

# Auf der Forschungsplattform NORDSEE gemessene Umweltdaten während der ersten Januar-Sturmflut 1976

Von Wolf-Dieter Longrée und Karl Richter

## Zusammenfassung

Während der Sturmfluten im Januar 1976 konnten auf der Forschungsplattform NORDSEE erste meteorologische und ozeanographische Daten gewonnen werden.

Einige charakteristische Daten aus dem Zeitraum 2. bis 5. Januar 1976 werden in Form von graphischen Darstellungen vorgelegt:

- Tidekurve
- Wellenhöhen, Wellenperioden und Spektren
- Windgeschwindigkeiten und -richtungen
- Lufttemperatur und -feuchte
- Luftdruck
- Wassertemperatur bei — 4 m SKN

Der Verlauf der Tide zeigte während der Sturmflut beachtenswerte Abweichungen vom sonst ähnlichen Helgoländer Pegelverlauf. Das höchste Hochwasser lag bei 3,20 m.

Der Wind wurde mit Geschwindigkeiten bis zu 76 kn gemessen. Wellenhöhen und -perioden wurden vom 3. 1. 1976, 16.30 Uhr, an aufgezeichnet und für drei konsekutive Zeitpunkte in Seegangspektren ausgewertet.

## Abstract

*During the stormfloods in January 1976 first meteorological and oceanographical results could be collected on the Research Platform NORDSEE. Some characteristic data from 2.—5. January are presented in graphical form:*

- *tidal curves*
- *wave heights, -periods and spectra*
- *wind velocities and directions*
- *air temperature and humidity*
- *air pressure*
- *water temperature at 4 m below chart zero*

*The tidal record shows significant differences in comparison to the normally similar shaped curve of Heligoland. The highest flood raised to 3.20 m. Wind speeds were measured up to 76 kn. Wave heights and periods were recorded from 3. 1. 1976, 16.30 h, and three consecutive wave spectra were calculated.*

## Inhalt

1. Einleitung . . . . .	145
2. Die Forschungsplattform NORDSEE und ihre Meßeinrichtungen . . . . .	145
3. Verwendete Meßgeräte bei den Aufzeichnungen vom 2. bis 5. Januar 1976 . . . . .	147
4. Aufzeichnungen auf der Forschungsplattform NORDSEE . . . . .	149
4.1 Meteorologische Situation . . . . .	149

4.2 Meteorologische Meßdaten . . . . .	150
4.3 Wasserstände . . . . .	151
4.4 Seegangsmessungen . . . . .	154
5. Schriftenverzeichnis . . . . .	156

## 1. Einleitung

Mit der Forschungsplattform NORDSEE auf der Position  $54^{\circ} 42' N$ ,  $7^{\circ} 10' E$  bietet sich seit Herbst 1975 die Möglichkeit, Wetterdaten und ozeanographische Daten aus der Mitte der Deutschen Bucht von einer festen Station aus zu erfassen.

Die Station liegt damit im „Vorfeld des Wettergeschehens an der deutschen Nordseeküste“ und gewinnt bei Sturmfluten besondere Bedeutung.

Herausragende Ereignisse in der ersten Beobachtungszeit sind die Sturmfluten vom Januar 1976.

Mit diesem ersten Bericht sollen einige charakteristische Daten, die während der Sturmflut vom 2./4. Januar 1976 registriert wurden, vorgelegt und zur Diskussion gestellt werden.

Die Autoren sind sich darüber im klaren, daß die vorgelegten Daten mit Meßinstrumenten aufgenommen wurden, die erst kurze Zeit in Betrieb sind, und daß Tests unter den verschiedensten Bedingungen, z. T. auch Eichungen, noch durchzuführen sind. Trotzdem erscheinen die Daten für Tide, Windgeschwindigkeit und -richtung, Seegang, Temperaturen von Luft und Wasser, Luftdruck und Luftfeuchte so interessant, daß eine Veröffentlichung gerechtfertigt sein dürfte.

Für die freundliche Unterstützung bei der Erstellung dieses Berichtes sei der Gesellschaft für Kernenergie in Schiffbau und Schifffahrt (GKSS) als Projektträger für die Forschungsplattform NORDSEE sowie allen beteiligten Mitarbeitern der Ingenieurgemeinschaft Meerestechnik und Seebau (IMS) und des Deutschen Hydrographischen Instituts (DHI) gedankt. Insbesondere sei für die Beratung bezüglich der Tidewerte Herrn DR. ANNUTSCH (DHI) und bezüglich meteorologischer Fragen Herrn DR. KRÜHL (SWA) gedankt.

## 2. Die Forschungsplattform NORDSEE und ihre Meßeinrichtungen

Die Forschungsplattform NORDSEE (siehe Abb. 1) ist zur Erfüllung von 3 Hauptaufgaben konzipiert:

- vorgeschobene Dauermeßstation zur kontinuierlichen Erfassung ozeanographischer und meteorologischer Daten,
- bemannte Beobachtungs- und Kontrollstation eines See-Erprobungsfeldes,
- ingenieurwissenschaftliches Forschungsobjekt zur Erlangung von Aussagen über die Wechselbeziehungen zwischen Bauwerk und Umwelt.

