



SDC Statik und Dynamik Consulting
Dipl.-Ing. Andreas Künzel

Proj.-Nr.: P156
Rev.-no. 03

Dokument: Kollisionsanalyse Ørsted GOW 3 Monopile
BERICHT CA_P156-ORSGOW3-MP-R03

Datum: 21.10.2019

Bewertung des schiffskörpererhaltenden Verhaltens der Unterstruktur

Analysis of Vessel Friendliness of Substructure

Monopile für eine Windenergieanlage für den Offshore Windpark Gode Wind 3 (Ørsted GOW 3)

Monopile for WEP OWP GOW 3

Rev. 03

Projekt: Offshore Windpark Gode Wind 3
Monopile Foundation for WTG:
Turbine 8.3 MW and 10 MW

Auftraggeber: Ørsted
Kraftværksvej 53
7000 Frederica
Denmark

Verfasser: SDC Statik und Dynamik
Dr.-Ing Andreas Künzel
Alt-Stralau 61
D-10245 Berlin, Germany

Diese konstruktive Bewertung umfasst einschließlich Inhaltsverzeichnis und Anhang 26 Seiten.



Dokument: Kollisionsanalyse Ørsted GOW 3 Monopile
BERICHT CA_P156-ORSGOW3-MP-R03

Datum: 21.10.2019

Revisionshistorie:

Rev.-No.:	Date	Status/ Changes	Issued by
01	13.02.2019	Comparative Study w.r.t. BKR02 reference project	Künzel
02	29.03.2019	Updated technical risk analysis by DNV GL	Künzel
03	21.01.2019	Updated technical risk analysis by DNV GL Wiederholrate Kollisionsereignis 120 a statt 111 a	Künzel



Abstract

The applicable German code [8] requires the proof of vessel friendliness of the offshore substructure for the case of a ship drifting sideways and colliding with the offshore structure. The aim hereby is to show that pollution risks resulting from spill out of a damaged vessel do not exceed a certain extent. Therefore, the excess of damage at the vessels hull is combined with the frequency of collision and classified in a risk-matrix.

Following [11], this can be confirmed by performing an explicit finite-element-analysis ("crash-simulation") where the objective is the assessment of the damage on the vessels structure.

However, with respect to the early design phase of the project, this assessment is performed based on comparative considerations to the results of a hull retaining analysis performed in an earlier reference project with similar design and characteristics of foundation, tower and nacelle.

Gode Wind 3 (GOW 3) with its sub-projects GOW03 and GOW04 is located close to the reference project Borkum Riffgrund II (BKR02) and to Gode Wind 1+2 (GOW01+02) as well. Hence, the design vessels for BKR02 and GOW01+02, specified for these projects by GL [4], are assumed to be identical for GOW 3.

The evaluation is done based on a worst-case scenario regarding water depths and overall structural resistance covering all sites within the project.

Results are shown and discussed with respect to the damage extent of the vessels hull in section 3 of this document.

These results are combined with the frequency of collisions given by [4] and are assessed in accordance to the BSH Standard's risk matrix ([8], p.37). The design of the WEP complies with BSH 2007 as well as BSH 2015.

Modeling, estimations and assumptions for the reference project comply with BSH [10].

All physical properties are given in the unit system meter [m], kilogram [kg], second [s] unless otherwise specified.



0 Inhaltsverzeichnis

ABSTRACT	3
0 INHALTSVERZEICHNIS	4
1 PROJEKT- UND SYSTEMBESCHREIBUNG	6
1.1 VORGEHENSWEISE	6
1.2 PROJEKTBECHREIBUNG	8
1.3 SYSTEMBESCHREIBUNG.....	10
1.3.1 Turm und Gründung	10
1.3.2 Bemessungsschiff	11
2 DOKUMENTE UND REGELWERKE	12
2.1 PROJEKTSPEZIFISCHE DOKUMENTE	12
2.2 NORMEN UND REGELWERKE	12
2.3 LITERATUR	13
2.4 SOFTWARE.....	13
3 VERGLEICHENDE KOLLISIONSANALYSE	14
3.1 MODELLBILDUNG	14
3.2 ERGEBNISSE FÜR DAS REFERENZPROJEKT.....	14
3.3 PARAMETERVERGLEICH.....	17
3.3.1 Wassertiefen	17
3.3.2 Ersatz-Bettungssteifigkeit des Pfahls auf Höhe Mudline	18
3.3.3 Pfahldurchmesser und Wandstärken des Pfahls	19
3.3.4 Durchmesser und Wandstärken Transition Piece	20
3.3.5 Turmgeometrie	21
3.3.6 Gondelmasse	24
3.3.7 Typ und Größe des Bemessungsschiffs	24
3.3.8 Wiederholperioden des Kollisionsereignisses	25
4 FAZIT	26



Terms and abbreviations

AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
DNV-GL	DNV-GL Group, Hovik, Norway
GL	Germanischer Lloyd (heute: DNV-GL)
kn	Knoten [sm/h]
LAT	lowest astronomical tide or SKN (Seekartennull = chart datum)
MW	Megawatt
OWF	offshore wind farm
OWT	Offshore Wind Turbine
ULS	ultimate limit state
FLS	fatigue limit state
SLS	serviceability limit state
sm	Seemeile
TuM	Tiefe unter Meeresboden
TP	Transition Piece
OSS	Offshore Substation
w.r.t. LAT	with respect to LAT
WTG	Wind Turbine Generator
WEP	Wind Energy Plant
WEA	Windenergieanlage
FEM	Finite Elemente Methode
FEA	Finite Elemente Analyse
V-M-Spannungen	Von-Mises Vergleichsspannungen
GOW01+02	Offshore Windpark Gode Wind 1+2
GOW 3	Offshore Windpark Gode Wind 3
BKR02	Offshore Windpark Borkum Riffgrund II



1 Projekt- und Systembeschreibung

1.1 Vorgehensweise

Das Monopile Design für den Windpark Gode Wind 3 befindet sich derzeit noch in einer frühen Phase. Die Konstruktion der Gründungsstruktur aus Pfahl und Transition Piece lehnt sich weitestgehend an das des bereits realisierten Projekts Borkum Riffgrund II (DONG BKR02) an. Turm und Gondel sind für den Fall des Einsatzes einer 8.3 MW-Anlage identisch. Im Fall des Einsatzes einer 10 MW-Anlage werden ergänzende Betrachtungen zur Kollisionssicherheit angestellt.

