

EINSATZ VON GEMSOGS AM MONOPILE VON FINO³

von

Jörg Gattermann¹

ABSTRACT

The main purpose to build the FINO3 research platform in the North Sea, located in the area where the DanTysk wind power plants are scheduled for construction, Nördlicher Grund, Sandbank 24 and OSB Butendiek, some 80km west of Sylt, is to facilitate the testing of products and processes in the area of maritime technology. In its capacity as a competence centre for the use of offshore wind power, the FINO3 research platform is to become a "technology centre at sea". The infrastructure that is temporarily required to implement the plan (substructure, platform, weather mast, technical equipment) will be manufactured by FuE-Zentrum FH Kiel GmbH. The construction and operation of the planned offshore wind power plants will place new demands on all parties involved in the process. The wind power plants and all other required technical facilities will have to be further developed or even completely redesigned for use in offshore areas. Operational concepts must be drawn up and models for financing designed. In contrast to the development of offshore wind power in other European countries, only deep-water sites in remote locations off the coast are eligible for such undertakings in Germany. However, at an international level, experience in the construction of offshore wind farms under such conditions is thus far not available. FINO3 research projects are expected to generate new and useful results with regard to foundation structures, wind and wave loads, lightning intensity and a number of other offshore-related parameters. This gives the FINO3 project enormous potential to promote the expansion of offshore wind power generation in the northern part of Germany.

1. EINLEITUNG

Da für Gründungen von Offshore-Windenergieanlagen (Offshore-WEA) mit küstenfernen Standorten derzeit kaum Erkenntnisse bezüglich des Tragverhaltens sowie der Lasteinwirkungen vorliegen, ist das Institut für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Uni-

¹ AOR Dr.-Ing., Institut für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig, Gaußstraße 2, 38106 Braunschweig, 0531-3912324, j.gattermann@tu-bs.de, www.IGB-TUBS.de

versität Braunschweig (IGB-TUBS) mit geotechnischen in-situ Messungen und deren Auswertung am Forschungsvorhaben FINO³ (3. Forschungsplattform in Nord- und Ostsee) beauftragt worden [STAHLMANN et. al, 2007], [GATTERMANN et. al, 2007].

Die Interaktionen zwischen dem Gründungselement und dem dynamisch beanspruchten Untergrund sind von wesentlicher Bedeutung für die Dimensionierung und Standsicherheit einer Windenergieanlage. Durch die hohen dynamischen Einwirkungen aus Wind- und Wellenbelastung unterscheidet sich die Interaktion zwischen Gründungselement und Boden deutlich von der an Land (Onshore) bzw. im Landnahen Bereich (Nearshore).

Als Gründungselement für FINO³ dient ein Monopile, welcher 30 m tief in den Meeresgrund einbindet. Dieser hat im Bereich der Einbindung in den Boden einen Durchmesser von 4,75 m und eine Wandstärke von 4,5 cm. Oberhalb des Meeresbodens bis hin zur Wasseroberfläche verjüngt sich der Monopile auf 3 m bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Wandstärke auf 7 cm.

Der Standort der Forschungsplattform befindet sich ca. 45 sm (80 km) westlich von Sylt und liegt in unmittelbarer Nähe zu den genehmigten Offshore-Windparks Sandbank Power, Nördlicher Grund, Dan Tysk und OSB Butendiek mit insgesamt ca. 320 Windenergieanlagen. Die bei FINO³ erzielbaren Erkenntnisse können sehr gut auf die dort geplanten Offshore-WEA übertragen werden.

Mit der Konzeption und Entwicklung sowie Bau, Errichtung und Betrieb der Forschungsplattform FINO³ wurde die Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH (FuE Kiel) beauftragt. Gefördert wird das Forschungsvorhaben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie durch das Land Schleswig-Holstein.

