

Extreme Waves at FINO 1 Research Platform Caused by Storm “Tilo” on 9 November 2007

FINO 1: Bericht zur Wetterlage und Seegangssituation
während des Orkans TILO am 9. November 2007

O. Outzen, K. Herklotz, H. Heinrich, BSH
C. Lefebvre, DWD

EXTERNAL ARTICLE



O. Outzen

ENGLISH - DEUTSCH

On 8 and 9 November 2007, the low-pressure system “Tilo”, with maximum wind speeds of 120 km/h (12 Bft), crossed the German Bight. In the afternoon of 9 November, the low caused waves with significant wave heights in excess of 10 m, corresponding to a maximum wave height of 17 - 18 m, wave periods of about 15 s and wave lengths of more than 220 m, which constitute extreme values in this sea area. On the FINO 1 research platform, the working platform was damaged at a height of 15 m above chart datum, repeating the occurrence of 1 November 2006 when the low-pressure system “Britta” had caused damage. Also this time, the highest wave crests reached nearly 45 m above ground, which is about 1.5 m above the level of the working platform. A storm and wave event of this magnitude in two consecutive years is an exceptional occurrence.

The research platform FINO 1 is located at position N 54° 0.86'E 6° 35.26', about 45 km north of Borkum. FINO 1 is used to make comprehensive physical, hydrological, chemical and biological measurements in preparation for the erection of offshore wind farms. Storm “Tilo” of 9 November 2007 again caused damage to the working platform of FINO 1, only a short time after the damage caused by storm

Am 8. und 9. November 2007 zog das Tief Tilo von Nordwesten kommend mit Spitzenwindgeschwindigkeiten von 120 km/h (entsprechend 12 Bft.) über die Deutsche Bucht. Der Orkan hat am Nachmittag des 9. November zu Wellen geführt, die mit signifikanten Wellenhöhen von über 10 m, entsprechend einer maximalen Wellenhöhe von 17-18 m, sowie Wellenperioden um 15 s und Wellenlängen von über 220 m in diesem Seegebiet extrem sind. An der Forschungsplattform FINO 1 wurden in Höhe von 15 m über Seekartennull Schäden am umlaufenden Arbeitsplateau verursacht, wie bereits am 1. November 2006 durch den Orkan BRITTA. Die höchsten Wellenkämme reichten auch diesmal bis knapp 45 m über Grund, also etwa 1,5 m höher als der Umlauf. Bemerkenswert ist, dass ein Sturm- und Seegangereignis dieser Größenordnung in zwei aufeinander folgenden Jahren auftrat.

Die Forschungsplattform FINO 1 befindet sich auf der Position N 54° 0,86' E 6° 35,26', ca. 45 km nördlich Borkum. Auf FINO 1 werden umfangreiche physikalische, hydrologische, chemische und biologische Messungen zur Vorbereitung der Errichtung von Offshore Windparks durchgeführt. Der Orkan Tilo vom 9. November 2007 verursachte erneut Beschädigungen an der Arbeitsplattform von FINO 1, kurz

Fig. 1: On 9 November 2007, broken wooden planks on the working platform 15 m above chart datum (left). Basement of the FINO 1 research platform and location of the working platform.

Abb. 1: Am 9.11.07 zerbrochene Holzbohlen auf der Arbeitsplattform in 15 m ü. SKN (links). Basement der Messplattform FINO 1 und Lage der Arbeitsplattform (rechts).

