

OWP GENNAKER

Technische Risikoanalyse

mit Sensitivitätsanalyse

OWP Gennaker GmbH

Bericht Nr.: M-W-ADER 2018.074, Rev. 1.00

Datum: 2018-10-08



Projektname:	OWP Gennaker	DNV GL SE – Maritime
Berichtstitel:	Technische Risikoanalyse, Revision	Postfach 11 16 06
Kunde:	OWP Gennaker GmbH, Stephanitorsbollwerk 3 28217 Bremen	20416 Hamburg Brooktorkai 18 20457 Hamburg
Kontaktperson:	Herr Iffländer	Tel.: +49 40 36149-552
Datum:	2018-10-08	Fax: +49 40 36149-200
Projekt Nr.:	7595 17 21944 187	HRB 115442
Abteilungsname:	Safety & Systems Engineering	
Bericht Nr.:	M-W-ADER 2018.074, Rev. 1.00	

Inhalt:

In dieser technischen Risikoanalyse wird das Risiko auf die Schifffahrt ausgehend vom geplanten Offshore-Windpark Gennaker untersucht.

Ausgangslage dieser Revision der Technischen Risikoanalyse ist der Ansatz der Generaldirektion Wasserstrassen und Schifffahrt (GDWS) eine Küstenverkehrszone einzurichten, in der die Regel 10 (d) KVR gilt, sowie die Einrichtung eines Verkehrstrennungsgebietes nördlich der Küstenverkehrszone. Aufgrund dieser Regelungen verändert sich maßgeblich die Routenführung des Schiffsverkehrs im direkten Umfeld des Windparks.

Im ersten Schritt wird eine umfangreiche qualitative Gefahrenanalyse durchgeführt. Im Anschluss werden die statistisch zu erwartenden Kollisionshäufigkeiten von manövrierfähigen und manövrierunfähigen Schiffen mit Anlagen des Windparks sowie der MARNET Messplattform "Darßer Schwelle" ermittelt. Dabei werden unter Berücksichtigung von AIS-Daten der Schiffsverkehre aus dem Untersuchungsgebiet, der im Herbst 2004 für derartige Risikoanalysen harmonisierten Annahmen, sowie der im Sommer 2008 im Rahmen einer BMVBS-Arbeitsgruppe festgelegten Wirkung von risikomindernden Maßnahmen die Kollisionshäufigkeiten und das Kollisionsrisiko berechnet. Für die Berechnung der Kollisionshäufigkeiten wird ein Windenergieanlagen-Fundament mit 8 m kollisionsrelevantem Durchmesser für den Windpark Gennaker berücksichtigt.

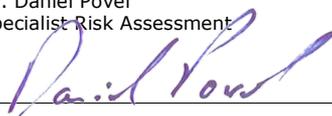
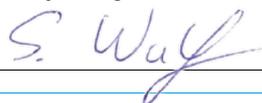
Die kumulative Betrachtung von OWP Gennaker und OWP Baltic I hat unter Berücksichtigung von AIS, einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung mit automatischer Auswertung (Variante 3) und vorhandener Notschleppkapazität eine durchschnittliche statistische Wiederholperiode zwischen zwei Kollisionen von 351 Jahren ergeben.

Im Anschluss wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, in der verschiedene Parameter der simulierten Notschleppesätze aufgeführt und ihre Wirksamkeiten untersucht werden.

Erstellt von:
Sebastian Wulf
Senior Project Engineer

Überprüft von:
Dr. Daniel Povel
Specialist Risk Assessment

Genehmigt von:
Andreas Ott
Team Leader Risk Assessment



-
- Uneingeschränkte Verteilung (intern und extern) Schlüsselworte:
- Uneingeschränkte Verteilung innerhalb DNV GL SE
- Eingeschränkte Verteilung innerhalb DNV GL SE
nach 3 Jahren
- Keine Verteilung/Weitergabe (vertraulich)
- Geheimsache
-

Vorsitzender des Aufsichtsrats: Remi Eriksen • **Vorstand:** Dr Knut Ørbeck-Nilssen • Torsten Schramm • Björn-Olaf Borth
DNV GL SE, Sitz Hamburg, HRB 115442

Gerichtsstand und Erfüllungsort ist Hamburg. Es gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen der DNV GL SE in ihrer jeweils neuesten Fassung. Es gilt deutsches Recht.