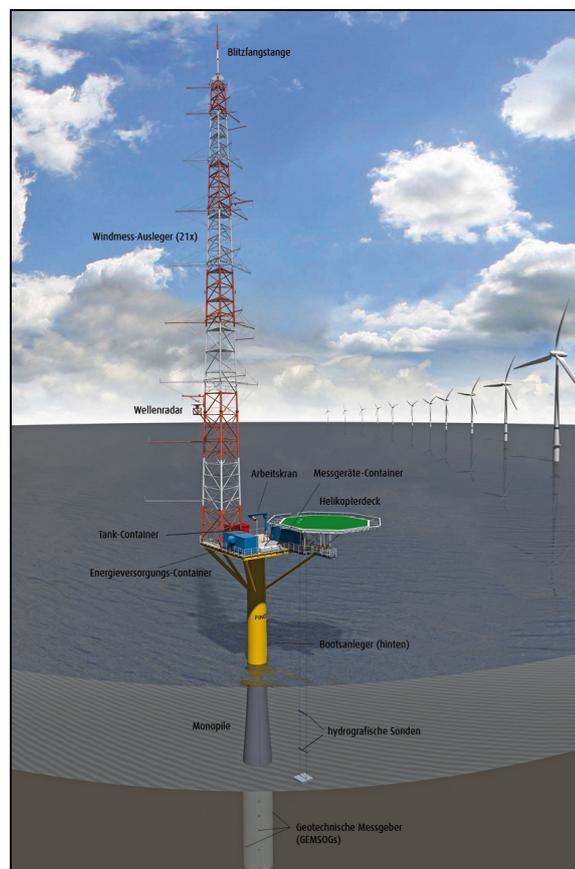


Abbildung 1: schematische Darstellung von FINO³ [FuE Kiel GmbH, 2008]

2. MESSTECHNIK

Die vorgesehenen Messungen am Monopile FINO³, d.h. an einem Pfahl mit großem Durchmesser, sollen unbekannte Zusammenhänge im Boden und in der Grenzschicht Monopile/Boden infolge der äußeren Lasteinwirkungen erklären. Um eine möglichst gute Bewertung der geotechnischen Einflüsse auf den Pfahl zu erhalten, ist eine Vielzahl an Messungen in unterschiedlichen Tiefenlagen erforderlich. Aufgrund dieser hohen Anzahl von Messgebern und deren Einbaudauer wurde vom IGB ein Konzept entwickelt wie dies am Besten zu realisieren ist. Das Hauptaugenmerk lag hierbei auf dem Schutz der Geber und Kabel vor den hohen Beanspruchungen der hohen Rammenergie von bis zu 800 kJ je Rammschlag, einer kurzen Applikationszeit und der Gewährleistung, dass Langzeitmessungen auch nach dem Rammvorgang möglich sein müssen. Es mussten bei der Anbringung der Messgeber am Monopile folgende Vorgaben eingehalten werden:

- Am Schaft des Monopiles durften Messgeber nur aufgeschweißt werden. Bohrungen waren aus statischen Gründen nicht erlaubt, da zu große Kerbspannungen im Stahl entstehen würden.
- Aus Kostengründen, gerade auf hoher See, musste eine möglichst kurze Installations- und Anschlusszeit der Sensoren eingehalten werden, da die Bereitstellung der benötigten Ausrüstung (Kran, Hebebühne, Drehung des Monopiles, ...) sehr kostenintensiv ist.
- Wasserdichtigkeit der Messgeber und der Verschaltung

Auf der Grundlage dieser Anforderungen wurde am IGB-TUBS eine geotechnische Messstation für Offshoregründungsstrukturen entwickelt. Diese wurde GEMSOGS getauft. Der Name ist abgeleitet von:

Geotechnical Measurement Station for Offshore Ground Structures bzw.
Geotechnische Mess-Station für Offshore Gründungs-Strukturen

Da der Monopile und damit auch die Messtechnik enormen Belastungen unterliegt, wurden besondere Forderungen an die Technik gestellt, welche im Folgenden aufgezählt sind [BERNDT et. al, 2008]:

- Robustheit der Messgeber und Sensoren gegenüber der hohen Rammenergie
- Sorgfältige Schweißarbeiten bei den Messstationen und Kabelschutzkanälen zur Gewährleistung der Wasserdichtigkeit und Verhinderung der Zerstörung der Kabel und Sensoren
- Sehr kurze Einbauzeiten für die gesamte Messtechnik → Vorkonfektionierung
- Installation an Land → Schutz beim Transport und Einbau
- Hochfrequente Messung während der Rammung (~ 5 kHz, danach 1 Hz)
- Möglichst geringe Stromaufnahme aller Messgeber sowie Datenlogger/PC
- Wartungsarm

Ein GEMSOGS besteht bei dem Projekt FINO³ aus einer Stahlplatte (Stahlgüte S355) mit den Abmessungen von 500 mm x 250 mm x 70 mm. Der GEMSOGS ist an der beim Rammvorgang in den Boden eindringenden Seite mit einem Rammschuh versehen, welcher um 45° abgeschrägt ist. Oberhalb des Rammschuhs ist ein um 5 mm vorstehender Räumler angeord-

net. Hiermit soll die Oberfläche des Totalspannungsgebers beim Eindringen in den Boden vor vorbeigleitenden Steinen geschützt werden (s. Abb. 2). Die dem Pfahl zugewandte Unterseite des GEMSOGS ist mit einem Radius von 237,5 cm ausgerundet. Dieser Radius entspricht dem Außenradius des Monopiles. So ist ein saftes Anliegen des GEMSOGS am Pfahlschaft sichergestellt.

Für die Integration der einzelnen Messgeber in die GEMSOGS wurden für jeden Geber Aussparungen in die Stahlplatte gefräst.

Abbildung 2 zeigt einen voll instrumentierten GEMSOGS zerlegt in dessen Einzelteile. Im Einzelnen wurden in den GEMSOGS

- Totalspannungsgeber,
- Porenwasserdruckaufnehmer,
- Temperaturlaufnehmer,
- Inklinometer,
- Dehnungsmessstreifen (biaxial),

und in den Kabelkanälen

- weitere Dehnungsmessstreifen (biaxial),
- sowie Beschleunigungsaufnehmer (biaxial)

eingebaut.

