersuchungen ausgeführt werden. Einen kleinen Beitrag mögen unser Bemühungen zur Lösung der weltweiten Umweltprobleme und besonders im Ostseeraum liefern.

## 2. Meßorte

In der Abb. 1 sind die fünf Meßpunkte auf der Westmole in einer Skizze eingezeichnet. Der 1. Meßpunkt liegt am Alten Strom, der einen Teil des Warnemünder Fischereihafens bildet und an seinem südlichen Ende abgeschlossen ist, so daß das eingedrungene Wasser keinen anderen Abfluß findet, als wieder auf dem gleichen Weg zurückzufließen. Diese Meßstelle neben dem Lattenpegel hat eine Brücke, von der aus die Messungen gut vorgenommen werden können, und im Sommer legen hier die Schiffe der Weißen Flotte (Ausflugsdampfer) an.

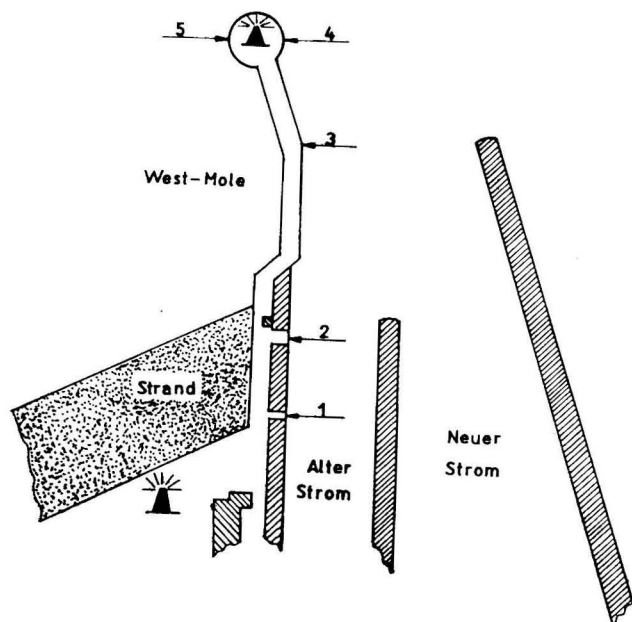


Abb. 1. Skizze der Meßstellen

Der 2. Meßpunkt ist etwa 200 m von der 1. Meßstelle entfernt, hier gibt es gleichfalls eine Brücke, die das Schöpfen des Wassers ohne Störungen erlaubt; diese Meßstelle ist schon mehr dem ausfließenden Wasser durch den alten Kanal ausgesetzt, als das beim 1. Meßpunkt der Fall ist.

Am Meßpunkt 3 wurden die Wasserproben unmittelbar an der Molenwand von der Wasseroberfläche geschöpft. Dabei wurde beim Schöpfen stets darauf geachtet, daß keine offensichtliche Verschmutzung durch Abfälle von der Wand geschehen konnte. Der Einfluß des ausströmenden Warnowwassers ließ sich von der Meßstelle aus sehr gut beobachten.

Die Meßstellen 4 und 5 haben ungestörte Verbindung zum offenen Meer, wobei die 4. Meßstelle je nach Stromlage stark vom ausfließenden Wasser umspült wird. Die beiden Meßstellen sind etwa 25 m voneinander entfernt.

## 3. Die Meßinstrumente

Das Schöpfen der Wasserproben von der Wasseroberfläche erfolgte mit einer einfachen Pütz, und das Wasser wurde sofort in einen verschließbaren Plastebehälter abgefüllt.

Die Feststellung der Oberflächentemperatur geschah mit einem durch Metall geschützten Oberflächenthermometer, das eine auf 1/10 °C genaue Ablesung der Temperatur gestattete.

Zur Bestimmung der Sichttiefe diente eine weiße Secchi-Scheibe von 30 cm Durchmesser. Sie war an einer mit Tiefenmarken versehenen Schnur befestigt, die eine Genauigkeit der Ablesung der Tiefe von 10 cm ermöglichte.

Die Ermittlung der Oberflächenfarbe erfolgte unter Anwendung der alten Forel-Ule-Skala mit 21 Farbunterschieden.

Um festzustellen, in welcher Tiefe noch die spektralen Anteile des Tageslichtes eindringen, wurde ein Brillensatz mit roten (Schottfilter RG 1, Filterschwerpunkt 620 nm), grünen (Schottfilter VG 9, Filterschwerpunkt 529 nm), blauen (Schottfilter BG 12, Filterschwerpunkt 441 nm) Gläsern eingesetzt.

Die Bestimmung der Lichtextinktion wurde mit dem Spekol von Carl Zeiß Jena ausgeführt, unter Verwendung von 50 cm langen Meßrohren mit einem Zusatzgerät, wie bei GOHS (1971) beschrieben. Die Messungen der Lichtextinktion der Wasserproben konnte in drei Spektralbereichen (425, 525 und 725 nm) mit Interferenzfilter vorgenommen werden.

Die qualitative Strömung an den Meßorten wurde an treibenden Körpern, z. B. Ölflecken, Eisschollen, Holzstücken u. a., visuell beobachtet.

Die Lufttemperatur, Windstärke und Windrichtung wurden aus den Tabellen der Seewetterdienststelle entnommen. Bei der geringen Entfernung der Wetterdienststelle von den Beobachtungsorten können diese Werte ohne Einschränkung benutzt werden.

## 4. Die Lufttemperatur

Nach den Angaben der Seewetterdienststelle Warnemünde war das Jahr 1971 recht trocken und etwas zu warm. Von den fünf Meßmonaten des Jahres 1972 war der Monat Januar gegenüber dem langjährigen Monatsmittelwert mit  $-3,5^{\circ}\text{C}$  zu kalt. Demgegenüber wiesen die Monate Februar und März eine positive Abweichung auf. Hingegen entsprach die mittlere Temperatur des Aprils der des langjährigen Normalwertes. Aber dem Mai fehlten  $1^{\circ}\text{C}$  zum Mittelwert. In der Tab. 1 sind die Monatsmittelwerte der Temperatur und die zugehörigen Abweichungen vom langjährigen Mittelwert eingetragen. In der Abb. 2 wurde der Temperaturverlauf über die Meßzeiten im Rhythmus von 14 Tagen eingetragen. Das Maximum der Temperatur an den Meßtagen tritt am 12. 10. 1971 mit  $14^{\circ}\text{C}$  auf, und das Minimum ist am 18. 1. 1972 im Meßzeitraum zu finden.

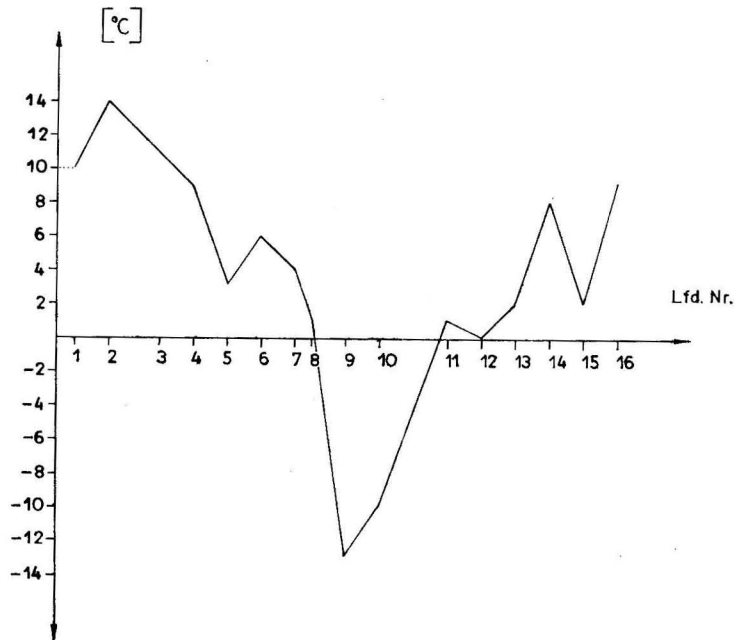


Abb. 2. Verteilung der Lufttemperatur an den Meßtagen 1971/72

## 5. Die Wassertemperatur

Die zeitliche und örtliche Verteilung der Oberflächentemperatur ist in der Tab. 2 ersichtlich. Die Temperaturwerte von einer Meßstelle zu der anderen ändern sich in einem Meßzyklus nur gering. Eine Zunahme der Änderungen beginnt sich erst ab der zweiten Januarhälfte bemerkbar zu machen. Es treten

Tabelle 1  
Die monatliche mittlere Verteilung der Lufttemperatur und die Abweichungen vom langjährigen Mittelwert

Monat	Monatsmitteltemperatur °C	Abweichung vom Normalwert °C
September 1971	13,4	-0,7
Oktober 1971	10,2	0,7
November 1971	5,2	0,3
Dezember 1971	5,2	3,4
Januar 1972	-3,1	-3,5
Februar 1972	0,8	0,2
März 1972	4,4	1,3
April 1972	6,7	0,0
Mai 1972	10,6	-1,0

Maxima und Minima in den Meßreihen auf. Regelmäßig erscheinen die maximalen Temperaturen in den kältesten Monaten des Jahres 1972 an der Meßstelle 1 und die minimalen an der Meßstelle 5 oder zumindest weiter zur Ostsee hin.

Auffallend in der Tab. 2 ist die große Temperaturdifferenz zwischen den Meßstellen 4 und 5, die nur einige Meter Entfernung voneinander haben, an den Meßtagen 28. 3., 11. 4. und 9. 5. 1972. Leider konnte die Meßstelle 5 am 28. 3. 1972 wegen des sehr stürmischen Wetters nicht betreten werden.

Tabelle 2  
Die Verteilung der Wassertemperatur an der Oberfläche in °C

Lfd. Nr.	2	3	4	5	6	7	8	9
Station	12. 10.	2. 11.	16. 11.	30. 11.	14. 12.	28. 12.	4. 1.	18. 1.
1	13,0	9,8	7,9	4,2	5,2	5,1	2,9	-0,4
2	12,9	9,8	7,9	4,2	5,1	5,1	2,6	-0,6
3	13,0	9,8	7,6	4,2	5,0		2,8	-1,2
4	12,9	9,8		4,2	5,0		2,7	-0,9
5	12,9	9,8		4,2	5,3		2,9	-0,7
Station	10	11	12	13	14	15	16	
	1. 2.	29. 2.	14. 3.	28. 3.	11. 4.	25. 4.	9. 5.	
1	-0,4	1,3	1,2	4,0	6,2	5,9	9,2	
2	-0,7	1,0	1,1	4,2	6,2	5,3	9,7	
3	-0,8	1,0	0,9	4,3	6,3	5,4	9,8	
4	-0,8	0,9	1,1	3,9	6,0	5,7	9,1	
5	-1,6	0,9	0,8		4,9	5,1	6,8	

## 6. Der Wind und die Strömungen

Die Windstärke schwankte an den Meßtagen zwischen 5 und 45 km/h. Die starken Winde kamen vorwiegend aus Richtung Süd bis West und herrschten

vor allem in den Monaten November und Dezember des Jahres 1971 vor. Die schwachen Winde erschienen häufig aus südlichen bis östlichen Richtungen, und sie traten vorwiegend im Frühjahr 1972 auf. Nördliche Winde wurden nur an einem Meßtag registriert. In der Tab. 3 ist der an den Meßtagen aufgetretene Wind eingetragen.

Tabelle 3

*Die Verteilung der Windstärke und der Windrichtungen*

Lfd. Nr.	Datum	Windrichtung	Windgeschwindigkeit km/h
1	28. 9. 71	E	10
2	12. 10. 71	S	20
3	2. 11. 71	SW	15
4	16. 11. 71	SW	30
5	30. 11. 71	SSE	5
6	14. 12. 71	WSW	30
7	28. 12. 71	W	45
8	4. 1. 72	ESE	10
9	18. 1. 72	E	20
10	1. 2. 72	ESE	5
11	29. 2. 72	N	10
12	14. 3. 72	SSE	15
13	28. 3. 72	SW	20
14	11. 4. 72	SSE	15
15	25. 4. 72	WNW	20
16	9. 5. 72	E	10

Die Beobachtung der Strömung erfolgte mit Hilfe von Körpern, z. B. Ölflecke, Holzstückchen u. a., die sich auf der Wasseroberfläche befanden. So ist also nur eine annähernde Bestimmung der Strömung an der Wasseroberfläche möglich. Zu beobachten ist, daß die Strömung entscheidend vom Wind und orographischen Verhältnissen bestimmt wird.

Bei Windrichtungen aus Ost konnten keine oder nur geringe Strömungen an den Meßstellen festgestellt werden. Alle Winde aus südlichen Richtungen verursachten einen Ausstrom des Warnowwassers an der Oberfläche an allen Beobachtungspunkten, aber bei den Winden aus Nord wurde das Wasser in den Alten Strom hineingedrückt. Während der W-Wind keine Strömung im Alten Strom verursachte, konnte bei WNW-Wind die Strömung in den Alten Strom hinein und bei WSW-Wind aus ihm heraus festgestellt werden.

## 7. Die Meeresfarbe

Die Bestimmung der Meeresfarbe mit der Forel-Ule-Skala ist stark mit subjektiven Fehlern behaftet, so daß ein Vergleich der mit anderen Methoden gewonnenen Farbwerte recht schwierig ist.

In der Tab. 4 sind die beobachteten Farbwerte eingetragen.

Tabelle 4

*Die örtliche und zeitliche Verteilung der Farbwerte an der Westmole in Warnemünde an den Meßstellen 1—5*

Lfd. Nr.	Datum	1	2	3	4	5
1	28. 9. 71	19	19	19	19	19
2	12. 10. 71	19	19	19	19	17
3	2. 11. 71	19	19	19	19	19
4	16. 11. 71	15	15	14	—	—
5	30. 11. 71	19	19	19	19	19
6	14. 12. 71	20	19	18	18	15
7	28. 12. 71	18	15	—	—	—
8	4. 1. 72	19	15	14	15	15
9	18. 1. 72	18	—	—	—	16
10	1. 2. 72	13	15	14	15	13
11	29. 2. 72	15	14	14	14	16
12	14. 3. 72	14	14	15	14	14
13	28. 3. 72	17	17	16	16	—
14	11. 4. 72	16	17	18	17	7
15	25. 4. 72	7	7	7	8	6
16	9. 5. 72	16	17	17	15	7

Wie aus der Tab. 4 ersichtlich ist, herrschen zum Ende des Jahres 1971 vorwiegend braune Färbungen vor und weisen nur geringe Differenzen von einer Meßstelle zur anderen auf. Werden die zeitlichen Änderungen an einer Meßstelle eingehender betrachtet, so sind teilweise sichtbare Unterschiede festzustellen.

Eine merkliche Abweichung tritt am 25. 4. 1972 an allen Meßstellen auf. Die Schwankungen der Meeresfarbe entsprechen dem von BRUNS (1958) angegebenen Bereich, wonach die Farbe der Ostsee von grün über gelbgrün bis braun weit in die Küstengewässer reicht. Nach JERLOV (1968) ist die Ostsee im wesentlichen grün.

## 8. Die Sichttiefe

Die Bestimmung der Sichttiefe mit der Secchi-Scheibe ist genau so problematisch wie die Farbbestimmung nach der Forel-Ule-Skala, aber beide Methoden werden noch in der ozeanologischen Praxis verwendet, weil sie einfach zu handhaben sind, und — wenn genügend lange Meßreihen zur Verfügung stehen — sind die Angaben doch recht aussagekräftig. Da die vorliegenden Meßreihen kurz sind, kann nur an einem Beispiel der Verlauf der beobachteten Werte gegeben werden.

In der Abb. 3 sind die an der Meßstelle 5 beobachteten Sichttiefen für weißes Licht und die drei Farben eingezeichnet. Zu erwähnen wäre, daß die Meßstelle 5 die größte Sichttiefe von allen Meßstellen aufwies; fast regelmäßig nahm die Sichttiefe in allen Farben zu der Meßstelle 1 hin ab.



