

## Errichtung der ersten deutschen Offshore Wind Messplattform in der Nordsee

*Erection of German Offshore Measuring Platform in the North Sea*

T. Neumann, K. Nolopp, M. Strack, H. Mellinghoff, H. Söker; DEWI  
E. Mittelstaedt; Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, BSH  
W. J. Gerasch; Curt-Risch-Institut, CRI, Uni Hannover  
G. Fischer; Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH



Die deutsche Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil der Erneuerbaren Energien am Stromverbrauch bis zum Jahre 2010 zu verdoppeln. In dieser Ausbau-Strategie kommt der Offshore Windenergienutzung eine große Bedeutung zu. Bezogen auf das Ausgangsjahr 2000 bedeutet dies einen Anteil von ca. 12,5% an der Stromerzeugung im Jahre 2010. Auch danach soll dieser Ausbau auf hohem Niveau fortgesetzt werden, so dass 2050 mindestens 50% unserer Energieversorgung aus Erneuerbaren Energien kommen soll. Der Ausbau der Offshore-Windenergienutzung erfolgt stufenweise. Die anfängliche Start- und Lernphase wird dabei durch die Errichtung mehrerer Offshore-Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee (FINO) begleitet. Das Hauptziel

*The German government has set the target of doubling the share of renewable energies used by 2010. In this strategy, the development of offshore wind energy use will be of supreme importance. In relation to the initial year 2000, this means a share of approximately 12.5 % of electricity generation in 2010. After 2010 this expansion is to be continued at a high level so that in 2050 at least 50% of our energy supply could be based on renewable energies. A gradual approach is suggested for the expansion of offshore wind energy. The start-up phase for this new technology is to be accompanied by several site-specific offshore platforms erected in the North and Baltic Sea (FINO). Main aim is an expansion of the knowledge about the offshore environment. Technical requirements are*

Foto: Hero Lang , Industrie-+ Luftaufnahmen



Abb. 1: Nachdem die Gründungsstruktur (Jacket) mit vier Pfählen in der Nordsee verankert worden ist, wurde das Oberteil der FINO1-Plattform mit den zwei ersten Segmenten des Windmessmastes sowie Apparate-Containern und Hubschrauberlandeplatz aufgesetzt.

Fig. 1: After the support structure (jacket) has been anchored in the seabed by four piles, the upper part of the FINO1 platform with the first two segments of the wind measuring mast, equipment containers and helicopter pad has been placed on top of the structure.



Abb. 2: Das endgültige Erscheinungsbild der FINO1-Plattform mit abgeklappten Auslegern für die Windmess-Sensorik.  
Fig. 2: The finished set-up of the FINO1 platform with jibs for wind measurement sensors in folded-down position.

dieser Plattformen ist es, die Kenntnisse über die Offshore-Umgebung zu erweitern. Hier spielen zum einen technische Anforderungen eine Rolle, aber auch biologische Aspekte sollen untersucht werden. Der Germanische Lloyd WindEnergie GmbH, der das Gesamtvorhaben für das Bundesumweltministerium umsetzt, hat das DEWI mit der Durchführung der technischen Messungen beauftragt. Schwerpunkte der Messungen ist die Ermittlung der Windverhältnisse und weiterer meteorologischer Parameter in verschiedenen Höhen, die Erfassung ozeanographischer Daten, sowie die Erfassung des dynamischen Verhaltens der Gründungsstruktur auf der ersten Forschungsplattform am Standort "Borkum West" 45 km vor der Insel Borkum. Nachdem die Plattform als Infrastruktur im Juni/ Juli 2003 in der Nordsee errichtet worden ist, werden derzeit, im August 2003, letzte Arbeiten zur Inbetriebnahme der Messungen auf der Borkum-Plattform durchgeführt.

to be investigated as well as biological aspects. The German Lloyd WindEnergie GmbH, responsible for realising the complete project on behalf of the Federal Ministry for the Environment, Nature Protection and Nuclear Safety has commissioned DEWI with the performance of the technical measurements. The main focus of the measurements will be on an evaluation of the wind scheme and other meteorological parameters at different heights, gathering oceanographic data and study the dynamical behaviour of the support structure on the first research platform at the site "Borkum West", 45 km off the island of Borkum. After the platform itself was erected in the North Sea in June/July 2003, now, in August 2003, the finishing work is being carried out before the measurements on the Borkum platform can start operating.

Foto: T. Neumann; DEWI



Abb.:3: Auf der im Bild linken Südost-Seite des Windmessmastes befinden sich die Schalenstern-Anemometer, rechts werden abwechselnd Windfahnen und Ultraschall-Anemometer eingesetzt. Durch Anklappen der abgespannten Ausleger lassen sich die Geräte warten und gegebenenfalls ersetzen.

Fig. 3: On the southeast side of the met mast (left side in picture) the cup anemometers can be seen, on the right, wind vanes and ultrasonic anemometers are used alternately. By folding the guyed jibs up to the mast, the instruments can be serviced and replaced if necessary.