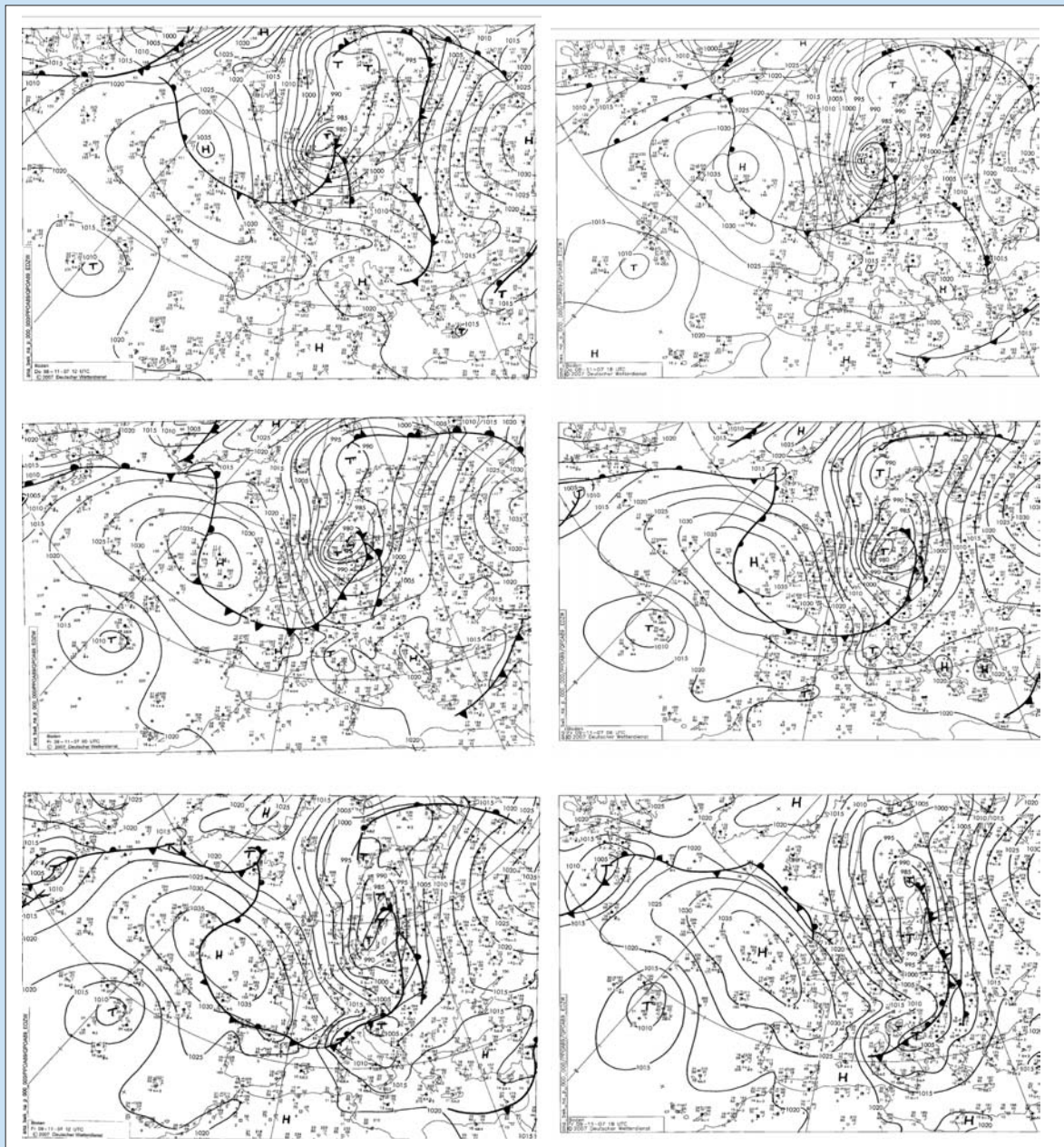


Fig. 2: Analysis of mean sea level pressure on 8 November 2007 at 12 UTC (top left), 18 UTC (top right), on 9 November 2007 at 00 UTC (middle left), 06 UTC (middle right), 12 UTC (bottom left), and 18 UTC (bottom right).

