Offshore-windpark GWS Offshore NL1

Oprichtings- en Constructieplan



GLOBAL WIND SUPPORT

Januari 2009



project: GWS Offshore NL1

Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

Inhoudopgave

Bladzijde

1	INLE	EIDING	3
2	AFK	ORTINGEN	4
3	WIN	DPARK EN BESCHRIJVING ONDERDELEN	5
	3.1	LOCATIE VAN DE SITE	5
	3.2	ALGEMENE OPZET VAN HET WINDPARK	6
	3.3	ELECTRISCHE INFRASTRUCTUUR	6
	3.4	OFFSHORE WEC	6
		3.4.1 Gondel met rotorbladen	6
		3.4.2 Toren	12
		3.4.3 Fundering	12
	3.5	TRANSFORMATORSTATION	13
	3.6	VERLICHTING	13
4	CON	STRUCTIEPLAN	14
	4.1	ALGEMEEN	14
	4.2	WINDTURBINES	14
		4.2.1 Oprichtingssite	14
		4.2.2 Bodemonderzoek	14
		4.2.3 Installatie van de fundering	15
		4.2.4 Aanleg kabels	15
		4.2.5 Windturbines	16
	4.3	TRANSFORMATORSTATION	17
		4.3.1 Draagconstructie	17
		4.3.2 Bovenste module	17
	4.4	ONDERZOEK NAAR DE AANVAARDBAARHEID VAN DE	
	INSTALLATIE		18
	4.5	LIJST MET TEKENINGEN	18
	4.6	PLANNING	18

BIJLAGEN

Bijlage A: TEKENINGEN	
Tekening	Titel
1.03.01.001.1201.00.00	Overzicht WEC's
5.03.01.002.1201.01.00	Transport WEC's
5.03.01.001.1203.00.00	Installatie WEC's middels een jack- up hefsysteem
5.03.01.001.1201.00.00	Plaatsing pijlers op ponton
5.03.01.001.1204.00.00	Installatie transformatorstation
5.03.01.001.1202.00.00	Installatie fundering draagconstructie
GA	Platform BARD Offshore NL 1

Bijlage B: Planning

Bijlage C: Rapport over aanvaringsberekenig vor het offshore windpark met Tripile fundering



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

1 INLEIDING

In dit document vindt u een beschrijving van het oprichtingsplan voor het **GWS Offshore NL1** offshore windpark.

Genoemd windpark ligt circa 66 km uit de kust en circa 64 km ten noorden van de waddeneilanden AMELAND en SCHIERMONNIKOOG in de Noordzee.

De waterdiepten variëren van 32 tot 35 m.

Het windpark bestaat uit 80 5 MW WEC's van het type VM (BARD). ledere WEC is geplaatst op een speciaal daarvoor ontworpen fundering bestaande uit drie in de bodem geheide pijlers en een daarop geplaatste fundatieconstructie («Tri-pile» concept).

De totale capaciteit van het windpark is 400 MW. Daarnaast wordt een transformatorstation geïnstalleerd. De WEC en de transformator worden binnen het park op elkaar aangesloten met behulp van 33 kV kabels die tezamen een electrische infrastructuur binnen het park vormen. Het transformatorstation is middels 150 kV offshorekabels verbonden met het vasteland. Alle kabelverbindingen zullen ondergronds gelegd worden.

Dit project wordt ontwikkeld op initiatief van Global Wind Support GmbH.

Een samenwerkingsverband voor de oprichting van dit windpark zou kunnen bestaan uit ABB b.v. (ABB), Gebrüder Neumann, SIF, Weser Wind en BARD Engineering GmbH.

De taakverdeling is als volgt:

ABB	Levering en installatie van elektronische onderdelen
WW/SIF	Levering van onderdelen voor de fundering
GN	Offshore installatiewerkzaamheden
BE	Levering van de WEC's



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

2 AFKORTINGEN

ABB	ABB b.v. company
BE	BARD Engineering GmbH company
GN	Gebrüder Neumann company
GWS	Global Wind Support GmbH
kV	kilovolt

- MER
- Milieu Effect Rapportage Sif Group company SIF
- Weser Wind company WW
- WΤ windturbine
- WEC wind energy converter



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

3 WINDPARK EN BESCHRIJVING ONDERDELEN

3.1 LOCATIE VAN DE SITE

Bovengenoemd offshore windpark is gesitueerd in het zuidelijke deel van de Noordzee, circa 66 km uit de kust en circa 64 km ten noorden van de waddeneilanden AMELAND en SCHIERMONNIKOOG in de Noordzee.



De hoekpunten van het windpark staan weergegeven in tabel 3.1

Tabel 3.1 – hoekcoördinaten van het windpark.

Punt	Noorderbreedte	Oosterlengte
N (I)	687196,0877	5996661,3778
N (II)	687203,0000	5996218,0000
NO	684265,0000	5993693,0000
NW	688668,0000	5988105,0000
ZO	692897,0000	5988250,0000
ZW	689492,5710	5997049,7696

Het windpark bevindt zich buiten mogelijke militaire gebieden, zeezand- en schelpenwinningsgebieden, baggerstortgebieden en scheepvaartroutes. Het windpark wordt niet begrensd door scheepvaartroutes (ofwel de grenzen van het windpark komen niet overeen met scheepvaartroutes).

De waterdiepten variëren van 32 tot 35 m.



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

3.2 ALGEMENE OPZET VAN HET WINDPARK

Het offshore windpark bestaat uit 80 WEC's; iedere WEC is geplaatst op een fundering bestaande uit drie pijlers en een fundatieconstructie. In het centrum van het windpark bevindt zich een transformatorstation.

ledere WEC heeft een capaciteit van 5MW, wat neerkomt op een totale capaciteit voor het gehele windpark van 400 MW.

De WEC's worden in een rij opgesteld en staan op ongeveer 850 tot 900 m van elkaar. De rijen lopen niet volledig parallel, maar de opstelling van de WEC's binnen het windpark is gebaseerd op de meest gunstige werkomstandigheden ten opzichte van de wind. Het windpark heeft een levensduur van ongeveer 20 jaar.

3.3 ELECTRISCHE INFRASTRUCTUUR

De WEC's zijn onderling met elkaar verbonden middels 33 kV zeekabels en vormen diverse clusters. leder cluster is aan het transformatorstation gekoppeld, dat een vastelandverbinding heeft via een 150 kV zeekabel. Nadat de kabels zijn gelegd, worden deze tot maximaal 1 m in de bodem begraven.

3.4 OFFSHORE WEC

Een offshore WEC bestaat uit drie onderdelen:

- 1. Gondel, generator en rotor met bladen.
- 2. Toren
- 3. Fundering.

3.4.1 Gondel met rotorbladen

BARD VM WEC heeft een capaciteit van 5MW. Deze turbine met een variabel toerental is speciaal ontworpen voor offshore toepassing.

Het is een "upwind" turbine met een pitch regelsysteem voor de rotorbladen, actieve pitch en een driebladige rotor. De rotordiameter van de turbine is 122 m. De ashoogte is 90 m boven LAT.



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

Technische gegevens

Algemene gegevens

Nominale netspanning (el.)	
Rotordiameter:	122 m
Nominale snelheidsbereik rotor:	
Windsnelheid bij start:	
Nominale windsnelheid	
Windsnelheid bij uitschakeling:	. 25m/s (10 mingemiddelde)
Max. windsnelheid voor onderhoud en rotoraanpassing:	
Richtlijnen voor vaststelling parameters:	GL, DIBt
Omgevingstemperatuur, bij werking (meer dan 23° C deellast):	van -15°C tot +45°C
Omgevingstemperatuur, buiten werking:	van - 20°C tot +55°C

Rotor

Regeling afgegeven vermogen: spoed van de rotorbladen en regeling rotatiesnelheid

Rotorblad type:	BARD 61
Materiaal:	GFK
Rotorblad lengte:	59,4 m
Aantal rotorbladen:	
Bereik pitch van de rotorbladen bij normale werking:	0° - 90°
Pitch van de rotorbladen bij noodstop:	93°
Cone hoek:	3,5°
Inclinatie as:	5°
Materiaal: rotoras:EN	I-GJS-400-180-LT

Tandwielkast

Type:	. tandwielkast met 2 planetaire tandwielen en 1 traps-ringschijf
Nominaal vermogen:	
Nominale torsie:	
Tandwieloverbrenging:	



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

Remsysteem

Primair veiligheidssysteem:	eenbladige regulering
Secondair veiligheidssysteem:	eenbladige regulering
Rotorrem:	ven, hydraulisch aangedreven

Generator en converter

Туре:	.dubbelgevoede asynchrone generator
Generator nominaal vermogen (el.):	
Nominale voltage stator:	
Nominale voltage rotor:	
Nominale stroom stator:	
Nominale stroom rotor:	
Bereik nominale rotatiesnelheid:	
Veiligheidsklasse generatorkast:	
Veiligheidsklasse omhulsel contactring:	IP 23
Convertertype:	IGBT-converter
Vermogensverhouding generator cos φ:	

Machinekast

Туре:	.geïntegreerde rotorbladkast met gedempte tandwielkast
Materiaal:	EN-GJS-400-180-LT

Stroomafwaartse positionering (downwind)

Туре:	. 2-delig roterend verbindingsstuk met elektromotorische aandrijving
Aandrijving:	
Remmen:	12 remschrijven voor de remschijf, bevestigd op de toren

