

DEUTSCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE

BEITRÄGE ZUR MEERESKUNDE

HERAUSGEGEBEN

VON

ERICH BRUNS

HEFT 10



AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

1963

INHALT

ERICH BRUNS: Über das Werk von B. P. SENKOWITSCH „Die Grundlagen der Lehre von der Entwicklung der Meeresküsten“	5
EBERHARD FRANCKE und PETER HUFFER: Über die mittlere interdiurne Veränderlichkeit der Wassertemperatur und des Salzgehaltes im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee	10
KARL-HEINZ RHODE: Vorläufige Ergebnisse von Radioaktivitätsmessungen in der westlichen Ostsee	27
GÜNTHER SAGER: Die Registrierformen bei Gezeitenrechenmaschinen	29
KLAUS STRIGGOW: Ein neuer, automatischer Wellenschreiber des Instituts für Meereskunde Warnemünde	44
RUDOLF SAMMLER: Besprechung zu „Atlas der Gezeitenströme für die Nordsee, den Kanal und die Irische See“	50

Über das Werk von B. P. SENKOWITSCH
„Die Grundlagen der Lehre von der Entwicklung der Meeresküsten“

VON ERICH BRUNS

Zusammenfassung: Es wird das neue Werk des namhaften sowjetischen Küstenforschers B. P. SENKOWITSCH „Die Grundlagen der Lehre von der Entwicklung der Meeresküsten“, erschienen 1962 im Akademieverlag der UdSSR in Moskau, kurz beschrieben, erläutert und diskutiert. Dieses große Werk ist einmalig und grundlegend in der ganzen internationalen ozeanologischen Fachliteratur dieser Richtung. Es wurde auf Grund einer 30jährigen Forschertätigkeit des Verfassers an den Meeresküsten der UdSSR und anderer Länder aufgestellt. Das ausgezeichnete Werk hat eine wegweisende Bedeutung in der weiteren Erforschung der sehr schwierigen Probleme der Dynamik und Morphologie von Meeresküsten.

Das umfangreiche Werk von Prof. Dr. B. P. SENKOWITSCH ist einmalig in der ganzen internationalen ozeanologischen Fachliteratur dieser Richtung. Es umfaßt 710 Seiten Text mit 298 Abbildungen und gliedert sich in 14 Kapitel mit 71 Paragraphen, denen eine Einführung vorangeht.

In dieser Einführung (§ 1) schildert der Verfasser in knapper Form die Entwicklung der Erforschung der Küstengewässer und der Küsten von Meeren in einzelnen Ländern. Leider erfolgte die Erforschung meistens nicht in komplexer Form, weswegen besseres Tatsachenmaterial erst in den letzten Jahrzehnten zustande kam. In § 2 befaßt sich B. P. SENKOWITSCH mit den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung von Meeresküsten und umreißt außerdem kurz inhaltsmäßig das gesamte Werk.

Im Kapitel I „Grundsätzliche Erkenntnisse über die Hydrodynamik der Uferzone“ werden in § 3 einige Postulate der Wellentheorie für die offene See und das Seichtwasser erörtert, insbesondere die Orbitalbahnen der Wasserteilchen in den verschiedenen Phasen der Wellenbewegung im Seichtwasser. In § 4 folgt die Schilderung der Asymmetrie, der inneren Eigenschaften der Seichtwasserwellen, in § 5 der Refraktion der Wellen in einer Bucht des Ufers und in § 6 der Küstenströmungen. Die Formel von I. F. SCHADRIN zur Feststellung der Geschwindigkeit von Gradientenströmungen wird hervorgehoben. Sie hat den Ausdruck

$$V_{\text{grad}} = \sqrt{1,11 \frac{h}{T} \sqrt{g h \left(1 - \frac{l_1}{l_2}\right)}} \quad (1)$$

wo h — die Wellenhöhe in Metern,
 T — die Wellenperiode in Sekunden,
 g — die Erdbeschleunigung,
 l_1, l_2 — die Abstände zwischen dem Ufer und der Brandungslinie für zwei zu vergleichende Strecken bedeuten.

Das Kapitel II umfaßt die Probleme der Meeressedimente und ihren Quertransport, wobei zuerst die Ufer- und Seesedimente und Ablagerungen im Zusammenhang mit ihrer Korngröße charakterisiert werden. Weiter behandelt der Verfasser den Fragenkomplex der Bewegung der Sedimente im Meer und im Wasserlauf, wie auch sehr kurz die Begriffe der neutralen Linie, das Formen des Gleichgewichtsprofils und die Veränderung des Profils in Abhängigkeit von Wellenparametern und der Korngröße der Geschiebe.

§ 11 beinhaltet den Quertransport des Sandes und § 12 die Methode der relativen Summenimpulse.

Zur Begründung der Ausführungen werden Ergebnisse vieler sowjetischer und ausländischer Experimentalarbeiten angeführt. Bei der Beschreibung der Sandfracht fußt der Verfasser auf seinen neuen Ergebnissen, die mit Hilfe einer Seilbahn gewonnen wurden und mit deren Hilfe auch während eines Sturmes diesbezügliche Messungen erfolgen können, was bisher vom Schiff aus nicht möglich war.

Kapitel III umfaßt den sehr wenig erforschten Prozeß der Abrasion und die sie bestimmenden Faktoren. Unter Abrasion wird dabei der Prozeß der mechanischen Zerstörung des Kernurbodens durch das Meer verstanden, in dessen Ergebnis sich zwei wesentliche Elemente des Uferprofils bilden, das Kliff und der Bentsch.

In § 13, der den Fragen der Zerstörung der Wellen und der Arbeit der Brandung gewidmet ist, wird neben der alten Formel von I. HIROI für den Wellenstoß eine neue Formel von N. N. DSCHUNKOWSKY hervorgehoben, die auf Grund von Versuchen im Wasserbaulaboratorium und aus Beobachtungen in der Natur entstand. Sie hat den Ausdruck

$$P = 1,7 \frac{(0,75 C + V)^2}{2g}, \quad (2)$$

wo die Wellengeschwindigkeit $C = \sqrt{gh}$

und $V = h \sqrt{\frac{\pi g}{L} \operatorname{ctg} h \frac{\pi h}{L}}$ sind und

h = die Wellenhöhe in m und

L = die Wellenlänge in m bedeuten.

§ 14 enthält die Formen der Abrasion, § 15 die Entwicklung des Profils eines Abrasionsufers, § 16 die Zonenbreite und das Tempo der Abrasion und § 17 den Einfluß einiger nicht wellenartiger Faktoren auf die Abrasion wie die Einwirkung des Eises, der Gravitationsprozesse, der Organismen, des Windes usw.

Im Kapitel IV werden die Profile der natürlichen Unterwasserböschungen für Ufer, die vom Meer wenig verändert sind, beschrieben, und zwar: Profile akkumu-

lativer Ufer, Unterwassersandwälle und ihnen ähnliche Formen, Formung der Barre und der Lagunenufer, Profile mit Abrasion und Akkumulation und Gleichgewichtsprofile der Unterwasserböschung. Das reichliche Tatsachenmaterial dieses Kapitels entstammt den Ergebnissen der Erforschung von Meeresufern der UdSSR.

Im Kapitel V werden die über dem Wasserspiegel liegenden Elemente der Uferzone erläutert, das Tatsachenmaterial mit den theoretischen Ergebnissen verglichen und die Typen und die Prozesse der Entwicklung von Kliffs wie auch die Struktur der Überwasserformen besprochen.

Mit den ersten 5 Kapiteln des Werkes werden die allgemeinen Fragen der Morphologie und der Dynamik des Querprofils der Uferzone abgeschlossen.

Das weitere Kapitel VI umfaßt den Sedimenttransport längs dem Ufer, ausgehend vom Transport von grobem Material durch Wellen und vom Sandtransport. Es folgen Ausführungen über die Sedimentströme längs dem Ufer. Hier werden die Priorität von W. G. GLUSCHKOV in der Schaffung einer hydrometeorologischen Berechnungsmethode der Sandtrift und die durch R. I. KNAPS verbesserte Formel von MUNCH-PETERSON besonders unterstrichen.

Die Formel von R. I. KNAPS lautet:

$$M = K S^3 F \sqrt[3]{D} 2 \sin \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

wo M = die Schleppkraft der Sedimente,

K = ein Beiwert, der für die Küsten Dänemarks 1/4 bis 1/5 ausmacht,

S = die mittlere Windgeschwindigkeit in m/sec,

F = die relative Dauer der Windwirkung für den gegebenen Zeitraum in %,

D = die Streichlänge in km und

α = den Winkel zwischen der Uferichtung und dem Wellenstrahl in offener

See bedeuten.

P. K. BOSCHITSCH schlug vor, bei der Berechnung der mittleren Windgeschwindigkeiten nur Windgeschwindigkeiten über 5 m/sec zu nehmen, weil geringere Windgeschwindigkeiten einen minimalen Einfluß auf die Schleppkraft ausüben. Die Formel von R. I. KNAPS hat sich für die Ostsee als sehr zutreffend erwiesen. Im Anschluß an diese Feststellungen folgen Beschreibungen der Methoden der Erforschung der Trift und der Wanderung von Sedimenten, wobei insbesondere die Methode von A. M. SCHDANOV zur Berechnung der Trift von Kies und grobem Material hervorzuheben ist.

Im Kapitel VII werden im § 34 und § 35 die allgemeine Charakteristik der akkumulativen Formen der Uferzone und die Prozesse ihrer Entstehung besprochen, wobei insbesondere die praktischen Fragen der Versandung von Häfen bevorzugt erläutert sind. § 37 ist den Ergebnissen der Beseitigung und dem Absterben von akkumulativen Formen und § 38 einer morphologischen Klassifikation von akkumulativen Formen gewidmet.

In dem großen Kapitel VIII über die verschiedenartigsten Ufer und Buchten erörtert der Verfasser genauer seine theoretischen Schemata, die bereits von ihm

1946 in seinem Werk „Dynamik und Morphologie der Meeresufer“, Teil I Wellenprozesse, vorgeschlagen wurden.

Das Kapitel IX befaßt sich mit den Phasen der Ausrichtung des Ufers und ihrer Dynamik und Kapitel X mit den Veränderungen der Ufer bei vertikalen Bewegungen, wobei in allen diesen Kapiteln das von sowjetischen Küstenforschern gewonnene Tatsachenmaterial in den Küstenabschnitten der UdSSR maßgebende Bedeutung erhält.

Im nächsten Kapitel XI unter der Bezeichnung „Einfluß der Flüsse und der Flußsedimente auf die Entwicklung von Meeresufern“ unterteilt sich der Stoff in die Schilderung der allgemeinen Charakteristik der Prozesse, der Mündungen kleiner Flüsse, der aluvialen Meeresterrassen und ufernahen Steppengebiete sowie der Deltaufer. Hierbei werden die summarischen Einflüsse der Abgabe von Sedimenten mehrerer kleiner Flüsse für die Formung der Ufer erstmalig besonders betrachtet.

Das Kapitel XII ist speziell der Einwirkung des Windes auf die Uferzone gewidmet, wobei insbesondere die Bildung und Veränderung von Barren und Sandbänken auf Grund des Tatsachenmaterials der verschiedenartigen Ufer der UdSSR und einiger Länder des sozialistischen Lagers beschrieben werden.

Kapitel XIII behandelt die Wirkung der Gezeiten und der Sturmfluten, wobei festgestellt wird, daß ihr Einfluß auf die Dynamik des Ufers von dem Verhältnis der Größe der Wasserstandsschwankungen und der Höhe von Windwellen der betreffenden Strecke abhängt. Bei den offenen Ufern verlangsamen die Gezeiten allgemein den Abrasionsprozeß, weil die Lage der aktivsten Brandungszone sich laufend im Bereich einer verhältnismäßig breiten Uferzone ändert. In Meeresengen können Strömungen große Auskolkungen erwirken. Gezeiten können in stillen Buchten Schlick abgelagern, wodurch Wattengebiete entstehen.

Im letzten XIV. Kapitel werden einige Aufgaben weiterer Forschungen festgelegt. Als erste Aufgabe ist die Erforschung der Mächtigkeit der Ufersedimente auch mit Hilfe eines neuen sowjetischen oszillierenden Stechröhres von N. SISOEV und KUDINOV anzusehen. Als zweite Aufgabe stellt der Verfasser die Erforschung der Schwerminerale in Küstengewässern auf, die in der letzten Zeit auch große praktische Bedeutung erhalten haben. Als dritte Aufgabe wird die Erforschung der Korallenufer angesehen, die bisher meistens nur von der biologischen Seite untersucht wurden. Als vierte Aufgabe wird die Erforschung der Breite der Uferprozesse vorgeschlagen, wobei sie nicht nur den Bereich der mechanischen Arbeit der Wellen, sondern auch den gesamten Komplex des Geschehens in der Uferzone beinhalten soll. Als fünfte und letzte Hauptaufgabe schlägt der Verfasser die Erforschung der Uferzone im Prozeß der Entwicklung des Reliefs und der Struktur der Erdkruste vor.

Das Werk von B. P. SENKOWITSCH umfaßt die Entfaltung der komplizierten Prozesse an der Meeresküste. Als solches verdient es die höchste Anerkennung, um so mehr, als die ganze Wissenschaft über die Küstendynamik erst in den letzten Jahrzehnten unter der maßgebenden Beteiligung und Anleitung des Verfassers sich entfaltet, wobei die sowjetischen Gelehrten neben den amerikanischen und

holländischen Arbeiten die meisten regionalen und theoretischen Konzeptionen zur Anwendung in der Praxis schufen und ihre diesbezügliche Priorität auch durch dieses Werk dokumentiert wird.

Im Buch von B. P. SENKOWITSCH sind über 1000 Literaturquellen verwendet, und es ist mit einer großen Anzahl von schönen Photos und Abbildungen versehen. Die äußere Form zeigt eine sehr gute und gründliche Arbeit auch des Akademieverlages der UdSSR.

Man kann nur noch wünschen, daß es dem Verfasser vergönnt sein möge, eine Reihe solcher Fundamentalwerke auf dem Gebiet der Küstenforschung herauszugeben, um dadurch diese neue, aber sehr wichtige Sparte der Ozeanologie weiter zu bereichern.

Über die mittlere interdiurne Veränderlichkeit der Wassertemperatur und des Salzgehaltes im Übergangsgebiet zwischen Nord- und Ostsee

VON EBERHARD FRANCKE UND PETER HUPFER

Zusammenfassung: Größenordnung und Jahresgang 10jähriger Mittelwerte der interdiurnen Veränderlichkeit von Temperatur und Salzgehalt in 0 und 15 m Tiefe an 5 Stationen im Übergangsgebiet sowie 2 Stationen im angrenzenden Gebiet der Nord- und Ostsee werden mitgeteilt und diskutiert. Es ergeben sich charakteristische Jahresgänge mit regionalen Unterschieden, die mit dem Jahresgang der ozeanologischen Elemente und den Schichtungsverhältnissen im Zusammenhang stehen.

Das Übergangsgebiet zwischen Nord- und Ostsee, das die Seegebiete des Skagerrak, des Kattegat, der Beltsee und des Sundes umfaßt, ist durch eine große Veränderlichkeit der ozeanologischen Elemente gekennzeichnet, die neben den allgemeinen hydrographischen Bedingungen im wesentlichen eine Folge des sich in diesen Gewässern vollziehenden Wasseraustausches zwischen den salzarmen Wassermassen der Ostsee und den salzreichen Wassermassen der Nordsee ist. Die Dynamik der Wasserbewegung und die charakteristischen Schichtungsverhältnisse, die in hohem Maße auch von atmosphärischen Einflüssen abhängen, sind in einer Reihe von Bearbeitungen ausgewählter hydrographischer Lagen wiederholt dargestellt worden, von denen hier nur die diesbezüglichen Untersuchungen von H. WATTENBERG [10], R. KÄNDLER [6], H. WEIDEMANN [11] und K. WYRTKI [12] genannt seien. In hydroklimatischer Hinsicht wurde das Gebiet u. a. von A. C. JENSEN [5], G. NEUMANN [8], G. DIETRICH [2, 3, 4] und K. WYRTKI [13] bearbeitet, wozu noch die Atlantenwerke der ehem. Deutschen Seewarte und die Monatskarten der Oberflächentemperatur von G. BÖHNECKE und G. DIETRICH [1] kommen.

Abgesehen von Hinweisen bei G. DIETRICH [4], wurde die bei meteorologischen Untersuchungen vielfach angewendete Größe der interdiurnen Veränderlichkeit eines Elementes für die hydro-klimatologische Beschreibung des Übergangsgebietes bisher nicht herangezogen. Über die Veränderlichkeit der Wassertemperaturen der Ostsee findet man Angaben in einer älteren Arbeit von H. MÄE [7] und bei W. WARMBT [9].

Die nachstehende Arbeit soll zeigen, daß sich die mittlere interdiurne Veränderlichkeit von Wassertemperatur und Salzgehalt gut zur hydro-klimatologischen Charakterisierung des Übergangsgebietes eignet und bei diesbezüglichen Beschreibungen herangezogen zu werden verdient.

Material und Methodik

Voraussetzung für eine klimatologische Betrachtung der Größe der interdiurnen Veränderlichkeit ist das Vorhandensein hinreichend langer täglicher Beobachtungen der zu untersuchenden Größen an möglichst vielen Punkten des ausgewählten Gebietes. Diese Voraussetzung ist für das Übergangsgebiet zwischen Nord- und Ostsee in beispielhafter Weise durch die langjährigen Beobachtungen an den Feuerschiffen und Küstenstationen der Anliegerländer erfüllt. Für diese Untersuchung wurden Messungen an den dänischen Feuerschiffen Skagens Rev (S. R.), das im Bereich der Skagerrakfront im Sinne von WATTENBERG liegt, Anholt Knob (A. K.) und Schultz Grund (Sch. Gr.), die die Verhältnisse im Kattegat repräsentieren, sowie Halsskov Rev (Ha. R.) und Gedser Rev (G. R.), die im Einflußbereich der Beltseefront liegen, verwendet. Für Vergleichszwecke wurden zusätzlich Beobachtungen des Feuerschiffes Horns Rev (Ho. R.) für Nordseeverhältnisse und der Station Christiansö (Chr. Ö.) für die Ostsee herangezogen. Abb. 1 gibt

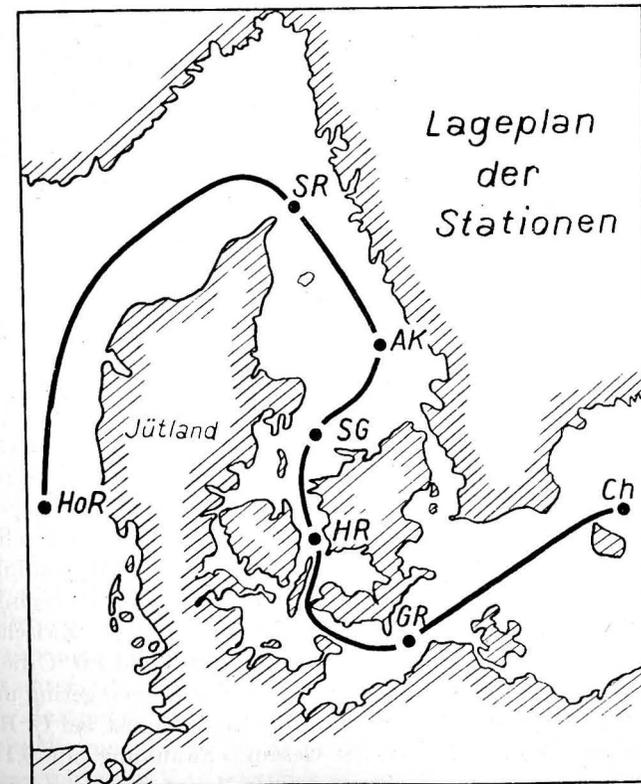


Abb. 1

einen Überblick über die Lage der Stationen. Für die Auswertung wurden die täglich um 08 Uhr MEZ gemessenen Temperatur- und Salzgehaltswerte an der Oberfläche und in 15 m Tiefe (für Chr. Ö. liegen nur Oberflächenwerte vor) für den Zeitraum von Juli 1929 bis Juni 1939 verwendet. Die Beschränkung auf eine 10jährige Reihe und auf nur zwei Meßtiefen war aus arbeitstechnischen Gründen notwendig. Für die Wahl der Periode war der Gesichtspunkt maßgebend, daß die bearbeitete Reihe möglichst homogen sein sollte. Die 15-m-Tiefe wurde ausgewählt, nachdem sich aus Stichproben an dem gesamten Material ergeben hatte, daß dieses Niveau als einigermaßen repräsentativ für die untere Schicht anzusehen ist. Es sei jedoch gleich an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß die Bearbeitung weiterer Meßtiefen hinsichtlich der interdiurnen Veränderlichkeit von Temperatur und Salzgehalt interessante Ergebnisse verspricht, die eine weitere Differenzierung der unten gegebenen Diskussion der Zusammenhänge erlauben würden.