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	2
2	EINLEITUNG.....	4
3	QUALITATIVE GEFAHRENANALYSE (RISK ASSESSMENT).....	6
	Methoden der Risikoberechnung	10
	Identifizierung und qualitative Bewertung der Gefahren	11
4	BERECHNUNG DER KOLLISIONSHÄUFIGKEITEN.....	16
4.1	Berechnungsgrundlagen	16
4.2	Harmonisierte Annahmen	16
4.3	Aufstellmuster der betrachteten Windparks	18
4.4	Schiffsrouten	19
4.5	Beschreibung von Klima, Wetter und Hydrologie	23
4.6	Risikomindernde Maßnahmen	26
4.7	Ergebnisse kumulative Kollisionshäufigkeit des OWPs Gennaker	37
4.8	Ergebnisse Kollisionshäufigkeit des Messmastes Darßer Schwelle	42
5	KONKRETISIERUNG DER RISIKOMINDERNDEN WIRKUNG DER STAATLICHEN NOTSCHLEPPKAPAZITÄTEN	44
6	SENSITIVITÄTSBERECHNUNGEN DER STAATLICHEN NOTSCHLEPPKAPAZITÄTEN	47
6.1	Alarmierung und Mobilisierung der Notschlepper	47
6.2	Anreisegeschwindigkeit	48
6.3	Zeit der Leinenverbindung	49
6.4	Pfahlzugleistung und Annahmen zu unterschiedlichen Seegangsbedingungen	50
7	LITERATUR	52
	ANHANG A METHODEN DER RISIKOBERECHNUNG	1
A.1	Risikoberechnungen für den Windpark	2
A.2	Verfahren zur Berechnung des Risikos für Kollisionen manövrierfähiger Schiffe mit Installationen des Windparks	4
A.3	Verfahren zur Berechnung von Risiken für die Kollisionen manövrierunfähiger Schiffe mit Installationen des Windparks	12
A.4	Literatur zum Anhang A	32

Revisionen des Dokumentes

Datum	Revision	Hauptänderungen
2016-05-27	MAGDE717 2015.161, V1.2	1. Finale Version.
2016-11-29	MAGDE717 2015.161, V1.4	Keine Berücksichtigung des Notschleppers Arkona in den Risikoberechnungen. Ergänzende Darstellung der Ergebnisse unter Berücksichtigung der Seeraumbeobachtungsvarianten 2 und 3. Kleine editorielle Änderungen.
2018-10-08	M-W-ADER 2018.074, V1.00	Berücksichtigung der verkehrsregulierenden Maßnahmen. Einrichtung einer KVZ bzw. eines VTGs.

1 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Bericht sind die Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Risikoanalyse zum Offshore-Windpark Gennaker zusammengefasst. Zugrunde gelegt wird der Planungsstand Mai 2016 (inkl. der Layoutanpassungen vom September 2017) mit 103 Windenergieanlagen (WEA) und 2 Umformstationen. Hierzu wurde zunächst das umfassende Risiko für die Schifffahrt durch den Betrieb des Windparks Gennaker ermittelt. Anschließend wurde das kumulative Kollisionsrisiko für die geplanten OWPs Gennaker und Baltic I ermittelt. Für die Einzelposition des Messmastes Darßer Schwelle wurden ebenfalls die statistisch zu erwartenden Kollisionshäufigkeiten berechnet.

Die Berechnungen werden unter Berücksichtigung von AIS-Daten aus dem Untersuchungsgebiet, der im Herbst 2004 für derartige Risikoanalysen harmonisierten Annahmen /1/ sowie der in 2008 in einer BMVBS-Arbeitsgruppe abgestimmten Wirkungen risikomindernder Maßnahmen /3/ durchgeführt. Daneben wird die Planung der Einrichtung einer Küstenverkehrszone (KVZ), in der die Regel 10 (d) KVR gilt, sowie die Einrichtung eines Verkehrstrennungsgebietes (VTG) nördlich der Küstenverkehrszone berücksichtigt.

Die kumulative Betrachtung des OWP Gennaker mit OWP Baltic 1 unter Berücksichtigung der MARNET Messplattform "Darßer Schwelle", der Berücksichtigung von AIS-Geräten am Windpark, einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und zwei Notschleppern hat eine durchschnittliche statistische Kollisionswiederholungsrate zwischen zwei Kollisionen von 351 Jahren ergeben. Somit ist eine Überschreitung der für die Genehmigung mindestens zulässigen Kollisionswiederholungsfrequenz von 100 Jahren um 250 Jahre (siehe „Genehmigungsrelevante Richtwerte für Offshore-Windparks“ /2/) gegeben.