Die Lage des Windparks Gode Wind 3 ist hinsichtlich der Schiffsverkehre praktisch identisch mit der des ebenfalls bereits realisierten Windparks Gode Wind 01+02 (Bild 1-1). Für diesen wurde, ebenso wie für BKR02, bereits eine rechnerische Kollisionsanalyse durchgeführt. Als Eingangswerte wurden die Schiffsverkehre seitens GL analysiert [4] und Bemessungsschiffe festgelegt, die in der Kollisionsanalyse abgebildet wurden.

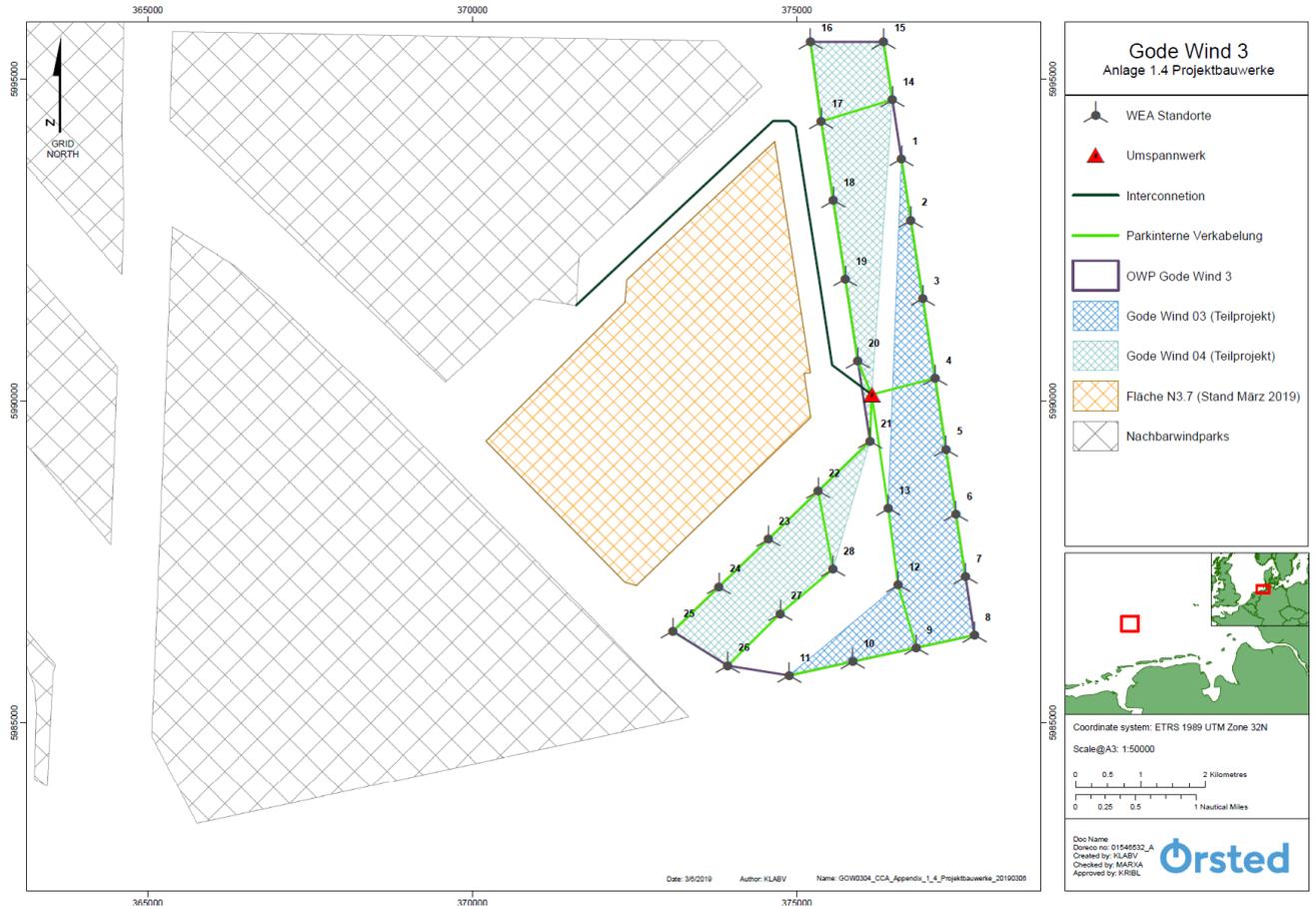


Bild 1-1: Lage des Windparks Gode Wind 3 mit den Teilprojekten Gode Wind 03 und Gode Wind 04 im Verhältnis zu Gode Wind 01+02

Der Windpark Borkum Riffgrund II liegt etwas weiter westlich der Gode Wind – Windparks, jedoch an den gleichen Schifffahrtsrouten. In der rechnerischen Kollisionsanalyse war daher seitens DNV-GL auch das gleiche Bemessungsschiff (Container 80.000 tdw) wie für Gode Wind 01+02 spezifiziert worden.

Die Gründung der Windenergieanlagen ist mit Monopile-Gründungen geplant. Monopile-Gründungen weisen allgemein ein sehr günstiges Verhalten hinsichtlich zu erwartender Schäden an Schiffen infolge Kollisionen auf. Entsprechende Abhandlungen zu diesem Thema sind in dem der Methodik der simulationsbasierten Kollisionsanalyse zu Grunde liegenden Bericht [11] in ausführlicher Form enthalten.



Aufgrund der frühen Design-Phase des Projekts Gode Wind 3, der guten Vergleichbarkeit mit dem Referenzprojekt Borkum Riffgrund II (BKR02) sowie der genannten allgemeinen Kollisionsfreundlichkeit von Monopile-Gründungen soll zum jetzigen Zeitpunkt auf eine simulationsbasierte Analyse der schiffskörpererhaltenden Ausführung der Gründungsstruktur verzichtet werden.

Für den Nachweis der schiffskörpererhaltenden Ausführung der Gründungsstrukturen wird für den OWP Gode Wind 3 in der vorliegenden Fassung daher eine Vorgehensweise in Form einer Vergleichsstudie gewählt. Die für die Kollisionsfreundlichkeit der Gründungsstruktur relevanten Parameter von GOW 3 und BKR02 werden gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Auswirkungen diskutiert und beurteilt.

Für die zu Grunde liegenden Ergebnisse der Kollisionsanalysen der Windparks BKR02 und GOW01+02 wird auf die entsprechenden Dokumente [5], [7] verwiesen.