Gewicht

Rotor:	. 145 t
Gondel:	. 250 t



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

Lijst hoofdbestanddelen

Onderdelen	Hoeveelheid	Leverancier	Туре
Rotorblad	3	BARD Emden Energy	BARD 61
Lager rotorblad	3	Liebherr	KOD2208VJ801-000/9699125-01
Pitchsysteem		Lust DriveTronics	Pitch system BARD VM
Rotoras	1	SHW	Z-98.2-NA.00.00.01-A
Draagconstructie machine	1	SHW	Z-98.2-MT.00.00.01-A
Lager rotor	1	FAG	F-809766.M32BX
Holle buis rotor	1	Coswig	Z-98.2-TS.RW.00.01-A
Passers rotorremmen	2	Svendborg	BSAK 3000
Tandwielkast	1	Winergy	PZFB 3681
Generator	1	Winergy	JPWA-630LR-06
Converter	1	Winergy	2W6R-60696-953
Lager slinger	1	Liebherr	KOD2908VJ801-000/9699129-01
Rem slinger	12	Svendborg	BSAB 120
Tandwielkast/aandrijving slinger	5	Bonfiglioli Deutschland	717 T4 / BN 160 L6 FD
Gondelkast	1	BARD	Z-98.2-GV.00.00.01-A
Besturingssysteem	1	KK-electronic	BARD 5M - 050496
Fundering toren tot 23,5 m	1	SIF	206028 / K01
Toren vanaf 23,5 m	1	Ambau	Z-98.2-RT.00.00.01-A



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

Beschrijving veiligheidssysteem

Eenbladige pitchsystemen

Het pitchsysteem voor de bladen wordt elektronisch aangedreven; ieder blad is uitgerust met een DC-motor met een tandwielkast. Ingeval van normale werkomstandigheden vindt aandrijving plaats door energie uit het eigen convertersysteem.

Ingeval in een noodsituatie geremd moet worden, zullen de aandrijvingen, die van energie voorzien worden door de eigen accu's of electrische infrastructuur, de rotorbladen in de vaanstand zetten.

Eenbladige pitchsystemen, die afzonderlijk van elkaar functioneren, dienen als primaire en secondaire remsystemen.

Schijfrem

Een mechanische schijfrem, die zich aan de sneldraaiende zijde bevindt, functioneert als een supplementair veiligheidssysteem dat enkel gebruikt wordt ingeval van storing teneinde de rotor af te remmen voor onderhoudswerkzaamheden. Daarnaast treedt de schijfrem in werking wanneer een noodknop geactiveerd wordt op het moment dat een snelheidslimiet overschreden wordt.



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

Basiswerkingsschema



Fig. 1: Werkingsschema



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

3.4.2 Toren

Туре:	. stalen toren
Aantal torendelen:	
Diameter onderkant/bovenkant stalen toren:	5,5 m / 4,5 m
Lengte van de toren:	63,3 m

De toren bestaat uit twee delen. Deze is opgebouwd uit een conische cilinder met een diameter van 4,5 m aan de bovenkant en een diameter van 5,5 m aan de onderkant, waar de toren is bevestigd aan de fundering. De lengte van de toren bedraagt 63,3 m. Het verbindingsstuk tussen de toren en de centrale colon van de fundering is een flensverbinding met opstaande rand, bevestigd met bouten of pennen.

De toren kent een beschermd intern volume en overeenkomstige ventilatiegangen. De corrosiebescherming van de toren is een systeem, dat doorgaans offshore wordt toegepast, dat een gegoten zinken laag bevat, gecombineerd met drie verflagen 500 micron Hempel High Protect 3565, zowel van binnen als van buiten, of gelijksoortige producten van andere fabrikanten.

De toren is ontworpen op basis van de GL-richtlijnen «Rules and guidelines for offshore WEC», en, waar van toepassing, op basis van de algemeen gehanteerde internationale criteria, zoals API/AISC, etc. Het ontwerp is gebaseerd op de gegevens aangaande milieuomstandigheden afkomstig van openbaar toegankelijke и-bronnen; deze gegevens zullen in de ontwerpfase in detail worden geverifieerd en bestudeerd door een derde partij.

3.4.3 Fundering

De fundering bestaat uit drie in de bodem geheide palen, de diameter van de palen is 3 m, wanddikte is variabel, bovenop de pijlers wordt een fundatieconstructie geplaatst. De fundatieconstructie bestaat uit buizen, die in de pijlers bevestigd zijn, verbindingsstukken (pylons) en een centrale colon met aan de bovenkant een diameter van 5,5 m. De pijlers worden geplaatst in de hoeken van een denkbeeldige gelijkzijdige driehoek. De afstand tussen de assen van de pijlers is 20 m.

Alle hulpconstructies (ladders, trappen en vrachtplatforms) bevinden zich op de fundatieconstructie. In de pijlers zit een speciaal gat; dit gat is ontworpen als doorgang voor het aansluiten van de kabels. Op de pijlers bevinden zich geen andere constructies. Als elektrochemische bescherming wordt gebruik gemaakt van corrosiebescherming in de vorm van opgedrukte stroom.

Voor bodemerosiebescherming wordt gebruik gemaakt van passieve bescherming. Hiermee wordt voorzien in specifieke duurzame oplossingen en verplicht toezicht. Indien het bodemmateriaal dieper is dan 4 m (1,3 x pijlerdiameter), zal gebruik worden gemaakt van steenbestorting.

Naast de toepassing van elektrochemische corrosiebescherming, zullen de oppervlakken die boven het water uitkomen worden gecoat door een systeem bestaande uit een zinklaag,



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

gecombineerd met drie verflagen 500 micron Hempel High Protect 3565, zowel van binnen als van buiten.

De fundering wordt ontworpen op basis van de DNV OS-J-101 criteria, GL voorschriften en, waar van toepassing, op basis van de algemeen gehanteerde internationale criteria. Het ontwerp is gebaseerd op de gegevens aangaande milieuomstandigheden afkomstig van openbaar toegankelijke и-bronnen; deze gegevens zullen in de ontwerpfase in detail worden geverifieerd en bestudeerd door een derde partij.

Het ontwerp gaat uit van de conservatieve benadering van milieuomstandigheden; sommige indexen, waaronder de bodem bijvoorbeeld, zijn gebruikt in de vorm van numerieke reeksen of als groep indexen om de impact van iedere index op de fundering te bestuderen. Voor het definitieve ontwerp van de funderingen zal een uitgebreid grondonderzoek plaatsvinden waarbij ieder afzonderlijke locatie zal worden onderzocht op bodemgesteldheid volgens de door de certificerende instantie gestelde eisen.

3.5 TRANSFORMATORSTATION

Het transformatorstation bestaat uit twee modules: bovenste en onderste modules. De onderste module bestaat uit pijlers die in de zeebodem geheid worden en een draagconstructie die op de pijlers geplaatst wordt. De bovenste module bestaat uit gesloten blokken, die naast elkaar geplaatst worden en onderling aan elkaar gekoppeld worden via elektrische kabels. Alle elektrotechnische en distributieapparatuur, wordt, net als de hulpsystemen, binnenin de hiervoor genoemde blokken aangebracht.

De bovenste en onderste modules zullen worden ontworpen, gefabriceerd en geïnstalleerd volgens de algemeen gehanteerde offshore criteria.

3.6 VERLICHTING

Het windpark zal worden voorzien van bebakening voor de scheepvaart en luchtvaart volgens de vereisten van IALA, onder andere bestaande uit op de turbine en de toren te installeren verlichting, alsmede misthoorns met het vereiste bereik. De verlichting wordt in een afzonderlijk document gedetailleerd beschreven.



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

4 CONSTRUCTIEPLAN

4.1 ALGEMEEN

Het constructieplan heeft betrekking op:

- a) installatie van funderingen, torens en 80 WEC's;
- b) installatie van een draagconstructie voor het transformatorstation en van het transformatorstation zelf.

De installatiemethoden zullen in de onderstaande paragrafen gedetailleerd beschreven worden.

4.2 WINDTURBINES

4.2.1 Oprichtingssite

De gondels en hub met bladen van de WEC's zullen rechtstreeks door de fabrikant op de oprichtingssite in Emden (Duitsland) worden afgeleverd, funderingspijlers worden aangeleverd vanuit Roermond of Antwerpen, fundatieconstructies vanuit Bremerhaven. Indien nodig zal worden gezorgd voor tussentijdse opslagruimte in de havens van Eemshaven of Emden. De pijlers zullen rechtstreeks op zeepontons met verankering bij de oprichtingssite worden afgeleverd.

Wanneer de afzonderlijke turbines getest zijn, worden deze op speciale zeepontons gezeevast, samen met de torens en hub met bladen van de WEC's, die eveneens gezeevast worden. De zeepontons transporteren de vracht rechtstreeks aan de offshore oprichtingssite.

4.2.2 Bodemonderzoek

De eerste taak die offshore moet worden verricht is bodemonderzoek. Rondom de pijlers van de WEC's en het transformatorstation zullen bodemmonsters genomen worden middels een vaartuig of hefsysteem (Jack-up). De resultaten van het bodemonderzoek zullen worden gebruikt voor uitvoerige ontwerp- en heianalyses.



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

4.2.3 Installatie van de fundering

() GIOBAL

Voor de installatie van de pijlers wordt gebruik gemaakt van een kraanvaartuig (of gelijksoortig) dat is voorzien van ankers met touwen en/of een dynamisch positioneringsysteem. Daarnaast is het vaartuig uitgerust met heiapparatuur voor de piles (voor deze piles – heihamer MHU 800 S of gelijksoortig), en een mal voor het positioneren en het heien van de drie piles. Deze mal heeft als functie om de piles tijdens het heien omhoog te houden en exact de berekende afstand tussen de assen van de piles te behouden.

Hierbij wordt de volgende werkvolgorde aangehouden:

- Het kraanvaartuig wordt op een bepaalde plaats gepositioneerd, al dan niet met behulp van een sleepboot.

- Het vaartuig wordt middels ankers of hefsystemen (Jack-up) op een bepaalde plaats vastgelegd.