Die interdiurne Veränderlichkeit (i. V.) wurde als Differenz der Beobachtungswerte zwischen zwei 24 Stunden auseinanderliegenden Beobachtungsterminen nach $\Delta t_i = |t_{i-1} - t_i|$ berechnet. Dabei ist t_{i-1} der Wert des vorausgegangenen Tages. Das Vorzeichen der Änderungen wurde nicht berücksichtigt. Aus den Einzelwerten Δt_i wurden Monatsmittelwerte gebildet, die dann zu 10jährigen Mitteln zusammengefaßt wurden. Für die Mittelwerte wurden Streuung und mittlerer Fehler nach den üblichen Methoden berechnet.

Im Folgenden wird im wesentlichen die Größenordnung und der jährliche Gang der mittleren i. V. von Wassertemperatur und Salzgehalt in den beiden Niveaus für die genannte Periode diskutiert. Die Tabellen mit den einzelnen Monatsmittelwerten und den 10jährigen Mitteln einschließlich Streuung und mittlerer Fehler sind hier nicht wiedergegeben.

Die mittlere interdiurne Veränderlichkeit der Oberflächentemperatur (Abb. 2)

In der Untersuchungsperiode schwanken die Monatsmittel bei S. R. zwischen 0,2 und 1,2 °C. Die größte Streuung der Werte tritt im Februar/März, Juni/Juli und Dezember auf. Demgegenüber ist die Streuung der Monatsmittelwerte bei A. K. geringer, wobei die Werte selbst zwischen 0,1 und 0,7 °C liegen. In den Monaten Januar und Juni sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren am größten. Ähnlich verhält sich Sch. Gr. mit einer Gesamtschwankung von 0,1 bis 1,0 °C. Bei dieser Station wird die Streuung der Monatsmittel beeinflusst durch die anomal hohen i. V. zwischen August und Dezember 1937. Zwischen 0,1 und 0,8 °C schwanken die Werte von Ha. R. und zwischen 0,1 und 1,0 °C die von G. R.. Die Streuung der Monatsmittelwerte ist bei beiden Stationen gering und erreicht Maxima im Juni bei Ha. R. sowie im Mai, Juni und August bei G. R.. Bei der Nordsee-Vergleichsstation Ho. R. ist die Gesamtschwankung mit 0,1 bis 0,7 °C geringer als bei S. R.. Hier ist die Streuung der Monatsmittel im Juni und Dezember am größten. Bei der Ostsee-Vergleichsstation Chr. Ö. liegen die Monats-

mittel in den betrachteten 10 Jahren zwischen 0,1 und 0,6 °C, wobei die Streuung gering ist und erhöhte Werte nur im Mai, Juli und Oktober zu beobachten sind.

Die absoluten Maxima der i. V. der Oberflächentemperatur liegen erheblich höher. Der höchste Wert wurde bei Sch. Gr. mit 6,0 °C (11. 10. 37) festgestellt. Dem folgen S. R. mit 5,0 °C (16. 7. 32), Chr. Ö. mit 4,3 °C (11. 7. 31), G. R. mit 3,5 °C (23. 6. 39), A. K. mit 3,1 °C (8. 8. 31), Ho. R. mit 2,9 °C (10. 12. 37) und Ha. R. mit 2,4 °C (4. und 5. 8. 31). Wie man erkennt, sind die absoluten Maxima der i. V. außer bei Sch. Gr. und Ho. R. in den Sommermonaten aufgetreten.

In Abb. 2 sind die 10jährigen Monatsmittel der i. V. der Oberflächentemperatur an den einzelnen Stationen aufgetragen. Zunächst sollen die Unterschiede in der Größe der mittleren i. V. zwischen den Stationen erörtert werden.

In den Wintermonaten Dezember bis Februar ist die mittlere i. V. bei Ho. R. und S. R. größer als bei den anderen Stationen. Sie liegt (abgesehen von Ho. R. mit 0,3 °C im Februar) zwischen 0,4 und 0,6 °C, während sie bei den anderen Stationen nur zwischen 0,2 und 0,3 °C schwankt. Die Ursache für die erhöhte i. V. bei den genannten Stationen ist in dem starken horizontalen Gradienten der Oberflächentemperatur in dieser Jahreszeit im Bereich der beiden Stationen zu suchen [1]. Hier wird die mittlere i. V. durch advective Einflüsse erhöht.

Im März fällt S. R. mit einer hohen mittleren i. V. von 0,5 °C auf, während die anderen Stationen nur Werte zwischen 0,1 und 0,2 °C aufweisen. Auch in diesem Monat liegt S. R. im Gebiet hoher horizontaler Temperaturgegensätze an der Oberfläche. Die sehr schwachen Temperaturgradienten im April tragen dazu bei, daß die i. V. an allen Stationen sehr gering sind (0,2–0,3 °C). Im Mai baut sich infolge der schnelleren und stärkeren Erwärmung der Ostsee ein umgekehrtes Temperaturgefälle als im Winter an der Oberfläche auf. Die erhöhten i. V. bei S. R. (0,7 °C) und G. R. (0,5 °C) im Gegensatz zu den anderen Stationen (0,4 °C) könnten auch hier mit dem strömungsbedingten Wandern der Isothermen an der Oberfläche in Beziehung stehen. Eine Beeinflussung der i. V. im Sommer durch diese Ursache scheint am ehesten bei S. R. gegeben zu sein (0,4–0,6 °C). Zwischen Mai und Juli treten bei allen Stationen die höchsten Werte auf (0,7–0,4 °C). Im August gehen die Werte auf 0,3 °C außer bei G. R. und S. R. zurück.

Ausgeglichenere Verhältnisse mit i. V. zwischen 0,2 und 0,4 °C findet man im September und Oktober. In diesen Monaten sind auch die horizontalen Temperaturgegensätze an der Oberfläche gering. Im November bleiben die Werte der i. V. im Kattegat, der Beltsee und bei Chr. Ö. gleichmäßig bei 0,3–0,2 °C, während sich bei S. R. die vermutlich advektiv bedingte Erhöhung der i. V. im Winter mit einem Mittelwert von 0,5 °C wieder einstellt.

Betrachtet man nun den Jahresgang der mittleren i. V. der Oberflächentemperatur an den untersuchten Stationen, so fällt zunächst auf, daß alle Stationen ein ausgeprägtes Maximum der i. V. in den Monaten Mai bis Juli (bzw. August bei G. R.) und ein Minimum im Frühjahr aufweisen. Während sich bei den Stationen ab A. K. ostseewärts die Werte im Herbst und Winter nur noch wenig oder gar nicht ändern, ist bei Ho. R. und S. R. ein deutliches zweites Maximum im Winter

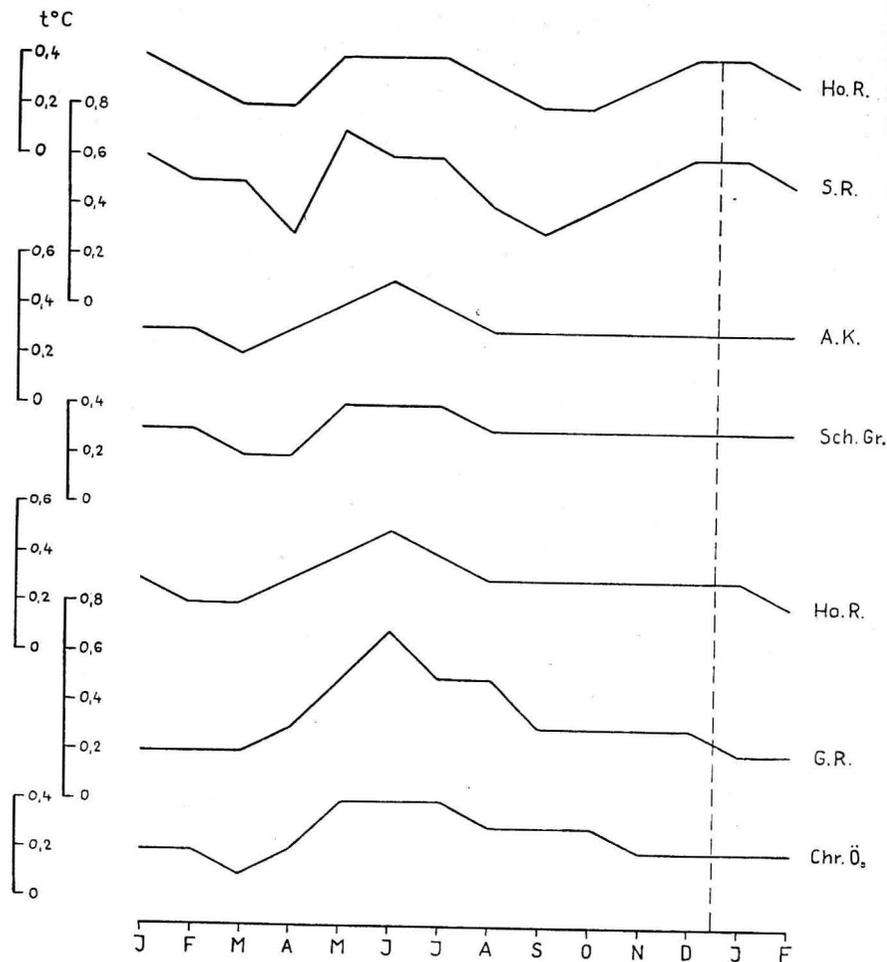


Abb. 2. Die mittlere interdiurne Veränderlichkeit der Oberflächenwassertemperatur (1929—39)

erkennbar, so daß der Jahresgang an diesen Stationen die Form einer doppelten Welle erhält.

Die Amplitude des Jahresganges ist mit $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ bei S. R. und G. R. am größten und mit $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ bei Ho. R. und Sch. Gr. am kleinsten. Neben der durch den strahlungsbedingten jährlichen Erwärmungs- und Abkühlungsprozeß hervorgerufenen i. V. wird diese Größe vor allem durch Advektion und vertikale Austauschvorgänge beeinflusst. Das allen Stationen gemeinsame Maximum der i. V. im Sommer ist im wesentlichen eine Folge des durch atmosphärische Einflüsse hervorgerufenen vertikalen Austausches. In dieser Jahreszeit ist das Wasser geschichtet und weist durch die Ausbildung der thermischen Sprungschicht ein starkes verti-

kales Gefälle auf. In der Zeit der stärksten Einstrahlung kommt es häufig zu atmosphärischen Umlagerungen, die die warme Deckschicht des Meeres beseitigen und so Anlaß zu häufigen Temperatursprüngen geben [9]. Dazu kommt noch der Einfluß der Hebung der Sprungschicht durch die Bodenkonfiguration, auf die bereits H. MÄE [7] hinweist und die möglicherweise bei G. R. eine Rolle spielt. Nach einer windbedingten Durchmischung des Wassers baut sich in dieser Jahreszeit rasch wieder eine neue Schichtung auf, und der ganze Vorgang kann sich erneut wiederholen. Darüber hinaus ist auch im Frühsommer bei größeren Temperaturunterschieden zwischen Luft und Wasser die Möglichkeit der direkten Wärmeübertragung von der Luft zum Wasser in Betracht zu ziehen, wenn man die Windgeschwindigkeit und die geringe Mächtigkeit der warmen Deckschicht berücksichtigt. In diesem Zusammenhang kam schon H. MÄE [7] zu der Feststellung, daß sich der Anstieg der Wassertemperatur rasch und mit großen Schwankungen vollzieht, während der Temperaturrückgang langsamer und viel regelmäßiger verläuft. Im August hat das Wasser seine höchste Temperatur erreicht, ist verhältnismäßig gut durchmischt, und Temperatursprünge treten seltener ein. Während der Abkühlungsperiode wird die Wassermasse durch die einsetzende Konvektion ständig gut durchmischt. Dabei wird absinkendes kaltes Wasser durch aufsteigendes wärmeres ersetzt, so daß kein Anlaß für erhöhte i. V. gegeben ist. Das Minimum der i. V. im Frühjahr fällt mit der Zeit der weitgehenden Isothermie des Wassers von der Oberfläche bis zum Boden zusammen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß das allen Stationen gemeinsame frühsommerliche Maximum der i. V. der Oberflächentemperatur in erster Linie eine Folge des vertikalen Austausches ist. Die winterliche Erhöhung der i. V. an den Stationen Ho. R. und S. R. sowie gewisse Unterschiede in der Größe der i. V. an den einzelnen Stationen sind dagegen in erster Linie auf advective Einflüsse zurückzuführen.

Die mittlere interdiurne Veränderlichkeit der Wassertemperatur in 15 m Tiefe (Abb. 3)

Die interdiurne Veränderlichkeit der Wassertemperatur in 15 m Tiefe ist größer als an der Oberfläche.

Bei S. R. schwanken die Monatsmittel in dem betrachteten Zeitraum zwischen $0,2$ und $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, wobei die Streuung der Werte zwischen Juni und September und im Dezember am größten ist. Bei A. K. und Sch. Gr. liegen die Monatsmittel zwischen $0,1$ und $2,0$ bzw. $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dabei treten die maximalen Streuwerte bei A. K. im Februar, August und September und bei Sch. Gr. zwischen Juni und August und im Dezember auf. Mit $0,1$ — $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ weist Ha. R. die größte Amplitude in den Monatswerten auf, wobei die Werte im Juni bis August am meisten um den Mittelwert streuen. Dasselbe Verhalten zeigt auch G. R., wo die Monatsmittel während des 10jährigen Zeitraumes zwischen $0,1$ und $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegen.

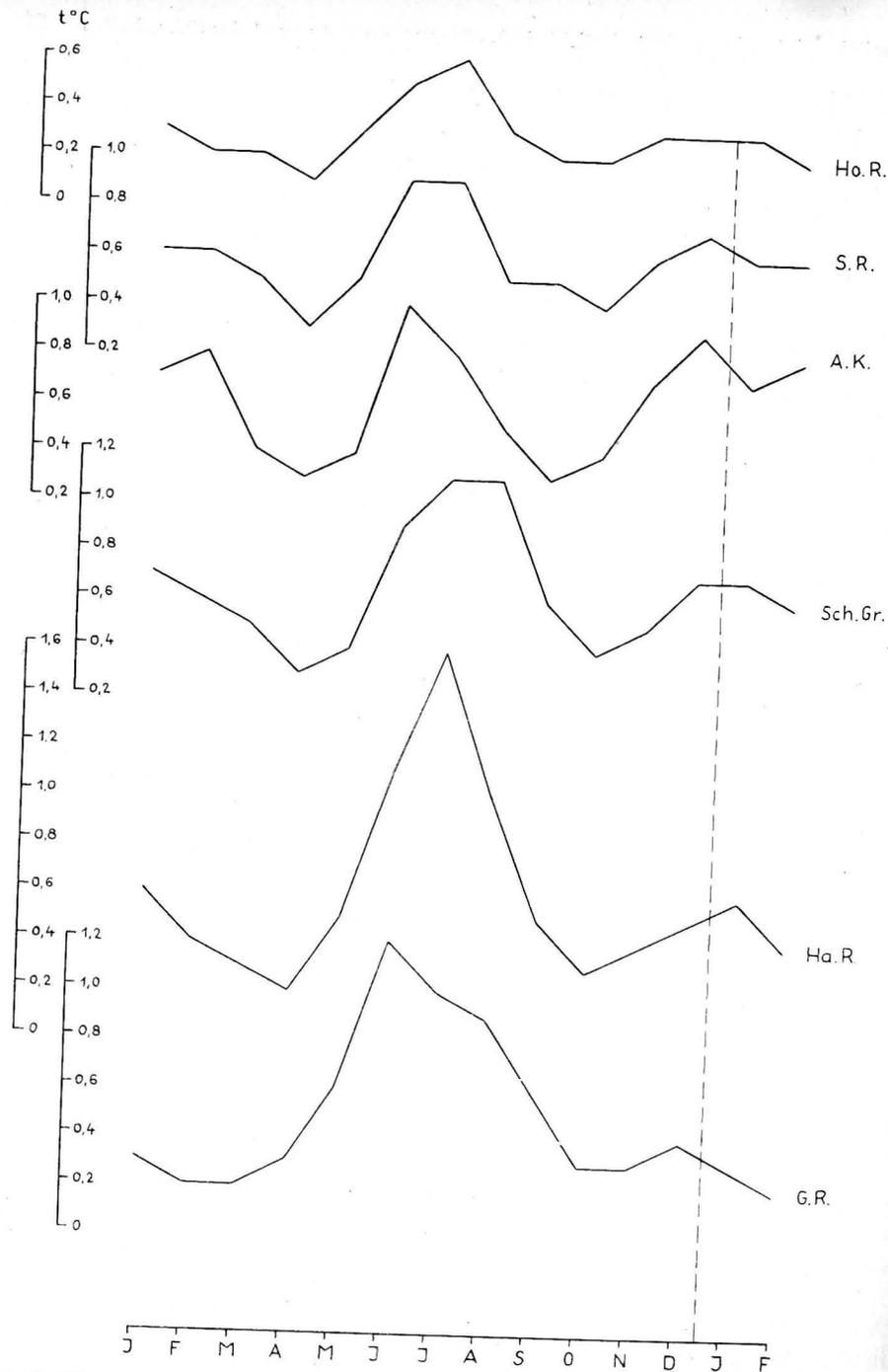


Abb. 3. Die mittlere interdiurne Veränderlichkeit der Wassertemperatur in 15 m Tiefe (1929—39)

Die Station Ho. R. hat geringere i. V., und die Monatsmittel schwanken bei einer maximalen Streuung im Juni-August und Dezember-Januar zwischen 0,1 und 1,2 °C. Für die eigentliche Ostsee wurden für diese Meßtiefe keine Vergleichswerte berechnet.