Die Einzelbetrachtung des Messmastes Darßer Schwelle hat unter Berücksichtigung der OWP Gennaker und Baltic 1, von AIS-Geräten am Windpark, einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und zwei Notschleppern eine durchschnittliche statistische Kollisionswiederholungsrate zwischen zwei Kollisionen von 945 Jahren ergeben.

Anschließend werden in einer Sensitivitätsanalyse verschiedene Parameter der simulierten Notschleppereinsätze aufgeführt und ihre Wirksamkeiten untersucht.

Tabelle 1: Ermittelte kumulative Kollisionswiederholperioden

Kumulative Betrachtung für die OWP Gennaker und Baltic I	durchschnittliche statistische Kollisionswiederholperiode für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe
unter Berücksichtigung der Wirkung von AIS-Geräten am Windpark	124
unter Berücksichtigung der Wirkung von AIS-Geräten am Windpark und einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3	139
<u>Hauptergebnis der kumulativen Betrachtung:</u> Unter Berücksichtigung der Wirkung von AIS- Geräten am Windpark, Notschleppkapazitäten und einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3	351

2 EINLEITUNG

In dieser Risikoanalyse wurde das allgemeine Risiko für die Schifffahrt qualitativ, sowie die statistisch zu erwartenden Kollisionshäufigkeiten für den Offshore-Windpark Gennaker bestimmt. Die Grundlagen zu den durchgeführten Berechnungen sind in den Abschnitten 4.1 bis 4.6 sowie im Anhang A zu finden.

Dieser Bericht gliedert sich in 6 Abschnitte. Ausgehend von der Zusammenfassung im Abschnitt 1 und dieser Einleitung folgt in Abschnitt 3 eine formale qualitative Gefahrenanalyse. In Abschnitt 4 folgt eine Darstellung der verwendeten Berechnungsgrundlagen sowie eine Vorstellung der risikomindernden Maßnahmen und eine Erläuterung deren angesetzter Wirkung in Abschnitt 4.6. Anschließend wird in Abschnitt 4.7 die kumulative Wirkung der Windparks Gennaker und Baltic I untersucht.

In Abschnitt 4.8 wird die Kollisionshäufigkeit für die Einzelposition des Messmastes Darßer Schwelle ermittelt.

Die folgenden Punkte werden nur in der qualitativen und nicht in der quantitativen Analyse betrachtet:

- vorsätzliche bzw. grob fahrlässige Handlungen (nicht quantifizierbar, daher nur qualitativ berücksichtigt) bei der Führung eines Schiffes sowie etwaige Versäumnisse von Personen, die für die Sicherheit der Seeschifffahrt und des Küstenschutzes im betrachteten Seegebiet verantwortlich sind. Menschliches Fehlverhalten im Sinne der VDI 4006 /16/ wird auch in der quantitativen Analyse berücksichtigt,
- Ereignisse im Zusammenhang mit Flugunfällen werden nicht quantifiziert,
- Yachten und Fahrzeuge mit einer Wasserverdrängung unter 500 [t] werden nur in der qualitativen Risikoanalyse berücksichtigt.

Die folgenden Punkte werden weder in der qualitativen noch in der quantitativen Analyse berücksichtigt:

- zukünftige Entwicklungen in der Schiffstechnik (z.B. neue Schiffstypen mit Geschwindigkeiten >30 [Kn], neue Transporttechnologien)
- kriegerische und kriminelle Handlungen (z.B. Sabotage),
- Sachverhalte, die im Zusammenhang mit der Zertifizierung der WEA stehen,
- mögliche Anbauten (wie z.B. Montagegerüste, Antennen, etc.) an den WEA und der Umspannstation für Service-/ Montage-/ Wartungsarbeiten,

- 
- Ausbreitungsberechnungen bzw. -simulationen von ausgelaufenen, umweltgefährdenden Stoffen nach einer Kollision. Diese sind Bestandteil der Störfallvorsorge,
 - eine Bewertung der Folgen für die Umwelt durch ausgelaufene, umweltgefährdende Stoffe,
 - Wartungsaktivitäten im laufenden Betrieb des Windparks (z.B. Anlegemanöver von CTV's und Versorgern, Übersetzen von Instandhaltungs- und Servicepersonal).
 - Die Aufbau-, Rückbau- und Entsorgungsphase des Windparks wird nicht berücksichtigt. Diese unterliegen besonderen gesetzlichen Rahmenbedingungen (Arbeitsschutz) und werden unter erhöhten Sicherheitsmaßnahmen durchgeführt (Seewarntmeldungen, Verkehrssicherungsfahrzeuge).