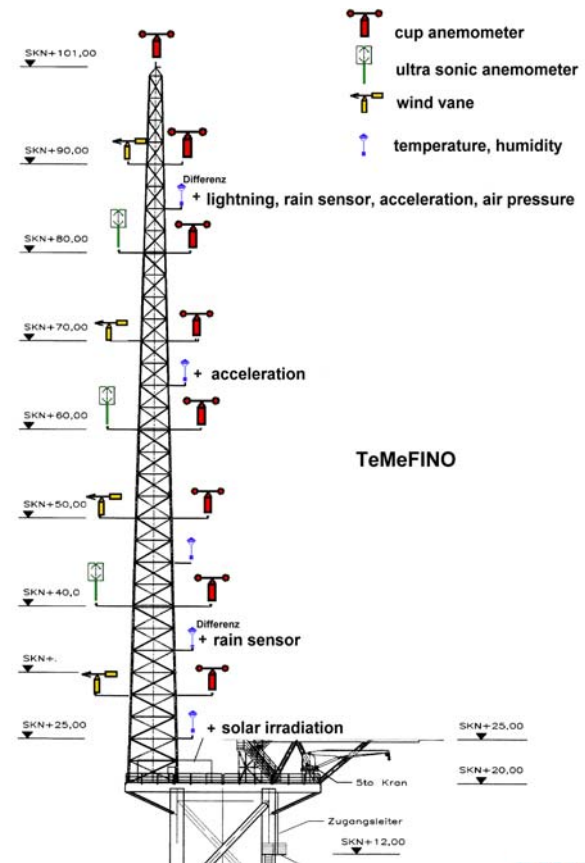


Abb.4: Schematische Darstellung der am Mast eingesetzten Sensorik. Neben den Windmess-Sensoren wurden weitere Geräte zur Erfassung von Temperatur, Feuchte, Druck und UV-Globalstrahlung installiert. Die Beschleunigungen des Messmastes werden erfasst um eventuelle Auswirkungen von Mastbewegungen auf die Windmessung zu ermitteln.

Fig. 4: Schematic view of the sensors installed on the met mast. Apart from the wind sensors, other equipment for measuring temperature, humidity, pressure and global UV radiation are installed. The acceleration (oscillations) of the met mast is also measured to determine any effects the mast movements may have on the wind measurement.

## 1. Konstruktion und Ausstattung der Plattform

Zentraler Punkt bei der Konstruktion und Auslegung der Plattform war deren weitgehend automatischer Betrieb. Die Überwachung der Plattform kann dabei zentral vom Festland aus erfolgen. Für Wartungsarbeiten ist die Plattform sowohl per Schiff als auch per Hubschrauber zugänglich, letzteres erlaubt einen schnellen Zugang zur Plattform auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen. Das Hauptdeck befindet sich 20 Meter über dem Meeresspiegel, ein darauf befindlicher 80 m hoher Messmast ermöglicht Wind- und andere meteorologische Messungen bis zu einer Höhe von 101 m (siehe Abb. 6), der voraussichtlichen Nabenhöhen zukünftiger Offshore-WEA. Die Höhe des Messmastes, der auch mit Richtfunk-, GSM- und Radarantennen bestückt ist, dominiert nicht nur das optische Erscheinungsbild der Plattform, sondern hatte auch wesentlichen Einfluss auf Konstruktion und Dimensionierung der Plattform und deren Gründungsstruktur. Weitere wichtige Einflussparameter für die Wahl der Gründungsstruktur sind darüber hinaus die Verhältnisse des Meeresbodens am Standort. Eine entsprechende Bodenuntersuchung war bereits im Oktober 2001 durchgeführt worden. Die Untersuchung verschiedener Gründungsvarianten nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten führte für die gegebene Wassertiefe von etwa 30 m zur Favorisierung einer sogenannten Jacket-Struktur.

### 1.1 Details der Gründungsstruktur

Das Plattformbauwerk lässt sich in fünf Hauptbereiche unterteilen:

- die Gründung im Meeresboden (vier Pfähle mit einer Länge von je 38 m)
- die Jacket-Konstruktion mit einer Ausdehnung von 26 m x 26 m am Meeresboden und einer Höhe von 48 m (SKN -28m bis +20 m), SKN= Seekartennull
- ein Hubschrauberlandedeck von 15 m x 15 m, das sich 5 m oberhalb des Plattform-Decks befindet und über Treppen zugänglich ist
- das Plattform-Deck (16 m x 16 m) auf SKN +20 m
- und der Messmast bis SKN +101 m

Bei allen Strukturteilen handelt es sich um geschweißte Stahlelemente. Die Höhe des Plattform-Decks über dem Meeresspiegel ergab sich aus der Jahrhundertwelle als Auslegungsgröße und einem zusätzlichen Sicherheitsspielraum, so dass sich insgesamt eine Höhe von 20 m über Seekartennull (SKN) ergibt. Das Plattform-Deck verfügt über zwei Auf- bzw. Abstiegsluken sowie eine Bohrung für eine Unterwasserkamera, die an

## 1. Platform Structure and Equipment

*An important feature of the design of the platform is its largely automatic operation, controlled by a monitoring centre on the shore. For maintenance work the platform will be accessible by both ship and helicopter. The helicopter pad will ensure quick access to the platform, even in the event of rough weather. The platform itself is 20 m above the sea level and the 80 m met mast installed on top of it allows to perform measurements of wind and other meteorological data up to a height of 101 m (see Fig. 6), the expected hub heights of future offshore wind turbines. The height of the met mast, which is also equipped with radio, GSM and radar aerials, not only dominates the visual appearance of the platform, but also was a major factor influencing the design and dimensioning of the platform and its support structure. Other important parameters for selecting the type of support structure were the soil conditions at the location. The relevant seabed studies were already conducted in October 2001). An examination of various types of foundation according to technical and economical aspects indicated that, for the given water depths of approx. 30m, a jacket structure would be the most suitable design for this platform.*



Abb. 5: Aufsicht auf die Plattform. Über dem Südpfeiler befindet sich der Windmessmast, diagonal gegenüber das Heli-Deck. Mit Hilfe des 5t Krans können auch schwere Lasten, z. B. einer der Container, bewegt werden. Unter der eigentlichen Plattform befindet sich ein Umlauf, von dem aus die hydrographischen Sensoren gewartet werden können.

