

Seegangsmessungen in der Jade

Von Jan Stinus Ysker

Zusammenfassung

Im Bereich der Außenjade wurden Wellenspektren unter verschiedenen meteorologischen Bedingungen gemessen. Das Ziel der Untersuchungen war der Nachweis von Dünung. Es ließen sich erste technische Erfahrungen sammeln, und aus dem Vergleich verschiedener Spektren geht hervor, daß unter bestimmten meteorologischen Bedingungen die vermutete langperiodische Dünung in der Außenjade auftritt.

Wellenmessungen in der Innenjade wurden nur in ihrer Abhängigkeit von Wasserstand, Windrichtung und Windgeschwindigkeit ausgewertet.

Summary

Wave spectra have been measured in the "Außenjade" area under different meteorological conditions. The goal of the experiments was to determine the appearance of swell. First technical experiences could be gained, and the comparison of different spectra shows the appearance of swell in the "Außenjade" area under special meteorological conditions.

Wave measurements in the "Innenjade" have been compared with the tidal curve, wind direction and wind velocity only.

Seit Jahren wird in verschiedenen Ländern den Seeganguntersuchungen im Hinblick auf Küstenschutz, Meteorologie und Sicherheit der Seeschifffahrt besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Auf der Jade wurden bereits in den Jahren 1957–1958 seitens des Seewetteramtes Hamburg durch WALDEN und PIEST (1960) am Mellum-Turm die ersten Seegangsmessungen durchgeführt. Mit dem Ausbau des Jadedefahrwassers zu einem Großschifffahrtsweg stellte sich die Frage nach der Größe der *underkeel clearance* und in diesem Zusammenhang auch die Frage nach der Beeinflussung der Schiffsbewegung, speziell der Rollbewegung, durch langpe-

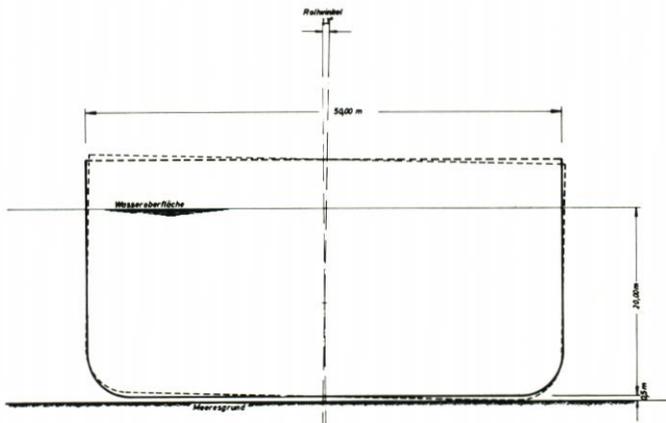


Abb. 1

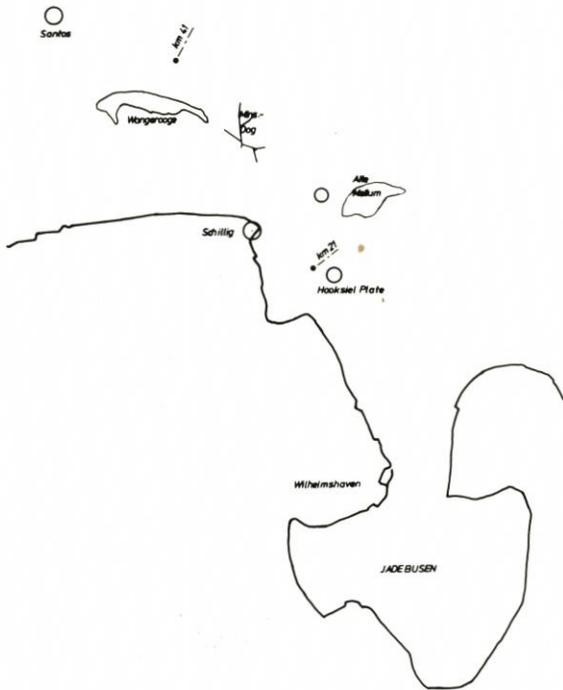


Abb. 2

riodischen Seegang (Seegang mit Perioden > 10 Sekunden). Es war bekannt, daß querlaufende langperiodische Dünung Großtanker zu Rollbewegungen anzufachen vermag, was bei der Breite und dem nahezu rechteckigen Querschnitt dieser Schiffe zu nicht unerheblichen Tiefgangsänderungen mit gefährlichen Folgen führen kann (Abb. 1).

