

# HANSA

International Maritime Journal

Geplante Errichtung und Betrieb

## Forschungsplattform »FINO 2«

### 1 Einführung

Die Bundesregierung und das Land Mecklenburg Vorpommern haben zur Erforschung und Entwicklung umweltschonender Energieformen im Bereich der nichtnuklearen Energienutzung einen Schwerpunkt auf die Offshore-Windenergienutzung gelegt. Damit wurde eine Reihe von Forschungsvorhaben in den Ministerien initiiert. Eines dieser Vorhaben ist das Projekt FINO (Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee), in dem mit Forschungsplattformen die Basis für umfangreiche Messungen in der meteorologischen, hydrologischen, technischen und ökologischen Begleitforschung geschaffen wird. Zurzeit wird bereits eine Messplattformen »FINO 1« in der Nordsee, ca. 40 km nördlich von Borkum, betrieben. Die Errichtung einer zweiten Messplattform »FINO 3« in der Nordsee, ca. 75 km westlich von Sylt ist geplant.

Die Errichtung der Forschungsplattform »FINO 2« erfolgt im Rahmen eines Forschungsprojektes des Bundes und des Landes Mecklenburg-Vorpommern. Für die Projektpartner, bestehend aus dem Schifffahrtsinstitut Warnemünde e.V., der Gesellschaft für angewandte Ökologie (IFÖ), der Wind Consult GmbH, WIND-projekt, Ingenieur- und Projektentwicklungsgesellschaft mbH und der Inros Lackner AG bestand die Aufgabe, die Messplattform einschl. der erforderlichen Ausrüstungs- und Messtechnik zu errichten sowie die Datenerhebung durchzuführen.

Zurzeit erfolgt der Bau der Messplattform durch die Arbeitsgemeinschaft der Firmen F&Z Baugesellschaft mbH und Per Aarsleff A/S. Die Fertigstellung von »FINO 2« ist im Frühjahr 2007 geplant.

Verfasser

Torsten Retzlaff

### 2 Aufbau und Nutzung der Messplattform

#### 2.1 Geplante wissenschaftlich-technische Untersuchungen

Die Messplattform dient der Aufzeichnung, Beobachtung und Auswertung der klimatologischen Bedingungen in der Ostsee für die spätere Realisierung von geplanten

Offshore-Windparkanlagen. Zum nachhaltigen und umweltverträglichen Betrieb der geplanten großen Offshore-Windparks ist es erforderlich, Beobachtungen der Vogel-, Meerestier- und Pflanzenwelt durchzuführen. Zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs, auch bei der Errichtung und dem Betrieb der Offshore Windparkanlagen, werden entsprechende Schiffsbewegungen im angrenzenden Bereich registriert und ausgewertet.