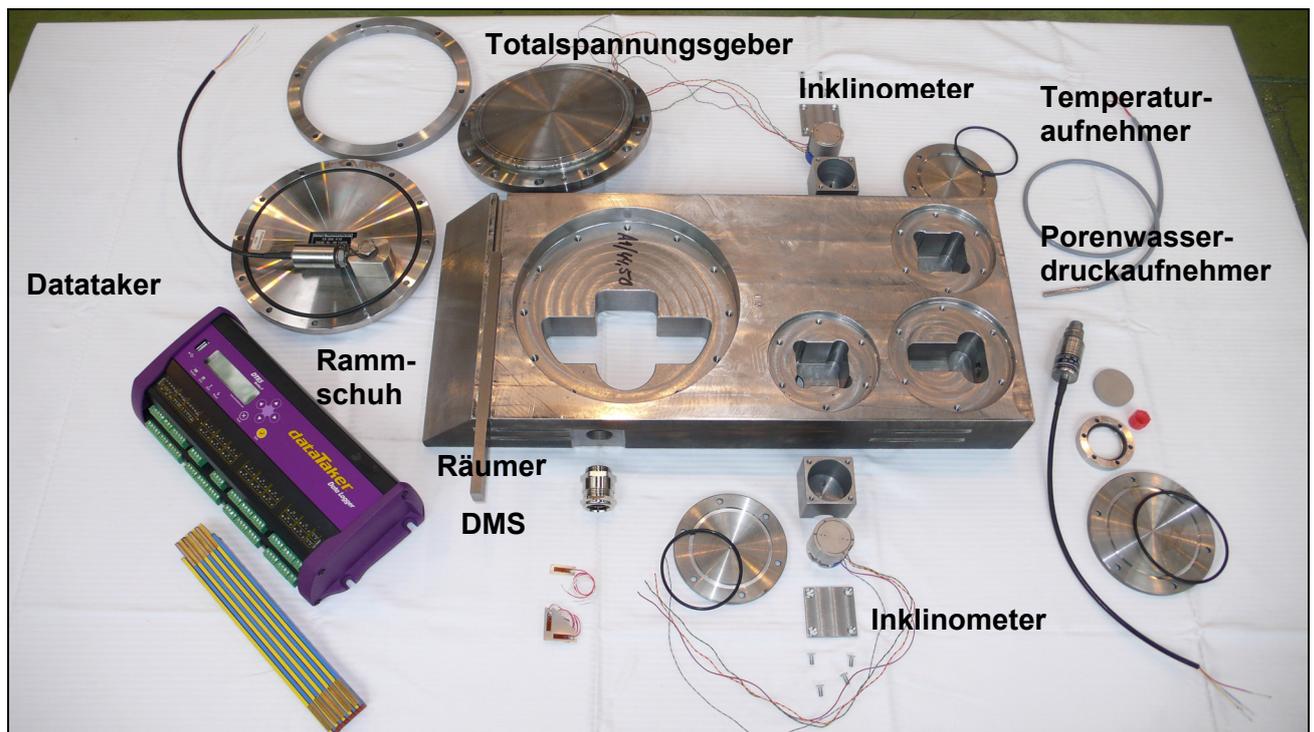


Abbildung 2: GEMSOGS vor dem Zusammenbau

Auf der nächsten Seite sind alle Messgeber übersichtlich mit ihrer Anordnung und Anzahl aufgeführt. Grün (oder grau) hinterlegt sind die Messgeber, die bei der Rammung hochfrequent abgetastet wurden [GATTERMANN et. al, 2009].

	Messstelle	Messebene	Messlinie	Tiefe [m u. SKN]	Ausrichtung nach	Totalspannungsgeber	Porenwasserdruckgeber	Inklinometer	Dehnungsmessstreifen	Temperaturlaufnehmer	Beschleunigung längs	Beschleunigung quer	Adern pro Messstelle	Kabellänge 12-adrig	Kabellänge 20-adrig	Kabellänge koaxial
	Adern					4	4	4	3	4	Koaxial					
Wasser	A1 03 (-04,50)	3	A1	-4,50	W			2		1			12	34,5		
	B1 03 (-04,50)		B1	-4,50	SW				2		1		6	34,5		34,5
	B2 03 (-04,50)		B2	-4,50	NO				2				6	34,5		
	B1 04 (-12,50)	4	B1	-12,50	SW				1	1		1	7	42,5		42,5
	B2 04 (-12,50)		B2	-12,50	NO				1				3	42,5		
	B1 05 (-21,50)	5	B1	-21,50	SW				1	1	1	1	7	51,5		103
	B2 05 (-21,50)		B2	-21,50	NO				1				3	51,5		
Boden	A1 06 (-26,50)	6	A1	-26,50	W	1	1	2					16		56,5	
	A2 06 (-26,50)		A2	-26,50	O	1	1						8	56,5		
	B1 06 (-26,50)		B1	-26,50	SW	1	1		1	1			15		56,5	
	B2 06 (-26,50)		B2	-26,50	NO	1	1		1				11	56,5		
	C1 06 (-26,50)		C1	-26,50	NW	1	1						8	56,5		
	C2 06 (-26,50)		C2	-26,50	SO	1	1						8	56,5		
	A1 07 (-30,50)	7	A1	-30,50	W	1	1	2					16		60,5	
	A2 07 (-30,50)		A2	-30,50	O	1	1						8	60,5		
	B1 07 (-30,50)		B1	-30,50	SW	1	1		1	1	1		15		60,5	60,5
	B2 07 (-30,50)		B2	-30,50	NO	1	1		1				11	60,5		
	C1 07 (-30,50)		C1	-30,50	NW	1	1						8	60,5		
	C2 07 (-30,50)		C2	-30,50	SO	1	1						8	60,5		
	A1 08 (-34,50)	8	A1	-34,50	W	1	1	2					16		64,5	
	A2 08 (-34,50)		A2	-34,50	O	1	1						8	64,5		
	B1 08 (-34,50)		B1	-34,50	SW	1	1		1	1			15		64,5	
	B2 08 (-34,50)		B2	-34,50	NO	1	1		1				11	64,5		
	C1 08 (-34,50)		C1	-34,50	NW	1	1						8	64,5		
	C2 08 (-34,50)		C2	-34,50	SO	1	1						8	64,5		
	A1 09 (-38,50)	9	A1	-38,50	W	1	1	2					16		68,5	
	A2 09 (-38,50)		A2	-38,50	O	1	1						8	68,5		
	B1 09 (-38,50)		B1	-38,50	SW	1	1		1	1	1	1	15		68,5	137
	B2 09 (-38,50)		B2	-38,50	NO	1	1		1				11		68,5	
	C1 09 (-38,50)		C1	-38,50	NW	1	1						8	68,5		
	C2 09 (-38,50)		C2	-38,50	SO	1	1						8	68,5		
	A1 10 (-44,50)	10	A1	-44,50	W	1	1	2					16		74,5	
	A2 10 (-44,50)		A2	-44,50	O	1	1						8	74,5		
	B1 10 (-44,50)		B1	-44,50	SW	1			1	1			11		74,5	
	B2 10 (-44,50)		B2	-44,50	NO	1			1				7	74,5		
	C1 10 (-44,50)		C1	-44,50	NW	1							4	74,5		
	C2 10 (-44,50)		C2	-44,50	SO	1							4	74,5		
	A1 11 (-50,50)	11	A1	-50,50	W	1	1						8	80,5		
	A2 11 (-50,50)		A2	-50,50	O	1	1						8	80,5		
B1 11 (-50,50)	B1		-50,50	SW	1			1	1	1		11		80,5	80,5	
B2 11 (-50,50)	B2		-50,50	NO	1			1				7	80,5			
C1 11 (-50,50)	C1		-50,50	NW	1							4	80,5			
C2 11 (-50,50)	C2		-50,50	SO	1							4	80,5			
B1 12 (-51,50)	12	B1	-51,50	SW				2				6	81,5			
B2 12 (-51,50)		B2	-51,50	NO				2				6	81,5			
Gesamt						36	28	14	24	11	5	3	428	2102	798	458

