

# Abschlussbericht

**Projekt:**

**Ozeanographische Messungen auf den FINO-Plattformen, meteorologische und strukturelevante Messungen auf FINO1 sowie Betrieb der FINO-Datenbank**

**Förderkennzeichen: 0325321**



Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

in Zusammenarbeit mit:



DEWI (UL International GmbH)



Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde

**Februar 2015**

# Projekt

**Ozeanographische Messungen auf den FINO-Plattformen, meteorologische und strukturelevante Messungen auf FINO1 sowie Betrieb der FINO-Datenbank**

**Ein vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), ab 17.12.2013 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), vertreten durch das Forschungszentrum Jülich GmbH (Projektträger Jülich PTJ) gefördertes Projekt**

## **Kooperationspartner:**

**Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)**  
Bernhard-Nocht-Straße 78  
20359 Hamburg  
Tel.: 040-3190-0  
Fax.: 040-3190-5000

**UL International GmbH (DEWI)**  
Ebertstr. 96  
D-26382 Wilhelmshaven  
Tel.: 04421-4808-0  
Fax.: 04421-4808-43

**Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)**  
Seestraße 15  
18119 Rostock  
Tel.: 0381-5197-0  
Fax.: 0381-5197-4811

## **Projektleitung:**

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

## **Inhalt**

<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>2. OZEANOGRAPHISCHE MESSUNGEN AUF FINO1 .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. OZEANOGRAPHISCHE MESSSYSTEME AUF FINO1 .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. BETREUUNGSAUFWAND FÜR OZEANOGRAPHISCHE MESSUNGEN AUF FINO1 .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3. ERGEBNISSE DER OZEANOGRAPHISCHEN MESSUNGEN AUF FINO1 .....</b>	<b>8</b>
<b>3. OZEANOGRAPHISCHE MESSUNGEN AUF FINO2 .....</b>	<b>17</b>
<b>4. OZEANOGRAPHISCHE MESSUNGEN AUF FINO3 .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 OZEANOGRAPHISCHE MESSSYSTEME AUF FINO3.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2. BETREUUNGSAUFWAND FÜR OZEANOGRAPHISCHE MESSUNGEN AUF FINO3 .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3. ERGEBNISSE DER OZEANOGRAPHISCHEN MESSUNGEN AUF FINO3 .....</b>	<b>21</b>
<b>5. DATENORGANISATION UND WEITERGABE AN NUTZER.....</b>	<b>30</b>
<b>5.1. FINO DATENBANK.....</b>	<b>31</b>
<b>6. SCHLUSSWORT .....</b>	<b>33</b>
<b>ANHANG: NUTZERLISTE DER FINO DATENBANK .....</b>	<b>34</b>
<b>ANHANG WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN.....</b>	<b>43</b>

## 1. Einleitung

Die Offshore-Strategie der Bundesregierung hat zum Ziel, dass bis zum Jahr 2030 Offshore-Windparks mit einer installierten Leistung von insgesamt 25 GW errichtet werden. Das entspricht der Jahresleistung von 20 Kernkraftwerken.

Mit dem Bau von Windenergieanlagen auf See werden Investitionen von mindestens 100 Milliarden Euro und 30.000 neue Arbeitsplätze erwartet. Aufgrund der Technologieführerschaft im Bereich der 5 MW-Technologie ergeben sich für deutsche Unternehmen auch erhebliche Exportpotenziale.

Die Bundesregierung will bis 2020 den Ausstoß von Treibhausgasen um 40 Prozent und bis 2050 um 80 bis 95 Prozent reduzieren. Das bedeutet die weitest gehende Umstellung unserer Energieversorgung auf erneuerbare Energien. Bei der Stromversorgung wird dabei die Offshore-Windenergie eine entscheidende Rolle spielen. Um diese Ziele zu erreichen, wurde und wird die Forschung im Bereich der Offshore-Windenergie aufgrund von Beschlüssen des Deutschen Bundestages gefördert.

Ein Förderschwerpunkt sind die drei Forschungsplattformen FINO 1, 2 und 3 in Nord- und Ostsee.

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) führt in Kooperation mit dem DEWI (UL International GmbH) in mehreren Projekten seit September 2003 auf der Forschungsplattform FINO1 ozeanographische, meteorologische und strukturdynamische Messungen durch. Mit den gewonnenen Daten wurden die Ertragsaussichten von zukünftigen Offshore-Windparks abgeschätzt, sowie die Belastung, Ermüdung und Lebensdauer der technischen Einrichtungen und der Konstruktionen als Ganzes untersucht. Ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen war und ist der Einfluss der Meeresphysik auf Offshore-Windkraftanlagen (OWEA) und mögliche Veränderungen der Meeresphysik durch OWEAs. Die meeres-physikalischen Daten sind gleichzeitig die wichtigste Grundlage für alle weiteren Teilprojekte, die im Rahmen von FINO durchgeführt werden, insbesondere den meeresbiologischen Untersuchungen.

Die Erfahrungen aus dem langjährigen Betrieb der FINO1 haben zu einem ozeanographischen Messkonzept geführt, das auf die Forschungsplattform FINO3 übertragen worden ist. Ziel war auch hier die möglichst lückenlose Erfassung und Speicherung mehrjähriger Zeitreihen der Messgrößen Strömung, Seegang und Wasserstand sowie oberflächen- und bodennaher Druck, Salzgehalt, Sauerstoff und Temperatur. Die Messungen an der FINO3 wurden im Jahr 2009 aufgenommen.

Die Ostseeplattform FINO 2 ist seit 2007 in Betrieb. Ein ozeanographisches Unterwassermesssystem zur kontinuierlichen Datenerhebung an der Lokation Kriegers Flak sowie zur laufenden Beurteilung der Umweltbedingungen und Bauwerksbelastungen im Unterwasser-Bereich der Plattform wurde dort aufgebaut. Insbesondere aus dieser Meeresregion werden ausreichende Daten benötigt, um den Einfluss von Windparks auf die marine Umwelt unter den besonderen Schichtungsbedingungen der südlichen Ostsee abschätzen und beurteilen zu können. Die Kenntnisse über Strömung, Seegang und Wasserschichtung bilden darüber hinaus wichtige Grundlagen, um die Fundamente und Gründungen sowie den Kolkschutz aus wirtschaftlichen und sicherheitsrelevanten Betrachtungen zu optimieren.

Die Messergebnisse aller drei FINO Stationen werden in einer gemeinsamen Datenbank gespeichert und stehen wissenschaftlichen Anwendern und der Öffentlichkeit über das Internet zur Verfügung. Zurzeit sind mehr als 970 wissenschaftliche Institute, Behörden und kommerzielle Firmen aus allen Ländern Europas als Nutzer der Datenbank registriert.

Das Forschungsprojekt wurde am 26.10.2011 für den Zeitraum 01.11.2011 bis zum 30.10.2014 bewilligt.

## **2. Ozeanographische Messungen auf FINO1**

Mit den auf der Forschungsplattform FINO1 gemessenen ozeanographischen Daten lassen sich der Einfluss der Meeresphysik auf Offshore-Windkraftanlagen (OWEA) und mögliche Veränderungen der Meeresphysik durch OWEAs untersuchen. Die gleichzeitige Erfassung von Seegang und meteorologischen Parametern liefert einen vollständigen Satz an Umgebungsparametern zur Bewertung und Modellierung der Bauwerksdynamik und Belastung in realer Offshore-Umgebung. Strömungsdaten stellen zusammen mit den Seegangparametern wichtige Informationen für die Untersuchungen im Gründungsbereich, insbesondere für die Untersuchungen des Sedimentverhaltens in unmittelbarer Nähe zu Offshore-Bauwerken dar. Dafür sind die Wasserstandsdaten ebenfalls unverzichtbar. Für die biologischen Untersuchungen sind im Wesentlichen die hochaufgelösten Zeitreihen des Sauerstoffs, der Temperatur und des Salzgehaltes in Zusammenhang mit Strömungsdaten die Beurteilungsgrundlage. Auch im Zusammenhang mit Schalluntersuchungen ist die Kenntnis der physikalischen Bedingungen vor Ort wichtig.

In dem folgenden Abschnitt werden die Komponenten der hydrographischen Messeinrichtung auf der Forschungsplattform FINO1 und der bisherige Verlauf des Messbetriebes beschrieben.

## 2.1. Ozeanographische Messsysteme auf FINO1

Seegangsmessungen werden mit einer Seegangsboje (Directional Waverider) der niederländischen Firma Datawell durchgeführt, die in unmittelbarer Nähe zur Plattform (d.h. in ca. 200 Meter Entfernung) verankert ist. Bei dem verwendeten Gerätetyp handelt es sich um Seegangsbojen, die neben der signifikanten Wellenhöhe und der Wellenperiode auch die Wellenrichtung und die Oberflächentemperatur messen. Die seegangsbedingten Oberflächenauslenkungen der Boje liefern eine Wellen-Messzeitreihe an einem festen Ort. Die so gewonnenen Daten werden über eine Funkverbindung ständig an einen Seegangsrechner auf der Plattform übermittelt, der mit einem Kurzwellenempfänger verbunden ist.

Dort werden die genannten Seegangparameter standardmäßig aus den mittleren Seegangsspektren, die über einen Zeitraum von 30 Minuten gebildet werden, abgeleitet. Boje und Empfangsanlage haben sich beim BSH seit vielen Jahren bewährt und werden, wie auf allen drei FINO Stationen, auch auf zahlreichen Messstationen des marinen Messnetzes des BSH verwendet.

Seegangsmessungen an der FINO1 werden zusätzlich mit einem Radarverfahren WaMoS-II (Wellenmonitoringsystem) durchgeführt. Das System wurde in Deutschland entwickelt und wird kommerziell von der Firma OceanWaves GmbH vertrieben. Es liefert zeitlich hochaufgelöste Frequenz-Richtungsspektren. Alle drei Minuten wird durch dieses System ein neues Seegangsspektrum gewonnen.

Die Strömungsmessungen werden an der Plattform FINO1 mit einem akustischen Doppler-Strömungsmesser (ADCP) durchgeführt, der in ca. 100 Metern Entfernung auf dem Meeresboden platziert ist. Das Gerät misst die örtliche Strömungsverteilung (Geschwindigkeit und Richtung) in 15 Schichten äquidistant verteilt über die gesamte Wassersäule. Das ADCP (AWAC) des norwegischen Herstellers Nortek AS ist für den Online-Betrieb ausgelegt und über ein Seekabel mit dem zentralen, für die hydrographischen Messungen installierten, Datenerfassungsrechner auf der Plattform verbunden. Die Strömungsmessungen mit dem AWAC-ADCP werden in regelmäßigen Abständen durch Vergleichsmessungen mit ADCPs der Firma RD Instruments kontrolliert. Das AWAC-ADCP liefert auch Messergebnisse zum Seegang (signifikante Wellenhöhe, Peak-Periode und Hauptwellenaufrichtung). Die Ergebnisse dieser Messungen stimmen gut mit den Ergebnissen der oben beschriebenen anderen Geräte überein. Zusätzlich liefert das AWAC-ADCP Informationen über den Wasserstand.

In der hier beschriebenen Projektzeit wurde ein an der Station befestigtes, nach unten auf die Wasseroberfläche gerichtetes, Wasserstands- und Seegangsradaressystem installiert und in Betrieb genommen. Hersteller des Geräts ist die niederländische Firma Radac.

Temperatur-, Salzgehalts- und Sauerstoffmessungen zur Beschreibung der ozeanographischen Verhältnisse in der Umgebung der Plattform werden in Anlehnung an das Standardmessprogramm der BSH-Messstationen des seit 20 Jahren bestehenden Meeresumweltsmessnetzes (MARNET) durchgeführt. Dafür sind an einer Messkette im Innenbereich des Jackets in vier Tiefenstufen (3 m, 10 m, 15 m, 20 m) digitale PT40-Sensoren der Firma Sea&Sun Technology zur Erfassung der Temperatur und in zwei weiteren Tiefenstufen (6 m, 25 m) CTDs und Aandera-Optoden zur Erfassung des Salzgehaltes, der Temperatur und der Sauerstoffsättigung installiert. Die Daten werden direkt über Kabelverbindungen an den Datenerfassungsrechner gesendet, der alle hydrographischen Sensoren betreut, und von dort stündlich an das BSH übertragen. Als Redundanz und zur Überbrückung von Datenlücken wurden im Sommer 2013 autarke Temperatursensoren der französischen Firma NKE auf allen Tiefenstufen eingebaut. Alle Daten wurden bei normaler Funktion der Messsysteme im Rahmen der MARNET-Internetpräsentation bereitgestellt und sind Bestandteil der FINO-Datenbank.

## **2.2. Betreuungsaufwand für ozeanographische Messungen auf FINO1**

Für die Betreuung und Wartung der Seegangsboje waren Einsätze im halbjährigen Rhythmus erforderlich. Dabei mussten bei der Seegangsboje Batterien erneuert und das Verankerungsmaterial überprüft und bei Bedarf ausgetauscht werden.

Beim Strömungsmesser (ADCP) wurden in ca. einjährigen Intervallen die Schallgeber und – empfänger von Bewuchs gereinigt.

Die Sensoren, die an der Messkette im Innenbereich des Jackets angebracht sind, wurden wenn möglich monatlich gereinigt. Dazu muss die gesamte Messkette gehoben werden und mit einem Hochdruckreiniger gesäubert, da in den oberen Schichten der Wassersäule Biofouling ein Problem für Sauerstoff- und Salzgehalts- (Leitfähigkeits-) Messungen darstellt. Darüber hinaus wurde die Messkette durch Strömung – besonders die starke Gezeitenströmung - und Seegang erheblich mechanisch beansprucht. Dies betraf insbesondere die Daten- und Versorgungskabel sowie die Steckerverbindungen im Unterwasserbereich. Neben der Wartung der Sensoren waren daher auch gelegentliche Kabelbrüche oder Defekte an Steckerverbindungen zu beheben.

Wegen der hohen mechanischen Belastung der Kabel und Stecker im Unterwasserbereich war ein Austausch der kompletten Messkette einmal im Jahr erforderlich.

Das radargestützte Seegangsmessgerät (WaMoS) erwies sich als relativ wartungsarm. Datenausfälle traten einmal durch eine defekte Hardwarekomponente auf. Die Reparatur wurde vom Hersteller durchgeführt. Generell wird vom Hersteller ein halbjährlicher

Wartungsrhythmus empfohlen. Darüber hinaus erfolgte eine tägliche Funktionsprüfung und Datenkontrolle per Fernzugriff durch den Hersteller. Dies erfolgte im Rahmen des Wartungsvertrages.

Der im Projektzeitraum neu installierte Wasserstandsradar ‚WaveGuide‘ der Firma Radac B.V. hat sich als sehr wartungsfrei bewährt und lieferte zuverlässig Messdaten, genauso wie die ab 2013 neu eingebauten autarken NKE Temperatursensoren.

Der Einsatz eines Datenloggers, der die Steuerung der Messkettensensoren übernommen hat, führte zu einem geringen Betreuungsaufwand der Steuerungssoftware. Die Softwarewartung kann über den Fernzugriff erfolgen. Die Wartung der Hardware wird halbjährlich durchgeführt.

### **2.3. Ergebnisse der ozeanographischen Messungen auf FINO1**

Die Messungen an der Plattform FINO1 wurden unter schwierigen maritimen Bedingungen durchgeführt. Trotz längerer Ausfälle einzelner Komponenten sind umfangreiche Datensätze gewonnen worden. Insbesondere bei den für die Offshore-Bauwerks-Untersuchungen relevanten Parametern Seegang und Strömung. Dieser Erfolg beruht im Wesentlichen auf den Einsatz redundanter Messsysteme. So wurden im Rahmen der Seegangsmessungen mehrere unterschiedliche Systeme eingesetzt. Seegangsboje, Wamos-Seegangsradar, ADCP sowie das Wasserstandsradar messen die signifikante Wellenhöhe, die Wellenperiode und (außer dem Wasserstandsradar) die Wellenrichtung. So konnte z.B. der Seegang während der Sturmereignisse ‚Christian‘ (Oktober 2013) und ‚Xaver‘ (Dezember 2013) lückenlos aufgezeichnet werden.

Der ADCP-Strömungsmesser konnte zuverlässig die Strömung in der Wassersäule aufnehmen.

Die so gewonnenen Daten dienen zum einen als Eingangsdaten für Untersuchungen zu Gründungsstrukturen von Offshore-Bauwerken, zum anderen als Eingangsdaten für Modelle, die im Rahmen der hoheitlichen Aufgaben des Bundes für Vorhersagen (Wasserstands-, Sturmflut- und Seegangsvorhersagen) genutzt werden. Die gewonnenen Daten über Salzgehalts, Sauerstoffsättigung und Temperaturverteilung in der Wassersäule liefern darüber hinaus wichtige Grundinformation für die biologischen Untersuchungen, die an der Plattform durchgeführt werden.

Alle Messergebnisse sind über die FINO Datenbank wissenschaftlichen Instituten, Behörden und kommerziellen Nutzern zugänglich

Im Folgenden werden ausgewählte Darstellungen der Messergebnisse gezeigt:

- Seegang und Wasseroberflächentemperatur an der FINO1, gemessen mit der Waverider Boje (Signifikante Wellenhöhe, Peak Periode, Upcrossing Periode, Wellenhauptlaufrichtung, Wassertemperatur an der Oberfläche) als Zeitreihen für den gesamten Projektzeitraum.

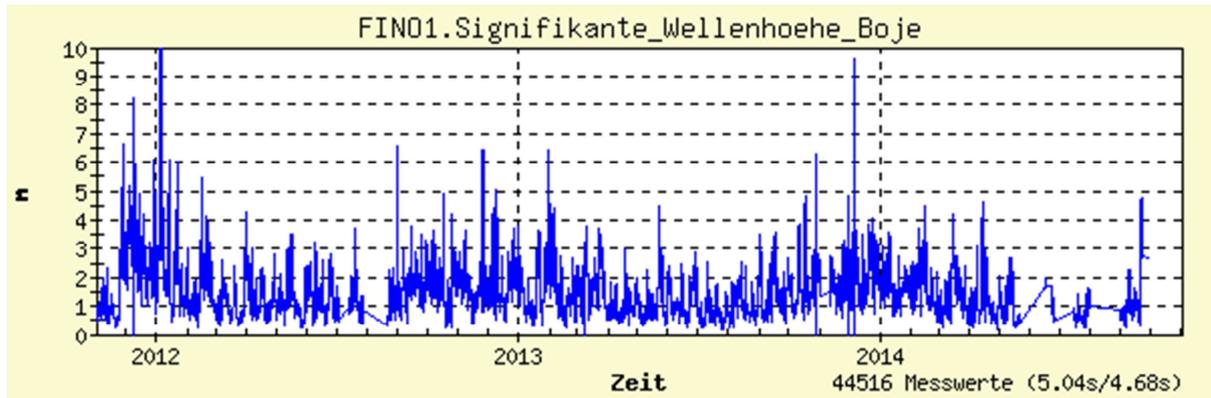


Abb.1: Zeitreihe der signifikanten Wellenhöhe an der Station FINO1, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

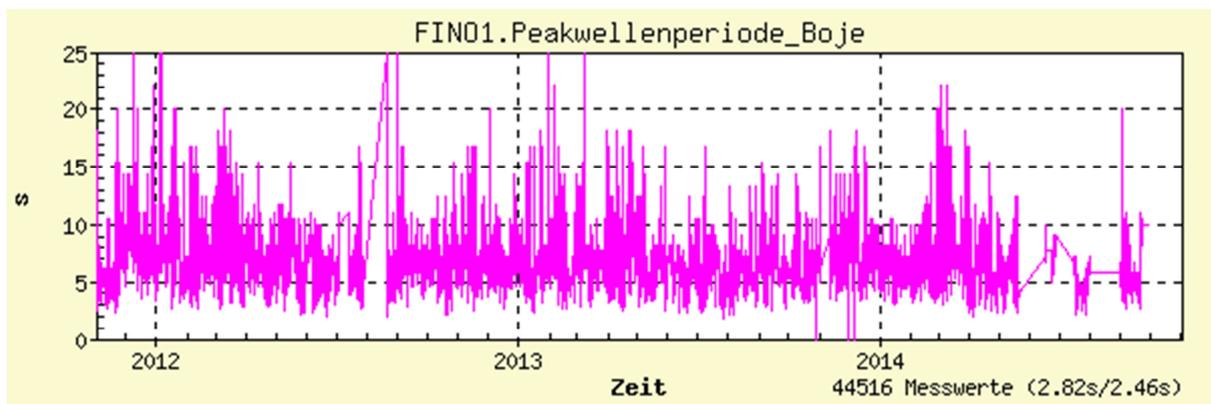


Abb.2: Zeitreihe der Peakwellen-Periode an der Station FINO1, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

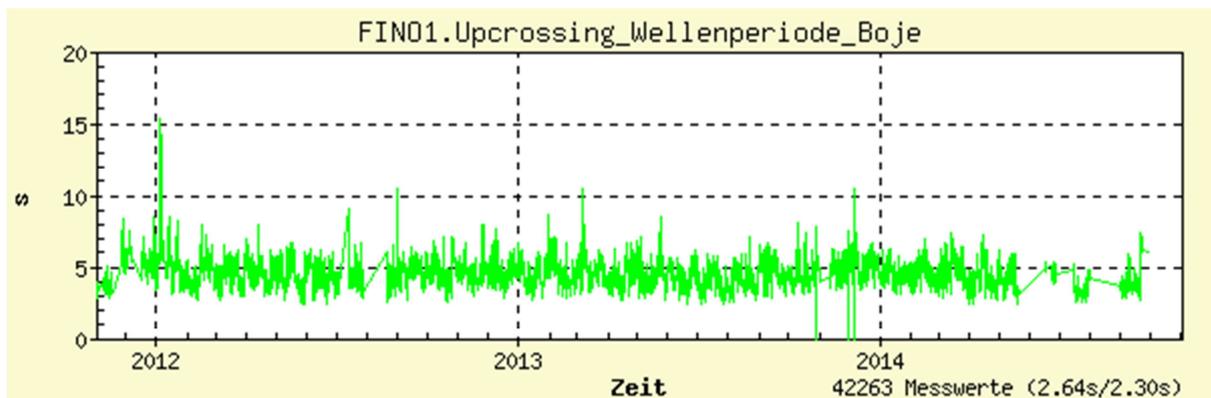


Abb.3: Zeitreihe der Wellen-Upcrossing Periode an der Station FINO1, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

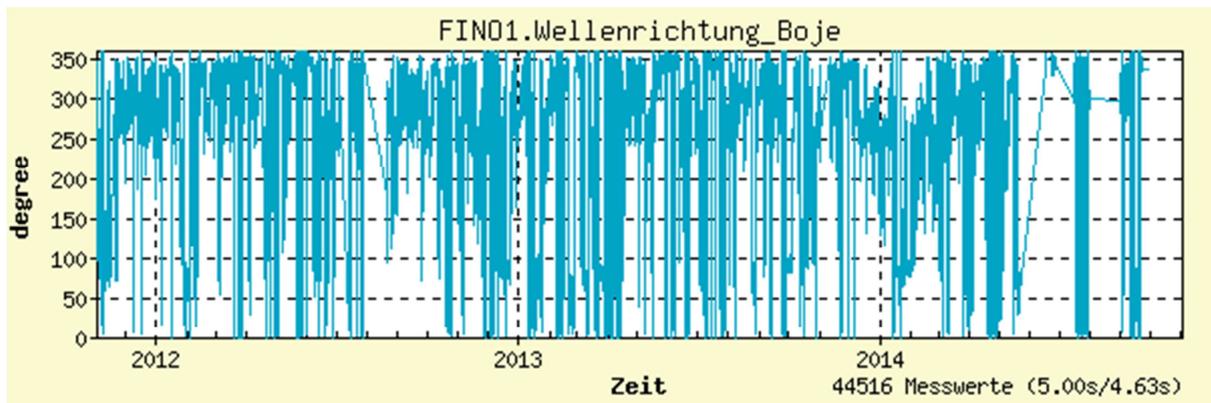


Abb.4: Zeitreihe der Peakwellen-Laufrichtung an der Station FINO1, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

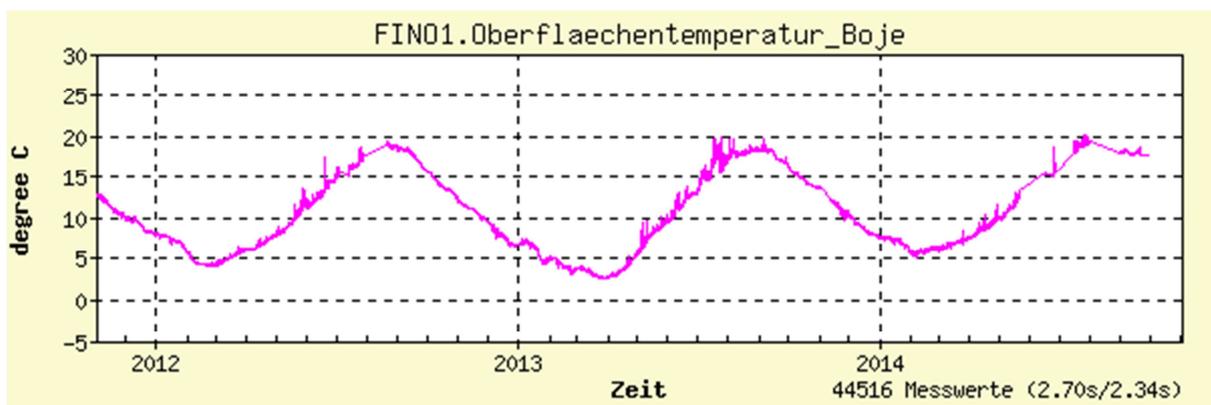


Abb.5: Zeitreihe der Wasseroberflächentemperatur an der Station FINO1, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

- Wellenhöhen- und Wasserstands Messungen (10 minütige Mittel) an der FINO1 mit dem RADAC Radarpegel.

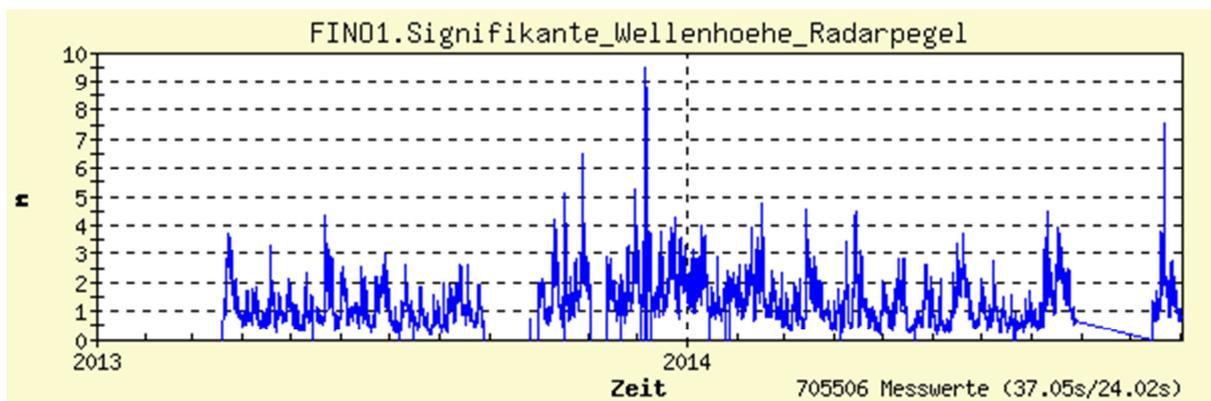


Abb.6: Zeitreihe der signifikanten Wellenhöhe an der Station FINO1, gemessen mit einem Radac WaveGuide Radarpegel

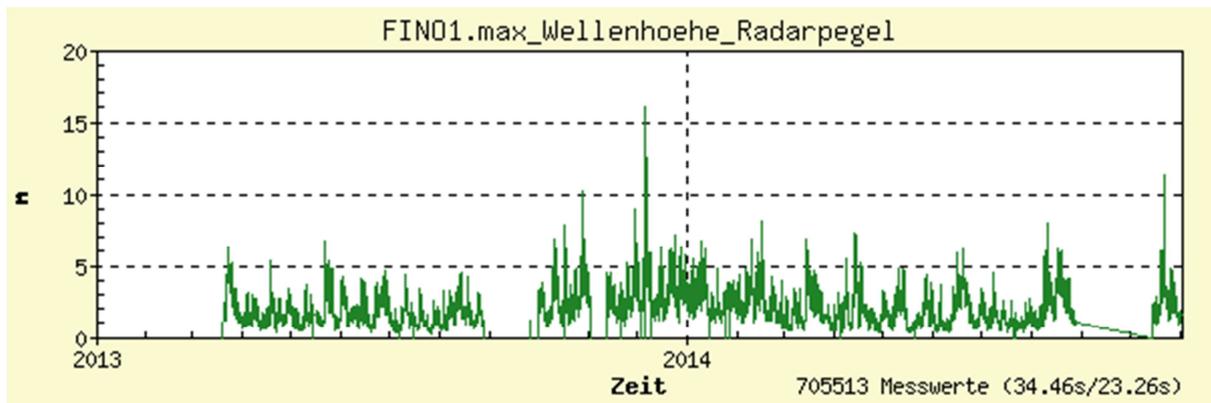


Abb.7: Zeitreihe der maximalen Wellenhöhe an der Station FINO1, gemessen mit einem Radac WaveGuide Radarpegel

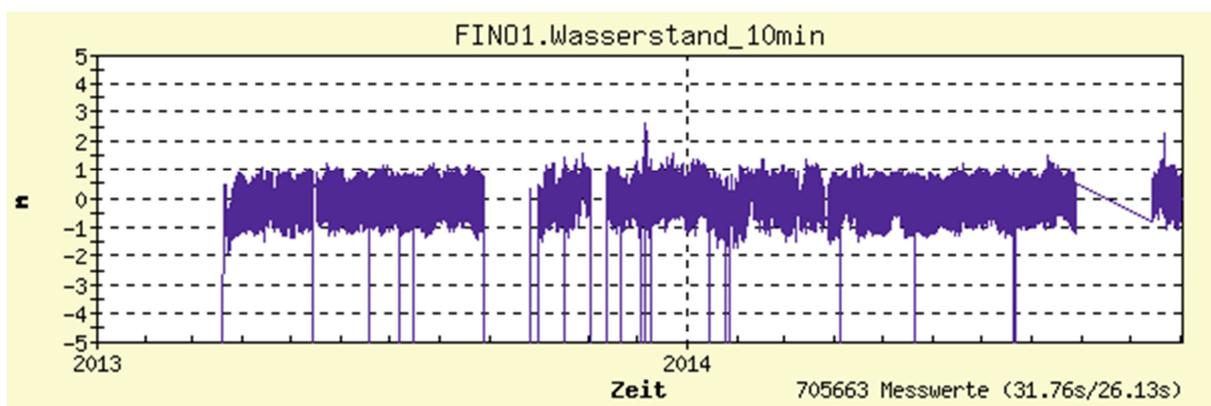


Abb.8: Zeitreihe des über 10 Minuten gemittelten Wasserstandes an der Station FINO1, gemessen mit einem Radac WaveGuide Radarpegel

- Seegang und Wassertemperatur am Meeresboden, gemessen an der FINO1 mit dem AWAC-ADCP (Signifikante Wellenhöhe, Peak Periode, Wellenhauptaufrichtung, Wassertemperatur am Meeresboden).

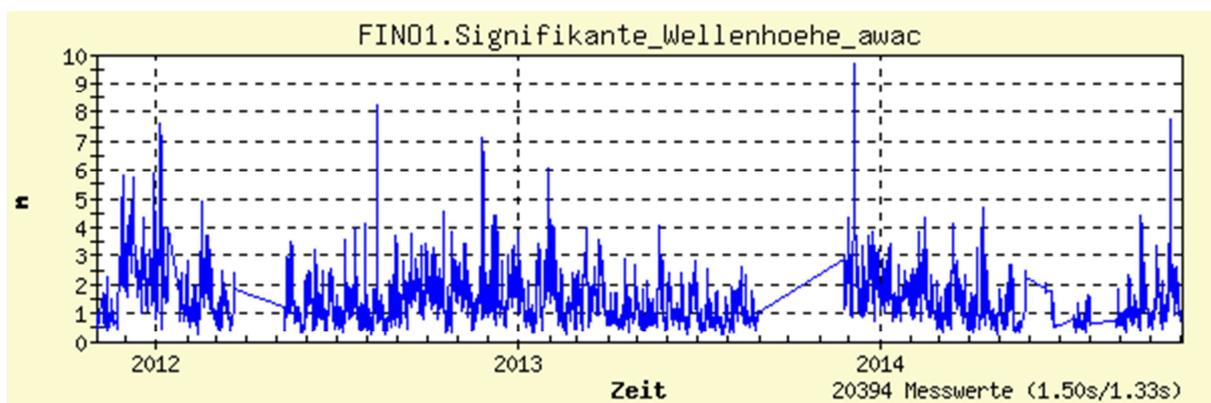


Abb.9: Zeitreihe der signifikanten Wellenhöhe an der Station FINO1, gemessen mit einem Nortek AWAC-ADCP

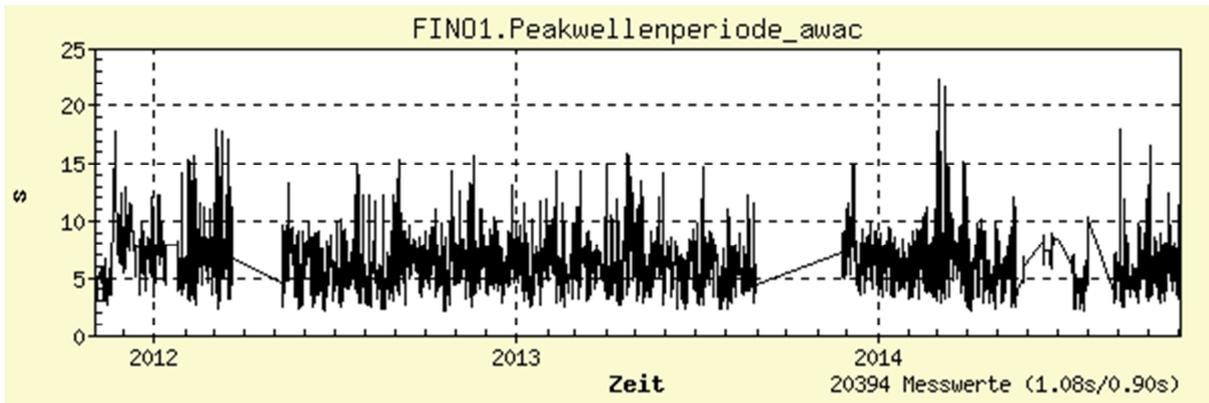


Abb.10: Zeitreihe der Peakwellen-Periode an der Station FINO1, gemessen mit einem Nortek AWAC-ADCP

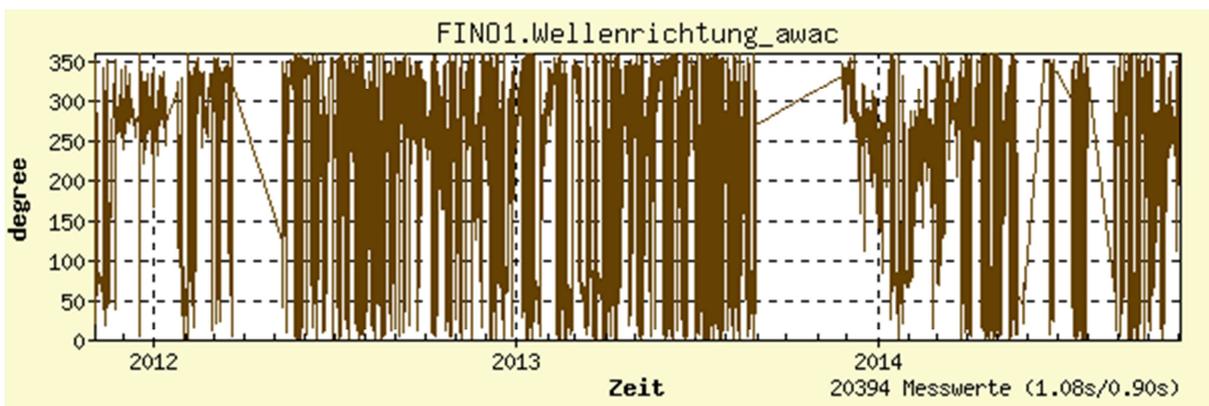


Abb.11: Zeitreihe der Peakwellen-Laufrichtung an der Station FINO1, gemessen mit einem Nortek AWAC-ADCP

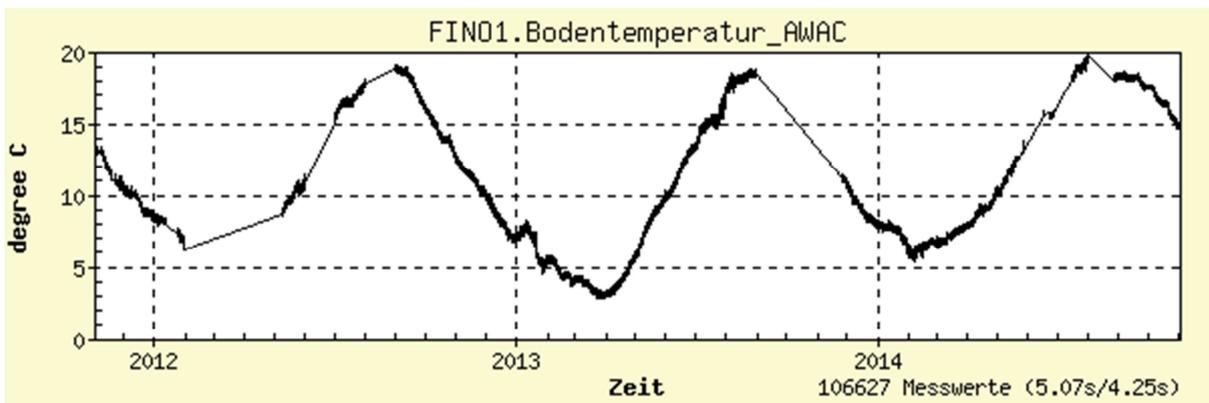


Abb.12: Zeitreihe der Wassertemperatur am Meeresboden an der Station FINO1, gemessen mit einem Nortek AWAC-ADCP

- Polare Häufigkeitsverteilungen (2012-2015) der Strömungsrichtung in Kombination mit der dazugehörigen Strömungsgeschwindigkeit an der FINO1, gemessen mit dem ADCP. Die Auflösung des Richtungsintervalls beträgt  $15^\circ$  im Azimut für die Richtung, die Geschwindigkeitsauflösung beträgt  $0,1 \text{ ms}^{-1}$ . Die Häufigkeiten sind als Prozentangaben farbkodiert, Richtungen sind als „going to“ definiert. Unterschiedliche Abbildungen zeigen die verschiedenen Tiefenschichten: Oberflächennahe- Schicht (obere Abb.), Mittlere- Schicht (mittlere Abb.) und die Bodennahe-Schicht (untere Abb.).