3 QUALITATIVE GEFAHRENANALYSE (RISK ASSESSMENT)

Die formale Gefahrenanalyse ist eine induktive und qualitative Methode zur Identifizierung möglicher Gefahrenzustände. Der Aufbau und die Vorgehensweise dieser Methode erfolgen in Anlehnung an eine Fehlerarten- und Fehlerauswirkungsanalyse (FMEA). Mit ihr werden die Folgen bzw. Auswirkungen verschiedener unerwünschter Ereignisse ermittelt und bewertet.

Ziel der Gefahrenanalyse ist das Auffinden von Schwachstellen im System und in den Schnittstellen sowie das Feststellen möglicher Einzelfehler bzw. Einzelereignisse, deren Auftreten zu einer Havarie führen können. Gefahrenanalysen untersuchen i.d.R. nur Einzelereignisse bzw. -ausfälle und keine Ereignis- oder Ausfallkombinationen.

Die Schritte einer Gefahrenanalyse sind:

- Auflistung aller beteiligten Systeme,
- Identifizierung der unerwünschten Ereignisse bzw. Ausfallarten,
- Ermittlung der Folgen / Auswirkungen,
- Abschätzung der Ausfallschwere,
- Abschätzung der Eintrittshäufigkeit,
- Ermittlung der Risikoprioritätszahl RPZ durch Kombination von Eintrittshäufigkeit und Ausfallschwere.

Gebrauch der Bewertungstabelle

Zur Abschätzung der Ausfallschwere unerwünschter Ereignisse wird Tabelle 2 herangezogen, in der die Ausfallschwere unerwünschter Ereignisse bzw. deren Auswirkungen klassifiziert sind. Es sind vier Ausfallschwereklassen definiert (von geringfügig bis katastrophal), denen jeweils vier Häufigkeitsklassen (qualitativ: von häufig bis äußerst selten) zugeordnet sind.

Diese Zuordnung ist so zu verstehen, dass ein als "schwerwiegend" eingestuftes unerwünschtes Ereignis bei der qualitativen Häufigkeitsabschätzung mindestens als ein "sehr seltenes" Ereignis eingestuft werden muss, um als Einzelereignis gerade noch akzeptiert zu werden. Wird dieses fiktive, unerwünschte Ereignis hinsichtlich seiner Eintrittshäufigkeit als "selten" oder "häufig" eingeschätzt, so ist es als nicht akzeptabel zu bewerten.

Analog geben die in den Zeilen „Häufigkeit H [1/Jahr] Sicherheit / quantitativ“ und „ Häufigkeit H [1/Jahr] Umwelt/ quantitativ“ vorgegebenen Akzeptanzwerte die maximal zulässigen Eintrittshäufigkeiten von unerwünschten Ereignissen wieder, deren Ausfallschwere in den

zugehörigen Spalten der Tabelle klassifiziert sind. Die erste Zeile gibt die Akzeptanzwerte für Eintrittshäufigkeiten von Unfällen mit Personenschäden an, wogegen die zweite Zeile die Akzeptanzwerte für Eintrittshäufigkeiten von Umweltschäden angibt.

Tabelle 2: Ausfallsschwereklassifizierung und zugeordnete Häufigkeit

Häufigkeit H [1/Jahr] Sicherheit / quantitativ	$H > 10^{-1}$	$10^{-1} \geq H > 10^{-2}$	$10^{-2} \geq H > 10^{-3}$	$H \leq 10^{-3}$
Häufigkeit H [1/Jahr] Umwelt / quantitativ	$H > 2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1} \geq H > 2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2} \geq H > 2 \cdot 10^{-3}$	$H \leq 2 \cdot 10^{-3}$
qualitativ	wahrscheinlich	unwahrscheinlich	unwahrscheinlich	äußerst unwahrscheinlich
Klassifizierung der Ausfallsschwere	häufig	gelegentlich / selten	sehr selten	extrem / äußerst selten
Ausfallwirkung	unbedeutend, geringfügig	beträchtlich	schwerwiegend	katastrophal
	<ul style="list-style-type: none"> • leichte Reduzierung der Sicherheitsreserven • geringer Sachschaden • geringe Verschlechterung der Stabilität und Festigkeit • geringe Umweltverschmutzung • leichte Zunahme der Arbeitsbelastung • physische Auswirkungen, aber keine Verletzung der Beteiligten / Mitarbeiter • einige Unbequemlichkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • signifikante Reduzierung der Sicherheitsreserven • mittlerer Sachschaden • signifikante Verschlechterung der Stabilität und Festigkeit • beträchtliche Umweltverschmutzung • eine Reduzierung der Fähigkeiten der Besatzung mit widrigen Umständen fertig zu werden infolge einer Zunahme der Arbeitsbelastung oder infolge von Bedingungen, welche deren Leistungsfähigkeit verschlechtern • Verletzung von Mitarbeitern und/oder Beteiligten 	<ul style="list-style-type: none"> • eine starke Reduzierung der Sicherheitsreserven oder funktionaler Fähigkeiten • großer Sachschaden • Erreichen der Stabilitäts- und Festigkeitsgrenzen • große Umweltverschmutzung • eine physische Notlage oder Arbeitsbelastung, so dass die Besatzung nicht zuverlässig ihre Aufgaben korrekt oder komplett erfüllen kann • ernsthafte/schwere Verletzungen bei Mitarbeitern und/oder Beteiligten, geringe Anzahl von Toten 	<ul style="list-style-type: none"> • ein Ausfallereignis, das zum Verlust des Schiffes führt • hohe Anzahl von Toten • schwere, langfristig anhaltende und großflächig wirkende Umweltverschmutzung