Auch die absoluten Werte der i. V. sind höher als an der Oberfläche. Die Spitze hält Ha. R. mit 10,2 °C (6. 7. 36), gefolgt von Sch. Gr. mit 8,6 °C (8. 7. 30), Ho. R. (8. 7. 36) und A. K. (28. 5. 37) mit 8,1 °C, S. R. mit 7,0 °C (11. 7. 33) und G. R. mit 6,3 °C (16. 7. 36). Die absoluten Maxima treten also mit Ausnahme von A. K. alle im Monat Juli auf.

In den Wintermonaten kommen die größten mittleren i. V. bei A. K. (0,7—0,9 °C) sowie Sch. Gr. und S. R. (0,7—0,6 °C) vor. Dem folgen Ha. R. mit 0,6 °C und G. R. mit 0,2—0,4 °C. Die Nordsee-Station Ho. R. hat mit 0,2—0,3 °C die niedrigsten Werte der mittleren i. V. Somit sind in den Wintermonaten beträchtliche Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen vorhanden, die größer als an der Oberfläche sind.

Im Frühjahr sind die regionalen Unterschiede kleiner. Im März werden mit 0,5 °C bei S. R. und Sch. Gr. die höchsten, bei G. R. und Ho. R. mit 0,2 °C die kleinsten mittleren i. V. beobachtet. Ähnlich wie an der Oberfläche sind die Differenzen zwischen den Stationen im April gering (0,1—0,3 °C).

Im Sommer wachsen mit der Erhöhung der absoluten Werte der i. V. auch die örtlichen Unterschiede wieder an. Die höchsten Werte hat Ha. R. mit 1,0—1,6 °C, gefolgt von G. R. mit 0,9—1,2 °C und Sch. Gr. mit 0,9—1,1 °C. Bei A. K. und S. R. schwanken die Werte zwischen 0,5 und 1,0 °C. Auch in dieser Jahreszeit hat Ho. R. mit 0,3 bis 0,6 °C die kleinsten i. V. von den untersuchten Stationen. Somit sind auch im Sommer die Unterschiede zwischen den Stationen größer als an der Oberfläche.

Im September schwanken die Mittelwerte zwischen 0,2 und 0,6 °C, während sich der Oktober wiederum durch eine gewisse Gleichförmigkeit auszeichnet (0,2—0,4 °C). Im November beginnen sich die für den Winter typischen Verhältnisse bereits durchzusetzen mit hohen Werten an den nördlichen Stationen (0,5—0,7 °C) und geringeren (0,3—0,4 °C) an den südlicher gelegenen.

Der Jahresgang ist an allen Stationen stark ausgeprägt (Abb. 3). Er verläuft in Form einer doppelten Welle mit dem Hauptmaximum im Juni/Juli, teilweise auch August, und einem sekundären Maximum im Dezember/Januar. Die Minima treten im April (bei G. R. Februar/März) und in den Herbstmonaten ein. Dieser Jahresgang ist zwar an allen Stationen deutlich, aber verschieden gut ausgeprägt. Die Amplituden sind örtlich verschieden. Diese ist bei Ho. R. mit 0,4 °C am geringsten und nimmt von S. R. mit 0,6 °C bis Ha. R. mit 1,4 °C zu, besitzt aber auch bei G. R. noch den hohen Wert von 1,0 °C.

Die Ursachen dieses prägnanten Jahresganges sind die Schichtung und deren jahreszeitlicher Gang. Wenn man den absoluten Betrag der Schichtung, d. h. die Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und 15 m Tiefe ohne Berücksichtigung des Vorzeichens, in derselben Periode (1929/39) mit dem Gang der i. V. an den einzelnen Stationen korreliert, erhält man Korrelationskoeffizienten zwischen

0,76 und 0,93. Die unterschiedlichen Schichtungsverhältnisse an den einzelnen Stationen im Jahresablauf erklären auch die örtlichen Unterschiede, wie sie oben erörtert wurden. Die relativ hohen i. V. an den Stationen A. K., Sch. Gr. und S. R. von November bis Februar sind mit relativ hohen negativen Temperaturgradienten (Temperatur nimmt nach unten zu) an diesen Stationen verbunden. Umgekehrt ist die sommerliche Schichtung an den Stationen Sch. Gr., Ha. R. und G. R. am stärksten, wo auch die höchsten i. V. gefunden werden. Die i. V. der Wassertemperatur in 15 m Tiefe erreicht in den Monaten ihr Minimum, in denen die vertikalen Temperaturunterschiede zwischen 0 und 15 m praktisch verschwinden.

Im Sommer wird die thermische Sprungschicht zwischen dem warmen Oberflächenwasser und dem kühleren Tiefenwasser, das durch Zufuhr von der Nordsee mehr oder weniger ständig erneuert wird, die i. V. entscheidend beeinflussen. Es ist bekannt, daß die thermische Sprungschicht dauernd in Bewegung ist (Strömungsverhältnisse, interne Wellen). Sie kann durch äußere Einflüsse ausgelöst werden und baut sich, besonders im Frühsommer, rasch wieder auf. Von diesen Vorgängen wird das 15-m-Niveau im Bereich des Übergangsgebietes ständig erfaßt, und auf diese Weise kommt es zu den beobachteten hohen i. V.. Damit ist auch klar, daß die i. V. der Wassertemperatur in dieser Tiefe höher sein müssen als die an der Oberfläche im Sommer. Die maximalen Beträge im Sommer werden in 15 m Tiefe bei Ha. R. erreicht, wahrscheinlich eine Folge der in dem engen Belt dynamisch bedingten Höhengschwankungen der Sprungschicht.

Nach der Umkehr der Schichtung im Herbst macht sich das advehierte wärmere Nordseewasser bemerkbar, das sich mit dem anderen Wasser vermischt und so ebenfalls Anlaß zu erhöhten i. V. gibt. So ist auch die doppelte Welle im Jahresgang an den nördlicher gelegenen Stationen besser ausgeprägt als bei den übrigen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die mittlere i. V. der Temperatur in 15 m Tiefe und die Unterschiede zwischen den untersuchten Stationen im wesentlichen von dem Jahresgang und den regionalen Unterschieden in der Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und 15 m Tiefe, d. h. von der Schichtung abhängen.

Die mittlere interdiurne Veränderlichkeit des Oberflächensalzgehaltes (Abb. 4)

Die Monatsmittel der i. V. des Oberflächensalzgehaltes schwanken in der Untersuchungsperiode bei S. R. zwischen 0,3 und 4,4‰ bei hohen Streuwerten in jedem Monat. Die entsprechenden Werte bei A. K. betragen dagegen nur 0,4 bis 1,8‰ bei wesentlich herabgesetzter Streuung um den 10jährigen Mittelwert in allen Monaten. Noch geringere Streuwerte weisen die Stationen Sch. Gr. und Ha. R. auf, bei denen die Monatsmittelwerte zwischen 0,3–1,3 bzw. 0,4–1,6‰ liegen. Dagegen sind die Streuwerte bei G. R. mit einer Gesamtschwankung von 0,1–1,9‰ wiederum höher, erreichen aber nur die von A. K. in ihrer Größenordnung. Die Schwankungsbreite an den Vergleichsstationen ist gering. Bei

geringer Streuung in den einzelnen Monaten beträgt sie bei Ho. R. 0,1–0,6 und bei Chr. Ö. 0–0,2‰.

Die absoluten Maxima der i. V. in der Untersuchungsperiode sind beträchtlich. Die Spitze hält S. R. mit 16,7‰ (15. 8. 38). Dann folgen G. R. und Sch. Gr. mit je 10,6‰ (3. 6. 37 bzw. 2. 1. 35), A. K. mit 8,9‰ (30. 4. 33) und Ha. R. mit 7,4‰ (16. 1. 36). Die entsprechenden Werte der Vergleichsstationen sind 3,5‰ bei Ho. R. (9. 8. 38) und 2,6‰ bei Chr. Ö. (10. 9. 30). Bei diesem Element sind die absoluten Maxima der i. V. nicht an eine bestimmte Jahreszeit gebunden.

Wenn man nun die langjährigen Mittel betrachtet, so erkennt man zunächst, daß sich beide Vergleichsstationen von den Stationen im Übergangsgebiet durch ihre geringe i. V. unterscheiden. Bei beiden Stationen ist die i. V. in jedem Monat geringer als bei den übrigen Stationen. Dabei hat Chr. Ö. mit Werten, die 0,1‰ nicht überschreiten, noch erheblich geringere mittlere i. V. als Ho. R.. Von den Stationen im Übergangsgebiet hat S. R. im Winter die höchsten Werte der i. V. (1,2–1,5‰) und Sch. Gr. die geringsten (0,7–0,8‰). In dieser Jahreszeit sind die Unterschiede zwischen den Stationen relativ gering, was am deutlichsten im Februar zum Ausdruck kommt, wo die regionalen Unterschiede zwischen 0,8 und 1,3‰ liegen. Im Frühjahr wachsen die regionalen Unterschiede zu ihrem Maximum im Mai an. Auch in dieser Jahreszeit treten mit 1,8–3,2‰ bei S. R. die höchsten i. V. auf. Im März und April sind die Differenzen zwischen den anderen Stationen nur gering (0,7–1,0‰), während im Mai eine starke Abnahme der mittleren i. V. von Norden (S. R. mit 3,2‰) nach Süden (G. R. mit 0,4‰) charakteristisch ist.

Im Sommer nehmen die örtlichen Unterschiede wieder von Juni bis August ab. Wie bisher liegt S. R. mit Werten von 1,6–2,4‰ bedeutend über den anderen Stationen. Die Differenzen zwischen den anderen Stationen sind vornehmlich im Juni und August mit 0,7–0,9‰ gering, im Juli dagegen höher (0,6–1,2‰).

Im Herbst sind die regionalen Unterschiede wesentlich geringer. Sie erreichen wie im Februar mit 0,4‰ zwischen Sch. Gr. (0,7‰) und Ha. R. (1,1‰) einen Minimalwert im Oktober, dem Monat, in dem S. R. nicht den Höchstwert von allen Stationen hat (1,0‰). Bei der Betrachtung der Abb. 4 fällt sofort auf, daß die Jahrgänge der mittleren i. V. des Oberflächensalzgehaltes sehr unterschiedlich und unregelmäßig verlaufen.

Die mittlere i. V. der Nordsee-Station Ho. R. ist gering und hat nur eine Jahresamplitude von 0,2‰. Die höchsten Werte werden im Dezember und Januar erreicht. Die absolut höchsten Beträge der mittleren i. V. und den ausgeprägtesten Jahresgang dieser Größe weist die Station S. R. auf. Die Amplitude des Jahresganges beträgt hier 2,2‰. Nach einem Minimum im Februar (1,2‰) steigt die i. V. an und erreicht im Mai mit 3,2‰ ihr Maximum. Danach gehen die Werte wieder zurück, und im Oktober tritt mit 1,0‰ das Jahresminimum ein. Danach steigt die Kurve wieder, bis sie im Januar mit 1,5‰ zu einem zweiten, wesentlich schwächer ausgeprägten Maximum kommt.

Dieser bemerkenswerte Jahresgang der i. V. ist aufs engste mit dem jährlichen Ablauf des Wasseraustausches in diesem Gebiet verbunden. Die hohen Beträge

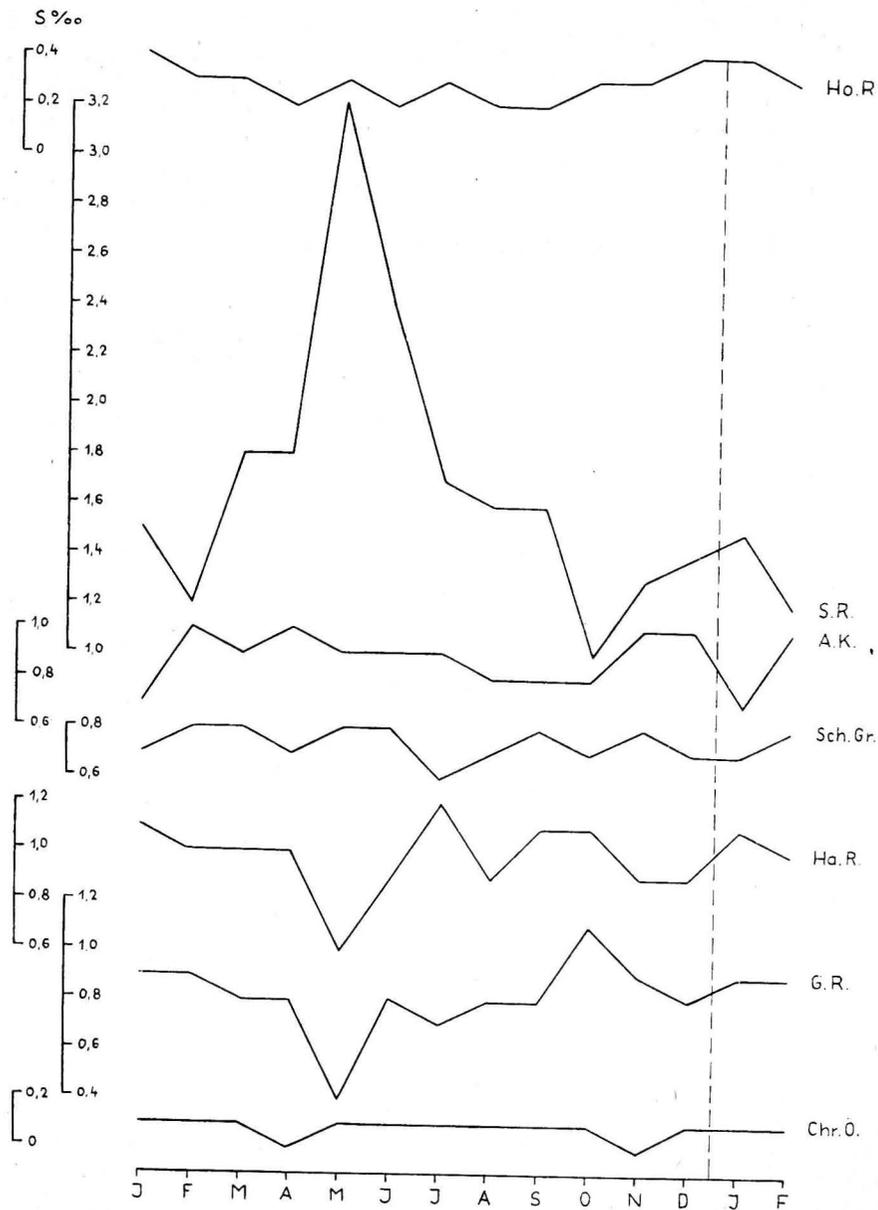


Abb. 4. Die mittlere interdiurne Veränderlichkeit des Oberflächensalzgehaltes (1929—39)

der i. V. während des ganzen Jahres können mit Pendelungen der normalerweise südlich von dieser Station liegenden Skagerrakfront [10], der Grenzzone zwischen den Wassermassen des Kattegat und denen des Skagerrak, in Verbindung gebracht werden. Die ansteigende i. V. von März bis Mai steht in Zusammenhang mit dem sich in diesen Monaten relativ ungestört vollziehenden Ausstrom, verbunden mit einem niedrigen Wasserstand der Ostsee und abnehmender Westwindkomponente über Jütland [13]. Dabei wird die Skagerrakfront häufig nach Norden verschoben und gerät in den Bereich der Station, wodurch der Salzgehalt großen i. V. unterliegt. Mit wieder zunehmender Westwindkomponente, zurückgehender Süßwasserzufuhr zur Ostsee und Ansteigen der Wasserstände, bleibt die Skagerrakfront wieder häufiger südlicher und die i. V. an der Station S. R. gehen zurück. Der mit kräftiger Westwindkomponente verbundene starke Einstrom im Oktober, der den Füllungsgrad der Ostsee auf seinen höchsten Wert steigen läßt, hat zur Folge, daß sich die Station normalerweise im Nordseewasser befindet und die i. V. des Salzgehaltes gering sind. Der nachfolgende, wieder stärkere Ausstrom läßt die mittlere i. V. ansteigen, ohne daß sie jedoch die Frühsommerwerte erreicht, da in dieser Jahreszeit der Westwind stärker ist und die Süßwasserzufuhr zur Ostsee geringer. Zur Bestätigung dieser Ausführungen wurden Korrelationskoeffizienten zwischen dem Jahresgang der Westwindkomponente über Jütland 1926/35, dem mittleren Wasserstand der Ostsee 1926/35 (13) und der mittleren i. V. von S. R. 1929/39 berechnet. Dabei ergab sich zwischen der Westwindkomponente und der i. V. ein $r = -0,62$ und zwischen dem Wasserstand der Ostsee und der i. V. ein $r = -0,59$. Der beste Zusammenhang besteht jedoch zwischen den korrespondierenden Salzgehaltswerten und der i. V. mit $r = -0,90$. Dagegen ergab eine Korrelation zwischen den ostseewärts setzenden Stromkomponenten bei S. R. und der i. V. nur eine schwache negative Korrelation. Eine hohe i. V. bei S. R. ist somit verbunden mit einem niedrigen Salzgehalt, einer geringen Westwindkomponente und niedrigem Wasserstand in der Ostsee und umgekehrt. Bedingt durch die günstige Lage der Station spiegelt der Jahresgang der i. V. die Schwankungen der Skagerrakfront wider. Die i. V. des Oberflächensalzgehaltes bei S. R. kann als typisch für das Gebiet der nördlichen Begrenzung des Übergangsbereiches angesehen werden. Die mittleren i. V. des Oberflächensalzgehaltes für die im Kattegat gelegenen Stationen A. K. und Sch. Gr. sind viel geringer als die für S. R.. An diesen Stationen beträgt die Jahresschwankung der i. V. nur 0,3 bzw. 0,2‰. Die Maxima des Jahresganges sind kleiner oder gleich dem Minimum bei S. R.. In den meisten Monaten sind die Werte bei Sch. Gr. geringer als bei A. K. Bei beiden Stationen kann man nicht von einem ausgeprägten Jahresgang der mittleren i. V. sprechen. Der Jahresverlauf hat bei beiden Stationen keinen feststellbaren Zusammenhang mit dem Jahresgang des Salzgehaltes. Der wenig markante Jahresgang der i. V. an beiden Stationen scheint charakteristisch für das innere Mischwassergebiet zwischen den beiden hydrographischen Fronten, die das Übergangsbereich begrenzen, zu sein.