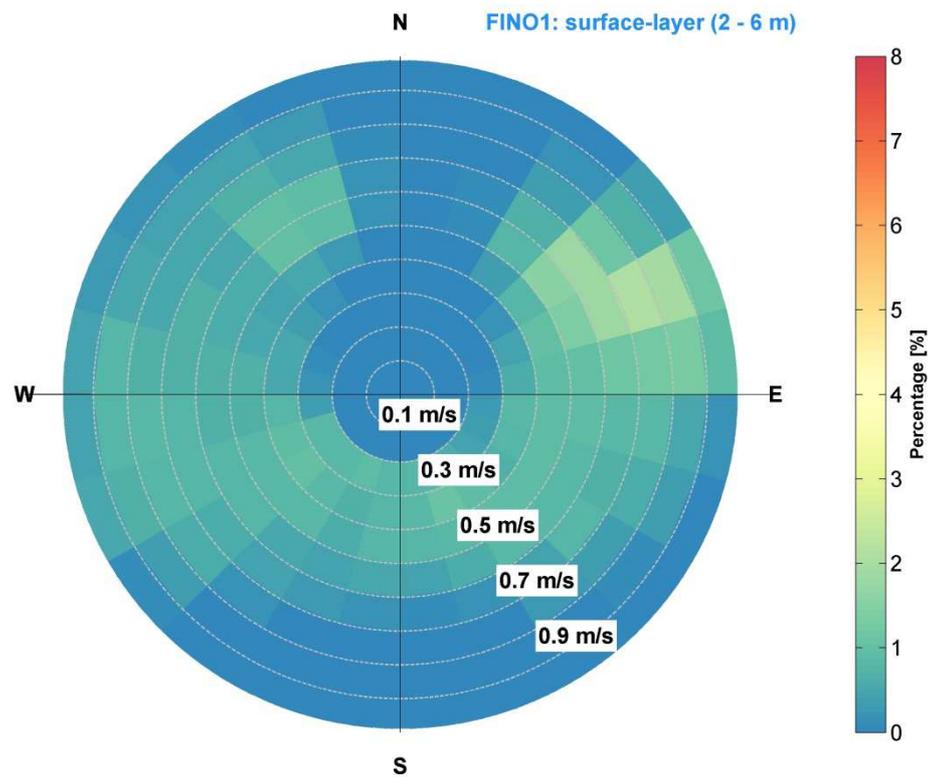


Abb.13: Häufigkeitsverteilung der Strömungsrichtungen und -geschwindigkeiten an der Station FINO1, obere Wasserschicht

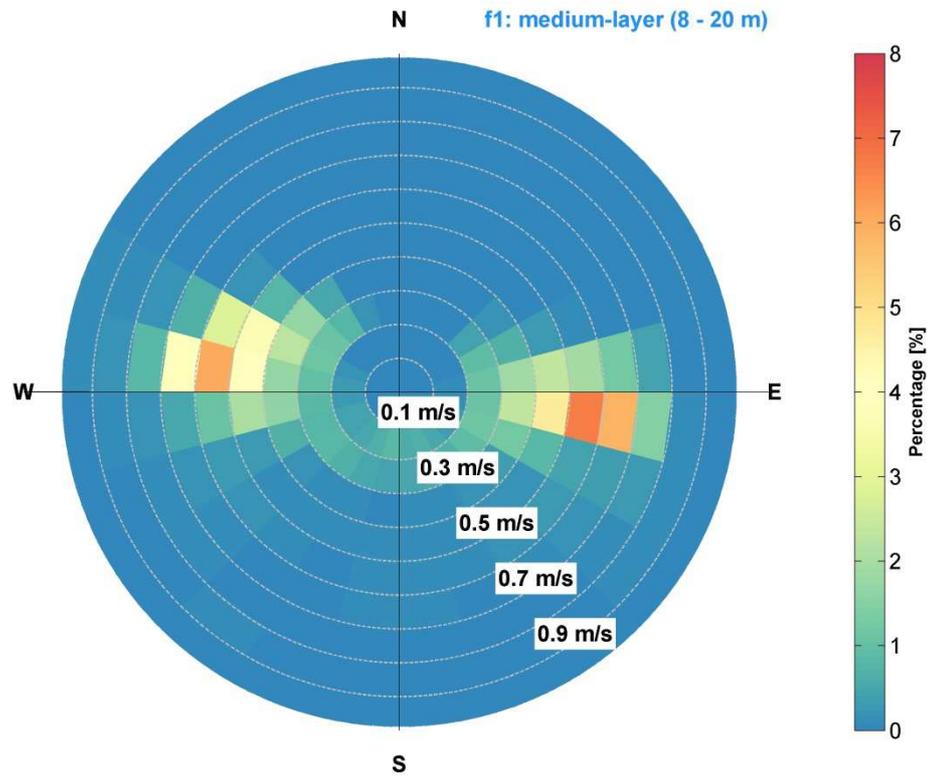


Abb.14: Häufigkeitsverteilung der Strömungsrichtungen und -geschwindigkeiten an der Station FINO1, mittlere Wasserschicht

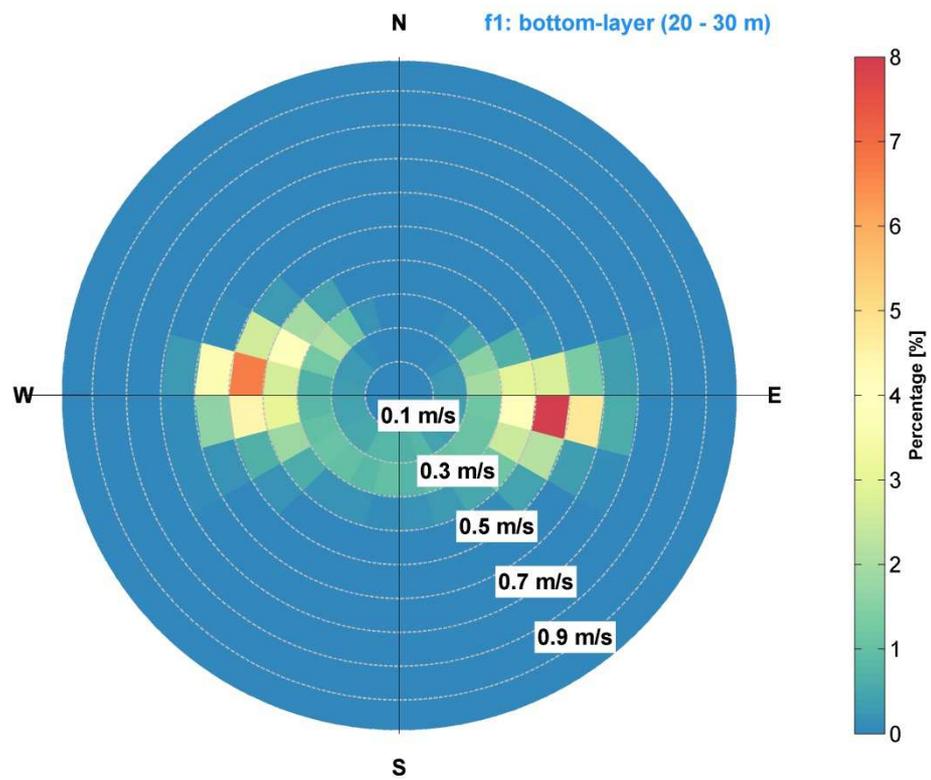


Abb.15: Häufigkeitsverteilung der Strömungsrichtungen und -geschwindigkeiten an der Station FINO1, untere Wasserschicht

- Jährliche (2012-2015) Strömungsprofile der Messungen an der FINO1. Die grau markierten Kurven zeigen die Geschwindigkeitsprofile der stündlichen Messungen, die orange Kurve kennzeichnet das Jahresmittel. Unterschiedliche Tiefenschichten, mit den entsprechenden mittleren absoluten Geschwindigkeiten, sind zusätzlich markiert.

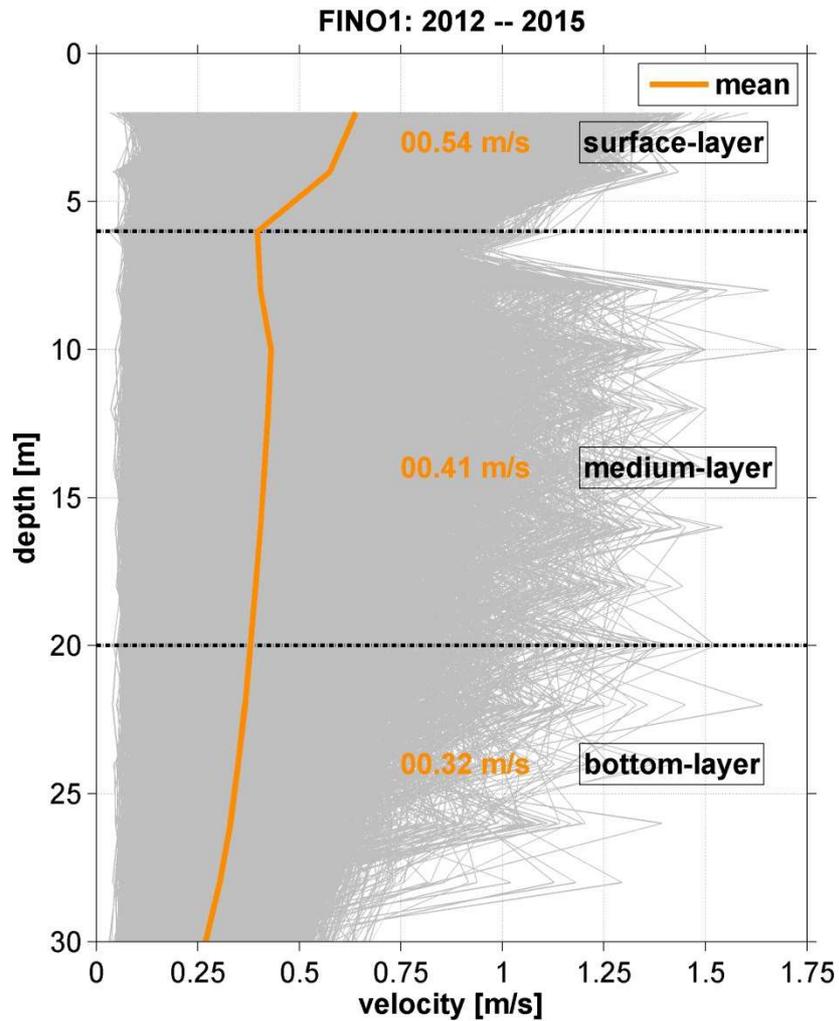


Abb.16: Profile der Strömungsgeschwindigkeiten an der Station FINO1

- Wassertemperaturen in 6 Tiefenstufen, gemessen mit NKE Sensoren

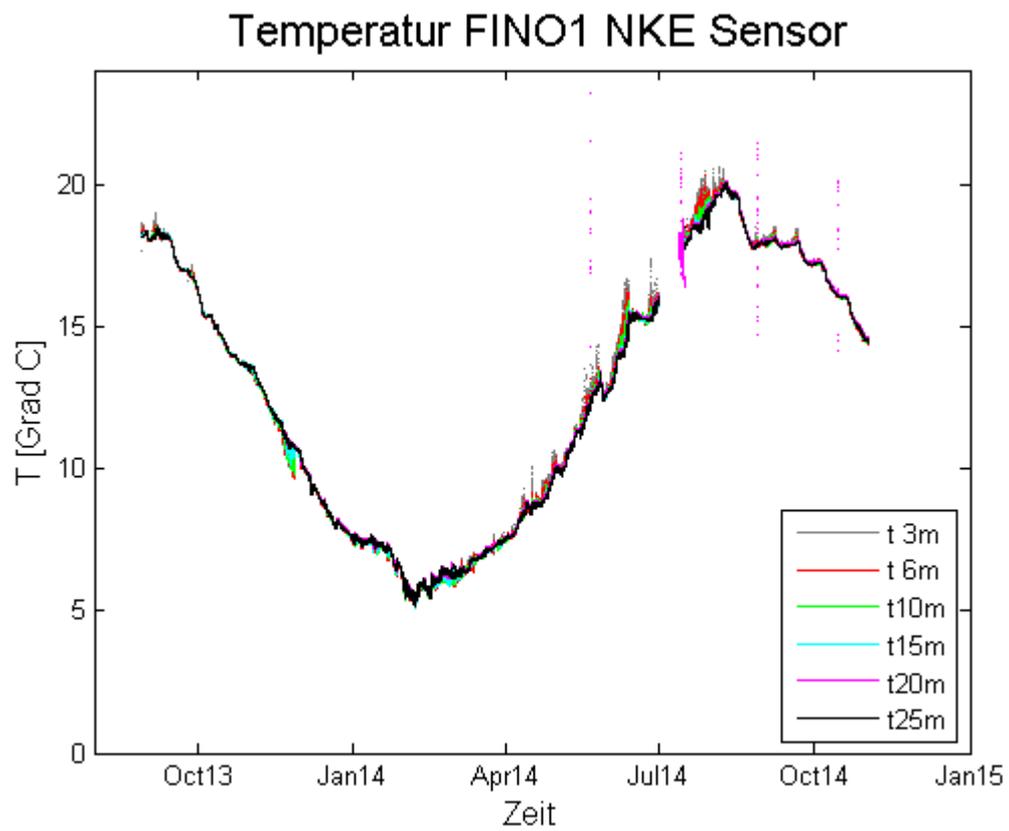


Abb.17: Wassertemperaturen an der FINO1 in sechs Tiefenstufen, gemessenen mit NKE Temperatursonden

### 3. Ozeanographische Messungen auf FINO2

Die ozeanographischen Messungen an der Station FINO2 wurden in dieser Projektzeit aufgenommen. Da die Bedingungen in der Ostsee sich sehr stark von denen in der Nordsee unterscheiden, konnte das Messkonzept von FINO1 und FINO3 nicht direkt übernommen werden. Das Leibnitz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde hat ein für die Ostsee optimiertes Messkonzept entwickelt und während der Projektlaufzeit umgesetzt. Der Bericht des IOW ist diesem Projektabschlussbericht angehängt. Das BSH selbst hat an der Station FINO2 die Messungen des Seegangs, wie an den anderen FINO Stationen auch, mit einer Waverider-Boje sowie mit einem Wasserstand und Seegang messenden Radarpegel durchgeführt. Im Folgenden werden ausgewählte Darstellungen der Messergebnisse gezeigt:

- Seegang und Wasseroberflächentemperatur an der FINO2, gemessen mit der Waverider Boje (Signifikante Wellenhöhe, Peak Periode, Upcrossing Periode, Wellenhauptlaufrichtung, Wassertemperatur an der Oberfläche) als Zeitreihen für den gesamten Projektzeitraum.

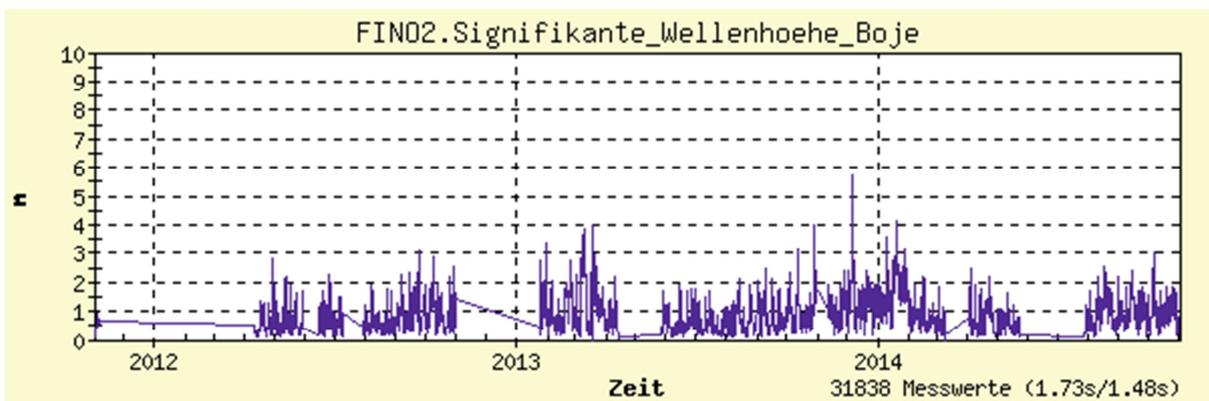


Abb.18: Zeitreihe der signifikanten Wellenhöhe an der Station FINO2, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

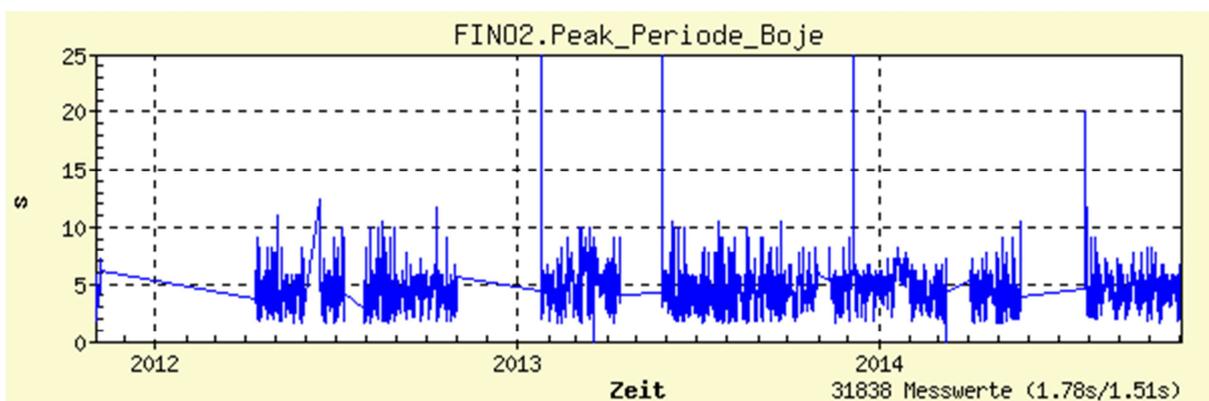


Abb.19: Zeitreihe der Peakwellen-Periode an der Station FINO2, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

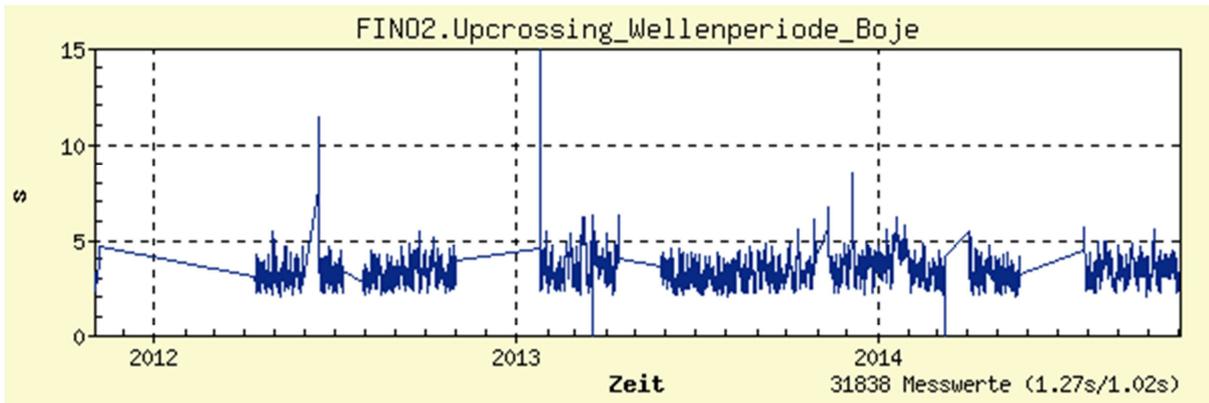


Abb.20: Zeitreihe der Wellen-Upcrossing Periode an der Station FINO2, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

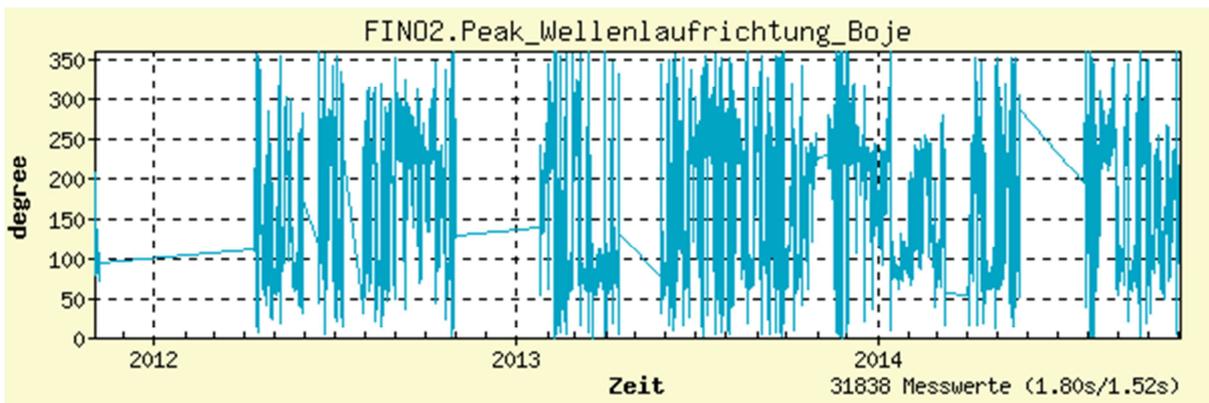


Abb.21: Zeitreihe der Peakwellen-Laufrichtung an der Station FINO2, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

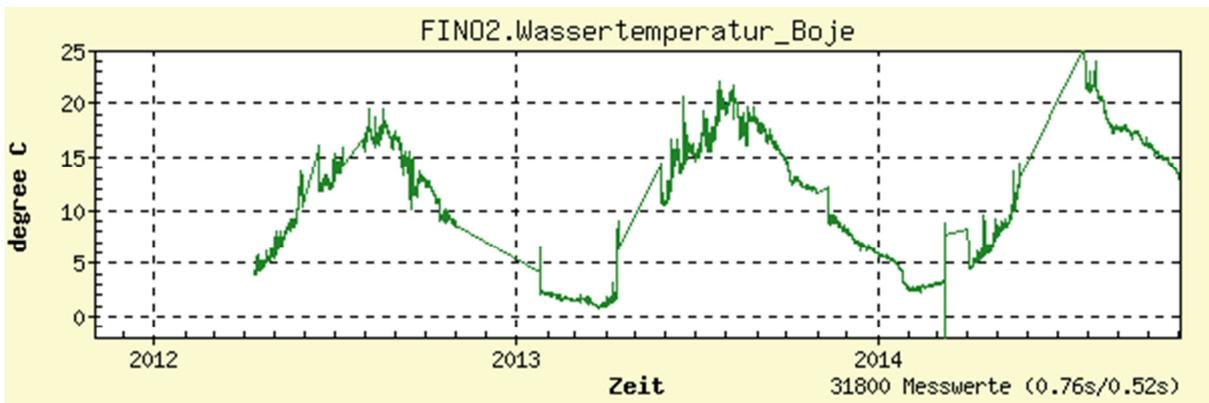


Abb.22: Zeitreihe der Wasseroberflächentemperatur an der Station FINO2, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

- Wellenhöhen- und Wasserstands Messungen (10 minütige Mittel) an der FINO2 mit dem neu installierten RADAC Radarpegel.

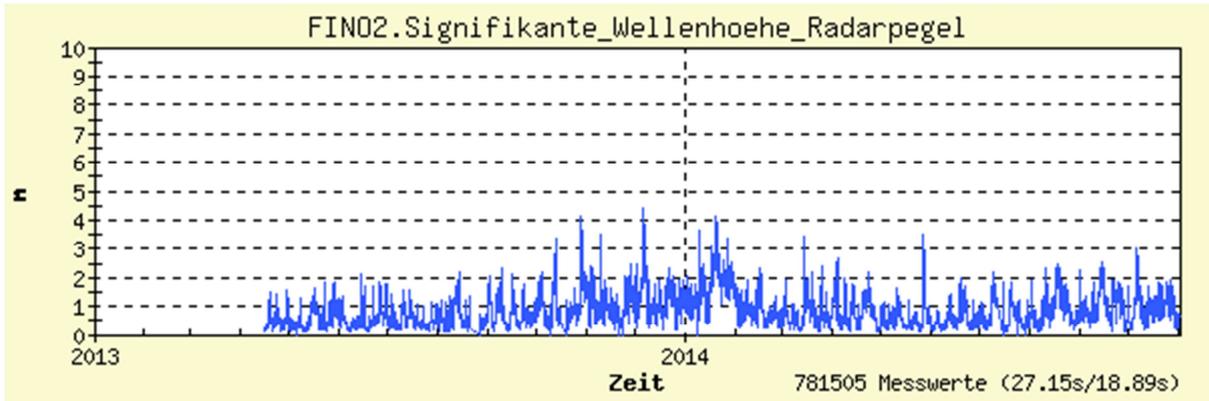


Abb. 23: Zeitreihe der signifikanten Wellenhöhe an der Station FINO1, gemessen mit einem Radac WaveGuide Radarpegel

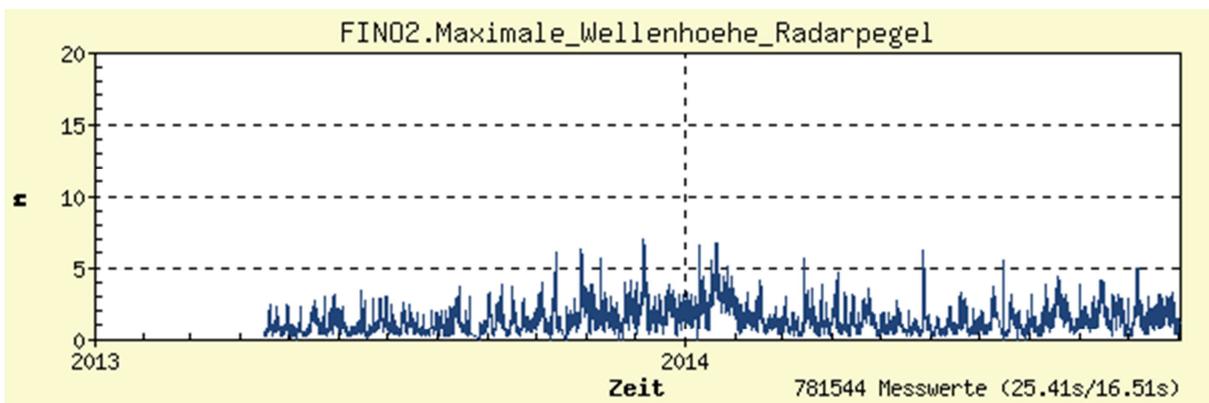


Abb. 24: Zeitreihe der maximalen Wellenhöhe an der Station FINO1, gemessen mit einem Radac WaveGuide Radarpegel

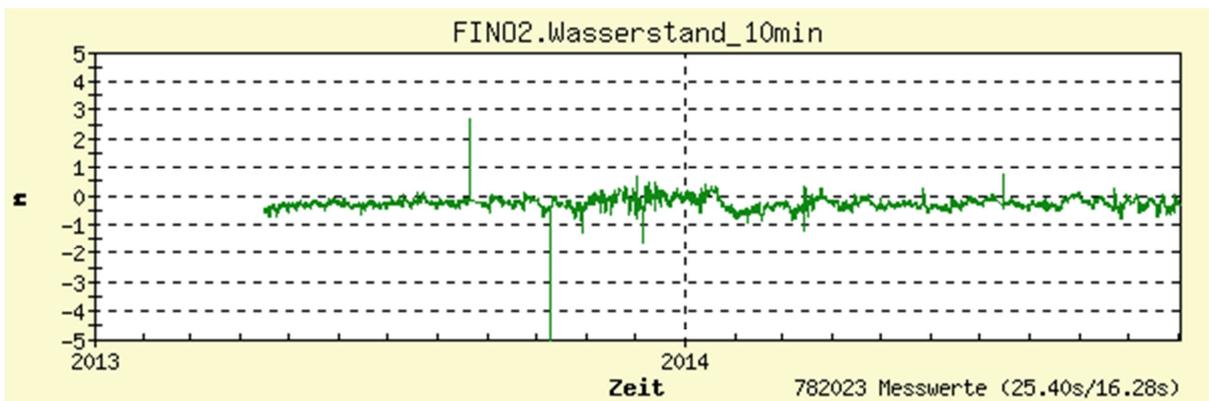


Abb.25: Zeitreihe des über 10 Minuten gemittelten Wasserstandes an der Station FINO1, gemessen mit einem Radac WaveGuide Radarpegel

## 4. Ozeanographische Messungen auf FINO3

Auch auf der Station FINO3 ist das Ziel die möglichst lückenlose Erfassung und Speicherung mehrjähriger Zeitreihen der Messgrößen Strömung, Seegang und Wasserstand, sowie oberflächen- und bodennaher Druck, Salzgehalt, Temperatur und Sauerstoffgehalt.

Die Ausrüstung der Forschungsplattform FINO 3 ist mit der auf FINO1 vergleichbar, nur dass hier die Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen auf drei Tiefenstufen (6m, 12m, 18m) stattfinden, die Sauerstoffmessungen auf 6m und 18m Tiefe.

### 4.1 Ozeanographische Messsysteme auf FINO3

Die Seegangsmessungen werden mit einer Seegangsboje (Directional Waverider) der niederländischen Firma Datawell durchgeführt, die in unmittelbarer Nähe zur Plattform verankert ist. Auch bei dem hier verwendeten Gerätetyp handelt es sich um Seegangsbojen, die neben der signifikanten Wellenhöhe und der Wellenperiode auch die Wellenrichtung und die Oberflächentemperatur messen. Die seegangsbedingten Oberflächenauslenkungen der Boje liefern eine Wellen-Messzeitreihe an einem festen Ort. Weitere Parameter (windgetriebener Wellenanteil, Dünungsanteil, etc.) werden standardmäßig aus den mittleren Seegangsspektren, die über einen Zeitraum von ca. 30 Minuten gebildet werden, abgeleitet. Die so gewonnenen Daten werden über eine Funkverbindung halbstündig an einen Seegangsrechner auf der Plattform übermittelt, der mit einem Kurzwellenempfänger verbunden ist.

Zusätzliche Seegangsmessungen werden seit Frühjahr 2003 mit einem Radarpegel der Firma Radac durchgeführt. Das Gerät hat sich als sehr störungsarm herausgestellt, und zuverlässig Messdaten geliefert.

Die Strömungsmessungen werden auch an der Plattform FINO3 mit einem akustischen Doppler-Strömungsmesser (ADCP) durchgeführt, der in ca. 100 Metern Entfernung auf dem Meeresboden platziert ist. Das Gerät misst die örtliche Strömungsverteilung (Geschwindigkeit und Richtung) in 11 Schichten äquidistant verteilt über die gesamte Wassersäule. Das ADCP (AWAC) des norwegischen Herstellers Nortek AS ist für den Online-Betrieb ausgelegt und über ein Seekabel mit dem zentralen, für die hydrographischen Messungen installierten, Datenerfassungsrechner auf der Plattform verbunden. Zusätzlich liefert das AWAC-ADCP Informationen über den Wasserstand.

Temperatur-, und Salzgehaltsmessungen zur Beschreibung der ozeanographischen Verhältnisse in der Umgebung der Plattform werden drei Tiefenstufen (6 m, 12 m, 18 m) sowie Sauerstoffmessungen in zwei Tiefenstufen (6 m, 18 m) durchgeführt. Dabei kommen

CTDs der Firma Seabird und Aandera-Optoden zum Einsatz. Die Daten werden direkt über Kabelverbindungen an den Datenerfassungsrechner, der alle hydrographischen Sensoren betreut, gesendet und sind Bestandteil der FINO-Datenbank.

#### **4.2. Betreuungsaufwand für ozeanographische Messungen auf FINO3**

Die größere Entfernung vom Festland hat zur Ursache, dass bei Hubschraubereinsätzen die maximale Nutzlast geringer ist als bei Flügen zur FINO1. Daraus folgt, dass ein Großteil der vor Ort benötigten Werkzeuge und Materialien auf der Station vorrätig gehalten werden muss um bei Wartungseinsätzen Gewicht zu sparen. Die routinemäßige Wartung der Messsensorik an der FINO3 ist der an der FINO1 gleichwertig. Die mit der Messkette ins Wasser gebrachten Sensoren für Temperatur-, Leitfähigkeits- und Sauerstoffmessungen müssen in einem regelmäßigen Intervall von 4-6 Wochen gehoben werden, um die Sensoren, die Kabel und die Messkörbe von Bewuchs zu reinigen. Eventuell beschädigte Komponenten werden getauscht oder vor Ort repariert. Zur Qualitätskontrolle werden zusätzlich Vergleichsmessungen mit einem kalibrierten mobilen System gemacht.