Abb. 2: Bodenanalyse des Luftdrucks (auf NN reduziert) vom 08.11.2007 12 UTC (oben links), 18 UTC (oben rechts), vom 09.11.2007 00 UTC (Mitte links), 06 UTC (Mitte rechts), 12 UTC (unten links) und 18 UTC (unten rechts)

“Britta” on 1 November 2006 had been repaired. Among other damage, solid wooden planks several centimetres thick were broken loose from their mountings 15 m above chart datum and destroyed by wash of the sea (Fig. 1). Exactly one year earlier the tempest “Britta” had caused severe damage, e.g. metal railings were bent and broken, and screw-fastened floor gratings were torn from their mountings.

Weather Situation

The low-pressure system “Tilo” formed as a depression at the cold front of the former hurricane “Noel” in the Labrador Sea. As it tracked across the North Atlantic, atmospheric pressure continued to fall, with a core pressure of 980 hPa measured south of Iceland on 8 November 2007 at 00 UTC. During the following 24 hours, the low merged with another low-pressure system extending from the sea area off Spitsbergen across Scandinavia, deepened to 975 hPa, and tracked toward the Oslo fjord. From there, it relocated to the Baltic Proper on 9 November 2007, weakening slightly (Fig. 2). A remarkable feature was the long fetch of the northerly winds in the rear of this low-pressure system.

The cold front of the low, at that time located over the Norwegian Sea, reached the North Sea region in the morning hours of 8 November and traversed it by evening (Fig. 3). At 18 UTC (19 MET), the cold front reached the Elbe and Rhine estuaries and continued crossing Germany at high speed.

nachdem die Schäden des Orkans Britta vom 1. November 2006 behoben worden waren. Dabei wurden unter anderem auf der Arbeitsplattform in 15 m Höhe über Seekartennull (SKN) massive Holzbohlen von mehreren Zentimetern Stärke durch Seeschlag aus ihrer Befestigung gerissen und zerbrochen (Abb. 1). Der Orkan BRITTA hatte bereits genau ein Jahr zuvor starke Schäden verursacht, u. a. Metallgeländer verbogen und gebrochen, sowie verschraubte Trittgitter aus den Halterungen gerissen.

Die Wetterlage

Das Tief Tilo bildete sich als Welle an der Kaltfront von Ex-Hurrikan NOEL in der Labradorsee. Es zog unter Vertiefung über den nördlichen Nordatlantik und erreichte am 8.11.2007 um 00 UTC mit einem Kerndruck von 980 hPa das Seegebiet südöstlich von Island. Von da gelangte es innerhalb der nächsten 24 Stunden in ein bereits bestehendes Tiefdrucksystem, das sich vom Seegebiet um Spitzbergen bis über Skandinavien erstreckte, verstärkte sich auf 975 hPa und zog zum Oslofjord. Von hier aus verlagerte es sich im Laufe des 09.11.2007 unter leichter Abschwächung zur zentralen Ostsee (Abb. 2). Markant war die große Wirklänge des nördlichen Windes auf der Rückseite des Tiefdrucksystems.

In den Morgenstunden des 08.11. griff die Kaltfront des zu diesem Zeitpunkt über der Norwegischen See gelegenen Tiefs auf den Nordseeraum über und überquerte diese bis zu den Abendstunden (Abb. 3). Um 18 Uhr UTC (19 Uhr MEZ) erreichte sie die Elbe- und die Rheinmündung und

Your Success is our Business > worldwide



DEWI-OCC

Offshore and Certification Centre

Certification

- > Type Certification
- > Component Certification
- > Site Specific Certification
- > Certification during Development

Services On-/Offshore

- > Type Approval
- > Turbulence Analysis
- > Periodic Inspections
- > Personnel Safety
- > Due Diligence
- > Damage Analyses and Damage Expertises
- > Risk Analyses

Services Offshore

- > Assessment of Construction and Foundation
- > Evaluation of Design Concepts
- > Offshore Staff Training



DEWI-OCC Offshore and Certification Centre GmbH

Am Seedeich 9 // D - 27472 Cuxhaven // Tel. ++49 (0) 4721 - 5088 - 0 // Fax ++49 (0) 4721 - 5088 - 43
 info@dewi-occ.de // www.dewi-occ.de

Fig. 3: Development of wind directions from 8 - 9 November 2007 at different North Sea stations. The temporal development of wind directions corresponds to the directions of wave propagation in Fig. 6.