UP/Hm 2233

Gebrauch des Formblattes

Um die o.g. Vorgehensweise zu gewährleisten, wird ein Datenblatt verwendet. Damit können die für die Gefahrenanalyse erforderlichen Fakten abgefragt und im logischen Zusammenhang dargestellt werden.

Für jedes zu analysierende System wird ein eigener Satz Datenblätter verwendet. Wird ein System (z.B. ein Schiff) in Subsysteme (z.B. Ruderanlage, Antriebsanlage) oder Geräte (z.B. Radargerät) aufgebrochen, so wird auch für jedes Subsystem oder Gerät ein eigenes Datenblatt verwendet.

Datenblatt zur Gefahrenanalyse					Blatt: Ausgabe: Datum:	
System: Anlage: Gerät:			Funktion:			
lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere Klassifizierung	Eintritts- häufigkeit	Risiko	Bemerkung

Abbildung 1: Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Das Datenblatt enthält die folgenden Einträge (siehe Abbildung 1):

- Kopfzeilen:

In der Kopfzeile ist an den dafür vorgesehenen Stellen das Projekt (der Name des Windparks), das beteiligte System (z.B. „Schiff“), das Subsystem bzw. Gerät (z.B. „Antriebsanlage“ bzw. „Funkgerät“) und die Funktion des zu analysierenden Systems oder Subsystems (z.B. „Ladungstransport“) eindeutig zu kennzeichnen.

- Spalte „lfd.Nr.“:

In dieser Spalte sind die aufgelisteten Ausfallbedingungen bzw. Gefahren fortlaufend zu nummerieren.

- Spalte „Ausfallbedingung bzw. Gefahr“:

In dieser Spalte sind die identifizierten Ausfallbedingungen bzw. Gefahren des in der Kopfzeile genannten Systems/Subsystems/Gerätes aufzulisten. Diese unerwünschten Ereignisse können sein:

- Der Verlust/Ausfall eines Systems/Subsystems/Gerätes,
- Der fehlerhafte Betrieb eines Systems/Subsystems/Gerätes,



- Der erkannte Verlust/Ausfall oder Fehler einer Funktion,
 - Der unerkannte Verlust/Ausfall oder Fehler einer Funktion,
 - Menschliches Fehlverhalten.
- Spalte „Ausfalleffekt“:

Der Ausfalleffekt beschreibt die unmittelbaren Konsequenzen / Folgen / Szenarien der in der Spalte „Ausfallbedingung bzw. Gefahr“ aufgelisteten unerwünschten Ereignisse.

- Die Beschreibung der Ausfalleffekte beginnt in der gleichen Zeile der zu analysierenden Ausfallbedingung und endet mit mindestens einer Leerzeile Abstand vor der nächsten Ausfallbedingung.
 - Bei der Beschreibung der Ausfalleffekte sind für jedes unerwünschte Ereignis die folgenden Randbedingungen zu berücksichtigen:
 - Beschreibung der Auswirkungen auf das Gerät, Subsystem, System, die betroffenen Personen und auf die Umwelt. Im Falle einer Kollision sind die Auswirkungen auf die Windenergieanlage (z.B. Umfallen des Turms) und auf den Kollisionsgegner (z.B. lokal begrenzter Strukturschaden im Unterwasserbereich) zu beschreiben. Auswirkungen auf Personen und auf die Umwelt sind in allgemeiner Form zu beschreiben (z.B. Verletzung einzelner Besatzungsmitglieder, Austritt von Bunkeröl, Brand- und Explosionsgefahr, Feuer).
 - Beschreibung der Entdeckungsmaßnahmen bzw. Entdeckungsmöglichkeiten des unerwünschten Ereignisses. Zu beschreiben sind Entdeckungsmöglichkeiten durch die beteiligten Personen (z.B. der Wachoffizier an Bord, der Techniker in der Leitwarte) als auch durch technische Einrichtungen (z.B. ARPA).
 - Beschreibung von Gegenmaßnahmen, welche die Auswirkungen des betrachteten, unerwünschten Ereignisses mindern.
 - Berücksichtigung unterschiedlicher Wetterbedingungen (z.B. Sturm, Nebel), Tageszeiten, Wind- und Strömungsrichtungen, Schiffsstandorte (z.B. Fahrwasser, Nahbereich des Windparks, Sperrzone), Schiffstypen (z.B. Trockenfrachter, Tankschiff) und Schiffsgrößen.
- Spalte „Ausfallschwere“:

Die Schwere der Ausfalleffekte (Konsequenzen) wird in vier Stufen gemäß der Bewertungstabelle (siehe Tabelle 2) klassifiziert. Werden bei der Beschreibung der Ausfalleffekte unterschiedliche



Randbedingungen genannt (z.B. Nebel, im Nahbereich des Windparks, Tankschiff), so ist für jedes Szenario die jeweilige Ausfallschwere zu klassifizieren.

- Spalte „Eintrittshäufigkeit“:

Die Eintrittshäufigkeit der Ausfalleffekte wird in vier Stufen gemäß der Bewertungstabelle (siehe Tabelle 2) abgeschätzt. Werden bei der Beschreibung der Ausfalleffekte unterschiedliche Randbedingungen genannt (siehe oben), so ist für jedes Szenario die jeweilige Eintrittshäufigkeit abzuschätzen.

- Spalte „Risiko“:

In dieser Spalte wird für jeden Ausfalleffekt und für jede Randbedingung eine Risikoprioritätszahl (RPZ) angegeben. Die Ermittlung der RPZ ist weiter unten in diesem Abschnitt dargelegt.

- Spalte „Bemerkung“:

In dieser Spalte werden, sofern notwendig, Informationen gegeben über:

- Zusätzliche Erklärungen zu Ausfallbedingung bzw. Ausfalleffekt,
- Bedingungen, welche die Auswirkungen einer Ausfallbedingung beeinflussen (z.B. das Vorhandensein anderer Systemausfälle),
- Sonstige wichtige Informationen.

Methoden der Risikoberechnung

Methode der Risikomatrix:

Die Darstellung der unerwünschten Ereignisse entsprechend ihres abgeschätzten Risikos in Form einer Matrix (siehe Abbildung 2) wird durch die Kombination von Eintrittshäufigkeit und Schadensschwere der einzelnen Szenarien möglich. Entsprechend der qualitativen Einschätzung von Häufigkeit und Schwere wird den Szenarien eine sog. Risikoprioritätszahl RPZ (Zahlen in der Matrix in Abbildung 2) zugeordnet.

Die RPZ ist somit ein Indikator für eine erste Einschätzung des Risikos unerwünschter Ereignisse. Als akzeptabel gelten die Felder mit der RPZ 1 bis 3. Ereignisse mit der RPZ 4 gelten als Grenzbereich zwischen akzeptablem und nicht zulässigem Risiko. Das heißt, es müssen von allen Beteiligten praktikable Anstrengungen unternommen werden, um das vorhandene Risiko zu beherrschen und langfristig zu reduzieren. Aufgrund der Methodik in der qualitativen Betrachtungsweise müssen diese Ereignisse genauer untersucht und deren Risiko quantifiziert werden. Ereignisse mit der RPZ 5 bis 7 sind nicht akzeptabel.