Das vom BMFT finanziell unterstützte und vom KFKI mit anderen Dienststellen koordinierte Seegangsmessprogramm in der Jade sollte Aufschluß geben über evtl. Auftreten und über die Art des niederfrequenten Seegangs in der Außenjade einschließlich aller kennzeichnenden Seegangsgrößen sowie eine qualitative Übersicht über die Veränderung des Seegangs beim Eindringen in die Jade bringen. Zu diesem Zweck wurde eine Meßkette aufgebaut, bestehend aus einer Meßboje in der Außenjade (Santos) und zwei Pfahlstationen in der Nähe von Alte Mellum und Hooksielplate (Abb. 2). Die zwei Pfahlstationen in der Innenjade arbeiten nach dem WEMELSFELDER-System, d. h., die durch Seegang hervorgerufenen Wasserspiegelschwankungen werden auf mechanischem Wege erfaßt und auf Wachspapier übertragen. Die Wachspapierstreifen müssen nach entsprechender Zeit ausgewechselt und anschließend manuell ausgewertet werden. Der dafür notwendige Personal- und Zeitaufwand ist relativ groß, was dazu führte, daß die auf diese Weise gewonnenen Seegangsdaten nur qualitativ in ihrer Abhängigkeit von Wasserstand, Windrichtung und Windgeschwindigkeit ausgewertet wurden.

Die im Zufahrtbereich der Jade an der 16-m-Tiefenlinie eingerichtete Meßboje vom Typ Datawell Waverider enthält ein Trägheitssystem, mit dem die vertikale Beschleunigung der Boje gemessen wird, aus der sich durch zweifache Integration über die Zeit der vertikale Weg der Boje bzw. die Amplitude der Welle ermitteln läßt. Die kleinste noch registrierbare Wellenperiode beträgt 1,8 Sekunden. Die Seegangsdaten werden telemetrisch über eine

Entfernung von 23 km an die Landstation in der Fernschaltstelle Schillig übertragen und dort analog auf einem Papierstreifen aufgezeichnet. Durch Einschalten des Empfängers ist man jederzeit in der Lage, sich eine Übersicht über das momentane Seegangsgeschehen zu verschaffen. An Hand der analogen Seegangsaufzeichnungen sind die maximalen und die mittleren Wellenhöhen schnell bestimmt. Die Anwesenheit von langperiodischer Dünung ist jedoch nicht direkt sichtbar und läßt sich nur auf dem Umweg der spektralen Seegangsanalyse



Abb. 3

ermitteln. Durch den Einsatz moderner Rechenautomaten ist die Durchführung von Spektralanalysen kein großes Problem, sofern die Seegangdaten auf Datenträgern (z. B. Magnetbändern) vorliegen.

Daher wurde das Seegangmeßsystem um einen Analog/Digital-Wandler mit anschließender Magnetbandaufzeichnung erweitert, so daß analog und digital parallel aufgezeichnet wird (Abb. 3). Der manuelle Aufwand beschränkt sich dabei auf reine Überwachungsaufgaben.

Das hier beschriebene Seegangmeßsystem arbeitete bisher zufriedenstellend. Seine einzige Schwäche liegt in der Verankerung der Boje. Es handelt sich hier um ein grundsätzliches Problem, da einerseits zum Schutz der Boje die Verankerung möglichst widerstandsfähig sein

DATUM 22.11.1976 POSITION Santos
 UHRZT. v. 10.00 UHRZT. 11.00
 WINDR. Nord WINDST. 8 bis 9