Fig. 5: Platform plan view. On top of the South pile the met mast is installed, diagonally across the heli pad can be seen. A 5 t crane is available for moving heavy leads, e.g. containers. Below the platform there is a working grate for servicing the hydrographic sensors.

einem zusätzlichen Pfahl geführt wird. An der Jacket-Konstruktion ist ein Boots-Anlegeplatz mit Fender montiert. Darüber hinaus sind Konsolen für Mess-Sensoren und -einrichtungen an der Plattformstruktur vorgesehen. Auf der Plattform befinden sich insgesamt vier Offshore-Container, von denen einer für die Messeinrichtungen, die technische Infrastruktur, und als Arbeitsraum und ein weiterer als Notunterkunft vorgesehen sind. In den beiden anderen Containern sind Generator (Diesel/Batterie) sowie die Radarausrüstung für die ornithologischen Untersuchungen untergebracht. Die Sicherheitsausrüstung besteht aus Feuerschutzausrüstung, CO<sub>2</sub>-Löscheinheiten, optische und akustische Alarmsysteme, tragbare Feuerlöscher, Feuerdecken etc. Ein Rettungsflöß kann ausgeworfen bzw. ausgesetzt werden, Rettungsbojen, Taucheranzug und Rettungswesten sind ebenfalls vorgesehen. Die Generatoren gewährleisten einen aufsichtsfreien Betrieb sowie Wartungsintervalle von 4.500 Stunden bzw. einem halben Jahr.

### 1.1 Structural Details

The platform structure can be divided in five main parts:

- the foundation in the seabed (four piles with a length of 38 m each),
- the jacket construction with a width of 26 m x 26 m at seabed and a height of 48 m (Chart Datum C. D. -28 m to +20 m),
- a helicopter pad of 15 m x 15 m, 5 m above the platform deck and accessible by stairs
- the platform deck of 16 m x 16 m, at C. D. +20 m,
- and the measurement mast up to C. D. +101 m

All parts are welded steel parts. The platform deck elevation above sea level was derived from the design wave, plus wave crest, plus an additional safety clearance and came up to 20 m above chart datum. The platform deck has 2 passage openings and a penetration for an underwater camera, which is guided along an additional monopile. At the jacket structure a boat landing

## 2. Layout der technischen Messungen

Da das DEWI mit der Installation und der Durchführung der technischen Messungen beauftragt wurde, werden diese im Folgenden näher erläutert. Im Rahmen des FINO-Borkum Offshore-

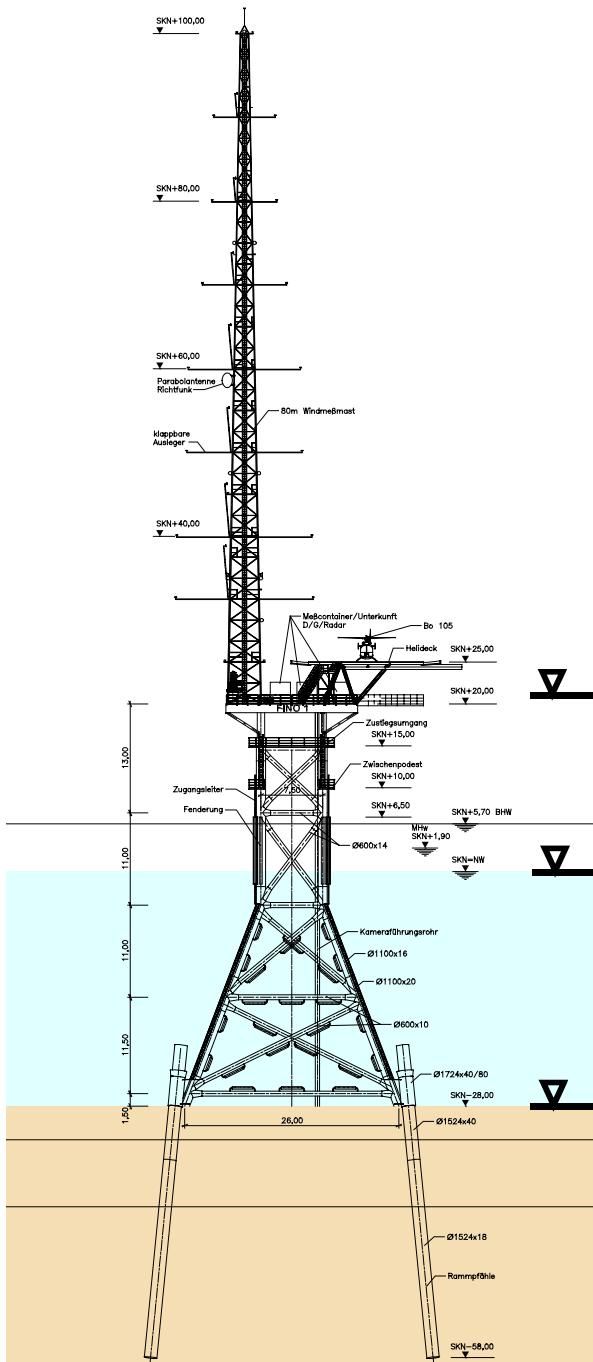


Abb. 6: In der schematischen Ansicht der FINO1-Plattform wird deutlich, dass fast die Hälfte des Bauwerkes unter der Wasseroberfläche verborgen ist. Mit 160 m, gemessen von der Unterkante der Rammpfähle bis zur Spitze des Windmessmastes entspricht, die Vertikal-Ausdehnung der Höhe des Hamburger Michel.

Fig. 6: The schematic view of the FINO1 platform shows that almost half of the structure is hidden beneath the water surface. With 160 m, measured from the bottom edge of the piles to the top of the met mast, its vertical extension corresponds to the height of the Hamburg St. Michael's cathedral.

with fender is mounted. Furthermore, brackets for measurement sensors and equipment are to be installed on the platform structure. The platform is equipped with four containers, one of which contains the measuring equipment and technical infrastructure and will be used as a working space, another serves as an emergency shelter. The other two containers contain the generator (diesel/generator set with batteries) and the radar equipment for ornithological investigations. Safety equipment consists of fire protection equipment, CO<sub>2</sub> extinguishing units, optical and acoustic alarm systems, portable fire extinguishers, fire blankets etc. A life raft can be ejected or lowered, life buoys, immersion suits, and lifejackets are also provided. The generators feature a watch-free operation and a maintenance interval of 4,500 h or 6 months, respectively.