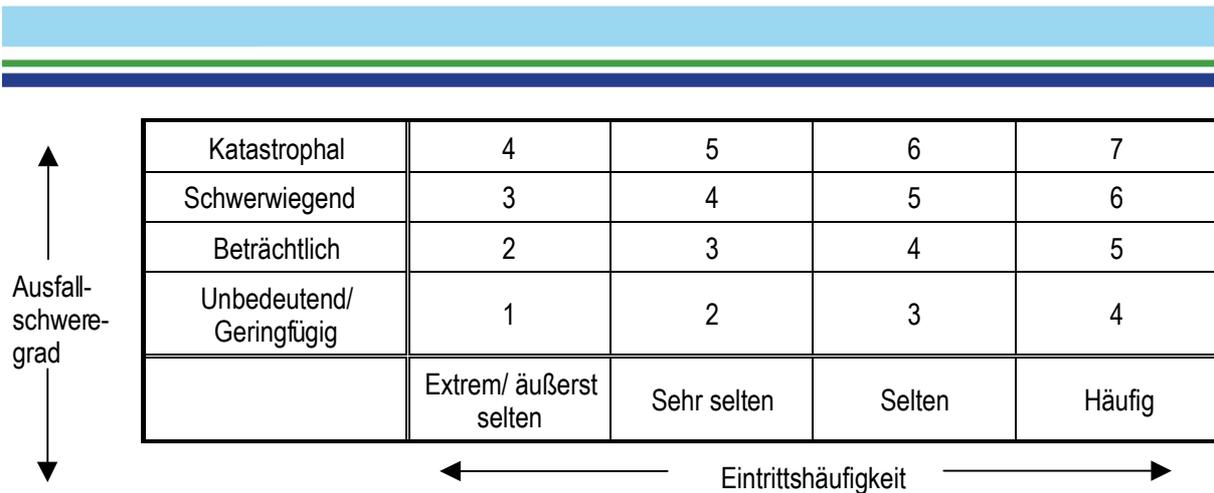


Abbildung 2: Risikomatrix zur qualitativen Einschätzung des Risikos

Identifizierung und qualitative Bewertung der Gefahren

Die Identifizierung der Gefahren erfolgt mit einer Gefahrenanalyse. Um den Windenergiepark und damit verbundene Gefahren analysieren zu können, wurde er zunächst in überschaubare Teilbereiche (Module) unterteilt. Diese Teilbereiche sind:

- der Verkehrskontrollraum,
- die Leitwarte,
- die WEA,
- die Umspannstation,
- das Schiff (möglicher Kollisionsgegner),
- der Bergungsschlepper / das SUBS
- das Seekabel der internen Parkverkabelung.

Jeder Teilbereich wurde nach den genannten Kriterien untersucht. Die Formblätter der gesamten Analyse befinden sich im Anhang B dieses Berichts.

Eine Auswertung der Gefahrenanalyse ergibt für die RPZ folgende Verteilung:

- RPZ 1 → 6 unerwünschte mögliche Ereignisse
- RPZ 2 → 20 unerwünschte mögliche Ereignisse
- RPZ 3 → 29 unerwünschte mögliche Ereignisse
- RPZ 4 → 27 unerwünschte mögliche Ereignisse
- RPZ 5 → 0 unerwünschtes mögliches Ereignis
- RPZ 6 → 0 unerwünschtes mögliches Ereignis
- RPZ 7 → 0 unerwünschtes mögliches Ereignis

In Tabelle 3 ist die Anzahl der möglichen Ereignisse, die in eine entsprechende Risikokategorie fallen, entsprechend ihrer eingeschätzten Häufigkeit und Konsequenz eingetragen.

Tabelle 3: Risikomatrix, Anzahl möglicher Ereignisse in Klammern

Ausfall- schwere- grad	Katastrophal	4 (16)	5 (0)	6 (0)	7 (0)
	Schwerwiegend	3 (7)	4 (10)	5 (0)	6 (0)
	Beträchtlich	2 (8)	3 (9)	4 (1)	5 (0)
	Unbedeutend/ Geringfügig	1 (6)	2 (12)	3 (13)	4 (0)
		Äußerst selten	Sehr selten	Selten	Häufig
	← Eintrittswahrscheinlichkeit →				

Die Auswertung ergibt, dass keine unerwünschten Ereignisse mit der RPZ 5 bis 7 identifiziert wurden.

Eine grafische Darstellung der Risikomatrix ist in Abbildung 3 gezeigt.