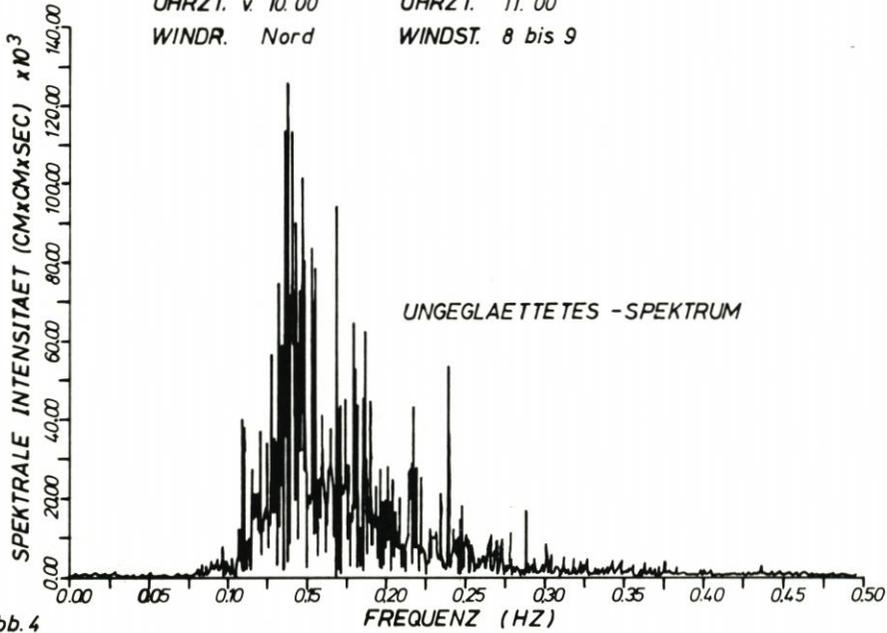


Abb. 4

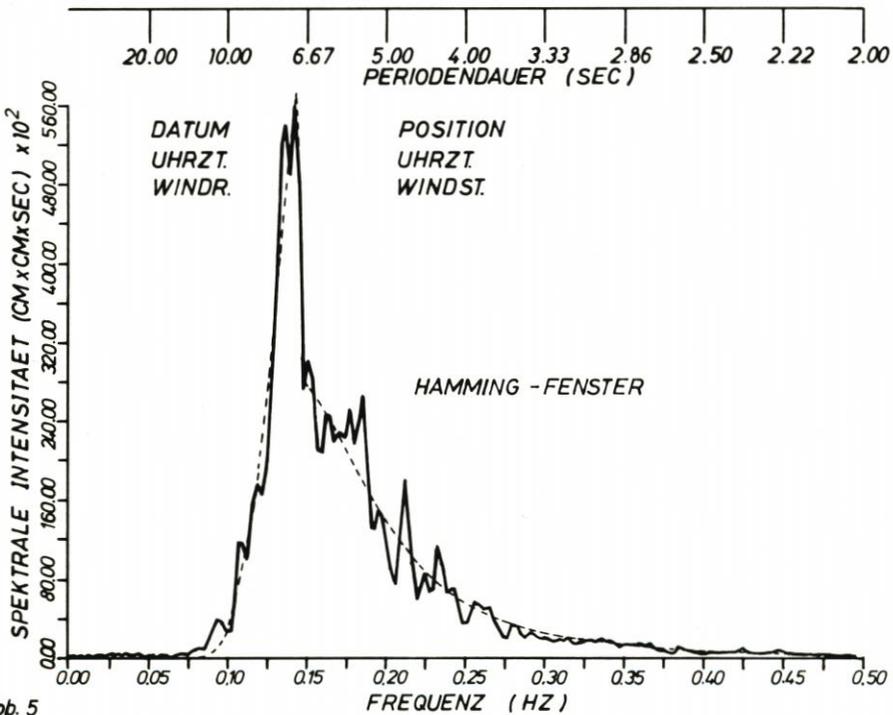


Abb. 5

DATUM
 UHRZT.
 WINDR.

POSITION
 UHRZT.
 WINDST.

soll und andererseits die Verankerung nicht zu schwer sein darf, um nicht eine zu große Dämpfung der Boje herbeizuführen. Nach einigen Versuchen ergab sich jedoch eine zufriedenstellende Lösung.