Die Plattform liegt etwa 40 m nordwestlich von Helgoland (siehe Abb. 2) und ist in einer Wassertiefe von 30 m errichtet. Der Deckskörper bietet mit 9 Laborräumen und Wohnmöglichkeiten für 14 Wissenschaftler Platz für umfangreiche Untersuchungen in situ. Ausführliche Beschreibungen der Anlage haben KNABE et al. (1974) sowie SALZMANN et al. (1975) gegeben.

Zur Erfassung ozeanographischer und meteorologischer Daten sowie zur Erfassung der daraus resultierenden Beanspruchungen des Bauwerks ist die Plattform mit einem umfangreichen Meßsystem ausgestattet.

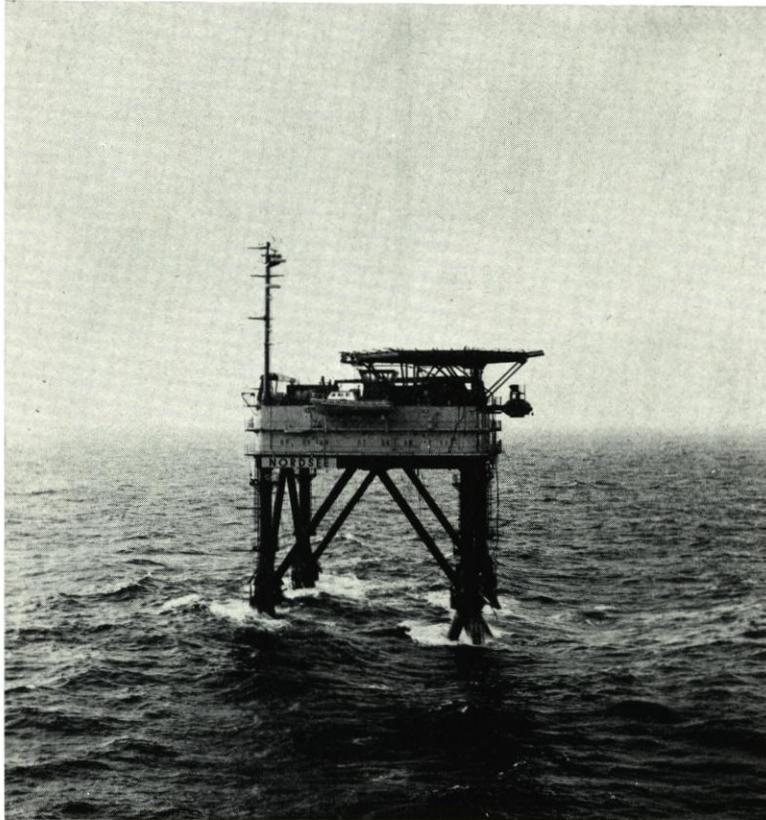


Abb. 1

Die etwa 450 Meßpunkte erlauben die Registrierung folgender Daten:

- Wellenhöhe
- Strömungsgeschwindigkeit
- hydrodynamische Drücke
- Windgeschwindigkeit und -richtung
- Tidestand
- Wassertemperatur bei — 4 m und — 19 m SKN
- Luftdruck, -temperatur, -feuchte
- Sichtweite
- Dehnungen im Rohrgerüst und an den Rohrknotten
- Beschleunigungen der Knoten
- Dehnungen im Gründungskörper

Detaillierte Angaben zum Gesamtsystem sind nachzulesen bei LONGRÉE (1976).

Die Aufnehmer für Umweltdaten, die im vorliegenden Bericht angesprochen werden, sind in ihrer Lage in Abb. 3 dargestellt und in Abb. 4 nach Typ und Registrierungsart aufgelistet.

