

PETER HUPFER

## Meeresklimatische Veränderungen im Gebiet der Beltsee seit 1900

(Veröffentlichungen des Geophysikalischen Instituts der Karl-Marx-Universität Leipzig,  
Zweite Serie, Band XVII, Heft 4)

Etwa 152 Seiten — 31 Abbildungen — 8° — DM 24,—

Nach einer Übersicht über rezente Schwankungen des Klimas in Atmosphäre und Meer im atlantisch-europäischen Raum werden auf der Grundlage der statistischen Bearbeitung der Beobachtungen von 3 Feuerschiffen im Gebiet der Beltsee die zwischen 1900 und 1960 eingetretenen langjährigen Veränderungen der Elemente: Bedeckungsgrad, Lufttemperatur, Wassertemperatur und Salzgehalt an der Oberfläche und in 15 m Tiefe, Oberflächenströmung und Wasserstand (Pegel Warnemünde) dargestellt und diskutiert.

Es wird versucht, die z. T. beträchtlichen Änderungen, die in den einzelnen Monaten recht unterschiedlich sind, mit gleichzeitigen Schwankungen der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre, denen ein besonderes Kapitel gewidmet ist, in Einklang zu bringen. Es wird gezeigt, daß die meeresklimatischen Veränderungen auch Auswirkungen praktischer Natur nach sich ziehen.

*Bestellungen durch eine Buchhandlung erbeten*



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

DEUTSCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN  
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE

Institut für Meereskunde  
Warnemünde  
— Bibliothek —

## BEITRÄGE ZUR MEERESKUNDE

HERAUSGEGEBEN

VON

ERICH BRUNS

HEFT 5



AKADEMIE · VERLAG · BERLIN

1962

7-5/1

DEUTSCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN  
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE

BEITRÄGE ZUR MEERESKUNDE

HERAUSGEGEBEN

VON

ERICH BRUNS

HEFT 5



---

AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

1962

DAW  
Institut für Meereskunde  
Warnemünde  
— Bibliothek —

Erschienen im Akademie-Verlag GmbH, Berlin W 8, Leipziger Straße 3—4  
Copyright 1962 by Akademie-Verlag GmbH  
Lizenznummer: 202 · 100/614/62  
Kartengenehmigung: Mdl der DDR Nr. 7041/62  
Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer“ Bad Langensalza  
Bestellnummer: 2105/6 · ES 18 E 4 · Preis: DM 12,—

## INHALT

E. BRUNS:	Ein neuer Hochseewellenschreiber . . . . .	5
E. BRUNS:	Weitere Forschungsfahrten auf der „M. Lomonosov“ im Atlantischen Ozean . . . . .	13
G. SAGER:	Die Variationen der Hochwassereintrittszeiten in der Nordsee, dem Kanal und der Irischen See im Ablauf einer Tideperiode . . . . .	17
G. SAGER:	Grundsätzliche Überlegungen zur Definition von Sturmfluten in Tidegebieten . . . . .	29
K. VOIGT:	Buchbesprechung zu J. M. SCHOKALSKI „Ozeano- graphie“ (2. Auflage, Hydrometeorolog. Verlag, Leningrad 1959 . . . . .	41
D. BÖHL:	Buchbesprechung zu G. SAGER „Ebbe und Flut“ . . . . .	42
E. BRUNS:	Buchbesprechung zu L. M. BRECHOWSKICH „Wellen in geschichteten Medien“ . . . . .	43

## Ein neuer Hochseewellenschreiber

Von ERICH BRUNS

*Zusammenfassung:* Ein neuer im Auftrage des Institutes für Meereskunde Warnemünde im WTGB Berlin 1957 erbauter Hochseewellenschreiber wird beschrieben, und seine Vorteile und Nachteile im Vergleich zu anderen Konstruktionen analoger Geräte werden kurz diskutiert.

Auf Veranlassung und unter Mitwirkung des Verfassers wurde im Wissenschaftlich-Technischen Büro für Gerätebau (jetzt Institut für Regelungstechnik) von Ing. KASTEN unter Gesamtleitung von Ing. ZERBE für das Institut für Meereskunde Warnemünde der Forschungsgemeinschaft der naturwissenschaftlichen, technischen und medizinischen Institute der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin ein neuer Hochseewellenschreiber in den Jahren 1955—1957 konstruiert und erbaut. Dieser Hochseewellenschreiber ist ab Herbst 1957 mit Erfolg bei mehreren Expeditionen des Institutes für Meereskunde Warnemünde auf dem sowjetischen Forschungsschiff „Michail Lomonossov“ im Atlantischen Ozean für Wellenmessungen eingesetzt worden [1, 2].

Als ein Vorbild dieses neuen Hochseewellenschreibers ist der sowjetische Wellenschreiber von MOROSOFF-TELJAEFF [4, 5] zu sehen, der auch im „Handbuch der Wellen der Meere und Ozeane“ von E. BRUNS [3] beschrieben ist.

Der neue Hochseewellenschreiber dient zur Bestimmung der Wellenhöhen und Perioden von Oberflächenwellen durch Registrierung der Wellenhöhe in Abhängigkeit von der Zeit von einem Schiff aus. Das Meßprinzip des Hochseewellenschreibers besteht darin, daß sich auf der Wasseroberfläche eine Boje befindet, die der Bewegung der Oberflächenwelle folgt.

An dieser Boje hängt an einem Kabel, dessen Länge größer als eine halbe Wellenlänge ist, eine sogenannte Wegmeßsonde. Diese Sonde folgt der Vertikalbewegung der Meßschwimmboje und mißt in bezug auf das die Sonde umgebende ruhige Wasser den zurückgelegten Weg. Die Wegmessung erfolgt durch einen hydro-metrischen Flügel, dessen Drehung dem zurückgelegten Weg proportional ist.

Die Flügeldrehung entspricht der Wellenbewegung des Wassers, wobei die Amplituden genau und die Zykloidenwellenform als Sinuswelle (über die Zeit) wiedergegeben werden.

Die Fernübertragung der Drehung der Flügelwelle erfolgt nach einem Impulsverfahren. Über eine Magnetkupplung wird die Drehung auf einen Kollektor übertragen. Die bei einer Drehung des Flügels entstehenden Stromimpulse werden über das Verbindungskabel (insgesamt rund 150—250 m), das die Sonde mit der Meßboje und die Meßboje mit dem Registriergerät an Bord des Expeditionsschiffes verbindet, zu einem sogenannten Schrittmotor geleitet, der sich entsprechend der Anzahl der Impulse um einen bestimmten Winkel stufenweise dreht. Dreht sich die Flügelwelle also kontinuierlich um einen bestimmten Winkel, so dreht sich der Motor schrittweise um einen entsprechenden Winkel. Bis auf maximal einen Schritt ist also die Flügelwelle starr mit der Motorwelle verbunden.

Die Drehung des Schrittmotors wird auf einen Schreibstift übertragen, der sich senkrecht zur Vorschubrichtung des Registrierpapiers bewegen kann. Die Registrierung erfolgt auf Wachspapier.

Die Bewegungsmöglichkeit des Flügels ist unbegrenzt. Da jedoch die Breite des Registrierpapiers und damit der maximale Drehwinkel des Schrittmotors begrenzt ist, sind bei gegebenem Übersetzungsverhältnis damit die maximalen Wellenhöhen bestimmt, die noch registriert werden können. Um nun auch bei kleinen Wellen einen großen Ausschlag zu erhalten, kann das Übersetzungsverhältnis im Verhältnis 1:4 wahlweise von Hand geändert werden.

In der Flügelsonde befinden sich 2 Kollektoren auf gemeinsamer Welle, die über eine Magnetkupplung vom Flügel gedreht werden. Die Anzahl der Kontakte der beiden Kollektoren verhält sich wie 1:4. Die Auswahl zwischen beiden Kollektoren erfolgt am Registriergerät durch Betätigung des Umschalters. Diese Methode der Registrierung hat den Vorteil, daß auch kleinere Wellen feinstufiger erfaßt werden.

Der Höhenmaßstab bei 10 cm Schreibbreite des Schreibstreifens hat beim Maßstab 1 (Bereich 4 m Höhe) 1 cm Registrierung = 0,5 m Wellenhöhe, beim Maßstab 2 (Bereich 20 m Höhe) 1 cm Registrierung = 2 m Wellenhöhe.

Der Zeitmaßstab für den Papiervorschub hat auch 2 Maßstäbe, wobei beim Maßstab 1 — schneller Vorschub — 1 cm einer Sekunde entspricht und beim Maßstab 2 — langsamer Vorschub — 0,02 cm einer Sekunde entsprechen.

Ist die Summe der Drehungen des Flügels über längere Zeit gleich Null, so verläuft die (gedachte) Mittellinie der Registrierung im allgemeinen parallel zu einer beliebig vorgegebenen Linie auf dem Registrierpapier. Mit Hilfe eines Überlagerungsgetriebes und besonderen Nachstellmotors kann nun der Bewegung des Schreibstiftes eine einsinnige Bewegung so überlagert werden, daß die Mittellinie der Registrierung zur Nulllinie geführt wird.

Durch besondere Bewegungsverhältnisse der Sonde, durch Horizontalströmung, durch unterschiedliche Reibungsverhältnisse usw. hat die Mittellinie der Registrierung im allgemeinen die Tendenz, sich von der Nulllinie zu entfernen. Um dies zu verhindern, sind einsinnige Überlagerungsbewegungen entsprechend zu steuern. Zu diesem Zweck ist der Schreibstift starr mit dem Mittelabgriff eines Potentiometers, an dessen äußeren Anschlüssen eine konstante Spannung angelegt ist, verbunden.

Die bei Bewegung des Schreibstiftes auftretenden Spannungsschwankungen werden durch ein RC-Glied auf ein Maß reduziert. Die Differenz zwischen der Bezugsspannung und der reduzierten Spannungsschwankung wird über eine Röhre an ein Telegraphenrelais mit Mittelstellung gelegt.

Mit Hilfe dieser Einrichtung kann die Überlagerungsbewegung wieder auf die Nulllinie geführt werden.

Entsprechend dem Meßprinzip besteht der Hochseewellenschreiber aus folgenden Einzelteilen:

1. der Flügelsonde,
2. dem Verbindungskabel,
3. der Meßboje,
4. der Kabelwinde,
5. dem Registriergerät.

Die Flügelsonde (Abb. 1 und 2) besteht aus 2 Formteilen, die aus einer seewasserfesten Legierung (Topal) gefertigt sind. Das untere Formteil enthält ein Lager für die Welle des Flügels. Das obere Formteil enthält einen Einsatz, der die Kollektorwelle, auf dem das Joch der Magnetkupplung, die beiden Kollektoren und der reibungsgekuppelte Kontaktarm sitzen, enthält. Der Einsatz ist wasserdicht und enthält noch das zweite Lager der Flügelwelle. Alle Lager sind Steinlager. Am Einsatz befindet sich noch der Steckeranschluß für das Kabel.

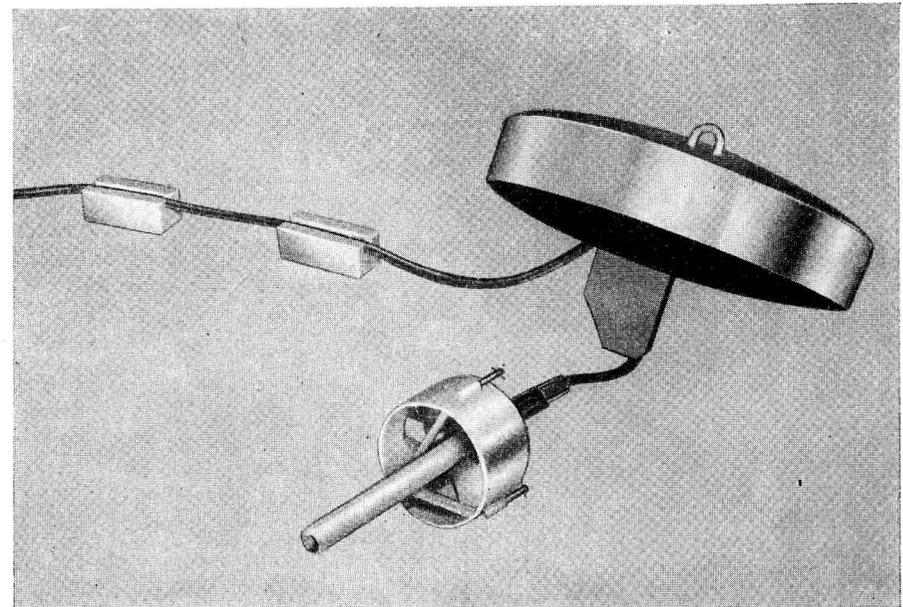


Abb. 1. Fernregistrierender Hochseewellenschreiber mit Boje und Kabelschwimmern

(Photo Reinfeldt)

Der Kabelstecker wird wasserdicht mit dem Einsatz und dem oberen Formteil verbunden.

Die Flügelwelle aus Berylliumbronze trägt, isoliert gegen Korrosion, den Flügel aus Hydronalium und den Rundmagneten der Magnetkupplung. Der Flügel dreht sich proportional dem zurückgelegten Wasserweg.

Das Verbindungskabel von der Sonde zur Meßboje und von der Meßboje zur Kabelwinde besteht aus einem Stück.

An Bord des Schiffes kann die Meßboje an jeder Stelle des Kabels angeklemt werden, so daß die Länge des senkrecht hängenden Kabels beliebig festgelegt werden kann.

An das verbleibende Kabel zwischen der Meßboje und der Kabelwinde auf dem Schiff werden Schwimmkörper aus EKAZELL H mit einem spezifischen Gewicht von etwa  $0,2 \text{ g/cm}^3$  durch Ankleben befestigt, damit das Kabel in schwimmendem Zustand an der Wasseroberfläche gehalten werden kann. Der Rest befindet sich auf der Kabelwinde. Das Kabel besitzt sieben Adern aus Stahl, von denen fünf Adern tragend und elektrisch angeschlossen sind.

Die Meßboje ist relativ flach. Aus diesem Grunde führt sie bezüglich der Wellen Eigenschwingungen mit nur geringer Amplitude und hoher Frequenz aus. Die Boje paßt sich der Wasseroberfläche sehr gut an. Sie besitzt an ihrer Unterseite

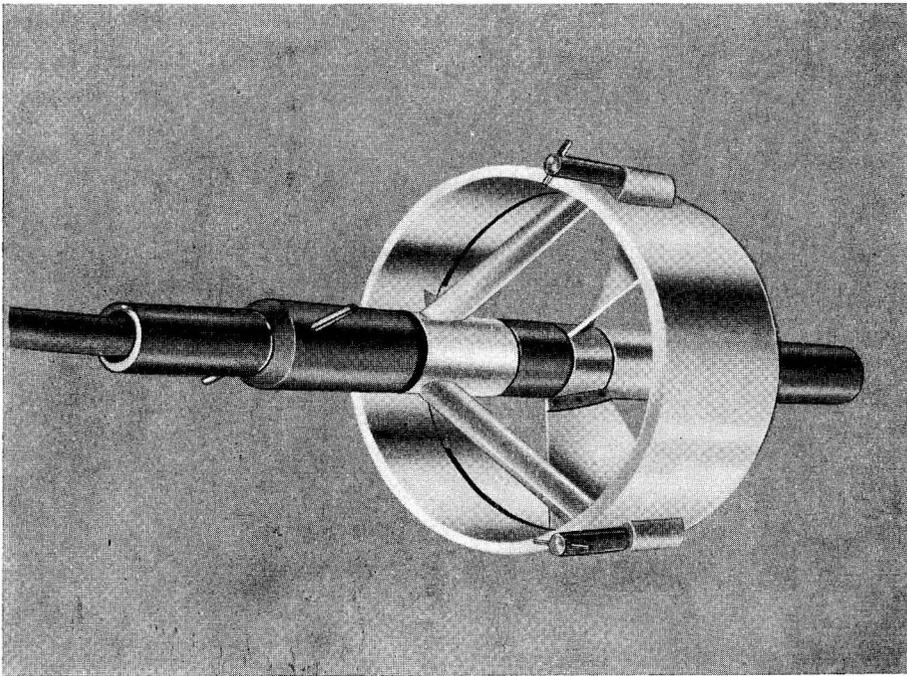
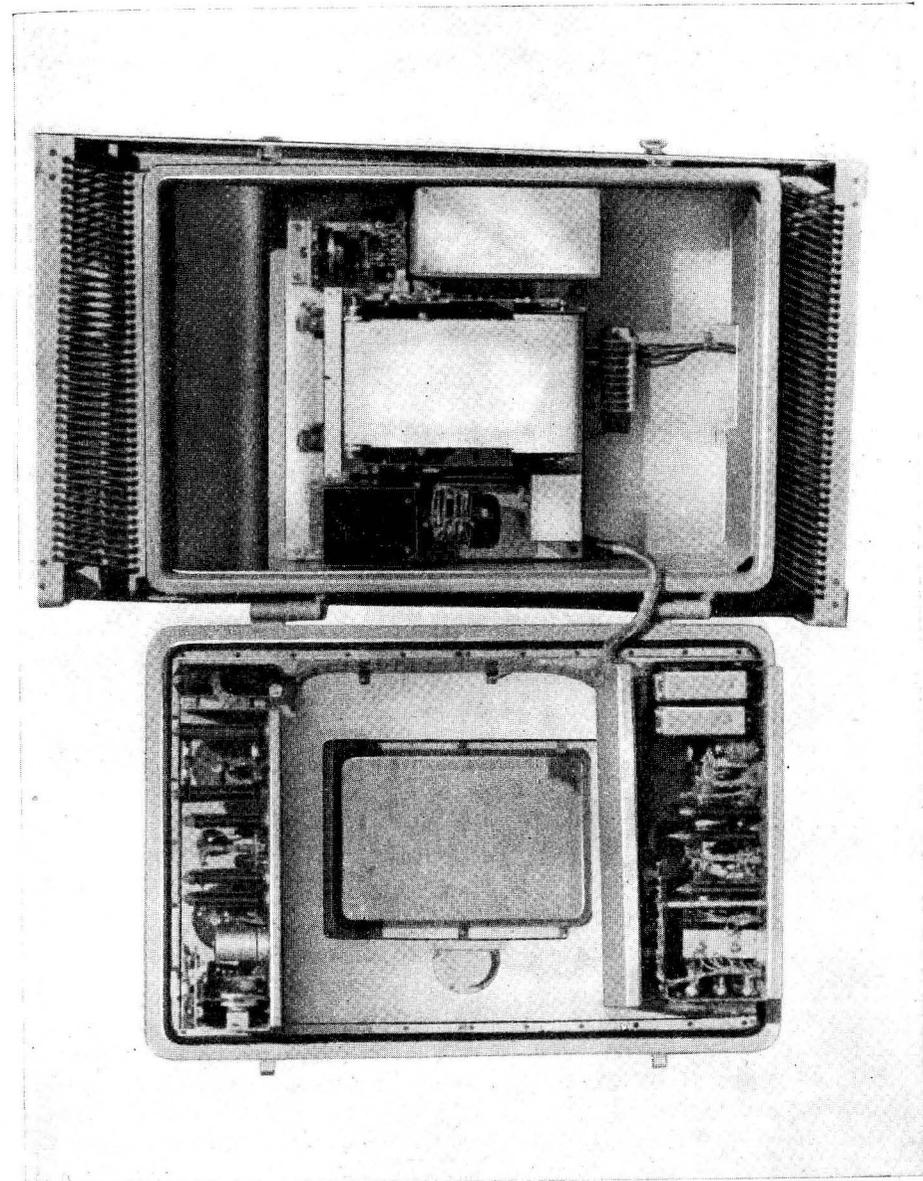


Abb. 2. Flügelsonde des Hochseewellenschreibers  
(Photo Reinfeldt)



(Photo Reinfeldt)

Abb. 3. Registriergerät des Hochseewellenschreibers

eine Klemmvorrichtung, mit der das Kabel an jeder Stelle festgeklemmt werden kann. Die Kabelwinde auf dem Schiff ist mit einer Handkurbel versehen. Im Registriergerät werden die vom Kollektor der Flügelsonde gegebenen Stromimpulse in die Drehung eines Schrittmotors zurückverwandelt, und diese Drehung wird in die gradlinige Bewegung eines Schreibstiftes übertragen.