- De kraan installeert een mal op het achtersteven van het vaartuig.

- Vereist wordt dat voor de mal gebruik gemaakt wordt van hydraulische spanklemmen.

 Een pijler wordt van de ponton gehesen en met een hydraulische spanklem in een mal bevestigd. De pijler door het eigen gewicht wordt diverse meters in de zeebodem geheid.

- Een schokdempende heimuts en de heihamer zelf worden op de bovenkant van de pijler geïnstalleerd.

- De pijler wordt tot op de berekende diepte in de bodem geheid. De overige pijlers worden op dezelfde wijze in de bodem gedreven.

- De mal wordt door de kraan verwijderd.

- De kraan hijst de fundatieconstructie op de pijlers, zodanig dat de buizen in de pijlers zakken.

- Speciale hydraulische Jack-ups of staalplaten zorgen ervoor dat de fundatieconstructie op de juiste positie terecht komt.

- De resterende ruimte tussen de buizen en pijlers van de fundatieconstructie worden gedicht met een speciaal betonmengsel.

Als het hiervoor genoemde betonmengsel deels uitgehard is, gaat het kraanvaartuig verder om elders fundering te installeren.

4.2.4 Aanleg kabels

Nadat de fundering geïnstalleerd is, kunnen de kabels gelegd worden.

Werkvolgorde:

- Een speciaal vaartuig voor de aanleg van kabels brengt de kabel die in de zeebodem gelegd wordt op de minimaal toegestane afstand van de fundering.

- Ingeval de kabels in de war liggen dienen deze met behulp van een zeeploeg uit elkaar te worden gehaald.

- Er moet gezorgd worden voor een vrijhangende lus.

- Een onderwaterrobot (ROV) verbindt het kabelvrije uiteinde met het touw van de lier dat vanaf de zeebodem door de pijler heen gaat.

- De lier trekt de kabel via het vrije uiteinde in de pijler.

Voor de kabelaanleg kunnen duikers of andere speciale onderwatergereedschappen ingezet worden.



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

4.2.5 Windturbines

De turbines, die vooraf voorbereid en uitgetest zijn, worden op de oprichtingssite afgeleverd door zeepontons. De turbines worden in verticale positie gehesen met behulp van een kraanvaartuig dat is voorzien van een hefsysteem (Jack-up). Dit gebeurt als volgt:

- het kraanvaartuig wordt vastgelegd op een plaats nabij een fundering, waarbij rekening gehouden wordt met de windrichting;

- zeepontons met windturbines, torens, De gondels, hub en bladen worden "upwind" aan het kraanvaartuig geankerd;

- eventuele onderdelen worden aan boord van het kraanvaartuig geladen;

- een E-module (module voor elektrotechnische apparatuur) wordt op een vooraf voorbereide plaats op de bovenkant van de fundering geplaatst;

- de toren wordt in delen geïnstalleerd. Verbindingsstukken met opstaande randen worden middels bouten verzekerd.

- een windturbine wordt geïnstalleerd;

- een as met bladen wordt met neus op de wind aan de windturbine bevestigd;

- de kraan is vrij en kan verplaatst worden.

Zodra de hiervoor beschreven werkzaamheden uitgevoerd zijn, kan het kraanvaartuig verder naar de volgende plek om gelijksoortige werkzaamheden te verrichten.



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

4.3 TRANSFORMATORSTATION

4.3.1 Draagconstructie

De onderste module van het transformatorstation is een stalen constructie bestaande uit pijlers die in de zeebodem geheid worden en een fundatieconstructie die daar bovenop geplaatst wordt. De bovenste module wordt bovenop de onderste module geplaatst en bestaat uit blokken met elektrotechnische apparatuur.

De bovenste en onderste modules zullen worden ontworpen, gefabriceerd en geïnstalleerd volgens de algemeen gehanteerde offshore criteria.

De pijlers van 250-300 t elk en een fundatieconstructie die in totaal 500-600 t weegt zullen door een gecertificeerde producent gefabriceerd worden en op de offshore oprichtingssite worden afgeleverd.

De onderste module wordt als volgt geïnstalleerd:

- het kraanvaartuig wordt in de juiste ligging geplaatst en verankerd;

- de kraan installeert een mal op het achtersteven van het vaartuig;

- een van de pijlers wordt van het ponton gehesen en in een mal van een hydraulisch spanapparaat bevestigd;

- de pijler wordt middels een hydraulische heihamer die aan de kraan bevestigd zit tot de vooraf bepaalde diepte in de bodem geheid.

De overige pijlers worden op dezelfde wijze geïnstalleerd.

4.3.2 Bovenste module

De bovenste module bestaat uit een aantal gesloten blokken waar alle benodigde apparatuur in zit, inclusief transformators, schakelkasten, filters, besturingssystemen, etc. De modules wegen afzonderlijk niet meer dan 400 t.

De bovenste module wordt als volgt in verticale positie gehesen:

- de blokken worden afgeleverd op de offshore oprichtingssite op speciale zeepontons;

- de zeepontons worden met de neus op de wind aan het kraanvaartuig bevestigd, waarmee de onderste model geïnstalleerd is;

- de kraan laadt de blokken een voor een van het ponton op de fundatieconstructie en plaatst deze op de funderingen die vooraf op de constructie geïnstalleerd zijn;

- ieder blok wordt middels daarvoor bestemde bevestigingselementen op zijn fundering bevestigd of worden vastgelast;

- nadat alle blokken opnieuw geladen en bevestigd zijn verlaat het kraanvaartuig het installatiegebied;

- het in verticale positie hijsen wordt afgemaakt door speciaal daarvoor samengestelde teams die de apparatuur vervolgens rechtstreeks op het substation aansluiten.



project: GWS Offshore NL1 Project-uitvoerende organisatie: Global Wind Support GmbH

4.4 ONDERZOEK NAAR DE AANVAARDBAARHEID VAN DE INSTALLATIE

Nadat alle bovenstaande werkzaamheden zijn uitgevoerd en alle kabels zijn gelegd (kabels tussen de WEC's, kabels tussen WEC en het transformatorstation en kabels tussen het transformatorstation en het vasteland), zal het gehele windpark operatief zijn en commisioned.

4.5 LIJST MET TEKENINGEN

Bijlage A bevat alle belangrijke tekeningen.

4.6 PLANNING

De planning voor de werkuitvoering is bijgevoegd. In de bijgevoegde planning is geen rekening gehouden met mogelijke vertragingen door weersomstandigheden.

BIJLAGEN

Bijlage A: TEKENINGEN <u>Tekening</u> 1.03.01.001.1201.00.00 5.03.01.002.1201.01.00

5.03.01.001.1203.00.00 5.03.01.001.1201.00.00 5.03.01.001.1204.00.00 5.03.01.001.1202.00.00 GA <u>Titel</u> Overzicht WEC's Transport WEC's Installatie WEC's middels een jack- up hefsysteem Plaatsing pijlers op ponton Installatie transformatorstation Installatie fundering draagconstructie Platform Bard Offshore NL 1

Bijlage B: Planning Bijlage C: Rapport over aanvaringsberekenig vor het offshore windpark met Tripile fundering **BIJLAGE A**

TEKENINGEN

.

Overzicht WEC's



						-				
				Oberfla Surfac	echenangaben e Specificastio	nach DIN IS01302 n per DIN IS01302	Massstab/ Scale 1:500	Ma	sse/Mass	Form A3
				Allgem Genera	eintoleranzen (l Tolerances p	nach DIN ISO2768 er DIN ISO2768 m	Material			
1 111	1		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	System	UGS 4		Benenung/Title			
				CAD	Datum	Name	1 BA	RD WFA V	М	
		_		Bearb. Bearb. Gepr. Check	12.09.06	Groh	Ho	lland		
	Buchst. Rev.Ltr.	Aenderung/Revision	Datum Date Name	Stndr.						
	BAR	BARD Eng Domshof 21,	i neering Gmb 28195 Bremen	H H H H H H H H H H H H H H H H H H H	drawing we re case of issue of tered trade m allowed to co	eserve all rights, of letters patent ark. py our drawings	Zeichnungs-Nr./Drawing No. 1.03.01.00)1.1201.00.0	0	Blatt/Sh 1/1
	100	2		or to gi	ve if to third p tten approval.	Derson without	Baugr./Assembly	Datai:1.03	.01.001.1201.00.00	

Transport WEC's



<u>TEKENINGEN</u>

Installatie WEC's middels een jack- up hefsysteem



01302 01302	Massstab/ Scale 1:1000	Masse/Mass	Format A3
)2768m 768 m	Werkstoff/ Material		
	Benenung/Title Transp	ort WEA	
ghts, atent	Zeichnungs-Nr./Drawing No. 5.03.01.001.120	Blatt/Shee 1/1	
out	Baugr./Assembly	Datai: 5.03.01.001.1201.00.00	

Plaatsing pijlers op ponton



Installatie transformatorstation



501302 501302	Massstab/ 1:1000 Masse/Mass	Format A3							
02768m ?768 m	Werkstoff/ Material								
	Benenung/Title Instalation Plattform								
ights, batent wings	Zeichnungs-Nr./Drawing No. 5.03.01.001.1204.00.00	Blatt/Shee 1/1							
out	Baugr./Assembly Datai: 5.03.01.001.1204.00.0	0							