Im Einzelnen ist die Durchführung folgender Messprogramme geplant, wobei

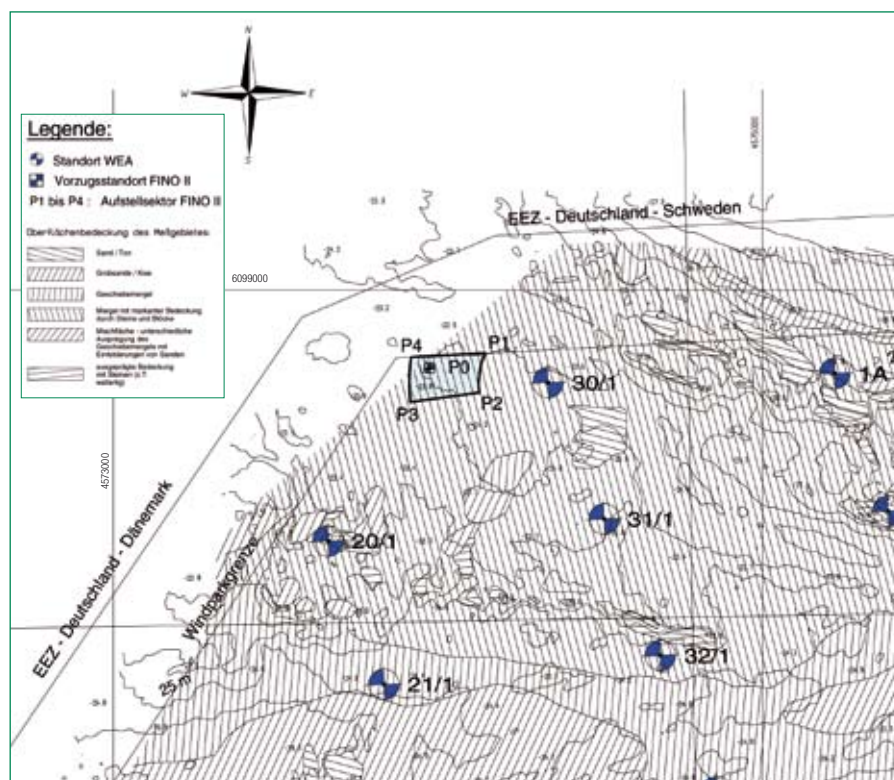


Abb. 1: Lage »FINO 2«

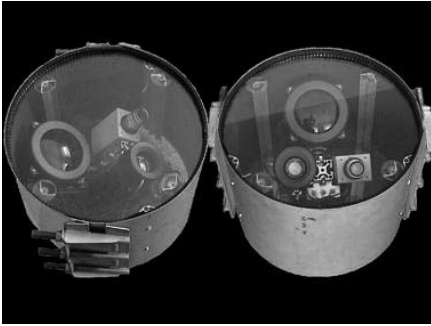


Abb. 2: Automatisches Kamerasystem

durch eine universelle Konzeption der Messplattform die Möglichkeit geschaffen wird, weitere Untersuchungen anderer wissenschaftlicher oder sonstiger Institutionen unterschiedlicher Fachgebiete auf der Messplattform durchführen zu können. Die Lebensdauer der Messplattform ist dabei für einen Zeitraum von zwanzig Jahren angesetzt worden.

### Windklimatologische Messungen:

Windklimatologische Daten bilden die entscheidende Grundlage für die wirtschaftliche Auslegung, Errichtung und den Betrieb von Offshore-Windenergieanlagen. Es ist geplant, folgende Messdaten auf der Plattform zu erheben: Windmessung in acht Höhen mit Schalenstern- und Ultraschallanemometern, Windrichtung in sieben Höhen, Lufttemperatur in fünf Höhen, Wasseroberflächentemperatur, Luftfeuchte in drei Höhen, Luftdruck in zwei Höhen, Niederschlag in zwei Höhen, Globalstrahlung, UVA- und UVB-Strahlung und Beschleunigung in zwei Höhen.

### Avifaunistische und meeresbiologische Beobachtungen

Sowohl im Vorfeld der Errichtung der Offshore-Windparkanlagen als auch im Rahmen des Umweltmonitorings eines stufenweisen Ausbaus der Windparkanlagen sind die Beobachtung und Wahrung der relevanten ökologischen Schutzgüter am Standort von besonderer Bedeutung. Folgende Untersuchungen sind hierfür auf »FINO 2« geplant: Untersuchung des Meeresbodens mit Bodengreifer und mobilen Unterwasservideoeinrichtungen, Aufwuchsuntersuchungen im Unterwasserbereich mit Spezialplatten zur zeitabhängigen Sukzession des Aufwuchses, Untersuchung der Nahbereiche der Unterwasserkonstruktion mit Tauchrobotern, Dokumentation der Zusammensetzung der Fischfauna durch online Unterwasservideoarbeiten (z. B. auch die Dokumentation von Verhaltensveränderungen der Fische durch Schalleinträge des Monopiles), Dokumenta-



Abb. 3: Tauchroboter

tion des Vogelzuggeschehens durch online Radarbeobachtungen und deren Erfassung in einer Datenbank, Erhebung von Daten zum Vogelschlag durch den Einsatz automatischer Videokameratechnik mit entsprechender Auswertetechnik und Dokumentation der Anwesenheit von Meeressäugern durch Unterwasserhydrophone.