Das Registriergerät (s. Abb. 3) besteht im wesentlichen aus einem Gehäuse, das durch Gummisehnüre stoßgeschützt, federnd und quasi kardanisch in einem

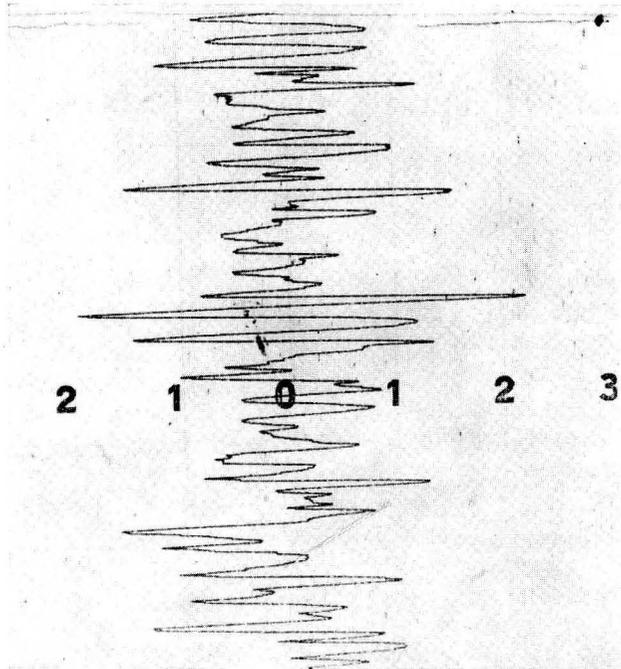


Abb. 4a. Wellenregistrierungen des Hochseewellenschreibers auf Station Nr. 282 ( $\varphi = 52^{\circ} 34' N$ ,  $\lambda = 43^{\circ} 10' W$ ) der IV. nordatlantischen Expedition des „Michail Lomonossov“

Registrierbereich: 1 cm = 2 m Wellenhöhe  
Vorschub: 12 mm pro Minute

Rahmen aus Winkeleisen aufgehängt ist. Diese Aufhängungsart von Registriergeräten an Bord hat sich in vielen Expeditionen bei den schwersten Seegangsverhältnissen sehr gut bewährt. Das Registriergerät enthält den Schrittmotor und den Nachstellmotor mit gemeinsamem Getriebe, die Geradföhrung für den Schlitten des Schreibstiftes, den Seilantrieb des Schreibstreifens sowie das vom Seil angetriebene Potentiometer. Es enthält weiter das Registrierwerk mit fliehkraftgeregeltem Motor und umschaltbarem Getriebe für den Papiervorschub.

In Abb. 4 a und 4 b sind Beispiele von Registrierungen des Hochseewellenschreibers dargestellt.

Die Genauigkeit des Gerätes bei Berücksichtigung von möglichen Fehlern in der Gesamtanlage beläuft sich bei 2 m Wellenhöhe auf 6%, bei 4 m Wellenhöhe auf 5%, bei Wellenhöhen von 10 m auf 2,6%.

Aus dem Registrierstreifen kann man bei Anwendung der verschiedenen Maßstäbe die Wellenhöhe und die Wellenperiode abgreifen. Bei Registrierung einer größeren Anzahl von Wellen erhält man aus der Gesamtregistrierung eine Verteilungskurve für verschiedene Wellenhöhen bzw. Wellenperioden sowie die maximale Wellenhöhe während der Registrierung.

Bei der Registrierung müssen mindestens 100 Wellen registriert werden, damit die Verteilungskurve der Wellenhöhe bzw. Wellenperiode auch genügend sicher ist.

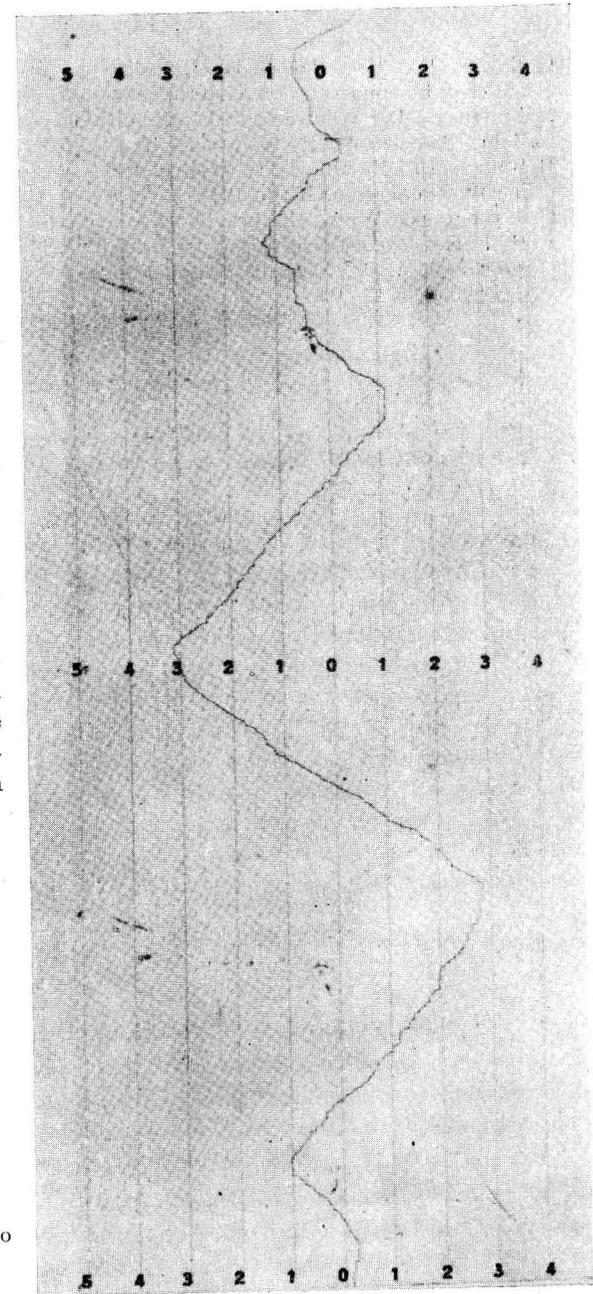


Abb. 4b. Registrierbereich:  
1 cm = 0,5 m Wellenhöhe  
Vorschub: 600 mm pro Minute  
Windverhältnisse:  $280^{\circ} 14$  m pro  
sec, seit 24 Stunden  
W 7/8 Beaufort

## Literatur

- [1] BRUNS, E., Meereskundliche Expeditionen der DDR auf dem Forschungsschiff „Michail Lomonossov“ im Atlantischen Ozean. Beiträge zur Meereskunde, H. 1 (1960).  
 [2] BRUNS, E., Die meereskundlichen Expeditionen im Internationalen Geophysikalischen Jahr. Annalen der Hydrographie, H. 9 (1957).  
 [3] BRUNS, E., Handbuch der Wellen der Meere und Ozeane. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1955.  
 [4] SNESCHINSKJ, W. A., Praktische Ozeanographie (Arbeiten in offener See) (russ.). Hydromet ologischer Verlag der UdSSR, Leningrad 1951.  
 [5] MOROSOFF, A. P., Über die Mannigfaltigkeit der Wellen (russ.). Meteorologija i Gidrologija Nr. 12 (1952).

## Weitere meereskundliche Expeditionen auf dem Forschungsschiff „Michail Lomonossov“ im Atlantischen Ozean

Von ERICH BRUNS

*Zusammenfassung:* Es wird eine kurze Übersicht über den Verlauf der achten, neunten und zehnten Forschungsfahrt der „Michail Lomonossov“ in den Jahren 1960 und 1961 im Atlantischen Ozean gegeben.

In einem Aufsatz von E. BRUNS [1] wurden die ersten 7 Fahrten des Forschungsschiffes „Michail Lomonossov“ der Akademie der Wissenschaften der UdSSR in Moskau geschildert, die ein Forschungsprogramm des Internationalen Geophysikalischen Jahres (IGJ) und der Internationalen Geophysikalischen Zusammenarbeit (IGC) für die Erforschung des Atlantischen Ozeans beinhalteten [2].

Inzwischen fanden in den Jahren 1960 und 1961 noch weitere 3 Forschungsfahrten, und zwar die achte, neunte und zehnte statt.

An der zehnten Fahrt beteiligte sich wieder eine deutsche Gruppe von Wissenschaftlern aus der DDR<sup>1)</sup>. Sie bestand wiederum aus Mitarbeitern des Institutes für Meereskunde Warnemünde der Forschungsgemeinschaft der naturwissenschaftlichen, technischen und medizinischen Institute der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin und des Meteorologischen und Hydrologischen Dienstes der DDR.

Dieser kleine Aufsatz soll eine kurze Übersicht über die drei letztgenannten Fahrten der „M. Lomonossov“ geben.

### Achte Fahrt der „M. Lomonossov“ im Sommer 1960

Die achte Fahrt fand ohne Beteiligung der deutschen Gruppe aus der Deutschen Demokratischen Republik statt. Sie begann in der Ostsee und endete im Schwarzen Meer in Sewastopol, wohin das Schiff auf eine Werft zur Überholung beordert war.

### Neunte Fahrt der „M. Lomonossov“ im Herbst 1960

Die neunte Fahrt geschah wiederum ohne Mitarbeit der deutschen Gruppe aus der DDR, weil sie für letztere gebietsmäßig nicht interessant war. Sie verlief im

<sup>1)</sup> Auch an dieser Stelle sei der Akademie der Wissenschaften der UdSSR und ihrem Seehydrophysikalischen Institut nochmals besonderer Dank für die Beteiligung der deutschen Gruppe aus der DDR an den Fahrten der „M. Lomonossov“ ausgesprochen.

Schwarzen Meer und im Mittelmeer und bestand aus der eingehenden meereskundlichen Erforschung beider Meere zu dieser Jahreszeit.

#### Zehnte Fahrt der „M. Lomonossov“ vom März bis Juli 1961 im Nord- und Südatlantik

Das Hauptziel dieser Fahrt bestand in der Wiederholung der fünften Fahrt. Es sollte ein ozeanologischer Schnitt längs des Meridians  $30^{\circ}$  West von der Eisgrenze in der Arktis bis zur Eisgrenze in der Antarktis stattfinden. Durch solch einen Längsschnitt des Atlantischen Ozeans wurden die meisten Strömungssysteme gekreuzt. Hierbei war vorgesehen, eine sehr geringe Anzahl von Triftstationen auszuführen, und ganz besonders viele Bojenstationen für Dauermessungen im Bereich der einzelnen Hauptstromsysteme auszulegen, um dadurch die zeitlichen Veränderungen der meereskundlichen Faktoren festzustellen. Das Programm dieser Fahrt sah auch weiter die Durchführung verschiedener Messungen im Bereich der afrikanischen Küstengewässer für Fischereizwecke vor.

Die Expeditionsleitung lag während der zehnten Fahrt in der Hand des bewährten Expeditionsforschers *Dr. G. P. Ponomarenko* und seines Stellvertreters *A. E. Gamutlov*. Das Schiff führte der neue Kapitän *W. P. Priljudko*. Der Leiter der Atlantischen Kommission der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Akademiemitglied *Prof. W. W. Schuleikin*, nahm an dieser sehr interessanten und von ihm vorgeschlagenen Fahrt auch teil.

Die deutsche Gruppe, aus sechs Teilnehmern bestehend, unterteilte sich in:

Ozeanologen	— Ing. <i>K. H. Till</i> (Institut für Meereskunde Warnemünde, DAW)
	Tech. <i>W. Hub</i> (Institut für Meereskunde Warnemünde, DAW)
	Ing. <i>R. Patleich</i> (Institut für Regelungstechnik Berlin)
Meteorologen	— Dipl.-Met. <i>G. Mückel</i> (MHD Potsdam, gleichzeitig Leiter der Gesamtgruppe)
	Dipl.-Met. <i>W. Gerstmann</i> (MHD Potsdam)
	Ing. <i>G. Rettich</i> (MHD Potsdam)

Die Ausrüstung der deutschen Gruppe bestand im ozeanologischen Teil aus dem im Atlantischen Ozean bereits vielfach eingesetzten Hochseewellenschreiber des WTBG Berlin (jetzt Institut für Regelungstechnik Berlin), einem selbstschreibenden Strömungsmesser bis zu 800 m Tiefe und einer neuen Konstruktion eines bei Bojenstationen an der Trosse angebrachten Tiefenströmungsschreibers mit Einsatztiefe bis 8000 m des WTBG Berlin.

Die Hauptaufgabe der deutschen Gruppe im ozeanologischen Teil bestand in der Beteiligung an Strömungsmessungen bei Bojenstationen mit dem selbstschreibenden Strömungsmesser, und insbesondere im Einsatz des neuen Tiefenströmungsschreibers in großen Tiefen bis zu 8000 m. Insbesondere sollte das in den von G. Wüstr dynamisch berechneten Horizonten der Ausbreitung des Zwischen-

und Bodenwassers erfolgen. Außerdem sollten bei günstigen Wetterlagen zahlreiche Wellenmessungen mit Hilfe des Hochseewellenschreibers durchgeführt werden.

Im meteorologischen Teil umfaßte die deutsche Ausrüstung programmgemäß spezielle meteorologische Geräte für Strahlungsmessungen sowie Geräte für Wärmehaushaltsmessungen. Dementsprechende Beobachtungen sollten während der Fahrt und auf den Stationen erfolgen, wobei auch der Einsatz eines Meßfloßes vorgesehen war.

Die tatsächliche Fahrt verlief nach einer Fahrtroute, die aus der Abb. 1 zu ersehen ist. Das Schiff lief am 7. 3. 1961 aus Odessa aus, überquerte das Schwarze Meer und fuhr einen Längsschnitt im Mittelmeer bis zum Hafen von Gibraltar, wo es sich am 15. 3. 1961 zur Übernahme von Wasser und Proviant aufhielt. Danach folgte die „M. Lomonossov“ der weiteren Fahrtroute längs der afrikanischen Küste bis zum Hafen Dakar (Senegal), den es am 25. 3. 1961 anlief. Dann verlief die Fahrt längs der afrikanischen Küste weiter bis zum Hafen Takoradi (Ghana), der am 15. 4. 1961 angelaufen und am 21. 4. 1961 verlassen wurde, um nach einem aus Abb. 1 zu ersehenden Kurs den Meridian  $30^{\circ}$  W bei  $20^{\circ}$  S zu erreichen. Danach verlief die Fahrt längs des Meridians  $30^{\circ}$  W nach Süden, wobei in der Zeit vom 18. bis 25. 5. 1961 Rio de Janeiro zur Versorgung des Schiffes angelaufen wurde. In der weiteren Zeit wurde die Fahrt ungefähr längs des Meridians  $30^{\circ}$  West bis  $40^{\circ}$  Nord fortgesetzt, wonach für den 26. bis 28. 6. 1961 Southampton in England angelaufen wurde. Am 1. 7. 1961 lief das Forschungsschiff die Reede von Warnemünde zum Aussetzen der deutschen Gruppe an und erreichte Kaliningrad am 2. 7. 1961.

Die gesamte zurückgelegte Distanz beträgt über 18000 sm. Während der gesamten Expedition erfolgten insgesamt 157 Stationen, davon 140 Triftstationen mit den allgemein üblichen ozeanologischen Messungen, deren Lage aus Abb. 1 zu ersehen ist, und 17 Bojenstationen mit Spezialmessungen, insbesondere Strömungsmessungen. Bei den Bojenstationen wurden 5 mit 1 Boje und 6 mit je 2 Bojen, also insgesamt 17 Bojen für Dauermessungen aufgestellt. Von diesen Bojenstationen waren je 2 mit über 2000 m bzw. 3000 m Tiefe, 8 mit Tiefen über 4000 m und 5 Stationen mit Tiefen über 5000 m. Die tiefste Bojenstation hatte eine Gesamttiefe von 5879 m.