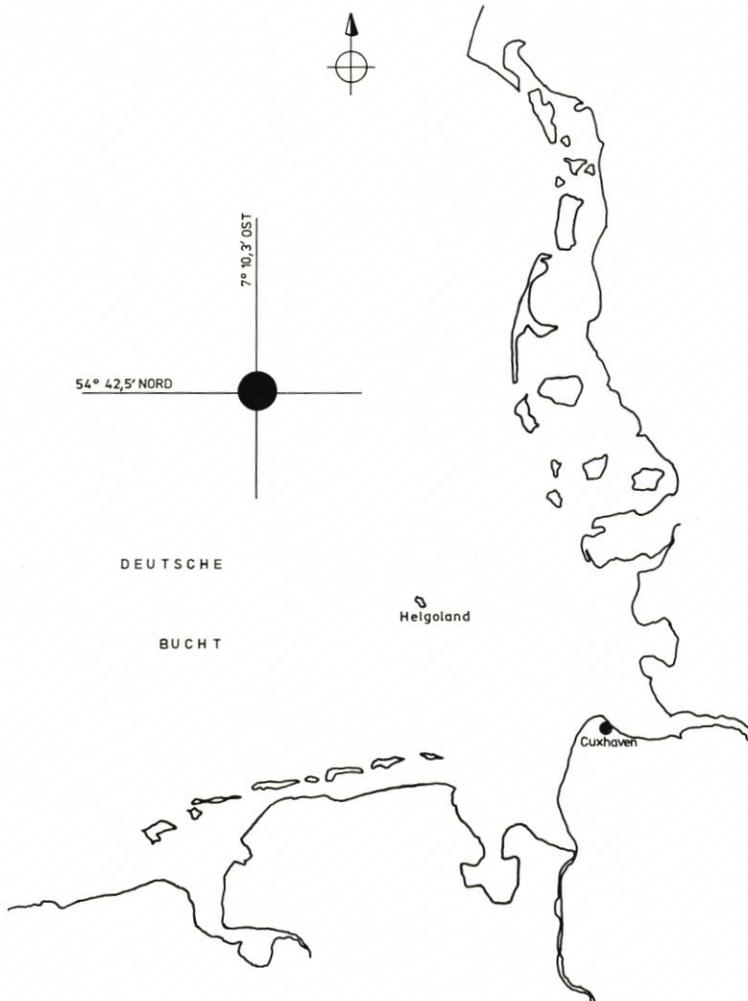


Abb. 2

### 3. Verwendete Meßgeräte bei den Aufzeichnungen vom 2. bis 5. Januar 1976

#### Tidepegel:

Die Wasserstandsmessung arbeitet nach dem Druckmeßprinzip. Die über einer Austrittsöffnung stehende Wassersäule wird pneumatisch nach dem Prinzip der ausperlenden Luftblasen im Gleichgewicht gehalten, gemessen und registriert.

Die Austrittsöffnung liegt bei  $-9$  m SKN am südwestlichen Eckstab. Die Anzeige geschieht über eine kontinuierlich arbeitende Schreibeinrichtung. Der Tidestand bezieht sich derzeit auf ein systeminternes Pegelnulld. Es ist beabsichtigt, nach Vorliegen mehrjähriger Meßreihen und statistischer Auswertung ein auf die Lokation bezogenes mittleres Springtide-Niedrigwasser zu ermitteln, das mit dem aus der Wassertiefe lt. Seekarte hervorgehenden Seekartennull verglichen werden kann.

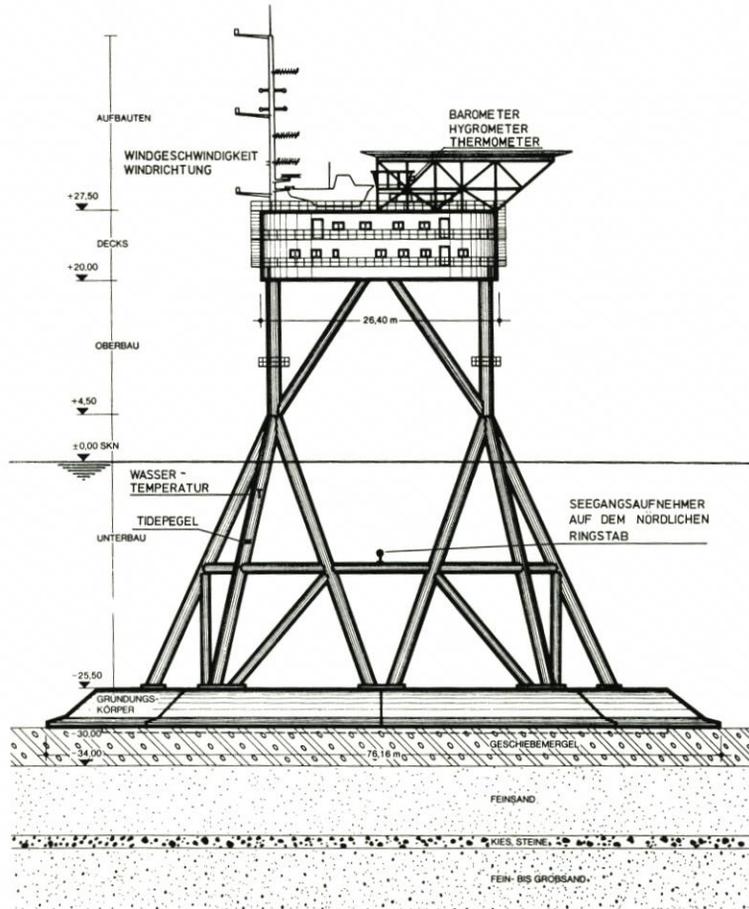


Abb. 3

#### Wassertemperaturmeßgeräte:

Die Wassertemperaturen bei  $-4$  und  $-19$  m SKN werden nur mittelbar gemessen. Die eigentliche Messung bezieht sich auf die Innenseite der Stahlrohre, an denen Thermowiderstände angebracht sind. Diese für ingenieurwissenschaftliche Vergleichszwecke auf zehntel Grad genau gemessene Temperatur läßt sich jedoch — da die Wassertemperaturänderungen i. a. relativ langfristig erfolgen — unter Beachtung der Voraussetzungen mit der Außentemperatur näherungsweise gleichsetzen.