Aus den Standort- und Strukturparametern des Windparks GOW 3 wird derjenige Standort ausgewählt, der den größten Widerstand gegenüber horizontaler Belastung aufweist. Dadurch ergibt sich eine Abschätzung zur sicheren Seite hin für alle übrigen Standorte im Windpark.

Alle physikalischen Größenangaben sind, soweit nicht im Einzelnen anders spezifiziert, im SI-Einheitensystem Meter [m], Kilogramm [kg], Sekunden [s] angegeben.

1.2 Projektbeschreibung

Der Windpark GOW 3 befindet sich östlich benachbart zum Windpark GOW01+02 sowie BKR02. Der Windpark liegt in der Nordsee in der AWZ der Bundesrepublik Deutschland. Die Standorte der Anlagen können [1] entnommen werden und die Lage des Windparks ist in Bild 1-2 übersichtshalber dargestellt.

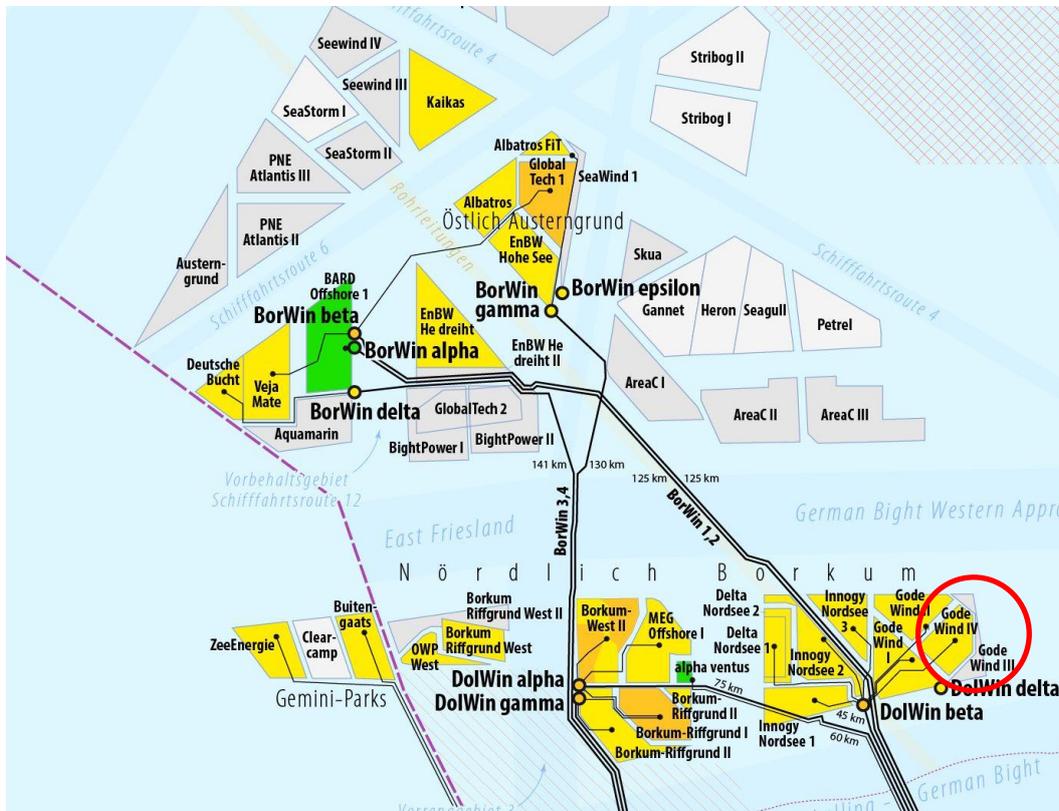


Bild 1-2: Übersichtsplan Windparks im Bereich Borkum (Quelle: Wikipedia)



1.3 Systembeschreibung

1.3.1 Turm und Gründung

Der Turm der Windenergieanlage wird über eine geschraubte Flanschverbindung auf das Transition Piece aufgesetzt. Dieses wird über eine geschraubte Ringflanschverbindung mit dem Pfahl verbunden. Das Konzept ist in der Design Basis beschrieben und in Bild 1-3 auszugsweise dargestellt.

Alle Parameter der Gründung sowie des Turms und der Turbine sind in [3] tabellarisch zusammengestellt.

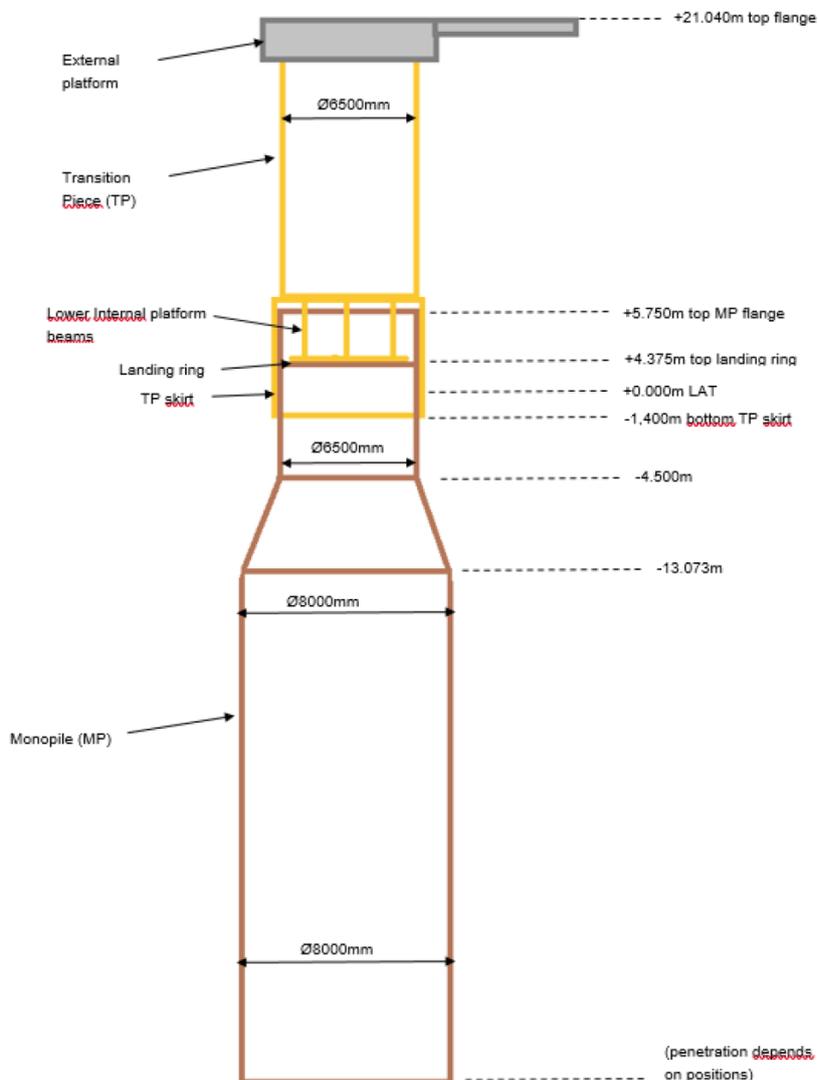


Bild 1-3: Gründungskonzept (aus [2])