## 2. Layout of the Technical Measurements

As DEWI is the sub-contractor for the installation and performance of the technical measurements, they will be described in more detail. Within the FINO-Borkum offshore platform project all relevant technical data for the utilisation of offshore wind energy shall be recorded. Besides the meteorological data - most important is of course a high performance wind measurement for different levels, as well as measurements of short time turbulence - there will be also an investigation of maritime data and analysis of the structural dynamics of the platform. Oceanographic data such as wave height, wave spectra, water temperature and water current are particularly interesting for the analysis of the combined wave and wind loads on the overall structure, and parameters as for example the temperature at sea surface also help to get a better understanding of the physical processes in the atmospheric boundary layer. The measurement results will be used to optimise the design of offshore foundations in the future. To be able to quantify the dynamic loads caused by wind and waves, the platform is equipped with sensors for recording accelerations and structural loads. The technical measurements described are carried out by DEWI in co-operation with the Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH), Hamburg. The layout for the measurements of structure dynamics has been done in coordination with the GigaWind research group (CRI).

### 2.1 Wind Measurements and Meteorological Data

There are already a number of offshore wind measurements world-wide, but up to now there have been neither high-quality long-term wind measurements using cup anemometers nor short-term turbulence data that can be recorded by

Plattform-Projektes sollen alle technischen Daten aufgezeichnet werden, die für die Nutzung der Offshore-Windenergie relevant sind. Neben den meteorologischen Daten - am wichtigsten ist dabei eine hoch auflösende Windmessung für verschiedene Höhen sowie die Messung kurzzeitiger Turbulenzen - werden auch maritime Daten erhoben sowie eine dynamische Analyse der Gründungsstruktur der Plattform durchgeführt. Ozeanografische Daten wie z.B. Wellenhöhen und Wellenspektren, Wassertemperatur und Strömung sind z. T. von besonderem Interesse für die Analyse kombinierter Wind- und Wellenlasten auf die Gesamtstruktur, Parameter wie die Temperatur an der Meeresoberfläche dienen auch dem tieferen Verständnis der physikalischen Vorgänge in der atmosphärischen Grenzschicht. Auf Grundlage der Messergebnisse soll die Entwicklung von zukünftigen Offshore-Gründungen optimiert werden. Zur Quantifizierung der durch Wind und Wellen hervorgerufenen dynamischen Belastungen ist die Plattform mit Sensoren ausgerüstet, die

*high-resolution ultrasonic anemometers. On the FINO research platform these measurements can be carried out for the first time up to a height of approx. 100 m. Fig. 3 and 4 shows the met mast equipped with measuring sensors. High-quality wind measurements in combination with other meteorological data, e. g. temperature and humidity gradients, are essential pre-requisites for a better understanding of the marine atmospheric boundary layer. On the other hand, the knowledge of the physical processes in this surface layer is important for the development of reliable prediction methods of offshore wind resources. Besides this more fundamental approach of the processes in the boundary layer, the data can immediately be used to validate and adjust existing wind*

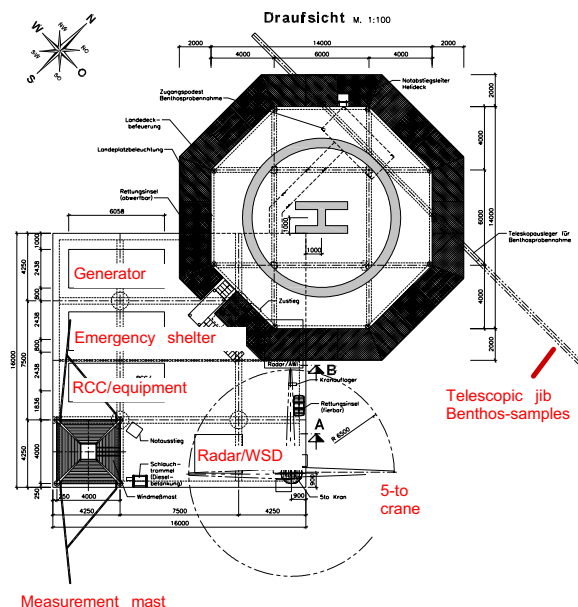


Abb. 7: Schematische Aufsicht auf die Plattform. Der Messgeräte-Container befindet sich in unmittelbarer Nachbarschaft zum Windmessmast. Die Notunterkunft ist für Situationen vorbehalten, in denen ein Verlassen der Plattform nicht mehr möglich ist. Im Energiecontainer versorgen ein 20kW (Dauerbetrieb) und ein 60 kW (Spitzenlast) Dieselgenerator die Plattform mit Strom. Unterhalb des Heli-Decks, das fast die gleichen Ausmaße wie die eigentliche Plattform besitzt, befindet sich eine Konstruktion zur Entnahme von Bodenproben, einem Teil des biologischen Forschungsprogramms.

Fig.7: Schematic view of the platform. The equipment container is immediately next to the met mast. The emergency shelter is only intended for situations when it is not possible to leave the platform. In the energy container a 20kW (continuous operation) and a 60 kW (peak load) diesel generator supply the platform with electricity. Below the heli pad which has almost the same size as the actual platform, a structure for taking soil samples as part of the biological research programme is installed.

Beschleunigungen und Materialdehnungen aufzeichnen. Die beschriebenen technischen Messungen werden vom DEWI in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg, durchgeführt. Das Programm zur Untersuchung der Strukturodynamik wurde eng mit der GigaWind Forschungsgruppe (CRI) abgestimmt.