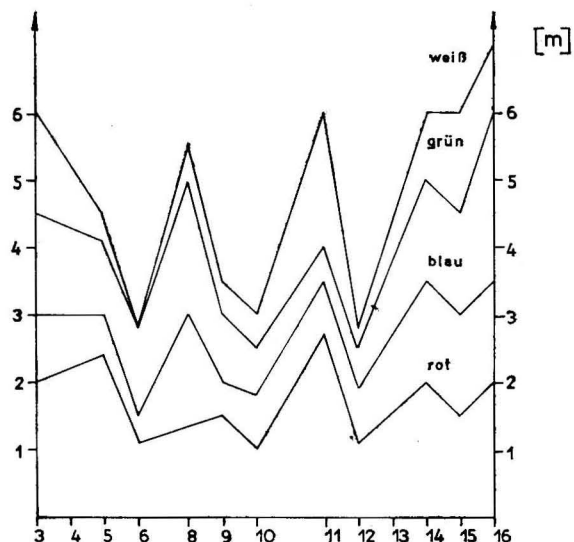


Abb. 3. Sichttiefen an der Meßstelle 5

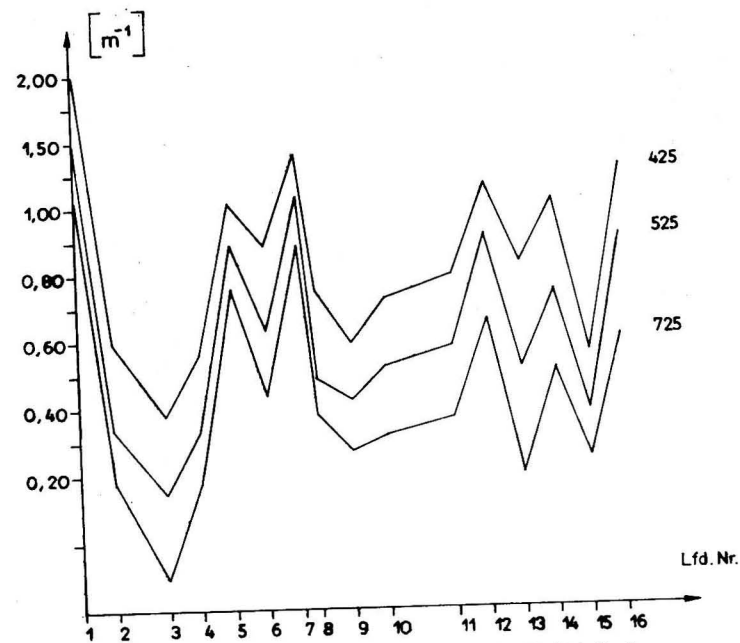
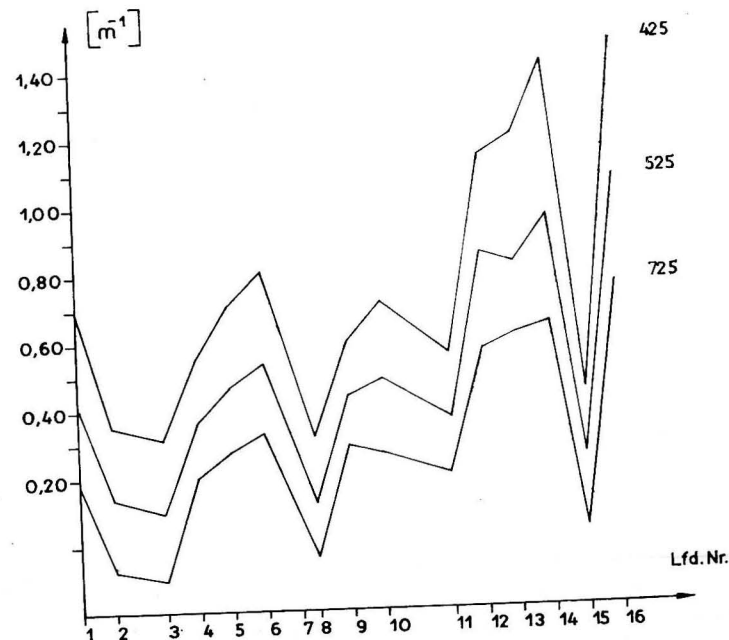
Für alle weiteren Abbildungen wurden auf der  $x$ -Achse an Stelle des Datums die laufende Nummer, die dem Datum der Tab. 3 entspricht, aufgetragen

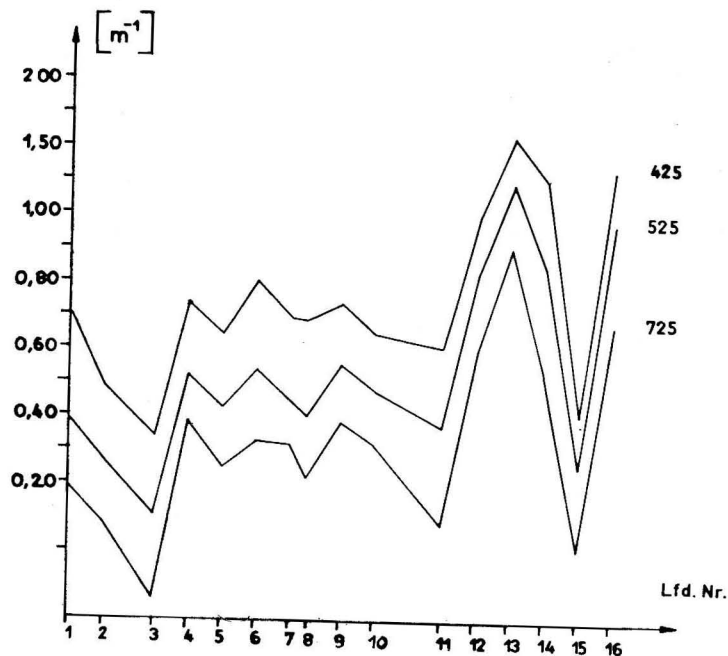
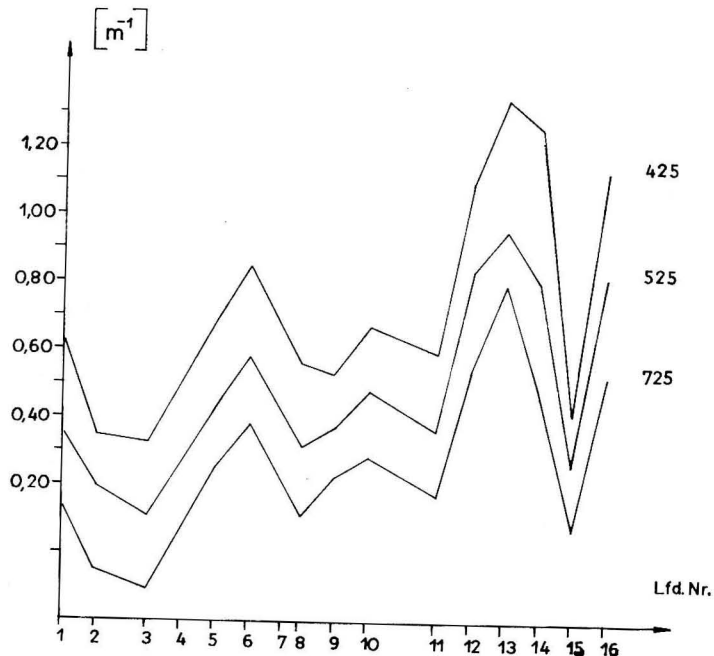
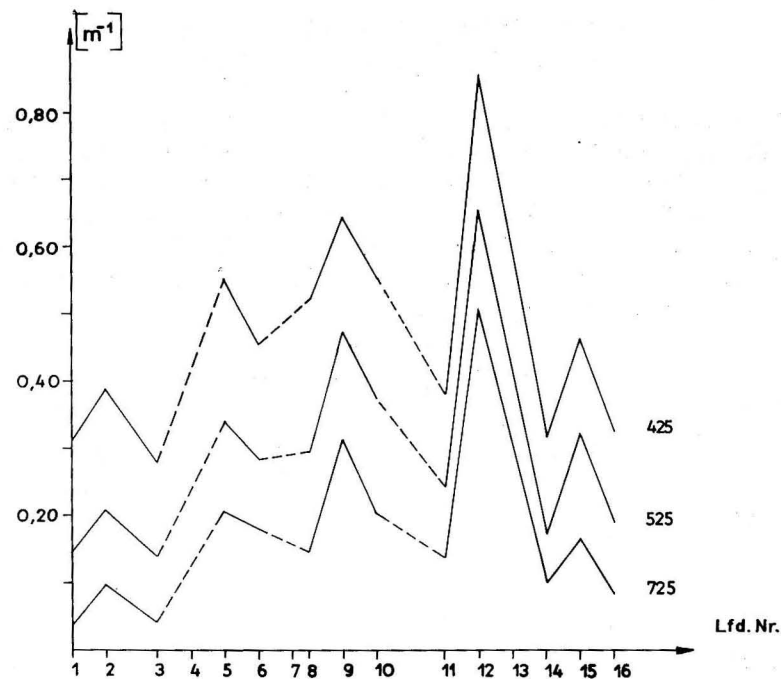
Eine zeitliche Variation der Sichtwerte ist eindeutig nicht zu erkennen, da die äußeren Einflüsse so stark sind und die sich andeutenden zeitlichen Änderungen unkenntlich machen. Zu den stark wirkenden äußeren Faktoren ist der Wind aus nördlichen Richtungen, die zeitweilige Vereisung, die Verschmutzung der Oberfläche durch Öl und die Aufwirbelung des Grundes durch vorbeifahrende Schiffe zu rechnen.

Das Wirken der äußeren Faktoren ist aus der Abb. 3 deutlich ablesbar aus der Änderung der Differenz zwischen den Sichttiefen der verschiedenen Farben. Am 14. 12. 1972 beträgt die Differenz zwischen der Sichttiefe der weißen und der grünen Farbe nur 10 cm, hingegen erreicht die Differenz am 29. 2. 1972 einen Wert von 3 m. Auch bei den anderen Farben schwankt die Differenz der Sichttiefen in den Farben von einem Zeitpunkt zu dem anderen beträchtlich. Die Differenzen der Sichttiefen der Farben variieren an den anderen Meßstellen mit der Zeit sehr stark und völlig unabhängig voneinander.

### 9. Die Lichtextinktion

Der Wert der Lichtextinktion wurde in ein bis zwei Stunden nach dem Schöpfen für alle Meßstellen im Labor bestimmt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 4 bis 8 graphisch dargestellt. Aus den Lichtextinktionswerten ist an allen Meßstellen eine zeitliche Abhängigkeit nicht festzustellen. Die kleinsten zeitlichen Variabilitäten weist die Meßstelle 2, dargestellt in der Abb. 5, auf.

Abb. 4. Lichtextinktion  $[m^{-1}]$  an der Meßstelle 1Abb. 5. Lichtextinktion  $[m^{-1}]$  an der Meßstelle 2

Abb. 6. Lichtextinktion [ $\text{m}^{-1}$ ] an der Meßstelle 3Abb. 7. Lichtextinktion [ $\text{m}^{-1}$ ] an der Meßstelle 4Abb. 8. Lichtextinktion [ $\text{m}^{-1}$ ] an der Meßstelle 5

Zwischen den Meßstellen sind die Schwankungen der Extinktion in der gleichen Meßzeit unregelmäßig. Feststellbar ist, daß die Meßstelle 5 fast zu allen anderen Meßstellen die kleinsten Lichtextinktionswerte besitzt. Die Differenzen zwischen den Spektralbereichen sind verschieden von Meßzeit zu Meßzeit und von Meßstelle zu Meßstelle, und das weist auf die unterschiedlichen Bedingungen hin, die auch für die Sichttiefen galten.

Der kleinräumige Vergleich der Extinktionswerte der Proben aller 5 Meßstellen ergibt, daß das Wasser der Meßstelle 1 den anderen Meßstellen gegenüber am meisten Licht extingiert. Der Unterschied der Extinktionswerte zwischen den Proben der Meßstellen 2, 3 und 4 war verhältnismäßig gering. Die größenmäßige Reihenfolge dieser Werte war unterschiedlich. Die Meßstelle 3 erschien oftmals stark verschmutzt. Mehrmals waren aber auch an der Meßstelle 2 die größten Extinktionswerte zu finden. Die Meßstelle 5 verhielt sich gegenüber den anderen Meßstellen sehr abweichend. Einerseits lagen ihre Extinktionswerte in der Größe der Werte der Meßstelle 3 und 4, andererseits konnte hier aber kleinste Extinktion ermittelt werden. Trotz der vielen Abweichungen ist die Tendenz festzustellen, daß von der Meßstelle 5 zu der Meßstelle 1 die Lichtextinktion zunimmt.

### 10. Die Extinktionsspektralkoeffizienten und die Extinktionsspektralkonstanten

Zur Bestimmung der Extinktionsspektralkoeffizienten und der Konstanten wurden die Wasserproben nach der ersten Messung mit doppeltdestilliertem Wasser verdünnt und dann erneut die Lichtextinktion bestimmt; weil die Wasserproben recht trübe waren, konnte zum zweiten Mal eine Verdünnung vorgenommen werden. Auf Grund dieser Prozedur war es möglich, drei Koeffizienten bzw. drei Konstanten zu berechnen. In der Tab. 5 wurden nur die Mittelwerte aus den drei Berechnungen angegeben.

Tabelle 5  
Mittelwerte der  $C_1^{4,5}$ ,  $C_1^{7,5}$  und der  $C_0^{4,5}$ ,  $C_0^{7,5}$  Werte

Lfd. Nr.	Datum	Meßstelle	$C_1^{4,5}$	$D^{4,5}$ [ $\mu$ ]	$C_1^{7,5}$	$D^{7,5}$ [ $\mu$ ]	$\bar{D}$ [ $\mu$ ]	$C^{5,K}$	$K$ [mg/l]	$C_0^{4,5}$	$C_0^{7,5}$
1	28. 9. 71	1	1,36	0,68	0,65	0,96	0,82	0,295	4,6		
		2	2,04	—	0,42	0,34	0,34	0,030	12,7		
		3	1,78	0,30	0,50	0,56	0,43	0,075	5,4		
		4	1,66	0,44	0,64	0,92	0,68	0,215	1,6		
		5	1,18	1,00	0,71	1,40	1,20	0,386	0,4		
2	12. 10. 71	1	2,28	—	0,34	0,14	0,14	—	—	-0,05	0,03
		2	2,60	—	0,24	—	—	—	—	-0,04	0,02
		3	2,00	—	0,27	—	—	—	—	-0,14	0,02
		4	1,86	0,18	0,27	—	—	—	—	-0,01	0,02
		5	2,17	—	0,38	0,22	0,22	—	—	-0,05	0,00
3	2. 11. 71	1	2,39	—	0,18	—	—	—	—	-0,09	0,01
		2	3,82	—	0,94	4,70	4,70	0,164	0,9	-0,23	0,01
		3	2,38	—	0,19	—	—	—	—	-0,06	0,01
		4	1,36	0,78	0,30	0,04	0,41	0,065	2,3	0,16	0,00
		5	2,13	—	0,09	—	—	—	—	-0,02	0,00
4	16. 11. 71	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2	1,62	0,48	0,64	0,93	0,70	0,225	2,3	-0,12	0,04
		3	0,92	—	0,29	—	—	—	—	0,06	0,09
		4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	30. 11. 71	1	1,22	0,96	0,83	3,18	2,07	0,325	2,6	0,00	0,01
		2	1,30	0,86	0,63	0,90	0,88	0,325	1,3	0,06	0,06
		3	1,55	0,57	0,51	0,58	0,57	0,155	3,0	0,02	0,08
		4	1,69	0,40	0,51	0,58	0,49	0,105	4,2	0,06	0,03
		5	1,94	0,12	0,49	0,54	0,33	0,025	13,6	0,12	0,05
6	14. 12. 71	1	1,62	0,48	0,48	0,50	0,49	0,105	6,0	0,30	0,13
		2	1,39	0,76	0,56	0,72	0,74	0,246	2,2	0,04	0,01
		3	1,60	0,50	0,50	0,56	0,53	0,135	3,9	0,05	0,05
		4	1,48	0,66	0,59	0,80	0,73	0,249	2,3	0,01	0,05
		5	1,57	0,47	0,71	1,44	0,96	0,365	0,8	0,06	0,03