Die Seegangsboje muss halbjährlich auf Beschädigungen an der Verankerung überprüft, und mit neuen Batterien versorgt werden.

#### **4.3. Ergebnisse der ozeanographischen Messungen auf FINO3**

Auch die Messungen an der Plattform FINO3 wurden unter schwierigen maritimen Bedingungen durchgeführt. Insbesondere bei den für die Offshore-Bauwerks-Untersuchungen relevanten Parametern Seegang und Strömung wurden lange zusammenhängende Messungen durchgeführt.

Im Folgenden werden ausgewählte Darstellungen der Messergebnisse gezeigt:

- Seegang und Wasseroberflächentemperatur an der FINO3, gemessen mit der Waverider Boje (Signifikante Wellenhöhe, Peak Periode, Upcrossing Periode, Wellenhauptlaufrichtung, Wassertemperatur an der Oberfläche) als Zeitreihen für den gesamten Projektzeitraum.

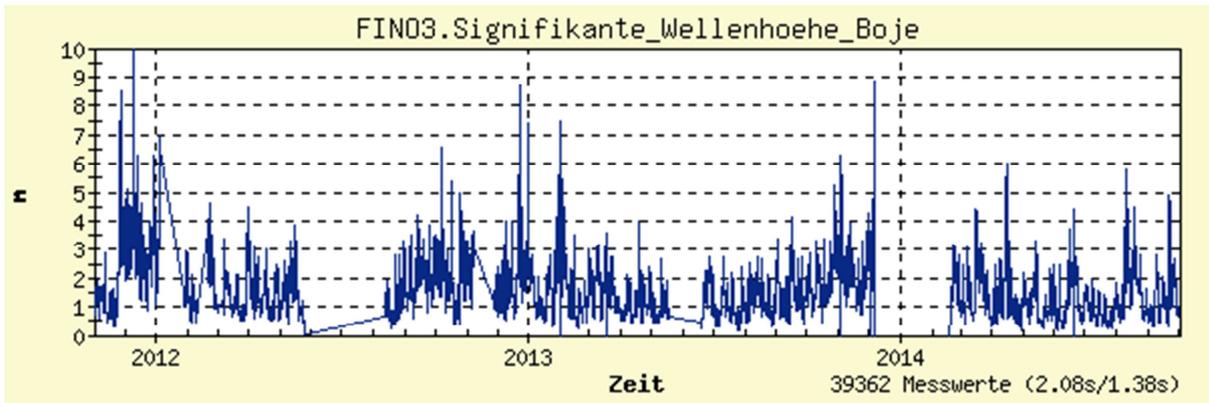


Abb.26: Zeitreihe der signifikanten Wellenhöhe an der Station FINO3, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

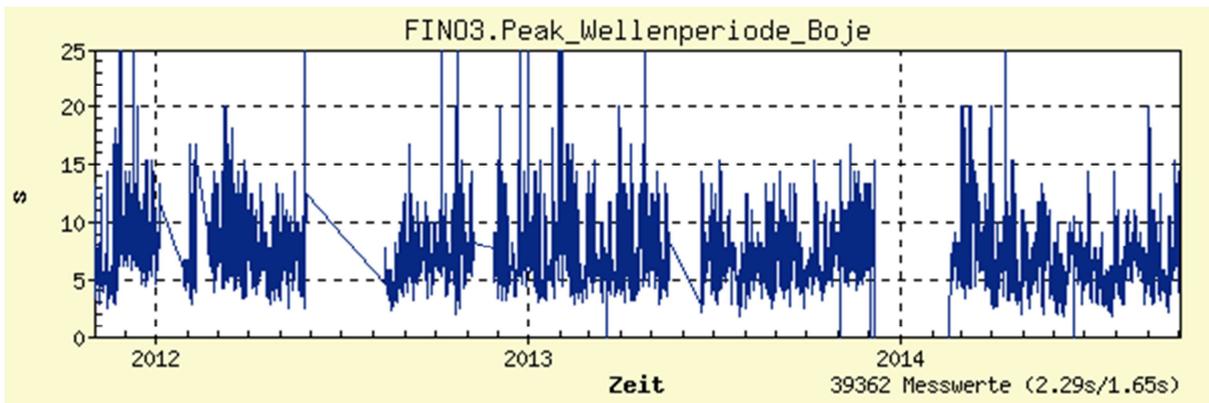


Abb.27: Zeitreihe der Peakwellen-Periode an der Station FINO3, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

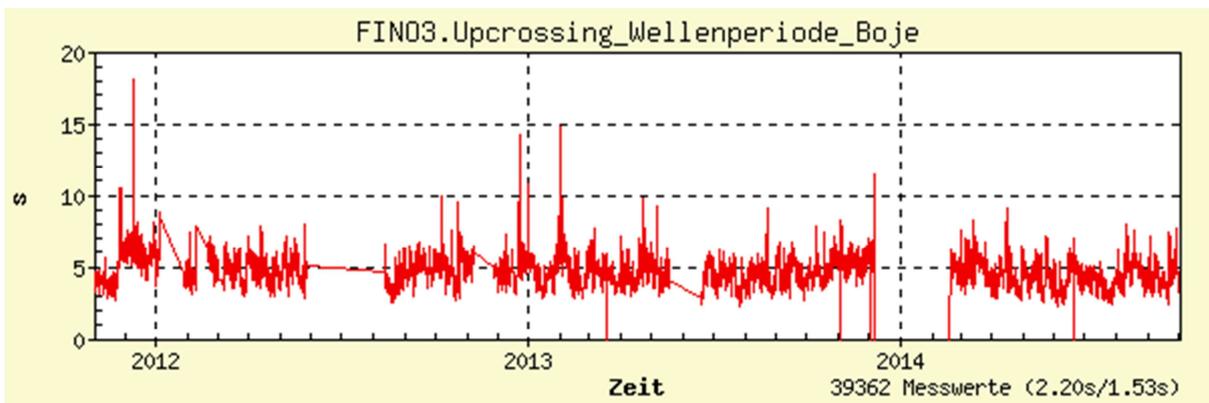


Abb.28: Zeitreihe der Wellen-Upcrossing Periode an der Station FINO3, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

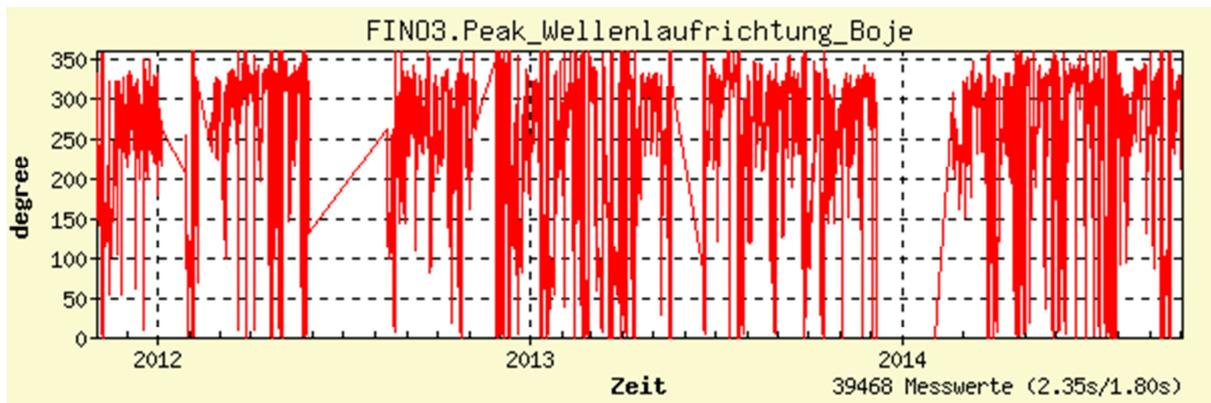


Abb. 29: Zeitreihe der Peakwellen-Laufrichtung an der Station FIN03, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

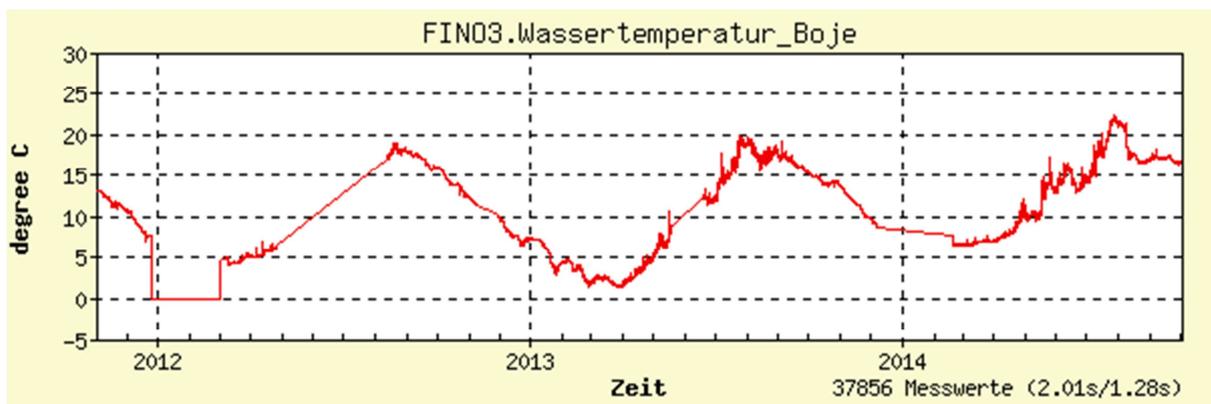


Abb. 30: Zeitreihe der Wasseroberflächentemperatur an der Station FIN03, gemessen mit einer Datawell Mk III Waverider Boje

- Wellenhöhen- und Wasserstandsmessungen (10 minütige Mittel) an der FINO3 mit dem neu installierten RADAC Radarpegel.

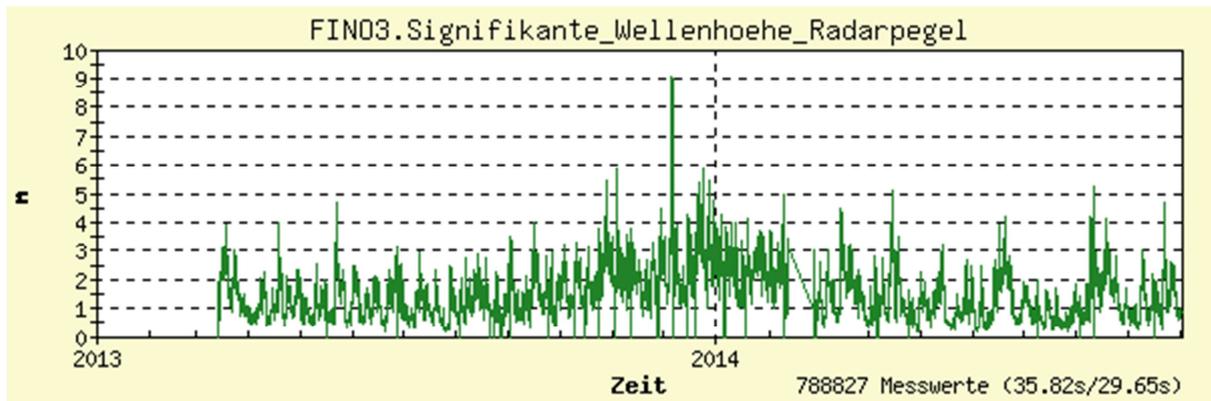


Abb.31: Zeitreihe der signifikanten Wellenhöhe an der Station FINO3, gemessen mit einem Radac WaveGuide Radarpegel

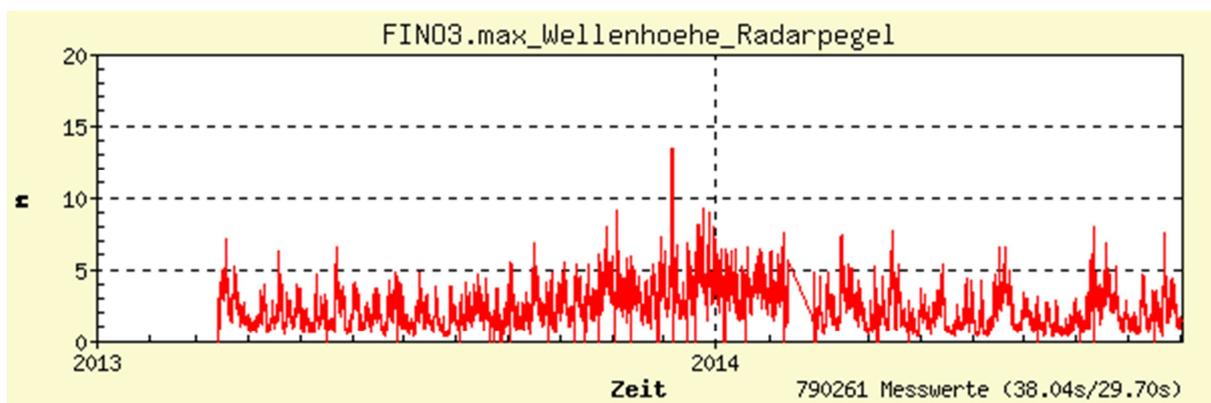


Abb. 32: Zeitreihe der maximalen Wellenhöhe an der Station FINO1, gemessen mit einem Radac WaveGuide Radarpegel

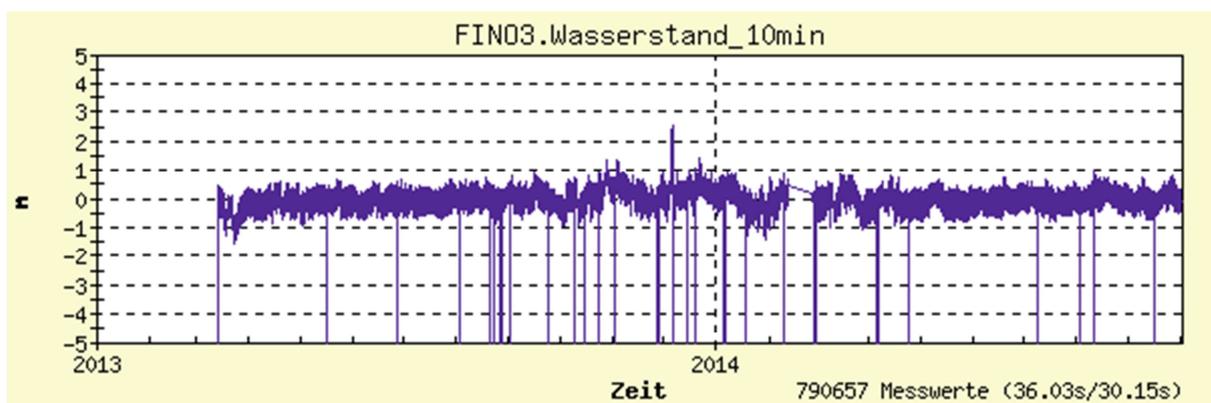


Abb.33: Zeitreihe des über 10 Minuten gemittelten Wasserstandes an der Station FINO1, gemessen mit einem Radac WaveGuide Radarpegel

- Seegang und Wassertemperatur am Meeresboden an der FINO3, gemessen mit dem AWAC-ADCP (Signifikante Wellenhöhe, Peak Periode, Wellenhauptlaufrichtung, Wassertemperatur am Meeresboden).

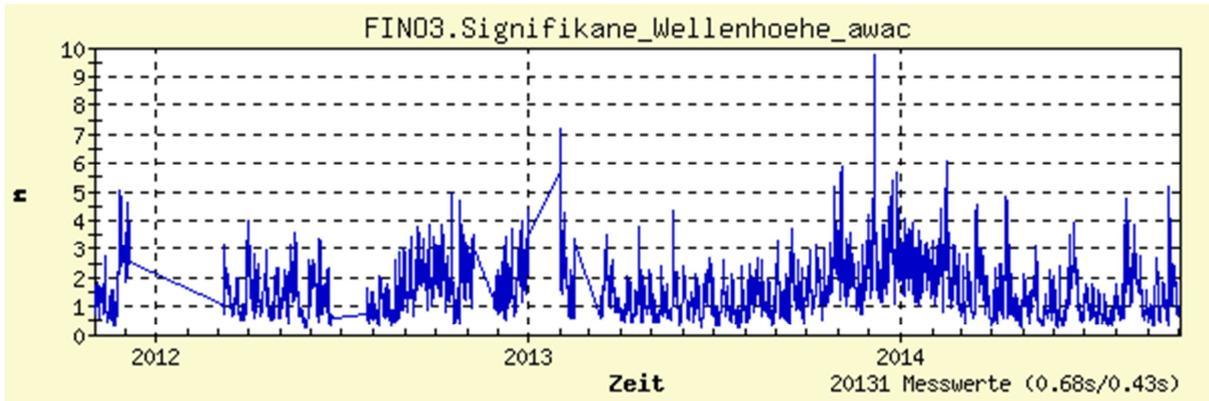


Abb.34: Zeitreihe der signifikanten Wellenhöhe an der Station FINO3, gemessen mit einem Nortek AWAC-ADCP

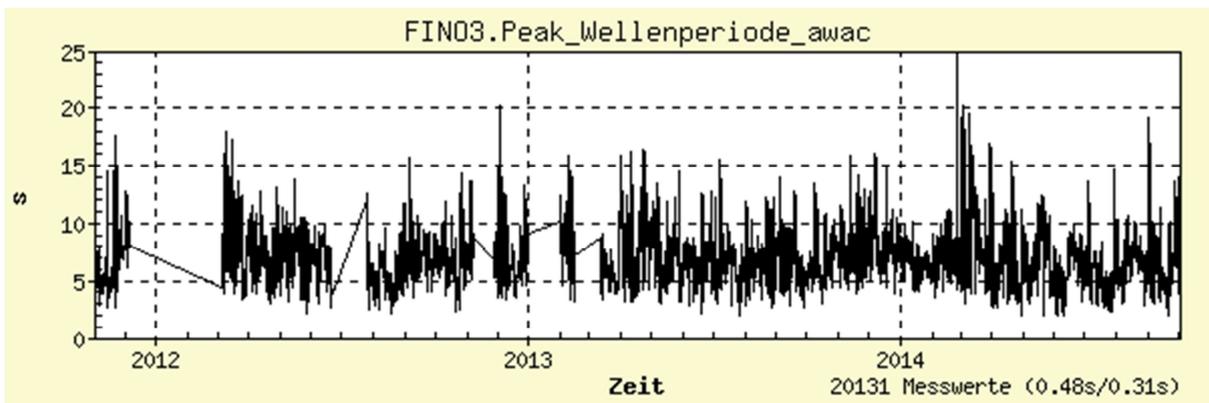


Abb.35: Zeitreihe der Peakwellen-Periode an der Station FINO3, gemessen mit einem Nortek AWAC-ADCP

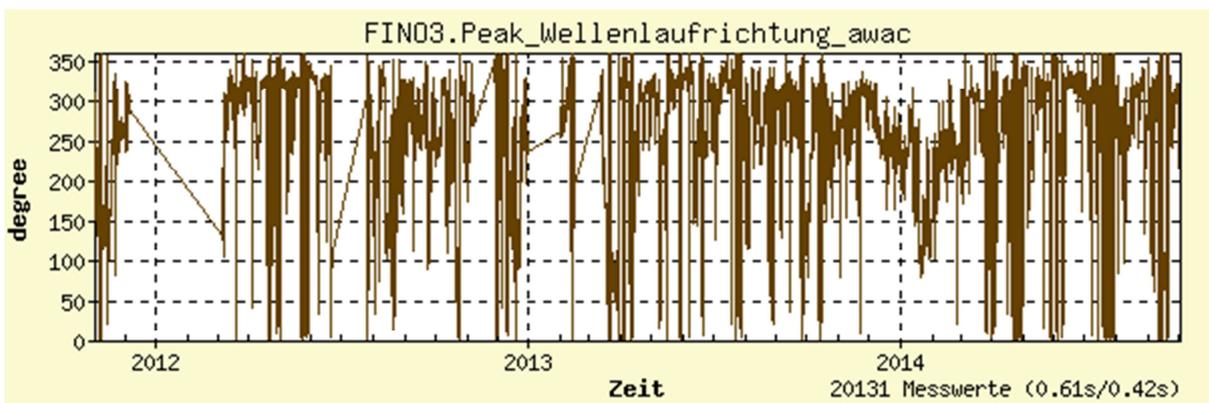


Abb.36: Zeitreihe der Peakwellen-Laufrichtung an der Station FINO3, gemessen mit einem Nortek AWAC-ADCP

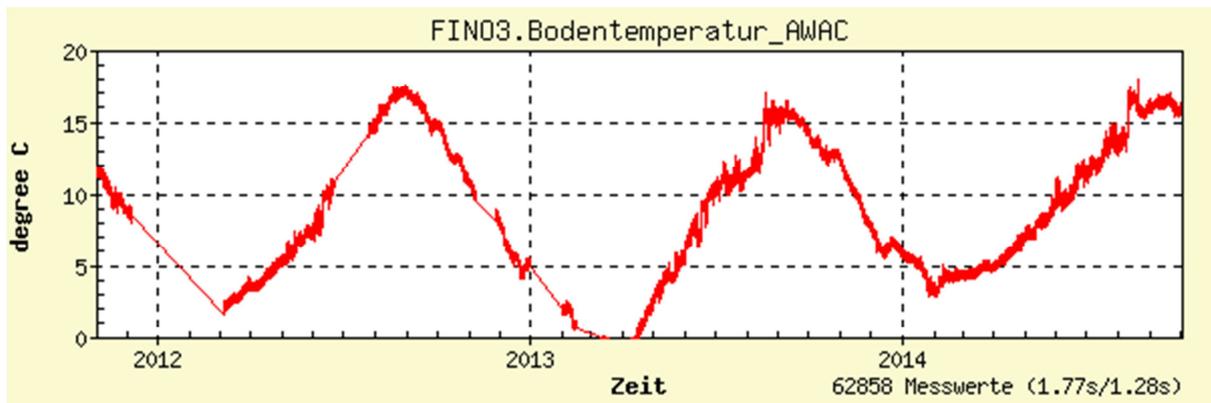


Abb.37: Zeitreihe der Wassertemperatur am Meeresboden an der Station FINO3, gemessen mit einem Nortek AWAC-ADCP

- Polare Häufigkeitsverteilungen (2012-2015) der Strömungsrichtung in Kombination mit der dazugehörigen Strömungsgeschwindigkeit an der FINO3, gemessen mit dem ADCP. Die Auflösung des Richtungsintervalls beträgt  $15^\circ$  im Azimut für die Richtung, die Geschwindigkeitsauflösung beträgt  $0,1 \text{ ms}^{-1}$ . Die Häufigkeiten sind als Prozentangaben farbkodiert, Richtungen sind als „going to“ definiert. Unterschiedliche Abbildungen zeigen die verschiedenen Tiefenschichten: Oberflächennahe- Schicht (obere Abb.), Mittlere-Schicht (mittlere Abb.) und die Bodennahe-Schicht (untere Abb.).

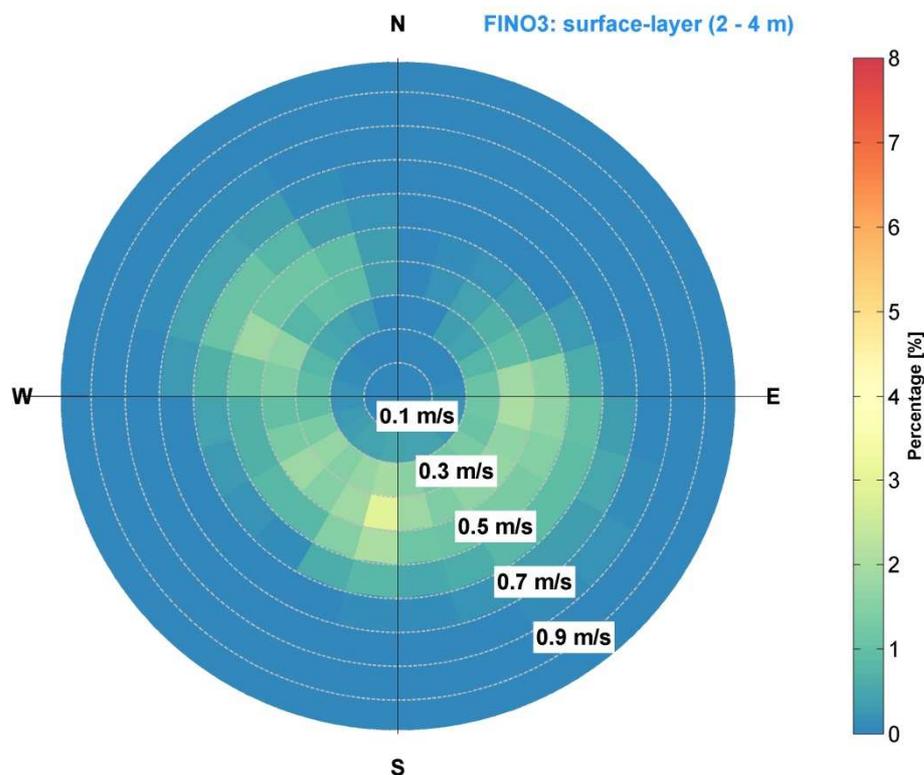


Abb.38: Häufigkeitsverteilung der Strömungsrichtungen und -geschwindigkeiten an der Station FINO3, obere Wasserschicht

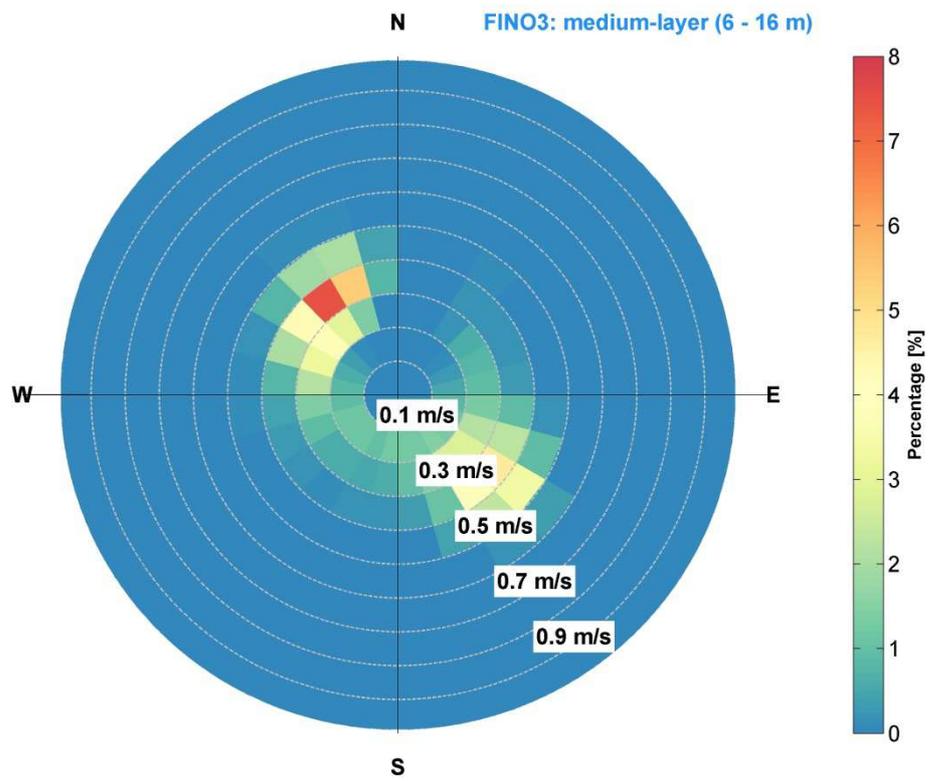


Abb.39: Häufigkeitsverteilung der Strömungsrichtungen und -geschwindigkeiten an der Station FINO3, mittlere Wasserschicht

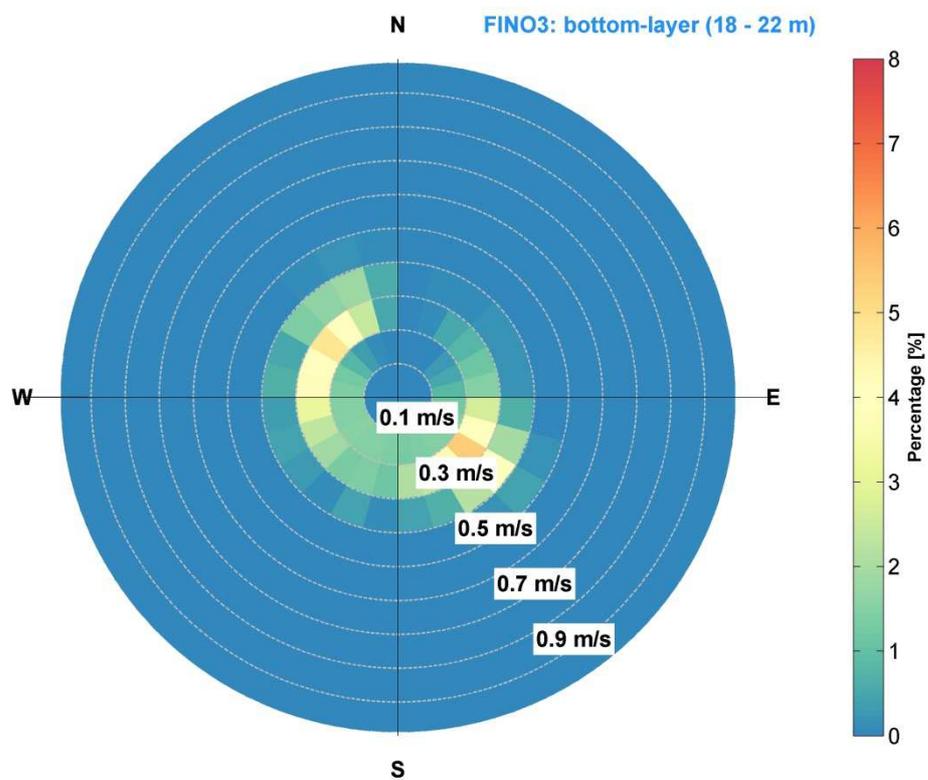


Abb.40: Häufigkeitsverteilung der Strömungsrichtungen und -geschwindigkeiten an der Station FINO3, unteren Wasserschicht

- Jährliche (2012-2015) Strömungsprofile der Messungen an der FINO3. Die grau markierten Kurven zeigen die Geschwindigkeitsprofile der stündlichen Messungen, die orange Kurve kennzeichnet das Jahresmittel. Unterschiedliche Tiefenschichten, mit den entsprechenden mittleren absoluten Geschwindigkeiten, sind zusätzlich markiert.

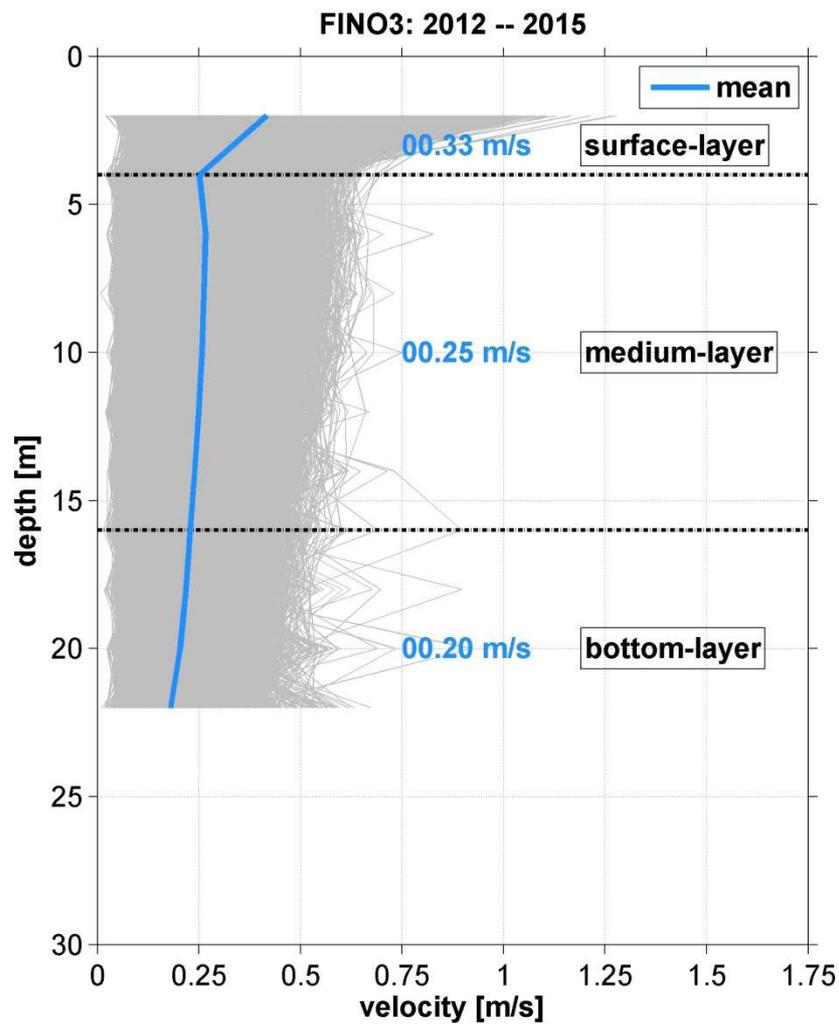


Abb.41: Profile der Strömungsgeschwindigkeiten an der Station FINO3

- Wassertemperaturen in 3 Tiefenstufen, gemessen mit NKE Sensoren.