Abb. 3: Verlauf der Windrichtung vom 08.11. bis 09.11.2007 an verschiedenen Stationen im Nordseeraum. Der zeitliche Verlauf der Windrichtungen entspricht der Ausbreitungsrichtung des Seegangs in Abb. 6.

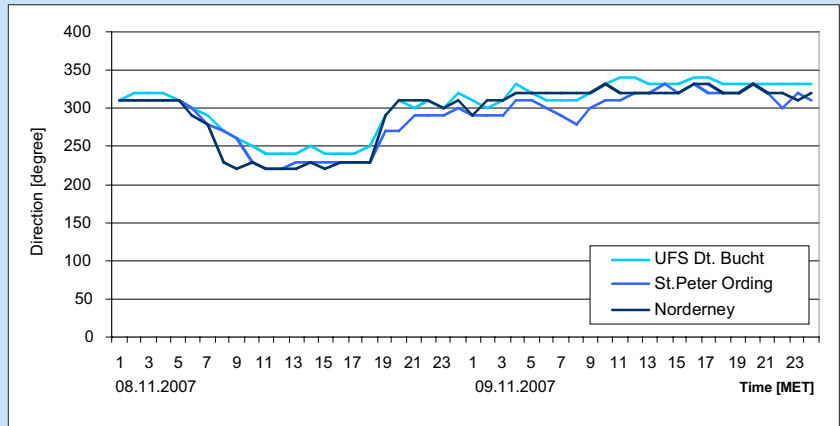
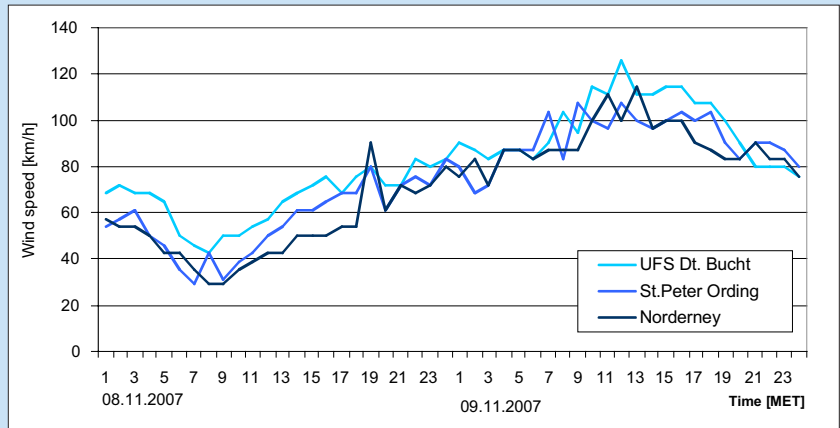


Fig. 4: Development of the strongest gusts during storm "Tilo" in the German Bight on 8 and 9 November

Abb. 4: Verlauf der maximalen Windböen des Orkantiefs Tilo am 8. und 9. November in der Deutschen Bucht.



Tab. 1: Maximum wind speeds in the German Bight on 9 November 2007

Tab. 1: Spitzen der Windgeschwindigkeit am 09.11.2007 über der Deutschen Bucht

Station	Max. Gust (km/h)
North Sea	
Spiekerroog	146.5
UFS Deutsche Bucht	127.4
Strucklahnungshörn	124.6
List auf Sylt	120.2
Norderney	115.9
Hallig Hooge	111.6
Helgoland	110.5
Sankt Peter-Ording	108.7
Büsum	108.4
Bremerhaven	100.4
Borkum-Süderstraße	96.8
Brunsbüttel (Schleuse)	95.4
Cuxhaven	94.0
Leck	90.4
Emden	86.4

Both the sudden change in wind direction from SW to NW on 8 November 2007 toward 7 p.m. in Fig. 3 and the first wind maximum in Fig. 4 mark the passage of the cold front in the German Bight. Ships operating in the central and northern North Sea at that time reported 10-minute means of wind speed in the range of Bft 8-10 and wind waves with significant wave heights of about 8 m, whereas in the southern North Sea mean wind speeds of Bft 6 and waves

zog mit hoher Geschwindigkeit südostwärts über Deutschland hinweg.