## 2.1 Windmessungen und meteorologische Daten

Weltweit sind auch heute schon eine Reihe von Offshore-Windmessungen vorhanden, dennoch fehlen bisher sowohl aussagefähige Langzeit-Windmessungen mit Schalensternanemometern als auch kurzfristige Turbulenzdaten die sich mit hochauflösenden Ultraschall-Anemometern aufzeichnen lassen. Mit der Forschungsplattform FINO werden solche Messungen erstmals bis zu einer Höhe von etwa 100m durchgeführt werden. In Abb. 3 und 4 ist die Instrumentierung des Messmasten dargestellt. Windmessungen hoher Qualität im Zusammenhang mit weiteren meteorologischen Daten, wie z.B. Temperatur- und Feuchtegradienten, sind wesentliche Voraussetzungen für ein besseres Verständnis der marinen atmosphärischen Grenzschicht. Die Kenntnis der physikalischen Vorgänge in dieser bodennahen Schicht ist wiederum wesentlich für die Entwicklung zuverlässiger Vorhersagemethoden für das Offshore-Windpotential. Abgesehen von diesem eher theoretischen Ansatz der Vorgänge in der atmosphärischen Grenzschicht, können die Messwerte auch unmittelbar für die Validierung und Anpassung vorhandener Windpotential-Analysemethoden verwendet werden. Durch physikalische und statistische Modelle lassen sich Kurzzeit-Messungen vor Ort mit Langzeitmessungen an nahegelegenen Standorten an Land oder auf See korrelieren. Die Qualität von Langzeit-Windmessungen von Feuerschiffen kann anhand der Messungen der Forschungsplattform überprüft werden. Die erhaltenen Daten können so nicht nur die Vorhersagen in Bezug auf den konkreten Standort verbessern, sondern ermöglichen auch eine zuverlässigere Vorhersage der saisonalen und räumlichen Verteilung der Windverhältnisse in der gesamten Deutschen Bucht. Die bis zur Nabenhöhe zukünftiger Offshore-Windenergieanlagen gemessenen Turbulenzen der Windströmung und die damit verbesserte Kenntnis von im Offshore Bereich zu erwartenden Windlasten bilden eine der wesentlichen Eingangsparameter bei der optimalen Auslegung der zukünftigen Anlagengeneration mit 3-5 MW Nennleistung und Rotordurchmessern von mehr als 100m.

*resource analysis methods. By means of physical and statistical models short-term on-site measurements can be correlated with long-term data from nearby sites, whether on- or offshore. Long-term wind measurements from lightships can be quality checked against data of the platform measurements. The data recorded at the FINO offshore platform will not only improve the forecasts related to the specific site, but will also allow more reliable forecasts of the seasonal and spatial distribution of wind conditions in the area of the German Bight. The wind flow turbulence measured up to the hub height of future offshore wind turbines and the improved knowledge of wind loads to be expected in the offshore area are among the essential input parameters for an optimum design of the future generation of wind turbines with 3-5 MW rated power and rotor diameters exceeding 100 m.*



Foto: T. Neumann; DEWI

Abb. 8: In Bremerhaven wurde die Gründungsstruktur der FINO1-Plattform aus Stahlrohren zusammengeschweißt. Die seitlichen Rohre haben einen Außendurchmesser von 1,10 m, das Bauwerk hat eine Gesamthöhe von 42,50 m. Der gelb lackierte Bereich wird sich unter Normalbedingungen oberhalb des Wasserspiegels befinden, der schwarze Bereich in der Zone des Wellenganges. Die untere Pyramidenkonstruktion befindet sich ständig im Wasserkörper und ist durch einen aktiven Korrosionsschutz geschützt. Die Applikation der Dehnungsmessstreifen wurde teilweise parallel zu den Aufbauarbeiten durchgeführt. (Applikation durch HBM)

Fig. 8: In Bremerhaven the foundation structure of the FINO1 platform was welded together of steel pipes. The lateral pipes have an outer diameter of 1.10 m, the overall height of the structure is 42.50m. The part painted yellow is above sea level under normal conditions, the part painted black is in the wave zone. The lower pyramid structure is permanently under water and is provided with active corrosion protection. (application by HBM)



## 2.2 Aufbau des meteorologischen Messsystems

Das Messsystem für die Meteorologie besteht aus zwei voneinander unabhängigen Einzelsystemen. Die "langsameren" Daten wie z. B. 10min-Mittelwerte der Windgeschwindigkeit werden von einem Datenlogger (Ammonit) erfasst, während die Turbulenzdaten der Ultraschall-Anemometer auf ein schnelles Mess-System (HBM) übertragen werden. Beide Systeme bestehen aus mehreren Einzelgeräten, einerseits um die Vielzahl von Messgrößen zu erfassen, andererseits zur Erhöhung der Redundanz. Eine 2Mbit-Richtfunkstrecke ermöglicht über TCP-IP Datenverbindung den direkten Zugriff auf den Messrechner, das Messsystem und auf einzelne Sensoren. Auf diese Weise lassen sich Parameter landgestützt ändern und gezielte Messkampagnen ferngesteuert vorbereiten und durchführen. Der Online-Zugriff erhöht außerdem die Flexibilität bei der Datenabfrage. Auch wenn es vorgesehen ist, größere Datenmengen per Festplattentausch im monatlichen Abstand zu übertragen, so können die Ergebnisse einzelner Messkampagnen, aber auch Wind- und andere meteorologische Daten prinzipiell online erfasst werden. Datenspeicher Vor-Ort verhindern einen Datenverlust auch dann, wenn die im automatischen Betrieb befindliche Plattform für einige Monate weder per Funk noch per Schiff oder Hubschrauber erreicht werden kann.