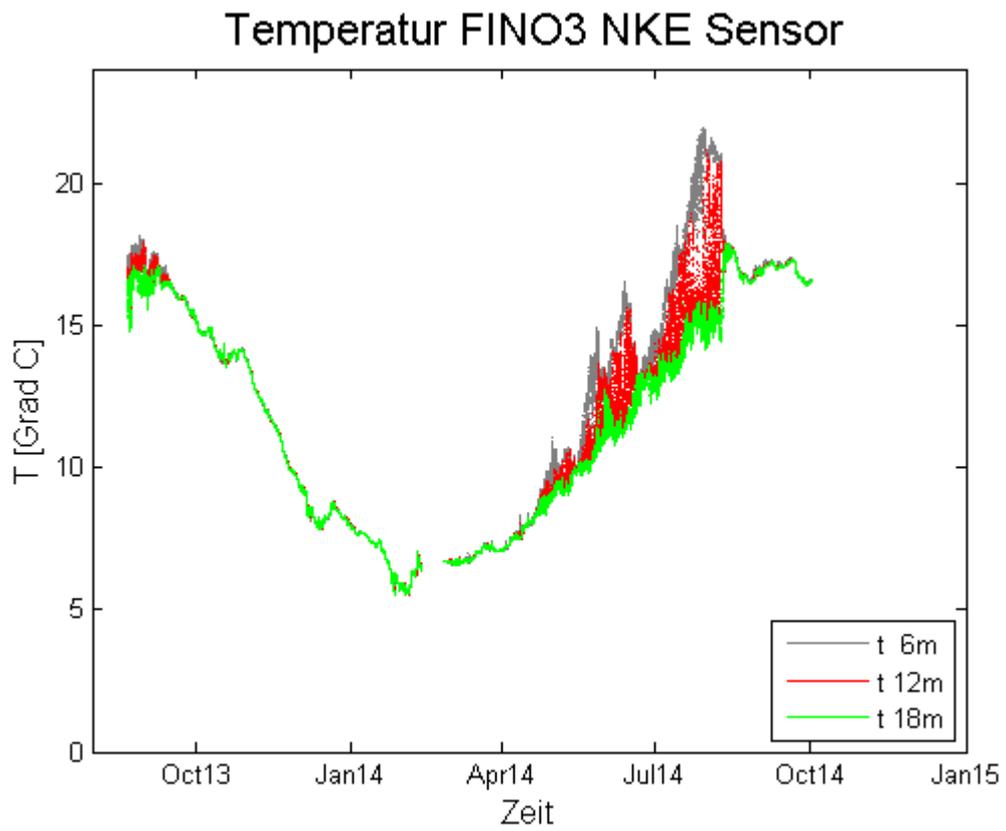


Abb.42: Wassertemperaturen an der FINO3 in drei Tiefenstufen, gemessenen mit NKE Temperatursonden

## 5. Datenorganisation und Weitergabe an Nutzer

Alle relevanten auf den FINO Stationen gewonnenen ozeanographischen und meteorologischen Daten wurden in die FINO-Datenbank übertragen. Die auf den Stationen gewonnenen hydrographischen Daten, nämlich Temperatur, Leitfähigkeit, Salzgehalt, Druck, Sauerstoff, Strömung sowie die wesentlichen Seegangparameter, wurden von jeweils einem zentralen Rechner auf der Station erfasst und an das BSH übermittelt. Im BSH wurden die Daten aufbereitet, d.h. Rohdaten in ihre physikalischen Werte umgerechnet, die relevanten Parameter aus den Datensätzen gefiltert und auf Plausibilität geprüft. Anschließend wurden gemittelte Daten in die BSH-eigene ODIN-Datenbank transferiert, wo sie dann für weitere Anwendungen zur Verfügung stehen. Darüber hinaus werden die gemittelten Daten für die stündlich aktuelle Darstellung in das Internet gestellt.

Die meteorologischen Daten werden von der Plattform FINO1 an das DEWI übertragen. Dort werden die Daten geprüft. Das DEWI gibt sowohl die Rohdaten, als auch die geprüften Daten an das BSH weiter. Diese werden dann in die FINO-Datenbank übertragen.

Alle gemessenen Rohdaten bleiben außerdem auf den Rechnern auf der Plattform gespeichert. Eventuelle Störungen bei der Übertragung der Messwerte an das Festland führen also nicht zu Datenverlusten. Die Daten auf den Stationsrechnern werden regelmäßig von Hand auf externe Speichermedien übertragen und archiviert.

Die meteorologischen Parameter der Station FINO2 werden von der Firma WIND-consult Messinstitut für Windenergie aus Rostock gemessen, geprüft und an das BSH übertragen. Für die meteorologischen Messungen an der Station FINO3 ist die Firma DNV GL verantwortlich für Datenerhebung, -prüfung und -übertragung an das BSH.

Zusätzlich zu der oben genannten umfassenden Veröffentlichung und Bereitstellung der Daten über die FINO-Datenbank, findet eine weitere Präsentation der ozeanographischen Daten von FINO1 (jeweils die Ergebnisse der letzten 14 Tage) auf den Internetseiten des BSH ([www.bsh.de](http://www.bsh.de)), im Bereich Meeresumweltüberwachung (MARNET) statt: <http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/MARNET-Messnetz/index.jsp>.

## 5.1. FINO Datenbank

In der FINO Datenbank sind die in den bisherigen FINO-Projekten gewonnen meteorologischen und ozeanographischen Parameter enthalten, und über das Internet abrufbar.

Die Zeitreihen der Messergebnisse an der FINO1 beginnen im Januar 2003 und enthalten insgesamt 88 verschiedene Parameter. Die meteorologischen Messergebnisse der Station FINO2 beginnen im August 2007 und umfassen 32 Parameter, seit Sommer 2013 sind auch 78 ozeanographische Parameter abrufbar. Daten der Station FINO3 gibt es seit September 2009 und enthalten 71 verschiedene ozeanographische und meteorologische Messgrößen. Die Datenbank erlaubt einen graphischen Überblick über die vorhandenen Messreihen und Zeiträume.

Es sind zurzeit 983 Nutzer registriert, womit sich die Zahl der Datenbanknutzer in der hier betrachteten Projektlaufzeit nahezu verdoppelt hat. Diese Nutzer arbeiten für in- und ausländischen Behörden und wissenschaftlichen Instituten, sowie von im Bereich der Offshore-Technik tätigen kommerziellen Unternehmen (siehe Anhang).

Sowohl die wissenschaftlichen als auch die kommerziellen Nutzer der FINO Datenbank benötigen nach eigenen Angaben die Daten für Projekte zur Abschätzung der Erreichbarkeit und Logistik von Windkraftanlagen und -parks, Ertragsabschätzungen, Lastabschätzungen, sowie zur Validierung von meteorologischen und ozeanographischen Modellen und Modellrechnungen.

Es ist leider nicht möglich die Gesamtzahl von Veröffentlichungen zu nennen, die auf FINO Daten beruhen oder FINO Daten enthalten. Der Zugang wird gewährt unter der Bedingung das BMWi und den PtJ als Datenquellen zu nennen, eine Pflicht Veröffentlichungen mit FINO Daten an das BSH zu melden gibt es nicht.



# FINO - Plot und Download

## Plot und Download

[ [Plot/Download](#) | [Benutzer](#) | [Parameter](#) | [Info](#) | [Logout](#) ]

Willkommen Herr Outzen,

auf dieser Seite können Sie FINO-Parameterdaten plotten und als ZIP-Datei auf den eigenen Rechner herunterladen. Bitte wählen Sie die gewünschten Parameter und einen Zeitbereich aus.

• Station:

• Parameter:

• Von:  (TT.MM.JJJJ)

• Bis:  (TT.MM.JJJJ)

Abb 43 :Auswahlseite der FINO Datenbank

## 6. Schlusswort

Das vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und seit 17.12.2014 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) vertreten durch das Forschungszentrum Jülich GmbH (Projekträger Jülich PTJ) geförderte Projekt „Ozeanographische Messungen auf den FINO-Plattformen, meteorologische und strukturelevante Messungen auf FINO1 sowie Betrieb der FINO-Datenbank“ wurde im Oktober 2013 beendet. Ein Nachfolgeprojekt „Betrieb der FINO-Datenbank, ozeanographische Messungen an den FINO Plattformen und Umwelt- und Belastungsmessungen auf FINO1“ wurde bewilligt und hat seine Arbeit aufgenommen. Dadurch ist die Fortsetzung der meteorologischen und ozeanographischen Langzeitmessungen an den FINO Stationen gewährleistet.

Die Fortführung der Messungen auf den FINO Forschungsplattformen ist in mehrerer Hinsicht wichtig. Zum einen lassen sich nur durch langjährige Überwachung physikalischer Parameter des Meeres langfristige Veränderungen der Umwelt messen, zum anderen ist es gerade die Gesamtheit der an den FINO Plattformen gemessenen Parameter, die zu einem vertieften Verständnis der Wechselwirkungen zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren in der maritimen Umwelt führen.

Die in der FINO Datenbank enthaltenen Messergebnisse, erfreuen sich großer Nachfrage zahlreicher in- und ausländischer Nutzer, zu denen namhafte wissenschaftliche Einrichtungen gehören, mit der marinen Umwelt befasste Behörden, sowie kommerzielle Firmen aus dem rasant wachsenden Gebiet der Windenergie.

## Anhang: Nutzerliste der FINO Datenbank

- Aalborg University, Dänemark
- ABB AB, High Voltage Cables, Schweden
- ABPmer, Vereinigtes Königreich
- Acciona Energía, S.A, Spanien
- Agencia Andaluza de la Energía, Spanien
- Airtricity, Ltd, Irland
- Alfred Wegener Institut, Bremerhaven
- Allianz SE, München
- Alstom-Ecotecnia, Spanien
- Alstrom Power Systems GmbH, Stuttgart
- anemos Gesellschaft fuer Umweltmeteorologie mbH, Adendorf
- anemos-jacob GmbH, Oldershausen
- AREVA Wind GmbH, Bremerhaven
- ATM-PRO, Belgien
- Avitec Research GbR, Osterholz-Scharmbeck
- BARD Engineering GmbH, Emden
- Barlovento Recursos Naturales, Spanien
- Baubüro DOTI, Norddeich
- BBB Umwelttechnik GmbH, Gelsenkirchen
- BEC- Energie Consult GmbH, Berlin
- Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee, Belgien
- Beluga Shipping GmbH, Bremen
- Bergische Universität Wuppertal
- BET-Aachen
- Betriebsbüro Alpha Ventus, Norden
- Beuth Hochschule für Technik, Berlin
- Berufsgenossenschaftliches Unfallkrankenhaus Hamburg
- Bilfinger Construction GmbH, Berlin
- BioConsult SH GmbH & Co.KG, Husum
- BMT ARGOSS, Niederlande
- BOC MetOcean B.V. , Niederlande
- Brandenburgische Technische Universität, Cottbus
- Bremer Energie Institut, Bremen
- Brussels Institute of Contemporary China Studies, Belgien
- BTC Business Technology Consulting AG, Oldenburg
- Bugsier-, Reederei- und Bergungs-Gesellschaft mbH, Hamburg
- Bundesamt für Naturschutz, Leipzig
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg/Rostock
- Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
- Bundesanstalt fuer Wasserbau, Karlsruhe
- Bundesfinanzdirektion Nord, Hamburg
- Bundespolizeiinspektion See, Cuxhaven
- Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg
- Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique, Frankreich

- Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science, Vereinigtes Königreich
- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Spanien
- Centro de Investigaciones Tecnológicas, Spanien
- Centro Nacional de Energías Renovables, Spanien
- Clipper Windpower Marine Limited, USA
- CLS, Frankreich
- Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- COWI A/S, Dänemark
- Danmarks Tekniske Universitet, Dänemark
- Dartmouth College, NH, USA
- Delft Hydraulics, Niederlande
- Delft University of Technology, Niederlande
- Deltares, Niederlande
- Deutsche Energie-Agentur GmbH, Berlin
- Deutsche Offshore- Testfeld und Infrastruktur GmbH (DOTI), Oldenburg
- Deutsche Windguard Consulting GmbH, Varel
- Deutscher Wetterdienst, Hamburg
- Deutsches Meeresmuseum, Stralsund
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen
- DEWI - Deutsches WindEnergie Institut, Wilhelmshaven
- Det Norske Veritas, Danmark A/S
- DHI-WASY GmbH, Berlin
- DMI, Dänemark
- DNV KEMA Energy & Sustainability, Niederlande
- DONG Energy Kraftwerke Holding GmbH, Hamburg
- Duke University, NC, USA
- Dunarea-de-Jos-Universität Galati, Rumänien
- DW-ShipConsult GmbH, Schwentinental
- ECN Wind Energy, Niederlande
- Ecofys Germany GmbH, Berlin
- EDF R&D, Frankreich
- Elbe-Sea-Services, Bremen
- EnBW Erneuerbare Energien GmbH, Stuttgart
- Energias de Portugal SA, Portugal
- Energiekontor AG, Bremen
- energy & meteo systems GmbH, Oldenburg
- Energynautics GmbH, Langen
- Energinet, Dänemark
- ENOVA Energiesysteme GmbH & Co. KG, Bunderhee
- EOI Business School, Spanien
- Eolia Renovables, Spanien
- E.ON Netz Offshore GmbH, Bayreuth
- ergoTOP - Team Innovationsprojekte, Kiel
- Escuela de Organización Industrial, Spanien
- Europa-Universität Viadrina, Frankfurt (Oder)
- Eurus Energy Holdings, Japan
- EuroWind GmbH, Köln

- EWE Aktiengesellschaft, Oldenburg
- Fachhochschule Aachen
- Fachhochschule Campus Wien
- Fachhochschule Elsfleth
- Fachhochschule Flensburg
- Fachhochschule Frankfurt
- Fachhochschule Kiel
- Fachhochschule Köln
- Fachhochschule Nordhausen
- Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven
- Fachhochschule Südwestfalen
- Fachhochschule Westküste
- Fachhochschule Wilhelmshaven
- Fachhochschule Zittau/ Görlitz
- FIELAX Gesellschaft fuer wissenschaftliche Datenverarbeitung mbH, Bremerhaven
- Forschungs- und Koordinierungsstelle Windenergie, Bremerhaven
- Forschungs- und Technologiezentrum Westküste, Büsum
- Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich
- Fortum, Finnland
- Franzius Institut, Hannover
- Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen, Hamburg
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe
- Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik, Kaiserslautern
- Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, Bremerhaven/Kassel
- Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- FuE-Zentrum FH Kiel GmbH
- Führungsakademie der Bundeswehr, Hamburg
- Fugro Global Environmental & Ocean Sciences, Vereinigtes Königreich
- Foundation for Sustainable Energy, Polen
- Gamesa, Spanien
- GE Energy, Salzbergen
- Geo Ingenieur Team, Wilhelmshaven
- Georg-Simon-Ohm Hochschule, Nürnberg
- GeoSea, Belgien
- German Jordanian University, Jordanien
- GKSS-Forschungszentrum, Geesthacht
- GL Garrad Hassan Deutschland GmbH, Hamburg
- Global Tech I Offshore Wind GmbH, Hamburg
- Greentech, Dänemark
- Grontmij A/S , Dänemark
- Grupo APIA XXI, Spanien
- HafenCity Universität, Hamburg
- Hagenuk KMT Kabelmesstechnik GmbH, Radeburg
- Hamburg Port Authority
- Hannover Re SE, Hannover
- Hanseatic Power Cert GmbH, Hamburg

- Havariekommando, Cuxhaven
- Heerema Marine Contractors Nederland SE, Niederlande
- Heinkel Engineering GmbH, Hamburg
- Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf
- Heinrich Hirdes EOD Services GmbH, Hamburg
- Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH
- Heriot-Watt University, Vereinigtes Königreich
- Hochschule Biberach
- Hochschule Bremen
- Hochschule Bremerhaven
- Hochschule Emden/ Leer
- Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Hamburg
- Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Hildesheim Holzminde  
*Göttingen*
- Hochschule für Technik, Stuttgart
- Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin
- Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Leipzig
- Hochschule für Wirtschaft und Recht, Berlin
- Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo
- Hochschule Ruhr West, Mülheim an der Ruhr
- Hochschule Ulm
- HOCHTIEF Construction AG, Essen
- Högskolan på Gotland, Schweden
- Iberdrola Regenerative Energien GmbH, Berlin
- Imagination Technologies Ltd., Vereinigtes Königreich
- Imare GmbH, Bremerhaven
- IMPaC Offshore Engineering GmbH, Hamburg
- Imperial College Department of Physics, Vereinigtes Königreich
- Infrastructure & Renewables NIBC Bank N.V., Frankfurt
- Industrial Doctoral Centre in Offshore Renewable Energy, Vereinigtes Königreich
- Innoven GmbH, Bremerhaven
- Institute of Remote Sensing and Digital Earth, China
- Institut für Angewandte Ökologie GmbH, Rostock
- Institut für Hochspannungstechnik, Aachen
- Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruhe
- Institut für Regenerative Energiewirtschaft
- Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik, Bremen
- Institut für technische und angewandte Physik GmbH, Oldenburg
- Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Frankreich
- Institut supérieur de mécanique de Paris, Frankreich
- Instituto de Ciencias del Mar, Spanien
- Instituto Meteorológico Regional de Castilla-La Mancha, Spanien
- Istituto di Scienze Marine, Italien
- Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, Italien
- IRS Ingenieurbüro Rapsch und Schubert, Würzburg
- Jade Hochschule, Elsfleth
- Jade Hochschule, Wilhelmshaven
- Justus-Liebig-Universität, Gießen

- Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
- Katholieke Universiteit of Leuven, Belgien
- KEMA Consulting GmbH, Bonn
- Kjeller Vindteknikk AS, Norwegen
- Kjeller Vindteknikk, Stockholm, Schweden
- Klima- og Energieminiisterium, Dänemark
- KNK Wind GmbH, Frankfurt am Main
- Kobe University, Japan
- Koninklijke Marine, Niederlande
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Niederlande
- Kungliga Tekniska Högskolan, Schweden
- Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein, Husum
- La compagnie du vent, Frankreich
- Landkreis Wesermarsch, Brake
- Leibniz-Institut für Ostseeforschung, Warnemünde
- Leibniz Universität Hannover
- Leipziger Institut für Energie GmbH
- Leuphana Universität Lüneburg
- Loughborough University, Großbritannien
- Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, München
- Ludwig-Maximilians-Universität, München
- Mainstream Renewable Power, Irland
- Management Engineers GmbH & Co.KG, Düsseldorf
- Marine Service GmbH, Hamburg
- Maritime Institute in Gdansk, Polen
- Marum Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Bremen
- Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, Potsdam
- Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching
- McKinsey & Company Inc., Hamburg
- Meerestechnisches Büro Turla, Kiel
- Met Office UK, Vereinigtes Königreich
- meteocontrol GmbH, Augsburg
- Météo-France, Frankreich
- Meteorologisk Institutt Bergen, Norwegen
- MetOceanWorks Ltd., Oxford, Vereinigtes Königreich
- Microstep-IT AG, München
- Mines Paristech, Frankreich
- Minesto AB, Schweden
- Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus, Schwerin
- Mitsubishi Power Systems Europe, Ltd., Hamburg
- motum GmbH, Hamburg
- Müller BBM, Hamburg
- Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München
- Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Norwegen
- National Center for Atmospheric Research, USA
- National Renewable Energy Laboratory, USA
- Nationalpark-Haus Juist

- National Wind Technology Center, USA
- NEMOS GmbH, Duisburg
- nkt cables GmbH, Köln
- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Norden
- Norddeutsche Seekabelwerke GmbH, Nordenham
- Nordic Yards Werft, Wismar
- Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Norwegen
- North Carolina State University, USA
- Norwegian Centre for Offshore Wind Energy, Norwegen
- N.prior energy GmbH, Leer
- NRW.BANK, Düsseldorf
- Nuon Energy Sourcing, Niederlande
- Oceanteam Power & Umbilical ASA, Niederlande
- Oceanwaves GmbH, Lüneburg
- Öko-Institut e.V., Freiburg
- Oldenburger Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Informatik-Werkzeuge und –Systeme
- Onera, Frankreich
- Overdick GmbH & Co KG, Hamburg
- Overspeed GmbH & Co. KG, Oldenburg
- Plambeck Neue Energien AG, Cuxhaven
- PM-Generators GmbH, Neuruppin
- Ramboll Oil & Gas, Dänemark
- renergys GmbH, Ladenburg
- REpower Systems AG, Hamburg
- RE Transportnetz AG, Schweiz
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, Niederlande
- Rijkswaterstaat, Niederlande
- Ring europäischer Hobbymeteorologen e.V, Nordenham
- Robert Bosch GmbH, Stuttgart
- Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Belgien
- Royal Institute of Technology, Schweden
- RSBK Strategie Beratung Kommunikation GmbH, Frankfurt
- Ruhr-Universität Bochum
- RWE Innogy, Essen
- RWTH Aachen University
- Seatower AS, Norwegen
- Seaway Heavy Lifting, Niederlande
- Seefahrtsschule Warnemünde
- Siemens Wind Power A/S, Dänemark
- SINTEF Energy Research, Norwegen
- SgurrEnergy, Glasgow, Vereinigtes Königreich
- smile consult GmbH, Hannover
- Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Vorpommern
- Stadtwerke Hannover AG
- StatoilHydro ASA, Norwegen

- Statoil Petroleum AS, Norwegen
- Stiftungslehrstuhl Windenergie (SWE), Stuttgart
- StormGeo AS, Norwegen
- STRABAG Offshore Wind GmbH, Cuxhaven
- Strathclyde University Glasgow, Vereintes Königreich
- Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Schweden
- Swiss Federal Institute of Technology, Schweiz
- Syddansk Universitet in Odense, Dänemark
- Systecon AB, Schweden
- Technip Offshore Wind Limited, Bremerhaven
- Technische Hochschule Mittelhessen
- Technische Universität Bergakademie Freiberg
- Technische Universität Berlin
- Technische Universität Braunschweig
- Technische Universität Clausthal
- Technische Universität Darmstadt
- Technische Universität Dortmund
- Technische Universität Dresden
- Technische Universität Graz
- Technische Universität Hamburg-Harburg
- Technische Universität Ilmenau
- Technische Universität Kopenhagen, Dänemark
- Technische Universität Lyon, Frankreich
- Technische Universität München
- Technische Universität Wien
- Technische Universiteit Delft, Niederlande
- Technische Universiteit Eindhoven, Niederlande
- Technologie-Institut für Metall & Engineering GmbH. Wissen
- TechWorks, Irland
- TenneT offshore GmbH, Lehrte
- TERNA ENERGY SA, Griechenland
- The Boston Consulting Group GmbH, Hamburg
- Thünen-Institut für Seefischerei, Hamburg
- Toto SpA, Italien
- Trianel Windkraftwerk Borkum GmbH & Co. KG
- TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG, Hamburg
- TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München
- Umwelt-Campus Birkenfeld
- UniResearch Bergen, Norwegen
- Universidad Complutense de Madrid, Spanien
- Universidad de Cantabria, Spanien
- Università degli Studi Roma, Italien
- Universität Bremerhaven
- Universität der Bundeswehr Hamburg
- Universität Duisburg-Essen
- Universität Erlangen
- Universität Flensburg
- Universität Gronigen, Niederlande

- Universität Hamburg
- Universität Heidelberg
- Universität Hohenheim
- Universität Innsbruck
- Universität Karlsruhe
- Universität Köln
- Universität Leipzig
- Universität Oldenburg
- Universität Paderborn
- Universität Passau
- Universität Rostock
- Universität Siegen
- Universität Stavanger, Norwegen
- Universität Stuttgart
- Universität Süddänemark, Dänemark
- Universität Trier
- Universiteit Utrecht, Niederlande
- Universiteit van Amsterdam, Niederlande
- University College Cork, Irland
- University College London, Vereintes Königreich
- University of Applied Sciences Wiesbaden
- University of Bath, Vereinigtes Königreich
- University of Bergen, Norwegen
- University of East London, Vereinigtes Königreich
- University of Edinburgh, Vereinigtes Königreich
- University of Gotland, Schweden
- University of Houston, USA
- University of Ljubljana, Slovenien
- University of Oxford, Vereintes Königreich
- University of Plymouth, Vereinigtes Königreich
- University of Reading, Vereinigtes Königreich
- University of Strathclyde, Glasgow, Vereinigtes Königreich
- University of Texas, USA
- University of Victoria, BC, Kanada
- University of Western Australia, Australien
- Vattenfall Europe New Energy GmbH, Hamburg
- Vattenfall Vindkraft AB, Schweden
- Vestas Offshore A/S, Dänemark
- Vestas Wind Systems A/S, Dänemark
- Virginia Tech Advanced Research Institute, USA
- Volkswagen Aktiengesellschaft, Wolfsburg
- von Karman Institute for Fluid Dynamics, Belgien
- WAB e.V. ,Bremerhaven
- Wageningen University, Niederlande
- Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
- Weather House Limited, Potsdam
- WEPROG, Dänemark
- Wernher-von-Braun-Gymnasiums, Friedberg/ Bayern

- WeserWind GmbH Offshore Construction Georgsmarienhütte
- Westfälische-Wilhelms Universität in Münster
- WetterWelt GmbH, Kiel
- WIKING Helikopter Service GmbH, Wilhelmshaven
- Windcarrier AS, Norwegen
- WIND-consult GmbH, Rostock
- Windmw GmbH, Bremerhaven
- WINDnovation Engineering Solutions GmbH, Berlin
- Windreich AG, Wolfschlügen
- Windset, Hamburg
- Workfox BV, Niederlande
- wpd offshore solutions GmbH, Bremen
- WTD 71, Eckernförde
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal
- Zaragoza University, Spanien
- Zèfir Test Station Catalonia Institute for Energy, Spanien
- Zenergy Power GmbH, Rheinbach
- *Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg*
- 100 prozent erneuerbar stiftung, Berlin
- 3e, Brüssel, Belgien
- 50Hertz Transmission GmbH, Berlin

## Anhang Wissenschaftliche Veröffentlichungen

### 1. Schriftliche Veröffentlichungen

Lfd.-Nr	Titel	Autoren
1	Remote Sensing and In Situ Sea State Instrument Comparisons at the Research Platform Fino 1 in the German Bight. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Munich, 07.2012.	C. Senet, J. Fischer, O. Outzen, K. Herklotz, H. Klein
2	Regional Oceanographic Distinctions in the South-Eastern Part of the North Sea: Results of Two Years of Monitoring at the Research Platforms FINO1 and FINO3; DEWEK Bremen, 11.2012	J.-G. Fischer, C. Senet, Olaf Outzen, A. Schneeorst und Kai Herklotz
3	Meteorologische und ozeanografische Messungen auf den FINO-Plattformen während der Orkantiefs Christian und Xaver, DEWI Magazin 44, Februar 2014	T. Leiding, B. Tinz,, G. Rosenhagen, C. Lefebvre, S. Haeseler, S. Hagemann, I. Bastigkeit, D. Stein, P. Schwenk, S. Müller, O. Outzen, K. Herklotz, F. Kinder, T. Neumann

### 2. Vorträge

Lfd.-Nr	Titel	Autoren
1	Regional Oceanographic Distinctions in the South-Eastern Part of the North Sea: Results of Two Years of Monitoring at the Research Platforms FINO1 and FINO3. DEWEK Bremen, 2012	J.-G. Fischer, C. Senet, Olaf Outzen, A. Schneeorst und Kai Herklotz
2	Cornerstone for R&D projects: RAVE-Measurements Central realisation of measurements within the framework of RAVE Research projects. RAVE-Conference Bremerhaven, 06.2012	J.-G. Fischer, C. Senet, Olaf Outzen, A. Schneeorst und Kai Herklotz

3	Begleitforschung des ersten Offshore Windenergieparks in der deutschen AWZ. HAFENCITY UNIVERSITÄT HAMBURG 80. ARGEOS und 32. KonVerS Treffen, 12.2012	J.-G. Fischer, C. Senet, Olaf Outzen, A. Schneehorst und Kai Herklotz
4	Sea state: Fundamentals and Measurements at BSH	C. Senet
5	Seegangsmesssysteme in Offshore-Windparks am Beispiel von Alpha Ventus, Mai 2012, E-Surfmar Data Buoy Expert Meeting	K. Herklotz
6	Oceanographical Measurements, Fino Conference 30.10.2013, Kiel	K. Herklotz
7	"Weiterentwicklung der Echtzeit-Erfassung von Seegangsdaten im BSH", BfG-BSH Abstimmungsgespräche, 19.06.2014, Koblenz	C. Senet, J. Fischer, O. Outzen, K. Herklotz, H. Klein
8	"Weiterentwicklung der Echtzeit-Erfassung von Seegangsdaten im BSH", HZG-BSH Jahrestreffen, 09.12.2014, Geesthacht	C. Senet, J. Fischer, O. Outzen, K. Herklotz, H. Klein

### 3. Tagungen, Symposia, Workshops

Lfd.-Nr	Titel	Autoren
1	Seegangsmessungen im Rahmen des Messnetzes MARNET: Stand und Perspektiven. RAVE Workshop Operationelle Seegangsmessungen Stand, Anwendungen und Perspektiven 2013, 05.2013	C. Senet, J.-G. Fischer, Olaf Outzen und Kai Herklotz
2	Seegangsmessungen im Offshore Windpark „alpha ventus“. RAVE Workshop Operationelle Seegangsmessungen Stand, Anwendungen und Perspektiven 2013, Hamburg, 05.2013	J.-G. Fischer, C. Senet, Olaf Outzen, A. Schneehorst und Kai Herklotz

# **FINO1 – Meteorologische Messungen**

## **Endbericht**

**Projektzeitraum 11/2011 - 10/2014**

**DEWI – UL International GmbH**

Friederike Bégué\*, Dr. Thomas Neumann, Dr. Beatriz Cañadillas

12.02.2015

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufbau der meteorologischen Messungen .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Statistik und Verfügbarkeit .....</b>	<b>4</b>
2.1	Projektzeitraum 01/2014 bis 10/2014.....	4
2.2	Projektzeitraum 11/2011 bis 10/2014.....	5
<b>3</b>	<b>FINO1 Eddy-Kovarianz-Messungen in 40 m und 80 m Höhe.....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung der meteorologischen Messungen .....</b>	<b>10</b>
4.1	Korrektur für FINO1-Windgeschwindigkeiten aus der Richtung von <i>alpha ventus</i> ... ..	10
4.2	10 Jahre FINO1.....	13
4.3	Stürme Christian und Xaver im Herbst 2013 .....	14
<b>5</b>	<b>LiDAR Tests .....</b>	<b>16</b>
5.1	<i>Galion</i> Wind-LiDAR Offshore-Test auf FINO1 .....	16
5.2	<i>SpiDAR™</i> Wind-LiDAR Offshore Test auf FINO1 .....	18
5.3	<i>Windcube®v2</i> LiDAR Test für FINO1/ <i>alpha ventus</i> Umspannwerk.....	19
5.4	LiDAR-Installation auf <i>alpha ventus</i> Umspannwerk .....	20
<b>6</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Veröffentlichungen innerhalb des FINO-Projektes .....</b>	<b>21</b>

## 1 Aufbau der meteorologischen Messungen

Die Windmesssensoren befinden sich auf in unterschiedlichen Höhen am Mast angebrachten Auslegern, wobei Cup-Anemometer zur Windgeschwindigkeitsmessung nach Südosten und Windfahnen und Ultraschallanemometer zur Windrichtungsmessung nach Nordosten ausgerichtet sind. Weiter meteorologische Sensoren befinden sich auf verschiedenen Höhen innerhalb der Maststruktur. Das verwendete Höhenbezugsniveau ist Lowest Astronomical Tide (LAT). Die höchste Windgeschwindigkeitsmessung findet mit dem sogenannten Top-Anemometer auf 103 m LAT Höhe statt (Abb. 1).

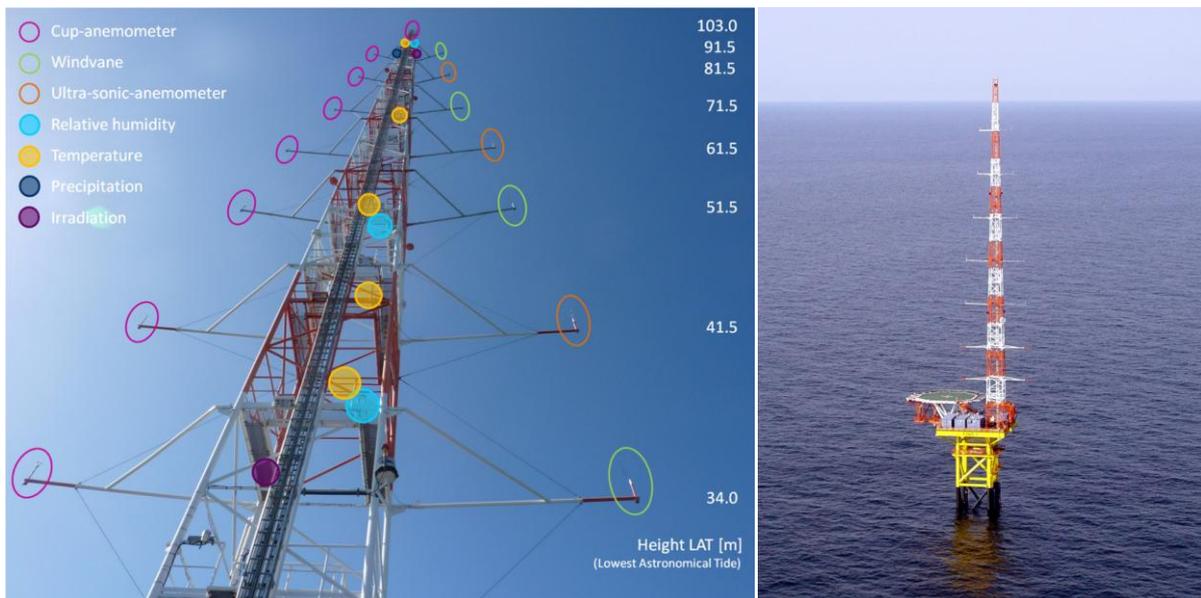


Abb. 1: Links: Höhe und Position der verschiedenen meteorologischen Sensoren. Rechts: FINO1-Plattform.

Für alle Messungen werden 10-Minuten-Mittelwerte mit zwei Datenloggern erfasst, für Windmessungen außerdem Maximum, Minimum und Standardabweichung. Die mit 10-Hz-aufgelösten Messungen der Ultraschallanemometer werden über ein separates Messsystem erfasst. Die Daten werden regelmäßig über eine Richtfunkverbindung heruntergeladen und gesichert. Nach einer Qualitätskontrolle werden sie in eine öffentlich zugängliche Datenbank<sup>1</sup> übertragen.

<sup>1</sup> [fino.bsh.de](http://fino.bsh.de)

## 2 Statistik und Verfügbarkeit

### 2.1 Projektzeitraum 01/2014 bis 10/2014

Obwohl die Windmessungen an der FINO1-Plattform fortdauernd dem rauen Seeklima ausgesetzt sind, ist die Verfügbarkeit der Cup-Anemometermessungen höher als 90 % (Abb. 2). Die Verfügbarkeit der Windfahnenmessung ist etwas geringer, da aufgrund der besonderen Beschaffenheit des Messsystems die Daten um einen bestimmten Bereich des Nordsprungs bei zwei Windfahnen entfernt werden müssen. Die Sonic-Anemometer auf 81.5 m LAT und auf 41.5 m LAT werden für Eddy-Kovarianz-Messungen mit speziellen Messsystemen aufgezeichnet (Kap. 3, S. 7), deren Verfügbarkeiten hier nicht berücksichtigt werden. Zwei Temperatursensoren und zwei Feuchtesensoren wurden auf einen neuen Datenlogger der Firma *Ganter* aufgelegt, welcher nach intensiven Tests zukünftig die alten seit 2003 bestehenden Datenlogger ablösen soll. Aufgrund von Softwareproblemen im Mai 2014 konnten die Messungen des neuen Loggers nur bis Mai 2014 aufgearbeitet werden.

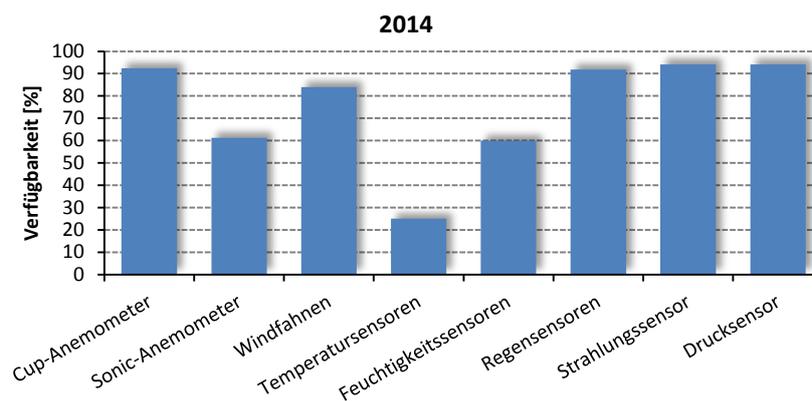


Abb. 2: Verfügbarkeit der verschiedenen meteorologischen Sensoren an FINO1 bezogen auf den Zeitraum von Januar 2014 bis Oktober 2014.