Installatie fundering draagconstructie







5. INSTALL SECOND AND THIRD PILE





2. INSTALL GUIDANCE FRAME AT STERN



6. PILES IN SOIL DUE TO OWN WEIGHT





3. INSTALL FIRST PILE IN FRAME





7. DRIVE PILES IN SOIL WITH HAMMER

Ш





4. PILE JUST ABOVE SEA FLOOR



8. HAMMER GOES PARTLY THROUGH FRAME

				Oberfi Surfac	sochernangebras ta Specificant	in such DH ISO1003 Ion per DH ISO1003	Secretal/	%	Massa/Mass	Format		
		-	F	Allpun	alistolaranza al Tolarances	nach DH 1502768 per DN 1502768 m	Warkstall/					
				Syntax	UEL 4	1 40	Banarszo/Titla					
				00	Detue	Pass		INST	ALLATION WEA			
1					12.89.66	6-4	1	CC1 1		TCODU		
				64]	SELI	SELF ELEVATING PLATFO			
	Andereg Retain	Date:	See.	16.								
BARD Engineering Gabii Dembri 31, 2005 Irean				aine in aine i	a drawing we case of lease stared trade t allowed to	reasons all rights, and latturs patent mark. copy our drawings	ر به جسداد 7 5	03.01.001	.1202.00.00	1/1		
16	Y.		_	er to g	tra IT to Mirt	person without	Bauge./Ascanbi	6	Datab 2 81 8000 82			

General Arrangement Plan

Platform Bard Offshore NL 1

Top View (Topside) Scale 1:250





Top View (Substructure)











BIJLAGE B

Planning

Onderdeel	Tijd	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
	ĥ												
Installatie fundering	22	T		i i					i	<u> </u>	i		
Positioneren schip en jack-up	2												
Installeren 1ste paal	2												
Installeren 2de paal	2												
installeren 3de paal	2												
plaatsen hamer en heien 1ste paal	4			_								_	
plaatsen hamer en heien 2de paal	4												
plaatsen hamer en heien 3de paal	4												
voorbereiding tripile montage	2												
liften en plaatsen tripile	2												
arouten tripile	2												
uitharden	4												
Installeren toren, gondel en rotor	22												
Positioneren schip en jack-up	2												
Liften toren	3												
Monteren toren	3												
Gondel liften en plaatsen	4												
Rotor met 3 bladen liften en plaatsen	10										1.11		
	_												

	Global Wind Support GmbH	Projekt: GWS Offshore NL 1
GLOBAL WIND SUPPORT	Otto – Lilienthal Str. 21 28199 Bremen Germany	Tijdsoverzicht: Installatie fundering, toren, gondel en rotor
		Datum: 05.01.2009

BIJLAGE C

Rapport over aanvaringsberekenig vor het offshore windpark met Tripile fundering

Collision Calculation for the Offshore Wind Turbine Foundation Tripile by BARD Engineering GmbH

Hamburg University of Technology Institute for Ship Structural Design and Analysis

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Eike Lehmann

Translation of the original German report

by Florian Biehl February 28, 2006

Contents

1	Intr	oduction	1
2	Sim	ulation Model	2
	2.1	Offshore Wind Turbines	2
	2.2	Colliding Ship	3
	2.3	Collision Simulation	3
	2.4	Evaluation of Results	4
	2.5	Risk Analysis	5
3	Ana	lysis Results	7
	3.1	Simulation Time	7
	3.2	Collision Scenario	7
		3.2.1 Collapse Mode of the Support Structure	8
		3.2.2 Damage to the Ship	8
		3.2.3 Collision Force and Energy	10
	3.3	Nacelle and Tower Top Bearing	10
4	Sum	nmary and Conclusions	12

1 Introduction

BARD Engineering GmbH is currently planning to erect and to operate an Offshore Wind Farm about 90 km off the German Island Borkum within the German Exclusive Economical Zone (EEZ) within the North Sea. During a first stage, 80 offshore wind turbines will be erected. The area is about $59 \ km^2$.

An approval procedure according to Art. 2, Seeanlagenverordnung, is pending at Federal Maritime and Hydrographic Agency.

Possible collisions of ships and offshore wind turbines constitute a considerable threat to the environment. Partial damage of the ship is possible, and there could be a leakage of operating supply items or cargo (e. g. oil or chemicals). To quantify the probability of occurrence and the consequences, applicants are required to submit risk analyzes on potential ship collisions and to verify safety case procedures. According to the risk level, additional risk minimizing measures can be imposed.

On behalf of BARD Engineering GmbH a new foundation type ("tripile") was designed for the planned 5 MW OWT. A collision simulation with the model of a 160,000 tdw single hull oil tanker was conducted for this foundation type. Apart from actual traffic this ship type can be regarded as design ship: In an analysis done by the Federal Environmental Agency on preventive action in events of failure in offshore wind parks, a single hull oil-tanker of 160,000 dwt was proposed to be the design ship in accidental limit state (ALS). (6).

A statement on collision safety of the foundation type tripile shall be given here.

On the basis of long time experience in ship safety and simulation of collision and other nonlinear phenomena (7; 8; 9; 10; 11), and in collision safety of offshore wind turbines (1), a collision of a sea ship with an offshore wind turbine can be simulated and evaluated at Institute for Ship Structural Design and Analysis of Ham burg University of Technology.

2 Simulation Model

The mathematical model is based on the study "Calculative Evaluation of Offshore Wind Energy Plant-Foundations in Collision with Ships" conducted at Hamburg University of Technology.

Within this study, scenarios of collisions of ships with offshore wind turbines were analyzed by means of the finite element method. Structural models of three OWT-types (Monopile, Tripod, and Jacket) and four ship types were made. Calculations were performed with the finite element program LS-DYNA.

Methods for modeling and calculating the different scenarios were based on two already completed research programs that aimed at increased ship safety (7; 8). Collision and grounding phenomena were examined by calculations and large scale tests.

2.1 Offshore Wind Turbines



Figure 1: Model of an OWT including loads and model parameters

BARD Engineering GmbH submitted design drawings (revision 0, dated October 2005) and a soil profile typical for the area which was based on actual CPT-tests. A structural model consisting of the OWT itself and the surrounding soil was created based on this information. Then a static pre-calculation imposing dead loads (mainly gravity loads) onto the structure was performed:

1: In contrast to the calculations the research report (1) was based on for this calculation a soil model consisting of nonlinear elastic springs (py-curves) (5) was used.

- 2: Gravity load for support structure and OWT: Gravity load is calculated from material properties and data by the nacelle manufacturer.
- 3: Working load as point loads and moments according to data by the nacelle manufacturer.

2.2 Colliding Ship

At this point only one simulation had to be performed. Therefore, a ship exhibiting a 160,000 tdw single hull oil carrier exhibiting potentially high risk had been chosen.

Two cargo holds had been modeled for finite element analysis. The rest of the ship had been idealized as rigid bodies connected to the discretized sections. Discretizing more parts would only have an effect on total calculation time not increasing accuracy of the results.

	Data		View
Single Hull Carrier 160,000 tdw	Length Breadth Height Draught Deadweight Mass	200,000 t 46.00 m 16.50 m 23.30 m 304.00 m $67.7 \times 10^9 m^4$	

Table 1:Single Hull Carrier

2.3 Collision Simulation

For the collision simulation, the initialized model was combined with the ship model. Precalculation results of the structure have to be present (loads, deformations and strains). Otherwise, the response of the OWT will be non-physical due to the absence of a static equilibrium at start time.

The ship was set into position: draught, tide, drift velocity $(2\frac{m}{s})$, and drift angle (side collision, 90°) were set up. Furthermore contact areas at the OWT and ship model were defined and different contact and friction parameters were set up.

Structural failure is governed by the material model. Once strain within the steel exceeds a certain measure, more deformation can only be taken by plastic (irreversible) straining. If the total deformation within one element exceeds a certain criterion, the element fails. Structural failure takes place in this particular area.



Figure 2: Collision: Input Data, Impacts and Output

2.4 Evaluation of Results

1: Damage to the ship:

By plastic strain, parts are identified which have yielded and structural failure may occur. A failure criterion was implemented that defines failure as a function of through thickness strain. If the material suffers tension and bending it is strained and since volume of an element is to be constant, thickness is reduced. Under compression thickness increases and thus no failure due to plastic straining may occur.

Elements that surpass this failure criterion during the calculation are deleted from the model and are visible as a hole. Failure of elements of the ship's hull may then be treated as a real hole and thus leakage occurs.

The ship's outer hull mainly suffers forced deformation by the intruding part. This leads to membrane stresses that lead to thickness reduction.

The stiffening structural parts behind the outer hull are loaded mainly by compression and shear.

Structural failure in the OWT structure follows the same principles. Additionally, buckling occurs under compression that is accounted for by the non linear analysis code (geometric and material non-linearities).

2: Energy balance:

The kinetic and the internal energy of all parts are summed up and saved during the simulation. In the beginning the total energy is equal to the kinetic energy of the ship (plus internal energy of the structure). During the simulation the kinetic energy is passed into the OWT, the soil and into the ship structure mainly as deformation work and as a small portion as kinetic energy. The sum (total energy and negative work of external forces) should remain constant throughout the calculation. With an explicit FE-code (no convergence criteria!) this is one measure to verify the accuracy of the results.

It is determined how much energy is necessary to effect a failure of the OWT. The less energy is needed the weaker and thus more collision friendly the OWT can be regarded as. As this definition only looks at global effects but also local phenomena may lead to damage of the ship's hull, this dynamic transient FE calculation was performed.

Additionally the stiffness of the ship (the relation of stiffness ship/OWT) is a decisive factor for the outcome of a collision event. The "weaker" part will suffer most deformation and thus fail.

3: Within the scope of the aforementioned limitations, results of a calculation with one ship type are compatible to other ships. If a OWT support structure fails after consuming 75 MJ and the initial kinetic energy was 100 MJ, it will globally fail also if the initial kinetic energy is 500 MJ.