Um die komplizierten Seegangerscheinungen auf einfache Art zu beschreiben, bedient man sich der sog. *S p e k t r e n*. Die beobachtete Wellenbewegung wird als zufällige Überlagerung vieler sinusförmiger Wellen aufgefaßt. Jede dieser Wellen besitzt eine bestimmte Frequenz und eine bestimmte Höhe bzw. Energie. Das Seegangsspektrum stellt die Wellenenergie als Funktion der Frequenz dar. Die Gesamtseegangenergie entspricht der Fläche unter dem Spektrum.

In Zusammenarbeit mit Herrn FELDMANN wurde bei VFW-Fokker in Bremen ein Rechenprogramm entwickelt, das auf der Grundlage der Fouriertechnik Seegangsspektren aus den auf Magnetband gespeicherten Seegangsdaten berechnet. Das Ergebnis ist zunächst ein in seinem Kurvenverlauf sehr unruhiges Spektrum, das noch einer Glättung unterzogen werden muß (Abb. 4).

Für die Glättung kam das sog. *H a m m i n g*-Fenster zur Anwendung (Abb. 5). Alle Datensätze werden mit einer Zählrate von 4 Werten pro Sekunde entsprechend $\Delta t = 0,25$ sec aufgenommen.

Zwischen dem Energieinhalt des gesamten Spektrums und den kennzeichnenden Seegangsgrößen bestehen einfache, direkte Beziehungen, so daß auch die wichtigsten kennzeichnenden Wellengrößen (durchschnittliche Wellenhöhe, kennzeichnende Wellenhöhe $H^{1/3}$, $H^{1/10}$, $H^{1/100}$) mit berechnet werden. In einer Erweiterung des Auswerteprogramms lassen sich aus dem gemessenen Spektrum Parameter erzeugen, mit denen es möglich ist, in Form einer analytischen Funktion das gemessene Spektrum (IONSWAP-Spektrum; HASSELMANN et al., 1973) in guter Näherung anzugleichen. In den Abbildungen 5 bis 11 ist das IONSWAP-Spektrum als gestrichelte Linie eingezeichnet.

$$E(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4}\left(\frac{f}{f_m}\right)^{-4}\right) \gamma \exp\left[-\frac{(f-f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2}\right]$$

f_m entspricht der Frequenz des Energiemaximums, α der Phillipskonstanten. Die verbleibenden drei Parameter beschreiben die Form des Spektrums:

γ ist das Verhältnis der maximalen spektralen Energie zu dem Maximum des entsprechenden PIERSON-MOSKOWITZ-Spektrums (1964):

$$E_{PM}(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4}\left(\frac{f}{f_m}\right)^{-4}\right)$$

$$\gamma = \frac{E_{\max}}{E_{\max}^{PM}}$$

σ_A und σ_B definieren jeweils die linksseitige und die rechtsseitige Breite des Spektrums. Es ist zu beachten, daß sowohl das IONSWAP-Spektrum als auch das PIERSON-MOSKOWITZ-Spektrum sich nur auf Windseen erstrecken und die Dünungsanteile nicht erfassen. Der Sinn der analytischen Darstellung besteht darin, die etwa 100 Frequenzstützpunkte des gemessenen Spektrums auf ein handhabbares Maß von fünf Parametern zu reduzieren, wodurch deren Abhängigkeit von Fetch, Windgeschwindigkeit und anderen Faktoren leichter systematisch zu untersuchen sind. Damit hat die Auswertung der Seegangsmessungen einen Stand erreicht, der auch weitergehende Untersuchungen seitens anderer interessierter Institute ermöglicht.

Abb. 5 zeigt ein charakteristisches Windseespektrum mit einem Energiemaximum bei 8 sec, das durch plötzlich auftretende nordwestliche Winde entfacht wurde. Obwohl Wind-