#### Seegangmeßgeräte:

Für Seegangmessungen stehen auf der Forschungsplattform NORDSEE zwei nach unterschiedlichen physikalischen Prinzipien arbeitende Meßsysteme (Echolot-Prinzip und

Meßgröße	Meßverfahren bzw. Gerätetyp	Registrierung
— Luftdruck	Barometer	1)
— Lufttemperatur	Thermometer	1)
— Luftfeuchte	Hygrometer	1)
— Windgeschwindigkeit	Schalenstern mit Meßgenerator, Typ 4011 der Fa. Friedrichs	1) 3) 4)
— Windrichtung	Windfahne mit Ringpotentiometer, Typ 4111 der Fa. Friedrichs	1)
— Tidestand	Druckmessung der Wassersäule nach dem Prinzip der ausperlenden Luftblasen, Druckpegel Omega der Fa. Seba	2)
— Wassertemperatur bei — 4 m und — 19 m SKN	Widerstandsthermometer Pt 100 mit Digitalanzeige, Typ NUR der Fa. CoreciNumeor	1) 4)
— Wellenhöhe	Druckaufnehmer nach Prinzip der schwingenden Saite der Fa. Ocean Applied Research, Modell WS-704	3) 4)

Registrierung: 1) Notierung, 2) Systemeigener Schreiber oder Digitaldrucker, 3) Separater Analogschreiber, 4) PCM-Magnetbandaufzeichnung

Abb. 4: Zusammenstellung der verwendeten Meßgeräte nach Meßverfahren, Typ und Registrierung

Druckmeß-Prinzip) mit je 3 Gebern auf dem nördlichen, westlichen und südlichen Ringstab zur Verfügung.

Am 2./3. Januar wurden Messungen mit einem Drucksensor auf dem nördlichen Ringstab durchgeführt. Der Aufnehmer arbeitet nach dem Prinzip der schwingenden Saite. Er liegt 19 m über Grund.

Thermometer:

Zur Messung der Lufttemperatur dient ein Quecksilberthermometer, das auf dem Hauptdeck bei SKN + 31,0 m angebracht ist.

Barometer:

Der Luftdruck wird mit Hilfe eines kompensierten Präzisionsbarometers in der Rundumsichtkanzel gemessen.

Hygrometer:

Zur Messung der relativen Luftfeuchte wird ein Haarhygrometer auf dem Hauptdeck bei + 31,0 m herangezogen.

Schalenkreuzanemometer und Windfahne:

Zur Messung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung sind am Antennenmast in einer Höhe von SKN + 34,5 m Schalenkreuzanemometer und Windfahne angeordnet. Die Meßwerte werden über Zeigerinstrumente in Kanzel und Labors angezeigt.

#### 4. Aufzeichnungen auf der Forschungsplattform NORDSEE

##### 4.1 Meteorologische Situation

Zum Verständnis der meteorologischen Situation und des Ablaufs des Orkans wird auf den Beitrag von H. KRÜHL in diesem Heft verwiesen.

### 4.2 Meteorologische Meßdaten

Die Daten zu Wind, Temperatur, Luftdruck und -feuchte werden in ein- oder zwei-stündigen Intervallen abgelesen. Die Meßwerte sind in Abb. 5 zusammengestellt.