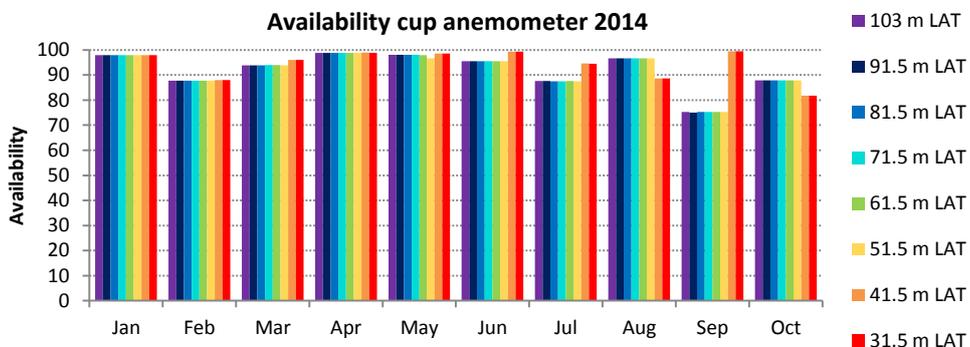


Abb. 3: Verfügbarkeit der Cup-Anemometermessungen an FINO1 für jede Messhöhe und Monat bezogen auf den Zeitraum von Januar 2014 bis Oktober 2014.

Die Verfügbarkeiten der beiden unteren Cup-Anemometer bzw. die der 6 oberen Cup-Anemometer gleichen sich (Abb. 3). Dies ist durch die Aufzeichnung mit zwei Datenloggern und deren Verfügbarkeiten begründet.

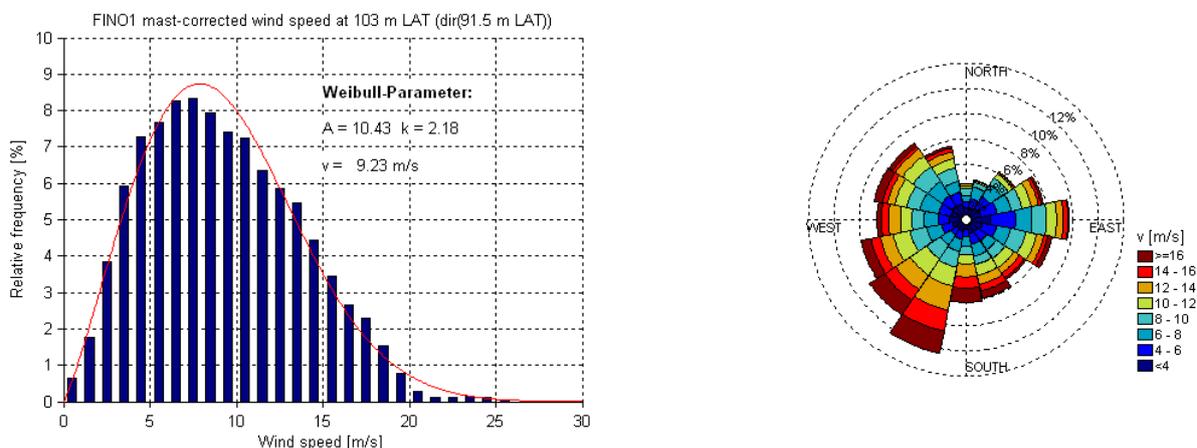


Abb. 4: Links: Weibull-Verteilung für die Windgeschwindigkeit gemessen in 103 m LAT Höhe von Januar 2014 bis Oktober 2014. Rechts: Windgeschwindigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Windrichtung gemessen in 91.5 m LAT Höhe.

Der Mittelwert der Windgeschwindigkeit gemessen mit dem Top-Anemometer in 103 m LAT Höhe beträgt  $9.23 \text{ ms}^{-1}$  für den Zeitraum von Januar 2014 bis Oktober 2014 (Abb. 4). Die Hauptwindrichtung ist Süd-Südwest. Die Berechnungen für die Grafiken in Abb. 4 wurden mit 10-Minutenmittelwerten erstellt, die um die Masteffekte korrigiert worden sind [9]. Die bei östlicher Anströmung auftretenden Einflüsse durch den Windpark *alpha ventus* sind in den Berechnungen enthalten, so dass die natürlichen Windverhältnisse nicht komplett dargestellt sind [11].

## 2.2 Projektzeitraum 11/2011 bis 10/2014

Bezogen auf den gesamten Projektzeitraum ist die Verfügbarkeit der Cup-Anemometer 95 % und die der Windfahnen 89 % (Abb. 5). Das Sonic-Anemometer auf 41.5 m LAT Höhe wurde im Mai 2012 für eine Eddy-Kovarianz-Messung auf ein spezielles Messsystem aufgelegt (Kap. 3, S. 7). Im Juli 2013 wurde ein weiteres Ultraschallanemometer (81.5 m LAT) deinstalliert um es im November 2013 in ein zweites Eddy-Kovarianz-Messsystem einzubinden (Kap. 3, S. 7) Die Verfügbarkeiten dieser Messsysteme werden hier nicht berücksichtigt. Bei einigen Sensorengruppen wurden nur die Verfügbarkeiten der Sensoren berücksichtigt, die auf einen im Jahr 2010 neu installierten Datenlogger aufgelegt sind.

Der Mittelwert der Windgeschwindigkeit gemessen mit dem Top-Anemometer in 103 m LAT Höhe beträgt  $9.65 \text{ ms}^{-1}$  für Zeitraum von November 2011 bis Oktober 2014 (Abb. 6). Abb. 7 illustriert den Verlauf des kumulativen Mittelwertes seit der Errichtung des Windparks *alpha ventus*. Die Hauptwindrichtung ist Südwest. Die Berechnungen für die Grafiken in Abb. 6 und Abb. 7 wurden mit 10-Minutenmittelwerten erstellt, die um die Masteffekte korrigiert worden sind [9]. Die bei östlicher

Anströmung auftretenden Einflüsse durch den Windpark *alpha ventus* sind in den Berechnungen enthalten, so dass die natürlichen Windverhältnisse nicht komplett dargestellt sind [11].

Seit 2010 befindet sich ein Messsystem mit einem Datenlogger der Firma *Gantner* zum Testbetrieb für meteorologische Messungen auf FINO1. In Abb. 8 sind die monatlichen Mittelwerte der mit einem zusätzlichen Sensor und mit diesem Messsystem aufgezeichneten Lufttemperatur in 52 m LAT Höhe dargestellt. Außerdem werden Luftfeuchte, Strahlung und Niederschlag zum Test mit dem neuen Messsystem erfasst.

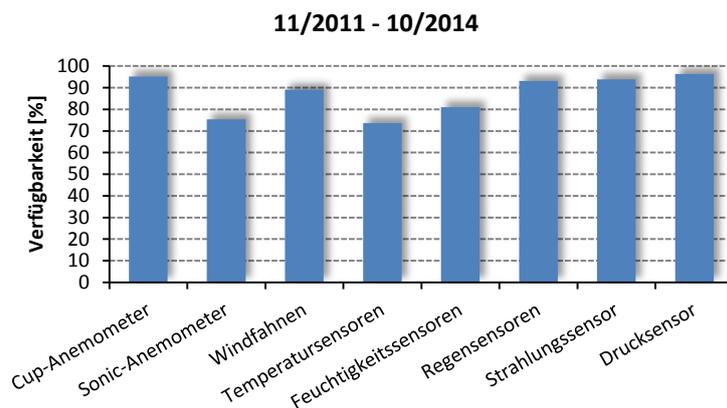


Abb. 5: Verfügbarkeit der verschiedenen meteorologischen Sensoren an FINO1 bezogen auf den Zeitraum von November 2011 bis Oktober 2014.

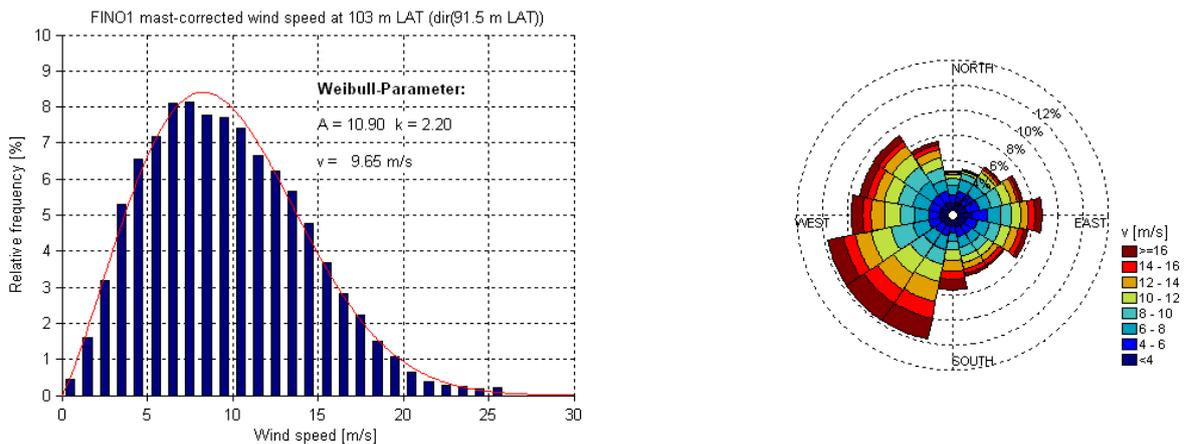


Abb. 6: Links: Weibull-Verteilung für die Windgeschwindigkeit gemessen in 103 m LAT Höhe von November 2011 bis Oktober 2014. Rechts: Windgeschwindigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Windrichtung gemessen in 91.5 m LAT Höhe.

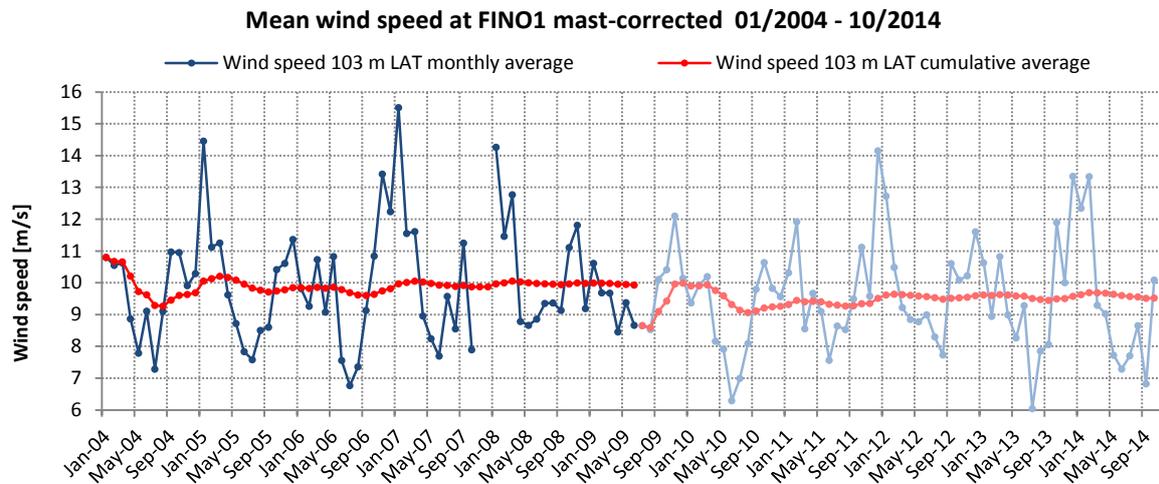


Abb. 7: Verlauf der monatlich mittleren Windgeschwindigkeit in 103 m LAT Höhe und des kumulativen Mittelwertes bis Oktober 2014. Ende 2009 wurde der Windpark *alpha ventus* östlich von FINO1 fertig gestellt und die kumulativ gemittelte Zeitreihe daher neu begonnen.

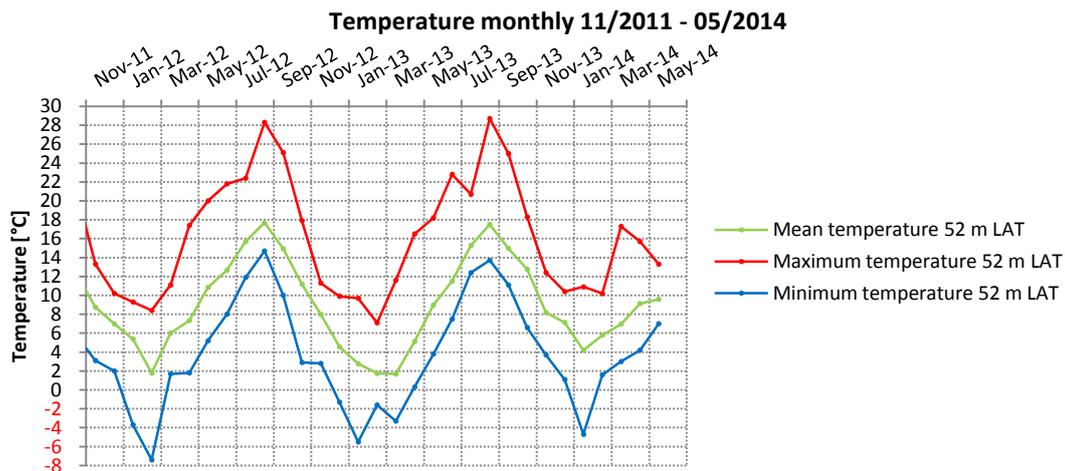


Abb. 8: Monatlicher Mittelwert der Lufttemperatur in 52 m LAT

### 3 FINO1 Eddy-Kovarianz-Messungen in 40 m und 80 m Höhe

Für ein Forschungsprojekt zur Erfassung und Bewertung des Einflusses turbulenter Feuchteflüsse auf die Turbulenz in Offshore Windparks (TUFFO) wurde zu Beginn des Jahres 2012 ein Eddy-Kovarianz-Messsystem bestehend aus einem Ultraschallanemometer und einem Infrarot-Gasanalysator konzipiert. Zur Bestimmung des Wasserdampfgehaltes in der Atmosphäre mit hoher zeitlicher Auflösung wurde der Sensortyp *LI-7500A* der Firma *LI-COR® Biosciences* gewählt. Die Messwerte werden über eine vom FINO1-DEWI-Messsystem getrennte „Analyzer Interface Unit“ (ebenfalls Firma *LI-COR® Biosciences*) aufgezeichnet und mit denen des Ultraschallanemometers synchronisiert (Abb. 9).

EDDY-COVARIANCE MEASUREMENT AT FINO1 30.05.2012

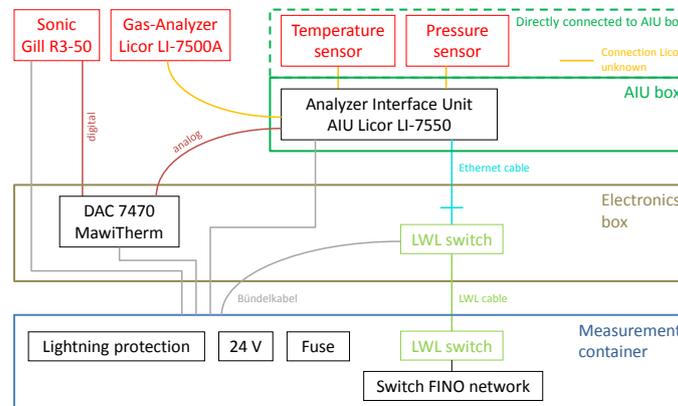


Abb. 9: Schematische Darstellung des Eddy-Kovarianz-Messsystems auf FINO1.



Abb. 10: Eddy-Kovarianz-Messung auf 41.5 m LAT Höhe an FINO1 (links). Position und Abstand der beiden sensitiven Volumens zueinander bei eingeklapptem Ausleger (rechts).

Die „Analyzer Interface Unit“ (AIU-7550) verfügt über einen Rechner und wurde über ein neu verlegtes Lichtwellenleiterkabel mit dem FINO1-Plattformnetzwerk verbunden um Remote-Konfiguration und Datentransfer zu realisieren. Die Erweiterung des Netzwerkes auf die 40 m-Höhe des FINO1-Mastes wurde so konzeptioniert, dass zu einem späteren Zeitpunkt beliebige weitere Höhen und Eddy-Kovarianz-Messsysteme hinzugefügt werden können. Das bestehende Ultraschallanemometer wurde durch den gleichen Typ (*Gill Instruments R3-50*) ersetzt. Um das digitale Ausgangssignal des *R3-50* in das für die *AIU* passende analoge Eingangssignal zu wandeln, wurde ein Digital-Analog-Konverter *7470* von *mawi-therm* zwischen beide Komponenten geschaltet.

Abb. 10 zeigt den Infrarot-Gasanalysator *LI-7500A* und das Ultraschallanemometer *R3-50* und ihre Positionen relativ zueinander. Idealerweise sollte sich das Gasanalysevolumen in der Mitte des Messvolumens des Ultraschallanemometers befinden. Da der Analysator dort das zu messende Windfeld stören würde, wurde der *LI-COR*<sup>®</sup>-Sensor neben dem Ultraschallanemometer, jedoch

unterhalb der Transducer, auf einem vertikalen Ausleger aus Edelstahl installiert. Mit dieser Anordnung können beide Sensoren den gleichen Turbulenz-Eddy mit minimaler gegenseitiger Störung erfassen. Der Gasanalysator wurde auf der mastzugewandten Seite des Anemometers positioniert, da die Messungen des Anemometers aus dieser Richtung sowieso durch den Mast gestört sind. Der Abstand zwischen den Mittelpunkten der sensitiven Volumina beträgt ungefähr 28 cm. Der Winkel zwischen den beiden Hauptachsen ist ca. 31°.

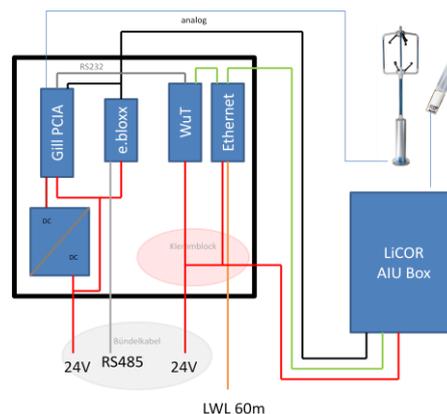


Abb. 11: Schematische Darstellung des Eddy-Kovarianz-Messsystems auf 80 m an FINO1.



Abb. 12: Links: Gasanalysator und Ultraschallanemometer auf FINO1 in 81,5 m LAT Höhe im November 2013. Rechts: Gasanalysator und Ultraschallanemometer auf FINO1 in 41,5 m LAT Höhe im August 2013.

Aufgrund der Gegebenheiten von Mast und Ausleger an der 80 m -Messhöhe und deren Umgebung war die Installation des zweiten Infrarot-Gasanalysators *LI-7500A* von *LI-COR® Biosciences* aufwendiger als auf 40 m Höhe. Die Länge des Auslegers musste angepasst werden damit der neue Sensor von der Arbeitsplattform aus entsprechend befestigt und angeschlossen werden konnte (Abb. 12 links). Die Halterform für den Gasanalysator unterscheidet sich daher von der auf 40 m Höhe verwendeten (Abb. 12 rechts). Auch die Position von Gasanalysator und Ultraschallanemometer zueinander ist etwas anders, der Abstand der beiden Messvolumina ist jedoch annähernd gleich.

Um das digitale Ausgangssignal des Ultraschallanemometers *Gill Instruments R3-50* in das für das Datenaquisitionssystem der Firma *LI-COR® Biosciences* passende analoge Eingangssignal zu wandeln, wird hier der *Gill PCIA* Digital-Analog-Wandler zwischen diesen beiden Komponenten eingebaut (Abb. 11). In gleicher Weise wurde das Eddy-Kovarianz-Messsystem auf 40 m Höhe im Februar 2014 umgebaut. Der *Gill Instruments PCIA* Digital-Analog-Wandler ist optimaler auf das Signal des Ultraschallanemometers abgestimmt als der derzeit hier verwendete Digital-Analog-Konverter 7470.

Im Juli 2013 mussten der Gasanalysator und das dazugehörige Datenaquisitionssystem auf 41.5 m LAT Höhe deinstalliert und beim Hersteller gewartet und repariert werden. Neben Fehlfunktionen zeigte sich an der Unterseite des Sensors Korrosion. Um erneute Korrosion zu vermeiden wurde unbeschichtetes Metall an den Sensoren auf beiden Messhöhen mit selbstverschweißendem Band zum Schutz vor Salz und Feuchtigkeit umwickelt.

## 4 Auswertung der meteorologischen Messungen

### 4.1 Korrektur für FINO1-Windgeschwindigkeiten aus der Richtung von *alpha ventus*

Im Jahr 2009 wurde der erste deutsche Offshore-Windpark *alpha ventus* östlich von FINO1 errichtet. Daher wird die Strömung, die FINO1 aus östlichen Richtungen erreicht, seitdem durch den Windpark beeinflusst (Abb. 13 in rot). Die Nachlaufeffekte des Windparks können an FINO1 gemessen werden, da die nächste Windturbine nur 405 m entfernt ist. Um freie Windmessungen aus östlichen Richtungen fortführen zu können, wurde im April 2011 ein LiDAR der Firma *Leosphere* auf dem Umspannwerk von *alpha ventus*, welches sich wiederum östlich von *alpha ventus* befindet, installiert (Abb. 13 in grün). Aus dem Vergleich von FINO1-Messungen und den LiDAR-Messungen auf dem Umspannwerk von *alpha ventus* auf gleichen Höhen (71.5 m LAT, 81.5 m LAT, 91.5 m LAT und 103.0 m LAT) können der Einfluss auf die FINO1-Messungen und Korrekturen dafür ermittelt werden.

Die Turbulenz, die durch den Windpark verursacht wird, führt zu einer Erhöhung der gemessenen Turbulenzintensität abhängig von Windrichtung und Windgeschwindigkeit (Abb. 14). Die Turbulenzerhöhung ist am größten im Teillastbereich bei Windgeschwindigkeiten mit den höchsten Leistungsbeiwerten ( $8 \text{ ms}^{-1} < v < 10 \text{ ms}^{-1}$ ). Bei Windgeschwindigkeiten  $v > 18 \text{ ms}^{-1}$  wird die natürliche Turbulenz kaum überschritten. Vor der Errichtung von *alpha ventus*, wie zum Beispiel im Jahr 2008, variierte die Turbulenzintensität um nur 3 % in Abhängigkeit von der Wellenhöhe und Wellenrichtung.

Mit dem erweiterten Datensatz kann nun auch der Einfluss des Windparks in Abhängigkeit von der atmosphärischen Schichtung bestimmt werden. Die atmosphärische Schichtung wurde aus der Lufttemperatur und Wassertemperatur nach den Kriterien in Tab. 1 bestimmt.

In Abb. 15 sind die Windgeschwindigkeitsprofile für einheitliche Messhöhen stromaufwärts (LiDAR) und stromabwärts (FINO1) von *alpha ventus* für den Windrichtungssektor des Nachlaufes der FINO1 nächstgelegenen Windturbine ( $89^\circ < dir < 91^\circ$ ) dargestellt. Eine Reduktion der Windgeschwindigkeit ist offensichtlich, insbesondere bei instabiler atmosphärischer Schichtung (Abb. 15 oben). Bei stabiler

atmosphärischer Schichtung nimmt die Windgeschwindigkeit normalerweise mit der Höhe zu, wie auch vom LiDAR stromaufwärts von *alpha ventus* gemessen (Abb. 15 unten). Nachdem die Strömung den Windpark passiert hat, dreht sich das Windprofil im Nachlauf um und die Windgeschwindigkeit nimmt mit der Höhe ab.

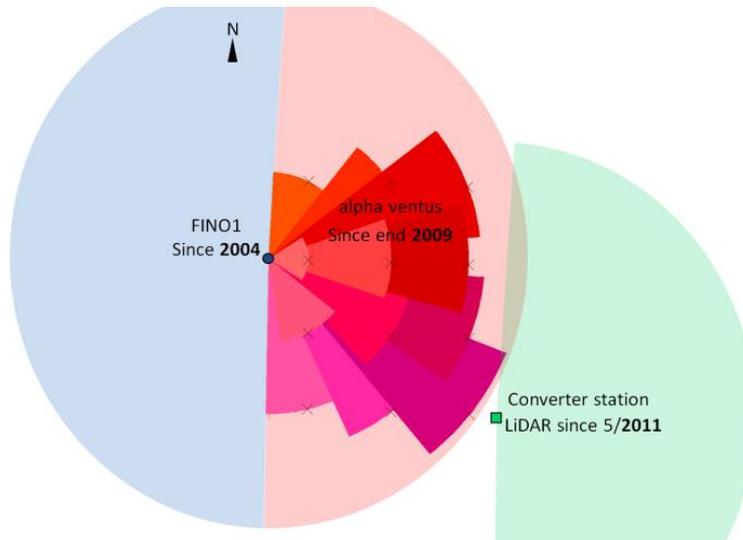


Abb. 13: Layout von *alpha ventus* mit FINO1 westlich und dem Umspannwerk südöstlich gelegen. Windrichtungen, aus denen der freie Wind gemessen werden kann, sind blau markiert. Richtungen, aus denen die Strömung durch verschiedene Windenergieanlagen beeinflusst wird, sind rot markiert. Windrichtungen, aus denen das LiDAR auf der Umspannwerk den freien Wind misst, sind grün markiert und komplementieren den freien Wind an FINO1.

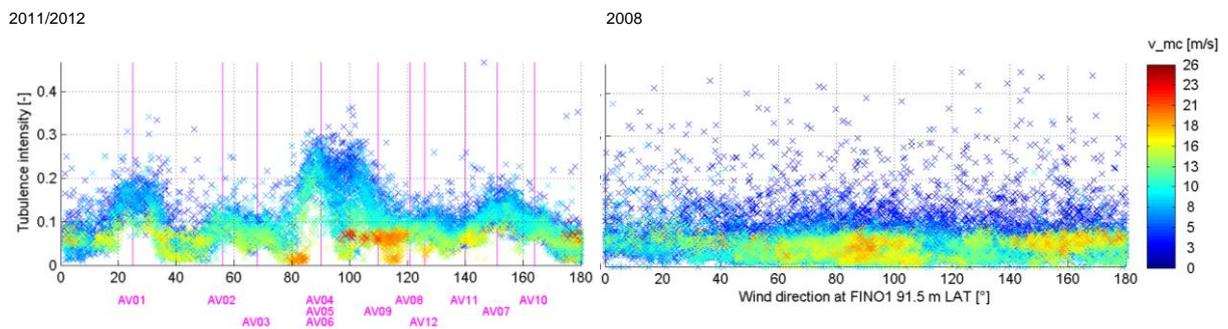


Abb. 14: Links: Einfluss von *alpha ventus* auf die Turbulenzintensität für Mai 2011 bis September 2012 mit der Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit dargestellt in Farbe. Lokale Maxima werden einzelnen Windenergieanlagen zugeordnet. Rechts: Turbulenzintensität im Vergleich für das Jahr 2008 dargestellt.

Tab. 1: Kriterien zur Bestimmung der atmosphärischen Schichtung nach [9].

stabil	instabil	neutral
$\vartheta_{34m} - \vartheta_{Water} > 1$	$\vartheta_{34m} - \vartheta_{Water} < -1$	$-1 < \vartheta_{34m} - \vartheta_{Water} < 1$

Die berechneten Korrekturfaktoren sind im unmittelbaren Nachlauf einer Windturbine am höchsten (Abb. 16). Bei instabiler Schichtung sind die Korrekturfaktoren allgemein und insbesondere für

Windgeschwindigkeiten  $v < 10 \text{ ms}^{-1}$  kleiner als bei stabiler Schichtung (Abb. 17). Bei stabiler Schichtung nehmen die Korrekturfaktoren mit der Höhe zu.

An FINO1 betragen die Erhöhung der Turbulenzintensität und Reduktion der Windgeschwindigkeit durch den Windpark *alpha ventus* bis zu 50 %. Die Parkkorrekturfaktoren sind für Windgeschwindigkeiten  $4 \text{ ms}^{-1} < v < 8 \text{ ms}^{-1}$  bei stabiler atmosphärischer Schichtung am höchsten.

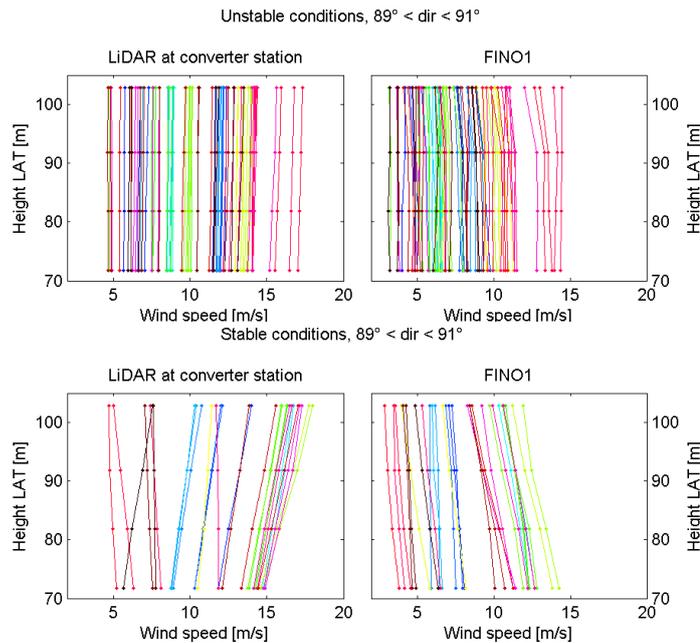


Abb. 15: Windgeschwindigkeitsprofile für verschiedene atmosphärische Stabilitäten (oben instabil, unten stabil) stromaufwärts (LiDAR, links) und stromabwärts (FINO1, rechts) von *alpha ventus*. Gleiche Farben beziehen sich jeweils auf den gleichen Messzeitpunkt.

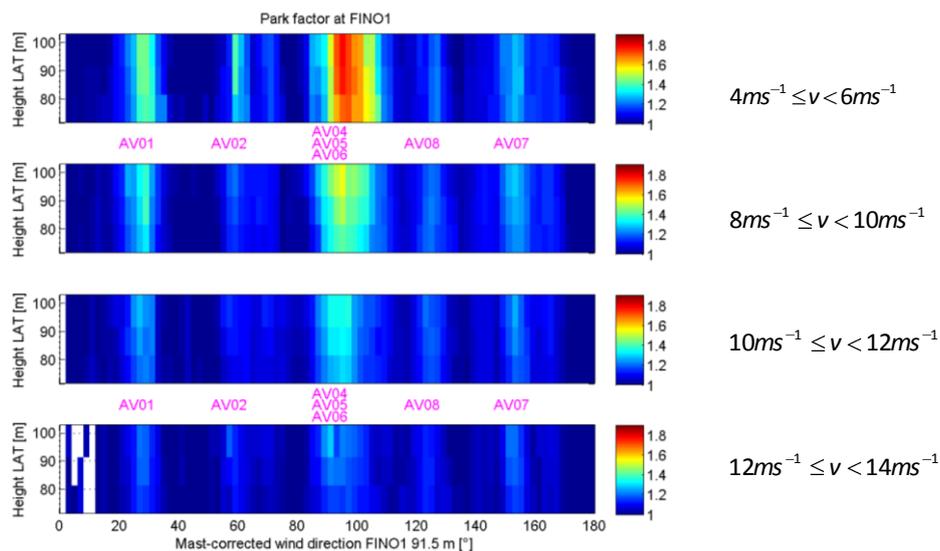


Abb. 16: Höhenprofil des Parkkorrekturfaktors dargestellt über die Windrichtung für verschiedene Windgeschwindigkeitsklassen.

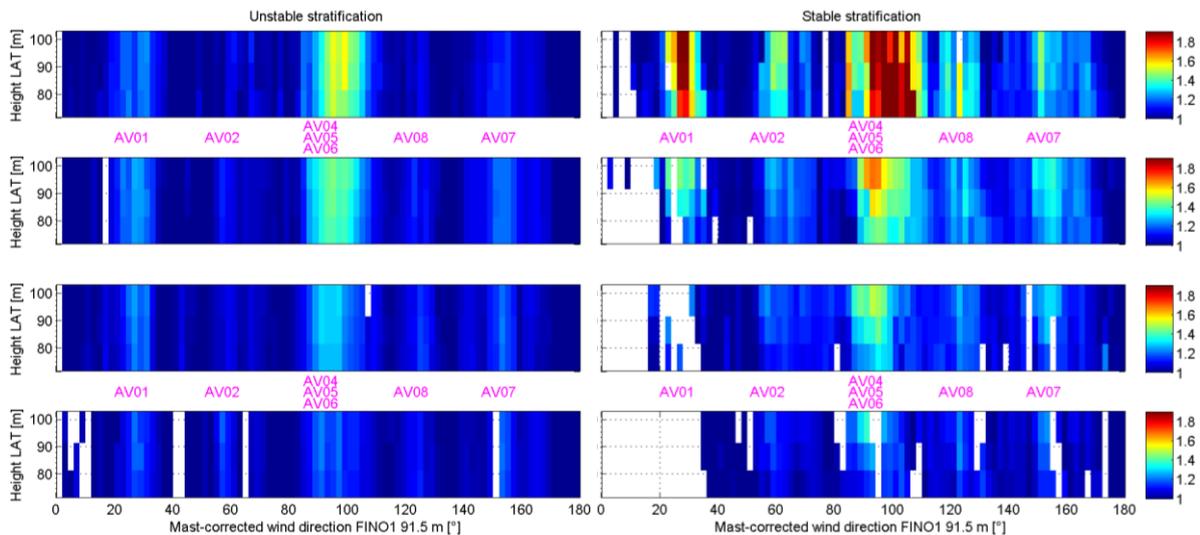


Abb. 17: Höhenprofil des Parkkorrekturfaktors dargestellt über die Windrichtung für verschiedene Windgeschwindigkeitsklassen (wie in Abb. 16) für instabile (links) und stabile Schichtung (rechts).

#### 4.2 10 Jahre FINO1

Im September 2013 bestehen die meteorologischen Messungen FINO1 10 Jahre. Mit den Messungen vom Dezember 2013 sind auch 10 Jahre Daten in der FINO-Datenbank vorhanden<sup>2</sup>. Der Mittelwert der Windgeschwindigkeit beträgt  $9.66 \text{ ms}^{-1}$  (Abb. 18). Die Hauptwindrichtung ist Südwesten. Die Berechnungen für die Grafiken in Abb. 18 und Abb. 19 sind mit 10-Minutenmittelwerten erstellt worden, die um die Masteffekte korrigiert worden sind. Die bei östlicher Anströmung auftretenden Einflüsse durch den Windpark *alpha ventus* seit Ende 2009 sind jedoch in den Berechnungen enthalten, so dass die natürlichen Windverhältnisse nicht komplett dargestellt sind.

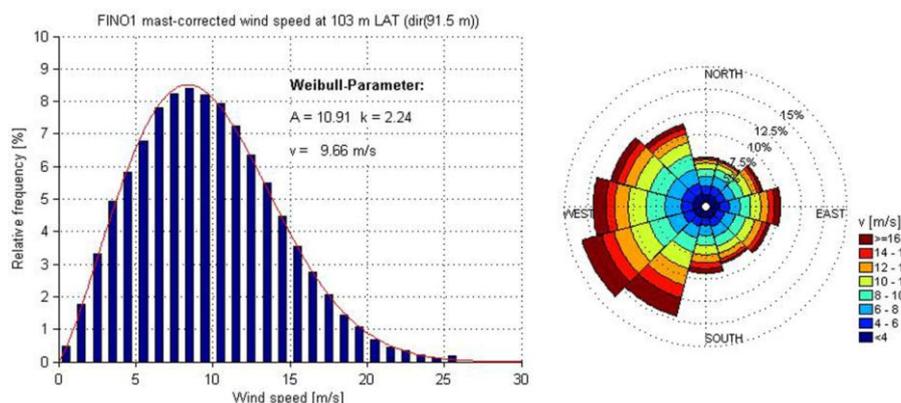


Abb. 18: Links: Weibull-Verteilung für die Windgeschwindigkeit in 103 m LAT Höhe von September 2003 bis Juni 2013. Rechts: Windgeschwindigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Windrichtung auf 91.5 m LAT.