### Verkehrstechnische Untersuchungen und Zustandsüberwachung der Messplattform

Das Erreichen einer verkehrstechnischen Verträglichkeit zukünftiger Windparks ist für deren Sicherheit und Akzeptanz von entscheidender Bedeutung. Wesentlich ist, dass durch die Errichtung der Windparkanlagen

keine Beeinträchtigungen oder Risiken für den vorhandenen Schiffsverkehr entstehen und somit das Risiko von Schiffskollisionen mit den Windenergieanlagen zum Schutz der Menschen und Umwelt im See- und Küstengebiet minimiert wird.

Eine Erhöhung der Verkehrssicherheit im unmittelbaren Bereich zukünftiger Windparks soll durch den Einsatz neuartiger technischer Gegebenheiten aus dem Bereich der Berufsschifffahrt realisiert werden. So erfolgt mit einem Automatischen Identifizierungssystem (AIS) auf der Messplattform eine automatische Identifizierung für die Berufs- und Transitschifffahrt und die Nutzung der technischen Infrastruktur für automatische Assistenzfunktionen. In Redundanz zum AIS System auf der Forschungsplattform erfolgt die Installation und der Test einer Radarantwortbarke. Alle Schiffsbewegungen im Seegebiet werden weiterhin mit Radartechnik erfasst und an Land ausgewertet.

Da die Forschungs- und Messplattform wie auch später die Windparks im unbemannten

Windbelastung (in Höhe +10,0 m)					
Wdh. Periode	1 Jahr	10 Jahre	20 Jahre	50 Jahre	100 Jahre
10 Minuten Mittel	29,1 m/s	33,1 m/s	34,3 m/s	35,8 m/s	36,8 m/s
3 Sec Bö	36,3 m/s	41,5 m/s	43,0 m/s	44,9 m/s	46,4 m/s
Wellenbelastung (Maximalbelastung)					
Wdh. Periode	1 Jahr	10 Jahre	20 Jahre	50 Jahre	100 Jahre
$H_{1/3} \sim H_S$	5,1 m	5,9 m	6,1 m	6,4 m	6,6 m
$H_{max}$	9,5 m	11,0 m	11,3 m	11,9 m	12,3 m
Wellenperiode	8,2 s	8,6 s	8,8 s	8,9 s	9,0 s
Wellenbelastung (Betriebsbedingung)					
Windgeschw. [m/s]	Wellenhöhe $H_s$ [m]	Periodendauer [s]	Häufigkeit [Stunden/Jahr]		
4 (und 0-3)	0,40 m	2,5 s	1904,7 Stk.		
16	3,10 m	6,0 s	555,0 Stk.		
Eisbelastung aus Eisgang – horizontal					
Belastungsart	statisch				
	918 kN				
Vereisung der Tragstrukturen – Eisdicke					
Höhe	bis +20 m NN				
	10 cm				
	über +20 m NN				
	3 cm				
Bewuchs der Tragstrukturen					
Wassertiefe [m]	0-0				
	50 mm				
	10-0				
	45 mm				
	20-25				
	65 mm				

Tabelle 1: Auswahl Belastungsgrößen »FINO 2«

Betrieb arbeiten, sollen Zustandsüberwachungen mit geeigneten Verfahren eines Telemonitorings konzipiert und getestet werden. Dazu sind zweckdienliche Zustandsensoren auszuwählen. Es wird eine permanente Online-Radar- und Videoüberwachung zum Eigenschutz der Anlage im Nahbereich angestrebt. Objekte im unmittelbaren Bereich des Planungsgebietes sind dabei automatisch zu erfassen, zu erkennen und zu identifizieren. Untersuchungsschwerpunkt neben der technischen Konzeptionierung der Datenerfassung bilden dabei auch die Wahl der geeigneten Übertragungsmethoden (z.B. Richtfunk, Broadcast, Inmarsat, Mobilfunk) sowie der Übertragungshäufigkeit.