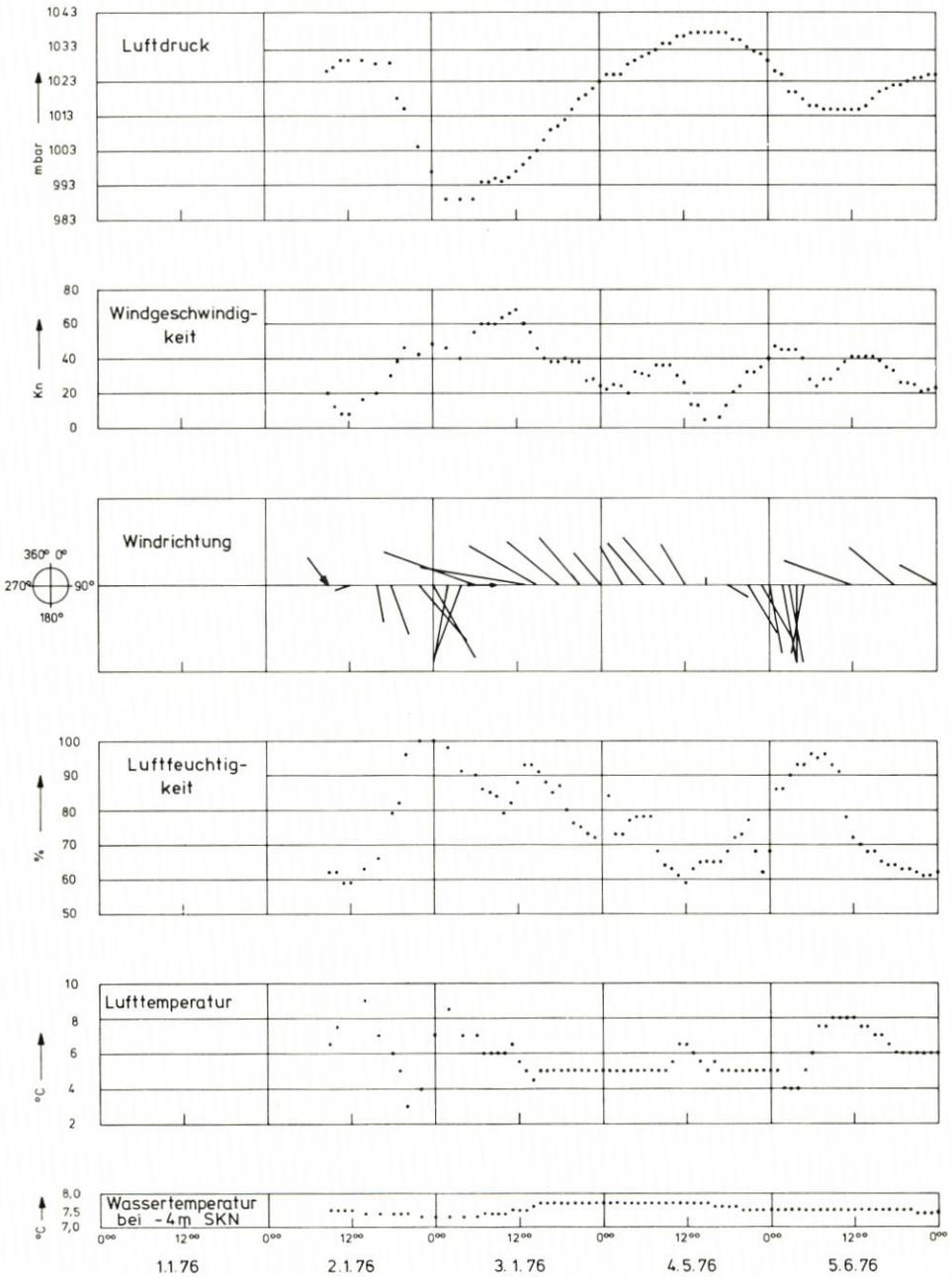


Abb. 5

Der Luftdruck, der sich um die Mittagszeit des 2. Januar auf etwa 1029 mbar eingependelt hatte, nahm ab 18.00 Uhr rasch ab und erreichte seinen tiefsten Wert um 2.00 Uhr des 3. Januar mit 989 mbar. Bis 06.00 Uhr trat keine Veränderung ein; darauf folgte eine zunächst sprunghafte, dann stetige Erhöhung des Luftdruckes bis zum Mittag des 4. Januar mit 1037 mbar (13.00 Uhr).

Die Lufttemperatur erreichte in den Mittagsstunden des 2. Januar ein erstes Maximum, nachdem die Zufuhr kalter Luftmassen aus Nordwesten aufgehört hatte (Winde drehten von Nordwest auf Südwest). Mit Winddrehung auf Südost und starkem Auffrischen in den Nachmittagsstunden des 2. Januar wurde kalte Festlandluft herangeführt, so daß die Temperatur bis etwa 20.00 Uhr auf  $3^{\circ}\text{C}$  absank. Die Annäherung der Warmfront des Orkantiefs kurz vor Mitternacht zum 3. Januar zeigte sich in raschem Temperaturanstieg. Das Temperaturmaximum von  $8,5^{\circ}\text{C}$  am 3. Januar gegen 02.00 Uhr wurde kurz vor der Kaltfront erreicht. Dann fiel die Temperatur mit dem Einströmen kälterer Luft aus Nordwesten auf etwa  $5^{\circ}\text{C}$  ab.

Die Luftfeuchtigkeit zeigte mit Herannahen der abgekühlten Festlandluft deutlichen Anstieg von 59 ‰ (2. 1., 12.00 Uhr) auf 100 ‰ (2. 1., 22.00 Uhr).

Die Windgeschwindigkeit betrug bei Beendigung der Kaltluftzufuhr aus Nordwest am 2. 1., 12.00 Uhr, ca. 8 kn mit Richtung WSW. Dann stieg die Geschwindigkeit an auf ca. 46 kn (20.00 Uhr). Gleichzeitig drehte der Wind auf südöstliche Richtung.

Das Geschwindigkeitsmaximum wurde mit 60 bis 76 kn (Richtung West) am 3. Januar um 12.00 Uhr erreicht.

Die Wassertemperatur (bei  $-4\text{ m SKN}$ ) sank mit Abkühlung der Luft und zunehmendem Seegang von  $7,5^{\circ}\text{C}$  (2. 1., 12.00 Uhr) auf  $7,3^{\circ}\text{C}$  (2. 1., 22.00 Uhr) und stieg dann langsam, bei unterschiedlichen Lufttemperaturen, auf  $7,7^{\circ}\text{C}$  (3. 1., 15.00 Uhr), um sich auf diesem Niveau über 24 Stunden zu halten.

#### 4.3 Wasserstände

Der Tideschrieb ist im Original in Abb. 6 wiedergegeben.