Der Einsatz des selbstregistrierenden Strömungsmessers an Bojenstationen in Zusammenarbeit mit sowjetischen Strömungsschreibern Typ Alexejeff geschah 4mal in 100 m und 3mal in 800 m Tiefe. Der neue Tiefenströmungsschreiber wurde vorerst an 7 Triftstationen zur Druckerprobung mit Erfolg und danach an Bojenstationen 1mal in 1200 m, 6mal in 2000 m und 4mal in 3000 m Tiefe für Messungen eingesetzt.

Der mechanische Aufbau, insbesondere auch das Uhrwerk der beiden Strömungsmesser, entsprachen den Anforderungen. Der 12 Kilogramm wiegende Tiefenströmungsschreiber könnte aus den gewonnenen Erfahrungen für den Einsatz in großen Tiefen schwerer sein.

Auf einer Bojenstation am 6. Juni wurde in der Tiefe stärkere Strömung registriert. Erzielte Strömungswerte können erst nach der Bearbeitung aller Registrierungen bekanntgemacht werden.

Wellenmessungen mit dem Hochseewellenschreiber erfolgten während der ganzen Fahrt leider nur 3mal auf Triftstationen, weil ausnahmsweise gutes Wetter mit meist schwachen Winden aus NW—NE bzw. aus E—SE bei 4 Bft im Mittel vorwiegend herrschte und bei kleineren Wellen der Einsatz des Gerätes sich nicht lohnte.

#### Literatur

- [1] BRUNS, E., Meereskundliche Expeditionen der DDR auf dem Forschungsschiff „Michail Lomonossov“ im Atlantischen Ozean. Beiträge zur Meereskunde, H. 1 (1960).
- [2] BRUNS, E., Die meereskundlichen Expeditionen im Internationalen Geophysikalischen Jahr. Annalen der Hydrographie, H. 9 (1957).

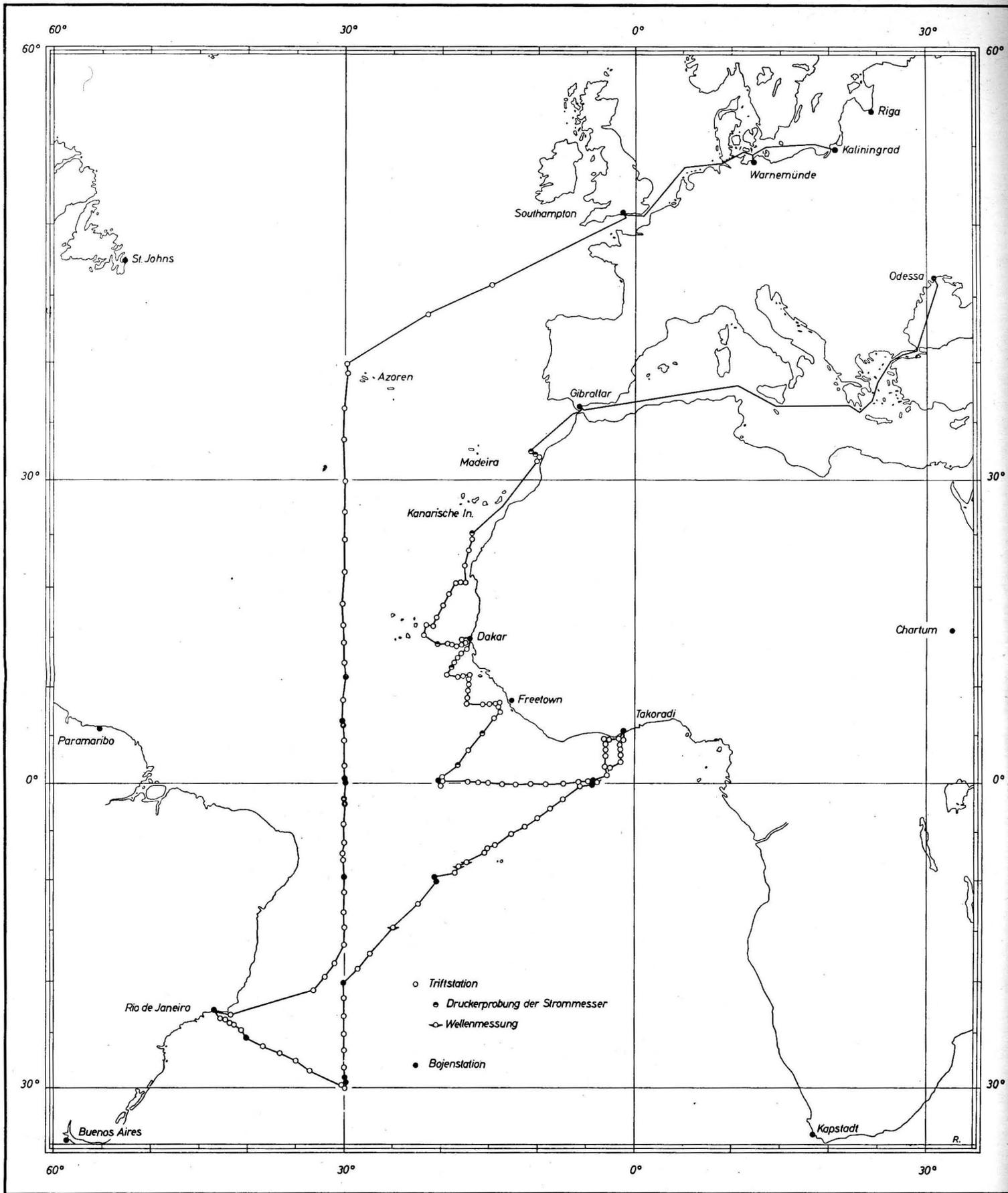


Abb. 1. Zehnte Fahrt der „Michail Lomonossov“

# Die Variation der Hochwasser-Eintrittszeiten in der Nordsee, dem Kanal und der Irischen See im Ablauf einer Tideperiode

Von GÜNTHER SAGER

*Zusammenfassung:* Für die bekannte Karte der Linien gleichen Hochwasserzeitunterschiedes gegen den Durchgang des mittleren Mondes durch den Meridian von Greenwich werden ergänzende Angaben über die zeitliche Variation des Eintritts der Hochwasser während eines Ablaufs der Mondphasen und zur Zeit der Solstitien und Äquinoktien sowie im Perigäum und Apogäum des Mondes gemacht.

## Einleitung

In Heft 2/3 der „Beiträge zur Meereskunde“ waren vom Verfasser in einer Studie „Ergänzende Betrachtungen zur Karte der Linien gleichen Springtidenhubs der halbtägigen Gezeit  $M_2 + S_2$ “ für das Gebiet der Nordsee, des Kanals und der Irischen See Ausführungen über den Wechsel der Werte des Tidenhubs während des Ablaufs einer Tideperiode in Abhängigkeit von dem Verhältnis des mittleren Nipp- zum Springtidenhub gemacht worden. Im folgenden Beitrag sollen ähnliche Untersuchungen für den Wechsel der Eintrittszeiten der Hoch- und Niedrigwasser vorgenommen werden, um damit einen Überblick zu gewinnen, inwieweit sich die den Gezeitentafeln beigefügte Übersichtskarte der Linien gleichen Hochwasserzeitunterschiedes gegen den Durchgang des mittleren Mondes durch den Meridian von Greenwich (Abb. 1) im Laufe einer Tideperiode im Mittel ändert.

Dabei wird zunächst nur das Zusammenspiel der beiden solaren und lunaren Haupttiden für verschiedene Verhältnisse von  $S_2$  und  $M_2$  betrachtet und aus den Ergebnissen in Verbindung mit der lokalen Springverspätung eine Übersichtskarte der mittleren zeitlichen Abweichungen der Hochwasser für die genannten Seegebiete um die Zeit der Syzygien und der Quadraturen hergeleitet. Da das Verhältnis des Nipp- zum Springtidenhub um die Zeit der Solstitien und Äquinoktien sowie mit der Erdnähe und Erdferne des Mondes besonders starke Schwankungen erfährt, werden die zugehörigen Höchstwerte der zeitlichen Verschiebung für 16 europäische Häfen ermittelt und für das Beispiel Dover der Verlauf der Kurven mit der zeitlichen Änderung der Eintrittszeiten wiedergegeben.

Die zeitliche Verschiebung der Eintrittszeiten der Hochwasser unter alleiniger Berücksichtigung des Einflusses der Mondphasen

In erster Näherung wird die Eintrittszeit der Hochwasser in Gebieten mit Halbtagestiden durch den Ablauf der halbtägigen Haupt-Mondtide  $M_2$  bestimmt, deren Winkelgeschwindigkeit  $m = 28,984\ 104 \cdot \text{h}^{-1}$  ist, womit ihre Periode  $T_m = 360^\circ/m$  den Wert

$$T_m = 12^h\ 25^m\ 14^s \quad (1)$$

hat, was dem halben mittleren Mondtag entspricht. Eine grundlegende Modifikation des Ablaufs der Gezeiten bedingt die halbtägige Haupt-Sonnentide  $S_2$  mit der Winkelgeschwindigkeit  $s = 30^\circ/\text{h}$  und der Periode

$$T_s = \frac{360^\circ}{s} = 12^h, \quad (2)$$

also einen halben mittleren Sonnentag. Im Zusammenwirken beider Tiden hat man

$$y = M_2 \cos mt + S_2 \cos st, \quad (3)$$

wobei  $M_2$  und  $S_2$  die Amplituden der beiden Haupttiden sind und die Periode ihres Zusammenwirkens durch  $T_{s,m} = 360^\circ/s \cdot m$  zu

$$T_{s,m} = 14^d\ 18^h\ 22^m\ 01^s \quad (3a)$$

gegeben ist, was bekanntlich dem halben synodischen Monat entspricht.

Während die Eintrittszeiten der Extrema von  $M_2$  durch ganze Vielfache (für die Hochwasser) bzw. halbe Vielfache (für die Niedrigwasser) von  $T_m$  gegeben sind, bestimmen sie sich bei den superponierten Tiden aus dem Verschwinden des Differentialquotienten von Gleichung (3), also durch Auflösen der transzendenten Gleichung

$$m M_2 \sin mt + s S_2 \sin st = 0. \quad (4)$$

Da das Intervall eines halben synodischen Monats 28 Hoch- und Niedrigwasser enthält, kommt die Bestimmung der Eintrittszeiten der kombinierten  $M_2$ - und  $S_2$ -Tide für ein bestimmtes Verhältnis  $M_2:S_2$  auf die 28 Lösungen der Gleichung (4) hinaus, die man in der Form

$$\sin m t^* = -\frac{s S_2}{m M_2} \sin st^* \quad (4a)$$

schreiben kann, wenn man die Eintrittszeiten der Extrema mit einem Stern bezeichnet. Dabei ist  $s/m$  konstant und hat den Wert 1,035 05. Zwar hat man als erste Näherung dieser transzendenten Gleichung die Werte

$$t = n \cdot T_m \quad (n = 1, 2, \dots, 28)$$

für die Hochwasser und

$$t = \frac{2n-1}{2} \cdot T_m \quad (n = 1, 2, \dots, 28)$$

für die Niedrigwasser, jedoch wird man meistens nicht mit einem Schritt auskommen, da die zeitlichen Abweichungen bis zu 1 Stunde erreichen können.

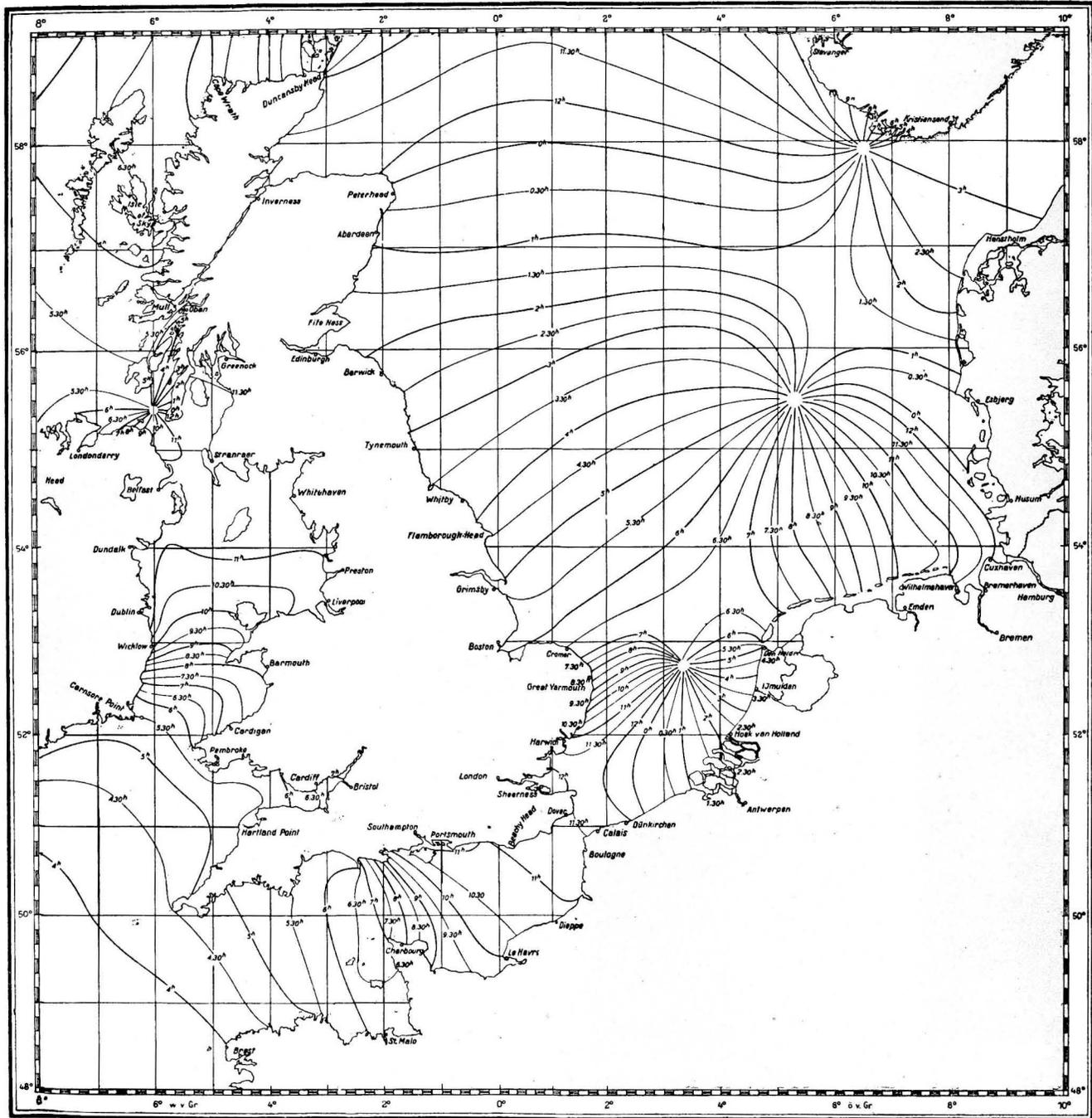


Abb. 1. Linien gleichen Hochwasserzeitunterschiedes der halbtägigen Gezeit  $M_2$  gegen den Durchgang des mittleren Mondes durch den Meridian in Greenwich (nach den amtlichen Gezeitentafeln)

Sehr einfach läßt sich diese Aufgabe mit den Gezeitenrechenmaschinen lösen, in denen die Tiden mit ihren Winkelgeschwindigkeiten mechanisch realisiert sind. Zwar müssen die Werte infolge der Getriebetoleranzen noch ausgeglichen werden, bevor man die Kurven der zeitlichen Abweichung zeichnen kann, jedoch ist die Zeitersparnis gegenüber dem manuellen Vorgehen außerordentlich, wenn man bedenkt, daß die 28 Werte einer Gruppe von Hochwassern in 40 Minuten maschinell berechnet vorliegen.