DATUM 24. 11. 1977 POSITION Santos
 UHRZT. v. 12. 06 UHRZT. 12. 32
 WINDR. WNW WINDST. 6 bis 7

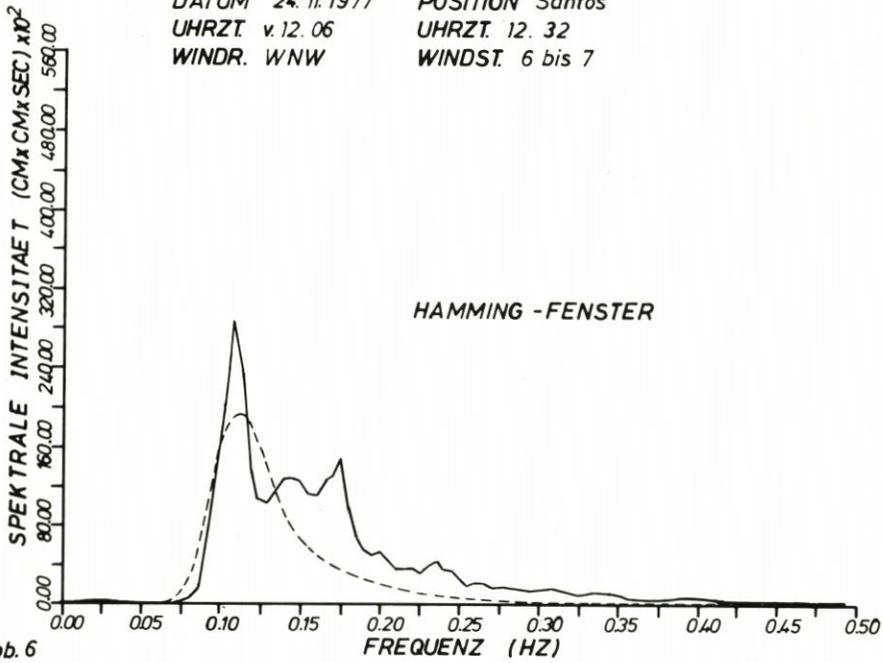


Abb. 6

DATUM 24. 11. 1977 POSITION Santos
 UHRZT. v. 12. 32 UHRZT. 12. 58