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Lfd. Nr.	Datum	Meßstelle	$C_1^{4,5}$	$D^{4,5}$ [ $\mu$ ]	$C_1^{7,5}$	$D^{7,5}$ [ $\mu$ ]	$\bar{D}$ [ $\mu$ ]	$C^{5,K}$	$K$ [mg/l]	$C_0^{4,5}$	$C_0^{7,5}$	
7	28. 12. 71	1	1,62	0,48	0,65	0,96	0,72	0,235	4,5	0,33	0,15	
		2	2,04	—	0,59	0,79	0,79	0,330	1,3	0,20	0,04	
		3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
8	4. 1. 72	1	1,63	0,47	0,79	2,52	1,49	0,357	1,1	0,02	0,06	
		2	1,93	0,10	0,41	0,32	0,21	—	—	—	0,10	0,07
		3	3,66	—	0,26	—	—	—	—	—	—	0,27
		4	1,77	0,30	0,52	0,61	0,35	0,040	9,5	0,10	0,02	
		5	1,85	0,20	0,34	0,14	0,17	—	—	—	0,03	0,03
9	18. 1. 72	1	1,28	0,89	0,72	1,56	1,27	0,374	1,1	0,06	0,05	
		2	1,26	0,80	0,74	1,80	1,30	0,320	1,2	0,06	0,03	
		3	1,28	0,89	0,74	1,80	1,34	0,365	1,2	0,04	0,05	
		4	1,03	4,50	0,86	3,76	4,13	0,198	1,8	0,13	0,07	
		5	1,23	0,94	0,78	2,34	1,64	0,350	1,7	0,08	0,06	
10	1. 2. 72	1	1,58	0,53	0,59	0,80	0,67	0,210	2,5	-0,18	0,08	
		2	1,39	0,76	0,72	1,56	1,16	0,360	1,4	-0,02	-0,03	
		3	1,83	0,22	0,47	0,50	0,36	0,045	10,4	-0,14	0,06	
		4	1,36	0,79	0,50	0,56	0,67	0,210	2,3	-0,02	0,02	
		5	1,36	0,79	0,52	0,61	0,70	0,225	1,7	-0,03	0,01	
11	29. 2. 72	1	1,53	0,59	0,55	0,70	0,64	0,195	2,9	-0,05	0,01	
		2	1,87	0,18	0,44	0,40	0,29	0,015	25,2	-0,02	0,12	
		3	1,88	0,14	0,53	0,64	0,39	0,050	7,4	-0,12	-0,01	
		4	1,52	0,60	0,71	1,46	1,03	0,385	0,9	-0,03	-0,05	
		5	1,94	0,12	0,78	2,52	1,32	0,370	0,7	-0,06	-0,04	
12	14. 3. 72	1	1,32	0,84	0,75	1,90	1,37	0,365	2,5	-0,07	-0,00	
		2	1,31	0,85	0,73	1,68	1,26	0,375	2,1	-0,02	-0,01	
		3	1,35	0,80	0,67	1,00	0,90	0,335	2,5	-0,05	-0,04	
		4	1,35	0,80	0,70	1,34	1,07	0,385	2,1	-0,03	-0,01	
		5	1,33	0,83	0,78	2,34	1,58	0,355	1,9	-0,02	-0,06	
13	28. 3. 72	1	1,70	0,38	0,16	—	0,38	0,050	10,1	-0,52	0,39	
		2	1,56	0,55	1,01	—	0,55	0,146	7,4	-0,19	-0,19	
		3	1,50	0,63	0,83	3,22	1,92	0,335	2,4	-0,05	-0,08	
		4	1,32	0,84	0,82	3,08	1,96	0,334	2,9	-0,03	-0,04	
		5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
14	11. 4. 72	1	1,60	0,50	0,78	2,34	1,42	0,365	2,0	-0,16	-0,07	
		2	1,47	0,66	0,62	0,87	0,76	0,260	3,2	-0,02	-0,01	
		3	1,61	0,49	0,68	1,10	0,79	0,270	3,6	-0,15	-0,01	
		4	1,66	0,43	0,59	0,80	0,61	0,075	10,7	-0,13	0,01	
		5	1,65	3,90	0,70	1,34	2,32	0,300	0,6	-0,11	0,16	

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Lfd. Nr.	Datum	Meßstelle	$C_1^{4,5}$	$D_1^{4,5}$ [ $\mu$ ]	$C_1^{7,5}$	$D_1^{7,5}$ [ $\mu$ ]	$\bar{D}$ [ $\mu$ ]	$C^{5,K}$	$K$ [mg/l]	$C_0^{4,5}$	$C_0^{7,5}$
15	25. 4. 72	1	1,60	0,50	0,55	0,70	0,60	0,170	2,1	-0,01	-0,09
		2	1,84	0,22	0,84	3,40	1,83	0,340	0,7	-0,07	0,02
		3	1,66	0,43	0,37	0,22	0,32	0,020	12,5	-0,04	0,05
		4	1,61	0,49	0,24	—	0,49	0,110	2,4	0,00	0,00
		5	1,02	4,95	0,57	0,74	2,84	0,225	1,4	-0,14	-0,02
16	9. 5. 72	1	1,31	0,86	0,69	1,26	1,06	0,385	2,6	0,03	-0,04
		2	1,32	0,84	0,72	1,56	1,20	0,375	2,6	0,01	-0,06
		3	1,49	0,64	0,75	1,90	1,27	0,372	2,9	-0,08	-0,10
		4	1,36	0,79	0,66	0,99	0,89	0,330	2,4	0,01	-0,02
		5	1,74	0,34	0,47	0,55	0,42	0,075	2,4	-0,00	-0,01

Aus den beiden Extinktionsspektralkoeffizienten, die aus den Verhältnissen der Extinktionen des Spektralbereiches 425 zu 525 nm ( $C_1^{4,5}$ ) und 725 zu 525 nm ( $C_1^{7,5}$ ) gebildet wurden (GOHS 1971), konnten die zugehörigen Durchmesser  $D_1^{4,5}$  und  $D_1^{7,5}$  sowie der mittlere Durchmesser  $\bar{D}$  bestimmt werden. Nach dem gleichen Schema (GOHS 1971) erfolgte die Bestimmung der Konzentration der Schwebeteilchen in der Wasserprobe unter Benutzung der Extinktionswerte des grünen Spektralbereiches. Wenn andere Spektralbereiche zur Konzentrationsbestimmung mit herangezogen werden, so müssen die Extinktionswerte mit der Differenz der Konstanten von der Vergleichssubstanz und den Konstanten der Probe korrigiert werden, dann ergeben sich aus den drei spektralen Extinktionswerten immer die gleichen Konzentrationswerte. In der Tab. 5 wurden der Einfachheit halber nur die Konzentrationswerte angegeben, die aus den 525 nm Extinktionswerten ermittelt wurden. Die  $C^{5,K}$ -Bestimmung erfolgte mit Hilfe der Tabelle zur Konzentrationsbestimmung nach GOHS (1971), dabei wurden die Extinktions-Konzentrations-Koeffizienten für Durchmesser kleiner als 0,0005 mm durch Extrapolation erhalten. Eine Forderung der Extinktionsspektralmethode lautet, die Schwebeteilchen der Probe stimmen in allen Eigenschaften mit der Vergleichssubstanz überein, wenn die Durchmesser aus beiden Extinktionsspektralkoeffizienten gleich groß sind, andernfalls sind die Schwebeteilchen in der Probe von anderer physikalischer, chemischer und biologischer Beschaffenheit als die Schwebeteilchen in der Vergleichssubstanz. Unstimmigkeiten würden eine exakte Untersuchung gleicher Substanz erfordern, um dann daraus die Beziehungen zwischen der Schwebeteilchengröße und der Konzentration und der Extinktion herzustellen. Diese Untersuchungen sind erforderlich, aber in diesem Rahmen zur Zeit nicht durchführbar.

Eine Analyse der Durchmesserwerte in der Tab. 5 ermöglicht, drei Gruppen der Eigenschaften der Schwebeteilchen zu erfassen. Die fettgedruckten mittleren Durchmesserwerte der Schwebeteilchen zeigen eine Übereinstimmung der Eigenschaften in der Probe mit der Vergleichssubstanz, deren Schwebeteilchen aus Meeresbodenproben aus der mittleren Ostsee, also anorganischen, mine-

ralischen Ursprungs, gewonnen waren. In der zweiten Gruppe der Werte sind Schwebeteilchendurchmesser zwar bestimmbar, aber die beiden Durchmesser sind zu unterschiedlich und weisen auf organische Bestandteile in der Probe hin. Zu der dritten Gruppe sind die Werte zu rechnen, die eine Bestimmung von Durchmesser überhaupt nicht zulassen.

Ende November und Anfang Dezember 1971 weichen die beiden Durchmesser bei einigen Meßstellen nur wenig von einander ab, so daß die Durchmesser und die daraus bestimmten Konzentrationen als reell anzusehen sind. Hingegen konnten Ende Oktober und bis gegen Ende November die Durchmesser nur bei einem Extinktionsspektralkoeffizienten oder teilweise überhaupt nicht ermittelt

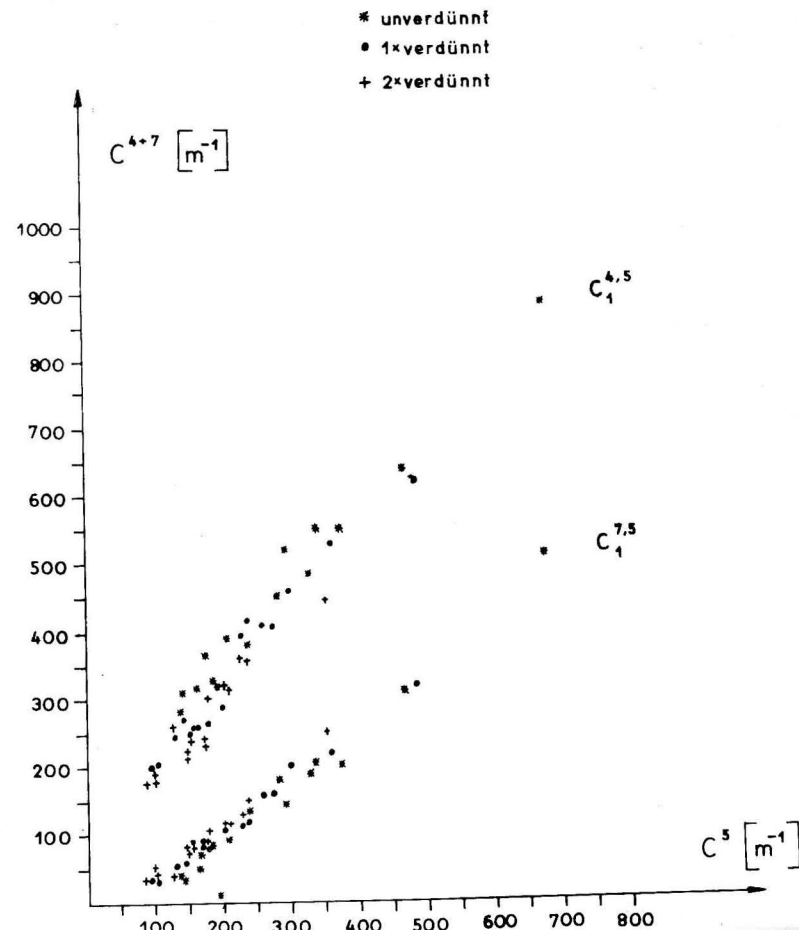


Abb. 9. Darstellung des mittleren Extinktionsspektralkoeffizienten für die Meßstelle 5 sowie Demonstration der Extinktionswerte, die aus unverdünnten \*, einmal • und zweimal + verdünnten Wasserproben ermittelt wurden

werden. Aber beim überwiegenden Teil der Beobachtungen war eine Bestimmung der Durchmesser möglich, jedoch besitzen sie andere Eigenschaften als die Durchmesser der Schwebeteilchen der Vergleichssubstanz. Diese Gruppe der Schwebeteilchen ist einmal auf die Verschmutzung durch Öl aus dem Hafen und aus den sich entwickelnden organischen Substanzen im Frühjahr zurückzuführen.

In der Abb. 9 sind die Extinktionswerte der Meßstelle 5 eingezeichnet. Es wurden alle in der Beobachtungszeit ermittelten Werte sowie die ein- und zweimal verdünnten Extinktionswerte eingetragen. Aus dieser Darstellung lassen sich zwei Tatsachen ablesen. Erstens zeigt eine geringe Streuung der Extinktionswerte um die hier durchlegbare Gerade, daß bei der Messung nur geringe, wenig auffallende Fehler gemacht wurden. Zweitens ist ersichtlich, weil die verdünnten Werten mit eingetragen sind, daß die Verdünnung mit doppeltdestilliertem Wasser keinen oder nur wenig Einfluß auf die Änderung der Eigenschaften der Schwebeteilchen hat.

## 11. Schlußbetrachtungen

Aus dieser kurzen Beobachtungsreihe lassen sich keine allgemeingültigen Gesetzmäßigkeiten ableiten, aber diese Beobachtungen erlauben einen Einblick, der auf die möglichen Erscheinungen aufmerksam macht. Sie regen zu weiteren Untersuchungen an. Bei allen Meßergebnissen zeigt sich deutlich der große Einfluß der örtlichen Gegebenheiten.

Weitere Untersuchungen müssen folgen.

Frau Paula FRIESE möchten wir für die Reinschrift des Manuskripts und Herrn Wolfgang RÜTING für die technische Hilfeleistung recht herzlich danken.

## 12. Literatur

- [1] BRUNS, E., Ozeanologie Bd. I, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin, 1958.
- [2] GOHS, L., Untersuchungen über die Bestimmungen der Lichtextinktion an suspendierten Teilchen, Dissertation, Karl-Marx-Universität Leipzig, 1971.
- [3] JERLOV, N. G., Optical Oceanography, Elsevier Publishing Company, Amsterdam — London — New York, 1968.
- [4] KIRSTEN, Hinweise für die Arbeitsgruppenleiter der wissenschaftlich-praktischen Arbeit, Rat des Bezirkes Erfurt, Abteilung Volksbildung, 1970.

Anschrift des Verfassers:

Dr. LUDWIG GOHS  
Institut für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR  
DDR-253 Rostock-Warnemünde

## Bestimmung der Gezeitenstromellipse aus zwei Stromvektoren

Von GÜNTHER SAGER

*Zusammenfassung:* Es wird gezeigt, wie die Elemente der Gezeitenstromellipse aus zwei Tidestromvektoren und deren zeitlicher Zuordnung bestimmt werden können. Ein Beispiel ist angefügt.

*Problemstellung:* Gegeben sind zwei Stromvektoren der Gezeitenstromellipse zu den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  mit den Richtungen  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$  (rechtweisend oder wie hier gegen die Ostrichtung gemessen) sowie die zugehörigen Stromstärken  $w_1$  und  $w_2$ . Zu bestimmen sind die Eintrittszeit des Maximalstroms, die größte und kleinste Stromstärke und deren Verhältnis, die Richtung der Richtung und für die Stärke des Tidestroms zu beliebigen Zeitpunkten, die Brennpunktsgroßen  $e$  und  $\varepsilon$  sowie die Krümmungskreise.