In Anlehnung an frühere Untersuchungen des Verfassers, wo gezeigt wurde, daß die mittleren Verhältnisse des Nipp- zum Springtidenhub in den betrachteten Seegebieten zwischen 40 und 70 Prozent schwanken, werden für die Prozentzahlen

$$p = \frac{M_2 - S_2}{M_2 + S_2} = \frac{1 - S_2/M_2}{1 + S_2/M_2} \quad (5)$$

Werte von 5 zu 5 Prozent gewählt, denen die folgende Zuordnung des Verhältnisses von  $S_2/M_2$  entspricht

$p$	70	65	60	55	50	45	40
$S_2/M_2$	3/17	7/33	1/4	9/31	1/3	11/29	3/7

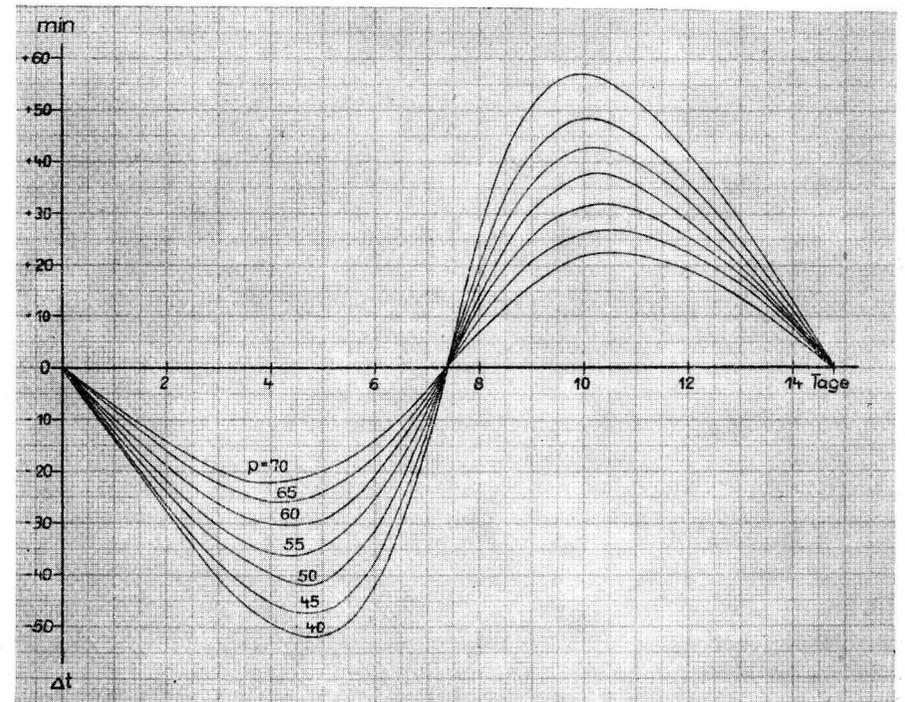


Abb. 2a. Kurven der zeitlichen Abweichung der Hochwasser gegenüber der mittleren Eintrittszeit für 7 Parameter (Hochwasser zur Springzeit bei 0 Tagen)

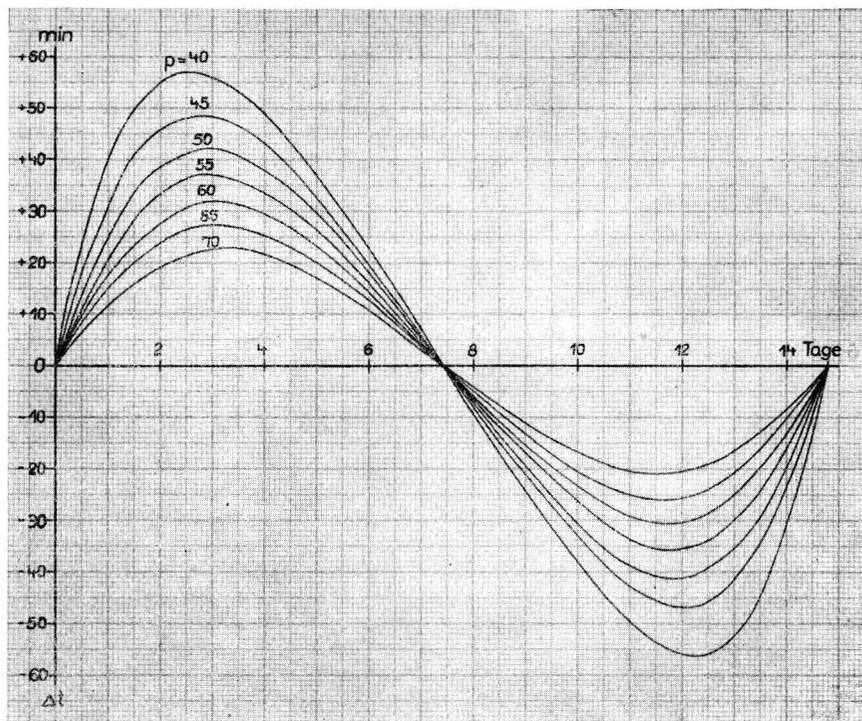


Abb. 2b. Kurven der zeitlichen Abweichung der Hochwasser gegenüber der mittleren Eintrittszeit für 7 Parameter (Hochwasser zur Nippzeit bei 0 Tagen)

Für jedes dieser Verhältnisse ist die transzendente Gleichung (4) bzw. (4a) gelöst worden. Die Ergebnisse fallen verschieden aus, je nachdem man die Springzeit oder die Nippzeit exakt mit einem Hochwasser zusammenfallen läßt, da bei einer Periode  $T_{s,m} = 14^d 18^h 22^m 01^s$  nicht beides zugleich eintritt, weil die Winkelgeschwindigkeit  $m$  ein unendlicher Dezimalbruch ist, so daß keine gemeinsamen Vielfachen von  $s$  und  $m$  existieren. Den Verlauf der Kurven mit der zeitlichen Abweichung  $t_{(M_2+S_2)}^* - t_{(M_2)}^* = \Delta t$  für die obigen Parameter zeigen die Abb. 2a und 2b über eine volle Tideperiode.

Alle Kurven verlaufen von der Springzeit bis zur Nippzeit im negativen und von der Nippzeit bis zur folgenden Springzeit im positiven Bereich, d. h., die Hochwasser verfrühen sich zwischen den Syzygien und den Quadraturen und verspäten sich zwischen letzteren und den Syzygien gegenüber der mittleren Eintrittszeit, wie es durch die  $M_2$ -Tide bestimmt ist. Der Betrag der zeitlichen Verschiebung wird um so größer, je mehr Gewicht die  $S_2$ - gegenüber der  $M_2$ -Tide erhält, also je kleiner das Verhältnis des Nipp- zum Springtidenhub wird, was zu erwarten war. Die gewonnenen Kurven weichen von der Sinusform merklich ab. Die größten Abweichungen liegen nicht in der Mitte der Halbperioden, sondern um so mehr zur Nippzeit verschoben, je kleiner  $p$  ist. Die Beträge der

maximalen Abweichungen wachsen von 22 bzw. 23 Minuten (Hochwasser zur Spring- bzw. Nippzeit) für  $p = 70$  auf 52 bzw. 57 Minuten für  $p = 40$  an, werden also mit abnehmendem  $p$  beachtlich. Eine Zuordnung für halbe und ganze Tage vor oder nach Springzeit gibt Tab. 1a und ausgehend von der Nippzeit Tab. 1b.

TABELLE 1a  
Verschiebung der Eintrittszeiten der Hochwasser gegenüber den mittleren Zeiten in Minuten für verschiedenen Index  $p = M_2 - S_2 / M_2 + S_2$  (Hochwasser zur Springzeit)

Index $p\%$	Tage vor (+) oder nach (-) Springzeit														
	0	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5	5 1/2	6	6 1/2	7
40	0	7	14	21	27	34	40	45	49	51	51	48	42	29	15
45	0	7	13	20	26	32	38	42	45	47	46	43	37	25	12
50	0	6	12	18	24	29	33	37	40	41	41	37	31	22	10
55	0	6	11	16	22	26	30	33	35	36	34	30	25	22	8
60	0	5	10	14	19	23	26	29	30	30	23	26	21	19	6
65	0	4	8	12	16	19	22	24	26	25	23	21	17	12	5
70	0	3	7	11	14	17	20	21	22	21	19	17	13	9	4

Die Kurven der Abb. 2 bzw. die Werte der Tab. 1 können in Verbindung mit der in Heft 2/3 dieser Zeitschrift veröffentlichten Karte der mittleren Werte des Verhältnisses  $M_2 - S_2 / M_2 + S_2$  in Prozent für geographische  $1^\circ$ -Felder dazu dienen, mittlere Abweichungen der Eintrittszeiten gegenüber der Übersichtskarte in Abb. 1 anzubringen. Dabei ist aber zu bedenken, daß für jeden geographischen Ort der Betrag der Springverspätung ein anderer ist, so daß die so berichtigten Werte zwar lokale Bedeutung haben, sich auf diese Weise aber keine synoptische Übersicht des gesamten Seegebiets erzielen läßt.

TABELLE 1b  
Verschiebung der Eintrittszeiten der Hochwasser gegenüber den mittleren Zeiten in Minuten für verschiedenen Index  $p = M_2 - S_2 / M_2 + S_2$  (Hochwasser zur Nippzeit)

Index $p\%$	Tage vor (-) oder nach (+) Nippzeit														
	0	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5	5 1/2	6	6 1/2	7
40	0	21	39	49	55	57	56	54	49	43	36	30	22	15	7
45	0	18	30	40	45	48	48	46	43	38	33	26	20	13	6
50	0	14	25	34	38	41	42	40	38	34	30	24	18	11	5
55	0	12	20	28	33	36	37	36	34	30	23	21	16	10	5
60	0	10	17	23	28	30	32	31	30	27	23	19	14	9	5
65	0	8	15	20	24	26	27	26	25	23	20	16	13	8	4
70	0	6	12	16	19	21	23	23	21	20	17	14	11	7	3

Um eine richtige zeitliche Zuordnung der Abweichungen für die ganze Karte zu erhalten, muß die örtliche Springverspätung berücksichtigt werden. Sie ergibt sich aus den Differenzen der Phasen  $P$  der  $M_2$ - und  $S_2$ -Tide zu

$$\Delta_{s,m} = \frac{P_{M_2} - P_{S_2}}{s - m} \quad (6)$$

und mit  $s - m = 1,015\ 896 \cdot \circ/h$  zu

$$\Delta_{s,m} = 0,985 (P_{M_2} - P_{S_2}) \quad (6)$$

in Stunden, wobei die Phasen für die Küstenorte den „Tafeln der harmonischen Konstanten“ entnommen werden können, während man sich für die offene Nordsee auf die „Karten der harmonischen Konstanten“ sowie die Untersuchungen von HANSEN stützen kann. Die Springverspätung, die im allgemeinen gleich der Nippverspätung angesehen wird, wächst von Werten mit knapp  $1\frac{1}{2}$  Tagen vor der schottischen Nordwestküste und um die Orkney-Inseln auf reichlich 3 Tage in der inneren Deutschen Bucht. Mit der infolge des begrenzten Beobachtungsmaterials wiederum notwendigen Beschränkung auf geographische  $1^\circ$ -Felder ergibt sich das in den Abb. 3 und 4 auf jeweils volle Tage vor und nach den Syzygien und den Quadraturen bezogene Bild.

Bei der Bestimmung der zeitlichen Verschiebungen wurden für die Viertelperioden beiderseits der Springtide die Kurven der Abb. 2a und für die entsprechenden Intervalle beiderseits der Nipptide diejenigen der Abb. 2b zugrunde gelegt. Da die 7 Kurvenscharen verschieden sind, je nachdem, ob das Hochwasser mit der Spring- oder Nippzeit koinzidiert, und außerdem die Werte von  $p$  nur in feldweiser Zuordnung vorliegen, ist eine Angabe der Differenzen der Eintrittszeiten auf Minuten illusorisch und wissenschaftlich bei dem gegenwärtigen Stand der Gezeitenbeobachtungen in den betreffenden Seegebieten nicht vertretbar, so daß alle Werte auf jeweils volle 5 Minuten gerundet wurden, wobei sich eine ziemlich stetige Verteilung der Werte über die ganze Karte ergibt. Obwohl die Springverspätung und die  $p$ -Werte für sich gesehen ziemlich schwanken, zeigen die betrachteten Seegebiete im allgemeinen ein recht einheitliches Bild der Variation der Eintrittszeiten der Hochwasser mit einer Abnahme der extremen Differenzen von 55 Minuten im Nordwesten Schottlands auf 30 Minuten in der inneren Deutschen Bucht. Das liegt daran, daß beide Größen sich meistens gleichsinnig ändern, wodurch sich ihr kombinierter Effekt weitgehend ausgleicht, wie der Verlauf der Kurven der Abb. 2 erkennen läßt.

In den Abb. 3 und 4 ist zu beachten, daß örtliche Anomalien der Springverspätung, wie sie zum Beispiel im Gebiet der Hoofden, bei Pool Harbour (westlich der Insel Wight) und im Loch Foyle (Nordirland) mit Minima und bei Berwick (englische Ostküste), der Insel Islay und der Halbinsel Kintyre (schottische Westküste) mit Maxima vorkommen, nicht in Erscheinung treten. Im Kattgat, wo die Springzeit bereits 1 bis 2 Tage vor Voll- und Neumond eintritt, sind die Werte wegen der dort geringen Bedeutung der Gezeiten fortgelassen worden, zumal die starken zeitlichen Unterschiede bei der Beschränkung auf  $1^\circ$ -Felder nicht zu erfassen sind.

In den Mündungen der Tideflüsse ist allgemein eine Zunahme der Springverspätung festzustellen, die stromaufwärts weiter anwächst und zum Beispiel in Hamburg, Antwerpen und London etwa 5 Stunden mehr ausmacht als am Eingang der Mündungstrichter der betreffenden Flüsse. Da jedoch in allen Tideflüssen noch Seichtwassertiden vorkommen, unter denen sich solche mit Viel-

fachen der Winkelgeschwindigkeit der Grundtiden befinden, treffen die Betrachtungen dort ohnehin nicht genügend genau zu.

Die Vorzeichen in den Abb. 3 und 4 sind so gewählt, daß sie angeben, ob die zeitliche Verschiebung zu dem aus der Karte der Abb. 1 entnommenen Wert der mittleren Eintrittszeit addiert oder davon subtrahiert wird. Hat man als Beispiel die Eintrittszeit des Tidenhubs vor Great Yarmouth an der Küste von Norfolk 2 Tage vor den Mondvierteln zu ermitteln, so ist der aus der Abb. 1 zu entnehmende Wert von  $8^h\ 20^m$  um die in der Abb. 4 angegebenen  $-30^m$  zu korrigieren, so daß als verbesserte Eintrittszeit des Hochwassers  $7^h\ 50^m$  nach dem Meridiandurchgang des Mondes in Greenwich anzusetzen ist. Der Vorteil dieser Umrechnung liegt darin, daß man sich um die örtliche Springverspätung nicht mehr zu kümmern braucht, da sie in den Daten der Abb. 3 und 4 implicite enthalten ist. Für die betrachteten Seegebiete treten als stärkste tägliche Änderungen zur Zeit der Syzygien bis zu 15 Minuten, um die Quadraturen dagegen bis zu 45 Minuten auf, wie das dem verschiedenen Verlauf der Kurven 2a und 2b zu den einzelnen Mondphasen entspricht.

#### Einflüsse der Parallaxe und Deklination von Mond und Sonne

Die in den Abb. 3 und 4 eingetragenen zeitlichen Korrekturen für den Ablauf der Mondphasen sind als eine erste Verbesserung anzusehen. Des weiteren werden die Eintrittszeiten von der jeweiligen Parallaxe des Mondes, also der wechselnden Entfernung Erde-Mond sowie der Deklination von Mond und Sonne beeinflusst. Um die erste Näherung dieser Einflüsse zu bestimmen, müssen zwei weitere Tiden herangezogen werden, nämlich erstens die größere halbtägige elliptische Mondtide  $N_2$  mit einer Winkelgeschwindigkeit von  $n = 28,439\ 729\ 6 \cdot \circ/h$  und der wechselseitigen Periode

$$T_{m,n} = \frac{360^\circ}{m-n} = 27^d\ 13^d\ 18^m\ 33^s, \quad (7)$$

also einem anomalistischen Monat, und zweitens die halbtägige Mond-Sonnen-Deklinationstide  $K_2$  mit  $k = 30,082\ 137\ 2 \cdot \circ/h$  und der gemeinsamen Periode

$$T_{k,s} = \frac{360^\circ}{k-s} = 182^d\ 14^d\ 54^m\ 23^s, \quad (8)$$

d. h. einem halben tropischen Jahr.

Die Ausdrücke für den mittleren Spring- bzw. Nipptidenhub lassen sich dann auf die Form

$$\begin{aligned} \text{SpTh} &= 2 (M_2 + S_2 + \Delta Sp), \\ \text{NpTh} &= 2 (M_2 - S_2 + \Delta Np) \end{aligned}$$

bringen, wobei für die Korrekturglieder gegenüber dem mittleren Wert folgende Zuordnung gilt:

	mittlere Entfernung	Perigäum	Apogäum	mittlere Deklination	Äquinoktien	Solstitien
$\Delta Sp =$	0	$+N_2$	$-N_2$	0	$+K_2$	$-K_2$
$\Delta Np =$	0	$+N_2$	$-N_2$	0	$-K_2$	$+K_2$

Es sind neben den Grundwerten  $2(M_2 + S_2)$  und  $2(M_2 - S_2)$  jeweils 4 Kombinationen mit  $N_2$  und  $K_2$  allein und ebenfalls 4 mit beiden gemeinsam möglich, so daß zu den Grundwerten jeweils 8 modifizierte Werte treten, wenn die Phasenbedingungen dem Eintritt der mittleren Entfernung Erde-Mond, des Perigäums oder Apogäums bzw. der mittleren Deklination, den Äquinoktien (Deklination Null) oder den Solstitionen (maximale nördliche oder südliche Deklination) entsprechen. Dazwischen gibt es alle möglichen Übergangsstadien, die nur von den Gezeitenrechenmaschinen von Fall zu Fall erfaßt werden und dann die Basis der Gezeitentafeln bilden.