Dagegen besitzt die im Zentralteil des Großen Beltes gelegene Station Ha. R. wieder einen stärker differenzierten Jahresgang. Er hat sein Maximum im Juli

mit $1,2^0/00$ und sein Minimum mit $0,6^0/00$ im Mai. Erhöhte Werte treten außerdem im September/Oktober und im Januar auf. Dieser Jahresgang weist teilweise entgegengesetzte Züge zu S. R. auf. Die mittlere i. V. bei Ha. R. korreliert positiv mit den Salzgehaltswerten der gleichen Beobachtungsperiode ($r = +0,53$) und ebenfalls positiv mit der einlaufenden Komponente der Oberflächenströmung ($r = +0,79$). Noch klarer ausgeprägt ist der Jahresgang bei der Station G. R. Er ist gekennzeichnet durch ein eindeutiges Minimum im Mai mit $0,4^0/00$ und einem Maximum im Oktober mit $1,1^0/00$. In den übrigen Monaten sind die Unterschiede in den 10jährigen Mitteln nur gering. Die mittlere i. V. korrelieren gut mit den Mittelwerten des Salzgehaltes ($r = +0,72$). Die Gegenläufigkeit des Jahresganges bei G. R. zu dem bei S. R. ist sehr gut zu erkennen ($r = -0,91$). Die Jahresgänge von Ha. R. und G. R. zeigen verwandte Züge und können zu einem Typ gerechnet werden. Während also an der nördlichen Begrenzung des Übergangsgebietes die mittlere i. V. des Oberflächensalzgehaltes mit wachsendem Salzgehalt und starkem Einstrom abnimmt, erhöht sich diese Größe im südlichen Teil bei gleichen Bedingungen.

Der starke Ausstrom im Mai drückt die Beltseefront, die infolge der engen Gewässer schnell einen großen Raum überstreichen kann, nach Norden. Im Bereich beider Stationen herrscht das relativ homohaline Ostseewasser vor und die i. V. sinkt auf ihr Minimum, das bei G. R. niedriger ist als bei Ha. R.. In der Folgezeit liegt die Beltseefront wieder südlicher und berührt offenbar im Sommer häufiger die Station Ha. R. (Juli-Maximum). Im Oktober rückt diese Grenzzone infolge des in diesem Monat starken Einstromes weiter vor (Maximum der i. V. bei G. R.).

Die Ostsee-Station Chr. Ö. hat während des ganzen Jahres gleichmäßig niedrige Werte der mittleren i. V., die $0,1^0/00$ nicht übersteigen und im April und November sogar auf $0^0/00$ zurückgehen. Die Untersuchung der mittleren i. V. des Oberflächensalzgehaltes ergibt eine große regionale Unterschiedlichkeit dieser Größe, die mit dem Wasseraustausch und dessen jährlichem Gang zusammenhängt. Man kann anhand der i. V. fünf natürliche Gebiete unterscheiden:

An das Übergangsgebiet

angrenzende Nordsee :	geringer Jahresgang mit niedrigen Werten der i. V., niedrige Amplitude
Gebiet der Skagerrakfront :	starker Jahresgang mit sehr hohen Werten der i. V., sehr große Amplitude
Kattegat :	wenig ausgeprägter Jahresgang mit mäßigen Werten der i. V., geringe Amplitude
Beltsee :	ausgeprägter Jahresgang mit relativ hohen Werten der i. V., große Amplitude
Ostsee :	kein Jahresgang, sehr geringe Werte der i. V.

Die mittlere interdiurne Veränderlichkeit des Salzgehaltes in 15 m Tiefe (Abb. 5)

Von allen bisher hier untersuchten Größen hat der Salzgehalt in 15 m Tiefe die größten i. V.-Werte.

Bei S. R. schwanken die Monatsmittel im Untersuchungszeitraum zwischen $0,3$ und $2,2^0/00$. Dieser Schwankungsbereich ist jedoch kleiner als der entsprechende Wert an der Oberfläche. Auch die Streuwerte in den einzelnen Monaten sind fast ausschließlich niedriger als an der Oberfläche. Die Streuung der Monatswerte ist am höchsten im April und in der Zeit von Oktober bis Februar. Bei A. K. und Sch. Gr. liegen die Monatsmittel zwischen $0,3$ und $3,2^0/00$ und schwanken damit mehr als an der Oberfläche. Die Streuwerte in den einzelnen Monaten sind bei beiden Stationen ungefähr gleich hoch, in jedem Fall aber höher als an der Oberfläche und bei S. R.. Die maximalen Streuwerte kommen bei A. K. im Februar, Mai, Juni und Oktober, bei Sch. Gr. im Mai, Juni, September und November vor.

Bei der Station Ha. R. variieren die Monatsmittelwerte von $0,8$ bis $5,0^0/00$. Auch die Streuung der Werte ist sehr hoch und erreicht Höchstwerte im Mai, Juni, Juli und Dezember.

Dagegen hat G. R. wieder eine geringere Gesamtschwankung von $0,5$ bis $3,0^0/00$. Die Abweichungen der einzelnen Monatsmittel vom 10jährigen Mittel sind hier überwiegend kleiner als bei den anderen Stationen außer S. R. Das Maximum der Streuung wird in den Monaten Juli bis September und im Dezember beobachtet. Demgegenüber liegen die Monatsmittel bei der Vergleichsstation Ho. R. mit $0,1$ bis $0,6^0/00$ weit unter denen der Stationen im Übergangsgebiet. Die Streuwerte sind ebenfalls gering. Die höchsten Einzelwerte der i. V. während der Untersuchungsperiode treten bei S. R. mit $15,9^0/00$ (10. 4. 34) und Ha. R. mit $15,8^0/00$ (29. 5. 35) auf. Dann folgen A. K. mit $14,6^0/00$ (3. 6. 31) und Sch. Gr. mit $14,5^0/00$ (28. 6. 38/13. 6. 39) vor G. R. mit $12,0^0/00$ (19. 9. 36). Die festgestellte maximale i. V. bei Ho. R. beträgt nur $2,7^0/00$ (11. 1. 37).

Im 10jährigen Mittel sind die i. V. im Winter bei A. K. und Ha. R. mit $1,7$ bis $1,9^0/00$ am größten. Dann kommen Sch. Gr. ($1,2 - 1,6^0/00$), G. R. ($1,1^0/00$) und S. R. ($0,7 - 1,0^0/00$). Damit betragen die regionalen Unterschiede in dieser Jahreszeit etwa $1^0/00$. Im Frühjahr liegt Ha. R. mit $2,0 - 2,2^0/00$ an der Spitze und S. R. mit $0,5 - 0,7^0/00$ am unteren Ende. Dadurch sind die örtlichen Differenzen beträchtlich ($1,5^0/00$). Die Werte an den übrigen Stationen schwanken zwischen $1,3$ und $1,7^0/00$.

Auch in den Sommermonaten hat Ha. R. die größten Werte der i. V. ($1,9 - 2,2^0/00$), gefolgt von G. R. ($1,7 - 1,9^0/00$). Dann kommen A. K. und Sch. Gr. ($1,3 - 1,5^0/00$) und S. R. ($0,5 - 0,7^0/00$). Auf diese Weise sind die Verhältnisse in dieser Jahreszeit ebenfalls ziemlich differenziert. Die regionale Schwankung wächst von $1,2^0/00$ im Juni bis auf $1,7^0/00$ im August.

Im Herbst dagegen nehmen die örtlichen Unterschiede von $1,9^0/00$ im September auf $0,9^0/00$ im November ab. Der größte Unterschied besteht im September zwischen S. R. mit $0,5^0/00$ und Ha. R. mit $2,4^0/00$; die anderen Stationen unterscheiden

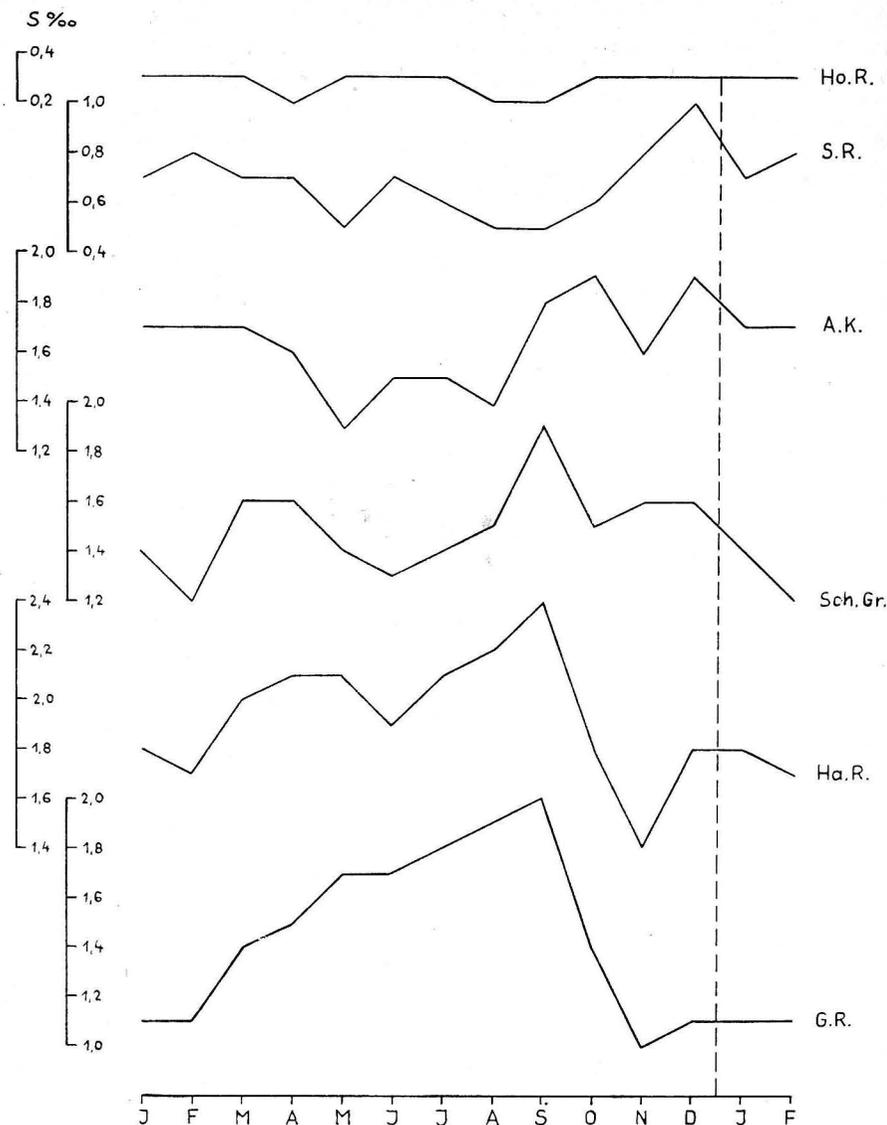


Abb. 5. Die mittlere interdiurne Veränderlichkeit des Salzgehaltes in 15 m Tiefe (1929–39)

sich mit Werten zwischen 1,8 und 2,0‰ nur wenig voneinander. Ab Oktober treten wie im Winter die höchsten Werte der i. V. bei A. K. und Ha. R. (1,8–1,9‰) auf, denen die Stationen Sch. Gr. und G. R. (1,1–1,6‰) sowie S. R. (0,6–1,0‰) folgen.

Die mittlere i. V. an der Station Ho. R. liegt in allen Monaten weit unter den Werten der Stationen im Übergangsgebiet, und sie schwankt nur zwischen 0,2 und 0,3‰ im ganzen Jahr.

An allen Stationen des Übergangsgebietes ist ein ausgeprägter Jahresgang der mittleren i. V. des Salzgehaltes in 15 m Tiefe vorhanden, der jedoch nicht einheitlich ist. Bei der Vergleichsstation Ho. R. existiert so gut wie kein Jahresgang. Die Amplituden nehmen von Norden mit 0,5‰ bei S. R. nach Süden mit 1,0‰ bei Ha. R. und G. R. zu.

Die Größe der i. V. des Salzgehaltes in der Tiefe wird an den anderen Stationen vornehmlich von der Intensität der Vermischungsvorgänge, der Advektion und den dadurch bedingten Änderungen in der Höhenlage und der Ausbildung der halinen Übergangsschicht abhängen. Die haline Übergangsschicht steigt normalerweise von Süden nach Norden an. Das 15-m-Niveau wird demnach an den einzelnen Stationen den Schwankungen dieser „Sprungschicht“ unterschiedlich ausgesetzt sein, so daß auch die resultierenden i. V. an den einzelnen Stationen unterschiedlich sein werden.

Bei der Station S. R. erkennt man im Jahresgang Minima im Mai und August/September und ein ausgeprägtes Maximum im Dezember. Wie schon ausgeführt wurde, sind die i. V. an dieser Station relativ gering, da das 15-m-Niveau hier vorwiegend in der salzreichen Schicht liegt. Das Maximum im Dezember fällt mit dem Salzgehaltsminimum in dieser Schicht zusammen und mit dem sekundären Maximum der i. V. der Wassertemperatur in 15 m Tiefe. Insgesamt gesehen ergeben sich jedoch bei dieser Station zwischen Salzgehalt, Schichtung (Salzgehaltsdifferenz zwischen 0 und 15 m) und der mittleren i. V. nur kleine negative Korrelationskoeffizienten.

Der Jahresgang an der Station A. K. ist gekennzeichnet durch niedrige Werte von April bis August mit dem Jahresminimum im Mai und hohen Werten im September, Oktober und Dezember. Bei dieser Station ist ein enger Zusammenhang zwischen der i. V. und der Schichtung ($r = -0,70$) wie auch mit dem Salzgehalt in 15 m Tiefe ($r = -0,64$) vorhanden. In dem Abfall der i. V. vom Maximum im Oktober zum November deutet sich ein Charakteristikum im Jahresgang an, das bei den folgenden Stationen noch deutlicher hervortritt. Der nachfolgende Anstieg zum Maximum im Dezember stimmt mit dem sekundären Maximum der i. V. der Wassertemperatur in dieser Tiefe zeitlich überein.

Bei Sch. Gr. tritt das Jahresminimum bereits im Februar ein. Nach einem vorübergehenden Anstieg fallen die Werte ab April zu dem sekundären Minimum im Juni, worauf sie zum Jahresmaximum im September ansteigen. Dem kräftigen Abfall zum Oktober folgt ein nur geringer Anstieg zum November und Dezember. Das Minimum im Juni ist mit dem Maximum der Schichtung und des Salzgehaltes im Jahresablauf verbunden. Die Maxima im März und September gehen mit Minima im Salzgehaltsgang einher. Der Korrelationskoeffizient des Jahresganges der i. V. mit dem des Salzgehaltes beträgt $r = -0,64$. Der Jahresgang von Ha. R. verläuft ähnlich, jedoch ist das sommerliche Minimum an dieser Station schwächer ausgeprägt und beschränkt sich nur auf den Juni, während das Jahresminimum, bedingt durch den starken Abfall der i. V. ab September, auf den November fällt. Für diese Station ist kennzeichnend, daß die Beziehungen zum Salzgehalt und zur Schichtung zwar weniger stramm, aber eindeutig positiv

sind. Die Modifizierung des Jahresganges setzt sich nach G. R. zu im gleichen Sinne fort, und man erkennt bei dieser Station einen einfachen Jahresgang mit ansteigenden Werten von März bis September, danach einen starken Abfall zum November, gefolgt von einem geringen Anstieg und Gleichbleiben der Werte. Das bei den anderen Stationen vorhandene Juni-Minimum macht sich hier nur in einer Unterbrechung des Anstieges bemerkbar. Die Korrelation mit dem Jahresgang der Schichtung ist positiv ($r = +0,85$). Da der Salzgehalt in dieser Tiefe so gut wie keinen Jahresgang aufweist, besteht auch kaum eine Beziehung zum Gang der i. V.. Bei vergleichender Betrachtung der Jahresgänge von A. K. bis G. R. kann man vermuten, daß der Jahresgang von A. K. (hoher Salzgehalt, starke Schichtung verbunden mit niedrigen i. V. und umgekehrt) allmählich in den Jahresgang von G. R. (hoher Salzgehalt, starke Schichtung verbunden mit hohen i. V. und umgekehrt) übergeht. Dies steht sicher in Verbindung mit der unterschiedlichen Lage der Salzgehaltsübergangsschicht zum 15-m-Niveau.

Eine weitergehende Deutung der Ergebnisse wäre möglich, wenn die mittleren i. V. weiterer Meßtiefen bekannt wären. Eine Beziehung zur i. V. an der Oberfläche ist nicht zu erkennen, außer bei S. R., wo die i. V. an der Oberfläche und in der Tiefe annähernd invers zueinander verlaufen.

Literatur

- [1] BÖHNECKE, G. und DIETRICH, G., Monatskarten der Oberflächentemperatur für die Nord- und Ostsee und die angrenzenden Gewässer. DHI Hamburg 1951.
- [2] DIETRICH, G., Der jährliche Gang der Temperatur- und Salzgehaltsschichtung in den britischen Randmeeren und in der Nord- und Ostsee. Unveröff. Bericht DHI Hamburg 1949.
- [3] DIETRICH, G., Die natürlichen Regionen von Nord- und Ostsee auf hydrographischer Grundlage. Kieler Meeresforschungen 7 (1951) 35—69.
- [4] DIETRICH, G., Die Elemente des jährlichen Ganges der Oberflächentemperatur in der Nord- und Ostsee und den angrenzenden Gewässern. Dt. Hydrogr. Z. 6 (1953) 50—64.
- [5] JENSEN, A. C., Fluctuations in the hydrography of the transition area during 50 years. Rapp. et. P. V. Cons. int. Explorat. Mer CII (1937).
- [6] KÄNDLER, R., Der Einfluß der Wetterlage auf die Salzgehaltsschichtung im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee. Dt. Hydrogr. Z. 4 (1951) 150—160.
- [7] MÄE, H., Über die Temperatursprünge in der Ostsee. Sitzber. Wiener Akad. Wiss. 137 (1928) H. 1—2.
- [8] NEUMANN, G., Mittelwerte längerer und kürzerer Beobachtungsreihen des Salzgehaltes bei den Feuerschiffen im Kattegat und in der Beltsee. Ann. Hydrogr. 68 (1940) 373.
- [9] WARMBT, W., Beiträge zur Häufigkeitsklimatologie des Ostseeraumes. Veröff. Geophys. Inst. Univ. Leipzig 14 (1941) H. 2.
- [10] WATTENBERG, H., Über die Grenzen zwischen Nord- und Ostseewasser. Ann. Hydrogr. 69 (1941) 265.
- [11] WEIDEMANN, H., Untersuchungen über unperiodische und periodische hydrographische Vorgänge in der Beltsee. Kieler Meeresforschungen 7 (1950) 70—86.
- [12] WYRTKI, K., Die Dynamik der Wasserbewegungen im Fehmarnbelt I und II. Kieler Meeresforschungen 9 (1953) und 10 (1954).
- [13] WYRTKI, K., Schwankungen im Wasserhaushalt der Ostsee. Dt. Hydrogr. Z. 7 (1954) 91—129.

Material:

Nautisk-Meteorologisk Arbog, Jahrgänge 1929—1939, Kopenhagen.

Vorläufige Ergebnisse von Radioaktivitätsmessungen in der westlichen Ostsee

Von KARL-HEINZ ROHDE

Zusammenfassung: Die Anwendung einer adsorptiven Mitfällungsmethode zur Überwachung der Radioaktivität in der westlichen Ostsee wird beschrieben. Die Messungen können auch auf einem Schiff schnell ausgeführt werden. Vom 15. 11. 1961 bis 15. 12. 1962 wurde bei 95 Oberflächenwasserproben der westlichen Ostsee die Größenordnung von 10^{-14} Curie/ml für die Gesamt-Beta-Radioaktivität (ohne Kalium) nicht überschritten.