### 2.2 Grundlagen zur Wahl und Bemessung der Tragstruktur

Wesentlich bei der Wahl der geeigneten Tragstruktur für die Forschungsplattform waren die frühzeitige Abstimmung der Randbedingungen der geplanten unterschiedlichen Daten- und Messwertmessungen sowie deren Datenfernübertragung an Land. Folgende Punkte waren dabei zu berücksichtigen:

- Ermittlung des Platzbedarfes der Mess- und Beobachtungstechnik
- geeignete Anordnung auf der Plattform / dem Windmessmast unter Ausschluss einer Beeinträchtigung untereinander
- Definition der zulässigen Belastungseinwirkungen auf die Messtechnik (zulässige Verformungen, Geschwindigkeiten und Beschleunigung des Messmastes)
- Unterscheidung der Belastungen der Messtechnik bei Extremereignissen offshore (z.B. 50-jährige Bemessungswerte am Standort) und beim »Normalbetrieb« zur vorgesehenen Messwertmessung.

So wurde u. a. in einem iterativen Abstimmungsprozess zur Entwicklung einer wirtschaftlichen Tragstruktur und Ausrüstungstechnik festgelegt, dass die auslegungsrelevante Datenfernübertragung an mindestens 300 Tagen (80 % Jahresnutzung) aufrecht zu erhalten ist, was am Standort einer Nutzung bis zu einer Windgeschwindigkeit von 16 m/s entspricht. Außerhalb dieser Periode erfolgt eine automatische Zwischenspeicherung der Daten zur späteren Datenfernübertragung.

Maßgebend für die Wahl und Bemessung der Tragstruktur sind ebenfalls die örtlich vorherrschenden Witterungsbedingungen, bestehend aus Wind, Wellen, Strömung und Eis. Da konkrete langjährige Messreihen insbesondere zu den Wind- und Wellenereignissen am Standort fehlen, mussten diese größtenteils durch Erfahrungs- und Beobachtungswerte vergleichbarer Regionen und

numerische Vergleichsrechnungen bestimmt werden. Eine Auswahl von gewählten bemessungsrelevanten Witterungsereignissen am Standort zeigt Tabelle 1.

Der Baugrund im Seegebiet »Kriegers Flak« ist als sehr wechselhaft und inhomogen zu bezeichnen. Schichtungen von Sanden, Beckenton, Geschiebemergel und Kreide in unterschiedlicher Konsistenz und Lagerungsdichte wechseln sich über kurze Entfernungen in ihrer Lage und Mächtigkeit ab. Am Erstellungsstandort »FINO 2« wurde mittels Aufschlussbohrungen und bohrlochgeophysikalischer Messungen das Vorhandensein von überwiegend halbfestem bis festem Geschiebemergel festgestellt. Da dieser schon nah an der Gewässersohle beginnt, konnte unter Berücksichtigung eines geringen Kolkzuschlags für die Tragkonstruktion die Ausführung von umfangreichen Kolkchutzmaßnahmen am Monopile entfallen.

Im Rahmen einer detaillierten Vorplanung erfolgte u. a. auch die Untersuchung weiterer

prinzipiell am Standort geeigneter Gründungsverfahren für die Forschungsplattform. So wurde gemäß Abb. 4 die Ausbildung einer Tripodgründung und gemäß Abb. 5 die Verankerung der Plattform im Baugrund mittels suction piles für »FINO 2« geprüft.

Im Vergleich der möglichen Gründungskonstruktionen hat sich die Monopile-Gründung als wirtschaftlichste Variante hinsichtlich der Onshore-Fertigung und Offshore-Installation für den Standort »Kriegers Flak« herausgestellt.