Wir wollen uns hier auf die jeweils 8 Kombinationen neben den Grundwerten beschränken und für einen Hafen mit ausgeprägten Gezeitenunterschieden und

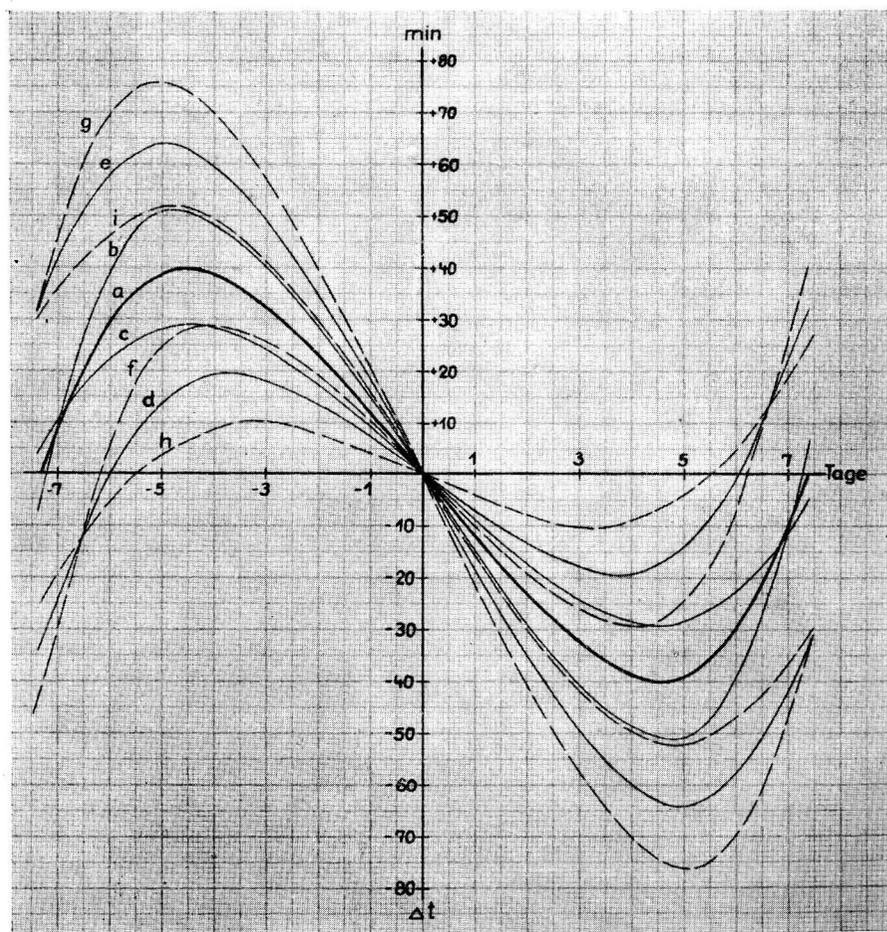


Abb. 5. Hochwasserzeitunterschiede für Dover bei 9 Kombinationen der 4 Grundtiden um die Springzeit

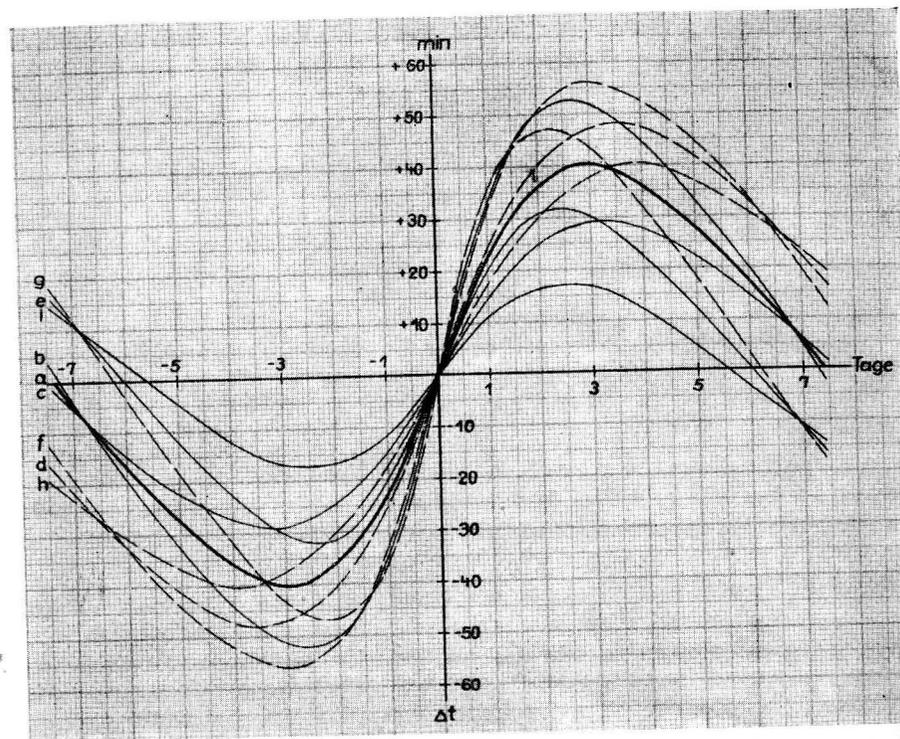


Abb. 6. Hochwasserzeitunterschiede für Dover bei 9 Kombinationen der 4 Grundtiden um die Nippzeit

mittlerem Wert von  $p$ , nämlich Dover, die zeitlichen Abweichungen in 9 Spring- und Nippzeit-Kombinationen ermitteln und zeichnerisch darstellen. Die mathematische Aufgabe besteht in der Lösung der ersten Ableitung der Gleichung

$$y = M_2 \cos mt + S_2 \cos st + N_2 \cos nt + K_2 \cos kt, \quad (9)$$

also des transzendenten Ausdrucks

$$m M_2 \sin mt + s S_2 \sin st + n N_2 \sin nt + k K_2 \sin kt = 0. \quad (10)$$

Für die Lösung solcher Aufgaben bei mehreren Dutzend Gliedern sind die Gezeitenrechenmaschinen geschaffen worden, so daß man sich ihrer mit Vorteil bedient. Das Resultat ist in den Kurven der Abb. 5 und 6 dargestellt, wobei in der Nummerierung folgende Zuordnung getroffen wurde:

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| a) $M_2 + S_2$ und $M_2 - S_2$          | mittlerer Spring- bzw. Nipptidenhub |
| b) $\Delta Sp = +K_2, \Delta Np = -K_2$ | zur Zeit der Äquinoktien            |
| c) $\Delta Sp = -K_2, \Delta Np = +K_2$ | zur Zeit der Solstitionen           |
| d) $\Delta Sp = \Delta Np = +N_2$       | zur Zeit des Perigäums              |
| e) $\Delta Sp = \Delta Np = -N_2$       | zur Zeit des Apogäums               |

- f)  $\Delta Sp = +N_2 + K_2$   
 $\Delta Np = +N_2 - K_2$  zur Zeit der Äquinoktien bei gleichzeitiger Erdnähe des Mondes
- g)  $\Delta Sp = -N_2 + K_2$   
 $\Delta Np = -N_2 - K_2$  zur Zeit der Äquinoktien bei gleichzeitiger Erdferne des Mondes
- h)  $\Delta Sp = +N_2 - K_2$   
 $\Delta Np = +N_2 + K_2$  zur Zeit der Solstitien bei gleichzeitiger Erdnähe des Mondes
- i)  $\Delta Sp = -N_2 - K_2$   
 $\Delta Np = -N_2 + K_2$  zur Zeit der Solstitien bei gleichzeitiger Erdferne des Mondes.

Eine Betrachtung der Kurven der Variation der Eintrittszeit der Hochwasser ergibt folgendes Bild: Bei Springzeit zeigen die Kurven d, f und h das unregelmäßigste Verhalten, wobei alle die Zeit der Erdnähe des Mondes widerspiegeln; ähnlich — nur wesentlich gemäßigter — sieht es mit den Kurven e, g und i zur Nippzeit aus, die den Einfluß der Erdferne des Mondes spüren lassen. Alle diese Kurven weisen bereits vor Ablauf einer halben Tideperiode einen Wechsel des Vorzeichens auf. Der maximalen Abweichung um die mittlere Springzeit mit 40 Minuten stehen ein reguläres Minimum von 29<sup>m</sup> (Kurve c) zur Zeit der Solstitien bei mittlerer Distanz Erde-Mond und ein Maximum von 76<sup>m</sup> (Kurve g) bei Erdferne des Mondes zur Zeit der Äquinoktien gegenüber, während die alleinige Wirkung des Apogäums — d. h. bei mittlerer Deklination — es auf 64<sup>m</sup> (Kurve e) bringt. Diese Resultate sind sehr aufschlußreich, weil sie zeigen, daß sich die zeitliche Verschiebung durch den Einfluß von Parallaxe und Deklination fast

TABELLE 2

Extreme Abweichungen in der Eintrittszeit der Hochwasser im Gezeitenablauf bei 4 Tiden

Hafen	Amplitude in Zentimeter				Mittleres p %	vor (+) oder nach (—) der Springzeit in Minuten				vor (—) oder nach (+) der Nippzeit in Minuten			
	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>		a	c	e	g	a	c	b	f
Bergen	44	16	8	4	46,7	46	34	68	82	47	36	59	62
Esbjerg	66	16	11	5	61,0	29	20	50	60	32	21	41	47
Cuxhaven	135	34	21	10	59,7	30	22	50	60	33	23	42	48
Hoek van Holland	75	19	12	5	59,5	31	23	50	61	33	22	42	47
Dünkirchen	207	62	34	18	53,8	37	26	57	70	39	28	50	54
Le Havre	261	88	48	25	49,5	40	29	65	77	42	31	54	58
Saint Malo	375	149	71	36	43,1	49	38	75	88	51	38	64	66
Brest	204	74	41	21	46,7	45	32	72	86	47	33	60	62
Portsmouth	143	44	28	13	52,9	38	27	63	75	39	28	51	56
Dover	224	71	43	20	51,8	39	28	64	76	40	29	52	56
Whitby	165	52	35	14	52,0	39	28	66	77	40	30	52	57
Aberdeen	131	45	26	12	48,8	42	31	68	80	44	33	56	59
Lerwick	59	23	12	6	43,8	48	35	75	89	50	38	64	65
Oban	107	46	20	15	39,8	54	36	78	99	56	38	75	74
Liverpool	305	97	58	28	51,7	39	27	63	76	41	30	53	57
Cardiff	409	142	44	38	48,4	43	31	57	70	45	33	57	58

verdoppeln kann, falls die entsprechende Konstellation eintritt. Allerdings ist dazu ein relativ genaues Zusammentreffen der einzelnen Phasen nötig, was nicht allzu oft vorkommt.

Was die maximale Abweichung zur Nippzeit anbelangt, so erreicht sie — von den relativ unregelmäßigen Kurven mit kleineren Werten abgesehen — ihr reguläres Minimum wie bei der Springzeit um die Solstitien mit demselben Wert von 29<sup>m</sup> (Kurve c) und das Maximum mit 56<sup>m</sup> (Kurve f) zur Zeit der Äquinoktien bei gleichzeitiger Erdnähe des Mondes, während ein verhältnismäßig hoher Wert von 52<sup>m</sup> (Kurve b) bereits durch die Tag- und Nachtgleichen allein — d. h. bei mittlerer Mondparallaxe — zustande kommt. Um die möglichen Abweichungen unter verschiedenen lokalen Bedingungen verfolgen zu können, sind in Tab. 2 die Ergebnisse für jeweils 4 Konstellationen zur Springzeit (a, c, e, g) und zur Nippzeit (a, c, b, f) zusammengestellt, wie sie mit der Gezeitenrechenmaschine gewonnen und durch Ausgleichen geglättet worden sind.

Man erkennt in dieser Tabelle folgendes:

Bei Springzeit verringert sich die mittlere Verschiebung der Hochwassereintrittszeiten, die etwa zwischen 30 und 55 Minuten liegt, zur Zeit der Solstitien um 25—30%, was etwa 10 bis 15<sup>m</sup> ausmacht; zur Zeit des Apogäums erhöhen sich die Beträge der mittleren Abweichung um 50—70% bzw. durchschnittlich 20 bis 25<sup>m</sup>; im Äquinoktium und bei gleichzeitiger Erdferne des Mondes übertreffen die extremen Abweichungen die Mittelwerte um 80—100% bzw. etwa 30 bis 40<sup>m</sup>, so daß die doppelten Beträge des Mittelwerts auftreten können, wie schon am Beispiel Dover offensichtlich wurde.

Zur Nippzeit reduzieren sich die mittleren Abweichungen um die Zeit der Solstitien ebenfalls um 25—30% bzw. rund 10 bis 15<sup>m</sup>; um dieselben Spannen wachsen die Verschiebungen zur Zeit der Äquinoktien; bei gleichzeitiger Erdnähe des Mondes werden die Mittelwerte um 30—45% bzw. durchschnittlich ziemlich genau 15<sup>m</sup> übertroffen. Die Streuungen bei den einzelnen Orten sind eine Folge des verschiedenen Verhältnisses der Amplituden der 4 Grundtiden zueinander, wodurch beispielsweise Cardiff um die Springzeit relativ kleine Abweichungen — Ursache ist die unterdurchschnittlich kleine N<sub>2</sub>-Amplitude — aufweist.

Die in Tab. 2 gegebenen Werte sind noch nicht die extrem möglichen Abweichungen von den mittleren Eintrittszeiten, da nur 4 Partialtiden berücksichtigt sind. Aber selbst diese Teiltiden sind mit Ausnahme der reinen Sonnentide S<sub>2</sub> nicht zeitlich konstant, sondern einem Wechsel der Amplitude unterworfen, der

TABELLE 3

Zuordnung der Knotenfaktoren für die Amplituden der 4 Grundtiden

Jahr	Neigung Mondbahnebene/Ekliptik	Länge des aufsteigenden Mondknotens	Wert des Knotenfaktors f			
			M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>
1950	I = 23,60° (Max.)	N = 0°	0,963	1,000	0,963	1,317
1955	23,98° (Mittel)	270°	1,000	1,000	1,000	1,000
1959	18,31° (Min.)	180°	1,038	1,000	1,038	0,748
1964	23,98° (Mittel)	90°	1,000	1,000	1,000	1,000

von der Drehung der Mondbahnebene gegenüber der Ekliptik herrührt und daher eine Periode von 18,61 Jahren hat, wie es einem Umlauf der Mondbahnknoten entspricht. Die Amplituden sind deshalb mit einem sog. Knotenfaktor  $f$  behaftet, der sie teilweise merklich modifiziert, wie dies die Zusammenstellung in Tab. 3 zeigt.

In der Folge dieser Variationen treten Abweichungen gegenüber Tab. 2 auf, die für den Hafen Dover berechnet worden sind. Es ergibt sich in den Jahren einer speziellen Konstellation in bezug auf die Lage der Mondbahnknoten das folgende Bild der Tab. 4, mit dem die Beispiele der möglichen Variationen abgeschlossen werden mögen.

TABELLE 4  
Schwankungen der Abweichungen der Eintrittszeiten der Hochwasser von Dover  
infolge der Drehung der Mondbahnknoten

Jahr	vor (+) oder nach (—) der Springzeit in Minuten				vor (—) oder nach (+) der Nippzeit in Minuten			
	a	c	e	g	a	c	b	f
1950	41	25	65	82	42	27	58	61
1955	39	28	64	76	40	29	52	56
1959	37	30	62	70	39	31	47	52
1964	39	28	64	76	40	29	52	56

#### Literatur

- [1] Deutsches Hydrographisches Institut, Gezeitentafeln für das Jahr 1959. Hamburg 1958.
- [2] HANSEN, W., Amplitudenverhältnis und Phasenunterschied der harmonischen Konstanten in der Nordsee. Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie, Berlin 1938.
- [3] HANSEN, W., Gezeiten und Gezeitenströme der halbtägigen Hauptmondtide  $M_2$  in der Nordsee. Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Ergänzungsheft 1, Hamburg 1952.
- [4] HORN, W., Gezeitenerscheinungen (Sonderdruck aus dem „Lehrbuch der Navigation für die Kriegs- und Handelsmarine“). Bremen 1942.
- [5] Oberkommando der Kriegsmarine, Karten der harmonischen Gezeitenkonstanten 0—20 für das Gebiet der Deutschen Bucht. Ausgabe A. Bearbeitet vom Marineobservatorium Wilhelmshaven. Berlin 1939.
- [6] Oberkommando der Kriegsmarine, Karten der harmonischen Gezeitenkonstanten für das Gebiet der Nordsee. Ausgabe B. Bearbeitet vom Marineobservatorium Wilhelmshaven, Berlin 1939.
- [7] SAGER, G., Gezeitenvoraussagen und Gezeitenrechenmaschinen. Verlag Seehydrographischer Dienst der DDR, Stralsund 1955.
- [8] SAGER, G., Die Beträge der Springverspätung in der Nordsee, dem Kanal und der Irischen See. Seeverkehr, H. 11 (1961)
- [9] SAGER, G., Die geophysikalischen Grundlagen der maschinellen Vorhersage der Gezeiten. Wissensch. Zeitschr. der Karl-Marx-Universität Leipzig, Mathematisch-Naturwiss. Reihe, 9 (1959/60) H. 2.
- [10] SAGER, G., Ergänzende Betrachtungen zur Karte der Linien gleichen Springtidenhubs der halbtägigen Gezeit  $M_2 + S_2$ . Beiträge zur Meereskunde, H. 2/3 (1960).

Abschluß der Arbeit: 9. 3. 1961

## Grundsätzliche Überlegungen zur Definition von Sturmfluten in Tidegebieten\*<sup>1)</sup>

Von GÜNTHER SAGER

*Zusammenfassung:* Auf der Grundlage der Ausführungen zum Begriff „Sturmflut“ durch LÜDERS (1956) wird ein Kriterium aufgestellt, um aus der Vielzahl von Definitionen diejenigen mit allgemeinsten Gültigkeit auszusondern. Zu diesem Zweck werden die vorhandenen Festsetzungen eingehend analysiert und aus dem Ergebnis die Folgerungen gezogen. Für eine Anzahl Orte im Bereich der deutschen Nordseeküste werden einige Definitionen einander gegenübergestellt und aus den brauchbarsten Mittelwerte gebildet, die als annähernd repräsentativ gelten können.

### Einleitung

Sturmfluten gehören zu den tiefgreifendsten Geschehnissen im Küstenbereich, denen Hunderte von Beiträgen gewidmet worden sind, die von ursprünglich einfachen Schilderungen der aufgetretenen Schäden und Verluste in neuerer Zeit zunehmend auf Ursachen, Versuche von Vorhersagen und statistische Vergleiche der einzelnen Fluten ausgedehnt wurden. Mit dem letztgenannten Problem taucht die Frage nach einer präzisen Definition des Begriffes „Sturmflut“ auf, zu der recht unterschiedliche Auffassungen vorgetragen worden sind, die von LÜDERS, dem um den Küstenschutz verdienstvollen Forscher, in „Wasser und Boden“ 1956 übersichtlich zusammengestellt und durch einen weiteren eigenen Vorschlag ergänzt worden sind [7]. Seine Arbeit sollte ein Beitrag zur Diskussion der verschiedenen Definitionen sein, um nach Möglichkeit zu einer einheitlichen Festlegung wenigstens für das gesamte deutsche Küstengebiet der Nordsee zu gelangen. Leider war das Echo auf diese Anregung von LÜDERS nicht allzu groß; jedenfalls hat sich an jener Stelle nur H. SCHULZ mit dem Problem der Charakterisierung von Sturmfluten in Tidemeeren befaßt [8], wobei er den beachtlichen Vorschlag des „Füllungsgrades“ innerhalb eines Sturmflutbereiches machte, auf den aber hier nicht eingegangen sei, da er über die Grundfrage der Definition einer Sturmflut hinausgeht.