Es zeigte sich, daß die Grenze des Papiers bei Hochwasser überschritten wurde und der Umsteuermechanismus der Registriereinrichtung in Tätigkeit trat, um die Hochwasserspitze „umzuklappen“. Anhand von bekannten Zeitpunkten der astronomischen Hoch- und Niedrigwasser für Helgoland und vergleichbarer Daten der Pegel Helgoland und Borkum wurde die Kurve umgezeichnet und in Abb. 7 dargestellt. Das Bild enthält ebenfalls die Kurven für Helgoland und Borkum.

Als Anschlußort bietet sich Helgoland an. Während für das Niedrigwasser praktisch kein Zeitversatz vorhanden ist, treffen auf der Forschungsplattform NORDSEE die Hochwasser etwa 20 min früher ein.

Die Kurven der FPN und Helgoland schwanken in normalen Zeiten in etwa gleichem Rhythmus. Demgegenüber traten während der Sturmflut andere Effekte auf. Unter der Voraussetzung, daß das Gerät einwandfrei registriert hat und daß das Umklappen korrekt durchgeführt wurde, zeigt sich, daß das zweite Sturmfluthochwasser (4. 1., 0.00 Uhr) das davorliegende überstieg. Dies steht im Gegensatz zu den Messungen an der nordfriesischen Küste und in Helgoland, wo das erste Hochwasser das höhere war.

Dieselbe Tendenz wie die Messungen auf der Forschungsplattform NORDSEE zeigen Pegelkurven der Sturmflut an der westfriesischen und holländischen Küste mit höheren Werten für die zweite Flut. Die Pegelkurve von Borkum verdeutlicht diesen Sachverhalt.



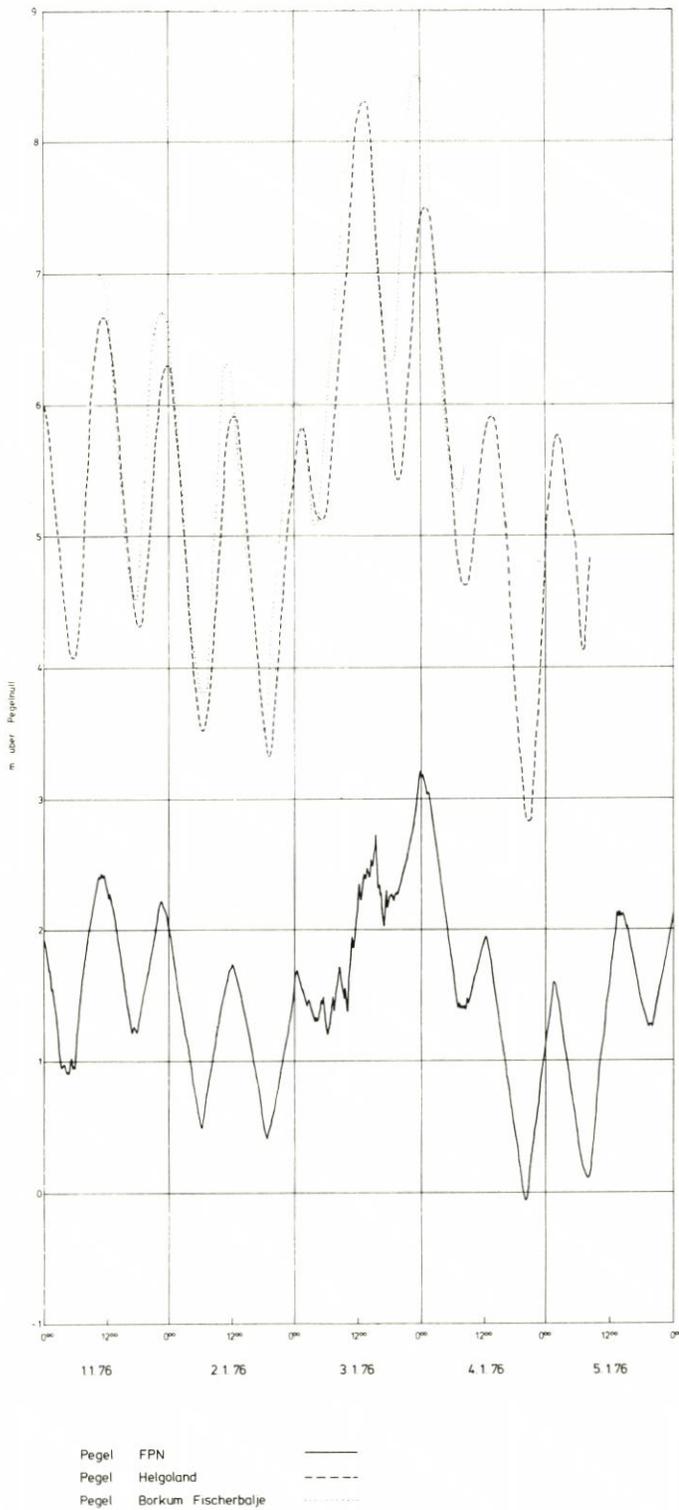


Abb. 7

Weitere Schlußfolgerungen können hier nicht gezogen werden; es ist jedoch beachtlich, daß sich augenscheinlich über die relativ kurze Distanz zwischen Forschungsplattform NORDSEE und Helgoland unterschiedliche Tidecharakteristiken einstellen können.