 WINDR. WNW WINDST. 6 bis 7

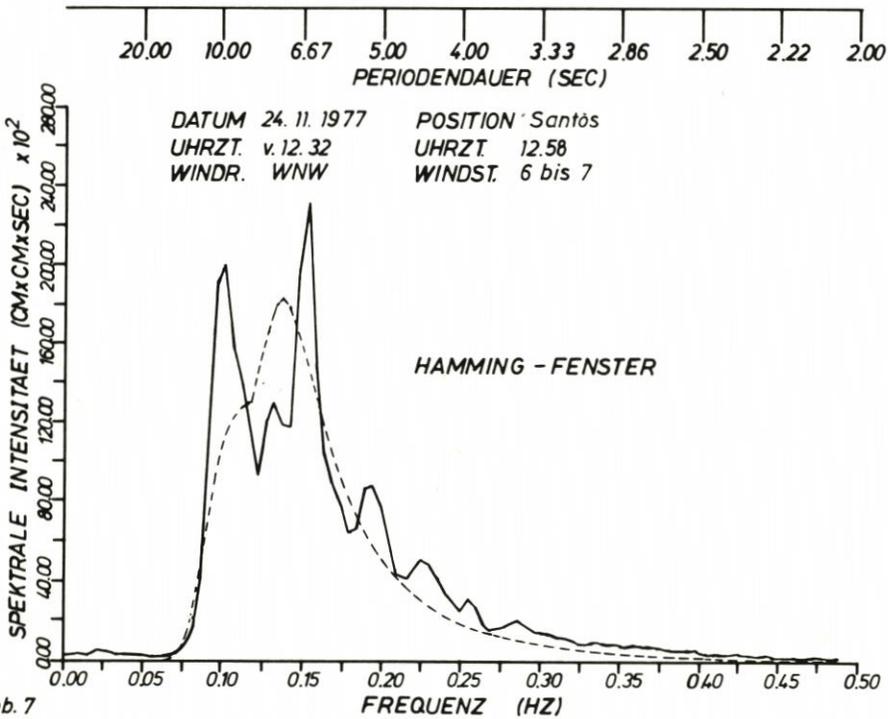
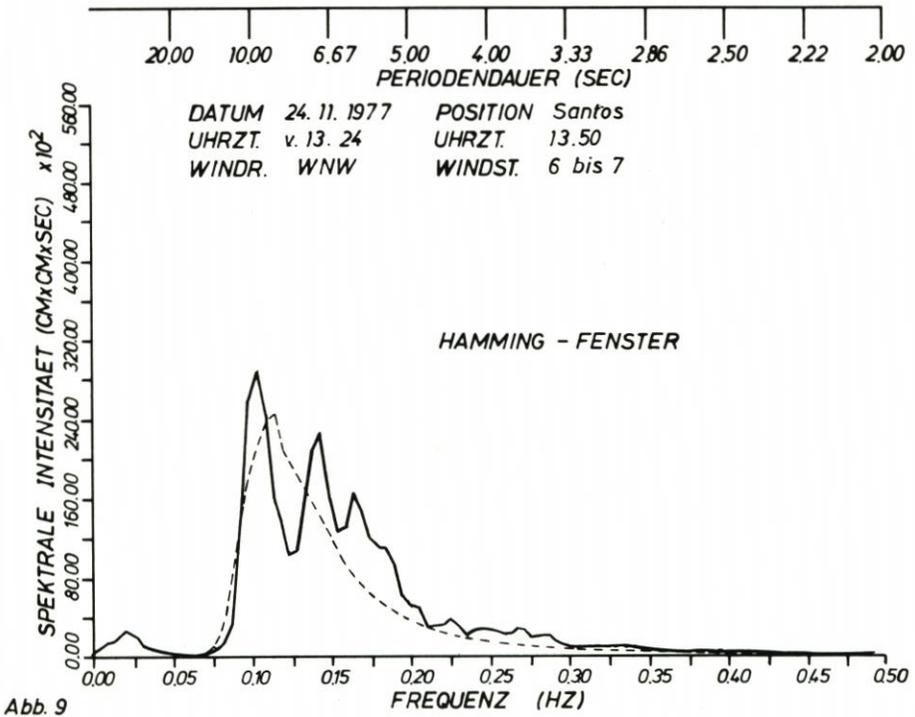
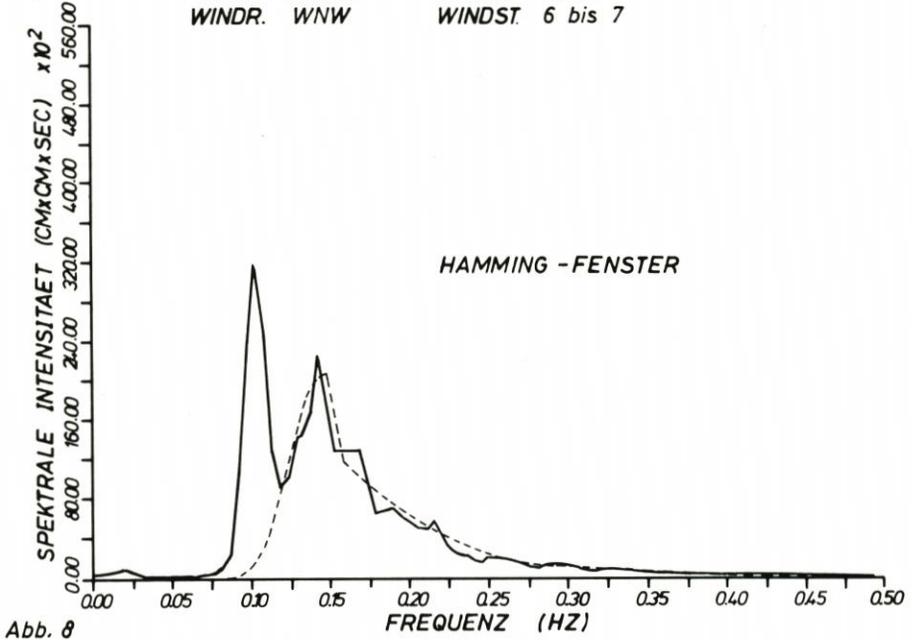
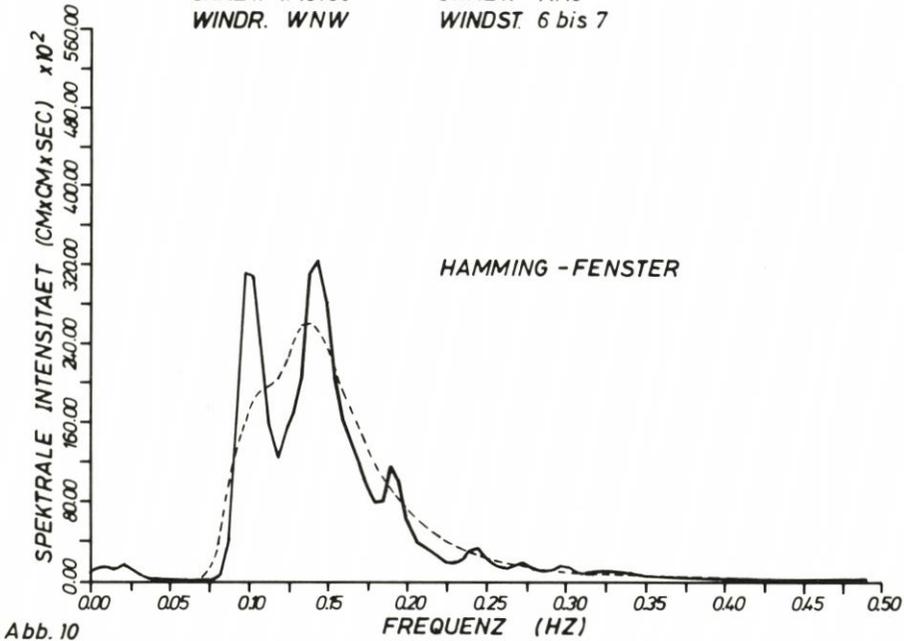