## 2.3 Dynamische Analyse der Gründungsstruktur

Die Kräfte und daraus resultierenden Bewegungen an der Gründungsstruktur werden durch Beschleunigungssensoren auf drei Ebenen sowie durch Dehnungsmessstreifen an den in die "Pile-Sleeves" führenden Rohren und einer Diagonalstrebe gemessen. Die Beschleunigungsmessungen werden durch weitere Sensoren auf der Hauptplattform ergänzt. Mit diesen Messungen sollen unter anderem mathematische Modelle zur Ermittlung von Wellenkräften auf Stahlkonstruktionen im Wasserkörper überprüft und verbessert werden. Des Weiteren dienen die Messungen der Verbesserung der

- Ermüdungsberechnungen der Konstruktion
- Systemidentifikation zur Berechnung der Eigenmodes und -frequenzen
- Überwachung der Schadenserkennung
- Wechselwirkungen zwischen Meeresboden und Gründungsstruktur

Die strukturelle Belastung durch Wellen wird nach der Morison-Formel berechnet. Messungen der Beschleunigungs- und Belastungswerte der Struktur ermöglichen es, die Gültigkeit des Analysemodells zu überprüfen. Um eine geeignete

## 2.2 Structure of the Meteorological Measuring System

The meteorological measuring system consists of two individual systems independent of each other. The "slower" data, e.g. 10 min. mean values of wind speed are recorded by a data logger (Ammonit), whereas the turbulence data of the ultrasonic anemometers are transmitted to a fast measuring system (HBM). Both systems consist of several individual units, to be able to log the large number of measured data, but also to increase redundancy. The TCP-IP data line realised via a 2Mbit radio connection allows direct access to the measuring computer, the measuring system and individual sensors. In this way, parameters can be changed from the shore, and specific measuring campaigns can be prepared and carried out by remote control. Online access also increases the flexibility of data scanning. Although it is intended to transfer larger amounts of data by way of a monthly hard disk exchange, it will also be possible to have online access to the results of individual measuring campaigns or wind and other meteorological data. On-site data memories will prevent data loss even in the event the automatically operated platform should not be accessible by radio, ship or helicopter for several months.



Foto: T. Neumann; DEWI

Abb. 9: Einer der vier 38m langen Gründungspfähle befindet sich in der Rammführung und kann nun in das sogenannte "Pile-Sleeve" der Jacketstruktur, einer überdimensionalen Hülse, am Meeresboden herabgelassen werden.

Fig. 9: One of the four 38m long foundation piles is in the guiding device and about to be lowered down within the so-called "pile sleeve" into the bottom of the sea.



Abb. 10: Nach erfolgreichem Ausrichten des Rammpfahles kann dieser nun durch das Pile-Sleeve getrieben werden. Später wird der Pfahl im sogenannten "GROUTEN" mit Spezialbeton fest mit der Plattform verbunden. Am 4. Rammpfahl hat das DEWI in Zusammenarbeit mit der UNI Hannover und der UNI Oldenburg die beim Rammvorgang freigesetzten Schallenergien gemessen. In diesem weiteren vom BMU finanzierten Forschungsvorhaben sollen Verfahren zur Prognose der Lärmbelastung von Offshore-WEA, vor allem auch während der Bauphase, entwickelt werden.

Fig. 10: After having adjusted the driving pile successfully, it can now be driven through the pile sleeve. Later the pile will be firmly connected to the platform by grouting with special concrete. On the 4th driving pile the acoustic noise energy emitted during pile-driving has been measured by DEWI in co-operation with the universities of Hannover and Oldenburg. This is another research project supported by the ministry for the environment, in which methods for predicting the noise from offshore wind turbines, in particular during the construction phase, will be investigated.

### 2.3 Structural Dynamics of the Platform Foundation

The forces and resulting movements on the foundation structure are measured by acceleration sensors on three levels and by strain gauges on the pipes leading into the pile sleeves and on a diagonal strut. The acceleration measurements are supplemented by other sensors on the main platform. By these measurements the existing mathematical models for determining the wave loads on steel structures in the water are to be validated and improved. Furthermore the measurements serve for improving the

Lastkombination zwischen Wind und Wellen zu finden, ist die Kenntnis der Korrelation von ebenso großer Bedeutung wie die des Verhältnisses zwischen Windgeschwindigkeit und Wellenhöhe. Eine realistische Ermüdungsanalyse ist nur möglich, wenn das gesamte Lastspektrum bekannt ist. FE-Modelle (Rechenmodelle) der Struktur können in Kombination mit den Messergebnissen (Testmodell) verwendet werden, um die Systemparameter zu bestimmen (Steifigkeit, Dämpfung). Ein Ziel der ständigen Überwachung der Struktur ist es, die Schadenserkennung mit Hilfe relativ kleiner Geräte zu erforschen. Eine realistische Berechnung der Struktur ist nur möglich, wenn ein Modell zur Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen der Struktur und dem Meeresboden vorhanden ist. Die gewonnenen Messergebnisse werden es ermöglichen, vorhandene mathematische und physikalische Modelle zu validieren. Die insgesamt 64 Einzelmessungen werden vom schnellen Mess-System (HBM-MGC) aufgezeichnet. Vorgesehen ist eine Samplingrate von zunächst 10 Hz, nach Bedarf lässt sich diese jedoch auf höhere oder geringere Werte anpassen.

#### 2.4 Maritime Messungen

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) führt die Messungen der folgenden hydrographischen Parameter durch:

- Wasserstand (Tidemessungen)
- Strömung (Strömungsprofile durch Doppler-Methode und Wellen, AWAC / Nortec)
- Seegang (Richtungsboje/DATA WELL und WAMOS/OCEANWAVES)
- WAMOS (Wellenüberwachungsanlage mittels Radarmessungen)
- Wasserschichtung (Temperatur, Salzgehalt und weitere Größen in 6 verschiedenen Tiefen innerhalb der Wassersäule entlang eines straff gespannten Drahtes, Wassertiefe ca. 30 m).