1.3.2 Bemessungsschiff

In [4] wird für die Risikobewertung ein standortspezifisches Bemessungsschiff gefordert, welches aufgrund der Verkehrsdaten des Seegebietes im Bereich des geplanten OWP qualifiziert wird. Seitens GL (heute: DNV-GL) wurden für das Projekt Borkum-Riffgrund II ein Containerschiff von 80.000 tdw / 5500 teu spezifiziert. Dieser Schiffstyp wurde ebenfalls bereits für die rechnerische Kollisionsanalyse des Windparks GOW01+02 als Bemessungsschiff benannt.

Anhand der Karte der Schiffrouten (Bild 1-4) ist ersichtlich, dass der Schiffstyp auch als Bemessungsschiff für GOW 3 anzunehmen ist.

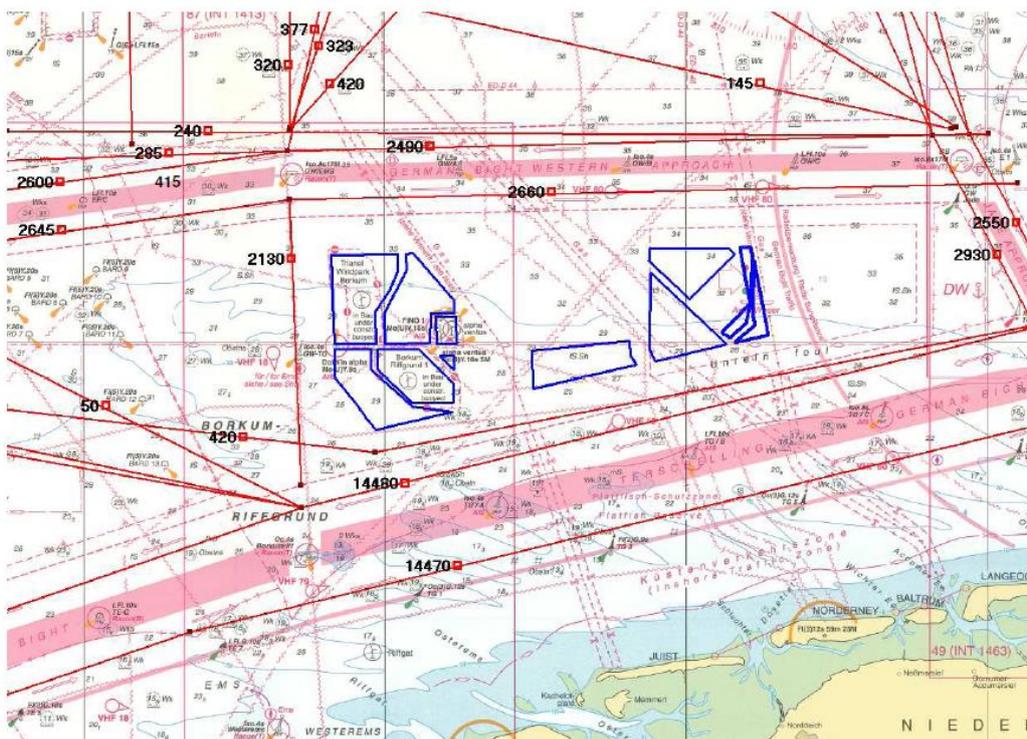


Bild 1-4: Schiffrouten entlang der Windparks im Bereich Borkum (aus [5])



2 Dokumente und Regelwerke

2.1 Projektspezifische Dokumente

- [1] Input Data for Ship Collision Analysis 2015-03-20, Tabellen (Excel Sheet), updated 01/07/2016
- [2] GOW 3 Design Basis part C – Conceptual Design, Revision E, 23.01.2019, Ørsted
- [3] Data for Ship Collision Analysis – Excel sheets, Ørsted, 30.01.2019
- [4] DNV GL: Offshore-Windpark Borkum Riffgrund II - Technische Risikoanalyse (engl.: technical risk analysis), Bericht Nr. MAGDE717 2015.096, Rev. 1.0, 2015-06-10
- [5] DNV GL: Offshore-Windpark Gode Wind 3 - Technische Risikoanalyse (engl.: technical risk analysis), Bericht Nr. M-W-ADER 2019.039, Rev. 1.3, 2019-10-14
- [6] Bewertung des schiffskörpererhaltenden Verhaltens der Unterstruktur – Monopile für eine Windenergieanlage für den Offshore Windpark Borkum-Riffgrund II (DONG BKR02), Rev. 04, SDC Statik und Dynamik Consulting, 15.02.2016
- [7] Bewertung des schiffskörpererhaltenden Verhaltens der Unterstruktur – Monopile für eine Windenergieanlage für den Offshore Windpark Gode Wind 02 (DONG GOW02), Rev. 01, SDC Statik und Dynamik Consulting, 30.10.2013

2.2 Normen und Regelwerke

- [8] Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Standard Konstruktion Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen, Stand: 12.06.2007
- [9] Germanischer Lloyd: Rules for Classification, IV Industrial Services, Part 6 Offshore Technology, Chapter 4 Structural Design, 2007
- [10] Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Standard Konstruktion 2015 - Mindestanforderungen an die konstruktive Ausführung von Offshore-Bauwerken in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ), 1. Fortschreibung 28.07.2015 - Berichtigung vom 01.12.2015