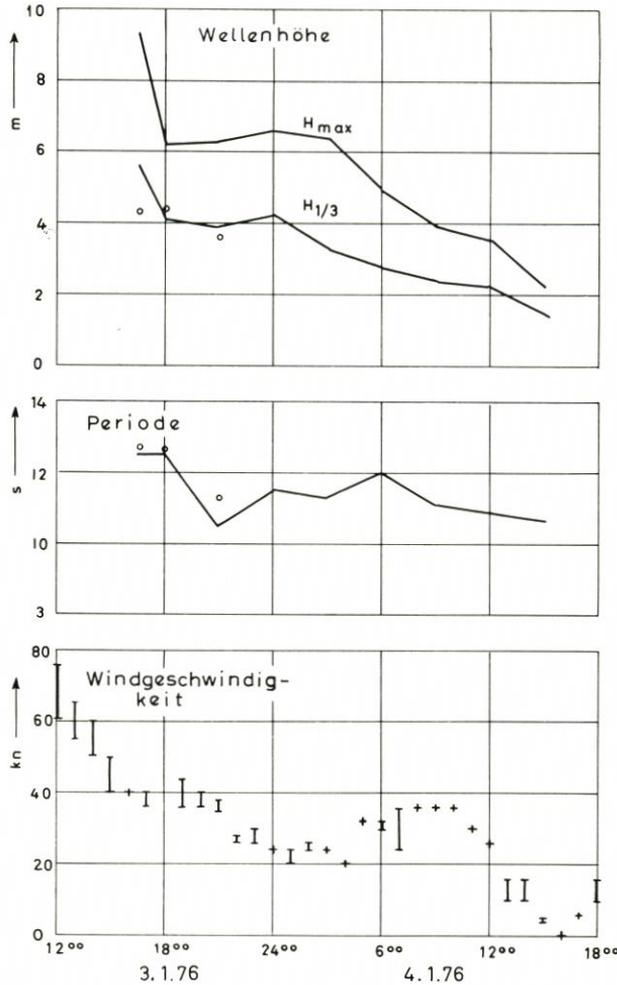


Abb. 8

#### 4.4 Seegangsmessungen

Als Ausgangsmaterial für die Auswertung stand eine Registrierung (Analogschrieb) der Druckdose auf dem nördlichen Ringstab für den Zeitraum 3. 1., 16.30 Uhr, bis zum 4. 1., 15.30 Uhr, zur Verfügung.

Die von den Oberflächenwellen (Seegang) erzeugten dynamischen Druckschwankungen nehmen mit zunehmendem Abstand von der Wasseroberfläche ab, und zwar um den Faktor

$$K = \frac{\cosh(2\pi h/L)}{\cosh(2\pi d/L)}$$

(d = Wassertiefe, h = Höhe der Druckdose über Grund = 19 m, L = Länge der Oberflächenwellen über der Wassertiefe d).

Die Wellenlänge L läßt sich mit Hilfe der Gleichung  $d/L_0 = d/L \cdot \tanh(2\pi d/L)$  aus der Wellenperiode T und der Gleichung für Tiefwasserwellen  $L_0 = 1,56 T^2$  berechnen (L in Metern, T in Sekunden).

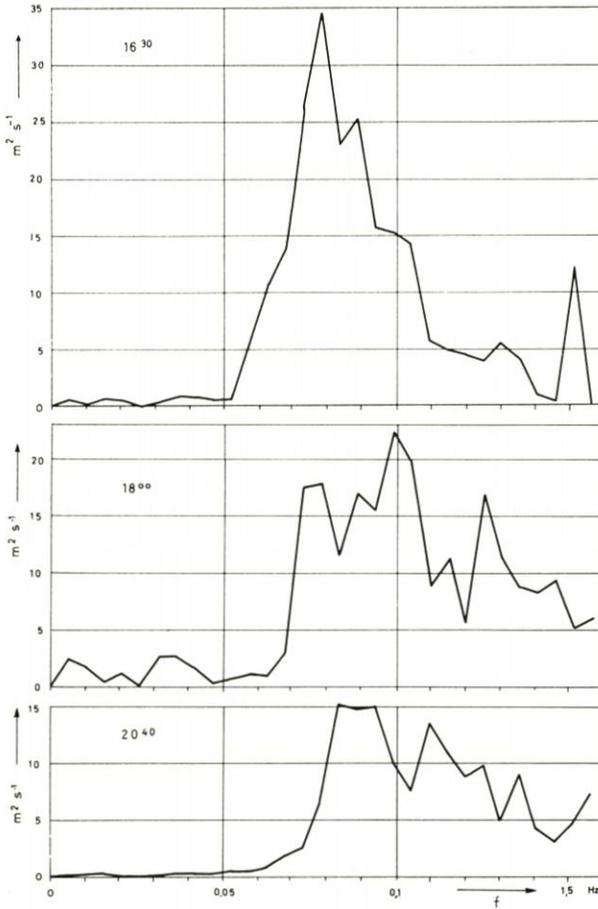


Abb. 9

Bei bekannten d (tideabhängig), h und L lassen sich aus den gemessenen Druckschwankungen die zugehörigen Oberflächenwellen und deren Wellenhöhen berechnen.