Mit einer Gezeitenstromfrequenz bei Halbtagstiden von

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi/12 \text{ h } 25 \text{ min} = 2\pi/745 \text{ min}$$

hat man nach Abb. 1

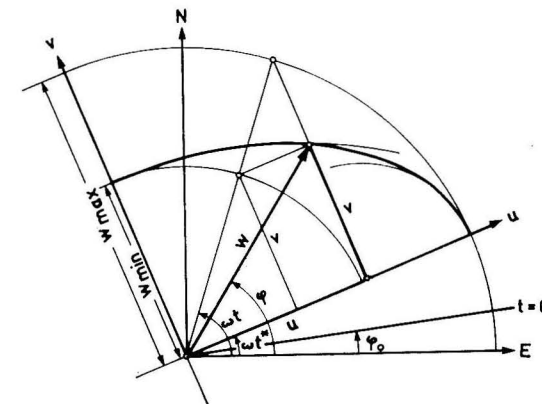


Abb. 1. Schema zur Bestimmung der Fundamentalgroßen der Gezeitenstromellipse

$$\left. \begin{aligned} u &= w_{\max} \cos \omega(t - t^*), & v &= w_{\min} \sin \omega(t - t^*), \\ u^2 + v^2 &= w^2 = w_{\max}^2 \cos^2 \omega(t - t^*) + w_{\min}^2 \sin^2 \omega(t - t^*), \\ \frac{v}{u} &= \frac{w_{\min}}{w_{\max}} \tan \omega(t - t^*) = \tan(\varphi - \omega t^*). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Die letzte Gleichung heißt für die Zeiten und Richtungen der vorgegebenen Vektoren

$$\begin{aligned} \tan(\varphi_1 - \omega t^*) &= \frac{w_{\min}}{w_{\max}} \tan \omega(t_1 - t^*), \\ \tan(\varphi_2 - \omega t^*) &= \frac{w_{\min}}{w_{\max}} \tan \omega(t_2 - t^*), \end{aligned}$$

woraus sich  $w_{\max}$  und  $w_{\min}$  eliminieren lassen. Es bleibt dann

$$\frac{\tan(\varphi_1 - \omega t^*)}{\tan(\varphi_2 - \omega t^*)} = \frac{\tan \omega(t_1 - t^*)}{\tan \omega(t_2 - t^*)}$$

bzw. nach Trennung der Argumente

$$\begin{aligned} &\frac{\tan \varphi_1 - \tan \omega t^*}{1 + \tan \varphi_1 \tan \omega t^*} \cdot \frac{1 + \tan \varphi_2 \tan \omega t^*}{\tan \varphi_2 - \tan \omega t^*} \\ &= \frac{\tan \omega t_1 - \tan \omega t^*}{1 + \tan \omega t_1 \tan \omega t^*} \cdot \frac{1 + \tan \omega t_2 \tan \omega t^*}{\tan \omega t_2 - \tan \omega t^*}. \end{aligned}$$

Diese Relation ist eine Bestimmungsgleichung vierten Grades für  $\tan \omega t^*$  und damit die Eintrittszeit des maximalen Gezeitenstroms.

Nach einer Reihe von Zwischenrechnungen erhält man die Normalform

$$\tan^4 \omega t^* + a \tan^3 \omega t^* + b \tan^2 \omega t^* + c \tan \omega t^* - 1 = 0$$

mit  $b = 0$  und  $c = a$ , also

$$\tan^4 \omega t^* + a \tan^3 \omega t^* + a \tan \omega t^* - 1 = 0 \quad \text{mit}$$

$a =$

$$\frac{(\tan \varphi_2 - \tan \varphi_1)(1 - \tan \omega t_1 \tan \omega t_2) + (\tan \omega t_1 - \tan \omega t_2)(1 - \tan \varphi_1 \tan \varphi_2)}{\tan \varphi_2 \tan \omega t_1 - \tan \varphi_1 \tan \omega t_2} \quad (2)$$

Diese Gleichung gestattet die Produktform

$$(\tan^2 \omega t^* + 1)(\tan^2 \omega t^* + a \tan \omega t^* - 1) = 0.$$

Da  $\tan^2 \omega t^* + 1 \neq 0$  ist, verbleibt die quadratische Gleichung

$$\tan^2 \omega t^* + a \tan \omega t^* - 1 = 0$$

mit der Auflösung

$$\tan \omega t^* = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} + 1}.$$

Weil die Zeit positiv von einem noch zu bestimmenden Ausgangswert  $t = t_0 = 0$  gerechnet werden soll, hat man schließlich mit (2)

$$\tan \omega t^* = \sqrt{\frac{a^2}{4} + 1} - \frac{a}{2}. \quad (2a)$$

Mit  $\omega t^*$  folgt aus der Relation zwischen dem Mittelpunktswinkel  $\omega(t - t^*)$  und der Richtung  $\varphi - \omega t^*$  des Vektors des Maximalstroms

$$\varphi = \omega t^* + \frac{180^\circ}{\pi} \arctan \left[ \frac{w_{\min}}{w_{\max}} \tan \omega(t - t^*) \right], \quad (3)$$

wenn

$$\omega = \frac{360^\circ}{745 \text{ min}}$$

ist.

Für  $t = t^*$  erhält man als Richtung der Hauptachse der Gezeitenstromellipse gegen die Ostrichtung

$$\varphi^* = \omega t^*, \quad (4)$$

womit die zweite Fundamentalgröße bestimmt ist. Mit  $t = t_0 = 0$  resultiert als Richtung des Stromvektors zu Beginn der benutzten Zeitzählung

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 &= \omega t^* - \frac{180^\circ}{\pi} \arctan \left( \frac{w_{\min}}{w_{\max}} \tan \omega t^* \right) \quad \text{bzw.} \\ \varphi_0 &= \varphi^* - \frac{180^\circ}{\pi} \arctan \left( \frac{w_{\min}}{w_{\max}} \tan \varphi^* \right). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Damit ist die dritte Fundamentalgröße gewonnen, wobei man jedoch sowohl für  $\varphi$  allgemein als auch  $\varphi_0$  insbesondere die Werte der maximalen und minimalen Stärke des Tidestroms benötigt.

Zur Bestimmung der extremen Geschwindigkeiten dient die Gleichung  $w^2$  der beiden Stromvektoren, nämlich

$$w_1^2 = w_{\max}^2 \cos^2 \omega(t_1 - t^*) + w_{\min}^2 \sin^2 \omega(t_1 - t^*)$$

und

$$w_2^2 = w_{\max}^2 \cos^2 \omega(t_2 - t^*) + w_{\min}^2 \sin^2 \omega(t_2 - t^*).$$

Hieraus bestimmt man

$$w_{\max}^2 = \frac{w_1^2 \sin^2 \omega(t_2 - t^*) - w_2^2 \sin^2 \omega(t_1 - t^*)}{\cos^2 \omega(t_1 - t^*) \sin^2 \omega(t_2 - t^*) - \cos^2 \omega(t_2 - t^*) \sin^2 \omega(t_1 - t^*)}$$

und

$$w_{\min}^2 = \frac{w_2^2 \cos^2 \omega(t_1 - t^*) - w_1^2 \cos^2 \omega(t_2 - t^*)}{\cos^2 \omega(t_1 - t^*) \sin^2 \omega(t_2 - t^*) - \cos^2 \omega(t_2 - t^*) \sin^2 \omega(t_1 - t^*)}.$$

Mit der Umformung des Nenners

$$\begin{aligned} & \cos^2 \omega(t_1 - t^*) \sin^2 \omega(t_2 - t^*) - \cos^2 \omega(t_2 - t^*) \sin^2 \omega(t_1 - t^*) = \\ & = [\cos \omega(t_1 - t^*) \sin \omega(t_2 - t^*) + \cos \omega(t_2 - t^*) \sin \omega(t_1 - t^*)] \times \\ & \times [\cos \omega(t_1 - t^*) \sin \omega(t_2 - t^*) - \cos \omega(t_2 - t^*) \sin \omega(t_1 - t^*)] = \\ & = \sin \omega(t_2 + t_1 - 2t^*) \sin \omega(t_2 - t_1) = \\ & = -\frac{1}{2} [\cos 2\omega(t_2 - t^*) - \cos 2\omega(t_1 - t^*)] \end{aligned}$$

und der Zähler

$$\begin{aligned} & w_1^2 \sin^2 \omega(t_2 - t^*) - w_2^2 \sin^2 \omega(t_1 - t^*) = \\ & = \frac{1}{2} w_1^2 [1 - \cos 2\omega(t_2 - t^*)] - \frac{1}{2} w_2^2 [1 - \cos 2\omega(t_1 - t^*)] \end{aligned}$$

bzw.

$$\begin{aligned} & w_2^2 \cos^2 \omega(t_1 - t^*) - w_1^2 \cos^2 \omega(t_2 - t^*) = \\ & = \frac{1}{2} w_2^2 [1 + \cos 2\omega(t_1 - t^*)] - \frac{1}{2} w_1^2 [1 + \cos 2\omega(t_2 - t^*)] \end{aligned}$$

folgen die beiden weiteren Fundamentalgrößen

$$\left. \begin{aligned} w_{\max} &= \sqrt{\frac{w_2^2 \cos 2\omega(t_1 - t^*) - w_1^2 \cos 2\omega(t_2 - t^*) + (w_1^2 - w_2^2)}{\cos 2\omega(t_1 - t^*) - \cos 2\omega(t_2 - t^*)}} \\ w_{\min} &= \sqrt{\frac{w_2^2 \cos 2\omega(t_1 - t^*) - w_1^2 \cos 2\omega(t_2 - t^*) - (w_1^2 - w_2^2)}{\cos 2\omega(t_1 - t^*) - \cos 2\omega(t_2 - t^*)}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

und als Quotient

$$\frac{w_{\min}}{w_{\max}} = \sqrt{\frac{w_2^2 \cos 2\omega(t_1 - t^*) - w_1^2 \cos 2\omega(t_2 - t^*) + (w_1^2 - w_2^2)}{w_2^2 \cos 2\omega(t_1 - t^*) - w_1^2 \cos 2\omega(t_2 - t^*) - (w_1^2 - w_2^2)}} \quad (7)$$

Der Ausdruck der Formel (7) wird in den Formeln (5) benötigt.

Für die Stärke des Tidestroms zu einem beliebigen Zeitpunkt hat man aus

$$w^2 = w_{\max}^2 \cos^2 \omega(t - t^*) + w_{\min}^2 \sin^2 \omega(t - t^*)$$

mit den schon benutzten Umformungen

$$w^2 = \frac{1}{2} (w_{\max}^2 + w_{\min}^2) + \frac{1}{2} (w_{\max}^2 - w_{\min}^2) \cos 2\omega(t - t^*) \quad (8)$$

und mit den Werten von  $w_{\max}$  und  $w_{\min}$  den äquivalenten Ausdruck

$$w = \sqrt{\frac{w_2^2 \cos 2\omega(t_1 - t^*) - w_1^2 \cos 2\omega(t_2 - t^*) + (w_1^2 - w_2^2) \cos 2\omega(t - t^*)}{\cos 2\omega(t_1 - t^*) - \cos 2\omega(t_2 - t^*)}}$$

Die Brennpunktlage der Ellipse resultiert aus  $e^2 = w_{\max}^2 - w_{\min}^2$  zu

$$e = \sqrt{\frac{2(w_1^2 - w_2^2)}{\cos 2\omega(t_1 - t^*) - \cos 2\omega(t_2 - t^*)}} \quad (9)$$

und die numerische Exzentrizität  $\varepsilon = e/w_{\max}$  zu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{2(w_1^2 - w_2^2)}{w_2^2 \cos 2\omega(t_1 - t^*) - w_1^2 \cos 2\omega(t_2 - t^*) + (w_1^2 - w_2^2)}} \quad (10)$$

Als Scheitelkrümmungskreise erhält man im Nebenscheitel  $r_{\max} = w_{\max}^2/w_{\min}$  und im Hauptscheitel  $r_{\min} = w_{\min}^2/w_{\max}$  und damit aus den Gleichungen (6)

$$\begin{aligned} r_{\max} &= \frac{w_2^2 \cos 2\omega(t_1 - t^*) - w_1^2 \cos 2\omega(t_2 - t^*) + (w_1^2 - w_2^2)}{\sqrt{[w_2^2 \cos 2\omega(t_1 - t^*) - w_1^2 \cos 2\omega(t_2 - t^*) - (w_1^2 - w_2^2)] \begin{bmatrix} \cos 2\omega(t_1 - t^*) \\ -\cos 2\omega(t_2 - t^*) \end{bmatrix}}} \\ r_{\min} &= \frac{w_2^2 \cos 2\omega(t_1 - t^*) - w_1^2 \cos 2\omega(t_2 - t^*) - (w_1^2 - w_2^2)}{\sqrt{[w_2^2 \cos 2\omega(t_1 - t^*) - w_1^2 \cos 2\omega(t_2 - t^*) + (w_1^2 - w_2^2)] \begin{bmatrix} \cos 2\omega(t_1 - t^*) \\ -\cos 2\omega(t_2 - t^*) \end{bmatrix}}} \end{aligned} \quad (11)$$

Für die Anwendung der Formeln sei nun ein Beispiel gegeben. Es sei

$$\begin{aligned} t_1 &= 3 \text{ h } 00 \text{ min} = 180 \text{ min}, & \varphi_1 &= 74,18^\circ, & w_1 &= 3,30 \text{ kn}, \\ t_2 &= 3 \text{ h } 30 \text{ min} = 210 \text{ min}, & \varphi_2 &= 93,11^\circ, & w_2 &= 2,95 \text{ kn}. \end{aligned}$$

Dann werden  $\tan \varphi_1 = 3,5292$ ,  $\tan \omega t_1 = 18,9545$ ,

$$\tan \varphi_2 = -18,4050, \quad \tan \omega t_2 = -4,9240.$$

Aus diesen Werten errechnet man für die Konstante

$$a = 1,490864.$$

Im weiteren benötigt man

$$\frac{a}{2} = 0,745432 \quad \text{und} \quad \frac{a^2}{4} = 0,555669$$

und bekommt

$$\tan \omega t^* = 0,501833.$$

Dazu gehören die Werte

$$\omega t^* = 26,65^\circ \quad \text{und} \quad t^* = 55,15 \text{ min}.$$

Rundet man  $t^*$  sinnvoll auf ganze Minuten, so folgen

$$\begin{aligned} t_1 - t^* &= 125 \text{ min}, & \varphi_1 - \omega t^* &= 47,53^\circ, \\ t_2 - t^* &= 155 \text{ min}, & \varphi_2 - \omega t^* &= 66,46^\circ. \end{aligned}$$

Mit  $w_1 = 3,30$  kn und  $w_2 = 2,95$  kn ergeben sich als Maximalstrom  $w_{\max} = 4,50$  kn und als Minimalstrom  $w_{\min} = 2,80$  kn sowie als Verhältnis beider  $w_{\min}/w_{\max} = 0,6222$ .

Zu den drei Fundamentalgrößen benötigt man nun noch  $\varphi$  und  $\varphi_0$ . Aus der allgemeinen Gleichung für die Richtung der Stromvektoren

$$\varphi = 26,65^\circ + \frac{180^\circ}{\pi} \arctan \left[ 0,6222 \tan \left( \frac{360^\circ t}{745 \text{ min}} - 26,65^\circ \right) \right]$$

kommt mit  $t = t^*$  als Richtung der Hauptachse gegen die Ostrichtung  $\varphi^* = 26,65^\circ$  und als Richtung des Stromvektors zu Beginn der Zeitmessung gegen die Ostrichtung aus  $t = t_0 = 0$  weiter  $\varphi_0 = 26,65^\circ - 17,34^\circ = 9,31^\circ$ . Der Umlaufsinn des Tidestroms ist aus der Aufgabenstellung ersichtlich und in der allgemeinen Richtungsgleichung für  $\varphi$  implizit enthalten.

Die allgemeine Gleichung für die Stromstärke lautet

$$w = \sqrt{14,0722 + 6,2127 \cos 2\omega(t - 55 \text{ min})},$$

wobei auf den Beginn der Zeitzählung zu achten ist. Für den Brennpunktastand vom Zentrum errechnet man  $e = 3,525$  kn und für die numerische Exzentrizität  $\varepsilon = 0,783$ . Schließlich folgt für die Scheitelkrümmungskreise  $r_{\max} = 7,236$  kn und  $r_{\min} = 1,745$  kn.