2.3 Literatur

- [11] Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Rechnerische Bewertung von Offshore Windenergieanlagen bei Kollisionen mit Schiffen, Arbeitsbereiche Schiffbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg 2004, BMU Forschungsvorhaben Nr. 0327527, Dipl.-Ing. Florian Biehl, 22.10.2004
- [12] Ship construction, Eyres, David John, Elsevier 2007
- [13] Tanker spills: Prevention by Design, National Research Council 1991
- [14] Reed's ship construction, Stokoe, Edward Alan, 2005
- [15] Kollisionssicherheit von Offshore-Windenergieanlagen, Florian Biehl, Institut für Konstruktion und Festigkeit von Schiffen, Technische Universität Hamburg-Harburg, Dissertation 2009
- [16] LS-DYNA Applications in Shipbuilding, Le Sourné et al, 4th European LS-DYNA Users Conference
- [17] LS-DYNA Keyword User's Manual, Livermore Software Technology Corp., Livermore USA
- [18] LS-DYNA Theory Manual, Livermore Software Technology Corp. Livermore USA
- [19] Kollisionen von Binnenschiffen und Brückenbauwerken: Simulation und Ermittlung von Last-Verformungsbeziehungen, Dipl.-Ing. Florian Biehl, TU HH und Dipl.-Ing. Claus Kunz, BAW, Karlsruhe

2.4 Software

- [20] LS-DYNA, Version 9.7.1, Livermore Software Technology Corp., Livermore USA
- [21] LS-Prepost, Version 4.2, Livermore Software Technology Corp, Livermore USA



3 Vergleichende Kollisionsanalyse

3.1 Modellbildung

Zielsetzung der Kollisionsanalyse ist die Ermittlung der größtmöglichen Schäden an der Hülle des Schiffskörpers. Hierfür wurden konservative Annahmen hinsichtlich der Wassertiefe und der Gründungssteifigkeit angenommen. Für die Kollisionsanalyse wurde - ausgehend vom derzeitigen Planungsstand (s. [2]) - ein fiktiver Standort ausgewählt, der die höchste Gründungssteifigkeit mit der geringsten Wassertiefe kombiniert (worst-case-Ansatz, Position 69, Werte siehe [3]). Hiermit ist gewährleistet, dass sich die Anlagen an tatsächlich realisierten Standorten hinsichtlich der Kollisionsfreundlichkeit günstiger verhalten.

3.2 Ergebnisse für das Referenzprojekt

Beim Referenzprojekt wurden in keinem der Kollisionsszenarien (2 Szenarien mit Wasserständen LSWL und HSWL) wesentliche Schäden an Außen- wie Innenhülle des Schiffs ermittelt.

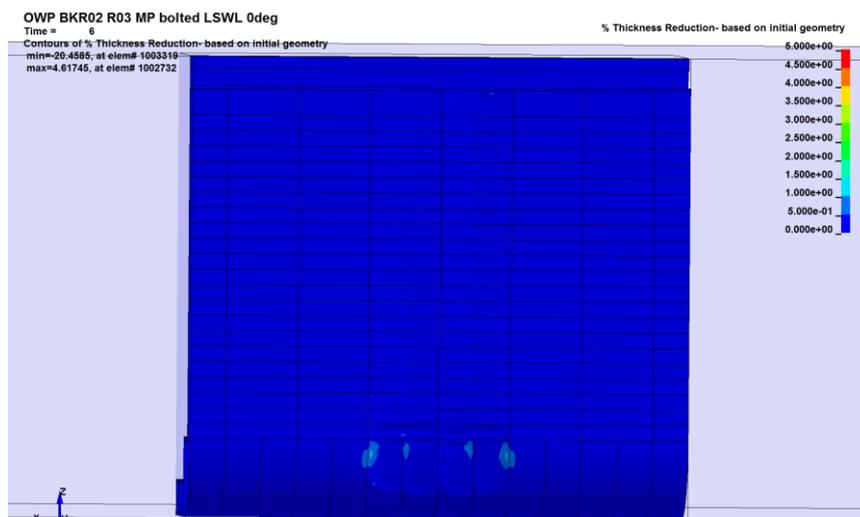


Bild 3-1: Schäden an der Außenhülle des Schiffskörpers – geringe Verformungen, keine Durchdringung

Nach [8] sind die Ergebnisse der Kollisionsanalyse mit Hilfe der Risikomatrix (Tabelle 3-1) zu bewerten. Dabei müssen die Konsequenzen (Tabelle 3-3) aufgetragen gegen die Häufigkeit des



Ereignisses innerhalb des hellblau hinterlegten Bereiches (Risikoprioritätszahl < 4) liegen.

Tabelle 3-1: Risikomatrix

		1	2	3	4
1	Katastrophal	4	5	6	7
2	Schwerwiegend	3	4	5	6
3	Beträchtlich	2	3	4	5
4	Unbedeutend	1	2	3	4
	Konsequenz/ Eintrittshäufigkeit	Äußerst selten	Selten	Gelegentlich	häufig

Tabelle 3-2: Klassifikation der Häufigkeiten H, angegeben in Ereignisse / Jahr (aus [8])

qualitativ [1/a]	Offshore-WEA / Schiff	Umwelt	Sicherheit
häufig	$H > 10^{-1}$	$H > 2 \cdot 10^{-1}$	$H > 10^{-1}$
gelegentlich	$10^{-1} \geq H > 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-1} \geq H > 2 \cdot 10^{-2}$	$10^{-1} \geq H > 10^{-2}$
selten	$10^{-2} \geq H > 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2} \geq H > 2 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2} \geq H > 10^{-3}$
äußerst selten	$10^{-3} \geq H$	$2 \cdot 10^{-3} \geq H$	$10^{-3} \geq H$



Tabelle 3-3: Konsequenztabelle (aus [10])

qualitativ	Offshore-WEA / Schiff	Umwelt	Sicherheit
unbedeutend	Offshore-WEA kann weiter betrieben werden (ggf. nach umfangreicher Reparatur)	keine oder geringe Umweltverschmutzung	keine Verletzten
beträchtlich	Offshore-WEA defekt	beträchtliche Umweltverschmutzung: Betriebsstoffe aus Seitentanks! / Doppelboden fließen ins Wasser (Doppelhülle und Doppelboden nicht durchschlagen)	wenige Verletzte
schwerwiegend	Offshore-WEA zerstört	große Umweltschäden: Ladetanks leckgeschlagen, Austritt von Ladung (Doppelhülle/ -boden durchschlagen)	Schwerverletzte, wenige Tote
katastrophal	Gondel oder große Teile der Gondel schlagen im Schiff ein	Schiff bricht auseinander/ Schiff sinkt	hohe Anzahl von Toten

Tabelle 3-1: Konsequenztabelle (aus [8])

In [4] wird eine Wiederkehrperiode von 112 Jahren (0,009 Kollisionen / a) für den Standort BKR02 genannt. **Daraus ergibt sich eine Einstufung nach [10] in die Klasse "selten".**

Die **Schäden am Schiff** werden entsprechend Tabelle 3-3 als **"unbedeutend"** eingestuft, die **Schäden an der Windenergieanlage** als **"schwerwiegend"**.