<sup>2</sup> Die Testmessung lief bis Dezember 2003, seit Januar 2004 läuft die offizielle Messung.

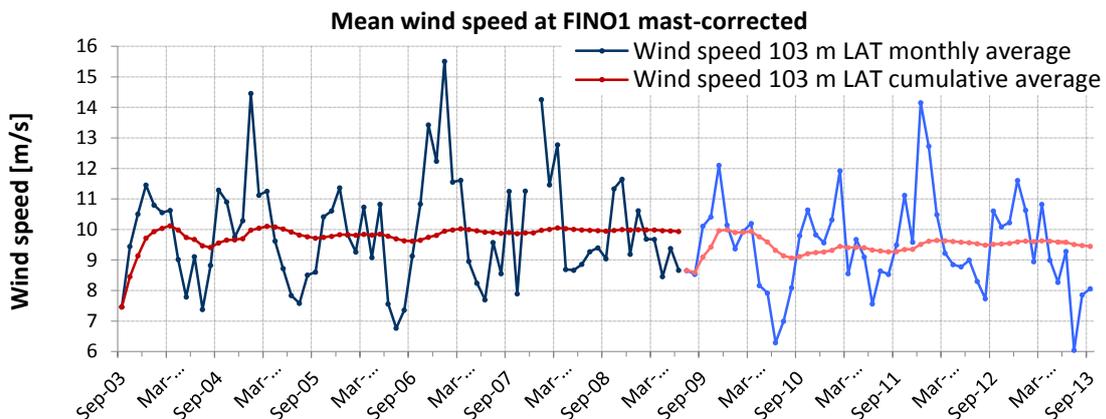


Abb. 19: Verlauf der monatlich mittleren Windgeschwindigkeit und des kumulativen Mittelwertes in 103 m LAT. Ende 2009 wurde der Windpark *alpha ventus* unmittelbar neben FINO1 fertig gestellt und die gemittelte Zeitreihe daher neu begonnen.

### 4.3 Stürme Christian und Xaver im Herbst 2013

Im Herbst 2013 ereigneten sich zwei Stürme, die die bisher an FINO1 gemessenen Windgeschwindigkeitsrekorde brachen. Während des Sturms *Christian* wurde die höchste Windböe von  $49.2 \text{ ms}^{-1}$  in 103 m LAT Höhe am 28. Oktober 2013 um 12:30 UTC nach Durchzug der Kaltfront registriert (Abb. 20). Zu diesem Zeitpunkt stieg der Luftdruck bereits von seinem Tiefstwert von 973 hPa um 12 UTC wieder schnell an (Abb. 20). Der höchste 10-Minuten-Mittelwert in 103 m LAT Höhe wurde um 11:20 UTC mit  $38 \text{ ms}^{-1}$  gemessen.

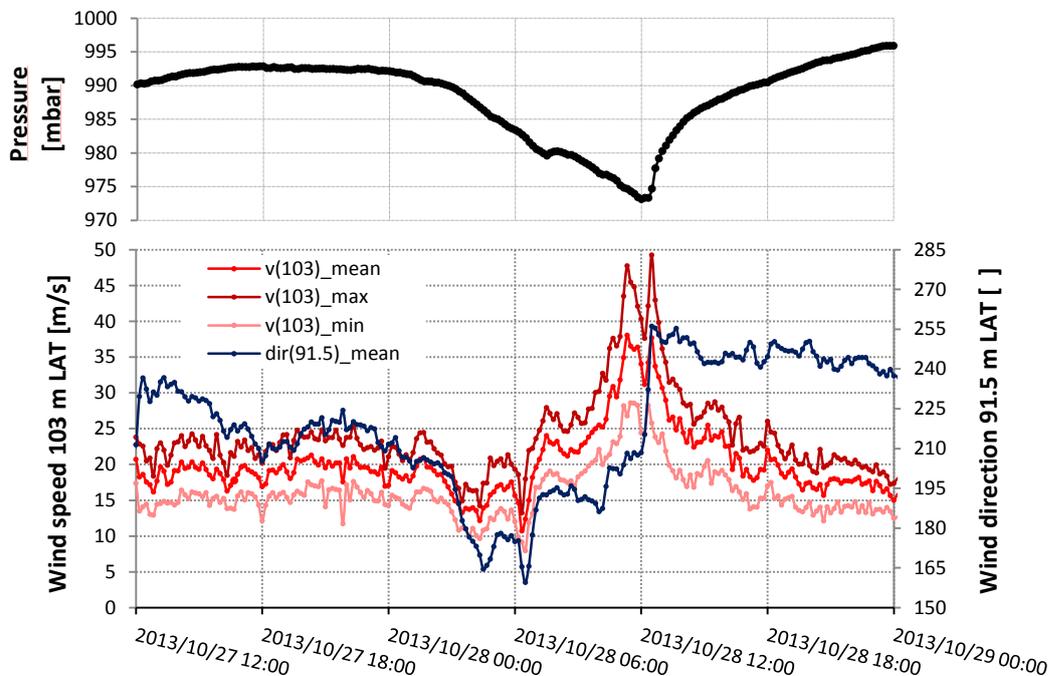


Abb. 20: Zeitreihe von Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Luftdruck (10-Minuten-Mittelwerte) während des Sturms *Christian* im Oktober 2013.

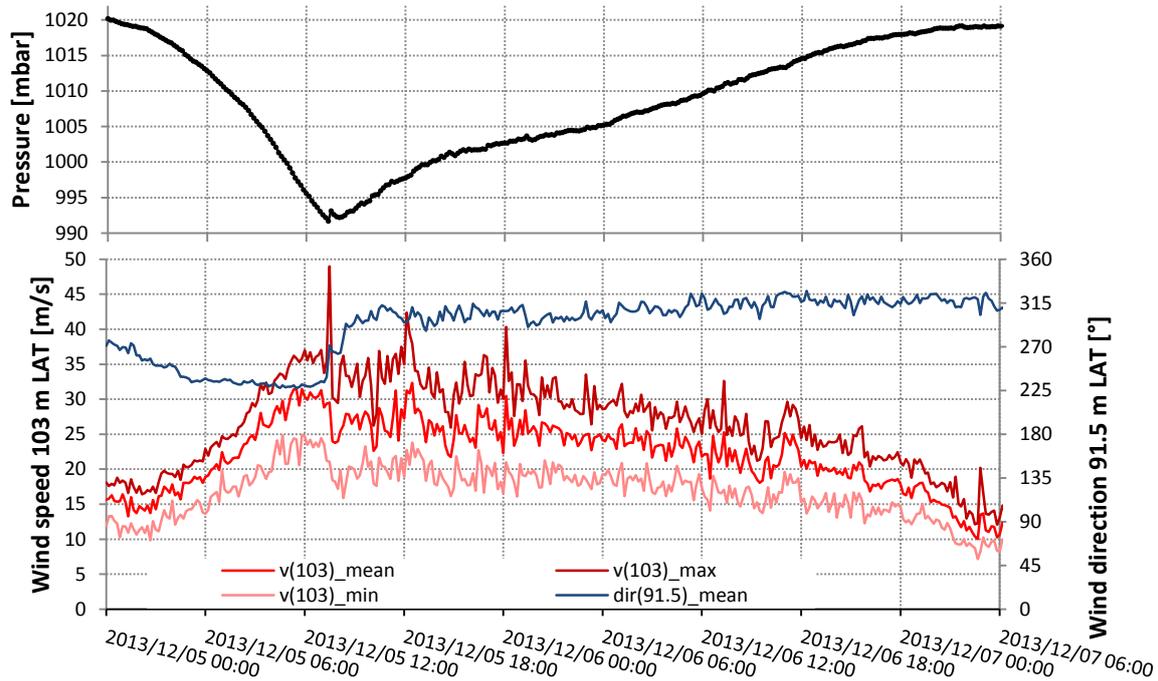


Abb. 21: Zeitreihe von Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Luftdruck (10-Minuten-Mittelwerte) während des Sturms Xaver im Dezember 2013.

Während des zweiten Sturms Xaver wurde auf 103 m LAT Höhe ein Maximalwert von  $32.4 \text{ ms}^{-1}$  am 5. Dezember 2013 um 18:30 UTC gemessen (Abb. 21). Der höchste 1-Sekunden-Wert in dieser Höhe wurde um 13:30 UTC mit  $49 \text{ ms}^{-1}$  verzeichnet.

Wind speed 103 m LAT, wind direction 91.5 m LAT

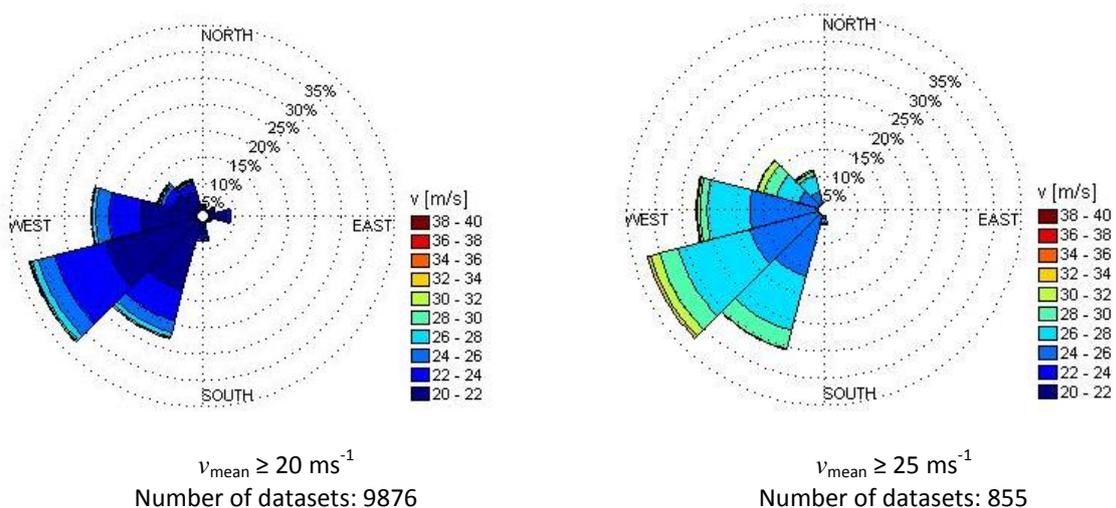


Abb. 22: Verteilung hoher Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Windrichtung innerhalb von 10 Jahren (September 2003 bis September 2013). Die höchsten Windgeschwindigkeiten kommen am häufigsten aus Südwesten.

Während beiden Stürmen wehte der Wind aus westlichen Richtungen. Abb. 22 illustriert, dass Windgeschwindigkeiten über  $20 \text{ ms}^{-1}$  in den letzten 10 Jahren hauptsächlich aus südwestlichen bis westlichen Richtungen kamen. Windgeschwindigkeiten über  $25 \text{ ms}^{-1}$  wurden ebenfalls hauptsächlich aus den gleichen Richtungen verzeichnet, jedoch nie aus östlichen Richtungen.

## 5 LiDAR Tests

Im Zuge der Beschaffung eines LiDAR-Gerätes für den Betrieb auf FINO1 wurden während des Projektzeitraumes mehrere aktuelle Wind-LiDARe bezüglich ihrer Eignung für den messtechnischen Dauereinsatz im Offshore-Bereich getestet. Ein weiteres LiDAR wurde nach einem Test im Feld auf dem Umspannwerk von *alpha ventus* installiert.

### 5.1 Galion Wind-LiDAR Offshore-Test auf FINO1

Im August 2012 wurde das *Galion* LiDAR der Firma *SgurrEnergy* für eine mehrmonatige Testphase installiert (Abb. 23). Aufgrund seiner Kompaktheit und seines relativ geringen Gewichtes konnte das LiDAR zügig und einfach mit dem Helikopter nach FINO1 transportiert werden. Die Ausrichtung des Gerätes und die Konfiguration des LASER-Strahls wurden so gewählt, dass der Mast von FINO1 bei Scans nach allen drei Raumrichtungen kein Hindernis darstellt.

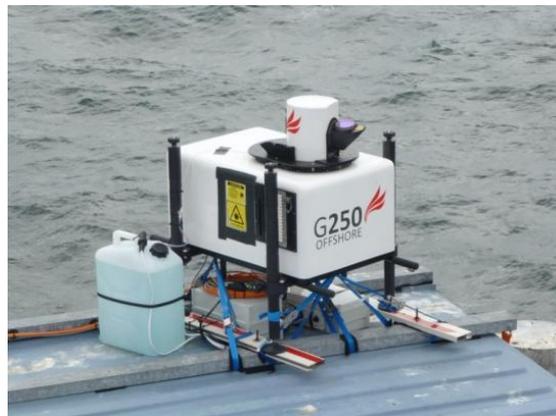


Abb. 23: *Galion* LiDAR der Firma *SgurrEnergy* auf FINO1.

Ein Vergleich der LiDAR-Messung mit FINO1 zeigte insgesamt sehr gute Korrelationen, so wie sie auch von anderen aktuellen Wind-LiDAR-Geräten durchaus klassentypisch sind (Abb. 24). Die Windgeschwindigkeit wurde mit den Mast-korrigierten Messungen der Cup-Anemometer und die Windrichtung mit den Messungen der Windfahnen im Vergleich ausgewertet.

Mit dem *Galion LiDAR*, welches die Windverhältnisse bis zu einer Höhe von 250 m messen kann, ergab sich die detaillierte Beobachtung eines Low-Level-Jets am 9. September 2012. Bei sehr stabiler Schichtung verliert die Bodenreibung ihren Einfluss aufgrund des geringen vertikalen Austauschs. In der Folge kann es zu Situationen kommen, in denen die Windgeschwindigkeit über einen Bereich mit der Höhe abnimmt (Abb. 25). Solche Ereignisse finden normalerweise in Höhen über 100 m statt und können daher mit dem FINO1-Mast nicht detektiert werden. Es wird angenommen, dass Low-Level-

Jet Ereignisse häufig in der marinen Grenzschicht stattfinden. Die Änderung der vertikalen Windscherung ist von besonderem Interesse, da sie die Lasten auf die Rotorblätter von Windenergieanlagen beeinflusst.

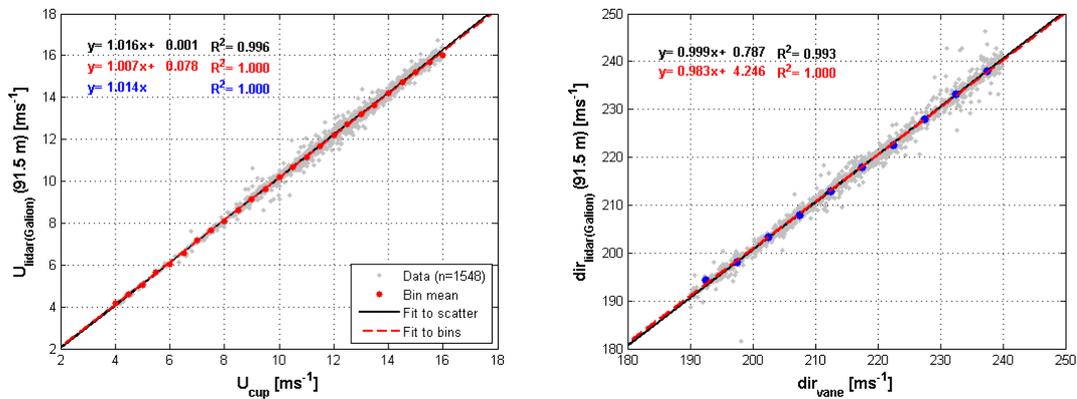


Abb. 24: Korrelation der Galion LiDAR-Messung mit den FINO1-Windgeschwindigkeit (links) und –Windrichtung (rechts) in 91.5 m LAT Höhe.

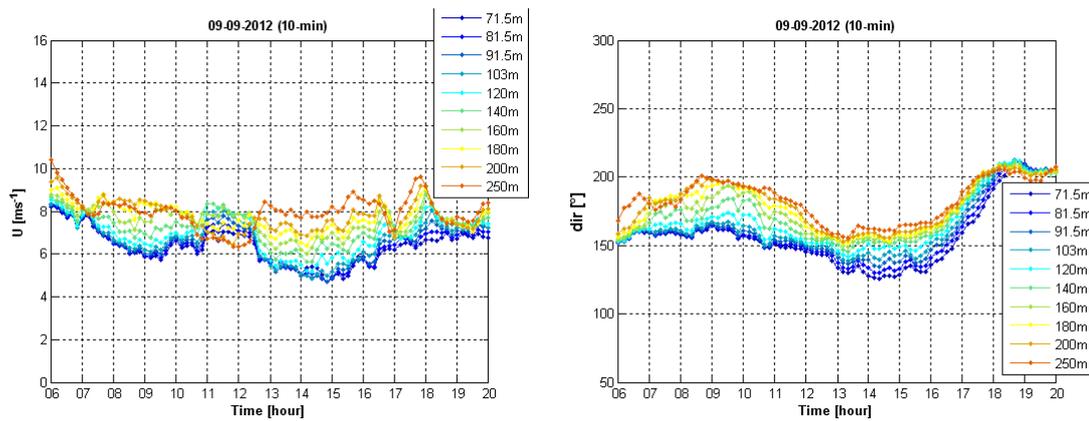


Abb. 25: Formierung eines Low-Level-Jets am 9. September 2012.

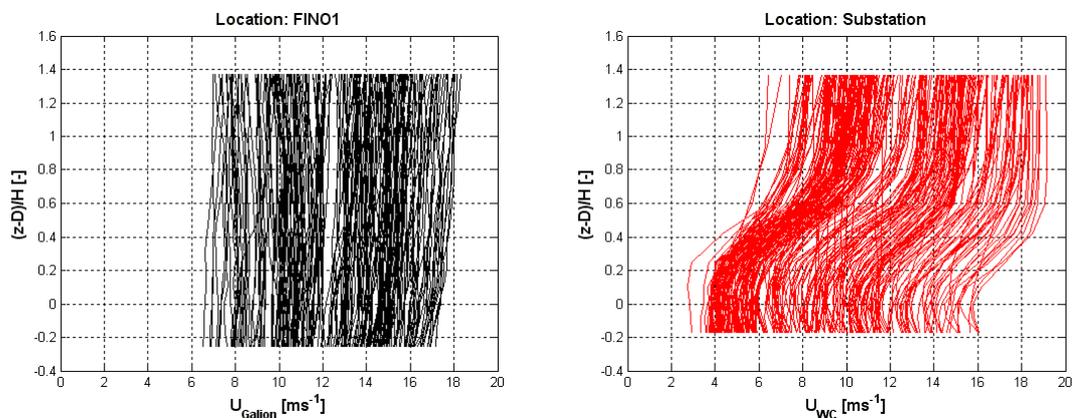


Abb. 26: Windgeschwindigkeitsprofile normiert auf Nabenhöhe stromaufwärts (FINO1, links) und stromabwärts (Umspannwerk, rechts) von  $\alpha$  ventus.

Ein Vergleich der Windgeschwindigkeitsprofile (Abb. 26) gemessen mit dem LiDAR auf FINO1 und dem Umspannwerk von *alpha ventus* zeigen ein weiteres Mal die Windgeschwindigkeitsreduktion auf Höhe der Rotorebene hier bei westlicher Anströmung.

### 5.2 *SpiDAR*<sup>TM</sup> Wind-LiDAR Offshore Test auf FINO1

Im Zuge der Beschaffung eines Lidar-Gerätes für den Betrieb auf FINO1 wurde Anfang März 2013 ein *SpiDAR*<sup>TM</sup> von *Pentalum* installiert (Abb. 27 links). Bis August 2013 hat es das Windfeld unmittelbar neben dem FINO1-Messmast über 13 Höhen von 34 m LAT bis 225 m LAT vermessen. Anders als die bisher auf FINO1 erprobten LiDAR-Systeme verwendet das *SpiDAR*<sup>TM</sup> nicht das Doppler-Verfahren zur Bestimmung der radialen Windgeschwindigkeit entlang des ausgesandten LASER-Strahls, sondern ein „Direct detection-Verfahren“. Das LiDAR-System sendet 8 Strahlen mit einem Zenitwinkel von 5° nach oben in die Atmosphäre (Abb. 27 rechts). Mit Hilfe von Kreuzkorrelation werden aus den 8 Rückstreusignalen die Windgeschwindigkeit und –richtung bestimmt.



Abb. 27: Links: *Pentalum SpiDAR*<sup>TM</sup> auf FINO1 im März 2013. Rechts: Schematische Darstellung der vom *SpiDAR*<sup>TM</sup> ausgesendeten LASER-Strahlen.

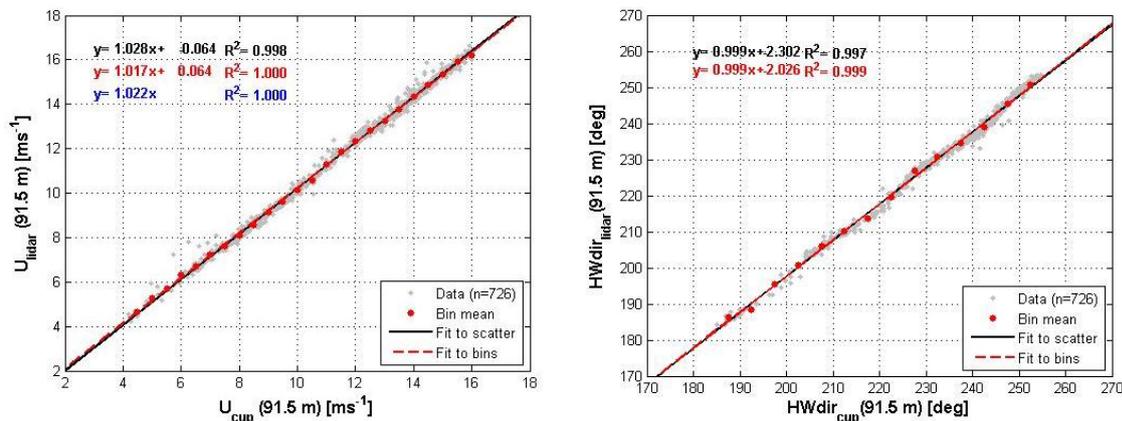


Abb. 28: Links: Korrelation der Windgeschwindigkeit in 91.5 m LAT Höhe gemessen mit Cup-Anemometer und *SpiDAR*<sup>TM</sup>. Rechts: Korrelation der Windrichtung in 91.5 m LAT Höhe gemessen mit Windfahne und *SpiDAR*<sup>TM</sup>.

Die 10-Minuten-Mittelwerte von Windgeschwindigkeit und Windrichtung wurden mit den Werten auf den entsprechenden Höhen des FINO1-Messmastes verglichen (Abb. 28). Die mit dem *SpiDAR*<sup>TM</sup> gemachten Erfahrungen können als insgesamt gut bzw. vielversprechend bezeichnet werden. Die Korrelationsqualität aktueller Doppler-LiDARs wird nicht ganz erreicht, insgesamt zeigt sich aber eine gute Korrelation.

### 5.3 *Windcube*<sup>®</sup>v2 LiDAR Test für FINO1/*alpha ventus* Umspannwerk

Das für das FINO1-Projekt angeschaffte LiDAR-System *Windcube*<sup>®</sup>v2 von *Leosphere* wurde nach einem kurzen Test auf dem *DEWI*-Testfeld neben einem meteorologischen Messmast bei Bremerhaven (*AREVA*)<sup>3</sup> für einige Wochen im Herbst 2013 installiert (Abb. 29). Windgeschwindigkeit und Windrichtung sollen mit den am Mast installierten Cup-Anemometern und Windfahnen verglichen werden. Der *Windcube*<sup>®</sup>v2 sendet nacheinander einen Infrarot-LASER-Strahl in 4 Raumrichtungen mit einem Zenitwinkel von 28° und einen vertikal nach oben.

Ein vorläufiger Vergleich in der Messhöhe von 100 m hat eine gute Korrelation ergeben (Abb. 30). Die Auswertungen sind jedoch noch nicht abgeschlossen. Die Qualität der Korrelation kann bei dieser Verifizierung an Land nicht mit den Ergebnissen der Offshore-Tests verglichen werden.



Abb. 29: *Leosphere Windcube*<sup>®</sup>v2 mit Tank für Reinigungsmittel neben meteorologischen Messmast (*AREVA*, rechts im Bild) bei Bremerhaven im Oktober 2013.

---

<sup>3</sup> Für den Vergleich der Messung des *Leosphere Windcube*<sup>®</sup>v2 mit Anemometern stellte *AREVA* einen Platz neben dem Messmast bei Bremerhaven und die Daten des Mastes zur Verfügung.

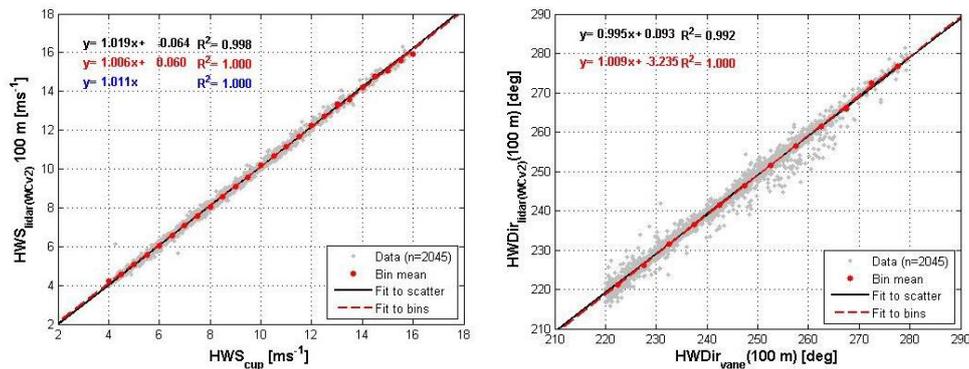


Abb. 30: Links: Korrelation der Windgeschwindigkeit in 100 m Höhe gemessen mit Cup-Anemometer und *Windcube*<sup>®</sup> v2. Rechts: Korrelation der Windrichtung in 100 m Höhe gemessen mit Windfahne und *Windcube*<sup>®</sup> v2

#### 5.4 LiDAR-Installation auf *alpha ventus* Umspannwerk

Im März 2014 wurde der neue und 2013 getestete *Windcube*<sup>®</sup> v2 der Firma *Leosphere* auf dem Umspannwerk von *alpha ventus* installiert (Abb. 31), um die Messung des ungestörten Windfeldes aus östlichen Richtungen fortzusetzen. Im vorhergehenden Winter musste der ältere *Windcube*<sup>®</sup> abgebaut und zur Wartung zum Hersteller geschickt werden. Da sich das Umspannwerk auf der entgegengesetzten Seite des Windparks zu FINO1 befindet, kann die LiDAR-Messung zur Generierung einer durch den Windpark unbeeinflussten Zeitreihe benutzt werden.



Abb. 31: *Leosphere Windcube*<sup>®</sup> v2 auf dem *alpha ventus* Umspannwerk im März 2014.

## 6 Ausblick

Die Messdaten von FINO1 sind eine wichtige Referenz im Zusammenhang mit dem Bau und Betrieb von Offshore-Windparks in der Deutschen Bucht. Die Umgebung von FINO1 wird sich in den kommenden Monaten und Jahren durch den Bau weiterer Windparks verändern. Die Weiterführung der Langzeitmessung ermöglicht Untersuchungen der Windparkeinflüsse auf das Windfeld durch den Vergleich ungestörter und gestörter Zeitreihen. Die FINO1-Messungen werden zusammen mit weiteren eventuellen Windmessungen an den entstehenden Windparks Einblick in das großräumige

Windfeld und den Einfluss der Windparks untereinander geben. Außerdem kann ein Vergleich mit den Daten von FINO2 und FINO3 durchgeführt werden, welcher die gewonnenen Erkenntnisse erweitern wird, wie es zum Beispiel in dem aktuellen Forschungsprojekt FINO-Wind angestrebt wird. Darüber hinaus lässt die einzigartige Langzeitmessstation die Untersuchung grundlegender Phänomene der marinen Grenzschicht zu, die wiederum Einfluss auf die meteorologischen Modellwerkzeuge haben (z.B. WRF, CFD, LES, etc.).

## **7 Veröffentlichungen innerhalb des FINO-Projektes**

### **11/2011 – 12/2011**

- [1] B. Cañadillas, D. Muñoz-Esparza, T. Neumann. Fluxes estimation and the derivation of the atmospheric stability at the offshore mast FINO1. EOW 2011, Amsterdam.
- [2] B. Cañadillas, T. Neumann, D. Muñoz-Esparza. First insight in offshore wind profiles up to 250 m under free and wind turbine wake flows, EOW 2011, Amsterdam.
- [3] F. Kinder, A. Westerhellweg, T. Neumann. Meteorological measurements at FINO1 during the existence of the wind farm alpha ventus, EOW 2011, Amsterdam.
- [4] A. Bégué, T. Neumann, H. Mellinshoff, B. Cañadillas. Influence of atmospheric stability on wind turbines (WT) power performance at Alpha Ventus offshore wind park, EOW 2011, Amsterdam.

### **2012**

- [5] B. Cañadillas, R. Foreman, F. Kinder, S. Emeis, T. Neumann. Humidity flux influence on atmospheric stability. First results from eddy-covariance measurements at FINO1. DEWEK 2012, Bremen.
- [6] B. Cañadillas, T. Neumann. Sensing the Offshore Wind in the vicinity of alpha-ventus wind farm: A wind LiDAR study, DEWEK 2012, Bremen.
- [7] B. Cañadillas, T. Neumann. Proposal for a general method to derive mast corrections in wind speed measurements based on intrinsic geometry parameters, EWEA 2012, Copenhagen.
- [8] Muñoz-Esparza D., B. Cañadillas, T. Neumann, J. van Beeck. Turbulent fluxes, stability and shear in the offshore environment: Mesoscale modelling and field observations at FINO1, J. Renewable Sustainable Energy 4, 063136 (2012)
- [9] A. Westerhellweg, T. Neumann, V. Riedel: FINO1 Mast Correction. DEWI Magazin, 40, 2012.
- [10] F. Durante, A. Westerhellweg, B. Jiminez. Comparison of a Mesoscale Model with FINO Measurements in the German Bight and the Baltic Sea, DEWI Magazin 40, 2012.
- [11] F. Kinder, A. Westerhellweg, T. Neumann. Park correction for FINO1-wind speed measurements at alpha ventus, DEWEK 2012, Bremen
- [12] F. Kinder. Meteorological conditions at FINO1 in the vicinity of alpha ventus, RAVE Conference 2012, Bremerhaven.
- [13] D. Muñoz-Esparza, B. Cañadillas. Forecasting the diabatic offshore wind profile at FINO1 with the WRF mesoscale model. DEWI Magazin, 40, 2012.

---

**2013**

- [14] F. Kinder, T. Neumann, K. Nolopp. 10 Years of meteorological offshore measurements at FINO1. EWEA Offshore 2013, Frankfurt am Main.
- [15] T. Neumann, F. Kinder, B. Cañadillas. 10 years of meteorological measurements at FINO1. FINO Congress 2013, Kiel.
- [16] B. Cañadillas, R. Foreman. Lidar scanning of offshore low level jets at FINO1: Observations and numerical modelling. EWEA Offshore 2013, Frankfurt am Main.

Warnemünde, den 30.10.2014

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

FINO / Kai Herklotz

Bernhard-Nocht-Straße 78

20359 Hamburg

Dipl. Ing. Erik Stohr  
IOW FINO2MT  
Sektion Physikalische Ozeanographie und  
Messtechnik  
Telefon: (+49 381) 51 97 - 147  
Fax: (+49 381) 51 97 - 4815  
[www.io-warnemuende.de](http://www.io-warnemuende.de)  
e-mail: [stohr@io-warnemuende.de](mailto:stohr@io-warnemuende.de)

**Betreff: Abschlussbericht zu §9 Abs. 2**

**Ihr Zeichen: 0325321/IOW**

Sehr geehrte Damen und Herren,

anbei übersende ich Ihnen den Abschlussbericht entsprechend Anlage 2 des Vertrages zum „Betrieb und Erweiterung der FINO-Datenbank für FINO1, FINO2 und FINO3, Fortsetzung der Umwelt- und Belastungsmessungen FINO1, Fortsetzung des ozeanographischen Messbetriebes FINO3 und Aufnahme des ozeanographischen Messbetriebes FINO2“.

Mit freundlichen Grüßen

Erik Stohr

Anlage: 1 Abschlussbericht

## Abschlussbericht zu § 9 Abs. 2

Auftraggeber: BSH Hamburg Bernhard-Nocht-Straße 78 20359 Hamburg	Projekt-Kennzeichen:
Auftragnehmer: Leibniz Institut für Ostseeforschung Warnemünde Seestraße 15 D-18119 Rostock-Warnemünde	0325321/IOW
Auftragsbezeichnung:  <b>„Betrieb und Erweiterung der FINO-Datenbank für FINO1, FINO2 und FINO3, Fortsetzung der Umwelt- und Belastungsmessungen FINO1, Fortsetzung des ozeanographischen Messbetriebes FINO3 und Aufnahme des ozeanographischen Messbetriebes FINO2“.</b>	
Laufzeit des Auftrages: 01.11.2011 bis 31.10.2014	

---

Dipl. Ing. Erik Stohr

Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde

Sektion Physik / MT

Seestrasse 15 D-18119 Rostock

Tel.: +49 381 5197 147

Fax: +49 381 5197 4815

Mobil: +49 172 3012 413

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>I) Kurze Darstellung zu</b>	<b>6</b>
1. Aufgabenstellung	6
2. Voraussetzungen, unter denen der FE-Auftrag durchgeführt wurde	6
3. Planungen und Ablauf des Auftrages	7
4. wissenschaftlich, technischer Stand, an den geknüpft wurde, insbesondere	9
• Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des FE-Auftrags benutzt wurden	
• Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	10
<b>II) Eingehende Darstellung</b>	<b>10</b>
1) Des Aufbaus und der erzielten Ergebnisse	10
2) Des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses	24
3) Des während der Durchführung des FE-Auftrags dem AN bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Auftrags bei anderen Stellen	25
4) Der erfolgten Veröffentlichungen des FE-Ergebnisses nach §11. Wenn zur Wahrung berechtigter Interessen des AN oder Dritter oder aus anderen sachlichen Gesichtspunkten bestimmte Einzelheiten aus dem Bericht vertraulich zu behandeln sind (z.B. Wahrung der Priorität bei Schutzrechtsanmeldungen), so hat der AN den AG ausdrücklich darauf hinzuweisen.	25

<b>III) Dem Schlussbericht ist als Anlage ein kurz gefasster Erfolgskontrollbericht beizufügen, der nicht veröffentlicht wird. Dieser muss im Hinblick auf die Berichtspflicht des AG Angaben enthalten über</b>	<b>25</b>
1) Das wissenschaftlich-technische Ergebnis des FE-Auftrags, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen	25
2) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte die vom AN oder von am Auftrag Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, ggf. auch deren standortbezogene Verwertungen (Lizenzen u.a.)	26
3) Die evtl. wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nach Auftragsende (mit Zeithorizont)	26
4) Die evtl. wissenschaftlichen und / oder technischen Erfolgsaussichten nach Auftragsende (mit Zeithorizont)	27
5) Die evtl. wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte.	27
6) Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben	27
7) Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer	28
8) Die Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung	28

## Vorwort

Die sogenannten FINO-Plattformen sind drei Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee, die auf der Basis des Strategiepapiers der Bundesregierung zur Windenergienutzung von 2002 in potentiellen Eignungsgebieten für die Offshore-Windenergiegewinnung errichtet wurden. Entsprechend des Programms der Bundesregierung für die Offshore-Windenergiegewinnung sind bis zum Jahr 2030 Offshore-Windparks mit einer Gesamtleistung von insgesamt 20 bis 25 GW zu errichten. Damit verbunden steht das Ziel, die Emission von Treibhausgasen bis zum Jahr 2020 um 40% und bis 2050 um 80-95% zu reduzieren.