Sowohl der Sprung der Windrichtung von SW auf NW am 8.11.07 gegen 19 Uhr in Abb. 3, wie das erste Windmaximum in Abb. 4, markieren die Passage der Kaltfront in der Deutschen Bucht. Während Schiffe zu dieser Zeit in der zentralen und nördlichen Nordsee 10-Minutenmittel des Win-

of 2-3 m were observed. Gusts reached maximum values of Bft 10 in this area.

Following temporary weakening of the wind, the wind strengthened again in the area of the ensuing low pressure trough. In the rear of the trough, strong north-western to north-north-western flow from the European Polar Sea set in, and wind speed increased again as atmospheric pressure was rising. In the southern North Sea, the highest wind speeds occurred in the morning to afternoon hours of 9 November 2007. The 10-minute means of wind speed reached Bft 9 - 10, gusting up to Bft 10 - 11 with occasional gale-force gusts (Fig. 4, Tab. 1).

Sea State Measurements

Wave height, direction and period are measured on the FINO 1 platform using two different measuring systems: a radar based wave monitoring system (WAMOS) and an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP of type AWAC). The ADCP sensor has an acoustic beam width of 25°. At a water depth of 28 m below chart datum, the signal is returned from an area of 120 m². The area covered by WAMOS is three times approx. 1.8 km² (three analysis areas from the complete radar images). ADCP and wave radar so far allow only the determination of statistical wave parameters, the averaging period of ADCP being 20 minutes, that of the radar system 30 minutes. A wave buoy anchored close to the platform was not operational at the time of the hurricane, so that information on individual waves is not available.

Fig. 5 shows the time series of significant wave heights recorded by the radar and ADCP systems in the period from 1 to 17 November 2007. The maximum value of about 10.5 m was measured by both systems toward noon on 9 November.

The significant wave height H_s is defined as the mean wave height of the highest one-third waves in a specific averaging period (see above). As the maximum wave height could not be measured, it has been determined according to the rough formula $H_{max} = 1.7 \times H_s$. With a maximum H_s of 10.5 m, the maximum wave height may be assumed to have been 17 - 18 m.

Peak Wave Directions and Periods

Throughout November, sea states were forced by western to north-western winds (Fig. 6), with ADCP measurements indicating a slightly higher tendency to southerly directions than the radar system. The peak wave direction in the days around 9 November was about 320°. The very long fetch of these winds reaching from the Polar Seas to the North Sea supported the formation of waves with very long periods. The pre-existent westerly wave directions made the observed rapid increase in wave heights possible.

The large wave heights of 9 November are paralleled by high values of the peak wave period (Fig. 7). In the time under discussion, periods at the FINO 1 platform reached maximum values of 15.9 s (WAMOS) and 14.3 s (ADCP). At a water depth of 32 m, this corresponds to extreme wave

des im Bereich von Bft 8-10 und eine Windsee mit signifikanten Wellenhöhen um 8 m meldeten, wurden in der südlichen Nordsee Mittelwinde um Bft 6 und Wellen von 2-3 m beobachtet. Die maximalen Windböen erreichten hier eine Windstärke bis Bft 10.