Die Monopile-Gründung weist im Gegensatz zu den aufgeführten Gründungsvarianten eine geringere Biegesteifigkeit auf. Damit treten größere Verformungen der Gesamtkonstruktion bei den örtlichen Lasteinwirkungen aus Wind, Welle, Eis und Strömung auf, die sich jedoch als verträglich mit der Nutzung als Messplattform erweisen. Ein Überblick über resultierende Verformungen und Bewegungen der Monopilekonstruktion von »FINO 2« bei verschiedenen Witterungsbedingungen gibt Tabelle 2.

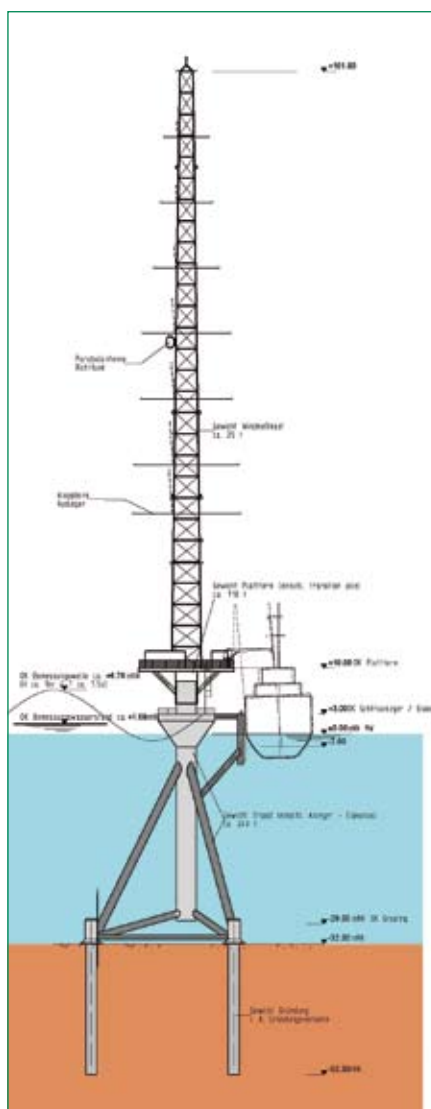


Abb. 4: Tripodgründung

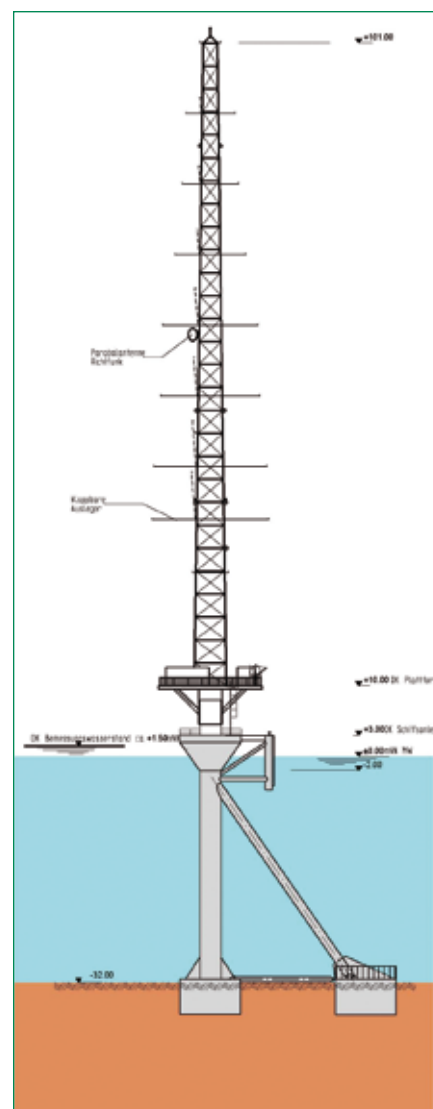


Abb. 5: Suction pile Verankerung





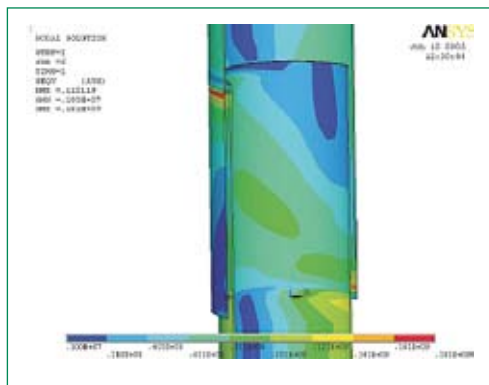


Abb. 7: Spannungsanalyse grouted connection

10 müNN, Kantenlänge ca. 12,20 m x 12,20 m mit Zwischenabstützungen als Raumtragwerk, Gewicht ca. 81 t),

- Schiffsanleger (Raumtragwerk auf 2,50 m üNN, bestehend aus vier Bootsanlegerkonstruktionen mit ca. 1,50 m x 2,0 m Podestflächen, Gewicht ca. 15 t)
- 90 m hoher Gittermast aus Rohrprofilen (Offshore auf Plattformdeck zu montieren, Grundfläche 4,50 m x 4,50 m, Fläche an der Spitze 100 m üNN: 0,90 m x 0,90 m, Gewicht ca. 54 t)

Die Berechnung der Haupttragstruktur erfolgte anhand eines FE Gesamtmodells. Die Modellbildung der Tragstruktur wurde mit einer einheitlichen Simulationsumgebung für die Lagerungsbedingungen im Baugrund und den Belastungen aus Wind, Welle, Eis und Strömungen durchgeführt. Die Auswertung der statischen und dynamischen Berechnungen und