Überblickt man das reichlich halbe Dutzend Vorschläge, die LÜDERS angeführt hat — meistens mit interessanten Notizen über die Entstehung versehen —, so

<sup>1)</sup> Die Ereignisse der Sturmflut vom 16/17. Februar 1962 konnten in diesem Beitrag nicht mehr berücksichtigt werden, ändern aber an den prinzipiellen Überlegungen nichts.

stellt man fest, daß fast alle nur einen bestimmten Küstenabschnitt als Gültigkeitsbereich beanspruchen. Woran liegt das? Bereits im deutschen Küstengebiet der Nordsee wechselt der Springtidenhub zwischen rund 2 m bei Sylt und 4 m im Jadebusen. Ebenfalls recht unterschiedlich ist der Einfluß des sog. „Windstaues“, d. h. der Veränderung der Wasserstandshöhe infolge der Einwirkung lokaler und entfernterer Windfelder auf die verschiedenen Küstenabschnitte zu bewerten, wobei gewisse Ähnlichkeiten beider Effekte bezüglich der gesteigerten Wirkung in Buchten und der Abnahme nach der offenen See zu vorhanden sind. Daneben beeinflussen noch weitere Faktoren den Wasserstand wie das Oberwasser der Flüsse, Eigenschwingungen der Meeresbecken, Seiches, statischer Luftdruckeffekt, Coriolis-Kraft, Dichteunterschiede u. a. m. Der jeweils beobachtete Wasserstand ist die Summe aller dieser Einzelfaktoren und teilweise noch ihrer Wechselwirkungen wie beispielsweise zwischen Windstau, Gezeiten und Vereisung. Aber bereits die beiden Hauptfaktoren Gezeiten und Windstau reichen aus, um das Problem hinreichend kompliziert zu machen, so daß wir uns bei den folgenden Betrachtungen darauf beschränken wollen.

LÜDERS weist in seiner Arbeit auf die verschiedenen Ausgangspunkte der einzelnen Definitionen hin wie das Schadenmoment (RAUSCHELBACH), reinen Windstau-effekt (LEPPIK), gemischten Tide- und Windstauanteil (OTTO und BRANDT), Tideelemente und darauf reduzierten Windstau (LÜDERS), statistischen Mittelwert hoher Wasserstände (SCHELLING) und gleiche Häufigkeit von Wasserstandshöhen (WEMELSFELDER) und zeigt dann in gewissem Rahmen die Mängel der einzelnen Definitionen auf. Er stellt abschließend einen verbesserten eigenen Vorschlag zur Diskussion und gibt praktische Beispiele sowie die Vergleiche der verschiedenen Festsetzungen für Cuxhaven, aus denen derart große Unterschiede der Sturmflutwasserstände resultieren, daß sich die Frage nach einem Kriterium aufdrängt, das es gestattet, diejenigen Vorschläge auszusondern, die nur begrenzte lokale Bedeutung besitzen und keine Verallgemeinerung zulassen.

Ist nun ein Kriterium denkbar, das allein aus der Struktur der zur Definition des Sturmflutwasserstands zugrunde gelegten Formel abzuleiten ist? Man möchte dies zunächst bezweifeln, da die anschließend aufgeführten Definitionen sehr unterschiedliche Grundlagen besitzen und im allgemeinen nur für einen begrenzten Küstenbereich benutzt worden sind. Aber gerade in dieser Einschränkung liegt die schwache Seite der meisten Definitionen. Es wird in den weiteren Ausführungen gezeigt, daß unter den Definitionen solche mit weitgehend allgemeiner Gültigkeit vorhanden sind, die unbedingt den Vorzug verdienen. Das Kriterium für die Brauchbarkeit einer Definition des Begriffs „Sturmflut“ lautet daher: Die Festsetzung der Sturmfluthöhe sollte so erfolgen, daß die resultierenden Grenzwasserstände sowohl unter der Wirkung mittlerer als auch extrem hoher oder sehr geringer bzw. verschwindender Tidenhübe sinnvoll bleiben.

Um sich die volle Tragweite dieser Forderung vor Augen zu führen, reicht es kaum aus, nur das Gebiet der Deutschen Bucht zu berücksichtigen, sondern darüber hinaus solche Gebiete einzubeziehen, die den entsprechenden Tidecharakter tragen, wozu letztlich die Gesamtheit der nord- und mitteleuropäischen Gewäs-

ser herangezogen wird. Damit eröffnet sich die Aussicht, sogar über den Bereich der Grenzen der einzelnen Staaten hinaus vielleicht eines Tages zu einer einheitlichen Festsetzung dieses so wichtigen Begriffes zu gelangen. Im folgenden werden daher alle von LÜDERS zitierten Definitionen nochmals herangezogen und dem Kriterium des Verhaltens unter extremen Tidebedingungen unterworfen, das dann über die Brauchbarkeit der Festlegungen entscheiden wird, wobei im voraus festgestellt sei, daß damit eine strenge Auswahl getroffen wird.

#### Kritische Betrachtung vorhandener Sturmflut-Definitionen

Bei der folgenden Bewertung wird in der von LÜDERS gewählten historischen Reihenfolge vorgegangen, wobei von vornherein betont sei, daß keine Definition gänzlich frei von Mängeln ist, sich aber grundlegende gegenüber kleineren Unzulänglichkeiten herauschälen lassen. Da nicht alle Leser mit den in der Gewässerkunde üblichen Abkürzungen vertraut sein werden, sei es gestattet, die hier verwendeten Kurzbezeichnungen zur Erleichterung der Übersicht an den Anfang zu stellen. Es bedeuten die vor den Tidehochwasserstand (Thw), Springtidehochwasser (SpThw) oder den Wasserstand in gezeitenfreiem Meeren (W) gesetzten Buchstaben

HH ··· höchster jemals beobachteter Wert (absolutes Maximum),

H ··· höchster Wert innerhalb eines Zeitraumes, z. B. der Jahresreihe 1946/55 (Intervall-Maximum)

MH ··· Mittel der H aus einzelnen konsekutiven Teilintervallen, z. B. Mittelwert der Maxima der einzelnen Abschlußjahre von 1946 bis 1955

M ··· arithmetisches Mittel aller Beobachtungen zu festgelegten Terminen.

Es ergeben sich damit die folgenden Definitionen erhöhter Wasserstände:

[1] RAUSCHELBACH (1925) Anwendungsbereich Elbemündungsgebiet

$$\text{Sturmflut} = M\text{Thw} + 1,20 \text{ m,}$$

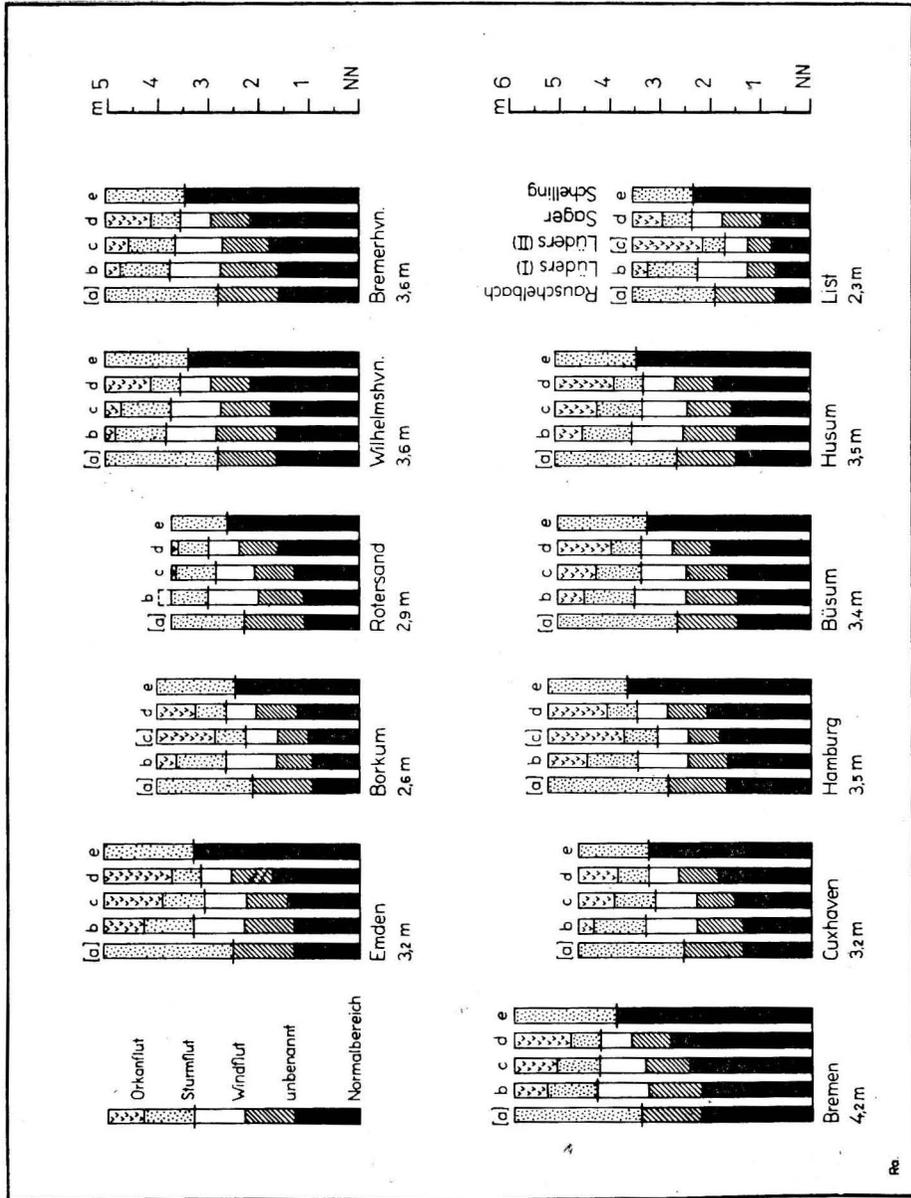
wobei

$$M\text{Thw} \sim M. \text{Wstd} + M_2.$$

*Grundsätzliches:* Das MThw liegt aus den laufenden Beobachtungen der Wasserstände (Gewässerkundliche Jahrbücher) fertig vor; zwischen Gezeitenwirkung und Windstau ist nicht scharf getrennt, da nur bei MThw ein Windstau von 1,20 m deutlich wird, während er zur Springzeit niedriger und zur Nippzeit höher zu sein pflegt; bei den Gezeiten wird der am häufigsten auftretende HW-Wert zugrunde gelegt; eine Einteilung in verschiedene Grade der Sturmfluten ist nicht gegeben, kann aber durch weitere Stufen konstanten Zuschlags nachgeholt werden; die Windstauwirkung wird für offene Küsten und Buchten einheitlich bewertet.

*Nachteile:* Bei größeren Tidenhüben — außerhalb der Deutschen Bucht — wird der Unterschied der höchsten regulären Tidehochwasser — Springtiden zur Zeit der Äquinoktien und des Perigäums — so groß, daß die Spanne von 1,20 m fast oder ganz erreicht werden kann, weshalb es ratsamer erschiene, statt vom MThw vom MSpThw auszugehen, das allerdings nur etwa halb so häufig wie der mittlere Wert auftritt, aber alle 15 Tage vorkommt.

*Extremes Verhalten:* Bei verschwindender Gezeitenwirkung verbleibt nur der konstante Anteil von 1,20 m Windstauwirkung, wie er z. B. für die Ostseeküste verschiedentlich benutzt wird; bei sehr hohen Gezeiten kann die Spanne von 1,20 m zwischen mittlerer und höchster



Darstellung der Wind-, Sturm- und Orkanfluthöhen für 18 Orte im Bereich der deutschen Nordseeküste nach verschiedenen Autoren (eingeklammerte Werte wurden bei der Mittelung nicht benutzt).

astronomischer Tidehöhe, ja sogar zwischen dieser und der Springtidenhöhe überschritten werden, ohne daß man es überhaupt mit einem Windstau effekt zu tun hätte und deshalb von einer „Sturmflut“ sprechen dürfte.

[2] OTTO und BRANDT (1926) Anwendungsbereich Wesermündungsgebiet

$$\begin{aligned} \text{Sturmflut} &= \text{astronomisches Thw} + 1,0 \text{ m,} \\ \text{schwere Sturmflut} &= \text{astronomisches Thw} + 2,0 \text{ m.} \end{aligned}$$

*Grundsätzliches:* Die ständig wechselnden astronomischen Thw liegen auf Dezimeter berechnet für sog. Bezugsorte in den Gezeitentafeln vor und können für die übrigen Orte interpoliert werden, wobei allerdings die dm-Genauigkeit nicht mehr zu garantieren ist; zwischen Gezeiten und Windstau ist bei HW-Zeit eine klare Trennung erfolgt, wobei kein Unterschied der Windstauwirkung zwischen offener Küste und Buchten gemacht wird; eine Unterteilung in 2 verschiedene Grade der Sturmfluten ist gegeben.

*Nachteile:* Beim Zusammentreffen des Windstaues mit  $N_p\text{Thw}$  werden bei größeren Tidenhöhen bereits Sturmfluten definiert, die nicht einmal die Höhe der größten astronomischen Hochwasser erreichen und daher nicht als solche empfunden werden, so daß gleich hohe Wasserstände bezüglich ihrer Erscheinung als Sturmflut unterschiedlich beurteilt werden.

*Extremes Verhalten:* Bei abklingender Gezeitenwirkung verbleibt der Windstau, der mit 1,0 m angesetzt wird und beispielsweise als untere Grenze zur Charakterisierung leichter Sturmfluten an manchen Strecken der Ostseeküste dient; bei großen Tidenhöhen wird die Differenzhöhe von 1,0 m belanglos um die Zeit der Nipptiden, da dann die sog. Sturmfluthöhe eventuell unterhalb der regulären Tidehochwasser bleibt, während bei Springzeit eine reale Bedeutung vorhanden ist, wobei allerdings der Wert 1,0 m relativ niedrig gewählt erscheint.

[3] LÜDERS (1936) Anwendungsbereich Jadebusen

$$\begin{aligned} \text{Sturmflut} &= M\text{Thw} + 1/3 M\text{Thb,} \\ \text{schwere Sturmflut} &= M\text{Thw} + 1/3 M\text{Thb} + 1,0 \text{ m,} \\ \text{sehr schwere Sturmflut} &= M\text{Thw} + 1/3 M\text{Thb} + 2,0 \text{ m,} \end{aligned}$$

wobei  $M\text{Thw} \sim M \cdot \text{Wstd.} + M_2$  und  $1/3 M\text{Thb} \sim 2/3 M_2$ .

*Grundsätzliches:* Die Grenze für Sturmfluten ist allein auf die Elemente der Gezeitenbewegung basiert, um die oft ähnliche Tendenz des höheren Effekts von Tidebewegung und Windstau in Buchten zum Ausdruck zu bringen; die Elemente  $M\text{Thw}$  und  $M\text{Thb}$  sind für die einzelnen Küstenorte bekannt und sofort greifbar; die Abstufung des Wirkungsgrades der Sturmfluten ist durch glatte Meter-Stufen vorgenommen; das Element des Windstaues tritt in der ersten Stufe nicht mehr explicit auf, woraus entsprechende Folgen resultieren.

*Nachteile:* Während die Richtung der Gezeitenwelle festliegt, variiert der Windstau mit der vorherrschenden Richtung der maßgeblichen Windfelder und braucht daher nicht immer der Zunahme des Tidenhubs in Buchten in quasiparalleler Weise zu folgen, so daß keine allgemeingültige Proportion zwischen  $M\text{Thb}$  und Windstau besteht.

*Extremes Verhalten:* In Gebieten mit verschwindendem Tidenhub reduziert sich der Ausdruck für die Sturmflut auf Null, erst die beiden nächsten Stufen bleiben existent, wobei allerdings die Begriffe verzerrt werden; über weite Bereiche des Tidenhubs erreicht der äquivalente Näherungsausdruck  $5/3 M_2$  dagegen Werte, die zusammen mit dem mittleren Wasserstand Höhen ergeben, die meistens reichlich den höchsten regulären Tidehochwassern entsprechen, wobei natürlich örtlich Streuungen auftreten.

[4] WEMELSFELDER (1939) Anwendungsbereich holländische Nordseeküste

$$\text{Sturmflut} = \text{alle Wasserstände, die eine mittlere Häufigkeit von } 0,5 \text{ im Jahr überschreiten.}$$

*Grundsätzliches:* Ausgangspunkt ist die etwas willkürliche Festsetzung einer durchschnittlichen Häufigkeit 1 in der Zeit von 2 Jahren, wie sie ungefähr den durch Windstärke 8 erzeugten Fluthöhen entsprechen soll; es werden dabei die relativ seltenen Spitzenwasser-

stände eines Ortes ausgesondert, in denen im allgemeinen neben dem betreffenden Windstau-effekt ziemlich hohe astronomische Tidewasserstände enthalten sind, ohne die kaum Extremwerte auftreten können; die örtlichen Verschiedenheiten der Gezeitelemente und des Windstaus gehen jeweils in verschiedenen Kombinationen implicite bei der Aussonderung ein, so daß für alle Küstenorte die gleiche Häufigkeit von „Sturmfluten“ bei jeweils unterschiedlichen Wasserständen resultiert.

*Nachteile:* Bei der geringen Häufigkeit von 0,5 im Jahr sind ziemlich lange Wasserstandsreihen erforderlich, um den Grenzwaterstand hinreichend genau festzulegen, was im allgemeinen nur für Orte mit Registrierpegeln der Fall ist, die allein mit ziemlicher Sicherheit die Spitzeneffekte wiedergeben; für die meisten Küstenorte bleibt deshalb der genaue Grenzwert des Sturmflutwasserstands unbekannt; hinzu kommt der Einfluß säkularer Änderungen während langer Jahresreihen, der sich störend auswirkt, zumal sich dabei die Häufigkeit ändern kann.

*Extremes Verhalten:* Die Methode ist unabhängig von der Größe des Tidenhubs und gilt auch für gezeitenfreie Meere; je größer der Tidenhub wird, um so mehr streuen auch die Spitzenwerte und um so längere Meßreihen der Wasserstände sind erforderlich, um den Grenzwert präzise festzulegen, so daß säkulare Schwankungen zunehmend Einfluß gewinnen.