Das Institut für Meereskunde stand 1961 vor der Aufgabe, die Radioaktivität im Meerwasser zu überwachen. Unter Überwachung wird die schnelle Kontrolle der Gesamtaktivität verstanden, die zum Ziel hat, eine Gefahr für den Menschen rechtzeitig zu erkennen.

Den Betastrahlern Strontium-90/Yttrium-90 und Cäsium-137 wird in der Biosphäre wegen ihrer Gefährlichkeit größte Aufmerksamkeit gewidmet. Bei hohen Konzentrationen dieser Stoffe, die für größere Gebiete über längere Zeiträume eine Gefährdung darstellen können, ist die Gesamtaktivitätsmessung eine geeignete Form der Erfassung. Eine Aussage über die wirkliche Gefährdung kann aber nur gemacht werden, wenn die Konzentration der Einzelisotope bekannt ist. Diese notwendige Einzelbestimmung der Isotope ist im Institut für Meereskunde z. Z. nicht möglich.

Als Meßanordnung für radioaktive Strahlung stehen der Meßplatz VA-G-20 A, eine Universalabschirmkammer VA-H-100 und Glockenzählrohre VA-Z-310, alles Erzeugnisse des VEB Vakutronik Dresden, zur Verfügung. Mit diesen Geräten beschränkten sich unsere Arbeiten auf die Messung der Gesamt-Beta-Aktivität.

Gebräuchliche Verfahren zur Betastrahlungsmessung lassen sich infolge des hohen Salzgehaltes und der damit verbundenen natürlichen Radioaktivität durch das langlebige Isotop Kalium-40 nicht ohne weiteres auf Meerwasser übertragen. Über die verschiedenen Möglichkeiten zur Überwachung und Messung der Radioaktivität im Meerwasser ist an anderer Stelle ausführlich geschrieben worden (H. KIEFER, R. MAUSHART [1], H. KAUTSKY [2]).

Zur Anreicherung der Radioaktivität im Meerwasser wird eine adsorptive Fällung der aktiven Isotope an Eisen- und Lanthanhydroxyd unter Zusatz von Trägern (Y. MIYAKE, Y. SUGIURA, K. KAMEDA [3], Y. MIYAKE, Y. SUGIURA [4]) benutzt. Die Ausbeuten schwanken stark (nach Literaturangaben zwischen 70% und 90% der Aktivität), trotzdem ist das Verfahren zur schnellen größenordnungsmäßigen Bestimmung der im Meerwasser vorhandenen Gesamtaktivität (ohne

Kalium) geeignet. Die Methode ist brauchbar zum Einsatz auf Forschungsschiffen.

Es wird nach folgender Vorschrift gearbeitet:

1 Liter filtriertes Meerwasser wird mit 2 g Ammoniumchlorid, 10 mg Fe^{+++} , 5 mg La^{+++} , 10 mg Ba^{++} und 20 mg Sr^{++} versetzt. Das Wasser wird auf 60–70 °C erhitzt, dabei wird gut gerührt. Nach Zugabe von einigen Tropfen alkoholischer Phenolphthaleinlösung (1%) wird tropfenweise mit Ammoniumhydroxyd (1:1) bis zur schwachen Rosafärbung versetzt. Das Wasser wird kurz aufgekocht, den Niederschlag läßt man 2 Stunden absitzen. Es wird durch ein mittleres Filter filtriert und das Filter mit dem Rückstand verascht.

Die Impulsrate der Asche wird unter einem Geiger-Müller-Zählrohr in Glockenbauart gemessen.

Es wird filtriertes Meerwasser verwendet. Eine große Wahrscheinlichkeit für die Anreicherung der Spaltprodukte im Plankton besteht. Durch das Filtrieren sind die Ergebnisse unabhängig von den Schwankungen des Plankton- und Trübungstoffgehaltes.

Der Ascherückstand hat ein Gewicht von 45 bis 65 mg. Ein wesentlicher Selbstadsorptionsfehler ist bei einer Zählfläche von 4,5 cm² nicht zu erwarten.

Die Impulsanzeige des Detektors ist auf Kalium-40 (in Form von KCl) geeicht (K. HABERER [5]).

Die Nachweisgrenze unseres Verfahrens liegt bei 10⁻¹⁴ Curie/ml (= 7 Imp./min · Liter über dem Nulleffekt).

Die bisherigen Kontrollen von 50 Proben der Entnahmestelle Warnemünde und von 45 Proben aus dem Gebiet der westlichen Ostsee in der Zeit vom 15. 11. 1961 bis 15. 12. 1962 ergaben Werte, die niemals die Größenordnung 10⁻¹⁴ Curie/ml überschritten.

Einen Einfluß auf die Aktivität des Meerwassers hat die Aktivität des Niederschlages. Im Dezember 1961 wurde mit der beschriebenen Methode für Niederschlag eine Aktivität von 3 · 10⁻¹² Curie/ml (= 2150 Imp./min · Liter) gemessen. Dieses war der höchste Wert für die im Beobachtungszeitraum an Niederschlagswasser angestellten Vergleichsmessungen.

Eine Erhöhung der Aktivität des Oberflächenwassers des Meeres nach Niederschlägen ist nur bei ruhiger See meßbar. Die Überwachung der Radioaktivität in der westlichen Ostsee wird weiter durchgeführt.

Literatur

- [1] KIEFER, H. und MAUSHART, R., Möglichkeiten zur Überwachung der Radioaktivität des Meerwassers. Dt. Hydrogr. Z. 14 (1961) H. 1, S. 11.
- [2] KAUTSKY, H., Über Herkunft, Verteilung und Nachweismöglichkeit künstlich radioaktiver Stoffe im Meer. Dt. Hydrogr. Z. 14 (1961) H. 4, S. 121.
- [3] MIYAKE, Y., SUGIURA, Y. und KAMEDA, K., On the Distribution of Radioactivity in Sea around Bikini Atoll in June, 1954. Papers in Meteorology and Geophysics V (1954) S. 253–263.
- [4] MIYAKE, Y. und SUGIURA, Y., The Method of Measurements of Radioactivity in Sea Water. Papers in Meteorology and Geophysics IX (1958) S. 48.
- [5] HABERER, K., Radioaktive Stoffe im Wasser und ihre Messung. Vom Wasser 25 (1958) S. 150.

Die Registrierformen bei Gezeitenrechenmaschinen

Von GÜNTHER SAGER

Zusammenfassung: Ausgehend von den Grundtypen der Gezeitenrechenmaschinen werden Vor- und Nachteile der visuellen Ablesung, des Druckes über elektromagnetisch-mechanische Geber- und Speicherwerke und der bei der dritten deutschen Maschine installierten optischen Registrierung gegenübergestellt.

Die drei Grundformen von Gezeitenrechenmaschinen

Mit der Methode der „harmonischen Analyse“ zur Zerlegung der Meeresgezeiten in harmonische Funktionen oder sog. Partialtiden hat LORD KELVIN 1867 die Basis für eine neue Richtung in der Entwicklung der Gezeitenvorhersage geschaffen. Aus der Gleichung einer Partialtide

$$y = R \cos (n t - \zeta), \quad (1)$$

deren „harmonische Konstante“ R und ζ aus empirischen Beobachtungen und deren Winkelgeschwindigkeit n aus der astronomischen Theorie fixiert werden, läßt sich die Gezeitenkurve

$$Y = A_0 + \sum_{i=1}^m R_i \cos (n_i t - \zeta_i) \quad (2)$$

numerisch aufbauen, wobei A_0 den mittleren Wasserstand des betreffenden Hafens bedeutet. In dieser Form ist eine Vorhersage für solche Gebiete möglich, in denen Seichtwassereinflüsse eine untergeordnete Rolle spielen. Da jedoch bei modernen Analysen bis zu einigen Dutzend Partialtiden bestimmt werden, ist die Berechnung der Wasserstände und vor allem die Bestimmung der Eintrittszeiten der Extrema, also der Hoch- und Niedrigwasser, die der Bedingung

$$\frac{dY}{dt} = - \sum_{i=1}^m n_i R_i \sin (n_i t - \zeta_i) = 0 \quad (3)$$

genügen müssen, eine mühselige Arbeit. Bei manueller Handhabung benötigte ein Rechner für die etwa 1400 Hoch- und Niedrigwasser eines Hafens mit Halbtags-tiden rund ein Vierteljahr.

Deshalb hat bereits KELVIN auf einen Ausweg gesonnen, der ihn zur Entwicklung der Gezeitenrechenmaschinen führte. In diesen Maschinen wird bekanntlich

jede Partialtide laut Gleichung (1) durch ein entsprechendes „Tidengetriebe“ mit der zugehörigen Winkelgeschwindigkeit n repräsentiert, an dem Amplitude und Phase einstellbar sind. Der über ein Kreuzstück auf eine Rolle übertragene Wasserstandsverlauf jeder Teiltide wird einem Summationsband mitgeteilt (vgl. Abb. 1 und 3), dessen loses Ende dann in seiner Elongation der Gleichung (2) folgt. Einzelheiten dieses Grundprinzips hat der Verfasser u. a. in „Gezeitenvoraussagen und Gezeitenrechenmaschinen“ (1955) in detail beschrieben.

In den älteren Maschinen (LORD KELVIN 1873, ROBERTS 1879, KELVIN 1881) hat man das freie Bandende mit einer Registriertrommel gekoppelt und zum Aufzeichnen der Tidekurve benutzt. Es zeigte sich jedoch bald der Mangel in der Auswertung, da es nicht möglich war, aus dem etwa 100 m langen Registrierstreifen für ein Vorhersagejahr die Extrema genügend genau abzumessen, da einer Stundendauer etwa 1 cm Streifenlänge entsprach. Im weiteren war die Auswertung sehr zeitraubend, wodurch der Vorteil der großen Maschinengeschwindigkeit — ein Tidejahr wurde in 3 bis 5 Stunden durchlaufen — wieder eingebüßt wurde.

Man ließ deshalb bald auch noch die Kurve der ersten zeitlichen Ableitung nach Gleichung (3) die Maschine durchlaufen und aufzeichnen, deren Nullstellen die Zeiten der Extrema gaben, aber durch den relativ steilen Durchgang durch die Abszisse besser ablesbar sind. Aber auch diese Maßnahme brachte am Ende nicht die von der Schifffahrt verlangte Genauigkeit. Da eine Verlängerung des schon unhandlichen Registrierstreifens nicht wünschenswert erschien, waren die Möglichkeiten der graphischen Ausbeute praktisch erschöpft.

Einen Ausweg schien der Übergang zur numerischen Ablesung an Skalen zu bieten. Damit war zunächst eine Umkehrung der beiden Arbeitsgänge verbunden. Man ließ also zuerst die erste Ableitung gemäß der Gleichung (3) durch die Maschine laufen und stellte die Eintrittszeiten der Hoch- und Niedrigwasser als Nullstellen der Ableitung fest. Das Anhalten der Maschine zum Ablesen der Daten geschah dabei teilweise automatisch, indem man nur dafür zu sorgen brauchte, daß das Summationsband bei Annäherung an die Stellung $dY/dt = 0$ einen Kontakt auslöste, der ein akustisches oder elektrisches Signal gab, das die Bedienung zum Ablesen aufforderte. Im zweiten Arbeitsgang lief die ursprüngliche Tidefunktion gemäß Gleichung (2) ab, wobei man die Maschine stets an den Stellen anhalten mußte, für die gerade die Zeitpunkte t_{extrem} erreicht waren, die man aus dem ersten Arbeitsgang ermittelt hatte, um so die zugehörigen Y_{extrem} zu bekommen.

Unbefriedigend war hierbei die Tatsache, daß man auf zwei Arbeitsgänge angewiesen war. Einen wesentlichen Schritt bedeutete die Erkenntnis des Amerikaners FERREL, der 1882 eine wohldurchdachte Vervollkommnung erreichte, als er die Gleichung (3) für die erste Ableitung nach der Beziehung $-\sin \varphi = \cos(\varphi + 90^\circ)$ umformte zu

$$\frac{dY}{dt} = \sum_{i=1}^m n_i R_i \cos(n_i t - \zeta_i + 90^\circ). \quad (3a)$$

Man ist damit auf die Kosinus-Funktion zurückgekommen, während sich das Argument um 90° vergrößert hat. Wesentlich ist, daß die Winkelgeschwindigkeit

dieselbe ist, so daß man die erzeugte Drehzahl des betreffenden Getriebes ausnutzen kann. Das geschieht in der Weise, daß man auf der Rückseite der Maschine unter Berücksichtigung einer um 90° versetzten Phase eine analoge Einrichtung zur Einstellung der Amplituden und Führung eines Summationsbandes anbringt wie auf der Vorderseite und jedes Getriebe durchgehend anordnet. Bei Einstellung der veränderten Amplituden läuft dann auf der Rückseite gleichzeitig die erste Ableitung ab, während die Vorderseite der Tidefunktion selbst vorbehalten ist.

Stellt man die drei Etappen in der Mechanisierung der Gezeitenvorausberechnung zusammen, so ergeben sich für die Gesamtarbeitszeiten — Einstellen der Phasen und Amplituden, Maschinenlaufzeit und anschließende Auswertung — bei Halbtagstiden im Mittel zwischen dem einfachen Typ mit graphischer Anzeige, dem einfachen Typ mit numerischer Anzeige und der Rückseitenkonstruktion mit numerischer Anzeige Verhältnisse von 10:3:2. Auffällig ist dabei, daß der wachsende Zeitaufwand bei dem Übergang von der ersten zur zweiten Stufe trotz des nunmehr nötigen Anhaltens der Maschinen nur gering bleibt, was sich aber aus der Entwicklung des Antriebs — Übergang vom Hand- zum Gasmotor- und elektrischen Antrieb — erklärt. Die meistens auftretenden Spannen in der Angabe der erforderlichen Zeiten haben ihre Ursache in der Verschiedenheit der Gezeitenrechenmaschinen, von denen sich nur selten zwei gleichen, was die Auswahl der verwendeten Tiden sowie den generellen Aufbau anbelangt, abgesehen natürlich von dem ihnen allen gemeinsamen Prinzip der mechanischen Summierung.

Die visuelle Registrierung

Alle reichlich zwei Dutzend Gezeitenrechenmaschinen, die bis heute gebaut worden sind, haben mit Ausnahme der drei deutschen Konstruktionen kein Registrierwerk für die numerische Anzeige, aber fast alle verfügen über eine Vorrichtung zur Aufzeichnung der Gezeitenkurve. Obwohl die Wiedergabe der Resultate an Ziffernscheiben bis 1882 zurückgeht, hat England trotz seiner dominierenden Stellung im Bau von Gezeitenrechenmaschinen erst 1925 eine Maschine mit numerischer Anzeige entworfen, nachdem man in Buenos Aires bereits 1920 eine von England gelieferte Konstruktion auf gediegene Art umgebaut hatte. Inzwischen hat das Tidal Institute in Liverpool unter der jahrzehntelangen Leitung von DOODSON diesen Rückstand längst überwunden und 1950 mit der in mehreren Exemplaren gefertigten Konstruktion eine vorbildliche Zusammenfassung aller Anzeige- und Bedienungsvorrichtungen erzielt, die näher erläutert werden soll.

Abb. 1 zeigt schematisch den Aufbau dieses Typs. Der größere Teil der Maschine ist den 42 Tidengetrieben vorbehalten, von denen die meisten in derselben Größe ausgeführt sind, ausgenommen diejenigen für die Haupttiden mit größerer Amplitude (M_2, S_2, K_1, O_1). Im schmalen linken Teil sind die graphische Registrierung, die Ziffernringe für die Vorder- und Rückseite (nach Gleichung 2 und 3a) und die Ziffernrollen für die Zeitanzeige untergebracht, dazu die Knöpfe für die Ein-

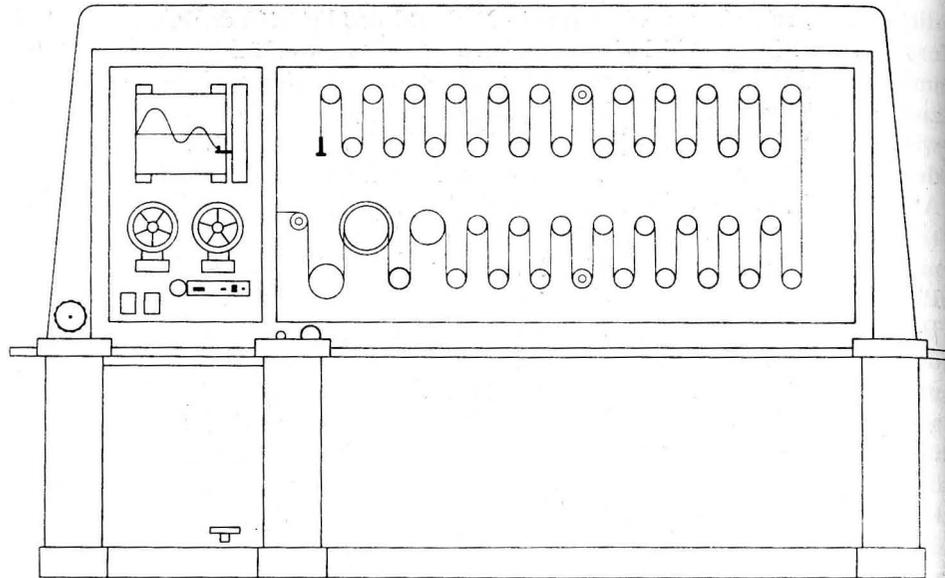


Abb. 1. Schematisches Bild der Liverpooler Gezeitenrechenmaschine

stellung der betreffenden Ausgangswerte. Einen Ausschnitt dieses Teils gibt Abb. 2.

Entsprechend den in den verschiedenen Teilen der Welt sehr variablen Beträgen des Tidenhubs sind die Ziffernringe auswechselbar, so daß keine nachträglichen Maßstabumrechnungen erforderlich sind. Wie Abb. 2 zeigt, ist der Ziffernring für die Höhen nur in volle Einheiten (Fuß) geteilt, während für die Dezimalen darunter eine Hilfsskala vorhanden ist, auf der gegen die Striche der Hauptteilung abgelesen wird. Der Observator braucht dadurch nicht dem ständig wechselnden Ort eines umlaufenden Zeigers zu folgen, sondern hat für sein Auge einen relativen Ruhepunkt. Außerdem geschieht die Ablesung negativer Wasserstandshöhen (rot graviert) auf der inneren Peripherie des Ziffernrings, so daß eine Verwechslung mit den positiven Werten ausgeschlossen erscheint.