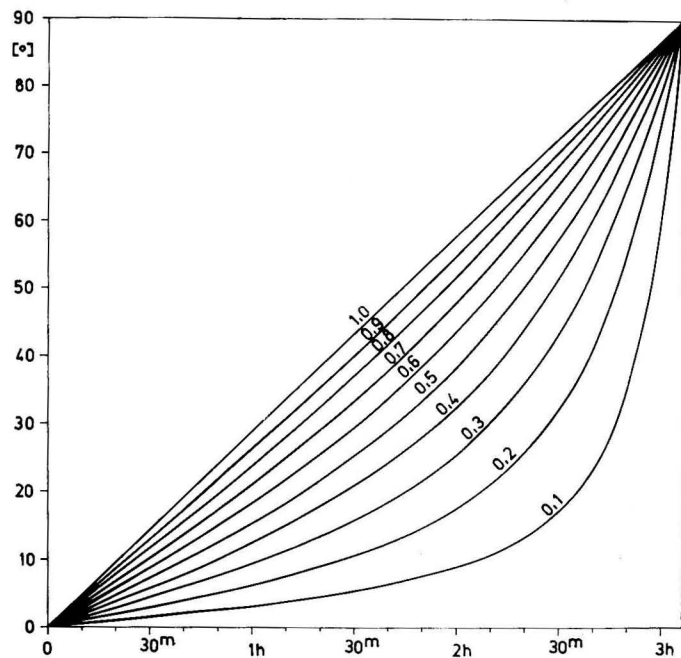


Abb. 2. Diagramm zum Ablauf der Stromrichtung halbtägiger Tideströme für gegebene Quotienten  $w_{\min}/w_{\max}$

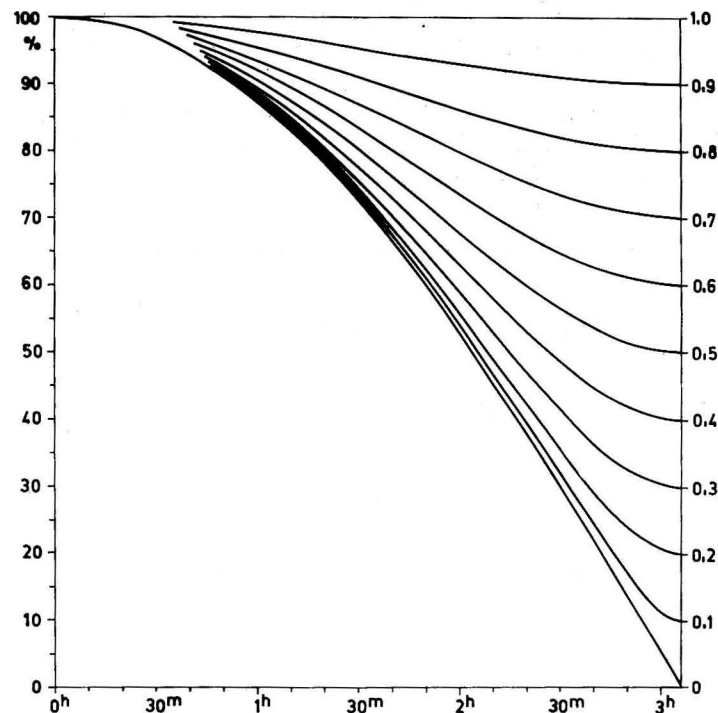


Abb. 3. Diagramm zum Ablauf der Stromgeschwindigkeit halbtägiger Tideströme für gegebene Quotienten  $w_{\min}/w_{\max}$

In den Abbildungen 2 und 3 sind für eine Anzahl von Werten des Quotienten  $w_{\min}/w_{\max}$  bei Beginn der Zeitrechnung im Hauptscheitelpunkt für  $w_{\max} = 100\%$  Richtung und Stromstärke in Abständen von etwa 15 min verzeichnet, wie dies die Gleichungen (3) und (8) ergeben. Diese Abbildungen geben einen Anhaltspunkt zum Ablauf halbtägiger Tideströme und zeigen vor allem, daß eine lineare Interpolation der Stärken und Richtungen zweier Stromvektoren bei schlanken Ellipsen in der Umgebung des Nebenscheitelpunktes, also um die Zeit des Minimalstroms nicht statthaft ist. Man kann dann entweder nach den Abbildungen 2 und 3 Zwischenkurven zeichnen und daraus die gesuchten Werte ermitteln oder aber numerisch vorgehen, indem man die Werte des Tidestroms zu drei benachbarten Stundenwerten heranzieht und dann parabolisch interpoliert.

Sind die Zuordnungen der Stundenwerte und der Stromstärken  $t_1, w_1, t_2, w_2$  und  $t_3, w_3$ , wie man sie dem Atlas der Gezeitenströme entnehmen kann, und ist  $t, w$  das gesuchte Wertepaar, so läßt sich aus der LAGRANGESchen Interpolationsformel bei  $t - t_2 = \Delta t$  für die gesuchte Stromstärke folgende Näherung finden

$$w = w_2 + \frac{1}{2} (w_3 - w_1) \Delta t + \frac{1}{2} (w_1 - 2w_2 + w_3) \Delta t^2. \quad (12)$$



Für sehr genaue Bestimmungen muß schließlich auf die Formel (8) zurückgegriffen werden. Analog kann man mit der Formel (12) auch für die Richtung verfahren, wobei dann einfach  $w$  durch  $\varphi$  zu ersetzen ist. Genaue Berechnungen verlangen dagegen wieder den Rückgriff auf die Basisformel, diesmal Formel (3). In Abbildung 4 ist noch einmal die Verflechtung der einzelnen Größen miteinander dargestellt, wie sie bei der Bestimmung der Gezeitenstromellipse aus zwei Stromvektoren auftritt.

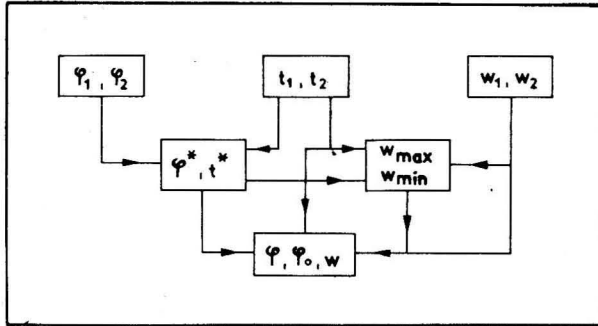


Abb. 4. Beziehung der Ausgangs- und Fundamentalgrößen einer Gezeitenstromellipse aus zwei Stromvektoren

### Literatur

- [1] Atlas der Gezeitenströme für die Nordsee, den Kanal und die Irische See. Seehydrographischer Dienst der DDR, Rostock 1968.
- [2] SAGER, G., Stärke und Richtung rotierender Tideströme mit Halbtagscharakter. Seewirtschaft, H. 3, Berlin 1971.
- [3] SAGER, G., Die Berechnung der Gezeiten im Küstenvorfeld und auf See. Seewirtschaft, H. 5, Berlin 1973.

Anschrift des Verfassers:

Dr. habil. G. SAGER  
 Institut für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR  
 DDR-253 Rostock-Warnemünde

## Vergleich zweier Methoden zur Berechnung von Jahresgängen aus nichtäquidistanten Meßwerten

VON HERBERT FRANCK UND WOLFGANG MATTHÄUS

*Zusammenfassung:* Anhand von zwei Beispielen aus der Ozeanographie werden vergleichende Untersuchungen zur Anwendung des Ausgleichsverfahrens und der Harmonischen Analyse für die Berechnung mittlerer Jahresgänge aus nichtäquidistanten Meßwerten mitgeteilt. Aus Datenmaterial verschiedenen Umfangs und unterschiedlicher zeitlicher Verteilung aus der Bornholm- und Gotlandsee werden spezielle Parameter des mittleren Jahresgangs wie die Standardabweichungen  $s$ , die Amplituden  $A_n$  der Grund- und Oberschwingungen, die mittlere Jahresschwankung  $\Delta T$  sowie die Eintrittszeiten und die Beträge der Extrema nach beiden Verfahren für mehrere Ausgleichsgrade  $k$  bestimmt. Mit Hilfe graphischer Darstellungen und Tabellen werden die Ergebnisse sowohl hinsichtlich der Methoden und des unterschiedlichen Beobachtungsmaterials als auch in Abhängigkeit von der Anzahl der Koeffizienten innerhalb der einzelnen Methode diskutiert. Es werden Empfehlungen für die praktische Anwendung der Verfahren gegeben.

### 1. Einleitung

Beobachtungsmaterial aus dem offenen Seegebiet ist im allgemeinen weder örtlich noch zeitlich homogen. Örtliche Homogenität kann man erreichen, wenn man markante Positionen, wie beispielsweise in der Ostsee die zentralen Teile der Becken, auswählt, die von Forschungsschiffen relativ häufig untersucht werden. Da diese Stationen in den Einzeljahren zu verschiedenen Zeiten ozeanographisch vermessen werden, ist eine zeitliche Homogenität nicht zu erzielen. Oft liegen nur wenige Serien pro Jahr vor, manchmal nur eine Messung, und während der Weltkriege wurden die Untersuchungen in großen Teilen der Ostsee völlig eingestellt. Bei der Berechnung mittlerer Jahresgänge auf der Grundlage derartigen Materials ist man deshalb auf Methoden angewiesen, die diesen Besonderheiten Rechnung tragen.

Die Konstruktion des mittleren Jahresgangs aus Monatsmittelwerten, wie sie von DIETRICH (1948, 1950) zur Darstellung des jährlichen Gangs der Temperatur- und Salzgehaltsschichtung in der Nord- und Ostsee angewendet wurde, liefert keinen funktionalen Zusammenhang zwischen der Meßgröße und der Zeit. Jedoch gestattet bei größerem Datenmaterial die Transformation der Meßwerte in zeitlich äquidistante Mittelwerte die Anwendung der Harmonischen Analyse, die von GRANQVIST (1938, 1952) und DIETRICH (1953) zur Berechnung mittlerer Jahresgänge herangezogen wurde. Zur Vermeidung einer erzwungenen

Äquidistanz, die bei kleineren Meßwertkollektiven ohnehin problematisch wird, ist für die Ermittlung von Jahresgängen ozeanographischer Parameter ein Ausgleichsverfahren vorgeschlagen worden (MATTHÄUS 1971). Die Leistungsfähigkeit dieses Verfahrens im Vergleich zur Harmonischen Analyse und der übergreifenden Mittelwertbildung wurde bereits am Beispiel einer äquidistanten Punktfolge (tägliche Beobachtungen der Oberflächentemperatur am Feuerschiff „Kiel“ im Jahre 1965) untersucht (MATTHÄUS, SAGER, SAMMLER 1974). Bei nichtäquidistanten Beobachtungen scheiden ebenso wie bei äquidistanten Werten einfache und übergreifende Mittelwertbildung für die Bestimmung funktionaler Zusammenhänge von vornherein aus. Im folgenden soll daher die Anwendung der Harmonischen Analyse und des Ausgleichsverfahrens bei der Berechnung mittlerer Jahresgänge über einige Jahrzehnte aus Meßwertfolgen verschiedenen Umfangs und unterschiedlicher Zeitabstände betrachtet werden.

## 2. Methoden und Material

Harmonische Analyse und Ausgleichung sind hinreichend bekannt bzw. bereits eingehend beschrieben worden, so daß hier nur auf die Unterschiede zwischen beiden Methoden eingegangen werden soll.

Im Ergebnis beider Verfahren erhält man einen genäherten analytischen Ausdruck für den Jahresgang in Form einer FOURIER-Reihe

$$y = a_0 + \sum_{n=1}^k (a_n \cos nt + b_n \sin nt) \quad (1)$$

mit endlich vielen Gliedern, wobei die Koeffizienten  $a_0$ ,  $a_n$  und  $b_n$  auf verschiedene Art berechnet werden. Bei der Harmonischen Analyse werden die FOURIER-Koeffizienten unmittelbar durch die Beziehungen

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \\ a_n &= \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m y_i \cos(i-1) \frac{2\pi n}{m} \\ b_n &= \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m y_i \sin(i-1) \frac{2\pi n}{m} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

bestimmt, wobei die Rechnungen im allgemeinen bei einem vorgegebenen  $k$  abgebrochen werden und die Glieder  $k+1$ ,  $k+2$ , ... unberücksichtigt bleiben. Damit werden die Koeffizienten unabhängig von der Zahl der Glieder. Nach der

zweiten Methode werden die Koeffizienten durch Ausgleichung der  $l$  Meßwerte mit Hilfe einer FOURIER-Reihe bestimmt. Aus den  $l$  linearen Fehlergleichungen

$$v_i = a_0 + \sum_{n=1}^k (a_n \cos nt_i + b_n \sin nt_i) - y_i \quad (3)$$

mit  $i = 1, 2, 3, \dots, l$ ;  $l > 2k + 1$

erhält man nach der GAUSSSchen Ausgleichsbedingung

$$[v v] = \text{Minimum}$$

durch Nullsetzen der partiellen Differentialquotienten

$$\frac{\partial [v v]}{\partial a_0}, \dots, \frac{\partial [v v]}{\partial a_k}, \frac{\partial [v v]}{\partial b_k}$$

$2k + 1$  Normalgleichungen. Die Lösung dieses inhomogenen linearen Gleichungssystems liefert die  $2k + 1$  Koeffizienten der Gleichung (1). In diesem Falle sind die Koeffizienten  $a_n$  und  $b_n$  von der Anzahl  $k$  der vorgegebenen Oberwellen abhängig, weil die Ausgleichung nach der GAUSSSchen Minimalbedingung in Abhängigkeit von  $k$  die jeweils beste Kurve durch das Meßwertkollektiv legt. Während jedoch für das Ausgleichsverfahren eine zeitliche Äquidistanz der Punkte nicht erforderlich ist, muß bei der Harmonischen Analyse die Transformation der Meßwerte in äquidistante Mittelwerte vorgenommen werden.

Mit Hilfe der Beziehungen

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \quad \alpha_n = \arctan \frac{b_n}{a_n} \quad (4)$$

können die Amplituden  $A_n$  und die Phasenkonstanten  $\alpha_n$  der Jahreshauptwelle und der ganzzahligen Vielfachen dieser Grundschwingung berechnet werden. Für beide Methoden wird die Standardabweichung

$$s = \pm \sqrt{\frac{[v v]}{l - (2k + 1)}} \quad (5)$$

der Einzelmessung von der berechneten Kurve als Maß für die Güte der Mittelung bestimmt.

Zur Untersuchung werden 123 Beobachtungen der Oberflächentemperatur des Gotlandtiefs (Station BY 15 A bzw. F 81 auf  $57^\circ 20' N$ ,  $19^\circ 59' E$ ) aus dem Zeitraum 1902–1970 und 335 Beobachtungen vom Bornholmbecken (Station östlich von Christiansö; mittlere Position  $55^\circ 19' N$ ,  $15^\circ 14' E$ ) aus dem Zeitraum 1933–1970 herangezogen.

Neben der unterschiedlichen Anzahl der Beobachtungen der beiden Kollektive spielt deren zeitliche Verteilung innerhalb der Jahresperiode eine Rolle. Wünschenswert ist eine engabständige Meßwertverteilung, die möglichst wenig von einer äquidistanten Verteilung abweicht, weil damit das Ausgleichsverfahren einen besseren funktionalen Zusammenhang liefert und die Repräsentativität der für die Harmonische Analyse zu bestimmenden äquidistanten Werte steigt.

Sehr ungünstige Verteilungen können das Verfahren der Harmonischen Analyse bereits infolge einzelner sehr großer Zeitabstände zwischen den Messungen zum Scheitern bringen.