[5] LEPPIK (1950) Anwendungsbereich Elbemündungsgebiet

$$\text{Sturmflut} = \text{astronom. Tidewasserstand} + 2,0 \text{ m.}$$

*Grundsätzliches:* Es wird der reine Windstau-effekt herausgeschält, wie er sich durch Differenzbildung der eingetretenen Wasserstandskurve und der astronomisch bedingten Tidekurve ergibt; Voraussetzung für die Bestimmung des Windstaus ist eine lückenlose Kenntnis beider Kurven, wozu einerseits Registrierpegel und zum andern mindestens harmonische Analysen der wichtigsten Partialtiden nötig sind, was nur für bestimmte Küstenorte erfüllt ist; eine Abstufung ist nicht getroffen.

*Nachteile:* Die Methode liefert vorwiegend um die Zeit des Hochwassers Höhen des Wasserstands, die man in bezug auf ihre Auswirkungen auf die Küste als Sturmfluten bezeichnen muß; da der Anteil des Windstaus auf 2,0 m festgesetzt ist, ergeben sich für mittlere Tidenhübe bei MSpThw sehr große Werte des Wasserstands, bei MNpThw liegen sie etwa im Bereich dessen, was man als Sturmflut auffassen kann; zwischen Mittel- und Niedrigwasser der Gezeit macht sich der Windstau bei mittleren Gezeitenunterschieden nicht mehr als Sturmflut bemerkbar, weil er etwa mit den höchsten astronomischen Tidewasserständen zusammenfällt.

*Extremes Verhalten:* In tidefreien Gewässern wird der Windstau von 2,0 m wirksam, der mindestens zu einer mittelschweren Sturmflut gehört; bei hohen Tidenhüben kann der gegebene Ausdruck erst etwa um die Zeit der mittleren Springtidenhübe zu einer Sturmflut ausreichen.

[6] SCHELLING (1952) Anwendungsbereich Westküste von Schleswig-Holstein

$$\begin{aligned} \text{Sturmflut} &= \text{Überschreiten des örtlichen MHTw,} \\ \text{wobei MHTw} &= \text{Mittel der höchsten beobachteten Wasserstände aus} \\ &\quad \text{verschiedenen Abflußjahren.} \end{aligned}$$

*Grundsätzliches:* Die Festsetzung dieses Mittelwerts aus den jährlichen Maxima erfolgt aus relativ langen Wasserstandsreihen, da die einzelnen Maxima jedes Jahres recht verschieden ausfallen und erst aus vielen Extremwerten ein solcher repräsentativer Mittelwert gebildet werden kann, der sich auch bei Eintritt ungewöhnlich hoher oder geringer künftiger Jahresmaxima nicht mehr wesentlich ändert. In den MHTw sind alle möglichen Kombinationen von Tidewasserständen und Windstau implicite enthalten und gemittelt, woraus sich für die einzelnen Küstenorte eine einigermaßen gleiche Häufigkeit ergibt.

*Nachteile:* Die Wasserstandsreihen sind wegen der erforderlichen Spitzenwerte nur mit Registrierpegeln sicher zu gewinnen, also nur für eine begrenzte Anzahl von Orten vorhanden; 10-Jahresreihen, wie sie das Gewässerkundliche Jahrbuch verzeichnet, reichen im

allgemeinen nicht aus; durch die Dauer der Beobachtungsreihen können säkulare Schwankungen Einfluß gewinnen, so daß Reihen, die nicht denselben Zeitraum bedecken, zu anderen Werten des MHTw führen können.

*Extremes Verhalten:* An tidearmen oder tidefreien Küsten geht der obige Ausdruck automatisch in MHW über, das entsprechend definiert ist, im wesentlichen den Windstau repräsentiert und damit etwa ein Mittel aus einer Reihe jeweils höchster jährlicher Windstauwerte ist, das einen brauchbaren Wert ergibt; auch bei hohen Tidenhüben bleibt das MHTw brauchbar, obwohl erst in sehr langen Reihen die höchsten astronomischen Tidehochwasser auch genügend oft mit extremen Windstauwerten zusammenfallen, so daß indessen säkulareffekte auftreten können.

[7] LÜDERS (1936 und 1956) Anwendungsgebiet niedersächsische Nordseeküste

$$\begin{aligned} \text{Windfluten} &= \text{MSpThw} + 1/4 \text{ MSpThb,} \\ \text{Sturmfluten} &= \text{MSpThw} + 1/2 \text{ MSpThb,} \\ \text{Orkanfluten} &= \text{MSpThw} + 3/4 \text{ MSpThb} \end{aligned}$$

oder wegen  $\text{MSpThw} \sim \text{M.Wstd.} + \text{M}_2 + \text{S}_2$ ,  $\text{MSpThb} \sim 2(\text{M}_2 + \text{S}_2)$

$$\begin{aligned} \text{Windfluten} &\sim \text{M.Wstd.} + 3/2(\text{M}_2 + \text{S}_2), \\ \text{Sturmfluten} &\sim \text{M.Wstd.} + 2(\text{M}_2 + \text{S}_2), \\ \text{Orkanfluten} &\sim \text{M.Wstd.} + 5/2(\text{M}_2 + \text{S}_2). \end{aligned}$$

*Grundsätzliches:* Ausgangspunkt ist die Überlegung, daß sowohl der Tidenhub als auch der Windstau in Buchten oft eine ähnliche Zunahme gegenüber der offenen Küste aufweisen; die Elemente MSpThw und MSpThb sind für relativ viele Küstenorte als reine Ausdrücke der Tidebewegung bekannt und unmittelbar verfügbar; da die einzelnen Stufen ebenfalls auf Gezeitelemente zurückgeführt werden, wird ein funktionaler Zusammenhang zwischen Tidebewegung und Windstau unterstellt; die Häufigkeit an den verschiedenen Küstenorten der Deutschen Bucht ist relativ einheitlich.

*Nachteile:* Da der Windstau keine Funktion des Tidenhubs ist, kommt es zu Willkürlichkeiten, wobei nach LÜDERS eigenen Angaben zum Beispiel für Wilhelmshaven zwischen der Grenze der Orkanfluten und des überhaupt aufgetretenen höchsten Wasserstandes (HHTw) nur eine Spanne von 0,32 m verbleibt, während bei Borkum dieses Intervall 1,19 m ausmacht, was sich aus dem extremen Verhalten erklärt.

*Extremes Verhalten:* Bei kleineren Tidenhüben wie z. B. in Ringkøbing mit MSpThb = 1 m ergeben sich Stufen von nur noch jeweils  $1/4$  m, insgesamt also eine Höhe von  $3/4$  m über MSpThw, die aber kaum als Windflut gezählt werden kann; in tidefreien Meeren verschwinden alle Stufen und der Ausdruck wird gegenstandslos; bei großem Tidenhub wie beispielsweise in London mit MSpThb = 6,6 m können Stufen von jeweils 1,65 m erscheinen, so daß eine „Orkanflut“ erst ab 5 m über MSpThw auftreten würde; bereits bei Wilhelmshaven nähern wir uns einem solchen Fall mit imaginären Wasserstandshöhen, da die Restspanne nur noch  $1/3$  m beträgt.

### Sturmflutdefinitionen mit allgemeingültigem Charakter

Aus den kritischen Betrachtungen der einzelnen Definitionen folgt ihre Brauchbarkeit in größerem Rahmen, falls sie sich als beiderseits — für extreme und minimale Tidenhübe — extrapolierfähig erweisen. Aus der Vielzahl der Eigenschaften sind diejenigen mit entscheidenden Merkmalen zum Zwecke einer schnellen Übersicht und Beurteilung in Tab. 1 zusammengefaßt, wobei noch ein anschließend erläuterter eigener Vorschlag hinzugefügt wurde.

Die Rubrik „Verhalten bei extremen Tidenhüben“ wird zum Prüfstein für den höheren Gesichtspunkt einer weiträumigen Anwendbarkeit. Dabei scheiden zu-

TABELLE I  
Grundigenschaften der Sturmflutdefinitionen verschiedener Autoren

Verfasser	Ausdruck	Stufen	Verhalten bei kleinen und großen Tidenhuben	Mängel des Verfahrens
Rauschelbach Otto und Brandt Lüders (I)	MThw + 1,20 m astron. Thw + 1,0m MThw + $\frac{1}{3}$ MThb	keine +1, +2 m +1, +2 m	real real versagt brauchbar	Basis etwas zu niedrig wechselnde Basis teilweise Reduktion des Windstaues auf Gezeitengrundwerte lange Wasserstandsreihen nötig
Wemelsfelder Leppik	Häufigkeit 0,5/a astron. Tidewasser- stand + 2 m	keine keine	brauchbar zu groß brauchbar	stark wechselnde Basis längere Wasserstandsreihen nötig
Schelling Lüders (II)	über MHThw MSPThw + $\frac{1}{2}$ MSP Thb	keine $+\frac{1}{4}, +\frac{1}{2},$ $+\frac{3}{4},$ MSPThb	versagt brauchbar	Reduktion des Windstaues auf reine Gezeitengrundwerte
Sager	MSPThw + 0,10 · MSPThb + 1,40 m	+ 0,80, + 1,40, + 2,00 m	bedingt brauchbar	lokale Verschiedenheiten des Wind- staues nicht explizite berücksichtigt

nächst die Definitionen mit wechselnder Basis aus, da sie keine festen Grenzen für Sturmfluthöhen ergeben (LEPPIK, OTTO und BRANDT). Auch solche Definitionen, die gar nicht oder nur einseitig extrapolierfähig sind, lassen sich nicht allgemein verwenden (LÜDERS II bzw. LÜDERS I und RAUSCHELBACH).

LÜDERS hat zwar den Versuch unternommen, den unterschiedlichen Einfluß des Windstaues als Funktion der orographischen Bedingungen anzusetzen, wozu allerdings das Element des mittleren Tiden- bzw. Springtidenhubs nicht allgemein geeignet erscheint. Somit verbleiben von den 7 Vorschlägen nur noch diejenigen von WEMELSFELDER und SCHELLING, bei denen eine Differenzierung nach orographischen Bedingungen implizite in den Festsetzungen enthalten ist. Es scheinen sich so allein die statistischen Methoden zu behaupten, in denen Tide- und Windstauanteil in verschiedensten Kombinationen enthalten sind, sich somit also einer Trennung entziehen. Um die von RAUSCHELBACH und LÜDERS angestrebten Formen mit einer Separation beider Effekte extrapolationsfähig zu machen, muß man sich die folgenden Forderungen vergegenwärtigen:

1. Die Formel für die Festlegung der Sturmflutgrenze soll auch bei kleinen oder verschwindenden Tidenhuben nicht sinnlos werden; deshalb muß sie ein von den Gezeitenelementen unabhängiges, also zeitlich konstantes Glied erhalten, das mit  $c$  bezeichnet sei;

2. die Formel soll auch bei hohen astronomischen Tidehochwassern gültig bleiben, weshalb sowohl das MThw als auch MSPThw nicht als Basis ausreichen; da die Springtidenhöhe in den nord- und mitteleuropäischen Gewässern — der Verfasser ist darauf an anderer Stelle ausführlicher eingegangen [9] — bei Erdnähe des Mondes im Mittel 12—16% und bei gleichzeitig eintretenden Äquinoktien um 18—23% größer als bei mittlerer Springzeit sind, erscheint ein Zuschlag der mittleren Unterschiede — also rund 20% — zum MSPThw angebracht, der deshalb  $\frac{1}{2} \cdot 20\%$  MSPThb = 0,10 MSPThb ausmacht. Damit ist in Gebieten großen Tidenhubs dem Auftreten erheblich über dem MSPThw liegender astronomisch bedingter Tidehochwasserstände Rechnung getragen, z. B. ist in London 0,10 MSPThb = 0,66 m.

Aus (1) und (2) folgt bei gleichzeitiger Abstufung

$$\begin{aligned} \text{Windflut} &= \text{MSPThw} + 0,10 \text{ MSPThb} + c_1, \\ \text{Sturmflut} &= \text{MSPThw} + 0,10 \text{ MSPThb} + c_2, \\ \text{Orkanflut} &= \text{MSPThw} + 0,10 \text{ MSPThb} + c_3, \end{aligned}$$

wobei die  $c_1$ ,  $c_2$  und  $c_3$  von den orographischen Verhältnissen abhängen, die den Windstau beeinflussen.

Bei den Abstufungen ist den Bezeichnungen von LÜDERS gefolgt, wobei aber betont sei, daß Wortverbindungen mit Wind, Sturm und Orkan unter Hinweis auf entsprechende Windstärken streng genommen nur für einen bestimmten Tidewasserstand wie z. B. MThw sinnvoll sind, nicht aber mit einem beliebigen Wert, da stets die Summe aus Tidewasserstand und Windstau in Erscheinung tritt und diese noch mit den orographischen Bedingungen und der Richtung der herrschenden Windfelder variiert. Ausdrücke wie Wind-, Sturm- und Orkanflut haben am ehesten in tidefreien Meeren Berechtigung, da es sich dort primär um den Windstau handelt. In Tidemeeren braucht der „Sturmflut“ keineswegs nur eine „Sturmstärke“ zu entsprechen, wie eine „Windflut“ mit weit höheren Windstärken verbunden sein kann.

Problematischer ist dagegen die Festlegung der  $c$  und ihre Differenzierung für verschiedene Küstenorte aus den Windstaukurven, wobei man sich auf bestimmte Zuordnungen zwischen Windstau, Windstärke und Basiswasserstand einigen müßte, was bisher nur für wenige Küstenorte möglich erscheint, da mittlere Windstaukurven nur aus einer Vielzahl von Tidewasserständen, lokalen und entfernteren Windfeldern mit einiger Sicherheit zu gewinnen sind. Da erst wenige Jahrzehnte wissenschaftlicher Studien über den Ablauf und die Ursachen von Sturmfluten hinter uns liegen, ist die Zahl der verfügbaren und geeigneten Sturmflutsituationen noch relativ begrenzt, namentlich jener mit Katastrophencharakter. Aber selbst für nicht variable  $c$  hat der angegebene Ausdruck zumindest für das Gebiet der deutschen Nordseeküste gewissen Wert, wie nachher gezeigt wird.

Man wird sich aus den angeführten Gründen in der gegenwärtigen Epoche in erster Linie auf die Methode von SCHELLING stützen, obwohl eine 10jährige Reihe für die Festlegung des MHThw zu kurz ist, wie Tab. 3 zeigt, nach der die Werte der Reihe 1896/1950 um 1 bis 2 dm höher liegen als diejenigen von 1946/55,

ein Betrag, der andererseits schon in der Größenordnung der Küstensenkung liegt, die etwa mit dem arithmetischen Mittel aus End- und Anfangswert eingeht. Das von SCHELLING benutzte MHTw weist als Vorteil eine relativ gleiche Häufigkeit entlang den deutschen Küsten auf, wie die folgende Tab. 2 zeigt. Allerdings ist bei der Benutzung des Ausdrucks „Häufigkeit“ zwischen tide- und gezeitenfreien Gebieten grundsätzlich zu unterscheiden, da in den Gewässerkundlichen Jahrbüchern [11, 12, 13] im ersten Fall die Unterschreitungen in Tiden/Jahr (1 Jahr hat 705,8 Tiden), im zweiten Fall in Beobachtungen/Jahr (1 Jahr mit durchschnittlich 365,25 Tagen) angegeben sind, so daß sich die Zahlen etwa wie 2:1 (genauer 2: 24,8 Std./24 Std.) verhalten, zum Vergleich also erstere halbiert oder letztere verdoppelt werden müssen.

TABELLE 2  
Charakteristische Werte zur Schelling-Methode (über PN)

Ort	Nordsee			Ostsee			
	HHTw bis 1961	MHTw 1946/55	Häufigkeit Tiden/Jahr	Ort	HHW bis 1961	MHW 1946/55	Häufigkeit Tage/Jahr
Emden	1012	833	1,1	Flensburg	808	617	0,8
Borkum	906	747	1,1	Schleswig	825	609	0,6
Rotersand	893	761	1,3	Eckernförde	782	615	0,3
Wilhelmshaven	1006	840	1,7	Kiel	797	618	0,4
Bremerhaven	1004	847	0,8	Lübeck	837	629	0,3
Bremen	1097	890	ca. 3	Wismar	780	627	0,6
Cuxhaven	966	825	1,0	Warnemünde	743	602	0,6
Hamburg-St. Pauli	1024	864	ca. 1	Stralsund	739	589	0,6
Büsum	1005	825	0,8	Greifswald-Wieck	739	600	0,8
Husum	1009	850	1,2	Saßnitz	709	587	0,6
List	854	734	1,1	Wolgast	670	561	1,6

Um einen Vergleich mit den anderen Definitionen zu haben, sind für 11 deutsche Orte im Küstenbereich der Nordsee die entsprechenden Sturmflutwasserstände in Tab. 3 ermittelt und außerdem zur besseren Anschauung graphisch dargestellt. Am tiefsten liegen die Werte nach RAUSCHELBACH, obwohl seine Festsetzung noch nicht die niedrigste ist, da TOMCZAK [10] gelegentlich einer Betrachtung über Sturmfluten sogar bis auf MThw + 1,0 m heruntergegangen ist. Von den Vorschlägen nach LÜDERS liegen die Werte (I) sämtlich höher als die seiner neueren Definition (II), für die sich bei Borkum, Hamburg und besonders bei List — Ursache ist der kleinere Tidenhub an diesen Orten — unterdurchschnittliche Werte im Vergleich zu den anderen Autoren ergeben, so daß die Grenze der Brauchbarkeit seiner Definition erreicht ist. Für die Werte nach SCHELLING mußte die Jahresreihe 1946/55 benutzt werden, da diejenige von 1896/1950 für Rotersand und Bremerhaven lückenhaft ist und außerdem keine Angaben bekannt waren, wie die Küstensenkung in der langen Reihe berücksichtigt worden ist. Die Festlegung nach WEMELSFELDER konnte leider nicht numerisch belegt werden, da dem Verfasser dazu nicht die Unterlagen zur Verfügung standen. Es wäre sehr interessant, wie sich die Werte auf der Basis einer Häufigkeit von 0,5 (Tage pro Jahr)

höhenmäßig einfügen würden. Der vorhin erwähnte Vorschlag einer Beibehaltung von Gezeitengrundwerten ist für die vereinfachten und sachlich nicht genügend befriedigenden Ausdrücke

$$\text{Wind-/Sturm-/Orkanflut} = \text{MSpThw} + 0,10 \text{ MSpThb} + 0,80/+ 1,40/+ 2,00 \text{ m,}$$

worin die *c* durch feste Zahlen ersetzt wurden, berechnet und zeigt dennoch eine überraschende Übereinstimmung mit den Werten von LÜDERS und namentlich SCHELLING, so daß er für das Gebiet der deutschen Nordseeküste nicht weniger brauchbar ist als jene und dabei wie die letztere Definition die Möglichkeit der Extrapolation in sich trägt.