2.5 Risk Analysis

In this case it is helpful to visualize the risk of severe environmental impact of ship-OWT collisions with a tool like the risk matrix proposed e. g. in (3; 4). We define four grades of consequences and four grades of frequency of a collision to occur. Here we can give examples of choosing the appropriate consequence grade for any of the examined foundation structures. Methods to evaluate the risk of collisions of ships and offshore wind turbines were examined by Germanischer Lloyd (2).

The grades of consequences are defined in respect to environmental consequences because we only had to determine consequences for the marine environment in case of collisions. It should be thought of consequences to the OWT, the ship, and possible loss of lives as well. There are four categories (minor, significant, severe, and catastrophic).

catastrophic	4	5	6	7
severe	3	4	5	6
significant	2	3	4	5
minor	1	2	3	4
	extremely remote	remote	reasonably probable	frequent

Table 3: Risk Matrix

- 1. minor: no damage to the marine environment,
- 2. **significant:** Operating supplies from wing tanks or tank in the double bottom spill into the water; no structural damage to inner hull or double bottom,
- 3. **severe:** one or more holds are penetrated: Cargo flows into the sea; inner hull or double bottom also penetrated, and
- 4. catastrophic: the ship breaks apart and/or sinks.

A two-dimensional map of the risk is obtained if probabilities are put onto the horizontal and consequences are written to the vertical axis (Tab. 3). In this risk matrix tolerable risks are defined (yellow). All risks quantified less than yellow are tolerable (green), all red ones are not.

Frequency grades have to be determined according to the actual location a wind park is to be built. By combining both grades a position in the risk matrix is obtained. Here the risk is quantified by numbers from 1 (very low) to 7 (very high). Risk numbers of 1 to 3 would be acceptable.

3 Analysis Results

3.1 Simulation Time

The simulation was performed for a time period of about 8.75 seconds. This period is sufficient to identify the collapse mode of the OWT and to identify possible destruction of parts of the ship's hull by the collision.

3.2 Collision Scenario



Figure 3: Collision Situation

The ship drifts onto one pile of the support structure with an impact velocity of $v = 2\frac{m}{s}$ at an angle of 90°. Initial velocity is imposed onto the ship, movements in the remaining two directions and rotations are constrained.



3.2.1 Collapse Mode of the Support Structure



The OWT is hit at the grouted connection of the foundation pile and the intermediate support structure. It is almost instantaneously accelerated to the drift velocity of $2\frac{m}{s}$. Due to this enforced movement two plastic hinges form at this pile: (1) about at the ship's bottom and (2) about 10 m below sea surface due to restrained horizontal movement.

The intermediate support (3) is pushed away horizontally in drift direction. This causes plastic hinges also in the other foundation piles (4) and buckled zones (5). Additionally, failure occurs within the intermediate support structure at points (6) and (7).

The sudden movement of the support structures causes high accelerations at the tower top bearing and also causes vibrations of the tower (8).

3.2.2 Damage to the Ship

The damaged zones at the ship's outer hull are small. Only minor damage occurs, so no leakage is to be expected:



5.1: Outer Hull



5.2: Stiffeners

Figure 5: Plastic Deformation (Ship)

3.2.3 Collision Force and Energy



Figure 6: Collision Force and Energy

Until a displacement of 2 m is reached, collision force rises to 25 MN. At this point initial failure is observed at the support structure. Hereafter collision force decreases monotonically. The initial kinetic energy of about 435 MJ is reduced during the simulation to approx. 280 MJ. The remainder of 155 MJ is transferred into the OWT by the contact interface. The internal energy of the structure rises even more because of potential energy (e.g. high masses at tower top) transferred into deformation work by vibration induced displacement of the tower and the nacelle and subsequent collapse of the tower.

3.3 Nacelle and Tower Top Bearing

The entire nacelle was modeled as rigid body which is a simplified approach. Due to this the following diagram can only be regarded as qualitative statement on the value of the forces and moments at the tower top bearing. If a more accurate evaluation of forces, moments, and accelerations at this point or other points is desired, a more sophisticated model of the tower top, the nacelle, and other relevant parts has to be furnished.

The moment about the y-axis is most noticeable due to its peak values of about 40 MNm. Furthermore, the structure starts oscillating with a frequency of about 2.5 Hz. The loads at this

point continuously decrease after the first peak values.



Figure 7: Forces and Moments at Tower Top

÷

In this simulation the nacelle falls away from the ship after the tower has yielded and buckled. Considering this particular scenario (drift angle, velocity and position of the nacelles) and provided the bearings withstand the forces induced by the collision for the entire time until final failure of the structure of about 8.75 s, no impact of the nacelle onto the ship's deck has to be expected.

4 Summary and Conclusions

A collision simulation of a 160,000 tdw single hull tanker and the OWT foundation Tripile of BARD Engineering GmbH was conducted. The ship was drifting at an angle of 90° onto one pile of the foundation with an initial velocity of 2 m/s. After a simulation time of approx. 8.75 s the following statements can be given:

- 1: The Tripile foundation yields after consuming about 35 MJ of the ship's initial kinetic energy.
- 2: Contact of the ship to the substructure does not lead to leakage. Therefore no major threat to the environment is to be expected from this scenario. Collisions with more modern ship types (double hull tankers etc.) exhibit a lower risk.
- 3: In this simulation the nacelle falls away from the ship.
- 4: The consequences of the collision of the ship with the **support structure** are rated **1 (minor)**. As far as this result is validated by other scenarios, the Tripile could be regarded as equally safe to the monopile.

In case of ambiguity, the text of the German version is significant.

References

- F Biehl. Rechnerische Bewertung von Fundamenten von Offshore Windenergieanlagen bei Kollisionen mit Schiffen. Abschlußbericht zum BMU Forschungsvorhaben Nr. 0327527. Technical Report Schriftenreihe Schiffbau, Bericht Nr. 629, Hamburg University of Technology, Hamburg, October 2004. ISBN 3-89220-629-5.
- 2 Otto; Nusser; Braasch. Methoden zur Berechnung Kollisionsrisiken von Schiffen mit Windenergieanlagen. Technical report, Germanischer Lloyd Offshore and Industrial Services, Hamburg, 2002.
- **3** Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process, 2002.
- 4 Formal Safety Assessment: Interim Guidelines for the Application of FSA to the IMO Rule-Making Process, 1997.
- **5** American Petroleum Institute. Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design, 20th Edition, 1993.
- 6 U Kremser. Risk Assessment and Precautionary Measures for Offshore Wind Parks. In Scientific Forum of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) on Offshore Wind Energy Utilization, Berlin, mar 2004.
- 7 Peschmann J Kulzep A. Grundberührung von Doppelhüllentankern [Grounding of Double Hull Tankers]. Technical report, Hamburg University of Technology, Hamburg, 1998.
- 8 Peschmann J Kulzep A. Seitenkollision von Doppelhüllenschiffen [Side Collision of Double Hull Ships], Abschlußbericht zum BMBF Verbundforschungsvorhaben Life Cycle Design, Teil D2A. Technical report, Hamburg University of Technology, Hamburg, 1999.
- **9** Lehmann E; Yu X. Progressive Folding of Bulbous Bows. In *The Sixth International Symposium on Practical Design of Ships and Mobile Units (PRADS)*, pages 1048–1059, Seoul, September 1995.
- 10 Peschmann J; Kulzep A; Lehmann E. Strukturverhalten von Doppelhüllenschiffen bei Kollisionen und Grundberührungen. In *Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft*, volume 96. Band. Springer, Berlin Heidelberg New York, 2002.
- 11 Yu X; Lehmann E. Das Aufreißen der Schiffsstrukturen. In Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, volume 92. Band. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1998.

Deskundige rapport over de aanvaringsberekening voor het offshore windpark met Tripile fundering

Rapport nr. 73076-23

Datum: 14-05-2008

Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH Afdeling Windenergie

Fabrikant	BARD Engineering GmbH Otto-Lilienthal-Str. 21 D – 28199 Bremen
Rapport opgesteld door	Technische Universiteit Hamburg-Harburg Instituut voor de constructie en stevigheid van schepen Prof. Eike Lehmann Schwarzenbergstrasse 95 D – 21073 Hamburg
GL Wind ordernr.	26424/255
Deskundige	Florian Biehl
Adres	Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH Afdeling Windenergie Steinhöft 9 20459 Hamburg Duitsland

1 Documenten

Gecontroleerde documenten zijn voorzien van de aantekening "gecontroleerd". Ingeziene documenten zijn voorzien van de aantekening "ingezien".

1.1 Aanvaringsrapport

Aanvaringsberekening voor het offshore windpark met Tripile fundering van BARD Engineering GmbH, Technische Universiteit Hamburg-Harburg, 28 februari 2006	14 pag., 28 februari 2006	gecontroleerd
1.2 Tekeningen		
BARD1-WTOS-1000-001, revisie 0, CDB ME "Rubin"	3 pag., oktober 2005	ingezien
BARD1-WTOS-1000-002, revisie 0, CDB ME "Rubin"	3 pag., oktober 2005	ingezien
BARD1-WTOS-1000-003, revisie 0, CDB ME "Rubin"	1 pag., oktober 2005	ingezien
BARD1-WTOS-1000-004, revisie 0, CDB ME "Rubin"	1 pag., oktober 2005	ingezien
BARD Offshore 1, 9087-AF-20-01, revisie 3, IMS Ingenieursgesellschaft mbH	1 pag., 22-02-2008	ingezien
BARD Offshore 1, 9087-AF-20-02, revisie 3, IMS Ingenieursgesellschaft mbH	1 pag., 21-02-2008	ingezien
BARD Offshore 1, 9087-AF-20-03, revisie 3, IMS Ingenieursgesellschaft mbH	1 pag., 21-02-2008	ingezien
1.3 Bijbehorende correspondentie		
Controle van de aanvaringsberekening volgens BSH standaard constructie, uitgave 2007, fax van GL Wind aan BARD Engineering GmbH	3 pag., 14-12-2007	ingezien
Reactie op de aanvaringsberekening voor het offshore windpark met Tripile fundering van BARD Engineering GmbH, WSD Nord	2 pag., 03-02-2008	ingezien
Antwoordbrief van GL Wind op de reactie van WSD Nord	3 pag., 06-03-2008	ingezien
Reactie op de aanvaringsberekening voor het offshore windpark met Tripile fundering van BARD Engineering GmbH, WSD Nord	2 pag., 22-04-2008	ingezien

Bij deze documenten werd steeds de Duitse versie gecontroleerd c.q. ingezien.