Entsprechend Tabelle 3-1 lautet die **Einstufung des Gesamtrisikos** in Zeile 4, Spalte 2 als **unbedeutend** (Risikoprioritätszahl 2, Zelle dunkel unterlegt).



3.3 Parametervergleich

Geplant ist für GOW 3 der Einsatz der gleichen 8.3 MW-Anlage wie im Referenzprojekt BKR02. Alternativ besteht die Planung, den Windpark mit 10 MW-Anlage auszustatten. Im Parametervergleich werden beide Alternativen berücksichtigt.

Folgende Parameter werden für die vergleichende Kollisionsanalyse herangezogen:

- Wassertiefen
- Ersatz-Bettungssteifigkeit des Pfahls auf Höhe Mudline
- Pfahldurchmesser und Wandstärken des Pfahls
- Durchmesser und Wandstärken Transition Piece
- Turmgeometrie
- Gondelmasse
- Typ und Größe des Bemessungsschiffs

3.3.1 Wassertiefen

Für den ungünstigsten Standort im Windpark BKR02 wurde eine Wassertiefe von LAT - 24,90 m bestimmt, beim Windpark GOW 3 beträgt die geringste Wassertiefe LAT - 28,0 m.

Durch die größere freie Länge des Pfahls oberhalb der Einbindung in den Meeresboden ist folglich von einem geringeren Kollisionswiderstand auszugehen, der sich günstig auf das Schadensausmaß am Schiff auswirkt.

Tabelle 3-4: Vergleich Wassertiefen

Parameter	Einheit	BKR02	GOW 3
Wassertiefe bzgl. LAT	m	-24,9	-28,0



3.3.2 Ersatz-Bettungssteifigkeit des Pfahls auf Höhe Mudline

Der Gründungspfahl wird in der simulationsgestützten Kollisionsanalyse beginnend auf Mudline ausmodelliert. Der darunterliegende Teil des Pfahls wird zusammen mit dem umgebenden Grund als elastische Gründung in Form von Federn abgebildet. Dabei handelt es sich um ein diskretes Balkenelement, dessen Materialparameter direkt die Steifigkeiten in den jeweiligen Freiheitsgraden enthalten. Für diese Parameter werden jeweils die höchsten im Windpark auftretenden Steifigkeiten angesetzt.

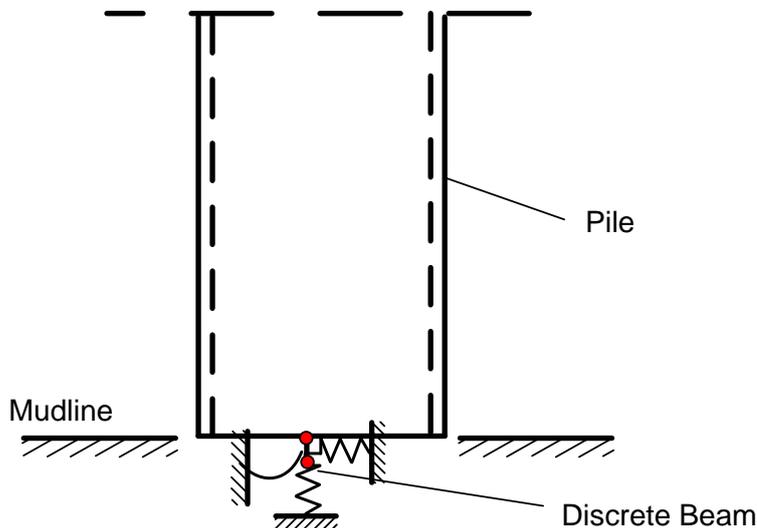


Bild 3-1: Modellierung der elastischen Lagerung im Berechnungsmodell

Tabelle 3-2: Vergleich der Steifigkeitsparameter der elastischen Gründung

Parameter	Einheit	BKR02	GOW 3	
			8.3 MW	10 MW
Bettungssteifigkeit Q-Q	N/m	9,14E+09	4,06E+09	4,4E+09
Bettungssteifigkeit M-M	Nm/rad	3,50E+11	4,07E+11	4,6E+11

Die Bettungssteifigkeit bezüglich horizontaler Verschiebung (Q-Q) ist deutlich geringer, die bezüglich der Verdrehung des Pfahls geringfügig höher als die des Referenzprojekts. Insgesamt sind die Angaben aber für beide Anlagentypen – als Ansatz zur sicheren Seite hin - vergleichbar groß.



3.3.3 Pfahldurchmesser und Wandstärken des Pfahls

Für GOW 3 wird ein geringfügig größerer Pfahldurchmesser im Bereich der Einbindung in den Meeresgrund gewählt. Der Bereich befindet sich aber deutlich außerhalb der Kollisionszone, ist nicht im Berechnungsmodell enthalten und wird durch die Ersatzsteifigkeit (s. vorangehender Abschnitt) abgedeckt. Die Wandstärken des Pfahls liegen geringfügig unter oder über denen des Referenzprojekts.