Modellanalysen erfolgte hinsichtlich der maximal zulässigen Verformungen und Beschleunigungen aus der Nutzung als Messplattform und den zulässigen maximalen Spannungsbelastungen des Materials mit entsprechenden Lebensdaueranalysen.

Hierbei ist festzustellen, dass bei der Dimensionierung der Tragstrukturen für die geplanten Nutzungsperioden der Windparkanlagen (Genehmigung in der AWZ erfolgt für 25 Jahre) die Bestimmung der Betriebsfestigkeiten aus den mittleren ständig wiederkehrenden Wind- und Wellenbelastungen maßgebend sind. Insbesondere diese Belastungen werden zurzeit ohne Vorliegen von konkreten Zeitreihenmessungen auf der sicheren Seite liegend abgeschätzt und können durch Vor-Ort-Messungen auf »FINO 2« maßgebend präzisiert werden.

Einen Schwerpunkt der baulichen Durchbildung und Strukturanalyse der Tragkonstruktion bildete die offshore auszuführende Verbindung zwischen dem Monopile und dem Transitionpiece mit zugehörigem Plattformdeck und Windmessmast. Die UK Transitionpiece liegt bei -5,0 m NN, die OK

Monopile bei 0,5 m NN. Beide Rohre werden offshore übereinander gesteckt und ausschließlich mit einer Beton (grout) Verbindung im resultierenden Zwischenraum von umlaufend 110 mm fest miteinander verbunden. Während der Anfangserhärtung des Grouts hat die Lastübertragung aus dem Transitionpiece in das Monopile über temporäre Halterungen und Installations-einrichtungen zu erfolgen. Die FEM Analyse dieser wichtigen Verbindungs-konstruktion zeigt Abb. 7.