2 Beoordelingsgrondslagen

Deze aanvaringsberekening werd beoordeeld op basis van:

- 2.1 De standaard constructie uitvoering van offshore windturbine-installaties, uitgave 2007, BSH
- 2.2 Biehl, F., rekenkundige beoordeling van funderingen van offshore windturbineinstallatie bij aanvaring met schepen, rapport 629 van de sector scheepsbouw van de TU Hamburg-Harburg, oktober 2004 http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb05/480933626.pdf
- 2.3 Biehl, F., Lehmann, E., rekenkundige beoordeling van het risico van afvallende turbines van offshore windturbine-installaties bij aanvaring met schepen. Afsluitend rapport van het onderzoeksproject, Technische Universiteit Hamburg-Harburg, september 2007 http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb08/559634781.pdf

3 Omvang van de controle

De in hoofdstuk 1.1 "Gecontroleerde documenten" genoemde en ter beschikking gestelde documenten werden gecontroleerd op overeenstemming met de beoordelingsgrondslagen (zie hoofdstuk 2).

Daarnaast word gecontroleerd in hoeverre de inhoud van de in hoofdstuk 1.1 "Gecontroleerde documenten" genoemde en ter beschikking gestelde stukken op grond van de vereisten van WSD Nord aannemelijk is. De aanvaringsberekening wordt op een algemeen begrijpelijke manier samengevat en toegelicht.

De controle van de aannemelijkheid gebeurt aan de hand van een vragenbrochure, die door WSD Nord werd aangereikt.

4 Algemeen begrijpelijke toelichting op het deskundige rapport

4.1 Hoofdstuk 1: Inleiding en taakstelling

Dit hoofdstuk is algemeen begrijpelijk en behoeft geen verdere toelichting.

Het hier vermelde dient ter beschrijving van de vraagstelling en van de eventuele consequenties van een aanvaring tussen een schip, met name een tanker, en een offshore windpark.

Daarnaast wordt ingegaan op de geschiktheid van het personeel van het "Institut für Konstruktion und Festigkeit von Schiffen" van de TU Hamburg-Harburg voor de uitvoering van dit onderzoek en wordt een korte samenvatting gegeven van de werkzaamheden op het gebied van rekenkundige beoordelingen van scheepsveiligheid met vermelding van literatuur uit de afgelopen jaren vóór opstelling van de aanvaringsstudie.

4.2 Hoofdstuk 2: Berekeningsmodel

Dit hoofdstuk bevat een korte samenvatting van de berekeningsmethode voor de analyse van een aanvaring tussen een schip en een offshore windturbine-installatie, zoals deze wordt beschreven in het genoemde openbaar toegankelijke onderzoeksrapport inzake het onderzoeksproject "Rekenkundige beoordeling van funderingen van offshore windturbineinstallaties bij aanvaring met schepen".

Het betreft hier simulaties met behulp van de "Finite Element Methode (FEM)" (eindige elementen methode). Bij deze berekeningsmethode worden structuurmechanische vraagstellingen opgelost, doordat de structuur in eindig kleine eenheden wordt opgesplitst en de differentiaalvergelijkingen voor deze eenheden (elementen), die aan de mechanica ten grondslag liggen, worden opgelost, in de plaats van een sluitende oplossing te vinden voor het betreffende probleem in zijn geheel. De op deze manier verkregen deeloplossingen worden zo met elkaar verbonden dat een oplossing wordt berekend van het gehele probleem.

Deze FE-methode heeft zich in de laatste decennia veelvuldig bewezen en is thans de standaardmethode voor de oplossing van gecompliceerde mechanische vraagstellingen.

De vraagstelling van het aanvaringsgedrag van offshore windturbine-installaties wordt in beeld gebracht, doordat de structuren windturbine-installatie, schip en omringende bodem als finite elementen worden afgebeeld, zie tekening 1 van de aanvaringsberekening, pag. 3 voor een voorbeeld van een windturbine-installatie, hier Tripod.

De stalen structuur is in haar geometrie in vlakken afgebeeld, in de onderhavige berekening is de bodem afgebeeld als een verzameling van veren volgens de API-methode. De veren vormen een kracht-deformatierelatie, d.w.z. door een bepaalde beweging van een numerieke knoop (hoek van een finite element) wordt een reactiekracht van de veer opgewekt, net als bij een echte springveer. Het totaal van de veerreacties komt overeen met een funderingsgrondslag voor funderingspalen in de bouwgrond.

Het staal van de windturbines en van het schip is afgebeeld als elastoplastisch materiaal met breekcriterium. Hierbij kan gedacht worden aan de veer van een pen. Deze veer is op een bepaalde manier "elastisch", d.w.z. de vervormingen die haar worden opgedrongen, zijn omkeerbaar en de veer verkrijgt bij aflatende belasting weer haar oorspronkelijke vorm.

Wanneer de veer echter boven een bepaalde lengte uitgerekt wordt, dan wordt zij plotseling onevenredig verlengd. Dit gedrag wordt "plastisch" genoemd. De plastische vervormingsneiging van het materiaal is echter beperkt. Bij gewoon bouwstaal bedraagt de breukrek bij langzame vervorming ongeveer 25 – 35%, d.w.z. indien een staalmonster tot meer dan 125-135% van zijn oorspronkelijke lengte wordt uitgerekt, breekt het.

Dit verschijnsel zien we ook bij aanvaringen. Hier is het proces echter veel ingewikkelder en bovendien afhankelijk van het soort vervorming, van de sterkte van het materiaal en de grootte van de numerieke eenheden (finite elements). Vergelijkingen en algoritmen, die dit proces beschrijven, worden breukcriteria genoemd en zijn van cruciaal belang bij de aanvaringsmechanica.

In de laatste 20 jaar werden aan het "Institut für Konstruktion und Festigkeit von Schiffen" onder leiding van prof. Eike Lehmann in het kader van het onderzoek naar de scheepsveiligheid breukcriteria herleid en aan de hand van omvangrijke tests aannemelijk gemaakt. De hier geschreven werken over aanvaringen schip – offshore windturbines baseren zich voor een groot deel op deze tests.

Teneinde een zo reëel mogelijk gedrag van de offshore windturbine-installatie te garanderen, wordt deze bezwaard met lasten, eigen gewicht en statische vervangende lasten, zodat afbrekende delen tijdens de simulatie naar beneden vallen. Daarnaast werd de turbine als ideële onbeweeglijke massa en traagheid bevestigd aan de torenkop. Teneinde een zo reëel mogelijke afbeelding te bereiken, werden de turbine en de rotor afgebeeld met finite elementen, die echter geen vervormingseigenschappen bezitten.

Als schip, waarmee de aanvaring plaatsvindt, werd een tanker gebruikt met een enkelwandige romp zoals afgebeeld in tabel 1, pag. 3 van het rapport over de aanvaringsberekening. Bij dit scheepstype betreft het een schip, dat bij aanvaring de minste veiligheid biedt, Na zware ongelukken zoals bij het bodemcontact van de supertanker "Exxon Valdez"voor de kust van Alaska eind jaren 80 werden pogingen gedaan om de scheepsveiligheid te verbeteren. Deze hebben geleid tot de ontwikkeling van schepen met grotere aanvaringsveiligheid (dubbelwandige romp en dubbele bodem). Na besluiten van de EU-administratie en andere instanties worden schepen met een enkelwandige romp nu versneld uit de vaart genomen.

Toch zijn er nog enkele tankers met een enkelwandige romp, die nog varen en dient hiermee bij de oplossing van deze aanvaringsproblematiek rekening te worden gehouden.

Bij de numerieke simulatie van de aanvaring wordt een model van een windturbine-installatie en een model van het bovengenoemde schip samengebracht. Het schip verplaatst zich naar de zijkant met startsnelheid. De positie van de afzonderlijke in de simulatie opgenomen finite elementen wordt vervolgens in tijdsafstanden van 0,001 tot 0,01 ms berekend. Indien elementen van het schip in aanraking komen met elementen van de windturbine-installatie, dan berekent een contactalgoritme de beweging van de diverse hierbij betrokken elementen. Tot aan dit punt verplaatsen de elementen van het schip zich gelijkvormig in één richting. De elementen, die nu het obstakel raken, worden belemmerd in hun beweging. Vanuit deze belemmering ontstaat een kracht, die inwerkt op de windturbine-installatie en/of op het schip. Oftewel wordt het schip ingedeukt, oftewel wordt de windturbine-installatie weggeschoven of allebei.

De berekening binnen de contactzone is bepalend voor de afloop van de simulatie. Door de weerstand wordt het schip afgeremd, d.w.z. het schip verliest energie. Deze energie wordt voor een relatief klein gedeelte via wrijving omgezet in warmte, het grootste gedeelte van de energie moet worden omgezet in vervorming, en wel of van de windturbine-installatie of van het schip.

Bij vervorming van het schip zal dit vroeg of laat leiden tot een breuk van de romp, voor zover de aanvankelijk aanwezige energie voldoende is om dit proces lang genoeg in stand te houden. Indien dit niet zo is, zal de windturbine-installatie vervormen en falen, dus omvallen, afbreken, instorten enz. Indien dit gebeurt, zal ook de turbine naar beneden vallen.