Mit Hilfe der drei Forschungsplattformen sollen meteorologische und ozeanographische Dauermessungen durchgeführt werden, die der ökologischen Begleitforschung und Umweltüberwachung während der Errichtung und während des Betriebes der Offshore-Windkraftanlagen dienen. Die baubegleitenden Forschungen bilden die Grundlage für die umweltschonende Errichtung und die Beweissicherung durch die am Bau beteiligten Firmen, sowie für begleitende umweltpolitische Entscheidungen der Bundesregierung.

Die Forschungsplattform FINO 2 in der Ostsee befindet sich seit 2007 in Betrieb. Sie wurde an einem für die Umweltüberwachung und die Ozeanographie in besonderem Maße repräsentativen Standort errichtet, an der Untiefe „Kriegers Flak“ am Nordwestrand des für den Salzwasserhaushalt der Ostsee sehr wichtigen Arkonabeckens. An dieser Lokation sind neben dem im Bau befindlichen Windpark Baltic II noch 2 weitere Windparks geplant, die zusammen über 320 Offshore-Windkraftanlagen beinhalten werden.



**Abbildung 1:**  
Forschungsplattform  
FINO 2 in der Ostsee

Die hydrographischen Messsysteme und Messungen auf den drei FINO-Plattformen werden durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) koordiniert. Das Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) ist seit mehr als 20 Jahren Partner des BSH in Fragen der Forschung und Umweltüberwachung in der Ostsee. Es führt im Auftrage des BSH das international abgestimmte, schiffsgebundene Ostseeüberwachungsprogramm durch und betreibt drei Ostsee-Stationen des marinen Umweltmessnetzes des BSH (MARNET).

Folgerichtig hat sich das IOW im Jahr 2010 bereit erklärt, auf Basis seiner Erfahrungen beim Aufbau und Betrieb automatischer Stationen in der Ostsee (MARNET, Fehmarn Belt Link Monitoring Projekt usw.), bei erfolgreicher Einwerbung von zusätzlichen Fördermitteln, die Entwicklung, den Aufbau und den Langzeitbetrieb eines Unterwassermesssystems für die ozeanographische Forschung und Überwachung auf der Ostseeplattform FINO2 zu übernehmen. Es wurde ein an die speziellen Gegebenheiten am „Kriegers Flak“ angepasstes Ausrüstungskonzept entworfen, welches dem speziellen Standort in der südlichen Ostsee gerecht wird, mit starker Schichtung sowie hoher vertikaler und zeitlicher Variabilität. Seine Umsetzung ermöglicht die kontinuierliche Beweissicherung aller wichtigen hydrographischen Daten an der Windmessplattform FINO2, einschließlich stündlicher Datenfernübertragung an die FINO-Datenbank. Auf der Basis dieses Konzeptes konnte das ozeanographische Messsystem für die Plattform FINO2 2011 in die Förderung des BMU mit aufgenommen werden. Zur Umsetzung dieses Konzeptes wurde dann Anfang 2012 der diesem Bericht zugrunde liegende Forschungs- und Entwicklungsvertrag zwischen BSH und IOW geschlossen.

Das hydrographische Messsystem FINO2 wurde seitdem umfassend entwickelt, schrittweise installiert und in den Dauerbetrieb überführt. Die inzwischen gewonnenen Langzeitdatenreihen erfüllen in vollem Umfang die Anforderungen des Anlagen- und Errichter-Konsortiums wirtschaftlicher Unternehmen, unterstützen die Forschung zur Offshore-Windenergie und ergänzen die hydrographischen Messungen des bestehenden MARNET-Messnetzes des BSH und IOW in der westlichen Ostsee. Wie sich auf zahlreichen Workshops während der Projektbearbeitung bestätigte, sind die vom neuen System gemessenen Salzgehalts- und Sauerstoffprofile, die Chlorophyll- und Trübungsverteilungen sowie die Seegangs- und Strömungsdaten für die Windenergiebranche von essentieller Bedeutung. Sie bieten darüber hinaus den genehmigenden Behörden eine wichtige Entscheidungshilfe.

## I) Kurze Darstellung

### 1) Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung ergibt sich aus dem vom IOW erarbeiteten Konzept für das ozeanographische Messsystem für die Plattform FINO2, der Förderungs-Bewilligung 0329905C mit Förderzeitraum vom 01.11.2011 bis 31.10.2014 sowie dem gesonderten Forschungs- und Entwicklungsvertrag zwischen BSH und IOW. Die gesamte Förderung beinhaltet **den Betrieb und die Erweiterung der FINO-Datenbank für FINO 1, 2 und 3 sowie die Fortsetzung der Umwelt- und Belastungsmessungen auf FINO 1 und die Fortsetzung der ozeanographischen Messungen auf FINO 3. Zusätzlich wurde nun auch die beantragte Aufnahme eines ozeanographischen Messbetriebes auf FINO 2 mit integriert.**

Der Forschungs- und Entwicklungsvertrag über das benannte Vorhaben zwischen BSH und wurde über ein Gesamtvolumen von 894.238,00 € zur Abgeltung aller Aufwendungen des IOW geschlossen (Auftragsnummer 0325321/IOW). Der Vertrag trat rückwirkend mit Wirkung vom 01.11.2011 in Kraft. Das IOW begann unmittelbar nach Vertragsabschluss am 14.02.2012 mit dessen Umsetzung.

Der Aufgabenkomplex umfasst zwei wesentliche Teilbereiche, zunächst die Entwicklung und Realisierung der messtechnischen Ausstattung mit Sensoren, Geräteträgern (Abb. 2) und Rechentechnik (Abb. 3), sowie die Einrichtung eines Kommunikations- und Datenmanagementsystems zur Ankopplung an die im BSH bestehende FINO Datenbank. Der zweite Teilbereich beinhaltet die Betreuung, Wartung und Kalibrierung der Messsensoren inklusive der Entwicklung und Implementierung eines Konzeptes zur kontinuierlichen Qualitätssicherung der Messdaten.

Konkretisiert wurden die Aufgaben für das IOW insbesondere durch die vertraglichen Vereinbarungen Nr. 6.3 - Aufnahme der ozeanographischen Messungen auf FINO 2, 6.4 - Konzept für das ozeanographische Messsystem FINO 2 und die dazugehörigen Arbeitspakete 7.1.4 - Implementierung der ozeanographischen Messungen auf FINO2, 7.1.5 - Betreuung der ozeanographischen Messungen auf FINO2 und 7.3.2 - Allgemeine Publikation der Ergebnisse aus dem Forschungs- und Entwicklungsvertrag zwischen BSH und IOW.

### 2) Voraussetzungen unter denen der FE-Auftrag durchgeführt wurde

Sowohl die EU, als auch Deutschland, sehen in der Gewinnung erneuerbarer Energien mittels Offshore-Windkraftanlagen einen der größten Zukunftsmärkte der nächsten Jahrzehnte. Pläne der EU sehen vor, bis 2020, rund 20 Prozent des benötigten Energiebedarfs mit erneuerbaren Energien abzudecken. Die deutsche Bundesregierung hat sich in diesem Zusammenhang das Ziel gesetzt, bis 2030 Offshore-

Windanlagen mit einer Gesamtleistung von insgesamt 20 bis 25 GW zu errichten. Damit verbunden ist das Ziel, die Emission von Treibhausgasen bis zum Jahr 2020 um 40% und bis 2050 um 80-95% zu reduzieren. Die in diesem Zusammenhang frühzeitig von der Bundesregierung geförderten FINO-Plattformen sowie die nunmehr konkrete Förderung eines ozeanographischen Messsystems, auch für die Ostseeplattform FINO2, stellen die wesentlichste Voraussetzung für die Durchführung des FE-Auftrages dar. Weitere wesentliche Voraussetzung ist der dringende Bedarf der Errichter-Konsortien sowie der genehmigenden Behörden nach begleitenden Langzeitdatenreihen, einschließlich adäquat räumlich und zeitlich aufgelöster ozeanographischer Datenreihen. Hinzu kamen die wissenschaftlichen-technischen Voraussetzungen des IOW zur bestmöglichen Abwicklung des Projektes im wissenschaftlichen Environment der Ökosystemforschung in der Ostsee, unterstützt durch die ingenieurtechnischen Erfahrungen am IOW aus Entwicklung, Aufbau und Dauerbetrieb komplexer automatischer Messstationen-Stationen in der Ostsee (MARNET und andere).

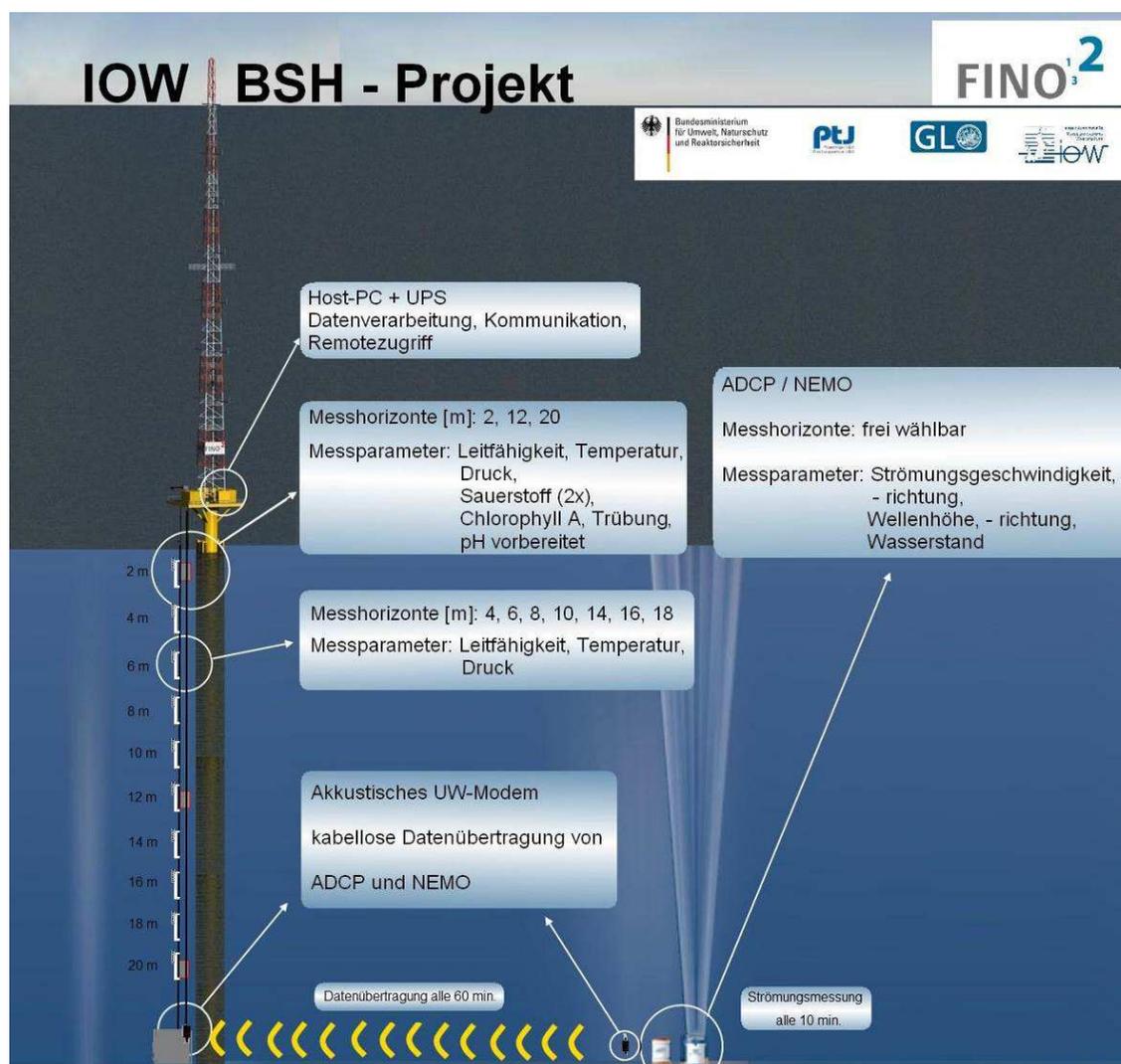
### 3) Planung und Ablauf des Auftrages

Der mit dem BSH geschlossene FE-Auftrag lässt sich in drei Komplexe einteilen, die durch das IOW zu bearbeiten waren. Zu diesen Komplexen zählen die Entwurfsphase, die bereits auf den Zeitraum der Inbetriebnahme der Station 2007 zurückgeht und sich letztlich bis in das Jahr 2012 erstreckte, eine Entwicklungs- und Erprobungsphase, die sich ab Vertragsunterzeichnung im Februar 2012 bis etwa April 2013 erstreckte, teilweise aber folgerichtig im weiteren Verlauf des Projektes fortgeführt wurde. Die dritte Projektphase beinhaltete die Gesamtinstallation des ozeanographischen Mess- und Datenmanagementsystems mit anschließendem Dauerbetrieb einschließlich Wartungsarbeiten, Messgerätewechseln, deren Kalibration sowie umfassender Datenqualitätssicherung.

Die Entwurfsphase des Unterwassermesssystems für die ozeanographische Forschung und Überwachung begann quasi mit der Inbetriebnahme der FINO2-Plattform im Jahre 2007. Das IOW hatte mit Eigenmitteln einen Messcontainer auf der Plattform installiert. Konnte aber wegen finanzieller Engpässe bei der Plattformerrichtung zunächst keine Fördermittel für ein umfassendes Unterwasser-Messsystem erhalten. Die Plattform konnte aber durch das IOW mit Verbundpartnern für spezielle Projekte wie SOPRAN genutzt werden. Die Einwerbung ausreichender finanzieller Mittel für ein komplexes ozeanographisches Mess- und Datenübertragungssystem auf FINO2 gelang nun mit der Einreichung und Bewilligung des vorliegenden Teil-Projektes 0325321/IOW.

Das im Ergebnis des Projektes entstandene ozeanographische Messsystem setzt sich aus drei Komponenten zusammen, erstens, einer ozeanographischen Messkette, die an der FINO2-Plattform bei

einer Wassertiefe von 20m, in zehn Messhorizonten, die ozeanographischen Standardparameter Leitfähigkeit, Temperatur und Druck (nachfolgend als CTD bezeichnet) misst, sowie in drei Hauptniveaus (2m, 12m, 20m), weitere Messungen zur biologisch - chemischen Umweltüberwachung (Sauerstoffgehaltes, Trübung und Fluoreszenz), durchführt (Abb. 2), zweitens, einem Absetzgestell, welches sowohl die Strömungskomponenten in Ein-Meter-Intervallen über die gesamte Wassersäule, als auch die Seegangskomponenten kontinuierlich erfasst (Abb. 8) und drittens, der gesamten EDV-Infrastruktur zur Übernahme, Zwischenspeicherung und Übermittlung der Datenpakete ans Festland (Abb. 10), um diese den Nutzern über die FINO-Datenbank in nahezu Echtzeit bereitstellen zu können.



**Abbildung 2:** FINO2 - Ozeanographisches Messsystem – Gesamtaufbau

In der Entwicklungs- und Erprobungsphase wurde zunächst die bestehende Trag- und Lift-Infrastruktur für evtl. Messkette(n) auf der Station analysiert, letztlich neu entworfen und schrittweise realisiert. Parallel

konnten die Sensoren, Messgeräte und EDV-Systeme beschafft werden. Hieran schlossen sich umfangreiche Laboraufbauten und umfassende Laborerprobungen an. Sie dienten der Abstimmung der Interfaces und der aus wissenschaftlicher Sicht notwendigen Messzyklen. Für alle Sensoren der Messkette sowie für das Profilströmungsmesssystem wurde ein zehnminütiger Messrhythmus implementiert, der die an der Lokation auftretende zeitliche Variabilität ausreichend abdeckt. Die 10-Minuten-Daten werden in den geräteeigenen Loggern abgespeichert und einmal stündlich vom Plattform-Hostrechner zur weiteren Verarbeitung übernommen. Die Seegangdaten werden in Abstimmung mit den Strömungsdaten einmal stündlich erfasst. Nachdem durch den Betreiber im April 2013 das neue Messketten-Davitsystem auf der FINO2 Plattform installiert wurde, konnte die gesamte Anlage auf der Station implementiert werden. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf aktiven (gekammerte, gepumpte Sensoren) und passiven Foulingschutz gelegt (Foulingschutzelemente an Sensor-Ein-/Auslässen, Kupferverkleidungen). Das intensiv vorerprobte Messsystem arbeitete seitdem kontinuierlich, was sich insbesondere in der sehr hohen Datenverfügbarkeit widerspiegelt. Durch regelmäßige Wartungen und Vergleichsmessungen konnten Ausfallzeiten minimiert und eine sehr hohe Datenqualität erreicht werden. Dies ist vor allem sorgfältigen Sensorkalibrierungen unmittelbar vor und nach den Einsätzen, dem weiterentwickelten Foulingschutz sowie den regelmäßigen Vergleichsmessungen und ihrer Nutzung als direkte Entscheidungs- bzw. Korrekturhilfe zu verdanken.

#### 4) wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde

Neben den für die Windenergiebranche relevanten Umweltparametern in der Luft, die durch andere Institute gemessen werden, wird nun eine adäquate Meeresforschungs- und Überwachungstechnik auf FINO2 eingesetzt und vorgehalten, die auf den jahrzehntelangen Erfahrungen aus MARNET und anderen Projekten mit festen automatischen Stationen basiert. Die grundsätzlichen ozeanographischen Verhältnisse und Variabilitäten an der Lokation waren aus den langjährigen Ökosystemforschungs- und Überwachungsaktivitäten des IOW sehr gut bekannt. Der Messkettenaufbau und das Abtastregime wurden somit weitestgehend aus MARNET adaptiert und die Hauptniveaus entsprechend den Gegebenheiten auf der Station FINO2 weiterentwickelt.

Eine besondere Rolle spielten bei der Entwicklung sowie bei der Installation des Messsystems auch die Erfahrungen aus dem Fehmarn Belt Projekt. Hier waren erstmals durchgängig für alle Sensoren induktive Datenübertragungsstrecken genutzt worden. Außerdem war hier ein neuartiges Absetzsystem für ADCP-Profilstrom- und Seegangsmesser mit induktiver oder akustischer Datenübertragung sowie sehr zuverlässigem Releasersystem entwickelt worden, welches nun in modifizierter Form auch in FINO und MARNET angewendet wird. Das System FINO2 am „Kriegers Flak“, mit seinem angepassten Messsystem,

schließt nun eine wesentliche Lücke in der räumlichen Abtastung der westlichen Ostsee nördlich der Darsser Schwelle und des Arkona-Beckens. Dabei ist die spezielle Umströmung der Untiefe „Kriegers Flak“, unter anderem wegen eines möglichen Einflusses durch in der Nähe bestehende oder geplante Offshore-Windparks von besonderem Interesse.

## 5) Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Mit den folgenden Institutionen und Unternehmen wurde zusammengearbeitet:

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH Hamburg)

Ehemals Germanischer Lloyd, heute DNV GL SE

Fa. Wrede GmbH

International Baltic Engineering GbR

EnBW AG

Fa. BALTIC Taucherei- und Bergungsbetrieb Rostock GmbH

Darüber hinaus fungierten ca. weitere 50 Firmen als Zulieferer.

## II) Eingehende Darstellung

### 1) Des Aufbaus und der erzielten Ergebnisse

Auf der Grundlage des seit Projektbeginn 2012 konkret für die FINO2-Station entwickelten, oben dargestellten Konzeptes wurde die Messstation 2013 vollständig mit dem neuen hydrographischen Messsystem ausgerüstet und im folgenden Verlauf betrieben. Dabei konnten immer wieder Verbesserungen gegenüber der ursprünglichen Auslegung durchgeführt werden, so dass Wartungen und Instandsetzungen wesentlich vereinfacht werden konnten.

Nachfolgend wird zunächst der Aufbau des Messsystems und der konkrete Projektverlauf mit Ergebnissen skizziert.

## Die Messkette

Die Messkette setzt sich aus 10 Messhorizonten zusammen, die mit einem Abstand von jeweils 2m eine hinreichende vertikale Abdeckung der Wassersäule gewährleisten. Jedes dieser 10 Niveaus wurde mit einer CTD-Sonde der Firma Sea-Bird (SBE 37IM Microcat) (Abb. 3) ausgestattet. Das System hat eine eigene Langzeitbatterieversorgung und misst vorprogrammiert selbständig die drei Standardparameter Leitfähigkeit, Temperatur und Druck, in diesem Falle im 10-Minutentakt. Die Daten werden intern gespeichert und zudem einmal stündlich auf Anfrage im 6er Block über induktive Koppler und das isolierte Tragseil an das Datenmanagementsystem auf der Plattform übertragen



**Abbildung 3:** Induktive Messkette mit Sea-Bird SBE 37 IM (Temperatur, Leitfähigkeit und Druck)

Zusätzlich werden in drei dieser Horizonte (2m, 12m, 22m) weitere Parameter erfasst, um Aussagen zur Belüftung (Sauerstoff), zur Trübung und zur Chlorophyll-Fluoreszenz treffen zu können. Diese Baugruppen werden zusammen mit ihren CTD-Sonden nachfolgend als Hauptniveaus (Abb. 4) bezeichnet. Zur Bestimmung des Sauerstoffgehaltes werden pro Hauptniveau zwei gekapselte Optoden der Firma Aanderaa eingesetzt, um mit dieser Doppelsensorik das Ausfallrisiko zu senken und eine höhere Sicherheit bei der Beurteilung der Qualität der Messergebnisse zu erreichen (Früherkennung von Drifterscheinungen).



**Abbildung 4:** Baugruppe mit 2 Aanderaa Sauerstoffoptoden, Sea-Bird-Pumpe und WetLabs FLNTU

Die geschlossene, dunkle Kammer mit den Sauerstoffsensoren wird über eine Sea-Bird Pumpe während der Messung kontinuierlich mit frischem Seewasser durchspült (ca. 2 Min. alle 10 Min.). In den Messpausen steht das Wasser und reichert sich mit Metallionen aus Foulingschutzzylindern und Kupferröhrchen/-Ummantelungen an, was entscheidend zur Bewuchsminimierung beiträgt. Ebenfalls in die Hauptniveaus integriert wurde jeweils ein WetLabs FLNTUS mit Kupfershutter, welches die Trübung und die Chlorophyll-Fluoreszenz erfasst. Die in den Hauptniveaus zusätzlich integrierten Mikroprozessor-Logger- und –Steuergeräte sind so konzipiert, dass später weitere Sensoren in das System integriert werden können. Ebenso wie bei den CTD's erfolgen hier die Messungen alle 10 Minuten, die Daten werden dann aber in den Unterwasserdatenloggern (Abb. 5; Fa. International Baltic Engineering GbR) gesammelt, zwischengespeichert und stündlich im 6er Block vom Host-Rechner aktiv abgefragt. Aufgrund des erhöhten Energiebedarfs von Optoden, Pumpe und FLNTUS können diese Baugruppen nicht autonom mit eigener Batterie und Induktivübertragung betrieben werden, sondern sind über ein einziges Buskabel zur Stromversorgung und seriellen Datenübertragung mit dem Plattform-Host-Computer verbunden.



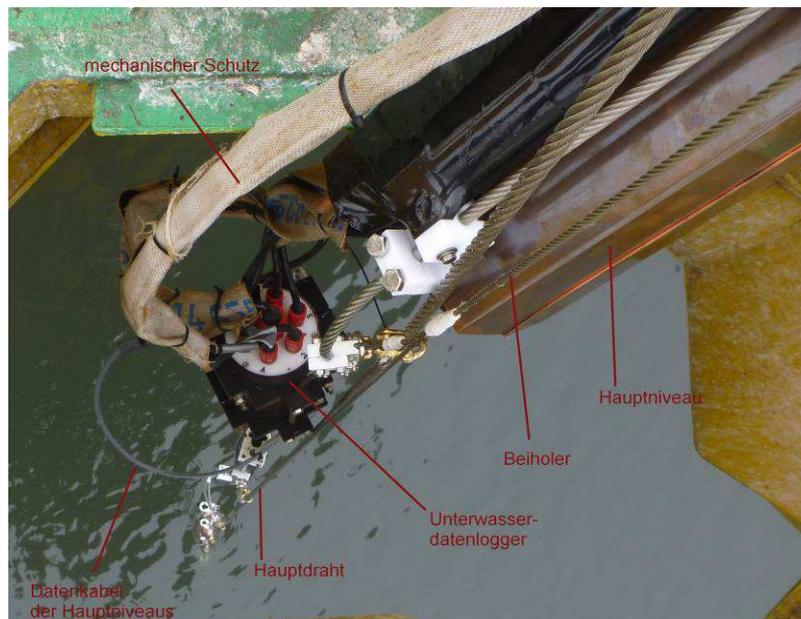
**Abbildung 5:** Unterwasserdatenlogger der Firma International Baltic Engineering GbR

Über die Sommermonate kommt es im lichtdurchfluteten Bereich der Ostsee regelmäßig zu einem massiven Befall aller Geräte und Systeme mit Bakterien, Seepocken, Algen und Miesmuscheln, was generell zu einem erheblichen Bio-Fouling-Problem führt. Durch die oben beschriebenen Maßnahmen konnten auch in sehr foulingintensiven Perioden weitestgehend störungs- und drifffreie Messungen erreicht werden. Wie in Abbildung 6 zu erkennen ist, entwickelt sich in und um die geschützten Bereiche kein Bewuchs und so werden weitestgehend störungsfreie Messungen gewährleistet.



**Abbildung 6:** Hauptniveau mit Logger, Microcat , Optoden und FLNTUS (im Foulingschutz)

In Anlehnung an die MARNET Stationen des IOW wurde die kompakte Messkette an einem einzelnen String von der Plattform abhängig ins Wasser gebracht. Dieser wird an einem Hauptdraht, der über elastische Elemente an einem modifizierten Plattformdavit aufgehängt ist, geführt und ist am unteren Ende am Boden verankert. In Abbildung 7 sieht man die Messkette von der Plattform herabhängend, wobei das Hauptniveau und unterhalb die Sea-Bird-Sensoren gut zu erkennen sind. Die Aufnahme der Geräte erfolgt über einen Beiholerdraht der kontrolliert von der Plattform gehievt oder gefiert wird.



**Abbildung 7:** Messkette

An einem zweiten Plattformdavit ist ein Lift für ein akustisches Unterwassermodem installiert, welches die Datenkommunikation zum 100 bis 200m entfernten Bodenabsetzgestell mit dem ADCP-Profilströmungs- und Seegangsmesssystem realisiert.

## Das ADCP-Profilströmungs- und Seegangsmesssystem

Die Strömungs- und Seegangsmessungen werden plattformunabhängig vorgenommen, d.h. mit einem autonomen, 100-200m von der Messplattform auszubringenden Bodenabsetzgestell. Die hochauflösenden Messungen mit Intervallen von 1m erfolgen über die gesamte Wassersäule und beinhalten Strömungsprofilmessungen alle 10 Minuten, sowie stündliche Seegangsmessungen. Diese Messungen können nicht in unmittelbarer Umgebung der Plattform erfolgen, da es zu einer Beeinflussung der Messungen durch die Plattform kommen würde. Auf Basis des akustischen Profil-Strömungsmessers ADCP WHS600 und des Seegangsrechners (NEMO-SA) der Firma RDI wurde ein neues Boden-Absetzgestell (Abb. 8) entwickelt. Zusätzlich wurde es mit einem akustischen Unterwassermodem (Typ S2C R 48/78) der Firma Evologics und einem Releaser der Firma KUM ausgestattet. Der ADCP ist mit einer Kardanik versehen, die es erlaubt, ein Gefälle von ca. 30° auszugleichen und den ADCP immer senkrecht messen zu lassen. Das Releasersystem gewährleistet eine einfache Bergung von einem Versorgungsschiff, das mit einem Kran ausgestattet ist.



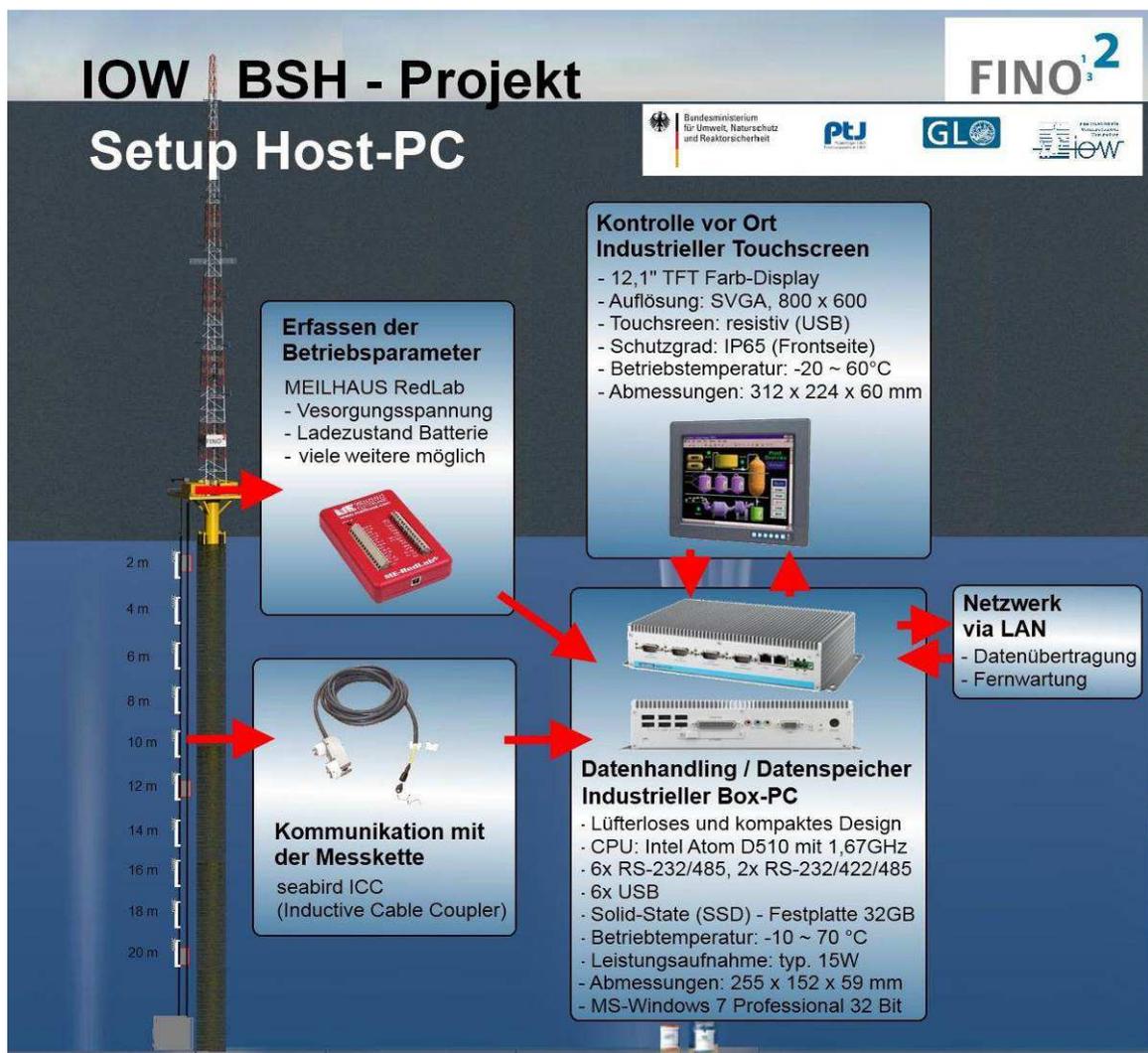
**Abbildung 8:** ADCP / NEMO Absetz-Gestell (Eigenentwicklung IOW) für ADCP und Seegangsmesssysteme incl. hydroakustischem Evologics Modem sowie Releaser

Eine effiziente und kostengünstige Energieversorgung erlaubt es, das Gesamtsystem mindestens ein 3/4 Jahr ausreichend mit Energie zu versorgen. Dazu wurden neue druckfeste Batteriegehäuse (Abb. 9) entwickelt und im weiteren Verlauf des Projektes optimiert. Die Batteriepacks werden mit kostengünstigen Standard D-Zellen betrieben, um erhöhte Folgekosten für spezielle Batteriepacks zu vermeiden.



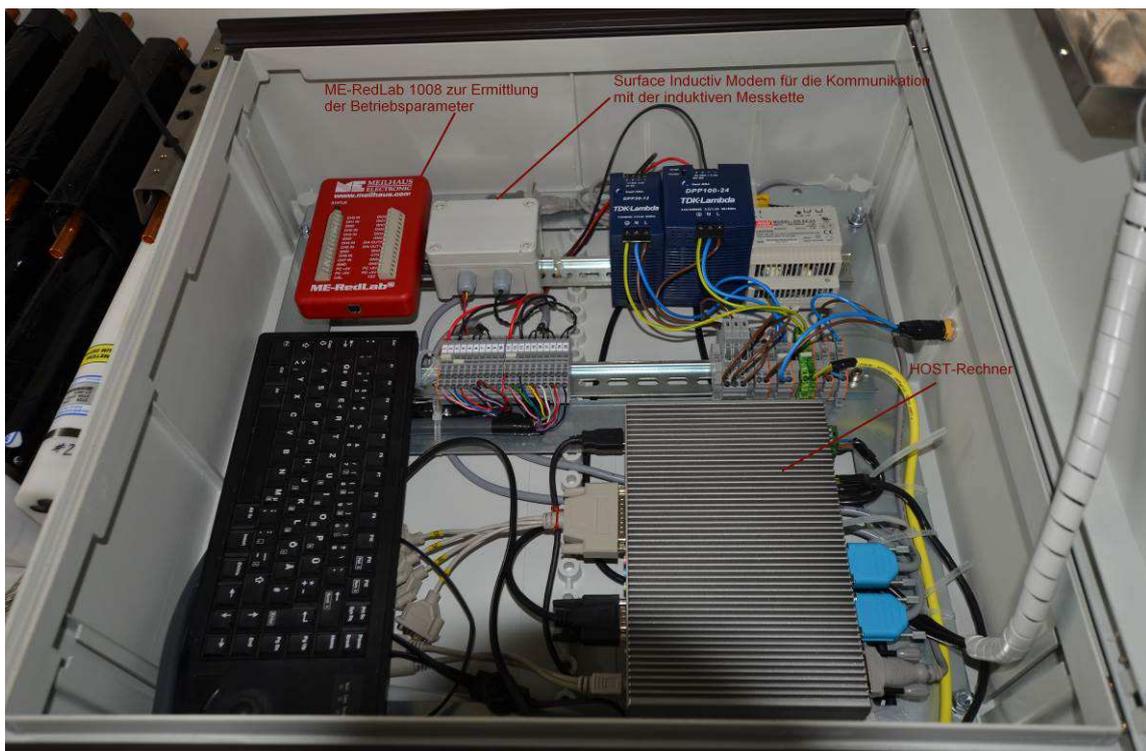
**Abbildung 9:** Version eines kostensparenden Batteriegehäuses (IOW)

Die Kommunikation mit der FINO 2 Plattform erfolgt über die hydroakustische Übertragung, wobei das entsprechende Gegenmodem über den zweiten Davit der FINO 2 Plattform installiert wurde, wie bereits oben erwähnt. ADCP und NEMO speichern ihre Daten intern ab und geben sie zusätzlich zur Zwischenspeicherung an das akustische Modem. Dieses überträgt sie kompakt über die hydroakustische Verbindung zum Gegenmodem an der Plattform. Dieses wird regelmäßig mit Hilfe des stationsgebundenen Unterwassermodems vom Host-Rechner abgefragt.