### 2.4 Technische Ausrüstung der Messplattform

Die Ausrüstung der Messplattform besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- Korrosionsschutzsysteme (Korrosionsschutzbeschichtung und kathodischer Korrosionsschutz: Fremdstromanlage wie galvanische Anlage),
- Energieerzeugung (redundantes, baulich getrenntes Dieselaggregatsystem in Containerbauform auf dem Plattformdeck),
- Diesellagerbehälter (ca. 16 m<sup>3</sup> brutto) inkl. Befüllrichtung, Anordnung im Transitionpiece,
- plattformeigene Hubeinrichtungen (3,0-t-Hebegerät und Standortvorbereitung auf der Messplattform für 5-t-Kran),
- Messcontainer und Container zur Messdatensammlung (zzgl. aller Versorgungs- und Funktionsdaten der Plattform) und Weiterleitung per Datenfernübertragung (Richtfunk) mit USV/Notstromversorgung für den

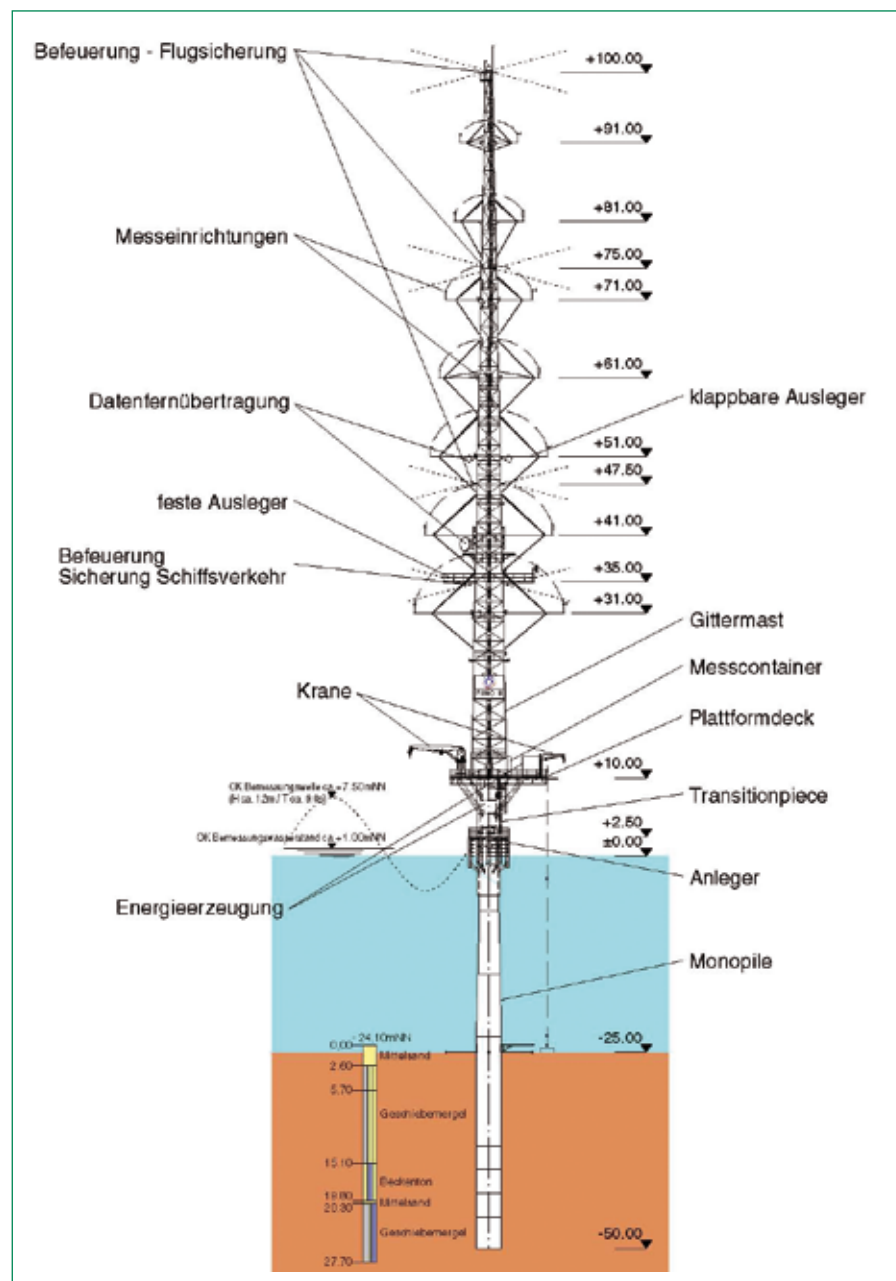


Abb. 8: Ansicht »FINO 2«





Abb. 9/10: Fertigung Monopile onshore / Rammung Monopile

- Notfallkanal/Notfunk sowie die Server,
- feste und klappbare Ausleger am Gittermast in unterschiedlichen Höhen und Auslegerlängen (inkl. Haltekonstruktionen, schwenkbaren Auslegern mit Flaschenzug, Stromversorgungs- und Verteilung und Datennetzverteilung) für die Mess-einrichtungen der Forschungsinstitute,
- Befuerung der Messplattform durch Hindernisfeuer zur Flugsicherung in drei Ebenen und Laternen zur Sicherung des Schiffsverkehrs (Nachtkennzeichnung) und farblicher Tageskennzeichnung an Gittermast, Plattformdeck und Transitionpiece,
- sonstige Ausrüstungen (wie Taucheraufstiegshilfe, Rettungseinrichtungen, Brand- und Explosionsschutz, Blitzschutz).

Die elektrotechnische Versorgung der

Plattform übernimmt ein 27-kVA-Diesel-Aggregat für die permanente Grundlastversorgung der Plattformverbraucher. Ein zweites Aggregat mit einer Dauerleistung von 70 kVA dient im Wesentlichen der Versorgung von zusätzlichen Verbrauchern (wie



Monopile

Kran, Hebezeuge und Sonderverbraucher über CEE-Steckdose) und wird bei Betreten der Plattform bei Bedarf über eine Synchronisierung als Parallelbetrieb zugeschaltet.