Wegen der relativ guten Übereinstimmung der 4 auf ganz verschiedenen Grundlagen basierenden Methoden (LÜDERS I und II, Verfasser, SCHELLING) lag es nahe, für die 11 ausgewählten Küstenorte den Mittelwert zu bilden, um damit einem auf Dezimeter gerundeten Grenzwasserstand für Sturmfluten nahezukommen. Für Borkum, Hamburg und List wurde aus den genannten Gründen das Dreiermittel (ohne LÜDERS II) gebildet. Die Tendenz zu relativ hohen Werten bei LÜDERS (I) wird durch die gegenüber den langjährigen Werten der Wasser-

TABELLE 3  
Ermittlung von Sturmflutwasserständen für 11 Orte im deutschen Küstenbereich nach verschiedenen Autoren

	Emden	Borkum	Rotersand	Wilhelmshaven	Bremerhaven	Bremen	Cuxhaven	Hamburg-St. Pauli	Büsum	Husum	List	Bemerkung
MThw (1946/55)	631	593	610	662	661	721	637	666	645	649	570	Wasserstandsgrundwerte
MThb (1946/55)	296	218	272	359	339	325	281	240	316	325	164	
MSpThw (1959)	642	601	629	674	677	746	652	680	662	659	578	
MSpThb (1959)	333	248	314	401	376	351	318	255	354	360	185	
MHTw (1946/55)	833	747	761	840	847	890	825	864	825	850	734	
HHTw bis 1961	1012	906	893	1006	1004	1097	966	1024	1005	1009	854	
Rauschelbach	751	713	730	782	781	841	757	786	765	769	690	Sturmflutgrenze
Lüders (I)	830	766	801	882	874	929	831	846	850	857	725	
Lüders (II)	809	725	786	875	865	922	811	808	839	839	671	
Sager	815	766	800	854	855	921	824	846	837	835	737	
Schelling (1896/1950), auf dm gerundet	850	760	unbekannt	860	unbekannt	900	840	870	850	870	740	
Mittelwert über PN	822	760	787	863	860	916	823	852	838	845	732	Mittel
Mittelwert über NN, gerundet, Angabe in m	3,2	2,6	2,9	3,6	3,6	4,2	3,2	3,5	3,4	3,5	2,3	

standsreihe 1896/1950 zu gering bewerteten Ziffern der Jahresreihe 1946/55 für SCHELLING zum Teil ausgeglichen, so daß die resultierenden Mittel an Gewicht gewinnen. Die Ergebnisse sind am Fuß der Tabelle 3 enthalten; sie zeigen übrigens, daß der in weiterem Rahmen bedingt brauchbare Vorschlag des Verfassers diesem Mittel aus 4 Definitionen durchschnittlich am nächsten kommt.

Damit seien die grundsätzlichen Überlegungen zur Definition von Sturmfluten in Tidegebieten abgeschlossen, obwohl sich noch eine Reihe von Gesichtspunkten wie beispielsweise der Einfluß der Definitionen auf die Unterhaltung der Deiche etc. ins Auge fassen ließ. In der Quintessenz sollte man dazu kommen, nur noch solche Festsetzungen zu benutzen, die sich ohne Einschränkungen des Tidenhubs als allgemeingültig erweisen, denn alle übrigen sind in irgendeiner Form künstlich aufgebaut und entbehren den organischen Zusammenhang mit den großartigen Varianten des Tidenhubs an den Küsten unserer Meere. Ebenso darf man auch verlangen, daß die Formeln für die Sturmflutgrenze mit abnehmendem Tidenhub stetig in die Werte für ein tidefreies Meer übergehen wie die Gezeitenelemente selbst. Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, daß diese Forderungen weitgehend erfüllbar sind, und möge damit die Wege für eine einheitliche Auffassung des so schwerwiegenden Begriffes Sturmflut ebenen helfen.

#### Literatur

- [1] RAUSCHELBACH, H., Die Sturmfluten der Nordsee und der Sturmflutwarnungs- und Gezeitendienst der Deutschen Seewarte. Deutsche Seewarte Hamburg 1925.
- [2] OTTO und BRANDT, Die Sturmfluten der Nordsee an der Wesermündung. Die Bautechnik, H. 3 (1926).
- [3] LÜDERS, K., Die Sturmfluten der Nordsee in der Jade. Die Bautechnik, H. 13 u. 15 (1936)
- [4] WEMELSFELDER, P. J., Wetmatigheden in het optreden van stormvloeden. De Ingenieur, H. 9 (1939).
- [5] LEPPIK, E., Die Sturmfluten in der Elbmündung in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch, Nr. 1 (1950).
- [6] SCHELLING, H., Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein. Die Küste, H. 1 (1952).
- [7] LÜDERS, K., Was ist eine Sturmflut? Wasser und Boden, H. 1 (1956).
- [8] SCHULZ, H., Die Charakterisierung von Sturmfluten an den Küsten von Tidemeeren. Wasser und Boden, H. 10 (1956).
- [9] SAGER, G., Ergänzende Betrachtungen zur Karte der Linien gleichen Springtidenhubs der halbtägigen Gezeit  $M_2 + S_2$ . Beiträge zur Meereskunde, H. 2/3 (1961).
- [10] TOMCZAK, G., Sturmfluten. Die Umschau in Wissenschaft und Technik, H. 6 (1955).
- [11] Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch für das Küstengebiet der Nord- und Ostsee, Abflußjahr 1959. Kiel 1960.
- [12] Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch für das Weser-Emsgebiet, Abflußjahr 1959. Hannover 1960.
- [13] Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch für das Elbegebiet, Abflußjahr 1957. Berlin 1959.
- [14] Gezeitentafeln für das Jahr 1960. Band 1, Europäische Gewässer. Hamburg 1959.

Abschluß der Arbeit: 30. 4. 1961

#### Buchbesprechungen

J. M. SCHOKALSKI: „OZEANOGRAPHIE“ (Океанография) (2. Auflage)

Hydrometeorolog. Verlag, Leningrad 1959, 537 S., 255 Karten, Zeichn. und Abbildungen

Zu Ehren des hundertsten Geburtstages des bekannten Ozeanographen JULIJ MICHAJLOWITSCH SCHOKALSKI (1856—1940) beschloß die Geographische Gesellschaft der UdSSR, deren langjähriger Ehrenpräsident SCHOKALSKI war, die Herausgabe seines Gesamtwerkes in 3 Bänden.

SCHOKALSKIS wissenschaftliche Tätigkeit trug in Rußland wesentlich zur Anerkennung der Ozeanographie als selbständige Wissenschaft bei. Er war der erste Inhaber des 1908 an der Petersburger Marineakademie eingerichteten Lehrstuhls für Ozeanographie und schuf nach seiner 1931 erfolgten Berufung an die Leningrader Universität die Grundlage für eine neue Schule sowjetischer Ozeanographen. Die Hauptperiode seines Wirkens wird gleichsam begrenzt von den beiden Internationalen Polarjahren, 1882/83 und 1932/33, an deren Durchführung und Auswertung SCHOKALSKI großen Anteil hatte. Außer auf dem Gebiet der Meereskunde arbeitete er an limnologischen, glaziologischen und vor allem kartographischen Problemen. Nicht nur in seinem Heimatland war SCHOKALSKI führendes Mitglied zahlreicher geographischer, naturwissenschaftlicher und nautischer Vereinigungen. Er gehörte auch vielen westeuropäischen und amerikanischen Akademien sowie internationalen wissenschaftlichen Gesellschaften an.

Den ersten Band der Sammlung seiner Arbeiten bildet das Hauptwerk, die 1917 erschienene „Ozeanographie“. Im Band II werden Aufsätze zur Ozeanographie, physischen Geographie und über die Arktis und Antarktis enthalten sein. Eine Sammlung seiner Beiträge zur Hydrographie, Geodäsie und Kartographie ist als Band III vorgesehen.

Die Neuauflage der „Ozeanographie“, deren erste Ausgabe infolge der revolutionären Ereignisse zur Zeit ihres Erscheinens erst viel später außerhalb der UdSSR bekannt wurde, bereiteten W. A. SNEŠINSKI und A. K. LEONOW vor.

Um die Verwendung dieses ozeanographischen Standardwerkes der russischen Sprache vor allem für Studierende auch heute noch zu gewährleisten, fügten die beiden Bearbeiter an geeigneten Stellen in Petit Zusätze ein, die sie der 1933 erschienenen „fizitscheskaja okeanografija“ und der von SCHOKALSKI 1935 begonnenen aber nicht mehr zu Ende geführten Neubearbeitung der „Ozeanographie“ entnahmen.

Am Inhalt der alten „Ozeanographie“ dagegen wurden nur geringfügige Änderungen vorgenommen, wie allgemeine Anwendung des metrischen Systems, jetzt übliche Schreibweise geographischer Namen und Verbesserung sehr veralteter Tiefenangaben und ozeanographischer Daten.

Die Neuauflage deckt sich bis auf diese Änderungen mit der vor über 40 Jahren erschienenen ersten Ausgabe, die von W. KÖPPEN 1927 in den „Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie“ besprochen wurde.

Auf Grund der breiten Entwicklung der Meeresforschung ist die „Ozeanographie“ ähnlich dem Handbuch O. KRÜMMELS in Deutschland zu einer bibliographischen Seltenheit geworden. Sie besitzt dank der vielen Beiträge und Ergebnisse aus der Periode der großen Expeditionen großen Wert.

Neben den zahlreichen moderneren sowjetischen Beiträgen zur Physik und Dynamik des Meeres gibt so dieses trotz der Zusätze einheitliche Werk auch heute noch auf fast alle geographisch ausgerichteten Fragen der Meereskunde eine Antwort.

Lit.: SCHOKALSKAJA, S. J., Der Lebensweg J. M. SCHOKALSKIS (russ.). Staatsverlag Geogr. Literatur Moskau 1960, 127 S.

*Klaus Voigt*

#### GÜNTHER SAGER „EBBE UND FLUT“

Im Dezember 1960 erschien beim VEB Hermann Haack, Gotha, das schon 1959 angekündigte Buch „Ebbe und Flut“ von GÜNTHER SAGER. Im Gegensatz zu seinen früher erschienenen Büchern: „Gezeitenvoraussagen und Gezeitenrechenmaschinen“ und „Gezeiten und Schifffahrt“ hat der Verfasser in diesem Buch die populäre Darstellung der Gezeitenerscheinungen in den Vordergrund gestellt.

Ausführlich widmet er sich in den ersten Kapiteln den Erscheinungsformen der Gezeiten und versucht, den Leser für dieses gigantische Naturschauspiel zu fesseln, von dem sich der Binnenländer und der Bewohner der Ostseeküste gar keine richtige Vorstellung machen können. Ausgehend von einer ausführlichen Beschreibung der Gezeitenerscheinungen an der deutschen Nordseeküste und der dadurch bedingten landschaftlichen Eigenarten dieses Gebietes, schildert G. SAGER die Auswirkungen der Gezeiten an den einzelnen Küsten der Weltmeere. Auch den Gezeitenströmen, sowohl in Flußmündungen als auch in der offenen See, und der Beschreibung der wichtigsten Flutbrandungen ist jeweils ein Kapitel des Buches gewidmet. In diese Beschreibungen sind gleichzeitig die wichtigsten Definitionen der Gezeitenlehre eingestreut, wobei der erzählende Stil hin und wieder einer sachlicheren Darstellung weichen muß.

In einem historischen Rückblick werden sodann einige der entsetzlichen Sturmflutkatastrophen sowie die Wandlung des Küstenbildes der Nordsee unter dem ständigen Einfluß der Gezeiten beschrieben.

Die durch die Gezeiten bedingten bautechnischen Sonderheiten kommen in diesem Buch ebenfalls nicht zu kurz. Sowohl die Landgewinnung, der Uferschutz und die Dammbauten als auch die Hafen-, Kai- und Schleusenanlagen der Häfen in Tidegebieten werden ausführlich behandelt. Eine Darstellung der verschiedenen Möglichkeiten der Ausnutzung der Gezeitenenergie sowie der wichtigsten Projekte von Gezeitenkraftwerken beendet diesen Teil des Buches.

Mit der Beschreibung der wichtigsten Geräte zur Messung des Tidenhubs und der Gezeitenströme leitet der Verfasser dann zum theoretischen Teil des Buches über, der verhältnismäßig kurz gefaßt ist. Der Verfasser beschränkt sich hier auf die wichtigsten und für das Verständnis des Buches notwendigen theoretischen Angaben.

Zahlreiche Abbildungen und Zeichnungen erläutern den Text und tragen zum guten Verständnis des Buches bei.

Es ist zu hoffen, daß dieses lehrreiche und zugleich unterhaltende Buch einen weiten Leserkreis finden möge.

*Dietrich Böhl*

#### L. M. BRECHOWSKICH, „WELLEN IN GESCHICHTETEN MEDIEN“ (Волны в слоистых средах) Akademieverlag der UdSSR, Moskau 1957

Die große Monographie „Wellen in geschichteten Medien“ (50 Seiten mit 189 Abbildungen) des Direktors des Akustischen Institutes der Akademie der Wissenschaften der UdSSR Professor L. M. BRECHOWSKICH gibt eine systematische Darstellung der Theorie der Ausbreitung elastischer und elektromagnetischer Wellen in geschichteten Medien, wobei zugunsten der besonders klaren Darstellung des physikalischen Bildes der Erscheinung die mathematische Exaktheit etwas in den Hintergrund gestellt werden mußte.

In Kapitel I des Werkes befaßt sich der Verfasser zuerst mit der Theorie der Reflexion von Wellen an Grenzflächen und Medien, deren Anwendung in geschichteten Medien an einigen Beispielen in Kapitel II behandelt wird. Aus dem mannigfaltigen Stoff des ersten Kapitels seien die Lösungen für flache Wellen in schichtlosen unbegrenzten Medien, für die Reflexion von elektromagnetischen Wellen, für die Reflexion einer flachen akustischen Welle an der Grenze flüssiger oder gasförmiger Medien, für die Reflexion der Wellen an der Grenze einer Flüssigkeit und eines festen Körpers, für die Reflexion an einer flachen Schicht und an einem System flacher Schichten, für elastische Wellen in festen geschichteten Medien, für Wellen in kleingeschichteten Medien, für die Reflexion begrenzter Bündel, für die Reflexion von Impulsen hervorgehoben.

In Kapitel III behandelt der Verfasser Wellen in nicht gleichartig geschichteten Medien und befaßt sich mit den Gleichungen des elektromagnetischen und akustischen Feldes in einem nicht gleichartigen Medium, mit der Reflexion von Wellen an einer ungleichartigen Schicht einfachster Form, mit der Reflexion einer Welle an einem ungleichartigen Halbraum, mit Wellen in einem willkürlich geschichteten Medium, mit dem Beiwert der Reflexion einer Welle an einer Schicht mit einem willkürlichen Gesetz der Veränderung des Parameters.

Das Kapitel IV ist der Reflexion und der Refraktion sphärischer Wellen gewidmet. Hier wird zuerst auf die sphärischen Wellen und ihre Eigenarten und danach auf die Reflexion einer sphärischen Welle an einer flachen Grenzschicht der Medien eingegangen. Die Formel von WEIL-VAN DER POL und die Seitenwellen werden anschließend behandelt und auf ein Feld in einem Gebiet, welches nahe zu einem Winkel einer vollen inneren Reflexion ist, eingegangen. Die Reflexion von sphärischen Wellen und die Reflexion und Refraktion einer sphärischen Welle an einer Grenzschicht von zwei elastischen Medien bilden den weiteren Inhalt des Kapitels.

In Kapitel V befaßt sich L. M. BRECHOWSKICH mit der Ausbreitung von Wellen in Schichten und zwar in Schichten mit absolut reflektierenden Grenzen, in Schichten mit willkürlichen Grenzen, mit der Ausbreitung von Schallwellen in einer flüssigen Schicht (besonders für den Meereskundler interessant), mit der Ausbreitung des Schalles in einem dreifach geschichteten Medium, mit der Ausbreitung des Schallimpulses in einer flüssigen Schicht, mit den Gesetzen des Abfalles der Schallkraft z. B. mit der Entfernung bzw. mit der Ausbreitung von Wellen in einer Schicht, die durch nicht gleichartige Medien begrenzt ist.

Im letzten Kapitel VI der Monographie wird das Feld einer konzentriert wirkenden Schallquelle in einem geschichteten — nicht gleichartigen Medium betrachtet. Hierbei wird insbesondere auf die Wellenkanäle in nicht gleichartigen Medien, auf den Unterwasserschallkanal und auch auf die Ausbreitung von Wellen in der Atmosphäre und auf die Ausbreitung von Wellen bei Entstehungsbedingungen von Schattenzonen eingegangen.

Die Monographie von L. M. BRECHOWSKICH stellt ein sehr konzentriert geschriebenes und dennoch ein sehr vielfältiges großes Werk dar. Es gibt eine gute Übersicht über die z. Z. vorliegenden theoretischen Ergebnisse dieses sehr komplizierten Wissenszweiges. Der Verfasser versuchte, soweit es ging, in einzelnen Teilen des Werkes auch auf die den Meereskundler speziell interessierende Fragen der Unterwasserakustik theoretisch einzugehen, ohne leider konkrete Anwendungsbeispiele aus Ozeanen und Meeren anzuführen. Es wäre sehr wünschenswert, wenn letzteres in irgendeiner Form nachgeholt werden könnte. Unabhängig davon ist die Herausgabe der vorliegenden Monographie außerordentlich zu begrüßen, weil sie den Grundstock für einen neuen Wissenszweig gibt. *Erich Bruns*