Trotz dieser optimal günstigen Anordnung der Ablesevorrichtungen hat die visuelle Methode Nachteile, die einmal in der fehlenden unmittelbaren Reproduzierbarkeit der angezeigten Daten und zum andern in der großen physischen Belastung des Observators liegen. Vergewärtigen wir uns einmal kurz den Arbeitsablauf in den englischen Maschinen:

Vor dem in der Abb. 1 erkennbaren Pult sitzt der Observator; mit dem Fuß bedient er den Anlasser der Maschine, verfolgt mit den Augen die Zifferblätter, bremst bei Annäherung an die Nullstellen der ersten Ableitung bzw. die Extremwerte der Tidekurve, stellt mit der linken Hand den exakten Wert ein, liest die Daten ab und tabelliert sie gleichzeitig mit der vor ihm stehenden Schreibmaschine. Nach einem abschließenden, prüfenden Blick läßt er die Maschine wieder an,

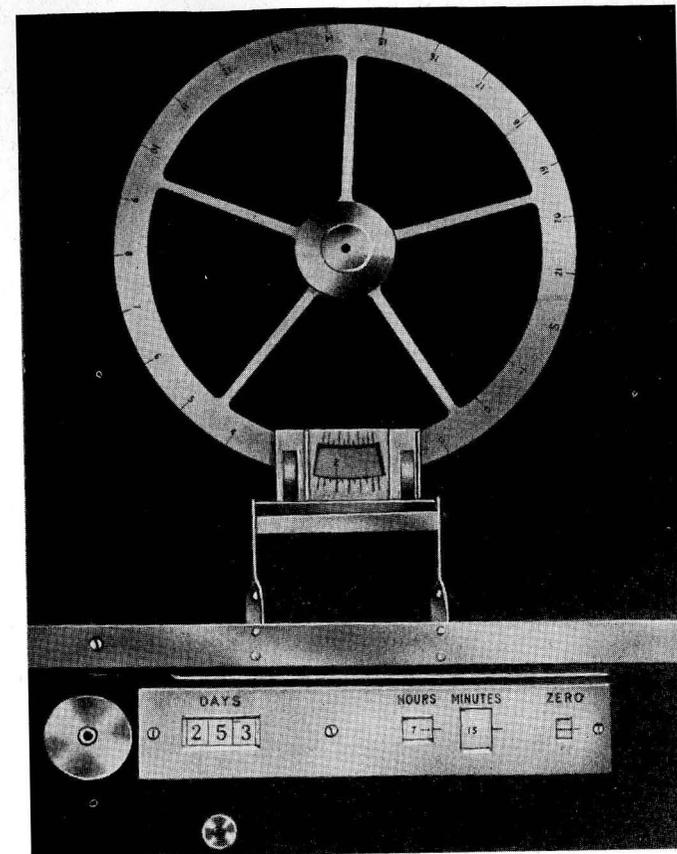


Abb. 2. Die Registrieranlage der Liverpooler Maschine

worauf sich der Zyklus wiederholt. Trotz der sehr geschickt und konzentriert angelegten Ablesevorrichtungen ist die physische Belastung bei der wechselnden und angespannten Aufmerksamkeit auf alle Vorgänge außerordentlich, zumal für jeden Zyklus nur 10 bis 15 Sekunden in Anspruch genommen werden dürfen, wenn eine Laufzeit der Maschine von 5 bis 8 Stunden eingehalten werden soll.

Elektromagnetisch-mechanische Druckwerke

Die einzige Abweichung von der visuellen Methode zeigen die deutschen Konstruktionen. Die erste deutsche Maschine, die in der Folge des ersten Weltkriegs erbaut wurde, besaß noch zwei nebeneinander gelegene Ziffernblätter, über die ein Höhen- bzw. Zeitzeiger lief. Bereits im Anschluß an den Bau stellte man sich die Frage, ob es nicht möglich sei, das menschliche Element aus den maschinellen Berechnungen ganz auszuschalten und das jedesmalige Stoppen der Maschine

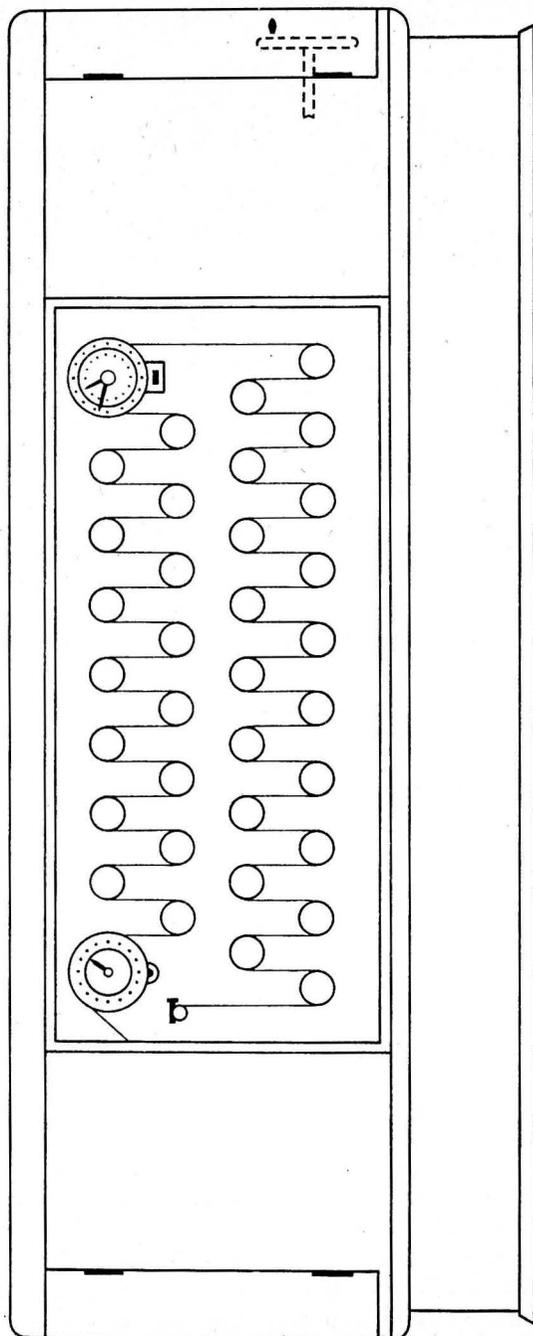


Abb. 3. Schematisches Bild der dritten deutschen Maschine

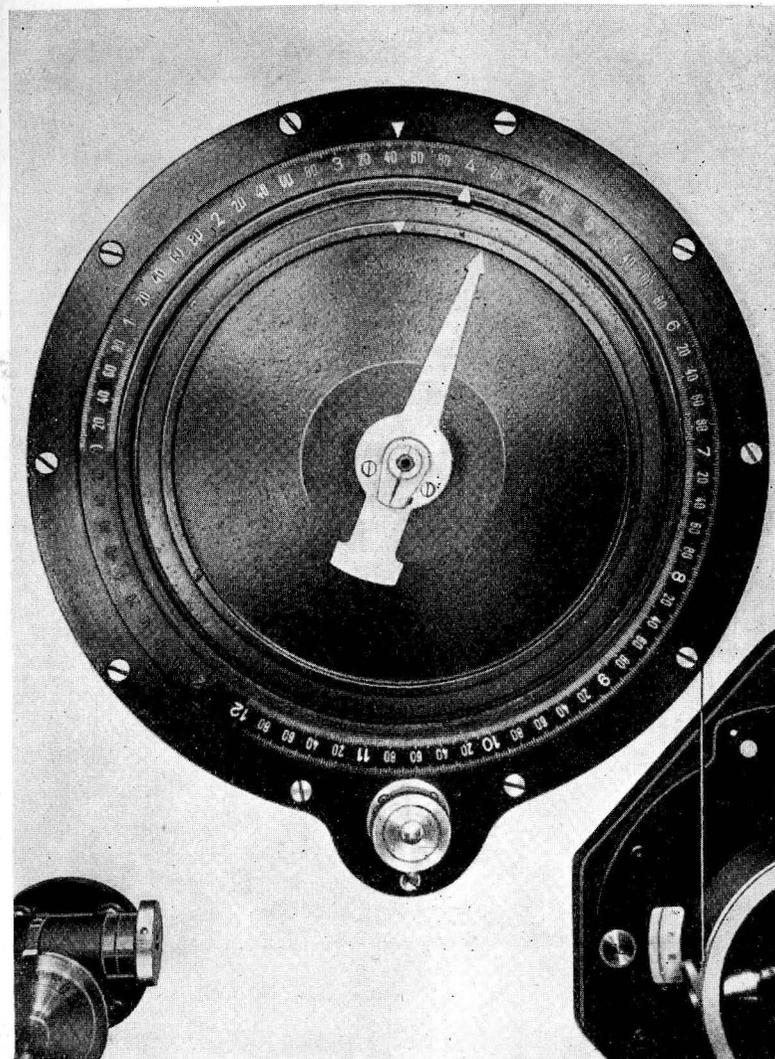


Abb. 4. Ansicht der Höhenskala

und die Ablesungen zu ersparen. Ein Befürworter dieser Idee war der um die Gezeitenforschung verdiente RAUSCHELBACH, der sie jedoch infolge der schlechten Wirtschaftslage der Nachkriegszeit erst 1930 realisieren konnte.

Beim Bau der zweiten und dritten deutschen Gezeitenrechenmaschinen hat man diesem Faktor ein Hauptgewicht beigemessen und eine zwar exakt symmetrische Anordnung des Tidenkastens — darunter ist das Mittelteil der Maschine zu verstehen — erreicht, jedoch einen für eventuelle visuelle Ablesungen optimal ungünstigen Abstand der Anzeigeskalen (4,2 bzw. 2,4 m) gewählt, wie dies Abb. 3

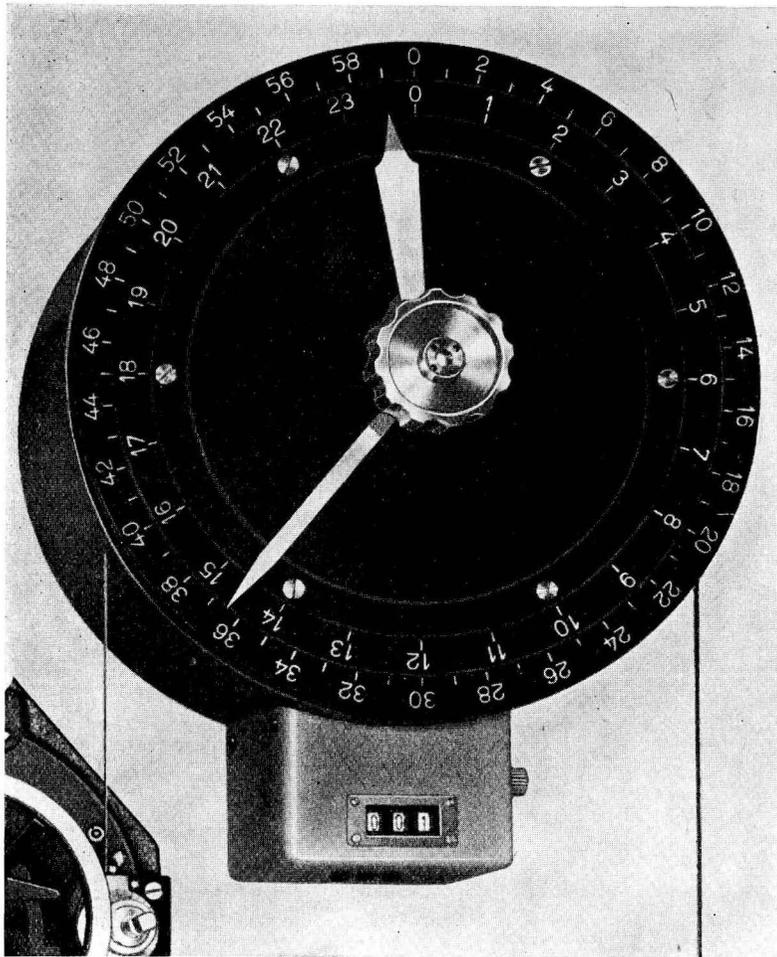


Abb. 5. Ansicht der Zeitskala

für die jüngste Konstruktion zeigt. Weiter sind in beiden „Anzeigehren“ umlaufende Zeiger vorhanden, wie Abb. 4 und 5 veranschaulichen. Schließlich befindet sich die Handkurbel für die Feineinstellung seitlich in dem rechten Schrankteil, so daß man bei ihrer Bedienung überhaupt keine Anzeigeskala vor Augen hat. Wenn auch die Einzelablesung bei gestoppter Maschine eine Ausnahme bildet, so ist sie jedoch nicht von einer Person allein zu bewältigen.

Dieser Mangel wird erst dann schwerwiegend, wenn das elektromagnetisch-mechanische Druckwerk nicht über längere Zeiten einwandfrei funktioniert, sondern öfter der Kontrolle bedarf. Diese Tatsache ist eingetreten und durch den komplizierten Aufbau dieser Geräte verständlich. Die erforderliche Vorrichtung besteht aus einem Geber- und Speicherwerk, wie es Abb. 6 zeigt, und dem eigent-

lichen Druckwerk. Das Problem besteht darin, den Einstellvorgang, der zwar nur eine geringe Leistung erfordert, möglichst leistungslos vom Summationsband der Maschine abzugreifen. Es wurde dadurch gelöst, daß eine elektronisch geregelte Gleich- und Nachlaufsteuerung dazwischengeschaltet wurde. Die von diesem Aggregat abgegebene Leistung von etwa 60 Watt wird zum Antrieb eines Spezialmotors verwendet, der die nötige Einstell-Leistung für das Geber- und Speicherwerk abgibt und den Einstellvorgang kontinuierlich vornimmt.

Das Geber- und Speicherwerk arbeitet elektromagnetisch-mechanisch — von technischen Details wie Steuerungen, Sicherungen usw. abgesehen — nach folgendem Prinzip:

Die von den beiden Eingängen für die Zeit- und Wasserstandswerte angetriebenen Zählwerke zählen die gegebenen Werte in gewohnter Weise, wobei im Zeit-zählwerk sowohl dekadische als auch nichtdekadische Stellenwertübergänge in üblicher Art — Scheibe mit Ritzel nach dem Maltheserkreuz-Prinzip — realisiert werden, während das Zählwerk für die Wasserstandswerte ausschließlich dekadische Stellenwertübertragung besitzt und sowohl für Vor- als auch Rückwärtslauf konstruiert ist.

Die Zeit- und Wasserstandswerte werden durch Zahnräder auf eine Kurvenscheiben-Anordnung übertragen, von der der Ziffernwert mittels Rollenhebel abgetastet und auf eine senkrecht angeordnete Zahnstange gegeben wird, die sich vor einer Kontaktleiste bewegt. Nach der Einleitung des Druckvorgangs durch entsprechende Kontaktgabe an der Gezeitenrechenmaschine fällt ein Sperrbügel

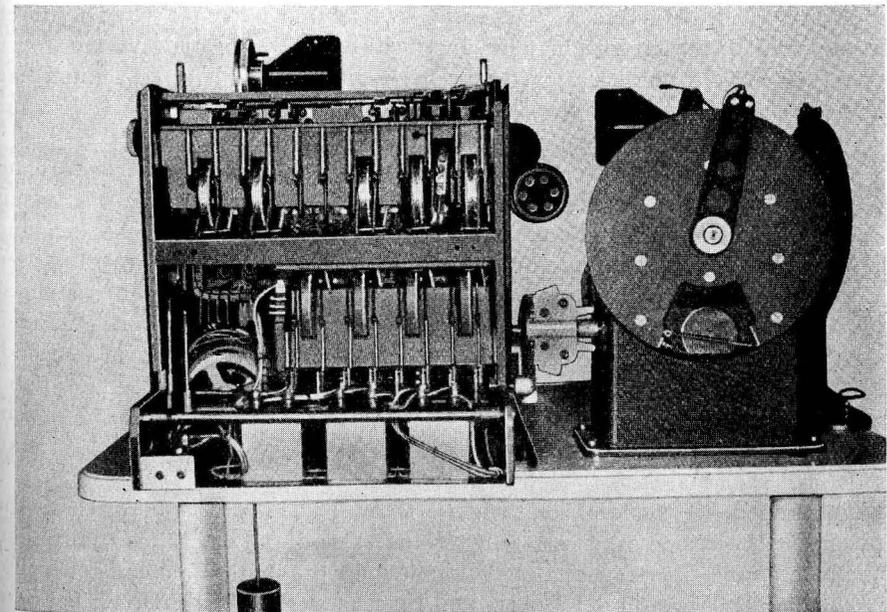


Abb. 6. Ansicht des elektromagnetisch-mechanischen Geber- und Speicherwerks

in diese Zahnstange und fixiert sie damit vor einem Zifferkontaktpaar, das durch Parallelogrammgestänge und Kontaktschieber von einer Steuerwalze aus geschlossen wird.

Da als Druckwerk eine erprobte und bewährte, handelsübliche Konstruktion in Form einer schreibenden Addiermaschine verwendet werden kann, ist für jeden Stellenwert der Registrierung die beschriebene Zahnstange mit der entsprechenden Kontaktleiste vorhanden. Der Kontaktabgriff erfolgt zeitlich nacheinander, was ebenfalls durch die erwähnte Steuerwalze und gegenseitige Sicherungen elektromagnetischer Art erreicht wird. Weil die Maschine nach dem Bügeleinfall und der damit verbundenen Fixierung der Zahnstangen weiterläuft, sind die Abtastrollenhebel zur ungestörten Aufrechterhaltung des Speichervorgangs so gelagert, daß der Abtastvorgang durch eine vorübergehende Verschiebung ihres Drehpunktes nicht unterbrochen wird.

Um sowohl stündliche Wasserstandswerte als auch die zwischenzeitlichen Extrema drucken zu können, ist die im Prinzip beschriebene Anordnung von den Kurvenscheiben ab für jeden Stellenwert doppelt vorhanden, wobei einmal die Steuerwalze für Hoch- und Niedrigwasser und daneben eine zweite Steuerwalze für die Stundenwerte den Druckvorgang auslöst.

Als Druckwerk wird eine 10stellige Addier- und Saldiermaschine mit Zehner-tastatur benutzt. Die Einstell Tasten werden elektromagnetisch betätigt, entsprechend den vom Geber nacheinander auf getrennten Leitungen für jede Ziffer-einstellung gegebenen Impulsen. Die Schaltung ist so ausgeführt, daß negative Wasserstandswerte im Komplement, also als positive Zahlen mit Minuszeichen gedruckt werden. Stündliche Wasserstandswerte und Extrema werden durch Schwarz- und Rotdruck voneinander unterschieden. Die beiden Wertegruppen können jede einzeln für sich oder gleichzeitig registriert werden. Im letzten Fall ist gesichert, daß beim Zusammenfallen eines Stundenwerts mit einem Extremum auch beide Werte auf dem Druckstreifen erscheinen.

Bei den mit einem Druckwerk ausgestatteten Maschinen geht der Arbeitsablauf automatisch vor sich. Der Mechaniker kann der Maschine während der Laufzeit in bezug auf einwandfreies Funktionieren volle Aufmerksamkeit schenken und wird von dem eigentlichen Vorgang gar nicht betroffen. Er kann auch indessen vorbereitende und andere Arbeiten ausführen, da er Unregelmäßigkeiten zumeist schon akustisch wahrnimmt. Als Resultat erscheint in dem Druckwerk ein Streifen, auf dem untereinander die Hoch- und Niedrigwasserdaten verzeichnet sind, nach Bedarf noch unterbrochen von den Stundenwerten. Abschließend ist dieser Streifen dann noch auf die Form des Tafelmanuskripts umzuschreiben, was in wenigen Stunden geschieht, worin auch die einzige Fehlerquelle liegt, wenn man von den bei allen Maschinen möglichen Ausfällen absieht.