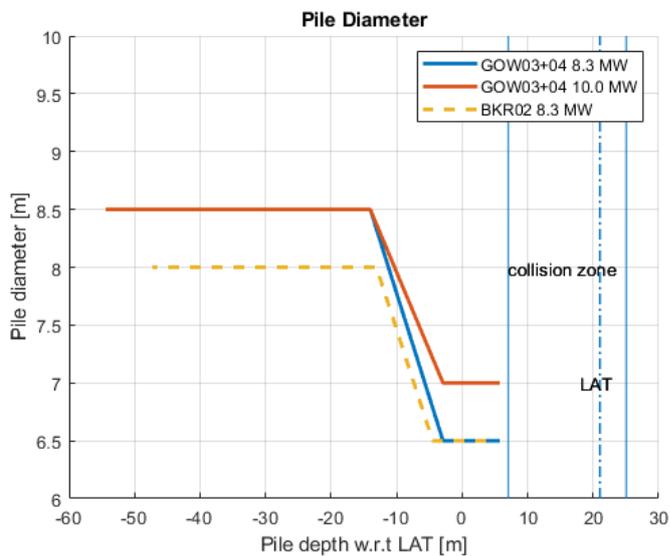


Bild 3-2: Vergleich Pfahldurchmesser

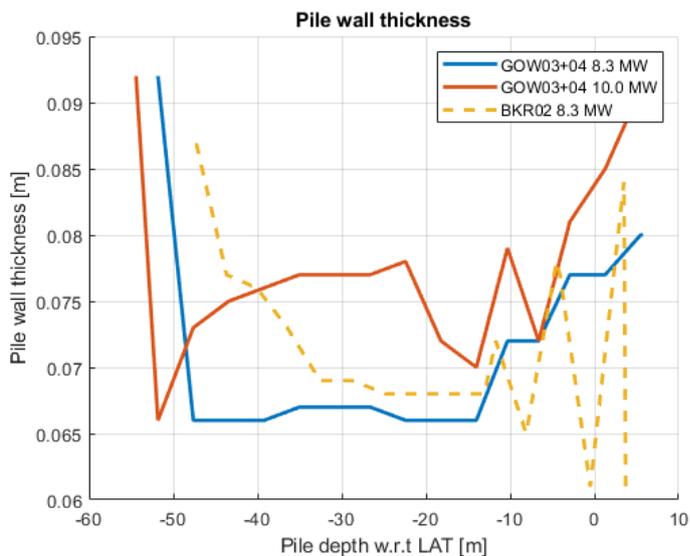


Bild 3-3: Vergleich Pfahl-Wandstärken



Allgemein gilt, dass größere Pfahldurchmesser sich günstig bezüglich der Auswirkungen der Kollision auf den Schiffskörper auswirken. Durch die sich daraus ergebende größere Kontaktzone zwischen Schiffshülle und Gründungsstruktur wird die Kontaktkraft auf eine größere Fläche verteilt und schadensrelevante örtliche Spannungsspitzen in der Schiffshülle bzw. der tragenden Elemente der Schiffshülle vermindert. Größere Monopile-Durchmesser von z.B. 10 m, wie sie im derzeitigen Design-Prozess ebenfalls geprüft werden, reduzieren somit die Auswirkungen der Kollision und vermindern so das Risiko von Leckagen.

3.3.4 Durchmesser und Wandstärken Transition Piece

Der Durchmesser des Transition Piece ist im Fall der 8.3 MW-Anlage identisch mit dem im Referenzprojekt. Im Fall der 10 MW-Anlage wurde ein geringfügig größerer Durchmesser gewählt. Die Blechstärken sind geringfügig größer gewählt als im Referenzprojekt. Im Bereich des Transition Piece befindet sich bei der Kollision die Kontaktzone zwischen Schiff und WEA-Gründung. Durch die Ausführung mit geschraubten Ringflanschen ergibt sich generell ein günstiges Kollisionsverhalten (im Vergleich zu relativ steifen Grouted Joint Verbindungen). 8.3 MW ebenso wie 10 MW – Design werden sich im Kollisionsfall annähernd gleich wie die Referenzanlage verhalten. Hinsichtlich der Auswirkungen des Einsatzes größerer Pfahldurchmesser und folglich größerer TP-Durchmesser sind die im vorangegangenen Abschnitt getroffenen Aussagen ebenfalls gültig: Größere TP-Durchmesser bewirken günstigere Auswirkungen hinsichtlich des zu erwartenden Schadensausmaßes an der Schiffshülle.

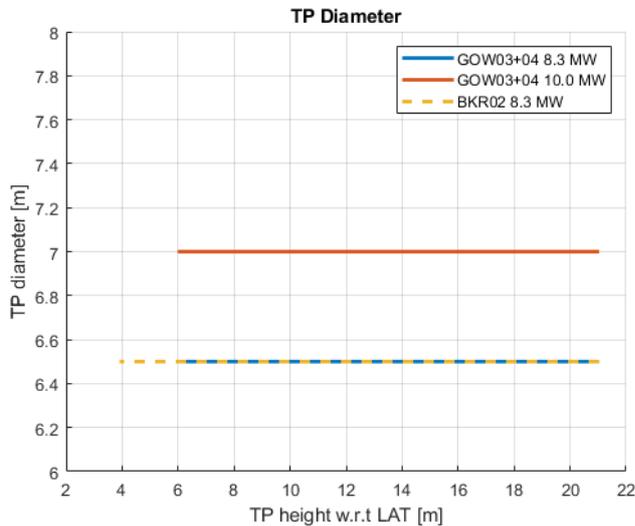


Bild 3-4: Vergleich Durchmesser Transition Piece

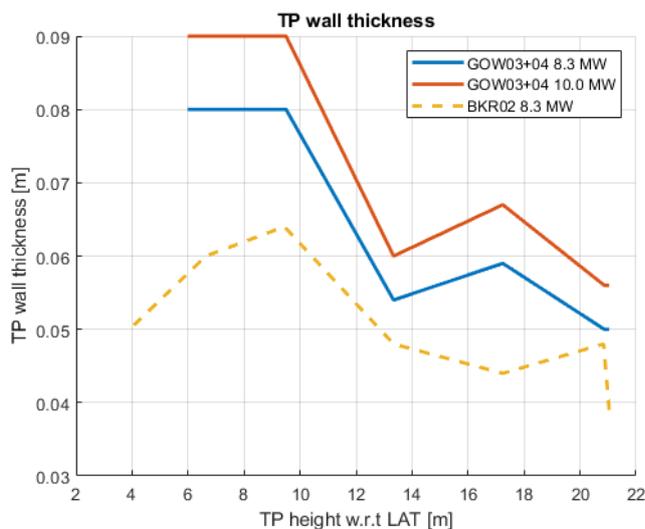


Bild 3-5: Vergleich Wandstärken Transition Piece

3.3.5 Turmgeometrie

Die Türme von 8.3 MW-Anlage und Referenzanlage sind identisch. Im Fall der 10 MW-Anlage werden ein geringfügig größerer Durchmesser des Turms und etwas größere Blechstärken gewählt. Da sich der Turm außerhalb der Kollisionszone befindet, ist der Einfluss dieser Parameter auf das Verhalten im Kollisionsfall gering. Auch die Eigenfrequenzen sind im Fall der 8.3 MW-Anlage annähernd gleich, was auf gleichen Widerstand beim Anprall schließen lässt. Im Fall der 10 MW-Anlage verhält sich die



Gesamtanlage durch die größere Höhe sowie Gondelmasse weicher als die Referenzanlage. Das Kollisionsverhalten ist somit für beide Typen als gleichwertig dem der Referenzanlage einzustufen.