Hauptziel der Messungen ist es, verlässliche Daten zur Untersuchung der Stabilität der Struktur und ihrer Belastung durch Oberflächenwellen und Strömungen zu sammeln. Darüber hinaus sollen die Messungen dazu beitragen, das hydrographische Netzwerk bestehend aus ozeanographischen Überwachungen und einigen festen Beobachtungsplattformen in der Deutschen Bucht zu verbessern. Zur Zeit unterhält das Netzwerk drei Plattformen, die kontinuierlich die Temperatur sowie den Salz- und Sauerstoffgehalt des Wassers messen. Je mehr ozeanographische Plattformen in der Deutschen Bucht vorhanden sind, desto besser wird man die tatsächlichen Umweltbedingungen in diesem Gebiet einschätzen können. Durch das FINO-Projekt wird die Basis der Betriebsdaten in der südwestlichen Ecke der

- *fatigue calculations of the structures*
- *system identification to calculate the eigenmodes and -frequencies*
- *monitoring of damage detection*
- *soil structure interaction*

*The structural loads of the waves will be calculated with the Morison-formula. The measurements of accelerations and stresses of the structure will allow to check the validity of the analysis model. To find a proper load combination of wind and waves the knowledge of the correlation is as important as that of the relation between the wind speed and the wave height. A realistic fatigue analysis is only possible if the total load spectrum is known. FE-models (calculation models) of the structure can be used in combination with the measurement results (test model) to identify system parameters (stiffness, damping). It is one aim of the permanent monitoring of the structure to investigate into the damage detection using relatively small equipment. A realistic calculation of the structure is only possible if a model exists to describe the interaction between the structure and the soil. With the results of the measurements it is possible to validate the existing mathematical and physical models. The altogether 64 individual measurements are recorded by the fast measuring system (HBM-MGC). A sampling rate of 10Hz has been chosen to begin with, it can, however, be adjusted to higher or lower values as required.*

#### 2.4 Maritime Measurements

*The Federal Maritime and Hydrographic Agency, Hamburg (BSH) is performing the measurements of the following hydrographic parameters:*

- *sea level (tide gauge)*
- *currents (current profiles by Doppler method and waves, AWAC / Nortec)*
- *waves (directional buoy/DATA WELL and WAMOS/OCEANWAVES)*
- *WAMOS (Wave Monitoring System by means of radar measurements stratification (temperature, salinity and oxygen at 6 depths throughout the water column along a tight wire, water depth: 30 m)*

*A main aim of the measurements is to collect reliable data to investigate the load and stability of the structure due to surface waves and currents. Furthermore these measurements will help to improve the marine network consisting of oceanographic surveys and a few fixed observation platforms in the German Bight. Presently the network maintains three platforms recording continuously temperature, salinity and oxygen. The more oceanographic platforms exist in the German Bight the better will be the assessment of the*

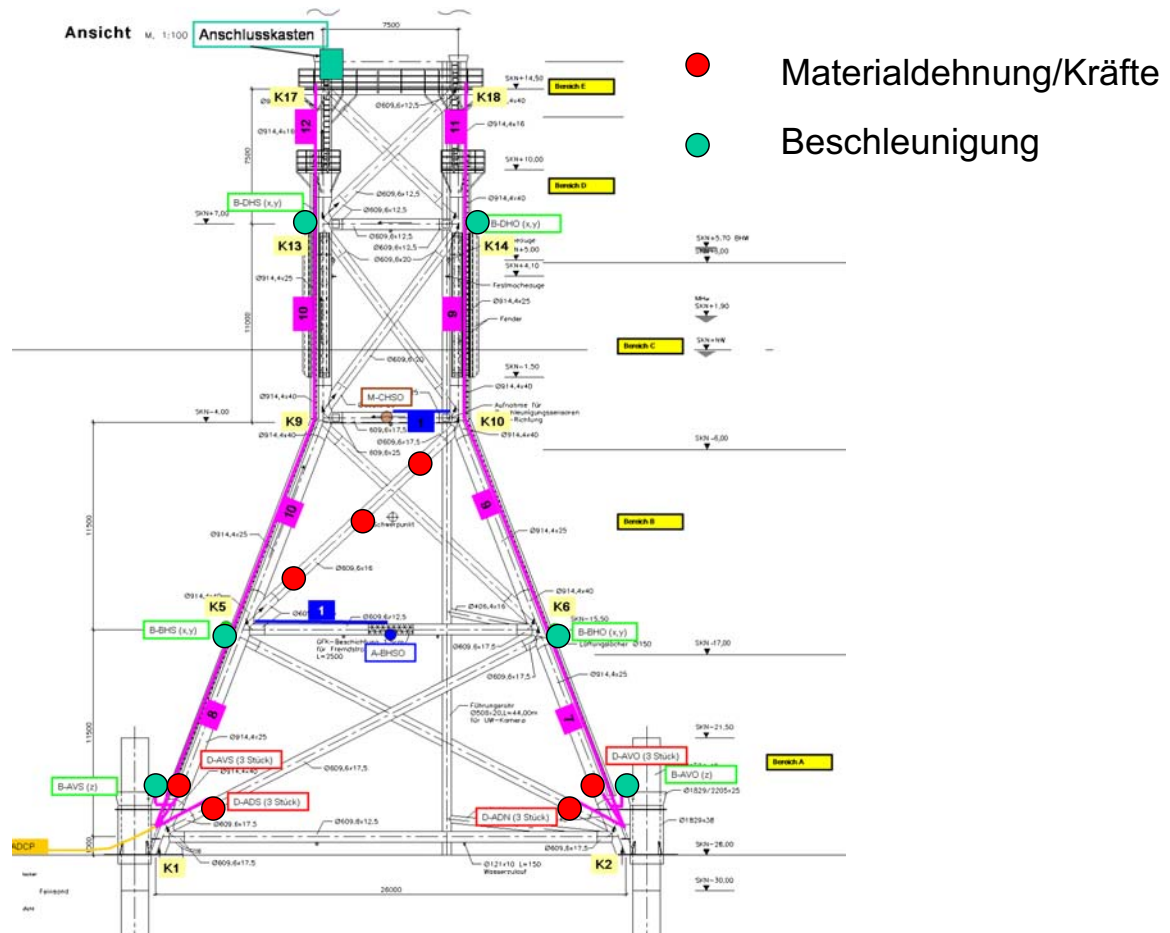


Abb. 11: Die Kräfte und daraus resultierenden Bewegungen an der Gründungsstruktur werden durch Beschleunigungssensoren auf drei Ebenen sowie durch Dehnungsmessstreifen an den in die "Pile-Sleeves" führenden Rohren und einer Diagonalstrebe gemessen. Die Beschleunigungsmessungen werden durch weitere Sensoren auf der Hauptplattform ergänzt.