Ein entschiedener Nachteil der Druckwerke ist die Tatsache, daß durch sie die Laufzeit der Maschinen ganz erheblich verlängert wird und auf 15 bis 20 Stunden zunimmt, weil die Übertragung der Bandbewegung durch die Nachlaufsteuerung, die Eingabe der Werte in das Geber- und Speicherwerk und der Druck bei dem gegenwärtigen Stand der Technik nicht schneller ausführbar sind. Man muß für

die Vorausberechnung pro Hafen und Jahr rund drei Arbeitstage rechnen, schafft damit zwar immer noch das dreißigfache eines Rechners und kann im Jahr maximal — ohne Ausfälle und Generalüberholung der Maschine — bis zu 120 Häfen durchrechnen. Da zum Beispiel die englischen Tafeln über 200 Häfen enthalten, zu deren Berechnung oft noch Korrekturen erforderlich sind, ist es für die Engländer eine Frage der Maschinenzahl, die sich durch Einführung von Druckwerken erhöhen würde, was man nicht ohne zwingende Gründe tun wird. Schließlich spielen auch die Mehrkosten eines Druckwerks eine Rolle, die nicht übersehen werden darf.

Die elektromagnetisch-mechanischen Druckwerke haben sich als relativ schwerfällig erwiesen. Das hat neben der Verringerung der Laufgeschwindigkeit noch zur Folge, daß die in der Gezeitenrechenmaschine mit guter Genauigkeit ermittelten Daten des Gezeitenverlaufs am Ende verfälscht werden. Diese Abweichungen sind für die Schifffahrt von untergeordneter Bedeutung, beeinträchtigen dagegen den Wert wissenschaftlicher Untersuchungen unter Benutzung der Gezeitenrechenmaschinen, weil man sie infolge ihrer Unregelmäßigkeit nicht eliminieren kann. Als sich noch eine häufige Anfälligkeit des Geber- und Speicherwerks abzeichnete, hat sich der Verfasser Gedanken über andere Registrierformen gemacht und 1959 über die Vorzüge der optischen Registrierung vorgetragen.

Die optische Registrierung

Bei einer weiteren Verbesserung der Arbeitsweise der Gezeitenrechenmaschinen hat man die Frage zu stellen, ob zwischen der englischen Methode mit ihrer erheblichen physischen Belastung und der deutschen Bauweise mit der relativ langsamen Laufgeschwindigkeit eine Art Kompromiß denkbar ist, der beiden Nachteilen Rechnung trägt. Betrachten wir dazu die optische Methode für eine der Grenzgeschwindigkeit von Gezeitenrechenmaschinen mit Druckwerk angepaßten Laufzeit von 15 Stunden — das sind 54000 Sekunden — für das Normaljahr von 8760 Stunden. Bei dieser Geschwindigkeit wird ein Vorhersageintervall von einer Stunde in etwas über 6 sec durchlaufen; für das Intervall von einer Minute steht somit rund 1/10 Sekunde zur Verfügung. Denkt man sich die Striche der Minuten-Teilung über die Peripherie einer Scheibe verteilt, so rückt alle Zehntelsekunde der folgende Teilstrich vor die Nullmarke, unabhängig von der Größe des Radius dieser Scheibe. Wählt man als Belichtungszeit 1/100 sec, so bewegt sich jeder Teilstrich in dieser Zeit um 1/10 des Teilstrichabstands weiter. Die dadurch entstehende Unschärfe ist relativ unerheblich, da nur Striche und Ziffern wiedergegeben werden.

Mit einer Belichtungszeit von 1/100 sec ist zwar noch keine Erhöhung der Geschwindigkeit erreicht, jedoch hat man bereits die durch den Mechanismus des Geber- und Speicherwerks sowie des Druckwerks unvermeidliche Verzögerung vermieden, die immerhin Abweichungen von einigen Zentimetern in der Höhe und wenigen Minuten in den Eintrittszeiten der Hoch- und Niedrigwasser zur Folge

hat. Indessen ist es fototechnisch kein Problem, die Belichtungszeit herabzusetzen. Bereits bei 1/200 sec ist die Laufzeit der englischen Maschinen für Halbtags-tiden erreicht, wie Tab. 1 zeigt. Für die Wiedergabe der Stunden- und Tageswerte bedarf es keiner weiteren Überlegungen, da ihr Ablauf viel langsamer erfolgt; es bleibt nur das Problem der mechanischen Übersetzung zu lösen, für das es verschiedene Möglichkeiten gibt. Es kommt dabei lediglich darauf an, alle zu erfassenden Ziffern möglichst nahe beieinander — etwa auf mehreren parallelen Scheiben — zu haben, um sie der Optik leicht zugänglich zu machen und ausgedehnte Linsensysteme zu sparen. Mit einer weiteren Reduzierung der Belichtungszeit kann man noch größeren Laufgeschwindigkeiten gerecht werden, sofern der mechanische Aufbau der Maschine diese zuläßt.

Es ist von Interesse, kurz auf die geeigneten Schmalfilmkameras einzugehen, die aus der Serienproduktion stammen können und lediglich auf eine elektrische Auslösung — die bislang das Druckwerk betätigte — und auf die konstante, kurze Belichtungszeit abgestimmt werden müssen, was durch Umbauten ohne prinzipielle Schwierigkeiten zu erreichen ist. Zur Wahl steht entweder der 16-mm-Film oder der 8-mm-Film bzw. ersterer mit Ausnutzung der halben Filmbreite, falls man die Kamera um 90° dreht und das Bildfenster zur Hälfte abdeckt. Einfachere Geräte bedürfen ferner bei der relativ kurzen Aufnahmeentfernung von weniger als 300 mm einer Vorsatzlinse. Über die charakteristischen Daten von Film und Optik gibt Tab. 1 Auskunft.

Bei der praktischen Ausführung bildete die Wahl einer geeigneten Kamera den Ausgangspunkt. Verwendet wurde eine 16-mm-Kamera mit 16 mm Brennweite und Schneider-Optik. Bei einer Breite der zu registrierenden Ziffernfolge von 85 mm als Vollbild ergab sich eine Distanz Bildfeld — Linse von 170 mm. Als Stromquelle fungieren 24 Volt Gleichspannung, die bei vollen Stundenwerten bzw. Extremwerten des Wasserstands die Auslösung als Einzelbild bewirken. Die Beleuchtung erfolgt durch zwei 15-Watt-Scheinwerfer bei einem Abstand Lampe — Bildfeld von 300 mm. Als geeignete Belichtungszeit erwies sich 1/150 sec

TABELLE 1
Varianten für ein optisches Registrierwerk in Gezeitenrechenmaschinen
(Auswahl)

Filmbreite in mm	16	8	16 (Querbild)
Brennweite in mm	25	12,5	25
Bildbreite in mm	10,4	4,8	7,5
Bildhöhe in mm	7,5	3,6	4,8
Bildfeld bei 300 mm Abstand			
Breite in mm	125	115	89
Höhe in mm	89	86	58
Bildzahl pro m Film	132	260	2 × 132
Filmlänge in m für 1 Vorhersage-jahr	10,6	5,4	1/2 × 10,6
Gebräuchliche Filmlänge in m	30	7,5	30

bei Blende 8. Mit einer Bildhöhe von 7,5 mm erreicht der Film für die durchschnittlich 1400 Hoch- und Niedrigwasser eines Hafens pro Jahr rund 10¹/₂ m und ist somit noch in handlichen, industriell gefertigten Entwicklerdosen zu verarbeiten. Die Auswahl und Montage der Kamera sowie die Erprobungen oblagen Mechanikermeister KURT LEHMANN.

Infolge der ungünstigen Anlage der Anzeigevorrichtungen kam nur eine sekundäre Ausführung in einer Bildebene in Betracht, deren Lage mit derjenigen des freien Endes des Summationsbandes im linken Schrank gegeben war. Entwurf und Ausführung der neuen Anzeigevorrichtung wurden dem Techniker für Schiffbau und Elektromeister BRUNO GRIMM übertragen. Sie besteht aus einer leichten unmittelbar durch das Bandende angetriebenen Höhenscheibe sowie vier Zeitscheiben. Von diesen werden die Minutenscheibe über eine einfache Untersetzung von der S₁-Tide (50 Umdrehungen pro Minute) angetrieben und davon alle übrigen Geschwindigkeiten abgeleitet. Die Maße, Drehzahlen und Teilungen der einzelnen Scheiben gibt Tab. 2, eine Ansicht vermittelt Abb. 7. Alle Ziffern und Striche sind hell auf schwarzem Grund graviert, um auf dem Filmnegativ den visuell gewohnten Eindruck zu wahren. Auf dem Film erscheinen zur sicheren Orientierung neben den Daten des betreffenden Zeitpunkts auch noch die Nachbarwerte und der Hafenplatz sowie das Vorhersagejahr. Auf eine Kennzeichnung der Extremwerte gegenüber den Stundenwerten wurde verzichtet, jedoch wäre dies prinzipiell durch einen mit dem zugehörigen Kamerakontakt ausgelösten Lichtpunkt

TABELLE 2
Daten zur optischen Anzeigevorrichtung der dritten deutschen Gezeitenrechenmaschine

Bezeichnung	Durchmesser mm	Antrieb	Drehzahl	Untersetzung	Skalenteilung	Strichabstand mm
Höhenscheibe	260	freies Bandende	variabel	—	10° leer, 300° (50°) in + 12 m (-2) m, dm u. Doppel-cm	1,13
Minutenscheibe	186	S ₁ -Tide	3 ¹ / ₃ Umdrehungen pro min	1:15	3 × 120° in 60 Minuten	3,25
Stundenscheibe	186	Minutenscheibe	1/32 der Minutenscheibe	Zahnräder	4 × 90° in 24 Stunden	6,09
1. Tagesscheibe (Zehner und Einer)	186	Stundenscheibe	1/25 der Stundenscheibe	Zahnräder	360° in 100 Tage	5,85
2. Tagesscheibe (Hunderter)	186	1. Tagesscheibe	diskontinuierlich	Schrittschaltwerk	0 bis 3 für Hunderter	5,85

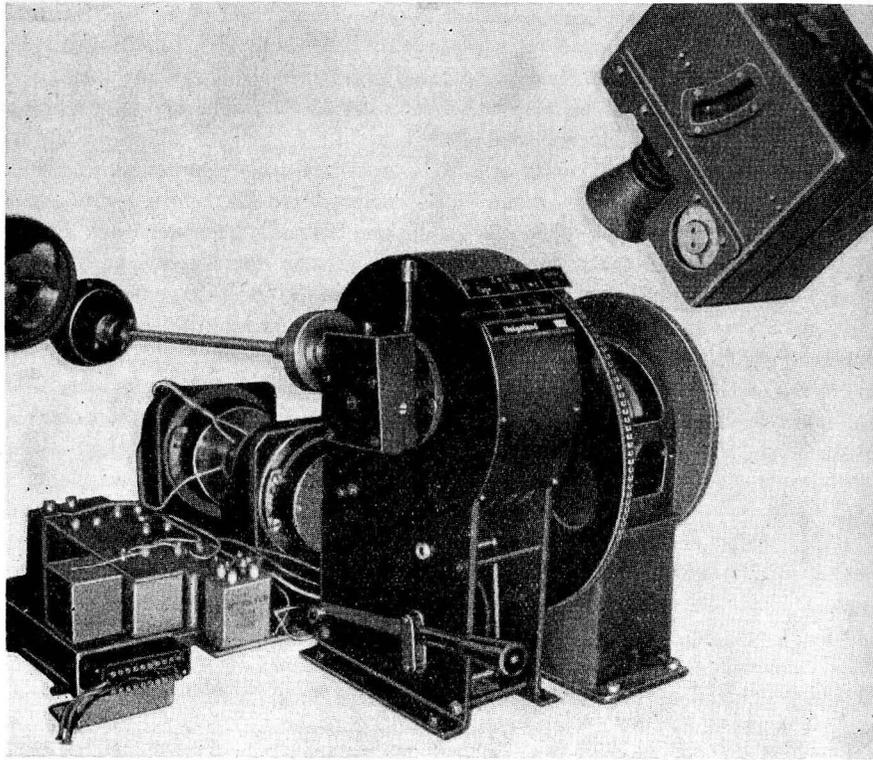


Abb. 7. Die neue optische Registrieranlage



Abb. 8. Vergrößerter Filmausschnitt

in der Bildebene möglich. Negative Wasserstandswerte sind durch unterstrichene Ziffern markiert. Einen Ausschnitt des gewonnenen Films, wie er im Lesegerät vergrößert erscheint, gibt Abb. 8.

Vergleicht man die optische Registrierung mit dem elektromagnetisch-mechanischen Druckwerk, so ergibt sich folgende Bilanz: Die optische Registrierung arbeitet praktisch verzögerungsfrei. Die Wegstrecke eines Teilstriches der Minuten-scheibe beträgt bei einer Belichtungszeit von $1/150$ sec rund $0,2$ mm gegenüber dem Strichabstand von $3,25$ mm. Die dadurch bedingte minimale Verzerrung der Abbildung ist belanglos. Da zwischen dem Durchgang zweier konsekutiver Minutenstriche $1/10$ sec vergeht, wird das nahe oder völlige Zusammenfallen von Extrem- und Stundenwerten unproblematisch, wodurch andererseits gerade der große Aufwand im Geber- und Speicherwerk bedingt war. Es ist sogar eine schnellere Laufzeit der Maschinen nicht hinderlich.

Bei der optischen Methode ist allerdings keine unmittelbar sichtbare Registrierung wie bei dem Druckstreifen des Druckwerks vorhanden und die Auswertung über den Weg eines Ablesegeräts umständlicher, jedoch ist dafür die Anfälligkeit der Kamera weitaus geringer als der Komplexe Geber- und Speicherwerk, Verstärkeranlage und Druckmaschine. Dadurch werden Funktionskontrollen während des Betriebs des Registrierwerks praktisch überflüssig. In den Anschaffungskosten macht die optische Registrierung nur einen Bruchteil der Druckanlage aus; die höheren Betriebskosten infolge des erheblichen Filmverbrauchs gegenüber einfachen Papierrollen werden durch die geringeren Reparaturkosten vollkommen ausgeglichen. Die Vorteile der optischen gegenüber der visuellen Methode sind offensichtlich und bedürfen keiner weiteren Erläuterungen.

Literatur

- [1] DOODSON, A. T., New Tide Predicting Machines. Annual Report of the Liverpool Observatory and Tidal Institute for the Year 1950. Liverpool 1951.
Derselbe Beitrag in: The International Hydrographic Review (Monaco) XXVIII (1951) No. 2.
- [2] SAGER, G., Gezeitenvoraussagen und Gezeitenrechenmaschinen. Seehydrographischer Dienst der DDR. Warnemünde 1955.
- [3] SAGER, G., Gezeitenrechenmaschinen als Beispiel für die Mechanisierung langwieriger Rechengänge in der Physik. (Kolloquium am Physikalischen Institut der Universität Rostock am 9. 4. 1959.) Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock, Mathematisch-Naturwiss. Reihe, 8 (1958/59) H. 3.

Abschluß der Arbeit: 20. Dezember 1962

Ein neuer, automatischer Wellenschreiber des Instituts für Meereskunde Warnemünde

Von KLAUS STRIGGOW

Zusammenfassung: Der neue Wellenschreiber beruht auf dem Prinzip der Messung und zweimaligen Integration der Vertikalbeschleunigung einer Boje. Die Beschleunigung wird durch ein kreiselstabilisiertes Feder-Masse-System ermittelt und in einem elektrischen Analogrechner zweimal näherungsweise integriert. In Hinblick auf die dynamischen Eigenschaften der Boje und das vorgesehene Einsatzgebiet des Wellenschreibers (Ostsee) ist der Analogrechner für den Periodenbereich $1 \text{ s} \leq T \leq 5 \text{ s}$ ausgelegt worden. Die Registrierung erfolgt auf Wachspapier und findet ebenfalls innerhalb der Meßboje statt. Zur Energieversorgung dienen eingebaute Primärelemente. Eine Programmsteuerung ermöglicht die automatische Registrierung; diese erfolgt stündlich und erstreckt sich jeweils über 4 Minuten. Energie und Papiervorrat sind für eine Einsatzdauer bis zu 29 Tagen bemessen. Es ist keinerlei elektrische Verbindung zwischen der Meßboje und einem Schiff oder einer Landstation erforderlich.

Die Eigenfrequenz des Beschleunigungsmessers und der Amplitudengang der Integrieranlage können mit Hilfe eines Eichgerätes bestimmt werden. Unter gewissen Voraussetzungen läßt sich aus diesen Messungen der Amplitudengang des Wellenschreibers berechnen. Meßboje bzw. Eichgerät wiegen 71 kp bzw. 2,6 kp.

1. Einleitung

Auf Veranlassung des Direktors des Instituts für Meereskunde, Herrn Prof. Dr. E. BRUNS, wurde im Institut für Regelungstechnik von Herrn Dipl.-Phys. H. KASTEN [1] ein automatischer Wellenschreiber entwickelt, der speziell für den Einsatz in der Ostsee vorgesehen ist und dort auch in den Küstengewässern eingesetzt werden soll. Diese Aufgabenstellung führte bei der Auswahl des Meßverfahrens auf das nach M. DARBYSHIRE [2] erstmals im Jahre 1946 von M. S. LONGUET-HIGGINS beschriebene Prinzip der Messung der Vertikalbeschleunigung einer Boje.

2. Meßverfahren

Der Wellenschreiber beruht auf dem Prinzip der Messung und zweimaligen Integration der Vertikalbeschleunigung einer Boje. Die Messungen werden automatisch durch eine Programmsteuerung durchgeführt; sie dauern jeweils 4 Minuten und finden stündlich statt.

Wegen der eingebauten Primärelemente und wegen des eingebauten Registriergerätes ist keinerlei elektrische Verbindung zwischen der Meßboje und einem Schiff oder einer Landstation erforderlich. Energie- und Papiervorrat lassen eine automatische Messung und Registrierung bis zu 29 Tagen zu.

3. Aufbau

3.0 Allgemeines (vgl. Abb. 1)

Das eigentliche Meß- und Registriergerät ist von zylindrischer Gestalt (Durchmesser 25 cm, Höhe 90 cm), wiegt 34 kp und wird von einem flachen runden Schwimmkörper (Durchmesser 85 cm, mittlere Höhe etwa 15 cm) getragen. Es ist in 5 Stockwerke unterteilt, von denen zwei die Primärelemente und je eins den größten Teil der Integrieranlage mit Zubehör und das Uhrwerk der Programmsteuerung, den Vertikalbeschleunigungsmesser bzw. das Registriergerät mit einigen Aggregaten der Integrieranlage aufnehmen.

Das Gerät ist mit Transistoren bestückt. Die einsatzfertige Meßboje wiegt 71 kp.