Zur Beurteilung der Verteilung der hier verwendeten Meßwerte werden die zeitlichen Abstände ( $\Delta t$  [Tage]) zwischen den innerhalb der Jahresperiode chronologisch geordneten Beobachtungsterminen benutzt. Die Häufigkeitsdarstellung aller vorkommenden Zeitabstände der beiden Meßwertkollektive zeigt die Abb. 1. Als optimal ist bei  $l \leq 365$  Meßwerten eine weitgehende Annäherung an den speziellen äquidistanten Fall anzusehen, bei dem alle Zeitabstände  $\Delta t = \text{const} \approx 365/l$  und möglichst klein sind (1–2 Tage). Deshalb ist eine günstige Verteilung auch bei solchen nichtäquidistanten Messungen gegeben, deren Abstände zum weit überwiegenden Teil geringer als etwa 3–5 Tage sind; die maximalen Zeitabstände, also die größten Lücken zwischen den Messungen, sollten dabei möglichst klein bleiben. Dieser Bedingung entspricht in hohem Maße das Material des Bornholmbeckens. Rund 96% aller vorkommenden Zeitabstände sind  $\leq 3$  Tage und der maximale Abstand beträgt 6 Tage. Ungünstiger sieht es für das Gotlandtief aus. Obwohl auch hier eine starke Häufung geringer Zeitabstände auftritt, sind nur 75% aller  $\Delta t \leq 3$  Tage, der maximale Abstand beträgt jedoch 27 Tage.

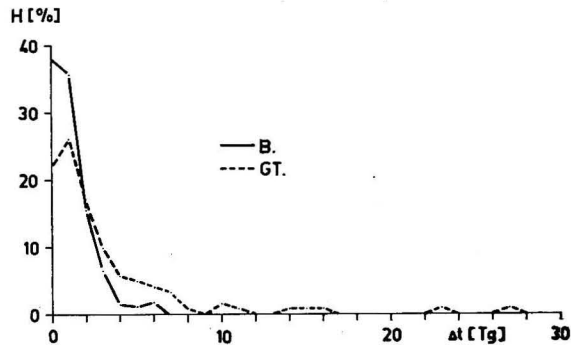


Abb. 1. Häufigkeitsverteilung der Zeitabstände  $\Delta t$  [Tage] zwischen den in der Jahresperiode geordneten Messungen der Gebiete Bornholmbecken (B.) und Gotlandtief (GT)

Einen zusätzlichen Einblick in die Verteilung des Beobachtungsmaterials liefert die Anzahl der monatlich vorhandenen Messungen (Zeitachse der Abb. 2 u. 3). In beiden Meßwertkollektiven stehen im Winterhalbjahr weniger Messungen als im Sommerhalbjahr zur Verfügung. Im Gotlandtief sinken die Messungen teilweise auf eine minimal erforderliche Anzahl.

Bei komplizierteren Jahresgängen, wie sie beispielsweise im Bereich der Sprungschichten auftreten können, ist neben der zeitlichen Verteilung auch die Streuung der Meßgrößen stärker zu beachten. Ungünstige zeitliche Verteilung der Meßwerte in Verbindung mit beträchtlichen Streuungen können sowohl bei der Ausgleichung als auch bei der Harmonischen Analyse zu nicht mehr der Realität entsprechenden Aussagen führen (MATTHÄUS 1973).

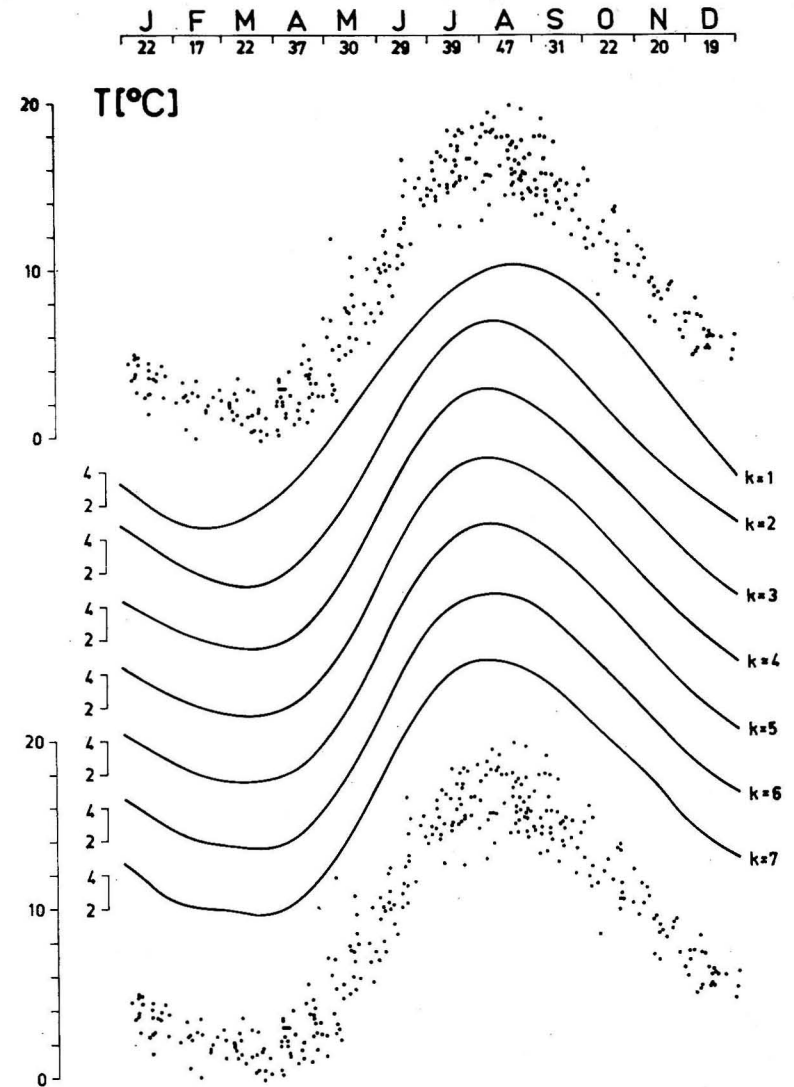


Abb. 2. Durch Ausgleichung gewonnener mittlerer Jahresgang der Oberflächentemperatur des Bornholmbeckens bei Verwendung verschiedener Ausgleichsgrade  $k$

### 3. Ergebnisse

Für beide Meßwertreihen erfolgte die Ausgleichung mit  $k = 1, 2, 3, \dots, 7$  und die Harmonische Analyse auf der Basis von  $m = 12$  äquidistanten Werten (Monatsmitteln) bis  $k = 5$  (H.A. I). Eine Berechnung weiterer Koeffizientenpaare

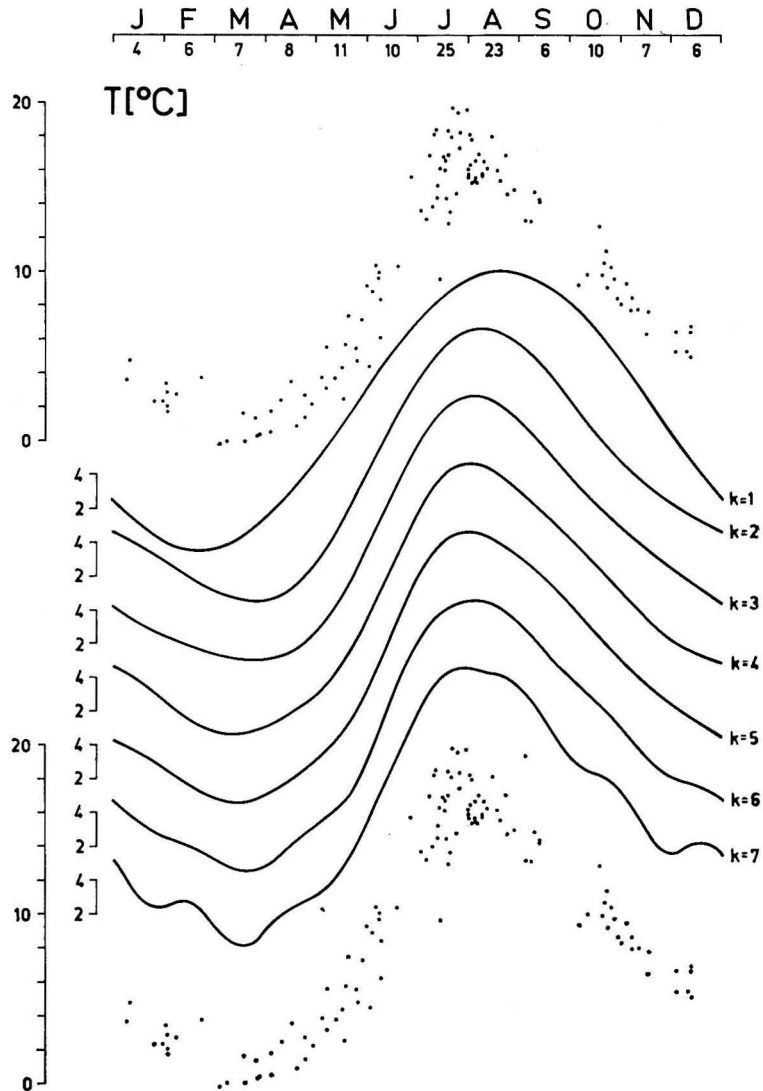


Abb. 3. Durch Ausgleich gewonnener mittlerer Jahresgang der Oberflächentemperatur des Gotlandtiefs bei Verwendung verschiedener Ausgleichsgrade  $k$

für  $k \geq m/2$  bei Verwendung der Harmonischen Analyse ist nicht sinnvoll. Da die Verteilung und die Anzahl der Messungen des Bornholmbeckens eine Bestimmung von Halbmonatsmitteln erlaubte, konnte für dieses Material die Harmonische Analyse mit  $m = 24$  Werten (H.A. II) durchgeführt werden, wobei die Berechnung der Koeffizienten bis  $k = 7$  erfolgte.

Die Ergebnisse, die die Ausgleichung liefert, sind für das Bornholmbecken und das Gotlandtief in den Abb. 2 und 3 wiedergegeben. Die Punktverteilungen

ober- und unterhalb der Jahresgänge stellen das jeweilige Originalmaterial dar. Eine Wiedergabe der Jahresgänge, die aus der Harmonischen Analyse resultieren, erfolgte nicht, da diese den durch Ausgleichung gewonnenen Kurven teilweise so ähnlich sind, daß eine Herausstellung der Unterschiede auf diese Weise nicht möglich ist. Zum Vergleich werden vielmehr spezielle Größen, wie die Standardabweichung, die Amplituden der Grund- und Oberschwingungen, die mittlere Jahresschwankung sowie die Eintrittszeiten und Beträge von Maxima und Minima herangezogen.

Die Standardabweichung  $s$  zwischen den ausgeglichenen Jahresgängen und den beobachteten Werten (Abb. 4) ist erwartungsgemäß bei dem umfangreicheren Material des Bornholmbeckens (B.) geringer als im Gotlandtief (GT). Diese Differenz ist jedoch von untergeordnetem Interesse, da hier der methodisch bedingte Unterschied im Vordergrund stehen soll. Im Bornholmbecken besteht zwischen der Harmonischen Analyse I und II sowie der Ausgleichung eine sehr gute Übereinstimmung. Die Unterschiede der Standardabweichungen bei  $k = 2, 3, 4, \dots, 7$  sind kleiner als  $0,02$  [°C]. Im Gotlandtief sind diese Unterschiede mit  $0,02 - 0,08$  [°C] bei  $k = 2, 3, 4, 5$  etwas größer.

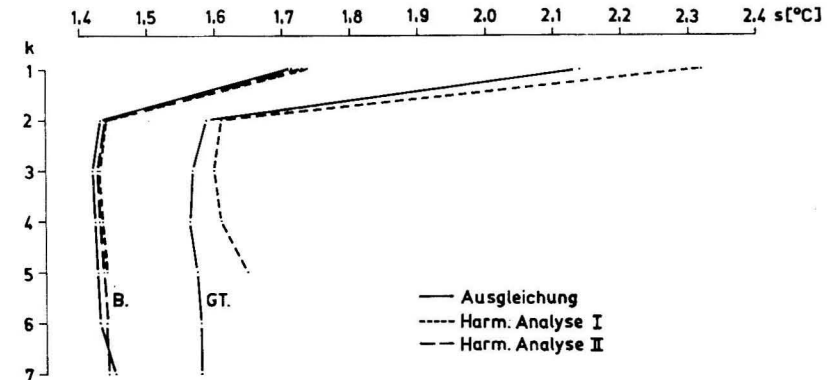


Abb. 4. Standardabweichung  $s$  der Einzelmessungen von den durch Ausgleichung und Harmonische Analyse bestimmten mittleren Jahresgängen der Oberflächentemperatur des Bornholmbeckens (B.) und des Gotlandtiefs (GT)

Abgesehen von der teilweisen Geringfügigkeit der Unterschiede der Standardabweichungen zeigt sich, daß die durch die Ausgleichung gewonnenen Jahresgänge nahezu immer, d. h. in beiden Meßwertkollektiven und bei fast allen  $k$ -Werten, die kleineren Standardabweichungen aufweisen und damit die günstigeren Jahreskurven darstellen.

Sowohl bei der Harmonischen Analyse als auch bei der Ausgleichung hat die Standardabweichung in Abhängigkeit von  $k$  ein Minimum. Dieses ergibt sich im Bornholmbecken für beide Methoden bei  $k = 3$  und im Gotlandtief bei  $k = 3$  (H.A. I) bzw. 4 (Ausgleichung). Bei höheren  $k$ -Werten steigt die Standardabweichung der Ausgleichung sowohl im Bornholmbecken als auch im Got-

landtief sehr gering an. Das gleiche gilt für die Harmonische Analyse im Bornholmbecken, während im Gotlandtief ein stärkerer Anstieg von  $s$  festzustellen ist. Parallel zu diesem allgemein geringen Anstieg zeichnet sich in den ausgeglichenen Kurven bei höheren  $k$ -Werten eine zunehmende ungünstige Beeinflussung durch Oberwellen höheren Grades ab (Abb. 2 u. 3), d. h., ein höherer Ausgleichungsgrad garantiert nicht immer eine geeignetere Ausgleichskurve. Es deutet sich an, daß der optimale Ausgleichungsgrad  $k$  in beiden Methoden durch das jeweilige Minimum der Standardabweichung bestimmt wird.

Der durch höhere Oberwellen ( $k \geq 5$ ) unruhig gestaltete Kurvenverlauf kommt auch in der Amplitudenverteilung zum Ausdruck (Tab. 1). Erfolgt bei einem bestimmten  $k$  keine durchgehende Abnahme der geordneten Amplituden der Oberwellen, so setzt die für mittlere Jahresgänge unerwünschte Verminderung der Glättung ein (Abb. 5), die um so größer ist, je geringer und ungünstiger verteilt das Beobachtungsmaterial ist.

Tabelle 1.

Amplituden  $A_n$  [°C] des mittleren Jahresgangs der Oberflächentemperatur des Bornholmbeckens und des Gotlandtiefs in Abhängigkeit von der Methode und dem Ausgleichungsgrad  $k$

	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$
<i>Bornholmbecken</i>								
Ausgleichung								
$k = 1$	8,473	7,776						
$k = 2$	8,482	7,487	1,373					
$k = 3$	8,503	7,502	1,340	0,315				
$k = 4$	8,501	7,506	1,342	0,303	0,079			
$k = 5$	8,500	7,506	1,342	0,306	0,076	0,032		
$k = 6$	8,500	7,501	1,340	0,308	0,090	0,034	0,122	
$k = 7$	8,563	7,484	1,299	0,313	0,081	0,032	0,136	0,080
Harm. Analyse I	8,439	7,420	1,268	0,146	0,107	0,081		
Harm. Analyse II	8,453	7,499	1,352	0,259	0,103	0,050	0,131	0,073
<i>Gotlandtief</i>								
Ausgleichung								
$k = 1$	7,741	8,217						
$k = 2$	7,743	7,320	2,035					
$k = 3$	7,681	7,220	1,929	0,478				
$k = 4$	7,678	7,239	1,908	0,320	0,382			
$k = 5$	7,682	7,273	1,873	0,339	0,322	0,171		
$k = 6$	7,708	7,193	1,978	0,370	0,307	0,136	0,290	
$k = 7$	7,683	7,056	2,071	0,378	0,273	0,126	0,482	0,396
Harm. Analyse I	7,759	7,171	1,900	0,425	0,214	0,729		

So tritt im Bornholmbecken bei der Ausgleichung erstmals bei  $k = 6$  eine Zunahme der Amplitude ( $A_6 \approx 4A_5$ ) auf, was sich in einer ersten schwachen Störung des Kurvenverlaufes bemerkbar macht (Abb. 2). Damit übereinstimmend gibt auch die Harmonische Analyse II bei  $k = 6$  die erste Zunahme der Schwingungsamplituden ( $A_6 \approx 3A_5$ ).