Abb. 7

DATUM 24.11.1977 POSITION Santos
UHRZT. v. 12.58 UHRZT. 13.24
WINDR. WNW WINDST. 6 bis 7

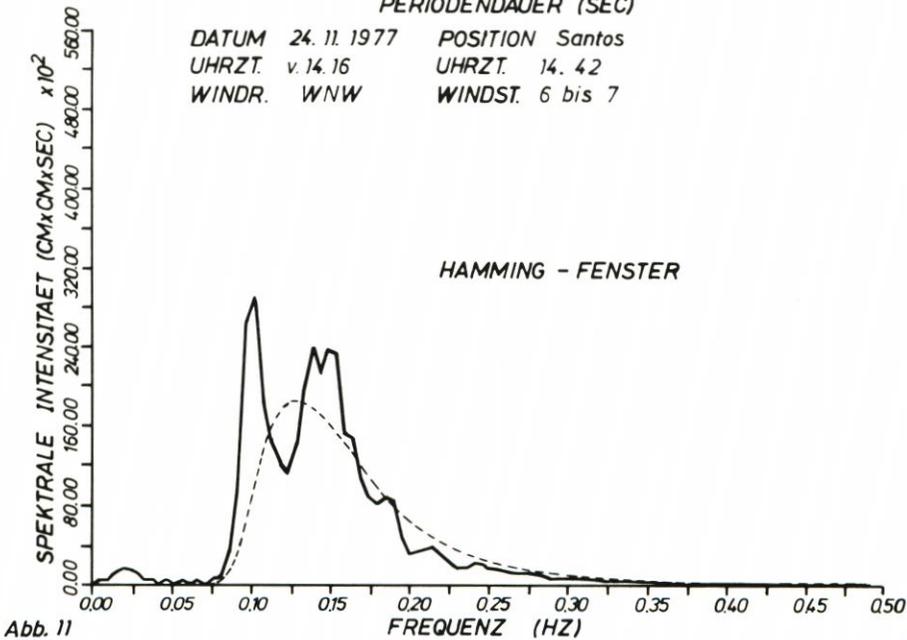


DATUM 24.11.1977 POSITION Santos
 UHRZT. v. 13.50 UHRZT. 14.16
 WINDR. WNW WINDST. 6 bis 7



20.00 10.00 6.67 5.00 4.00 3.33 2.86 2.50 2.22 2.00
 PERIODENDAUER (SEC)

DATUM 24.11.1977 POSITION Santos
 UHRZT. v. 14.16 UHRZT. 14.42
 WINDR. WNW WINDST. 6 bis 7



stärken bis 9 Bft. erreicht wurden, reichten die Bedingungen nicht aus, nennenswerten langperiodischen Seegang entstehen zu lassen. Die linke Seite dieses Windspektrums fällt steil zu längeren Perioden ab, während die rechte Flanke sich asymptotisch der Abszisse nähert.