Nach einer vorübergehenden leichten Windabschwächung verstärkte sich der Wind im Bereich des nachfolgenden Bodentrops wieder. Auf der Rückseite dieses Trogs stellte sich dann eine kräftige nordwestliche bis nordnordwestliche Strömung vom Europäischen Nordpolarmeer her ein und der Wind steigerte sich bei nachfolgendem Druckanstieg weiter. An der südlichen Nordsee traten die höchsten Windgeschwindigkeiten von den Vormittags- bis in die Nachmittagsstunden des 09.11.2007 ein. Die 10-min-Mittel des Windes erreichten Geschwindigkeiten entsprechend Bft 9 bis 10 und die maximalen Böen meist Bft 10 bis 11, vereinzelt auch Orkanstärke (Abb. 4, Tab. 1).

Seegangsmessungen

Von FINO 1 aus werden die Wellenhöhen, -richtungen und -perioden mit zwei verschiedenen Messsystemen aufgezeichnet: mit einem Seegangsradar (WAMOS), sowie mit einem Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP, Typ AWAC). Der Schallkegel des ADCP-Sensors besitzt einen Öffnungswinkel von 25°. Bei einer Wassertiefe von 28m unter SKN wird das Signal von einer Fläche mit einem Durchmesser von ca. 120 m² abgenommen. Die Messfläche des WAMOS beträgt dreimal ca. 1,8 km² (drei Analysebereiche aus den vollständigen Radarbildern). ADCP und Seegangsradar ermöglichen bislang nur die Ermittlung von statistischen Seegangsparametern, wobei ein Mittelungszeitraum des ADCP 20 Minuten beträgt und der des Radars 30 Minuten. Eine Seegangsboje, die ebenfalls in der Nähe der Plattform verankert ist, war zum Zeitpunkt des Orkans defekt, so dass keine Messungen von Einzelwellen vorliegen.

In Abb. 5 sind die Zeitreihen der signifikanten Wellenhöhen von Radar und ADCP über den Zeitraum vom 1. bis 17. November 2007 dargestellt. Der Maximalwert von ca. 10,5 m, erreicht am 9. November gegen Mittag, stimmt bei beiden Messmethoden überein.

Die signifikante Wellenhöhe H_s ist definiert als die mittlere Wellenhöhe des höchsten Drittels aller Wellen innerhalb eines Mittelungszeitraumes (s.o.). Da die maximale Wellenhöhe nicht gemessen wurde, wird zu deren Berechnung als Faustregel die Formel $H_{max} = 1,7 \times H_s$ verwendet. Bei einem maximalen H_s von 10.5 m kann somit von maximalen Wellenhöhen von 17 - 18 m ausgegangen werden.

Hauptwellenaufrichtungen und Perioden

Über den gesamten November wurde der Seegang durch Winde aus westlichen bis nördlichen Richtungen angeregt (Abb. 6), wobei die ADCP-Messungen geringfügig südlichere Richtungen gemessen haben als das Seegangsradar. Die Hauptwellenaufrichtung in der Zeit um den 9. November betrug ca. 320° (coming from). Durch die aus dieser Richtung sehr große Wirklänge (Fetch) des Windes über das Nordpolarmeer in die Nordsee hinein, konnten sich Wellen mit großen Wellenlängen bilden. Die westliche Vorprägung

Fig. 5: Significant wave heights H_s in November 2007, measured using WAMOS (black) and ADCP (red) on the FINO 1 offshore platform. The averaging period used to determine the statistical wave parameters significant wave height, peak wave direction and peak wave period is 30 min with the wave radar system, and 20 min with the ADCP (AWAC).