Folgende statistischen Parameter (nach DRAPER, 1966) wurden dem Analogschrieb entnommen:

- die mittlere Periode  $T_z$  des Seegangs aus der Zahl der Nulldurchgänge („zero-crossings“) des Analogschriebs durch eine Mittellinie während einer Registrierdauer von 10 Minuten,

- die maximale Wellenhöhe  $H_{\max}$  desselben Registrierabschnittes
- und die kennzeichnende Wellenhöhe  $H_{1/3}$  (Mittelwert des obersten Drittels aller Wellenhöhen, wenn alle Wellen des Registrierabschnitts der Höhe nach geordnet werden).

Für die Umrechnung der Druckschwankungen auf Wellenhöhen wird in diesem Fall die mittlere Periode  $T = T_Z$  benutzt.

Die Seegangparameter  $H_{1/3}$ ,  $H_{\max}$  und  $T_Z$  sind in Abb. 8 in ihrer zeitlichen Entwicklung zusammen mit der Windgeschwindigkeit dargestellt.

Außerdem wurden für drei Registrierabschnitte von je 30 Minuten Dauer Seegangsspektren berechnet. In Abb. 9 ist die Energiedichte des Seegangs (Dimension  $m^2/Hz$ ) als Funktion der Frequenz aufgetragen. Wegen der geringen Vorschubgeschwindigkeit (10 mm/min) des Analogschriebs und der damit verbundenen geringen Zeitauflösung ist die obere Grenzfrequenz der spektralen Auswertung auf 1,6 Hz beschränkt. Bei Verwendung des auf der Plattform installierten Magnetbandgerätes mit PCM-Registrierung lassen sich die Genauigkeit und der Frequenzbereich der Spektren erheblich erhöhen. Dasselbe gilt auch für den Wert der kennzeichnenden Wellenhöhe  $H_{1/3}$ , der sich aus der Fläche unterhalb der Spektralkurve gemäß  $H_{1/3} = 4 (\int E [f] df)^{1/2}$  berechnen läßt (nach LONGUET-HIGGINS, 1952).

Die berechneten Werte von  $H_{1/3}$  wurden in Abb. 8 als Kreise eingetragen, außerdem die aus der Frequenz des ersten Maximums der Energiespektren berechnete Periode  $T_{\max} = 1/f_{\max}$ .

Die höchste Wellenhöhe wurde aus der ersten auswertbaren Messung um 16.30 Uhr, d. h. etwa viereinhalb Stunden nach dem Durchgang des Maximums des Sturms, zu 9,33 m errechnet, die zugehörige kennzeichnende Wellenhöhe betrug 5,27 m. Im weiteren Verlauf verringerte sich die Wellenhöhe, wie erwartet, mit abnehmendem Wind.

Aus den Spektren sieht man ferner deutlich, daß der langwellige Anteil der Wellen zurückgeht. Diese Entwicklung ist ebenfalls in einem Rückgang der mittleren Periode zu erkennen. Die Übereinstimmung zwischen der zum ersten Energiemaximum gehörigen Periode und der „zero-crossing“-Periode zeigt, daß die Druckregistrierung wegen der Wellenlängenabhängigkeit des Druckminderungsfaktors  $K$  im wesentlichen die langwelligen Komponenten des Seegangs wiedergibt.

Die starke Veränderlichkeit der gemessenen Spektren ist darauf zurückzuführen, daß ein Spektrum nicht nur die Überlagerung der am Meßort durch den lokalen Wind aufgeworfenen Wellenkomponenten darstellt, sondern auch alle diejenigen Wellenkomponenten einbezieht, die durch das komplizierte Windfeld des Orkantiefs auf seiner Zugbahn erzeugt wurden und die den Meßort zum Zeitpunkt der Messung erreichten.

## 5. Schriftenverzeichnis

- KNABE, ST., LONGRÉE, W.-D., JUNGK, K.: Forschungsplattform vor Helgoland. mt „Meerestechnik“ Bd. 5, Nr. 3, 1974.
- SALZMANN, H., KNABE, ST., LONGRÉE, W.-D., BURMEISTER, P., JENNRICH, W., MEINS, U., VIEREGGE, J., KIRCHHOFF, W., VICTOR, H.: Meß- und Erprobungsstation im deutschen Nordseeschelf. mt „Meerestechnik“ Bd. 6, Nr. 5, 1975.
- LONGRÉE, W.-D.: Aspects of the Instrumentation and Measurement Performance of the Research Platform NORDSEE. BOSS '76, Trondheim.
- DRAPER, L.: The Analysis and Presentation of Wave Data. Proc. 10th Conf. on Coastal Engin., Tokio, 1966.
- LONGUET-HIGGINS, M. S.: On the Statistical Distribution of the Heights of Sea Waves. J. of Marine Res., Vol XI, No 3, 1952.