Gleichzeitig wird das zweite Aggregat auch für die Grundlastversorgung der Messplattform (durch einen periodischen, unterbrechungsfreien Wechsel mit dem ersten Aggregat) zur Verlängerung der kostenintensiven Wartungsintervalle beider Aggregate genutzt. So muss die Wartung beider Aggregate nur ca. jährlich erfolgen (Wartungsintervall je Aggregat ca. 4.500 Betriebsstunden).

Eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) gewährleistet die Sicherheit der jeweiligen Server in allen Messcontainern, inkl. der erzielten Messergebnisse.

Über Gebäudeleittechnik werden sämtliche Betriebszustands- und Störungsmeldungen der Elektro- und Tanktechnik zu Kontroll- und Wartungszwecken erfasst und über einen ca. viermonatigen Zeitraum auf der Plattform gespeichert. Zusätzlich können diese Betriebszustände jederzeit über die vorhandene Datenfernübertragung kontrolliert und abgerufen werden.

### 3 Schlussfolgerung

Festzustellen ist, dass bei der Planung und Errichtung von Offshore-Windparkanlagen doch noch erhebliches Neuland zu betreten ist. Dieses betrifft u. a. die Ermittlung der vorherrschenden Windbedingungen auf der Ostsee zur Abschätzung der zu erwartenden Stromerzeugung durch den Windpark, die Konkretisierung der statischen Bemessungsgrundlagen der material- und fertigungsintensiven Gründungskonstruktionen der Windenergieanlagen und die Sicherstellung der Umweltverträglichkeit der Windenergienutzung auf See. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ebenso die bisherige langjährige wirtschaftliche Nutzung des Seegebietes z. B. durch die Schifffahrt und Fischerei nicht beeinträchtigt bzw. gefährdet wird.

Durch die Errichtung der Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee können diese Aspekte und Fragestellungen interdisziplinär untersucht und beantwortet werden, um zur Umsetzung der geplanten verstärkten Nutzung der umweltschonenden Windenergie beizutragen. □

#### Verfasser

Dipl.-Ing. Torsten Retzlaff  
Inros Lackner AG  
Rosa-Luxemburg-Str. 16, 18055 Rostock,  
Torsten.Retzlaff@inros-lackner.de  
www.inros-lackner.de