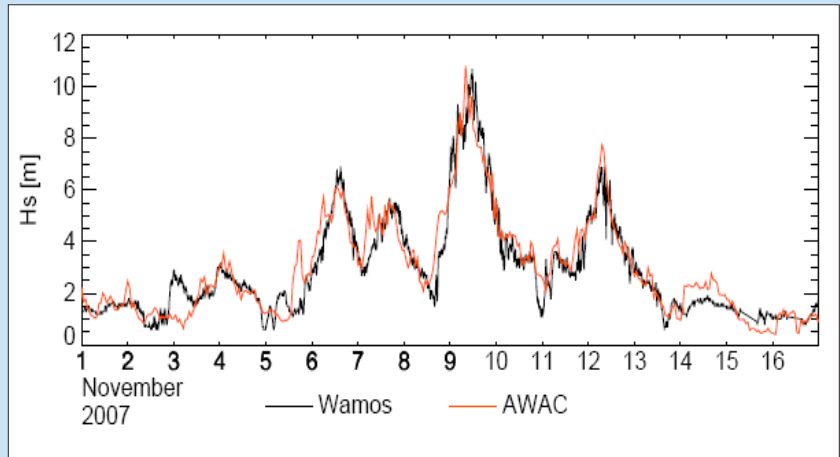


Abb. 5: Signifikante Wellenhöhen H_s im November 2007, gemessen mit WAMOS (schwarz) und mit ADCP (rot) an der Offshore-Plattform FINO 1. Der Mittelungszeitraum zur Bestimmung der statistischen Seegangparameter wie signifikante Wellenhöhe, Hauptwellenaufrichtung und Hauptwellenperiode beträgt beim Seegangsradar 30 min, und bei dem ADCP (AWAC) 20 min.

Fig. 6: Peak wave direction in November 2007 measured using WAMOS (black) and ADCP (red) systems

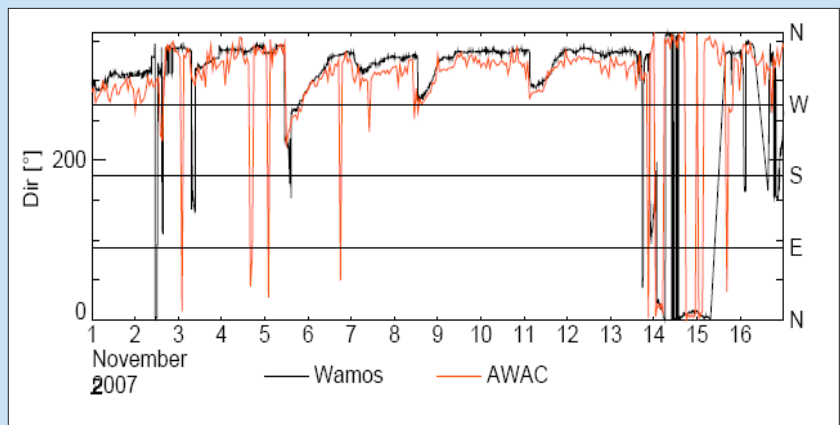


Abb. 6: Hauptwellenaufrichtung im November 2007 gemessen mit WAMOS (schwarz) und mit ADCP (rot).

Fig. 7: Peak wave periods in November 2007, determined using wave radar (black) and ADCP (red).

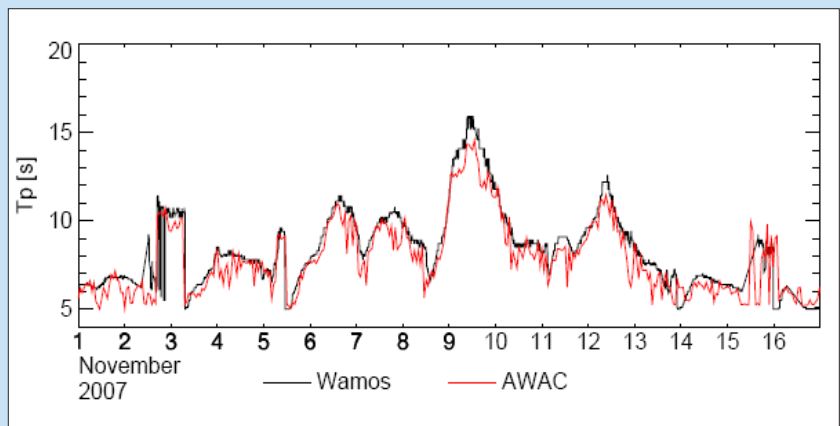


Abb. 7: Hauptwellenperioden im November 2007, gemessen mit dem Seegangsradar (schwarz) und dem ADCP (rot).

lengths of 257 m and 228 m, respectively. The difference between the measurements of the two sensors is attributable to the above-mentioned differences in temporal resolution and spatial coverage that were used to determine the statistical parameters.