Welke van de twee partijen, die bij deze aanvaring zijn betrokken, de meeste schade te verduren krijgt, kan worden bepaald aan de hand van een vergelijking van de plaatselijke stevigheid op de plaats van het contact. In het hier onderzochte geval is het duidelijk dat de Tripile de zwakke en het schip de sterke partij is. Dit kan onder andere in de aanvaringsanalyse worden bepaald.

In hoofdstuk 2.5 Risicoanalyse wordt de noodzaak aangetoond, om naast deterministisch bepaalde consequenties van de afzonderlijke scenario's ook de waarschijnlijkheid van de consequenties te beoordelen.

4.3 Hoofdstuk 3: Resultaten berekening

Allereerst volgt een beschrijving van het scenario. De opstelling (Tripile windturbine-installatie en aanvarend schip) wordt getoond in een bovenaanzicht en in een zijaanzicht (afbeelding 3 van de aanvaringsberekening). De grafiek toont de geïdealiseerde situatie direct vóór de aanvaring.

In hoofdstuk 3.2.1 wordt schematisch het falen van de Tripile funderingsstructuur afgebeeld. Dit falen staat hier gelijk aan het verlies van de draagkracht ten gevolge van de aanvaring. Dit falen leidt tot instorting van de totale structuur.

De afzonderlijke plaatselijke beschadigingen van de draagstructuur worden in beeld 4 van de aanvaringsberekening in volgorde van ontstaan genummerd. Hierbij wordt eerst de paal op de plaats van contact ingedrukt en wordt de gehele structuur verschoven in drijfrichting. Dit leidt tot gedwongen vervorming zowel van de funderingspalen ter hoogte van de zeebodem of daaronder alsook tot beschadigingen van de aansluitplaatsen van het steunkruis.

Concreet betekent dit dat de structuur in drijfrichting (weg van het schip) omvalt. Hierbij zullen de afzonderlijke onderdelen van de constructie (palen, steunkruis, toren en turbine) gevuld worden met water en naar de zeebodem zinken en daardoor geen gevaar vormen voor eventueel latere schepen.

Door het vervormingsgemak van de Tripile funderingsstructuur komt het niet tot noemenswaardige beschadigingen van de scheepsromp, zie afbeelding 5.1 en 5.2, pag. 10. De in kleur afgebeelde delen zijn deuken, ontstaan door de botsing zelf, die niet leiden tot falen van het materiaal.

Afbeelding 6, pag. 11 toont de aanvaringskracht en de energieverdeling tijdens de aanvaring. De zwarte kromme (aanvaringskracht) laat een snelle stijging zien tot ongeveer 25 MN tijdens de eerste 2,5 seconden van het contact. Hierbij is al een wijziging in de gradiënt (mate van de stijging) te zien. Na ca. 1,5 seconden wordt deze duidelijk zwakker, hetgeen duidt op een verlies aan stevigheid. Nadat het maximum bereikt is, neemt de kracht snel af.

In vergelijking met aanvaringen met stijve en onbeweeglijke structuren is de maximaal bereikte kracht van 25 MN gering te noemen. Een vergelijking met de "rekenkundige beoordeling van funderingen van offshore windturbine-installaties bij aanvaring met schepen", afbeelding 7.29, pag. 82, laat bij aanvaringen van schepen met Tripods een aanzienlijk hogere kracht zien (tot 50 MN).

De energiebalans toont de kinetische energie van het schip, die tijdens het verloop van de simulatie steeds verder afneemt (rode kromme) en de energieaandelen, die door de transmissie van de kinetische aanvangsenergie per aanvaringskracht toenemen (vervormingsenergie offshore windturbine-installatie voortkomend uit de aanvaring ("aanvaringsenergie") en vervormingsenergie schip). De blauwe kromme (vervormingsenergie offshore windturbine-installatie) bevat behalve de vervormingsenergie voortkomend uit de aanvaring delen afkomstig uit het falen van de structuur. In de turbine is potentiële energie opgeslagen, die tijdens het vallen wordt omgezet in kinetische en deformatie-energie. De omzetting in deformatie-energie is mogelijk omdat de turbine verbonden is met het draagwerk en niet afbreekt.

In zijn geheel kan uit het diagram worden afgeleid dat de energie, die leidt tot het ineenstorten van de Tripilefundering, in vergelijking met de aanwezige aanvankelijke kinetische energie van het schip zeer gering is (ca. 40 MJ).

De evaluatie van de snijbelasting aan de torenkop resulteert in een vibratie met ca. 2,5 Hz en een momentvibratiebreedte van ca. 50 MNm, die na 4 cycli duidelijk afneemt. De overige momentaandelen (M_x en M_z) en de krachtgroottes F_x , F_y en F_z zijn eerder van ondergeschikt belang. Omdat de structuur van de torenkoplager niet nauwkeurig werd onderzocht, zijn alleen de belastingen bekend, maar niet de maximaal uit te houden belastingen. De vraag naar de relevantie van het afbreken van de turbine en de bepaling hiervan komt in hoofdstuk 5 van dit rapport aan de orde.

4.4 Hoofdstuk 4: Beoordeling en samenvatting

In dit hoofdstuk wordt de aanvaringsveiligheid van de Tripile funderingsstructuur beoordeeld. Aan de hand van de uitgevoerde simulatie wordt de gelijkwaardigheid met de Monopile bevestigd. De afzonderlijke uitspraken (representativiteit van de gebruikmaking van slechts één scenario, toepasbaarheid op andere scenario's en scheepstypes en het ineenstorten van de gehele structuur) worden in hoofdstuk 5 van dit rapport aannemelijk gemaakt.

5. Aannemelijk maken van het deskundige rapport aan de hand van de door WSD Nord voorgelegde vragen.

Onderstaande vragen werden door WSD Nord voorgelegd met het verzoek om antwoord:

1. Toelichting op alle grafieken en krommes, bijv. het belastingsverloop bij de torenkop.

De grafieken en krommes werden in hoofdstuk 4 in de context toegelicht.

2. Toelichting op technisch beschreven verbanden, bijv. de onderste alinea op pag. 12. Welk verband bestaat er tussen de positie van de turbine en haar valrichting?

De genoemde alinea beschrijft de waarnemingen bij de evaluatie van dat ene aanvaringsscenario. De invloed van de positie van de turbine op de valrichting werd in de aanvaringsberekening en ook tijdens de onderzoekswerkzaamheden inzake dit thema niet onderzocht en kan niet aangegeven worden. Maar het is de vraag of überhaupt een relatie bestaat tussen de positie van de turbine en de valrichting, omdat de excentriciteit van het middelpunt van traagheid meestal gering is.

3. Hoe komen de resultaten 1-4 in hoofdstuk 4.4 "Beoordeling en samenvatting" tot stand c.q. waarvan worden deze afgeleid?

Uitspraak 1: De Tripile faalt na invoer van een energie van ca. 35 MJ.

Afbeelding 6, pag 11 laat de kromme van de aanvaringskracht zien. Na 2,5 seconden is het maximum bereikt. Vanaf dat punt stort de windturbine in. Tot op dit tijdstip is ca. 35 – 40 MJ ingevoerd in de structuur (groene en blauwe kromme).

Uitspraak 2: Het contact van het schip met de onderstructuur van de offshore windturbineinstallatie leidt niet tot een lekkage. Ten gevolge van dit scenario is geen gevaar voor het milieu te verwachten. Aanvaringen met moderne schepen (tankers met dubbelwandige romp) hebben een lager risicopotentieel.

In het scenario, dat werd onderzocht, werd een botsing met een tanker met een enkelwandige romp gesimuleerd. De rompstructuur van het schip werd slechts licht beschadigd. Daardoor kon de geladen olie niet uitstromen en ontstond dus geen gevaar voor het milieu, zie afbeelding 5, pag. 10.

Andere scheepstypes, met name schepen met een dubbelwandige romp, bieden in geval van aanvaring een grotere zekerheid. Daarom is dus meer energie nodig, die door de betreffende scheepsstructuren wordt opgenomen, om tot falen van de structuur te leiden. Omdat zelfs een schip met een enkelwandige romp niet zo zwaar wordt beschadigd, dat een lekkage ontstaat, kan dit gevolg voor schepen met een dubbelwandige romp (tankers, containerschepen enz.) worden uitgesloten.

Uitspraak 3: In deze simulatie valt de turbine met de toren weg van het schip.

De instorting van de windturbine-installatie in het onderzochte scenario laat dit gedrag zien.

Uitspraak 4: In totaliteit bereiken de consequenties van de aanvaring in de onderstructuur de ernstigheidscategorie 1 (gering). Indien dit resultaat door andere aanvaringsscenario's wordt bevestigd, zou dit betekenen dat de Tripile wat betreft zijn aanvaringsvriendelijkheid gelijk kan worden gesteld aan de Monopile.

De structuur wordt uitgaande van het onderzoek van een scenario met de laagst mogelijke ernstigheidscategorie beoordeeld volgens de "*Rekenkundige beoordeling van funderingen van offshore windturbine-installaties bij aanvaringen met schepen*". Deze beoordeling is vanwege het onderzoeken van slechts één scenario van voorlopige aard. Waarom dit ene onderzochte scenario desalniettemin als representatief mag worden beschouwd, wordt bij het antwoord op vraag 5 duidelijk gemaakt.

4. Kan de aanvaringsberekening van 28 februari 2006 worden toegepast op de definitief ingezette windturbine-installatiestructuur?