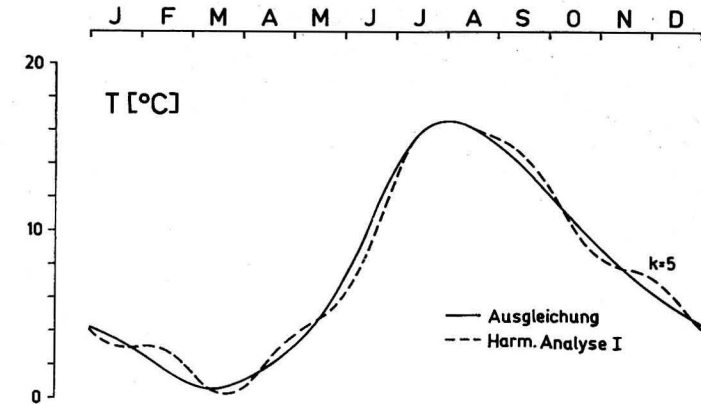


Abb. 5. Mittlerer Jahresgang der Oberflächentemperatur des Gotlandtiefs nach der Ausgleichung und der Harmonischen Analyse für  $k = 5$

Trotz des ungünstigeren Beobachtungsmaterials des Gotlandtiefs erfolgt bei der Ausgleichung der Anstieg der Amplituden (mit Ausnahme von  $k = 4$ ;  $A_4 \approx 1,2A_3$ ) ebenfalls erst bei  $k = 6$  ( $A_6 \approx 2A_5$ ), aber infolge der 2- bis 4mal größeren Amplituden  $A_5$  und  $A_6$  gegenüber dem Bornholmbecken zeigt sich bereits eine stärkere Störung des Kurvenverlaufes. Letzteres kommt besonders bei  $k = 7$  ( $A_6 \approx 4A_5$ ) zum Ausdruck (Abb. 3). Die Harmonische Analyse I zeigt schon bei  $k = 5$  eine deutliche Umkehr der abnehmenden Tendenz der Schwingungsamplituden ( $A_5 \approx 3A_4$ ). Dieses aufgrund der Amplitudenverteilung festgestellte frühere Versagen der Harmonischen Analyse spiegelt sich klar in den ausgeglichenen Kurven beider Methoden für  $k = 5$  wider (Abb. 5). Die geringere Qualität der weniger geglätteten Kurven zeigt sich auch in der größeren Standardabweichung (Abb. 4).

Betrachten wir nunmehr die Amplituden der jährlichen und halbjährlichen Schwingung sowie die Größe  $A_0$  im einzelnen. Der als Jahresmittelwert zu interpretierende  $A_0$ -Wert schwankt bei der Ausgleichung in Abhängigkeit von  $k$  unregelmäßig über den geringen Bereich von weniger als 0,1 [°C], wobei sich in der Streubreite kein Unterschied zwischen dem größeren und kleineren Meßwertkollektiv zeigt (Tab. 1). Der konstante  $A_0$ -Wert der Harmonischen Analyse weicht nur geringfügig von den variierenden  $A_0$ -Werten der Ausgleichung ab. Die Tatsache, daß der  $A_0$ -Wert bei der Harmonischen Analyse im Bornholmbecken kleiner und im Gotlandtief größer als alle schwankenden  $A_0$ -Werte der Ausgleichung ist, muß wohl als Zufälligkeit, die durch das unterschiedliche Material hervorgerufen wurde, angesehen werden.

Die Amplitude der jährlichen Welle  $A_1$ , die gleich den anderen Amplituden bei der Harmonischen Analyse konstant und damit unabhängig von  $k$  ist, ist bei H.A. I in beiden Meßwertkollektiven fast immer kleiner als bei der Ausgleichung. Bei der günstigeren H.A. II ergibt sich dagegen eine sehr gute Übereinstimmung mit der Ausgleichung. Allgemein unterliegen die durch Ausgleichung ge-

wonnenen  $A_1$ -Werte Änderungen in Abhängigkeit von  $k$ , die im Bornholmbecken deutlich geringer als im Gotlandtief sind. In beiden Gebieten besteht jedoch die gleiche Tendenz. Nach einem sehr hohen  $A_1$  bei  $k = 1$  folgen ähnliche oder nahezu gleiche  $A_1$  bei  $k = 2, \dots, 5$ , dem sich niedrigere  $A_1$  bei  $k = 6, 7$  anschließen. Eine Häufung wenig voneinander abweichender  $A_1$ -Amplituden ergibt sich also für den  $k$ -Bereich, in dem der optimale Ausgleichungsgrad liegt. Letzteres kommt besonders deutlich bei dem weniger umfangreichen Material des Gotlandtiefs zum Ausdruck.

Die Amplitude der halbjährlichen Welle  $A_2$  zeigt in ihrer methodischen und materialbedingten Abhängigkeit ähnliche Verhältnisse wie die Amplitude der jährlichen Welle. Lediglich das durch die Ausgleichung bestimmte  $A_2$  im Gotlandbecken wächst im Gegensatz zu  $A_1$  bei hohen  $k$ -Werten ( $k = 6, 7$ ) wieder deutlich an. Weitere Einzelheiten über die Amplituden dieser und höherer Oberwellen kann man der Tab. 1 entnehmen.

In der Größenordnung der doppelten Amplitude der jährlichen Welle ( $2A_1$ ) liegt die mittlere Jahresschwankung  $\Delta T$  der ausgeglichenen Kurven. Die Abhängigkeit der Jahresschwankung vom Ausgleichungsgrad, von der Methode und vom Beobachtungsmaterial stellt die Abb. 6 dar. Das Meßwertkollektiv des Bornholmbeckens ergibt für  $\Delta T$  eine deutliche Abhängigkeit von  $k$ , der sich die methodischen Unterschiede unterordnen. Durchgehend von  $k = 1, 2, \dots, 5$  liefert die H.A. I. etwas nach unten abweichende  $\Delta T$ -Werte, während die Jahresschwankung der H.A. II und der Ausgleichung besser übereinstimmen, was besonders in dem durch geringe Standardabweichungen gekennzeichneten

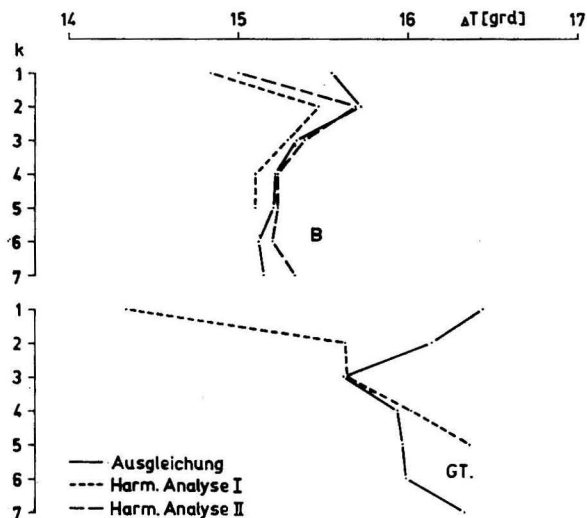


Abb. 6. Mittlere Jahresschwankung der Oberflächentemperatur ( $\Delta T$ ) des Bornholmbeckens (B.) und des Gotlandtiefs (GT.) in Abhängigkeit von der verwendeten Methode und dem Ausgleichungsgrad  $k$

Bereich  $k = 2, 3, \dots, 5$  hervortritt. Im Gegensatz dazu variieren die Werte der Jahresschwankung bei dem geringeren Material (Gotlandtief) stärker mit  $k$  und auch mit der Methode. Die Variation von  $\Delta T$  bewegt sich etwa in der Größenordnung von  $1-2$  [°C]. Eine gute Übereinstimmung der  $\Delta T$ -Werte beider Methoden ergibt sich bei den allgemein großen Unterschieden nur für  $k = 3$  und  $k = 4$ , die ihrerseits den optimalen Ausgleichungsgrad darstellen.

Die Extremwerte aller ausgeglichenen Kurven und ihre Eintrittszeiten sind in den Abbildungen 7 und 8 dargestellt. Im Bornholmbecken treten überwiegend geringe Unterschiede auf. Eine besonders gute Übereinstimmung besteht oft zwischen den Werten der Ausgleichung und der H.A. II, während die H. A. I davon abweicht. Im Gotlandtief zeigen sich demgegenüber größere, z. T. sehr unregelmäßige Unterschiede zwischen den Resultaten beider Methoden.

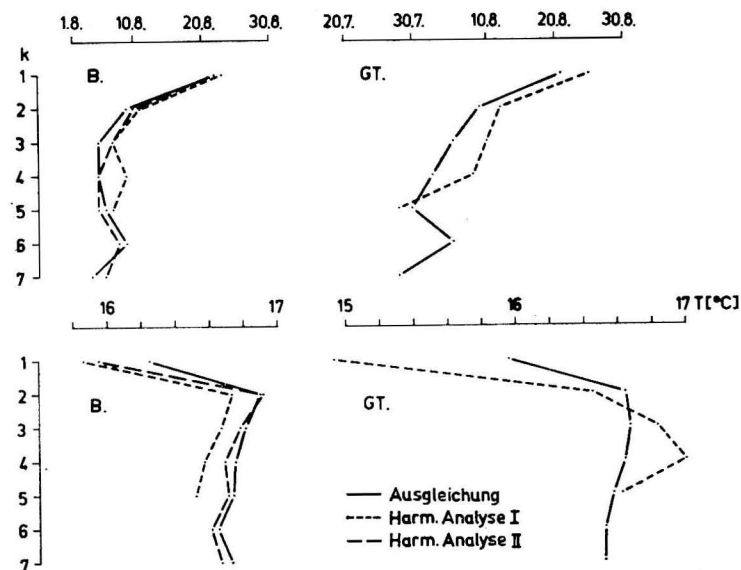


Abb. 7. Maximum der Oberflächentemperatur des Bornholmbeckens (B.) und des Gotlandtiefs (GT.) sowie seine Eintrittszeit in Abhängigkeit von der verwendeten Methode und dem Ausgleichungsgrad  $k$

Sieht man von den bei  $k = 1$  erhaltenen ausgeglichenen Kurven wegen ihrer Unbrauchbarkeit ab, so ergibt sich bezüglich der Streubreite der Extremwerte und ihrer Eintrittszeiten folgendes: Die Streubreite der Eintrittszeit von Maximum und Minimum bei den einzelnen Methoden ist im Bornholmbecken mit rd. 4–10 Tagen geringer als im Gotlandtief (7–16 Tage), was als Folge der Materialmenge und -verteilung angesehen werden muß. Ein deutlich methodisch bedingter Unterschied innerhalb der beiden Meßwertkollektive ist aber nicht festzustellen, wenn man von der unterschiedlichen Streubreite bei der Eintrittszeit des Minimums im Gotlandtief absieht. Ähnliches gilt für die Streu-

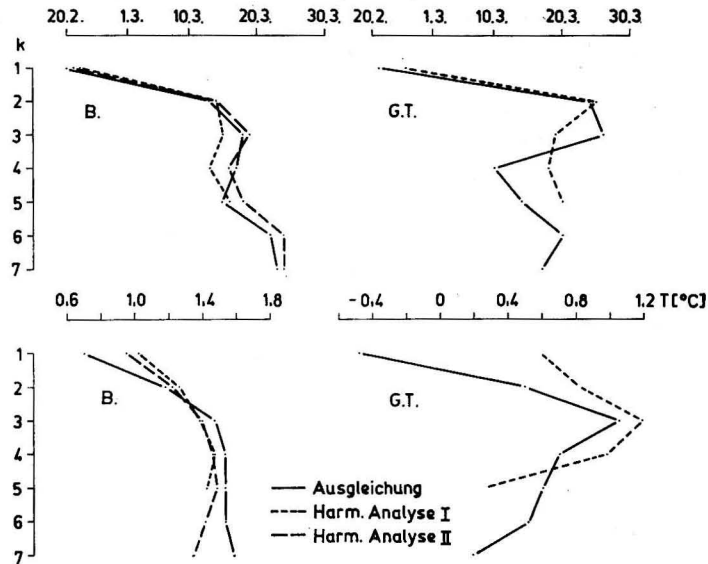


Abb. 8. Minimum der Oberflächentemperatur des Bornholmbeckens (B.) und des Gotlandtiefs (G.T.) sowie seine Eintrittszeit in Abhängigkeit von der verwendeten Methode und dem Ausgleichungsgrad  $k$

breite der Extremwerte selbst. Allerdings zeigt sich bei dem kleineren Material des Gotlandtiefs ein Hinweis darauf, daß die Streubreite der von der Harmonischen Analyse gelieferten Extremwerte bei geringerer Meßwertzahl größer sein kann.

Bei beiden verwendeten Methoden deutet sich für das Beobachtungsmaterial aus dem Bornholmbecken an, daß im Bereich  $k = 3, 4, 5$  die offenbar besten mittleren Extremwerte und Eintrittszeiten zu erwarten sind, wenn man davon ausgeht, daß die der Wirklichkeit am nächsten gelegenen Werte durch Häufung und etwa mittlere Lage gekennzeichnet sind. Dies kommt besonders deutlich bei der Eintrittszeit des Minimums zum Ausdruck (Abb. 8). In dem kleineren Material des Gotlandtiefs verwäscht sich dieser Zusammenhang. Im Bereich der genannten  $k$ -Werte liegt auch der durch die Standardabweichung gekennzeichnete optimale Ausgleichungsgrad. Diese Übereinstimmung untermauert, daß die Standardabweichung für die Bestimmung des günstigsten Ausgleichungsgrades geeignet ist.

#### 4. Schlußbetrachtungen

Eine der wichtigsten Fragen bei der Berechnung von mittleren Jahresgängen aus nichtäquidistantem Beobachtungsmaterial ist dessen zeitliche Verteilung. Bei ungünstigen Verteilungen ist im allgemeinen mit größeren Streubreiten der

Parameter insbesondere der Eintrittszeit und der Beträge der Extremwerte zu rechnen (vgl. Abb. 7 u. 8).

Wie die obigen Untersuchungen andeuten, scheint das Ausgleichsverfahren flexibler zu sein und sich durch die unmittelbare Verwendung der nichtäquidistanten Beobachtungswerte zeitlich ungünstigen Verteilungen besser anzupassen. Dies wird gestützt durch die berechneten Standardabweichungen, die bei der Ausgleichung in beiden Meßwertkollektiven nahezu immer kleinere Werte ergeben (Abb. 4). Auch die im allgemeinen zu beobachtende bessere Übereinstimmung zwischen Ausgleichung und Harmonischer Analyse II bezüglich der von  $k$  abhängigen Parameter (vgl. Abb. 6, 7 u. 8; Tab. 1) bestätigt diese Aussage. Die für die Harmonische Analyse erforderliche Transformation der Meßwerte in äquidistante Mittelwerte stellt bei ungünstigen Verteilungen einen Eingriff dar, der zu Fehlern führen kann. Darüber hinaus darf bei Anwendung beider Verfahren auf Fehler aufmerksam gemacht werden, die bei ungünstigen zeitlichen Verteilungen in Verbindung mit großen Streuungen der Meßwerte auftreten können.