Water Levels

In the southern North Sea, the highest measured wind speeds coincided with the time of high tide (Helgoland: 11:26 MET, Borkum: 10:30 MET, Bremerhaven: 12:55 MET), which was a spring tide with water levels normally exceeding those of mean high water (MHW). The main cause of

des Seegangs ermöglichte dann auch einen schnellen Anstieg der Wellenhöhen.

Die großen Wellenhöhen vom 9. November finden ihre Entsprechung in den hohen Werten der Hauptwellenperioden (Abb. 7). Die Perioden in dem betrachteten Zeitraum erreichen an der FINO 1 Plattform maximale Werte von 15.9 s (WAMOS), bzw. 14.3 s (ADCP). Dieses entspricht bei 32 m Wassertiefe extremen Wellenlängen von 257 m bzw. 228 m. Der Unterschied zwischen den gemessenen Werten der beiden Sensoren lässt sich auf die oben erwähnte unterschiedliche zeitliche Auflösung und räumliche Abdeckung zur Bestimmung der statistischen Parameter zurückführen.

the severe storm surge was wind set-up. The maximum water levels ranged between 2.50 and 3.30 m above MHW.

At the FINO 1 research platform, the tide (including wind set-up) caused a water level of 32.7 m above ground. This value corresponds to a water level 2.8 m above mean high water (29.9 m) or 4.7 m above chart datum (28.0 m at FINO 1).

Assuming a maximum wave height of 17 m and a value of 0.686 for the ratio between wave crest and total wave height (empirical value for long waves), the result is a wave crest height of about 11.7 m above a theoretical sea surface without excursions. Adding the water level of 32.7 m to this value, a height of 44.4 m above ground is obtained, or 16.4 m above chart datum. This means that the working platform 15 m above chart datum was about 1.5 m under water and the highest wave crests were just 3.5 m below the main working platform.

Wasserstände

An der südlichen Nordsee fiel das Auftreten der höchsten Windgeschwindigkeiten mit den Zeiten des Hochwassers der Gezeitenwelle zusammen (Helgoland: 11:26 Uhr MEZ, Borkum: 10:30 MEZ, Bremerhaven: 12:55 MEZ), wobei es sich um eine Springflut handelte, bei der die Hochwasserstände generell über denen des Mittleren Tidehochwassers (MThw) liegen. Es war insbesondere der Windstau, der zu einer schweren Sturmflut führte. Die höchsten Wasserstände bewegten sich zwischen 2,50 und 3,30 m über MThw.

An der Forschungsplattform FINO 1 bewirkte die Gezeit (einschließlich Windstau) einen Wasserstand von 32,7 m über Grund. Dieser Wert entspricht einem Stand von 2,8 m über dem mittleren Hochwasser (29,9 m), bzw. 4,7 m über Seekartennull (28,0 m bei FINO 1).

Wenn man von einer maximalen Wellenhöhe von 17 m ausgeht und für das Verhältnis von Wellenberg zur Gesamtwellenhöhe einen Wert von 0,686 annimmt (empirischer Wert für lange Wellen), so ergibt dies eine Höhe der Welle von etwa 11,7 m über einer gedachten, unausgelenkten Meeresoberfläche. Addiert man nun den Wasserstand von 32,7 m hinzu, wird eine Höhe von 44,4 über Grund, bzw. 16,4 m über SKN erreicht. Dies bedeutet, dass die Arbeitsplattform in 15 m Höhe ü. SKN um etwa 1,5 Meter überspült worden war und dass Wellenkämme bis 3,5 m unterhalb der Hauptarbeitsplattform reichten.