**Abbildung 10:** Datenmanagementsystem auf FINO 2

Auf der Plattform werden alle Daten kabelgebunden von den Liften über eine Junctionbox zum Plattformcontainer geleitet. Der Host-Rechner (Abb. 10 und 11) fragt stündlich die CTD's über ein Surface Inductive Modem der Firma Sea-Bird ab und erhält die 10 Minuten Werte der einzelnen Geräte. Weiterhin werden die Unterwasserlogger und das Unterwassermodem stündlich abgefragt. Der Host-PC ist per LAN mit der Stationsinfrastruktur verbunden, sodass die Daten problemlos in einer Plattformdatenbank gehalten und über die Satellitenübertragung in Echtzeit an Land zur Verfügung stehen. Alle Messdaten werden mit einer nahezu real-time-Übertragung an die FINO-Datenbank im BSH sowie an eine weitere Datenbank im IOW gesendet und können so dem Endnutzer zeitnah zur Verfügung gestellt werden. Der Host-Rechner speichert zudem die geloggten Daten zur Sicherheit nochmals lokal ab.



**Abbildung 11:** Rechnerstruktur auf der Plattform

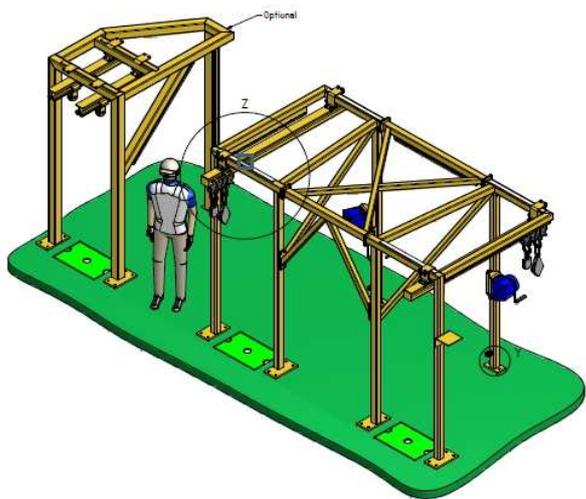
Mit einem Messzusatz (ME-RedLab 1008) werden zusätzlich die Betriebsparameter der einzelnen Komponenten abgefragt, um zeitnah auf evtl. Probleme im System zu reagieren. Über die Satellitenverbindung des Plattformbetreiberkonsortiums kann die Hostcomputerstruktur mittels Remotezugang direkt angesprochen werden, so dass eine kostengünstige Fernwartung gesichert ist. Im Falle eines kompletten Stationsausfalles (z.B. Generatorschaden) kann der Industrie-PC einen Stromausfall weitestgehend verkraften und fährt das System automatisch wieder hoch, sobald die Stromzufuhr wieder hergestellt ist.

## Das Lift- und Davitsystem

Eine erste Bestandsaufnahme zum vorhandenen, für Sensormessketten weitestgehend unbrauchbaren Liftsystem auf der Plattform FINO 2 erfolgte bereits im Juni 2011 in Zusammenarbeit mit dem Betreiber der Plattform, dem Germanischen Lloyd (kurz: GL; heute: DNV GL) und der Metallbaufirma Wrede. Dabei konnten erste Vermessungen zur Entwicklung eines neuen Davit-Konzeptes durchgeführt werden. Die aus der Grundausstattung vorgefundenen Trägersysteme für Unterwassersensoren mussten demontiert und verworfen werden.

Die bestehenden Strukturen und Platzangebote wurden begutachtet und im neuen Konzept berücksichtigt, um die auf der Station bereits etablierten Projekte nicht zu behindern. Im April 2012 wurde eine Reise mit dem FS „Elisabeth Mann Borgese“ (IOW) zur FINO 2 durchgeführt, um eine Vermessung für die Messkette unter Wasser vorzunehmen und einen Standort für das Absatzgestell zur Strömungs- und Seegangsmessung (ADCP-NEMO-Gestell) zu finden. Die Variante einer kabelgebundenen Lösung für die Energieversorgung und Datenübertragung des ADCP-NEMO-Systems zur Station musste aufgrund der vielen Steinfelder um die Station verworfen werden. Aus diesem Grund wurde konzeptionell bereits am Beginn der Entwicklung von einer kabelgebundenen hin zu einer kabellosen ADCP-NEMO-Lösung gewechselt, bei der die Datenübertragung mit Hilfe eines akustischen Modems erfolgt.

Die daraus resultierende Projektierung der Plattformdavit führte zu einem verstellbaren Trägersystem bei dem unterschiedliche Messkettenwinkel eingestellt werden können, um ggf. nicht exakt liegende oder auch auf evtl. Verschiebungen der Ankersteine durch extremen Seegang zu reagieren. Der Hauptdraht wird über Federelemente gedämpft, so dass Eigenschwingungen der Plattform nicht zu Beschädigungen an den Messketten führen können. Wie der Abbildung 12 zu entnehmen ist, wurden drei Davits entworfen, aber für das hydrographische Messsystem nur zwei realisiert (Reserve). Mit Bewilligung der Finanzierung Ende 2012, konnte der Produktionsauftrag an die Firma Wrede im Januar 2013 durch den GL vergeben werden, so dass eine Installation der gesamten Messkette im April 2013 möglich wurde.



**Abbildung 12:** Davitsystem mit 2 Messsträngen (links: Entwurf IOW, rechts: Realisierung Fa. Wrede)

Im Verlauf des Jahres 2012 wurde der Fokus nun auf die praktische Realisierung der Messkette und des ADCP-NEMO Absetzgestells gelegt. Um die Anzahl der nötigen Unterwasserkabel zu minimieren, wurde die Entwicklung von integrierenden Unterwasserdatenloggern mit der Firma International Baltic Engineering GbR vorangetrieben. Basierend auf einem Loggermodell, welches im MARNET Anwendung findet, konnte ein neuer Logger entwickelt werden, der den speziellen Anforderungen der FINO 2 Station gerecht wird. Zudem wurde eine druckdichte Kapselung vorgenommen und die Schnittstellen des Loggers dahingehend erweitert, dass in Zukunft weitere Sensoren adaptiert werden können. Durch die Einführung der busfähigen UW-Logger beschränkt sich die Datenkommunikation und Energieversorgung der Hauptniveaus auf ein Kabel.

Anfang 2013 wurden alle Vorbereitungen für den Aufbau des Messsystems abgeschlossen und die Geräte ausgiebig getestet. Intensive Laborversuche optimierten das Daten- / Zeitmanagement der Messgeräte und der Rechnerinfrastruktur. Entsprechend konnte im April 2013 mit dem Aufbau der neuen Plattformdavits auch die ozeanographische Messkette in Betrieb genommen werden.

Mit IOW-eigener Werkstattkapazität wurde das neue Absetzgestell für Strömungs- und Seegangsmessungen entwickelt und gebaut.

Da im Nahbereich der Station die ständige Gefahr ankernder Versorgungsschiffe besteht, wurde bei der Vermessung im April 2012 nach einem Standort in 100m bis 500m Entfernung gesucht. Eigene Fächerecholotaufnahmen mit FS „E. M. Borgese“ identifizierten ausgedehnte Steinfelder, die einen

Einsatz des Absetzgestells sehr erschwerten. Unter Zuhilfenahme der Forschungstauchergruppe des IOW konnte eine konkrete, geeignete Position ermittelt werden, die am Rand des Kardinalfeldes liegt und eine ebene Sandfläche bietet. In Abstimmung mit dem BSH und dem GL wurde der ADCP auf diese Position südöstlich von FINO2 gelegt. Wenige Tage nach Aussetzen des ADCP Gestells endete die Kommunikation mit dem UW-Modem, so dass es umgehend geborgen werden musste. Es stellte sich heraus, dass erste Baggerarbeiten im Windparks Baltic II in unmittelbarer Umgebung des ADCP's vorgenommen worden waren. Da das Risiko von Schäden am ADCP durch Baufahrzeuge in dieser Phase besonders hoch war, wurde die Entscheidung getroffen, den ADCP nicht wieder an dieser Position auszubringen. Am 23.04.2013 wurde in Abstimmung mit der EnBW, dem BSH und dem GL eine neue Lösung für die Position des ADCP gefunden. Weitere durch die EnBW zur Verfügung gestellte Fächerecholot- und Sidescanaufnahmen wiesen eine geeignete Position 200m südwestlich FINO2 aus. Die Verankerung konnte während einer Seereise auf Position gebracht werden und misst seitdem kontinuierlich die Strömung und Wellenhöhen. Eine Datenübertragung zur Plattform ist von dieser Position nicht realisierbar, da das Gestell im hydroakustischen Schatten der FINO 2 Plattform steht. Daher wurde das akustische Modem bis zur Wahl eines neuen Standortes entfernt und die Daten des Strömungs- und Wellenmesser werden in Abstimmung mit BSH nachträglich ausgelesen und der Datenbank zugeführt. Ein neuer Standort wurde im August 2014 mit Hilfe des BSH-Vermessungsschiffes „Deneb“ gefunden. Allerdings konnte der Betreiber noch keinen entsprechenden Schiffsanlauf zur Umsetzung realisieren.

Auffälligkeiten bei den Vergleichsmessungen Anfang Oktober 2013 brachten Korrosionserscheinungen in den Unterwasser-Steckverbindungen der Hauptniveaus zu Tage, wie sie zuvor noch nicht beobachtet worden waren. Die Ursachenforschung ergab einen wahrscheinlichen Zusammenhang mit dem elektrischen Korrosionsschutz der Plattform. Die Hauptniveaus der Messkette wurden geborgen und im Labor repariert (neue Steckverbinder). Neu eingeführte Kupferummantelungen an den Hauptniveaus, erbrachten einen hervorragenden Foulingschutz. Im November 2013 konnten die Hauptniveaus wieder installiert werden und arbeiteten seitdem zuverlässig. Das ADCP-NEMO-Gestell wurde turnusmäßig gewechselt und ausgelesen.

November/Dezember 2013 wurde die Plattform durch die Orkane „Xaver“ und „Christian“ getroffen und mehrere Satellitenantennen zerstört. Die IOW-Messketten und Messsysteme überstanden die Stürme ohne Schäden. Im Frühjahr 2014 wurde ein kompletter Messkettenwechsel an der Station durchgeführt und ein Umzug des Plattformcomputers in den IOW-eigenen Messcontainer auf der Station wurde vorbereitet. Im Verlauf des Jahres 2014 wurde ein neues Konzept zur Qualitätssicherung durch abgestimmte, regelmäßige Vergleichsmessungen eingeführt.

Nach einem ungeklärten Abriss eines Messgerätes (wahrscheinlich durch Fremdeinwirkung – Ankerseil o.ä.) wurde mit dem Tauchroboter (ROV) des IOW eine Suche unterhalb der Plattform am Trägermast vorgenommen, bei dem das Gerät beschädigt wieder gefunden werden konnte. Dabei wurde festgestellt, dass auch die Ankersteine der Messkette derart versetzt waren, dass ein Taucheinsatz zur Wiederherrichtung geplant werden musste. Dieser dringende Auftrag konnte durch den Plattformbetreiber aber erst im Oktober 2014. Solange waren die übrigen Messgeräte am verzogenen Lift verblieben und haben ohne Beschädigungen weiterhin wertvolle Daten geliefert.

Wegen des Projektendes und der bis auf weiteres noch nicht geklärten Projektverlängerung ist die Messkette seit der Liftkorrektur im Oktober außer Betrieb, kann aber unmittelbar wieder eingesetzt werden. Ein Austausch-ADCP-Absetzgestell befindet sich bis auf weiteres aktiv am Meeresboden auf Position und soll unmittelbar nach Projektverlängerung gewechselt werden.

### **Zusammenfassung**

Das ozeanographische Messsystem FINO2 ist vollständig entwickelt und erprobt, das vorliegende Projekt somit erfolgreich abgeschlossen. Die zweite Phase des Dauerbetriebes ist wie geplant vorbereitet (beantragte und zugesicherte Projektverlängerung).

Durch den robusten Aufbau der Messketten und den Einsatz eines umfangreichen Foulingschutzkonzeptes konnte eine hohe Zuverlässigkeit der Messgeräte und der entwickelten Messketten erreicht werden.

Im gesamten Projektverlauf kam es bei den CTD's zu keinen Ausfällen, so dass hier Datenraten von über 98% erreicht wurden. Die fehlenden Prozentpunkte ergeben sich aus den standartmäßigen Wechseln. Auch die Hauptniveaus zeigen eine hohe Datenverfügbarkeit, was u.a. auf den sehr wirksamen Bio-Foulingsschutz zurückzuführen ist.

Die insgesamt geringen Datenverluste, lassen sich auf zwei Einzelereignisse zurückführen. Einmal kam es widererwarten zu einem kompletten Stromausfall auf der Plattform, bei dem beide Generatoren ausgefallen sind. Nach Wiederinbetriebnahme der Stromversorgung lief das IOW-System wieder vollständig an. Einen weiteren Ausfall gab es, wie bereits erwähnt, im Herbst 2013, bei dem starke Korrosionen an Steckverbindungen der Hauptniveaus festgestellt wurden. Mit neuen Steckverbindern und zusätzlichem Tapeschutz konnte das Problem gelöst werden.

Aufgrund des parallelen Baubeginns im Messfeld musste letztlich das ADCP-NEMO-Gestell versetzt werden, so dass bis auf weiteres nur eine off-line-Aufzeichnung der Strömungs- und Seegangdaten, aber keine akustische Verbindung zur on-line Übertragung zur Plattform möglich ist.

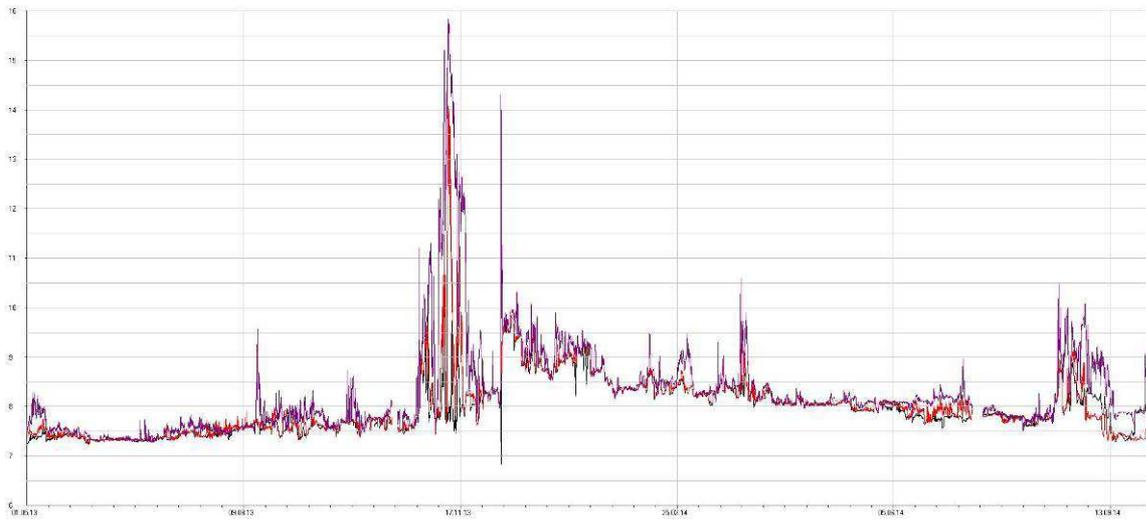
Die erreichte Datenabdeckung während des Projektes zeigt die folgende Tabelle:

Tiefe in [m]	Druck	Temperatur	Leitfähigkeit	Chlorophyll A	Fluoreszenz	Sauerstoff	Wellen	Strömung
0							35,15%	
-1								35,88%
-2	98,29%	98,29%	98,29%	83,71%	83,71%	89,64%		35,88%
-3								35,88%
-4	98,29%	98,29%	98,29%					35,88%
-5								35,88%
-6	98,29%	98,29%	98,29%					35,88%
-7								35,88%
-8	98,29%	98,29%	98,29%					35,88%
-9								35,88%
-10	98,29%	98,29%	98,29%					35,88%
-11								35,88%
-12	98,29%	98,29%	98,29%	80,47%	80,47%	76,53%		35,88%
-13								35,88%
-14	98,29%	98,29%	98,29%					35,88%
-15								35,88%
-16	98,29%	98,29%	98,29%					35,88%
-17								35,88%
-18	98,29%	98,29%	98,29%					35,88%
-19								35,88%
-20	98,29%	98,29%	98,29%	80,47%	80,47%	80,48%		35,88%
-21								
-22								

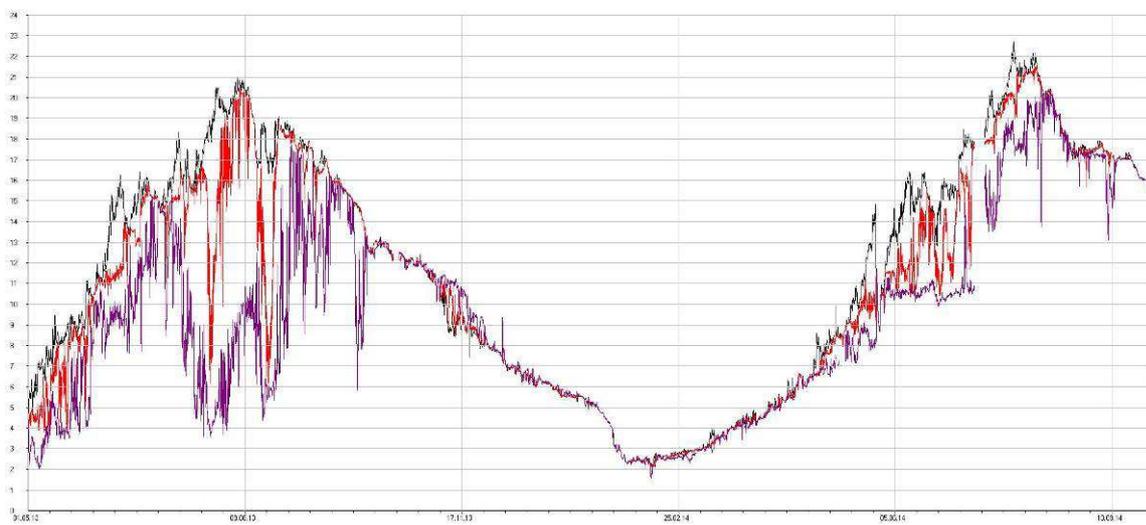
**Abbildung 13:** verfügbare Datenraten 04.04.2013 - 31.10.2014

Bei den Datenraten der Wellen- und Strömungsmessungen sind zum Zeitpunkt der Berichtserstellung nur die Datenreihen bis zum 08. Mai 2014 verfügbar, da die Real - Time -Übertragung der Messwerte zur Station wegen der beschriebenen Akustikschattenproblematik derzeit nicht stattfindet. Diese Daten werden redundant gespeichert und beim nächsten Wechsel ausgelesen. Dadurch erhöht sich die Datenverfügbarkeit bei Wellen und Strömung auf ca. 64%. Die scheinbar geringe Ausbeute bei den Wellen- und Strömungsmessungen liegt darin begründet, dass während des Sommers 2013 das System geborgen und nach einem anderem Standort für den Geräteträger gesucht werden musste, damit die Messungen ungestört von den Bauarbeiten im Windpark ablaufen können.

Die folgenden, aus den Datenreihen abgeleiteten Beispielgrafiken dokumentieren den weitestgehend lückenlosen Datenbestand, zeigen aber auch hervorragend besondere Ereignisse, wie den registrierten Salzwassereinstrom Mitte November 2013 (Abb.14).



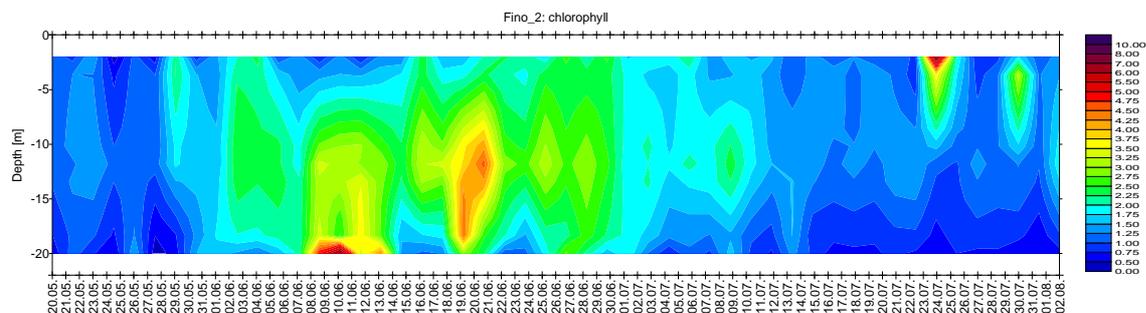
**Abbildung 14:** Zeitreihe über den Projektzeitraum. Die Grafik zeigt den Salzgehalt auf 2 (schwarz), 12 (rot) und 20m (violett)



**Abbildung 15:** Zeitreihe über den Projektzeitraum. Die Grafik zeigt die Temperatur auf 2 (schwarz), 12 (rot) und 20m (violett)

Weitere anschauliche Resultate belegen Isoplethendarstellungen, die es ermöglichen, einzelne Events innerhalb der gesamten Wassersäule zu visualisieren.

In Abbildung 16 ist eine typische Algen-Blütephase zu erkennen, die sich auf eine bestimmte Wassertiefe reduziert, was die Isopletendarstellung anschaulich wiedergibt.



**Abbildung 16:** Isoplethendarstellung des Chlorophyll A (Mai bis August 2013)

## 2) Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die gewonnenen Messergebnisse werden in der FINO Datenbank beim BSH gesammelt und mit den meteorologischen und ozeanographischen Daten der FINO 1 und FINO 3 Plattformen zu Zeitreihen verarbeitet. Diese Daten werden von mehreren hundert Nutzern aus der Offshoreindustrie, von wissenschaftlichen Institutionen sowie von verschiedenen Behörden genutzt. IOW-intern werden nicht nur die gewonnenen Daten für wissenschaftliche Zwecke weiter verwendet. Auch die neuen Technologien, die im Laufe des Projektes entwickelt worden sind, finden eine breite Anwendung, insbesondere im MARNET. Bezüglich des ADCP-Absetzgestelles mit eigenem Energieversorgungssystem gibt es weitere Anwendungen im IOW und auch andere Projektpartner haben bereits Anfragen hierzu sowie zum Batteriesystem gestellt. Die Loggertechnologie lässt sich im Rahmen einzuführender pH-Messungen erweitern und ist als solche im Fortsetzungsantrag eingeplant. Die größten Schnittmengen finden sich mit dem MARNET-Programm, so dass die neuen Technologien entscheidend zu einer Modernisierung im MARNET beitragen werden. Eine herausragende Bedeutung kommt der neuen informationstechnischen Struktur des Messsystems zu, die aufgrund ihres geringen Energieverbrauchs und ihrer deutlich höheren Leistungsfähigkeit veraltete Strukturen auf den MARNET-Langzeitmessstationen ersetzt wird.

- 3) während der Durchführung des FE-Auftrags dem AN bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Auftrags bei anderen Stellen

Zu diesem Punkt ist bezüglich FINO2 nichts bekannt geworden.

- 4) Der erfolgten Veröffentlichungen des FE-Ergebnisses nach §11. Wenn zur Wahrung berechtigter Interessen des AN oder Dritter oder aus anderen sachlichen Gesichtspunkten bestimmte Einzelheiten aus dem Bericht vertraulich zu behandeln sind (z.B. Wahrung der Priorität bei Schutzrechtsanmeldungen), so hat der AN den AG ausdrücklich darauf hinzuweisen.

Die Veröffentlichungen der Daten werden durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie durchgeführt. Das Leibniz-Institut für Ostseeforschung behält sich das Recht vor, auch nach Ablauf der ersten Projektphase Schutzrechtsanmeldungen in Bezug zum ADCP-NEMO Absetzgestell, dem Geräteaufbau des Hauptniveaus und des Foulingschutzes vorzunehmen.

### **III) Dem Schlussbericht ist als Anlage ein kurz gefasster Erfolgskontrollbericht beizufügen, der nicht veröffentlicht wird. Dieser muss im Hinblick auf die Berichtspflicht des AG Angaben enthalten über**

- 1) Das wissenschaftlich-technische Ergebnis des FE-Auftrags, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen.

Die Bundesregierung hat sich im Rahmen der Energiewende das Ziel gestellt bis zum Jahr 2030 Offshore-Windparks mit einer Gesamtleistung von insgesamt 20 bis 25 GW zu errichten. Damit verbunden stehen die Emissionsreduzierung von Treibhausgasen bis zum Jahr 2020 um 40% und bis 2050 um 80-95%. Diese Umweltaspekte stellen einen hohen Anspruch dar, sowohl an die Bundesregierung, als auch an die daran beteiligte Offshoreindustrie. Gerade in der Entwicklungsphase dieser Offshore-Windparks muss darauf geachtet werden, dass es nicht zu anderen, durch den Bau und Betrieb der Windparks induzierten Schädigungen der Natur kommt. Weiterhin stellen die Umweltparameter wie Wind, Strömung und Seegang, aber auch die biologischen und physikalisch-chemischen Einflüsse, wie Bewuchs und Korrosion enorme Herausforderungen für die Industrie dar. Um Anhaltspunkte auf den Einfluss der Strukturen auf die Umwelt und der Umwelt auf die Strukturen zu bekommen, wurden die FINO Plattformen errichtet, die mit ozeanographischen, meteorologischen und strukturdynamischen Messgeräten ausgestattet wurden. Die baubegleitenden Forschungen in Nord- und Ostsee stellen somit einen Stützpfeiler für die am Bau beteiligten Firmen, sowie die umweltpolitischen Entscheidungen der Bundesregierung dar.

Im Rahmen des FE-Auftrages zur Entwicklung und Installation eines ozeanographischen Messsystems auf der Forschungs-Plattform FINO2 und zur Aufnahme des Dauermessbetriebes wurden durch die beteiligten wissenschaftlichen und industriellen Partner neue Konzepte erarbeitet, getestet und umgesetzt. Durch das IOW wurden die Infrastrukturen für eine neuartige, ozeanographische Messkette auf der Plattform entwickelt und diese inklusive aller Messgeräte installiert und in den Dauerbetrieb überführt. Während des Dauerbetriebes wurden neue Konzepte zum Foulingschutz, zur Wartung und zur Qualitätssicherung umgesetzt. Über das neue Datenmanagementsystem werden die zehnminütlich gewonnenen Daten gesammelt und stündlich über eine Satellitenverbindung an die Datenbanken im BSH und IOW übermittelt. Über die FINO-Datenbank im BSH haben die Nutzer die Möglichkeit die gewünschten Daten in nahezu Echtzeit einzusehen.

Neben den für die Wirtschaft, Forschung und Behörden wichtigen ozeanographischen Messwerten, konnten neue Geräteträger entwickelt werden, die im Bereich der Meeresforschung breite Anwendung finden können. Die Weiterentwicklung von Datenloggern und ein Datenmanagementsystem auf der Basis energiesparender Industrie-PCs erleichtern dem Anwender die Handhabung, ohne die knappen Energieressourcen auf Messplattformen zu stark zu strapazieren.

- 2) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte die vom AN oder von am Auftrag Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, ggf. auch deren standbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.)

Die Veröffentlichungen der Daten werden durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie durchgeführt. Das Leibniz-Institut für Ostseeforschung behält sich das Recht vor, auch nach Ablauf der ersten Projektphase Schutzrechtsanmeldungen in Bezug zum ADCP-NEMO Absetzgestell, dem Geräteaufbau des Hauptniveaus und des Foulingschutzes vorzunehmen.

Weitere Schutzrechtsanmeldungen von beteiligten Firmen sind nicht bekannt.

- 3) Die evtl. wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nach Auftragsende (mit Zeithorizont)

Die hohe Zuverlässigkeit des entwickelten hydrographischen Messsystems gewährleistet den Windparkbetreibern und dem Betreiber der FINO2 Plattform für einen weitergehenden Dauerbetrieb ständigen Zugriff auf detaillierte Messungen. Die Messergebnisse aus dem physikalisch-bio-chemischen Bereich geben Hinweise auf seegangs- und strömungsbedingte Belastungen sowie Bewuchs- und Korrosions-Probleme. Mit Hilfe der Strömungsmessungen können Aussagen zu möglichen Auskolkungen an den Windkraftanlagen getroffen werden. So können die Betreiber der Windkraftanlagen frühzeitig mit Gegenmaßnahmen reagieren.

Nach Projektende zeichnen sich gute Erfolgsaussichten für den Einsatz des neuen Datenmanagementsystems, des Anti-Foulingkonzeptes, der Geräteträger für die Hauptniveaus sowie

des Strömungs- und Seegangsmesssystems ab. Robuste und preiswerte Mess- und Datenübertragungssysteme, insbesondere für die Anwendung an festen Messstationen, sind in neuer, modernisierter Form erprobt und verfügbar. Die Verwertbarkeit der erzielten Ergebnisse aus dem Projekt FINO2 wird nicht nur für das IOW hoch eingeschätzt. Einsatzmöglichkeiten ergeben sich in direkter Folge insbesondere auch in der Meeresforschung und -überwachung sowie in der Meerestechnik.

Die Weiterentwicklung von Datenloggern und Rechensystemen auf Basis energiesparender Industrie-PC's erleichtern dem Anwender die Handhabung, ohne die knappen Energieressourcen auf Messplattformen übermäßig zu strapazieren. Dadurch können enorme Einsparpotentiale entstehen, da z.B. aufwendige und kostenintensive Betankungsvorgänge der Plattform weiter reduziert werden können.

#### 4) Die evtl. wissenschaftlichen und / oder technischen Erfolgsaussichten nach Auftragsende (mit Zeithorizont)

Die hochauflösenden ozeanographischen Datenreihen sind für die Wirtschaft, Umweltüberwachung und Forschung unbedingt notwendig. Die Station FINO2 schließt auch für die Meeresforschung und -Überwachung eine wichtige Lücke in der Abtastung der westlichen Ostsee und erfasst die für die Ostsee sehr wichtigen Salzwassereinströme durch den Öresund.

#### 5) Die evtl. wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte.

Für aussagefähige hydrographische Datenreihen mit Relevanz für die Erforschung der Offshore-Windenergienutzung und zu Fragen der Klimaentwicklung, sollte aus ozeanographischer Sicht für dieses Seegebiet ein zuverlässiger Dauerbetrieb von mindestens 5 Jahren angestrebt werden. Im Rahmen der nächsten Projektphase sollte weiterhin angestrebt werden, neue Parameter, wie die pH-Messung in das System zu integrieren, um eine Versauerung der Ostsee zu dokumentieren. Diese Untersuchungen könnten unter Berücksichtigung der Salz und Sauerstoffkonzentrationen auch Rückschlüsse auf das Korrosionsverhalten verwendeter Materialien ermöglichen.

#### 6) Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben

Die im Vertrag gestellten Aufgaben konnten vollständig erfüllt werden. Unvermeidbare Zeitverzögerungen und Rückschläge konnten durch ständige Abstimmungen mit dem Auftraggeber und gemeinsame Anstrengungen der Projektpartner kompensiert werden. Lediglich das Absatzgestell konnte bis zum Ablauf des Projektes noch nicht an einen neuen Standort verbracht werden, zu dem

eine akustische Kommunikation möglich ist, sodass die Daten weiterhin offline aufgezeichnet werden. Dieser Punkt sollte im angestrebten Fortsetzungsprojekt erneut aufgenommen werden, da bereits ein möglicher, geeigneter Standort durch das Vermessungsschiff „Deneb“ fixiert wurde.

### 7) Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Die wissenschaftlichen Ergebnisse wurden und werden auf zahlreichen Fachkonferenzen und Workshops präsentiert. Im Rahmen des Gesamt-Projektes wurde eine FINO-Datenbank erstellt, die alle Messergebnisse der 3 FINO-Messstationen den registrierten Nutzern zur Verfügung stellt. Das Portal ist über [fino.bsh.de/](http://fino.bsh.de/) erreichbar.

### 8) Die Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Aufgrund der zunächst ungeklärten Finanzierung der Plattformdavits verschoben sich die Zeiträume der Erstinstallation gegenüber dem Arbeitsplan in den April 2013, verliefen dann aber gemäß der abgestimmten Planänderung. Der Tabelle in Abbildung 17 können die einzelnen Arbeitspakete mit den geplanten und tatsächlich realisierten Zeitfenstern entnommen werden.

Arbeitspaket	Jahr	2011		2012				2013				2014				
		Quartal	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Bestandsaufnahme	Plan															
	Umsetzung															
Messsystementwicklung	Plan															
	Umsetzung															
Datenmanagemententwicklung	Plan															
	Umsetzung															
Beschaffungen	Plan															
	Umsetzung															
Labortestbetrieb	Plan															
	Umsetzung															
Vorortaufbau	Plan															
	Umsetzung															
Inbetriebnahme	Plan															
	Umsetzung															
Ausbildungen	Plan															
	Umsetzung															
Dauerbetrieb	Plan															
	Umsetzung															
Qualitätssicherung	Plan															
	Umsetzung															
Wartungen	Plan															
	Umsetzung															
Komponententausch	Plan															
	Umsetzung															
Dokumentation	Plan															
	Umsetzung															
Abbau	Plan															
	Umsetzung															

**Abbildung 17:** Arbeitsplan (schwarz: vor Projektbeginn geplant; gelb: Durchführung)

Abschließend folgt ein einfacher, vorläufiger Kostennachweis per 31.10.2014.

	Einzelkosten	Gemeinkosten	GESAMT
A Material	4.681,98	0,00	4.681,98
B FE-Fremdleistungen	0,00	0,00	0,00
<b>C Personalkosten/Gehälter</b>	<b>91.073,47</b>	<b>27.322,04</b>	<b>118.395,51</b>
<b>D Reisekosten</b>	<b>137,95</b>	<b>0,00</b>	<b>137,95</b>
E Anlagenkosten	0,00	0,00	0,00
<b>F Sonstige unmittelbare Vorhabenkosten</b>	<b>30.957,61</b>	<b>0,00</b>	<b>30.957,61</b>
<b>G Gesamte unmittelbare Vorhabenkosten (Summe A-F)</b>	<b>126.851,01</b>	<b>27.322,04</b>	<b>154.173,05</b>
H Kosten innerbetrieblicher Leistungen	0,00	0,00	0,00
I Verwaltungs- und Vertriebskosten	0,00	0,00	0,00
<b>Selbstkosten 1 (ohne Umsatzsteuer)</b>			<b>154.173,05</b>
<b>J Kalkulatorischer Gewinn</b>			<b>7.708,65</b>
<b>Selbstkosten 2 (ohne Umsatzsteuer)</b>		Netto	<b>161.881,70</b>
<b>K Umsatzsteuer</b>		Mwst	<b>30.757,52</b>
<b>L Gesamt 2014</b>		<b>Brutto</b>	<b>192.639,23</b>

#### Kassenmäßige Bereitstellung

Jahr	Betrag Brutto		Ausgaben		
2012	600.000,00	Abgerufen	Ausgaben	2012	492.379,95
2013	212.258,92	Abgerufen	Ausgaben	2013	251.477,74
2014	124.238,00	Abgerufen	Ausgaben	2014	192.639,23
			<b>Rest</b>		<b>0,00</b>

Alle Betragsangaben in EUR