Vergelijking van de beide beschikbare constructievarianten (Rubin, 2005 en IMS, 2008)

- 1. De twee constructievarianten zijn uiterlijk gelijk:
- 2. Een doorsnee door de middellijnen van de drie palen laat een gelijkzijdige driehoek zien met een kantlengte van 20 m.
- 3. De buitendiameter van de palen is 3,00 m (Rubin) resp. 3,35 m (IMS)

4. De hoogtecoördinaten van de palen en van het steunkruis zijn opgenomen in onderstaande tabel:

[m LAT]	Rubin	IMS
torenvoetflens	19,5	25,0
onderkant centraal knooppunt	15,0	21,0
bovenkant grout/paal	8,0	11,0
onderkant grout	2,0	6,0
onderkant pen	1,0	4,0

De palen van de constructievariant IMS zijn ca. 3 m langer, het steunkruis van de constructievariant IMS bevindt zich ca. 6 m hoger.

5. Centraal knooppunt:

- a. De aansluiting van de kastdrager aan de tapbuis is bij de constructievariant IMS blijkbaar zachter omdat zich hieraan minder en kleinere verstijvingen bevinden.
- b. De aansluiting van de kastendrager aan de centrale buis bevindt zich, zoals uit de Rubintekeningen blijkt, eventueel nog in de bewerkingsfase; de stijfheid lijkt vergelijkbaar met de actuele variant.

Effecten van de constructiewijziging op het instortingsmechanisme

Bij de palen komt het tot een globaal falen bij de botsing met het schip. Het steunkruis fungeert in eerste instantie als onbeweeglijke grendel (lastenverdelend). Het faalmechanisme van het steunkruis is niet bepalend voor de scheepsveilige eigenschappen van de dragende structuur, omdat het schip niet in contact komt met het steunkruis.

De positie van het steunkruis in de constructievariant IMS is ca. 6 m hoger dan bij de variant Rubin, waarop de aanvaringsberekening is gebaseerd. Daardoor is zelfs bij wisselende waterstanden geen contact mogelijk met het steunkruis. Er is enkel sprake van contact met het cilindrische gedeelte (tapbuis).

De contactgeometrie komt overeen met die, welke in de aanvaringsberekening werd onderzocht; alleen de stevigheid van de funderingspalen varieert relatief ten opzichte van de betreffende hefboomarm.

Toepasbaarheid van de onderhavige aanvaringsberekening

Op grond van bovenstaande uitleg is de onderhavige aanvaringsberekening toepasbaar op de inschatting van potentiële beschadigingen aan scheepsrompen bij aanvaring van schepen, waarmee niet gemanoeuvreerd kan worden, met draagstructuren van offshore windparken. De beoordeling van de veiligheid van de positie van de diverse componenten van de turbine bij korte inwerking van aanvaringslasten is niet opgenomen in de aanvaringsberekening. Ter beoordeling van de veiligheid van de positie van de turbine kan echter gekeken worden naar het verkregen krachtenverloop en de krachten en momenten bij de torenkop.

5. Waarom is de berekening van slechts één scenario voldoende?

Naast de verscheidenheid in de aanvarende schepen, ten aanzien waarvan op vraag 3, uitspraak 2 reeds werd geantwoord, komen onderstaande variaties (scenario's) in aanmerking:

1. Variatie van de botsingshoogte

Een gewijzigde botsingshoogte leidt niet tot een verandering van de contactgeometrie en dus ook niet tot een ander aanvaringsverloop.



Afbeelding 1: de contactgeometrie wijzigt niet bij een andere waterstand.

2. Variatie van de botsingshoek:

1

Geval A werd onderzocht en heeft op grond van het kleine contactoppervlak de neiging een grotere schade aan het schip te veroorzaken dan geval B. Geval C is het meest waarschijnlijk. Hier wordt echter minder energie via de aanvaring overgebracht op de turbine-installatie, omdat de bewegingen van het schip in het water ertoe leiden dat door de demping van het water energie wordt "verbruikt".



Afbeelding 2: schematische afbeelding van de mogelijke botsingsscenario's.

6. Werden bij de constructieve vormgeving van de windturbine-installatie de nieuwste technieken gebruikt teneinde het schip zo min mogelijk te beschadigen en daardoor de belasting voor het milieu zo gering mogelijk te maken?

De aanvaringsberekening vormt een constructiebegeleidend onderzoek of nacalculatie van een structuur. Omdat in de aanvaringsberekening geen voor de scheepsromp gevaarlijke bouwwijze werd geconstateerd, zijn ook geen aanpassingen van de structuur noodzakelijk. Daarom komt de constructieve vormgeving van de windturbine-installatie overeen met de nieuwste kennis en inzichten.

- 7. Hoe worden de gevolgen van een aanvaring drifter / windturbine-installatie ingeschat rekening houdende met onderstaande aspecten:
 - Inachtneming van diverse aanvaringshoeken van het schip met de windturbine-installatie
 De variatie van de drifthoek leidt niet tot een groter gevaar voor het botsende schip.
 - Inachtneming van diverse botsingshoogten van het schip tegen de funderingsstructuur:
 De variatie van de botsingshoogte leidt niet tot een verandering van de

contactgeometrie; de voor het instorten van de totale structuur vereiste energie kan toenemen; de hoogte van de toename is echter beperkt. Het gevaar voor de scheepsromp blijft in gelijke mate gering.

c. Wat gebeurt met de windturbine-installatie? Blijven restanten van de funderingsstructuur zo staan, dat daardoor een gevaarlijke situatie ontstaat voor andere schepen? Wat gebeurt met dat gedeelte van de windturbine-installatie, dat door het schip wordt afgebroken? Volgens de aanvaringsberekening zijn dit het steunkruis en de pyloon met turbine. Drijft dit deel? Ontstaat daardoor een gevaarlijke situatie voor de scheepvaart?

De delen van de windturbine-installatie worden na de ineenstorting gevuld met water en zinken naar de bodem. De funderingspalen breken af en zinken eveneens naar de zeebodem. Daardoor ontstaat dus geen gevaar voor de scheepvaart.

d. Welke gevolgen zijn te verwachten wanneer de turbine het schip zou raken?

Wanneer de turbine het schip raakt, kan de scheepsromp over grote oppervlakten worden beschadigd, zie "*Rekenkundige beoordeling van het risico van naar beneden vallende windturbines van offshore windturbineinstallaties bij aanvaring met schepen*". Dit is afhankelijk van de grootte van het schip en van het gewicht van de turbine. De gevolgen van een dergelijke inslag werden ingeschat uitgaande van turbinegewichten van ca. 300 c.q. 400 ton. Daarbij werd uitgegaan van een zeer conservatief remeffect van laadolie. Bij een turbinegewicht van 300 t, hetgeen ongeveer overeenkomt met de 280 t van de BARD VM, is bij de val van de turbine op het midden van de tank deze niet zoals gevreesd werd, door de bodem van het schip geslagen, niet bij een kleine en niet bij een grote tanker.

Het naar beneden vallen van de turbine is een gebeuren, dat door de soort en de vorm van de funderingsstructuur niet kan worden beïnvloed. Naar welke kant de turbine uiteindelijk valt, is afhankelijk van talrijke, niet in detail te kwantificeren factoren. Het is duidelijk dat een massa, die bevestigd is op het hoogste punt van een bouwwerk, bij het instorten van dat bouwwerk naar beneden zal vallen. De analyse van dergelijke gebeurtenissen zou talrijke (meer dan honderd of duizend) afzonderlijke simulaties vereisen, die vervolgens allemaal statistisch geëvalueerd zouden moeten worden teneinde de waarschijnlijkheid van de val van de turbine op het schip te kunnen bepalen.

Consequenties voor de bouwkundige vormgeving van de offshore windturbineinstallaties zouden uit deze informatie echter niet kunnen worden afgeleid.

8. Hoe worden de gevolgen van een aanvaring tussen een manoeuvreerbaar vaartuig en een windturbine-installatie ingeschat? Een manoeuvreerbaar vaartuig in dit verband is een vaartuig, dat door het water vaart. Een dergelijk scenario houdt een directe aanvaring in van een schip met een windenergieinstallatie. Hierbij moeten met name de te verwachten gevolgen van het naar beneden vallen van de turbine op het schip c.q. op de bovenbouw van het schip worden ingeschat.

Het scenario "Aanvaring van een manoeuvreerbaar schip met een windturbineinstallatie" werd niet bekeken. Er zijn ook geen gegevens uit onderzoek bekend over dit thema. Omdat aannemelijk is dat het schip of frontaal of in een scherpe hoek tegen de offshore windturbine-installatie zou aanvaren, behoeft men ook hier niet uit te gaan van een grote beschadiging van de scheepsromp bij de botsing, omdat:

- a) ofwel de volgens de richtlijnen ter bescherming bij aanvaringen uitgevoerde boeg (voorzien van aanvaringschot e.d.) geraakt zou worden of
- b) het schip aan de zijkant langs de windturbine-installatie zou schampen en daardoor de beschadiging verspreid zou zijn over een groot oppervlak.

De gevolgen van het naar beneden vallen van de turbine zullen naar verwachting niet anders zijn dan bij een aanvaring met een drijvend schip.

6. Samenvatting

De onderhavige aanvaringsberekening voor offshore windturbine-installatie met Tripile fundering van BARD Engineering GmbH is voldoende nauwkeurig om de aanvaringsveiligheid van de onderzochte fundering aan te tonen. Op grond van de speciale eigenschappen, die niet overdraagbaar zijn op andere funderingstypen, is het in dit afzonderlijke geval voldoende van slechts één scenario uit te gaan bij de beoordeling van de aanvaringsveiligheid.

In totaliteit bereiken de gevolgen van de aanvaring met de onderstructuur ernstigheidscategorie 1 (gering). De Tripile komt wat de aanvaringsvriendelijkheid betreft overeen met de Monopile.

Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH Afdeling Windenergie

<u>Florian Biehl</u> (ondertekening onleesbaar) Deskundige