Eine wesentlich andere Situation stellen die Spektren in Abb. 6 bis 11 dar. Zwei Tage bevor sie gemessen wurden, hatte sich südlich Island ein Tiefdruckgebiet ausgebildet, das sich in der folgenden Zeit in die Nordsee verlagerte. Die Winde in der südlichen Nordsee wehten am Tage der Messung aus westsüdwestlicher Richtung mit Windstärken zwischen 6 und 7 Bft. Mit dem Abziehen des Tiefdruckgebietes nach Osten drehte der Wind später auf Nord. Im Gegensatz zu dem Spektrum in Abb. 5 konnte sich in diesem Fall neben der Windsee eine Dünung mit Perioden über 10 sec ausbilden. Durch zwei deutlich voneinander getrennte Maxima sind Windsee und Dünung in den Spektren zu erkennen.

Über mehrere Stunden ließ sich der Seegangsverlauf an Hand von sechs Spektren verfolgen, die jeweils für eine Meßdauer von 26 Minuten errechnet wurden. In Abb. 6 ist das Seegangsspektrum am Ende der Stauwasserzeit dargestellt. Das langperiodische Dünungsmaximum zeichnet sich deutlich gegenüber dem flachen und breiten Windseemaximum ab. Bereits eine halbe Stunde später hat sich auch das Windseemaximum unter Einfluß von gegenläufigem Wind und Strom ausgebildet. In den folgenden Spektren ist das Windseemaximum zwar deutlich, aber in der Form wechselhaft ausgebildet. Demgegenüber verhält sich das Dünungsspektrum form- und lagestabil. An dieser Spektrenserie zeigt sich anschaulich, daß die Dünung vom örtlichen Wettergeschehen unabhängig ist. Die Dünung entsteht in entfernt gelegenen Gebieten des östlichen Nordatlantik, aber auch der Nordsee, und pflanzt sich bis an die ostfriesische Küste fort, wie dieses Beispiel zeigt.

Bei den bisherigen Untersuchungen konnte immer erst nachträglich die Dünung nachgewiesen werden. Für einen aktuellen Schiffs-Beratungsdienst ist es allerdings notwendig, direkte Angaben über den augenblicklichen Dünungszustand machen zu können. Solange dies nicht möglich ist, soll das bisher durchgeführte Meßprogramm weitergeführt werden zur Verdichtung der Seegangsmessungen im Hinblick auf eine systematische Betrachtung der in der Außenjade auftretenden Dünungserscheinungen.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Dr. RICHTER (Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg) sowohl für die fachliche als auch für die gerätetechnische Unterstützung danken.

Schriftenverzeichnis

- BLOOMFIELD, P.: *Fourier Analysis of Time Series*; Wiley, New York. 1976.
- HASSELMANN, K. et al.: *Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (IONSWAP)*. DHZ, 12, 1973.
- PHILLIPS, O. M.: *The Equilibrium Range in the Spectrum of Wind-Generated Waves*. J. Fluid Mech., 4, 426-434, 1958.
- PIERSON, W. J. and MOSKOWITZ, L.: *A Proposed Spectral Form for Fully Developed Wind Seas Based on the Similarity Theory of S. A. Kitaigorodskii*. J. Geophys. Res., 69, 1964.
- RICHTER, K., ROSENTHAL, W. u. GÜNTHER, H.: *Physik und Vorhersage des Seegangs*. Meerestechnik 8, H. 4, 1977.
- WALDEN, H.: *Die winderzeugten Meereswellen*. Seewetteramt Hamburg, Einzelveröffentlichung Nr. 18, 1958.
- WALDEN, H. u. PIEST, J.: *Vergleichsmessungen des Seegangs*. Seewetteramt Hamburg, Einzelveröffentlichung Nr. 30, 1961.
- YSKER, J. ST.: *Seegangsmessungen in der Außenjade. Zwischen Weser und Ems*. Mitteilungen der WSD Nordwest, H. 6, 1977.