3.1 Vertikalbeschleunigungsmesser

Die Beschleunigung wird in der üblichen Weise durch ein Feder-Masse-System gemessen. Auf einen Pendelkreisel zur Ermittlung der Vertikalrichtung ist jedoch

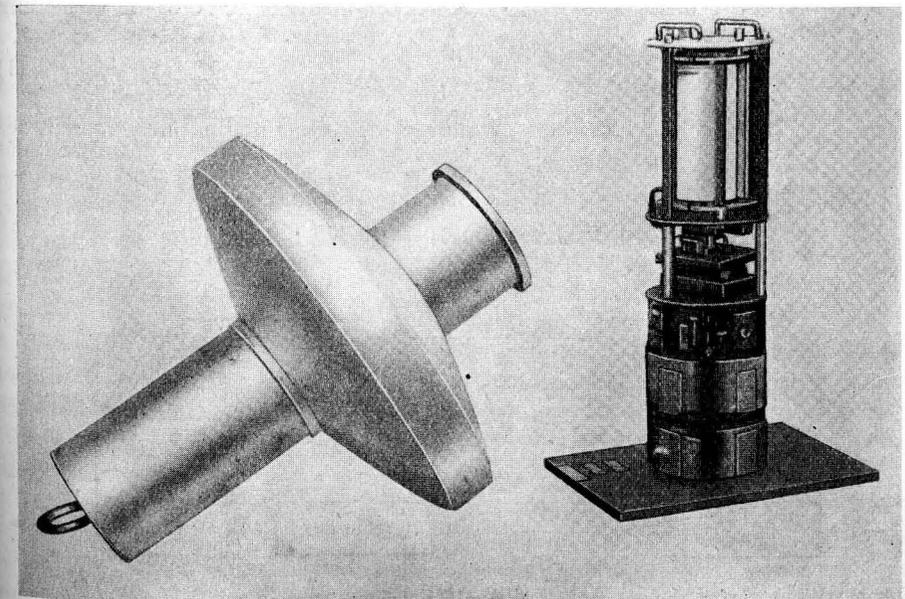


Abb. 1. Ansicht des Wellenschreibers
Links: Schwimmkörper mit Behälter. Rechts: Meß- und Registerieinsatz

— soweit dem Verfasser bekannt ist — im Gegensatz zu prinzipiell ähnlichen Seegangmeßgeräten [3, 4, 5, 6] nicht verzichtet worden. Pendelkreisel und Beschleunigungsmesser bilden in konstruktiver Hinsicht eine Einheit insofern, als die Schwungmasse des Kreisels gleichzeitig die Masse des Feder-Masse-Systems ist.

Da die Integration der Beschleunigung mit elektrischen Mitteln durchgeführt werden soll, ist die Masse des Beschleunigungsmessers mit dem Schleifer eines Potentiometers, das als Stellungsgeber dient, gekoppelt.

3.2 Integrieranlage

Die zweifache Integration der Beschleunigung erfolgt durch einen elektrischen Analogrechner, wobei zur ersten bzw. zweiten Integration ein passives Netzwerk bzw. eine Anordnung, die als Rechenverstärker bezeichnet werden könnte, benutzt werden (Abb. 2).

Da mathematisch exakte Integrationen aus verschiedenen Gründen, beispielsweise wegen unvermeidlicher Nullpunktfehler bei der Beschleunigungsmessung, die im Laufe der Zeit zu einem Auswandern der Mittellinie der Wellenregistrierung führen würden, unbrauchbar sind, wird in beiden Fällen die Integration nur näherungsweise durchgeführt. Der erste Integrator ist ein RC-Tiefpaß, der u. a. zum Zwecke der Kompensation des schon erwähnten Nullpunktfehlers über einen RC-Hochpaß an den Stellungsgeber des Beschleunigungsmessers angekoppelt ist. Eine Netzwerkanalyse liefert für das Übertragungsverhalten von Hoch- und Tiefpaß unter der Voraussetzung verschwindender Belastung die Gleichung

$$U_2 = \frac{T_1 s}{(1 + T_1^* s)(1 + T_2^* s)} U_1, \tag{1}$$

worin U_1 bzw. U_2 die Ausgangsspannung des Beschleunigungsmessers bzw. des Netzwerkes,

T_1, T_1^* und T_2^* Zeitkonstanten des Netzwerkes und s der Differentiationsoperator [7]

sind.

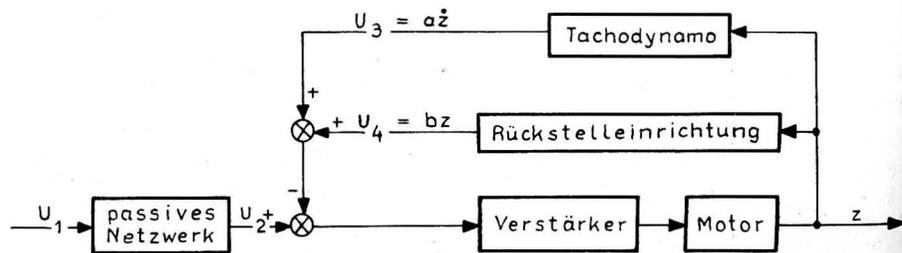


Abb. 2. Blockschaltbild des Analogrechners für die doppelte Integration der Beschleunigung (U_1 = Ausgangsspannung des Beschleunigungsmessers, z = Auslenkung des Schreibstiftes)

Der Vorwärtszweig des Rechenverstärkers besteht aus einem Verstärker — genauer: einem Wechselspannungsverstärker mit vorgeschaltetem Zerhacker und nachgeschaltetem phasenempfindlichen Gleichrichter — mit hohem Eingangswiderstand und einem über Schalttransistoren betätigten Motor, der über ein Getriebe den Schreibstift bewegt. Im Gegenkopplungszweig liegen ein Tachodynamo und eine Rückstelleinrichtung. Die Rückstelleinrichtung ist ein Stellungsgeber, der eine der Auslenkung z des Schreibstiftes proportionale Spannung U_4 liefert. Diese Spannung soll einer eventuellen Auswanderung der Mittellinie der Wellenregistrierung entgegenarbeiten.

Unter der Voraussetzung, daß der Unempfindlichkeitsbereich und die Sättigung des Motors sowie die Getriebe lose vernachlässigt werden dürfen, lautet das Übertragungsverhalten des Rechenverstärkers

$$z = c \frac{1}{(1 + T_3 s)} U_2, \tag{2}$$

wobei

- z die Auslenkung des Schreibstiftes,
- T_3 die Zeitkonstante des Gegenkopplungszweiges und
- c eine Konstante (von der Dimension Länge/Spannung)

bedeuten.

Das Übertragungsverhalten des gesamten Analogrechners wird gemäß (1) und (2) durch die Gleichung

$$z = c \frac{T_1 s}{(1 + T_1^* s)(1 + T_2^* s)(1 + T_3 s)} U_1 \tag{3}$$

beschrieben. Für die Zeitkonstanten T_1^*, T_2^* und T_3 ergaben sich aus der Forderung, daß der Frequenzgang des Wellenschreibers für den in Hinblick auf die Eigenschaften der Boje bzw. der Ostseewellen festgesetzten Periodenbereich $1 s \leq T \leq 5 s$ näherungsweise gleich einer reellen Konstanten sein soll, die Werte

$$\left. \begin{aligned} T_1^* &= 38 \text{ s} \\ T_2^* &= 7,9 \text{ s} \\ T_3 &= 6,5 \text{ s} \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

Zur Veranschaulichung des durch Gleichung (3) beschriebenen Übertragungsverhaltens des Analogrechners wird in Abb. 3 seine Impulsantwort [8] — das ist diejenige Funktion $z(t)$, die durch eine impulsförmige Spannung U_1 zur Zeit $t = 0$ verursacht wird — dargestellt. Die Tangente dieser Kurve im Punkte $t = 0$ wäre die Impulsantwort bei mathematisch exakter Doppelintegration.

In Hinblick auf einen sparsamen Energieverbrauch sind besondere Vorkehrungen zur Verkürzung des Einschaltvorganges getroffen worden: Der Stellungsgeber des Beschleunigungsmessers und die Erregerwicklung des Tachodynamos werden nach dem Einschalten der Integrieranlage von einem Strom durchflossen, der *stetig* ansteigt und näherungsweise exponentiell mit einer Zeitkonstanten $T \approx 20 \text{ s}$ gegen seinen Endwert strebt. Hierdurch wird der Analogrechner — vom

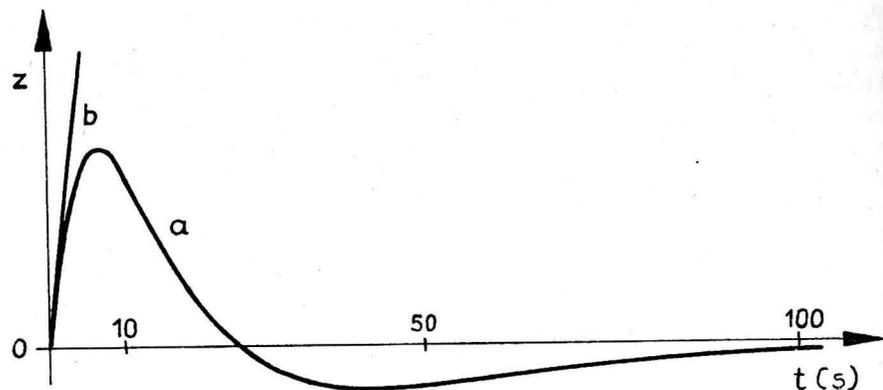


Abb. 3. Impulsantwort des Analogrechners (Kurve a) und des idealen (Doppel-) Integrators (Kurve b) (willkürliche Ordinateneinheiten)

theoretischen Standpunkt — zu einem linearen Übertragungssystem mit zeitabhängigen Parametern. Die obige Theorie gilt erst dann, wenn die Parameter nach dem Einschalten ihre stationären Endwerte angenommen haben.

3.3 Registriergerät

Für die Registrierung wird Wachspapier von 240 mm nutzbarer Breite verwendet. Die Auslenkung des mit einem Potentiometer als Stellungsgeber gekoppelten Schreibstiftes erfolgt durch einen Motor, der mit einem Tachodynamo gekoppelt ist. Motor, Tachodynamo und Potentiometer gehören in elektrischer Hinsicht zur Integrieranlage. Eine Rutschkupplung zwischen Motor und Schreibstift verhindert die Zerstörung des Gerätes bei Erreichen eines Endausschlages. Ein zweiter, fliehkraftgeregelter Motor sorgt für einen konstanten Zeitvorschub (1 mm/s) des Schreibstiftes.

Um die große Zahl der in 29 Tagen anfallenden Registrierungen unterbringen zu können, erfolgt der Zeitvorschub in Papierstreifenquerrichtung. Es kann also jede Registrierung $240 \text{ mm} / 1 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 4$ Minuten dauern. Da der Abstand zwischen den (gedachten) Mittellinien benachbarter Registrierungen nur etwa 30 mm beträgt, können diese sich bei hohem Seegang und bei einem Maßstab von etwa 1:100 überschneiden. Dieser Effekt kann bei der Auswertung leicht berücksichtigt werden, solange sie nicht automatisch erfolgt.

3.4 Programmsteuerung

Die Programmsteuerung erfolgt durch die Stundenachse eines Uhrwerkes sowie durch Kontakte, die vom Registriergerät betätigt werden.

3.5 Energieversorgung

Als Energiequelle werden 22 Primärelemente von je 1,5 V Spannung verwendet. Von diesen werden jeweils so viele durch einen Spannungsregler in Serie geschaltet, daß die Istspannung etwa 21 V beträgt.

4. Eichung

Zur Funktionskontrolle sowie zur einfachen Ermittlung des Maßstabes der Registrierung dient ein kleines Eichgerät (Gewicht 2,62 kp). Es besteht im wesentlichen aus einem mit konstanter, aber kontinuierlich verstellbarer Drehzahl laufenden Motor, der mittels eines Kurbelzapfens eine geradlinige, harmonische Bewegung erzeugt. Mit diesem Eichgerät können a) die Eigenfrequenz des Beschleunigungsmessers und b) der Amplitudengang der Integrieranlage ermittelt werden, wobei im Falle b) der Masse des Feder-Masse-Systems eine harmonische Bewegung bekannter Amplitude und leicht meßbarer Periode aufgeprägt wird. Sofern die Voraussetzung zutrifft, daß der Beschleunigungsmesser mit hinreichender Genauigkeit durch eine Differentialgleichung der Gestalt

$$\ddot{x}(t) + \omega_0^2 y(t) = 0, \quad (5)$$

worin $x(t)$ die Höhe des Gerätes,

$y(t)$ die Auslenkung der Masse des Beschleunigungsmessers aus der Ruhelage und

ω_0 die Eigenfrequenz des Beschleunigungsmessers

sind, beschrieben werden kann, läßt sich aus den Messungen a) und b) der Amplitudengang des Wellenschreibers leicht berechnen.

Über die praktischen Erfahrungen mit dem Wellenschreiber wird zu gegebener Zeit in dieser Zeitschrift berichtet werden.

Literaturverzeichnis

- [1] KASTEN, H., Küstenwellenschreiber — Beschreibung und Bedienungsanweisung (nicht veröffentlichter Bericht des Instituts für Regelungstechnik).
- [2] DARBYSHIRE, M., A method for calibration of ship-borne wave recorders. *Deutsch. Hydrogr. Z.* 14 (1961) H. 2, S. 56—63.
- [3] TUCKER, M. J., A ship-borne wave recorder. *Trans. Inst. Nav. Archt., Lon.* 98 (1956) S. 236—250.
- [4] DORRESTEIN, R., A wave recorder for use on a ship in the open sea. *Proceedings of Symposium on the Behaviour of Ships in a Seaway*, Wageningen, 7—10. Sept. 1957 (1959) H. 1, S. 408—417.
- [5] LANG, A., Ein einfaches Beschleunigungs-Registriergerät für Wellenhöhenmessungen. *Techn. Mitt. des Instrumentenwesens des Dt. Wetterdienstes*, Hamburg, Nr. 26 (1953) S. 21—25.
- [6] LANG, A., Über die Entwicklung von Beschleunigungsschreibern für Seegangsmessungen. In: *Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzelveröffentlichungen*, Nr. 24, Hamburg 1960.
- [7] MIKUSIŃSKI, J., *Operatorenrechnung*. Berlin 1957.
- [8] GILLE, PELLEGRIN und DECAULINE, *Lehrgang der Regelungstechnik*, I. Berlin, München 1962.

Buchbesprechung

ATLAS DER GEZEITENSTRÖME FÜR DIE NORDSEE, DEN KANAL UND DIE IRISCHE SEE

32 Seiten, Kunstledereinband, Format 40 × 44, 109 Karten, 3 Tabellen. Verlag: Seehydrographischer Dienst der DDR, Rostock 1962

Der im Institut für Meereskunde entwickelte „Atlas der Gezeitenströme für die Nordsee, den Kanal und die Irische See“ bringt sowohl in der Form als auch im Inhalt einige Neuerungen gegenüber den vorher bereits existierenden Atlanten dieser Seegebiete. Sinn dieser Veränderungen und Erweiterungen ist eine bessere Anpassung dieses nautischen Hilfsmittels an die Forderungen der Praxis. Übersichtlichkeit und Unkompliziertheit bei der Benutzung sind daher die Hauptgesichtspunkte gewesen, nach denen die Ausarbeitung dieses nun vorliegenden Atlaswerkes erfolgte.

Am augenscheinlichsten ist diese Bevorzugung der Praxis in der Gestaltung der Strompfeile. Unter Verzicht auf eine Angabe der Stromstärken in zehntel Knoten wurden neuartige, leicht einprägsame Symbole für bestimmte Gruppen von Stromstärken geschaffen, die auf den Stromkarten ein sehr plastisches Bild der Gezeitenstromstärken und -richtungen vermitteln. Es ist natürlich nicht zu übersehen, daß durch die Einteilung der Gezeitenströme in Gruppen von jeweils $\frac{1}{2}$ bzw. 1 Knoten eine gewisse Minderung der Genauigkeit eintritt, so daß die Anwendungsmöglichkeit dieses Atlanten für wissenschaftliche Zwecke begrenzt ist.

Auf 13 Hauptkarten werden die Gezeitenströme für eine Reihe von meist regelmäßig angeordneten Punkten (6 in jedem geographischen 1°-Feld) im Abstand von vollen Stunden vor und nach der Mondkulmination in Greenwich dargestellt. Neuartig sind auch 13 Seiten dieses Atlanten, auf denen in jeweils sieben Nebenkarten detaillierte Darstellungen von Gezeitenstrom- bzw. schiffahrtsmäßig besonders bedeutsamen Gebieten in größerem Maßstab gegeben werden. Diese Teilstromkarten enthalten die gleichen Strompfeilgruppen wie die Hauptkarten, sind jedoch der Hochwasserzeit eines Bezugsortes angeschlossen. Diese übersichtlichen Karten der Teilgebiete ersetzen die üblichen Gezeitenstromtabellen, deren umständliche Anwendung dem Nautiker kaum zugemutet werden kann. Es wäre wünschenswert gewesen, die Zahl der Teilstromkarten zu erhöhen, um noch für weitere wichtige Gebiete eine ausführlichere Darstellung geben zu können (z. B. Bristol-Kanal). Jedoch waren die vorliegenden Unterlagen nicht ausreichend genug, um weitere Teilstromkarten aufstellen zu können. Vielleicht wird bei einer Neuauflage dieses Atlanten eine solche Erweiterung möglich sein.

Außer den eigentlichen Stromkarten enthält der Atlas noch einige andere Karten sowie Tabellen, die eine schnelle Orientierung bzw. einfache Umrechnungen ermöglichen. Diese Hilfsmittel sind erstmalig in einem Atlas der Gezeitenströme enthalten. — Eine siebenfarbige Karte zeigt die Maximalgeschwindigkeiten des Gezeitenstroms zur mittleren Springzeit und gibt somit dem Seemann eine schnelle Orientierung über die in einem Seegebiet maximal zu erwartenden Tidestromstärken. Ergänzend zu dieser Karte folgt eine Karte, auf der die Eintrittszeiten des maximalen Gezeitenstroms in Form von Isolinien enthalten

sind. Nach einfacher Umrechnung läßt sich somit für eine bestimmte Position auf See der Zeitpunkt und die Größe des maximal möglichen Gezeitenstroms recht genau bestimmen. Für weitere Umrechnungen sind die Karten mit der Spring- und Nippverspätung und dem Verhältnis des maximalen Gezeitenstroms bei mittlerer Nipp- und Springzeit von Bedeutung.

Eine weitere Erleichterung bringt eine Karte, auf der eine Zuordnung der Seegebiete zu verschiedenen Bezugsorten gegeben wird. Damit entfällt das Herausuchen geeigneter Bezugsorte anhand der Karte, zumal es sowieso nicht vertretbar ist, einfach den geographisch am nächsten gelegenen Bezugsort zu wählen, ohne die gezeitenmäßigen Anschlußbedingungen zu kennen.

Die Inhaltsübersicht, eine kurze Beschreibung der Karten sowie die Beispiele zum Gebrauch des Gezeitenstromatlas werden den Nautiker schnell mit der Handhabung dieses neuartigen Werkes vertraut machen.

Mit der Herausgabe des „Atlas der Gezeitenströme für die Nordsee, den Kanal und die Irische See“ wurde eine Lücke in der Versorgung unserer Schifffahrt mit brauchbaren nautischen Hilfsmitteln geschlossen. Man kann feststellen, daß dieser neue Atlas den Wünschen entspricht, die von seiten der Schifffahrt an das Institut für Meereskunde herangetragen worden waren und die zur Bearbeitung dieses vorliegenden Atlanten geführt haben.

Rudolf Sammler