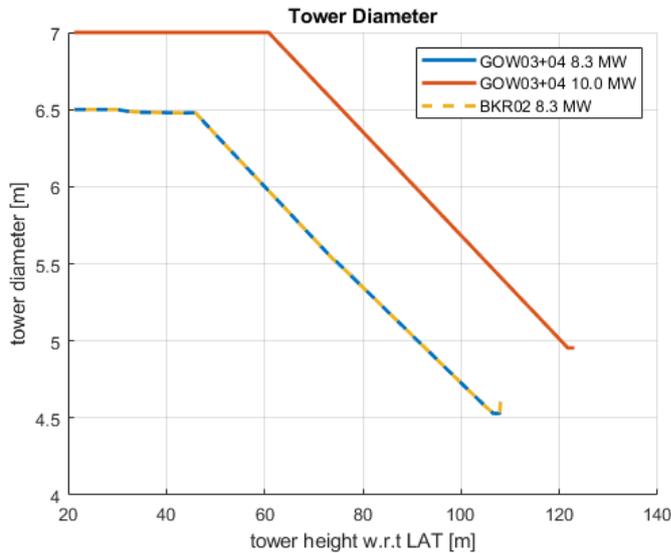


Bild 3-6: Vergleich Durchmesser Turm

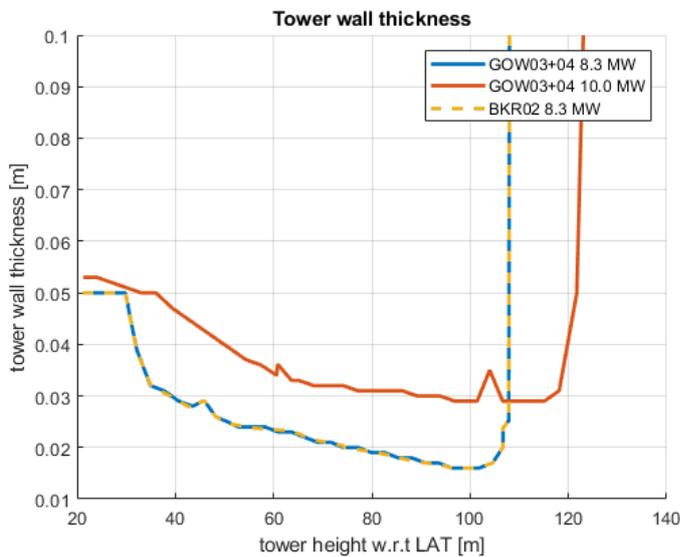


Bild 3-7: Vergleich Wandstärken Turm

Tabelle 3-5: 1. Eigenfrequenz der Anlagen

Parameter	Einheit	BKR02	GOW 3	
			8.3 MW	10 MW
1. Eigenfrequenz	Hz	0,226	0,23	0,20





3.3.6 Gondelmasse

Die 8.3 MW-Anlagen aus GOW 3 und BKR02 sind identisch. Bei der 10 MW-Anlage ist die Gondelmasse höher. Die Gesamtdynamik der Anlage hat aufgrund der größeren Höhe eine geringere 1. Eigenfrequenz geprägt. Da die Massenträgheit der Gondel erst nach dem Auftreten der größten Kollisionskraft aktiviert wird (s. [5], [7]) ist der Einfluss der höheren Gondelmasse unerheblich für das Schadensbild am Schiff.

Tabelle 3-6: Gondelmassen

Parameter	Einheit	BKR02	GOW 3	
			8.3 MW	10 MW
Gondelmasse	t	480	480	620

3.3.7 Typ und Größe des Bemessungsschiffs

Die für die Windparks GOW01+02 sowie BKR02 anzunehmenden Bemessungsschiffe sind mit großer Wahrscheinlichkeit auch für den Windpark GOW 3 anzunehmen, da sich alle an den gleichen Schifffahrtsrouten befinden.

Alle aus dem Schiffstyp resultierenden Parameter der Kollisionsfreundlichkeitsanalyse sind daher identisch anzunehmen.



3.3.8 Wiederholperioden des Kollisionseignisses

Für den Windpark Gode Wind 3 wurde in der technischen Risikoanalyse [5] als kumulatives Gesamtergebnis eine Wiederholperiode einer Kollision mit 120 a ermittelt.

Die berechneten Wiederholperioden einer Kollision sind mit 112 a (BKR02, [4]) und 103 a (GOW01+02) sowie 120 a (GOW 3, [5]) praktisch gleich.

Tabelle 3-7: Wiederholperiode einer Kollision als kumulatives Ergebnis (aus [5])

Kumulative Betrachtung zum Zeitpunkt der abgeschlossenen Errichtung von Gode Wind 3 für die OWP Gode Wind 3, Borkum Riffgrund 1, Borkum Riffgrund 2, Trianel Windpark Borkum, Merkur Offshore, alpha ventus, Nordsee One, Gode Wind 1 und Gode Wind 2	durchschnittliche statistische Kollisionswiederholperiode für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe
unter Berücksichtigung der Wirkung von AIS-Geräten am Windpark	40 Jahre
unter Berücksichtigung der Wirkung von AIS-Geräten am Windpark und einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 1	44 Jahre
unter Berücksichtigung der Wirkung von AIS-Geräten am Windpark, vorhandener Notschleppkapazitäten („Nordic“ auf alter Bereitschaftsposition) und einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 1	159 Jahre
unter Berücksichtigung der Wirkung von AIS-Geräten am Windpark, vorhandener Notschleppkapazitäten („Nordic“ auf neuer Bereitschaftsposition) und einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 1	120 Jahre



4 Fazit

Die für den Offshore-Windpark Borkum Riffgrund II ermittelten Eingangsparameter für die Beurteilung der Kollisionsfreundlichkeit der Gründungsstrukturen der Windenergieanlagen sind auch für den geplanten Windpark Gode Wind 3 im derzeitigen Planungsstadium zutreffend.

Folglich ist nicht mit dem Auftreten von Leckagen am Schiff zu rechnen, der Nachweis nach BSH Standard [10] kann als erfüllt angenommen werden.

Berlin, den 21.10.2019

Dr.-Ing. Andreas Künzel