3. SCHRIFTTUM

Berndt, U.

Geotechnisches Messkonzept zur Bestimmung der Monopile/Boden-Interaktion bei der Forschungsplattform FINO3, Diplomarbeit am IGB-TUBS, unveröffentlicht, 2008

Berndt, U.; Bruns, B.; Gattermann, J.; Stahlmann, J.

Erfolgreicher Einsatz der GEMSOGS bei der Rammung des Monopiles von FINO3, Messen in der Geotechnik 2008, 23.-24.10.2008 in Braunschweig, Mitteilungen des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig, Heft 87, S. 255-274, 2008

Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH

Prospekt FINO³, Eigenverlag, 2008

Gattermann, J.; Bruns, B.; Fritsch, M.

FINO3 – Geotechnische Messungen am Monopile, Pfahl-Symposium 2007, Fachseminar am 22./23.02.07 in Braunschweig, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig, Heft 84, S. 207-223, 2007

Gattermann, J.; Berndt, U.; Bruns, B.; Stahlmann, J.; Bachmann, J.

FINO3 - Geotechnische in situ Messungen und ergänzende Modellversuche zu Grenzzustandsbetrachtungen für die Gründung von Offshore-Windenergieanlagen, Tagungsband des 6. Kolloquium 'Bauen in Boden und Fels', Technische Akademie Esslingen, 22.-23.01.2008, ISBN 3-924813-71-X, S. 513-524, 2008

Gattermann, J.; Berndt, U.; Bruns, B.; Fischer, J.; Zahlmann, J.; Stahlmann, J.

Rammbegleitende Messung des Monopiles von FINO³, Pfahl-Symposium 2009, Fachseminar am 19./20.02.09 in Braunschweig, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig, Heft 88 S. 277-302, 2009

Stahlmann, J.; Gattermann, J.; Kluge, K.

FINO3 – Forschungsansätze für Offshore Windenergieanlagen, Pfahl-Symposium 2007, Fachseminar am 22./23.02.07 in Braunschweig, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig, Heft 84, S. 225-246, 2007