Aus den untersuchten Beispielen ergeben sich folgende Empfehlungen für die Anwendung der Verfahren:

1. Bei Meßmaterial geringeren Umfangs und ungünstiger Verteilung wird das Ausgleichsverfahren eine bessere Interpretation der Punktverteilung liefern.
2. Auch bei umfangreichem Beobachtungsmaterial, aber ungünstiger zeitlicher Verteilung, ist das Ausgleichsverfahren zu empfehlen.
3. Eingrößeres Meßwertkollektiv günstiger zeitlicher Verteilung ( $0 \leq \Delta t \leq 6$  Tage) gestattet sowohl die Anwendung der Harmonischen Analyse über die Bildung von Monats- und Halbmonatsmitteln als auch des Ausgleichsverfahrens.
4. Die Standardabweichung erweist sich in beiden Methoden als ein geeignetes Maß für die Güte der mittleren Kurven. Ihr Minimum kennzeichnet den optimalen Ausgleichungsgrad (untersuchte Beispiele:  $k = 3$  bzw.  $4$ ).
5. Im allgemeinen treten beiderseits des optimalen  $k$ -Wertes ( $2 \leq k \leq 5$ ) die geringsten Änderungen der einzelnen Parameter mit  $k$  auf. Dieses gilt für beide Methoden. Gleichzeitig ist dieser  $k$ -Bereich häufig durch die geringsten Abweichungen zwischen den nach beiden Verfahren berechneten Parametern charakterisiert.
6. Bei weniger umfangreichem und ungünstiger verteiltem Material führt die Ausgleichung bei mehreren  $k$ -Werten zu etwa gleich guter Qualität der ausgeglichenen Kurven (vgl. flaches Minimum der Standardabweichung in Abb. 4), während die Harmonische Analyse nur bei ein oder zwei  $k$ -Werten optimale Qualität liefert (vgl. weniger flaches Minimum in Abb. 4).
7. Der Aufwand an Rechenzeit für die Ermittlung der Koeffizienten und der Standardabweichung aus nichtäquidistantem Beobachtungsmaterial ist bei beiden Methoden etwa gleich.

## Literatur

- [1] DIETRICH, G., Der jährliche Gang der Temperatur- und Salzgehaltsschichtung in den britischen Randmeeren und in der Nord- und Ostsee. *Wiss. Ber., Dt. Hydrogr. Inst., Hamburg*, 1948, 80 S.
- [2] DIETRICH, G., Die natürlichen Regionen von Nord- und Ostsee auf hydrographischer Grundlage. *Kieler Meeresf.* 7 (1950), 2, S. 35–69.
- [3] DIETRICH, G., Die Elemente des jährlichen Ganges der Oberflächentemperatur in der Nord- und Ostsee und den angrenzenden Gewässern. *Dt. Hydrogr. Z.* 6 (1953), S. 49–64
- [4] GRANQVIST, G., Zur Kenntnis der Temperatur und des Salzgehaltes des Baltischen Meeres an den Küsten Finnlands. *Merentutk. Julk. No. 122* (1938), 166 S.
- [5] GRANQVIST, G., Harmonic analysis of temperature and salinity in the sea off Finland and changes in salinity. *Merentutk. Julk. No. 152* (1952), 29 S.
- [6] MATTHÄUS, W., Die Anwendung von Ausgleichsverfahren zur Ermittlung von Jahresgängen ozeanographischer Parameter. *Mber. Dt. Akad. Wiss.* 13 (1971), S. 116–121.
- [7] MATTHÄUS, W., Zur Hydrographie der Gotlandsee II. Der mittlere Jahresgang der Temperatur in Oberflächennähe. *Beitr. Meereskunde, H.* 32 (1973), S. 105–114.
- [8] MATTHÄUS, W., G. SAGER und R. SAMMLER, Vergleichende Betrachtungen von Methoden zur Ermittlung von Jahresgängen ozeanographischer Parameter. *Beitr. Meereskunde H.* 33 (1974), S. 153–160.

Abschluß der Arbeit: 15. 4. 1973

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Met. H. FRANCK, Dr. W. MATTHÄUS  
 Institut für Meereskunde der Akademie der Wissenschaften der DDR  
 DDR-253 Rostock-Warnemünde

## Kurze Mitteilung

### Internationales Experiment EKAM 73 in der ufernahen Zone der Ostsee bei Zingst

Von P. HUFFER, CH. DRUET und O. KUSNEZOW

In der Nähe einer Küstenlinie, wo die obere und untere Grenzfläche des Meeres sich immer näher und schließlich an der Uferlinie zusammenkommen, bilden sich spezifische Strukturen der Felder meteorologischer und ozeanologischer Größen aus.

Die Ursachen für die Abweichungen im Verhalten dieser Größen in der küstennahen Zone im Vergleich zu land- bzw. küstenferneren See- und Landgebieten liegen im wesentlichen in der Barrierenwirkung der Küste, in dem unterschiedlichen Strahlungs- und Wärmehaushalt von Land- und Seeflächen sowie in den unterschiedlichen Reibungsverhältnissen. An den Küstenlinien erfolgt ein abrupter Wechsel wichtiger Grundeigenschaften der Erdoberfläche, wobei die resultierenden Effekte im Wasser und in der atmosphärischen Grundschicht nicht unerheblich vom Küstentyp einschließlich des Grades der Tiefenzunahme vom Ufer zur offenen See abhängen.

So erzwingen die Barrierenwirkung der Küste und die Besonderheiten des lokalen Windfeldes die Ausbildung eines besonderen Regimes der mittleren Strömung, die durch eine vorherrschende küstenparallele, aber auch durch eine nicht zu vernachlässigende küstennormale Komponente charakterisiert ist. Letztere wird besonders bei Auftriebsprozessen wirksam, die sich markant auf die anderen Felder auswirken und der Wechselwirkung Meer/Atmosphäre in dieser Zone ein besonderes Gepräge geben können. Weiter unterliegt bekanntermaßen der Seegang in Küstennähe charakteristischen Transformationsprozessen, und die im Zuge des Brandungsvorganges erzeugten Wasserbewegungen überlagern sich dem Feld der mittleren Strömung. Eine typische Ausbildung erfährt auch das Wasser temperaturfeld in Ufernähe, wobei der Grad der ufernahen Temperaturanomalie sehr empfindlich von den Schwankungen äußerer Einflußfaktoren abhängt. Charakteristischen Änderungen im Bereich von Küsten sind auch das bodennahe Windfeld sowie die Felder der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit und anderer Größen unterworfen, wobei es zur Ausbildung interner Grenzschichten kommen kann. Die Energieaustauschströme zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre weisen beim Übergang vom Land zum Meer sprunghafte Änderungen auf; allerdings wurden infolge des stark advektiv beeinflussten Küstengebietes Grundsatzuntersuchungen zu Problemen des Energieaustausches zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre bisher fast nur in Gebieten durchge-



führt, wo der Küsteneinfluß keine Rolle mehr spielt und die horizontalen Gradienten gering sind.

Wenngleich zu Einzelaspekten des Problemkreises „Einflüsse der Küste auf Atmosphäre und Meer“ (EKAM) bereits Arbeiten und Ergebnisse vorliegen, so wurden jedoch in der unmittelbaren Übergangszone Meer/Land (mit horizontalem Maßstab des Untersuchungsgebietes 10<sup>2</sup> m) noch keine komplexen Untersuchungen durchgeführt. Diese Lücke schließen zu beginnen, war Anliegen des Experimentes EKAM 73, an dem sich die UdSSR, die VR Polen und die DDR beteiligten.

Das Experiment wurde an der nahezu west-östlich verlaufenden Flachküste der westlichen Ostsee bei Zingst (im Bereich des dortigen Maritimen Observatoriums der Karl-Marx-Universität Leipzig) in der Zeit vom 15. Mai bis 30. Juni 1973 durchgeführt.

An den gemeinsamen Untersuchungen nahmen Forschungsgruppen des SCHIRSCHOW-Instituts für Ozeanologie der AdW der UdSSR, des Instituts für Wasserbau der Polnischen AdW, des Instituts für Geophysik der Polnischen AdW, des Meteorologischen Dienstes der DDR, der Wasserwirtschaftsdirektion Küste-Warnow-Peene Stralsund sowie die Arbeitsgruppe Ozeanologie der Sektion Physik der Karl-Marx-Universität Leipzig (Maritimes Observatorium Zingst) teil. Die Arbeiten wurden durch das Institut für Meereskunde der AdW der DDR gefördert und unterstützt.

Im Laufe des Experimentes wurden folgende Untersuchungen bzw. Messungen durchgeführt:

Messungen der turbulenten Ströme von Impuls, Wärme und Feuchte in der wassernahen Luftschicht der ufernahen Zone unter verschiedenen hydro-meteorologischen Bedingungen und Versuchsanordnungen sowie mit verschiedenen Gerätetypen;

Untersuchung der Mikrostruktur der Luftschicht unmittelbar über der Meeresoberfläche zur Bestimmung der laminaren Grenzschicht der Lufttemperatur und damit des Wärmestromes Wasser/Luft;

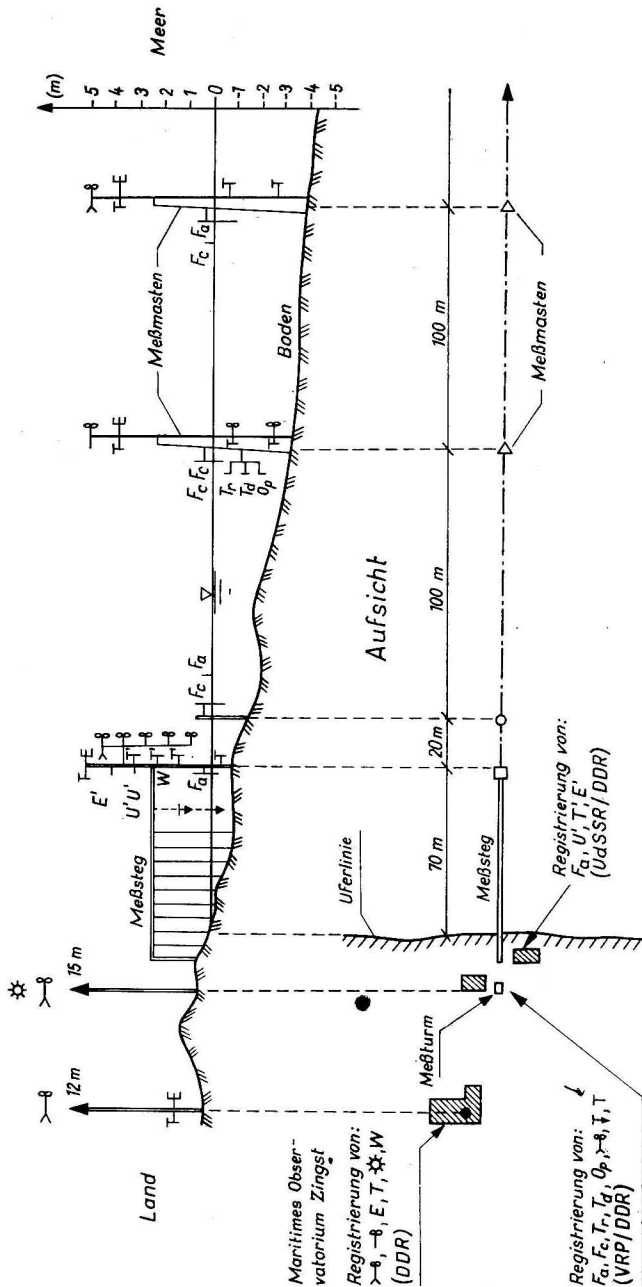
Kontinuierliche Erfassung des mittleren Verhaltens von Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit in der wassernahen Luftschicht sowie der Wassertemperatur normal zur Küste im Übergangsbereich;

Untersuchungen der kurzperiodischen Schwankungen der Lufttemperatur an verschiedenen Punkten normal zur Uferlinie sowie der Wassertemperatur und des Unterwasserlichtfeldes;

Registrierung des mittleren Windprofils bis 6 m Höhe über der ufernahen Flachsee;

Untersuchungen über die Struktur des winderzeugten Seegangs in Ufernähe einschließlich der Erfassung der Wellenrichtung und -geschwindigkeit;

Untersuchungen über die Transformation der Windwellen bei Annäherung an die Küste;



- Td - Meßanlage für kurzperiodische Wassertemperaturschwankungen („thermodrift“)
- Op - Meßanlage zur Erfassung des Lichtfeldes im Meer
- W - Registrierpegel
- E - Erfassung der laminaren Grenzschicht der Atmosphäre mittels „Fallsande“
- U' - Messung turbulenter Fluktuationen der Windkomponenten
- T' - „ „ der Lufttemperatur
- Fc - „ „ der Luftfeuchtigkeit

- - mittlere Windgeschwindigkeit mit Schalenkreuzanemometern
- - mittlere Windgeschwindigkeit und -richtung bzw. Strömungsgeschwindigkeit und -richtung
- - mittlere Luft-(Psychrometer) bzw. Wassertemperatur
- E - mittlere Luftfeuchtigkeit (Psychrometer)
- Fc - Analogwellenmesser
- Tc - Digitalwellenmesser
- T - Thermistorströmungsmesser

Übersichtsskizze zum Experiment EKAM 73  
Schnitt durch das Meßgebiet

Registrierung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit und -richtung sowie des vertikalen Strömungsprofils nach verschiedenen Methoden.

Das Programm wurde ergänzt durch Messungen bzw. Beobachtungen des Wasserstandes, der Globalstrahlung und anderer hydro-meteorologischer Grundgrößen.

Auf diese Weise konnten synchron die wichtigsten Parameter erfaßt werden, die den Einfluß der Küste auf die physikalischen Felder in der ufernahen Wasserzone und in der wasser- bzw. bodennahen Luftschicht widerspiegeln.

Nach der Beendigung des Experiments wurde durch die beteiligten Seiten die Auswertung der Messungen aufgenommen. Es ist beabsichtigt, die erzielten Ergebnisse später in zusammenhängender Form zu veröffentlichen.

Anschriften der Verfasser:

Dr. habil. PETER HUPFER  
Karl-Marx-Universität  
7 Leipzig  
Talstraße 35  
Deutsche Demokratische Republik

Dr. CH. DRUET  
Instytut Budownictwa PAN  
Gdansk — Oliva  
Volksrepublik Polen

Dr. O. KUSNEZOW  
Shirshow-Institut für Ozeanologie  
Akademie der Wissenschaften der UdSSR  
Letnaja ul. 1  
Moskau — Lublino  
UdSSR

## COSPAR

### Approaches to Earth Survey Problems through Use of Space Techniques

Proceedings of the Symposium held in Constance, May 1973

Editors: P. BOCK / F. W. G. BAKER / S. RUTTENBERG

(In englischer Sprache)

1974. VIII, 502 Seiten — 222 Abbildungen — 28 Tabellen — gr. 8° —  
Leinen 75,— M  
Bestell-Nr. 761 927 3 (6201)

Die diesjährige Generalversammlung des COSPAR fand einschließlich der Spezialsymposien vom 23. 5. — 6. 6. 1973 in Konstanz/BRD statt. Das „Symposium on Approaches to Earth Survey Problems through the use of Space Techniques“ (Symposium über die Bearbeitung von Problemen der Erdressourcenforschung mit Hilfe von Raumforschungstechniken) wurde von COSPAR in Zusammenarbeit mit internationalen wissenschaftlichen Organisationen durchgeführt, und zwar mit der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG), der Internationalen Union für Radiowissenschaften (URSI), dem wissenschaftlichen Komitee für Ozeanographische Forschungen (SCOR), dem wissenschaftlichen Komitee für Probleme der Umweltforschung (SCOPE), der Meteorologischen Weltorganisation (WMO). Das Buch enthält in englischer Sprache die Vorträge von ausgewählten, hochqualifizierten Spezialisten verschiedener Disziplinen über Anwendungsaspekte der Raumfahrt, die heute in allen Ländern zur Umweltforschung gehören, wie z. B. Fragen der Luftverschmutzung, Fragen der Wasserverschmutzung, Befall mit Krankheitserregern, Fragen des Küstenschutzes und der Erkundung von Bodenschätzen, meteorologische Probleme, ozeanographische Fragen und ähnliches.

An dieser Problematik ist u. a. auch die UNO-Arbeitsgruppe „Remote Sensing of Earth by the Satellites“ (Fernerkundung der Erde mit Satelliten) besonders interessiert. Ein fachlich derart umfangreiches Spezialsymposium ist in dieser Form erstmalig abgehalten worden, so daß die hier vorgelegten Vorträge den neuesten Weltstand auf dem Gebiet der Umweltforschung mit Hilfe von Satelliten darstellen.

*Bestellungen durch eine Buchhandlung erbitten*



AKADEMIE-VERLAG

DDR-108 Berlin, Leipziger Str. 3—4