Fig. 11: The forces and resulting movements on the foundation structure are measured by acceleration sensors on three levels and by strain gauges on the pipes leading into the pile sleeves and on a diagonal strut. The acceleration measurements are supplemented by other sensors on the main platform.

Deutschen Bucht verstärkt und damit insbesondere die Möglichkeit verbessert, die lokalen Abweichungen der gemessenen Parameter festzustellen. Ein weiterer Vorteil der FINO-Messungen ist die Möglichkeit, das gegenwärtig eingesetzte BSH-Modell zur Vorhersage von Wasserstand, Strömungen und Dispersion zu validieren. Frühere Validierungsversuche waren nur auf einen kurzzeitigen Vergleich zwischen Modell und Messungen bezogen.

### 3. Zusammenfassung

Die Plattform wird für die zukünftige Offshore-Entwicklung und eine Vielzahl von Nutzern von herausragender Bedeutung sein. Den Herstellern von Windenergieanlagen werden die erfassten Messwerte helfen, besser an Offshorebedingungen angepasste und dennoch kostengünstige Konstruktionen zu entwickeln. Messinstitute erhalten die Gelegenheit auf der Basis der Messungen und sich anschließender Forschungsprojek-

actual conditions in this area. The FINO project augments the basis of operational data in the south-west corner of the German Bight and improves in particular the capability to describe the local variability of the measured parameters. A further advantage of the FINO measurements is the opportunity to validate the operational BSH-model predicting water level, currents and dispersion. Previous validation attempts referred to short-term intercomparison between model and measurements only.

### 3. Conclusion

The platform will be of superior importance for the future development of the offshore wind energy and for a number of organisations. For the wind turbine manufacturers, the data recorded will help to develop designs which are better adapted to offshore conditions and still cost-effective. The measured data from the platforms and subsequent research projects will enable measuring

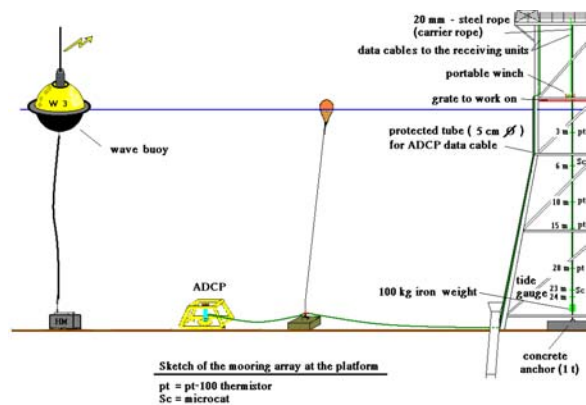


Abb. 12: Die hydrographischen Messungen werden durch verschiedene Sensoren für Temperatur, Salzgehalt und weiteren Parametern an einer Messkette realisiert. Eine Seegangsboje ermittelt Wellenhöhe, Richtung und Frequenz. Ergänzt wird die Bojenmessung durch ein WAMOS-Gerät, welches Seegangsspektren aus rückgestreuten Radarsignalen berechnen kann. Die Meeresströmung wird akustisch über ein ADCP am Meeresboden ermittelt.

Fig. 12: The hydrographic measurements are realised by various sensors for temperature, salinity and other parameters installed on a measuring chain. A wave buoy measures the height, direction and frequency of the waves. Additionally a WAMOS equipment will be provided which is able to calculate wave spectra by means of radar measurements. Current profiles are determined acoustically via ADCP on the seabed.

te, genauere Aussagen über das Offshore Windpotential zu treffen; eine entscheidende Grundlage zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines geplanten Offshore-Projektes. Dies kommt sowohl Planern aber auch Betreibern und Finanzierern zugute. Die ökologischen Messdaten der Plattform werden darüber hinaus Genehmigungsbehörden helfen, Langzeitauswirkungen des Offshore-Ausbaus besser zu bewerten. Institute, Normierungs- und Zertifizierungsstellen werden die Ergebnisse zur Überprüfung und Bewertung der aus anderen Bereichen abgeleiteten Anforderungen (Onshore-Windenergie und Offshore-Technik) nutzen können. Die vertieften Erkenntnisse auf dem Gebiet der Offshore-Windenergie werden dazu beitragen, die Nutzung von Windenergie auf See zu fördern und die gesteckten Ziele zu erreichen.

**Aktuelle Informationen zu diesem Projekt werden regelmäßig im Internet veröffentlicht:  
[www.fino-offshore.com](http://www.fino-offshore.com)**

*institutes to make more accurate statements on offshore wind resources; a decisive criterion for determining the economic feasibility of a planned offshore project. This will be of great benefit to project developers, but also to operators and banks. The ecological measuring data of the platform will help authorities to assess the long-term effects of the offshore use of wind energy. Institutes, standardisation and certification bodies will be able to use the results to cross-check and validate the requirements derived from other areas (onshore wind energy and offshore technology). The in-depth knowledge about offshore wind energy acquired as a result of the FINO measurements will help to promote the development of wind energy use at sea and to reach the politically desired goals.*

**Current information about the project is published regularly in the internet at:  
[www.fino-offshore.com](http://www.fino-offshore.com)**