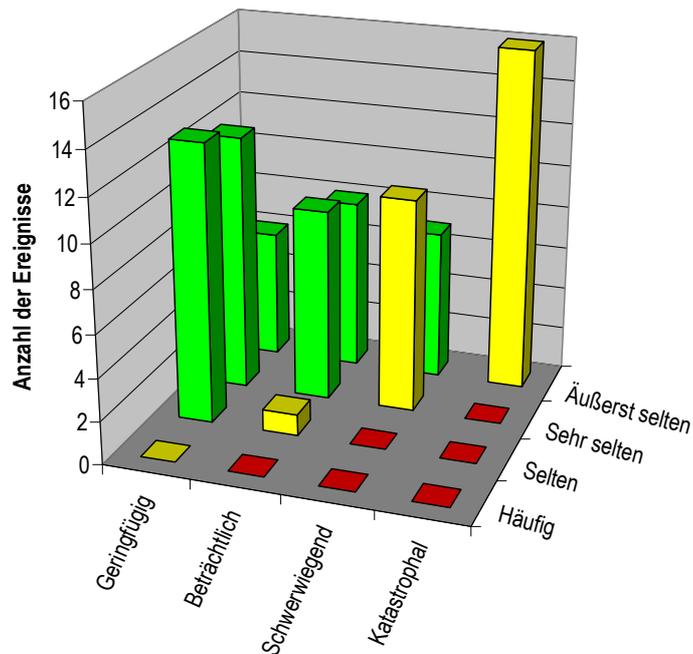


Abbildung 3: Ergebnisse der qualitativen Studie



Mit der RPZ 4 wurden die folgenden Ereignisse eingestuft:

- 2 Ereignisse - Kollisionen von Sportflugzeugen / Helikoptern bzw. Militärflugzeugen mit einer WEA bei Nacht bzw. verminderter Sicht;
- 21 kollisionsrelevante Ereignisse - von der Einleitung eines kollisionsgefährlichen Zustandes bis zur Kollision - die durch ein Schiff verursacht werden;
- 4 Ereignisse, die ein Versagen der Bergungskräfte im Havariefall voraussetzen.

Diese Ereignisse werden im Folgenden näher erläutert.

Die beiden in obiger Übersicht als erstes aufgeführten Ergebnisse „Kollisionen von Sportflugzeugen bzw. Militärflugzeugen mit einer WEA bei Nacht bzw. verminderter Sicht“ werden erzielt, wenn das Szenario „Windenergiepark in Luftkarte falsch oder gar nicht eingezeichnet“ ausgewertet wird. Hierbei wird beim Ausfalleffekt zwischen guter und schlechter Sicht unterschieden. Bei schlechter Sicht kann es zur Kollision von tieffliegenden Sportflugzeugen / Helikoptern oder tieffliegenden Militärmaschinen mit einer WEA kommen. Die Ausfallschwere wurde hier mit „schwerwiegend“ bewertet und die Eintrittshäufigkeit mit „sehr selten“.

Auf das Kollisionsrisiko von Sportflugzeugen und Militärmaschinen mit einer WEA kann im Rahmen dieser Studie nur hingewiesen werden. Eine Quantifizierung dieses Risikos ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich.

Die 21 oben aufgeführten Ereignisse, die mit einer RPZ von 4 bewertet wurden, traten bei der Untersuchung des Teilbereiches Schiff auf. Hierbei kommt es zu einer Einstufung mit der RPZ von 4, wenn sich z.B. ein Schiff bereits in der Sicherheitszone des Windparks befindet und den Kurs nicht ändert. Ein weiteres Ereignis, das hier berücksichtigt wird, ist die Kollision eines manövrierfähigen bzw. manövrierunfähigen Schiffes mit einer WEA bzw. mit der Umspannstation. Hierbei wird nach drei unterschiedlichen Schiffsgrößen/-typen unterschieden und jeweils die Ausfallschwere mit „katastrophal“ und die Eintrittshäufigkeit mit „äußerst selten“ bewertet. Bei Betrachtung des Ereignisses „Schiff treibt manövrierunfähig im Nahbereich des Windparks“ bzw. „Schiff treibt manövrierunfähig in der Sicherheitszone des Windparks“ wird nach den unterschiedlichen Ausfalleffekten (Notankerung/Anfahren gelingt nicht; Schlepperhilfe trifft nicht rechtzeitig ein; Schleppverbindung kann nicht hergestellt werden) unterschieden und jeweils mit der RPZ 4 (Ausfallschwere: schwerwiegend; Eintrittshäufigkeit: sehr selten) bewertet. Ein erkannter Ausfall bzw. eine erkannte Fehlfunktion des Radargerätes wird, wenn kein zweites Gerät vorhanden ist, ebenfalls mit der RPZ 4 bewertet. Wenn der Wachoffizier einschläft und sich das Schiff innerhalb der Sicherheitszone befindet, wird dieses Ereignis mit der RPZ 4 eingestuft (Ausfallschwere: schwerwiegend; Eintrittshäufigkeit: sehr selten).



Viermal werden Ereignisse in Zusammenhang mit Bergungsschleppern mit der RPZ 4 bewertet. Dieses tritt ein, wenn der Ausfalleffekt „havariertes Schiff mit WEA kollidiert“ betrachtet wird und

- kein einsatzbereiter Bergungsschlepper im Bereich der Ostsee vorhanden ist oder
- der Bergungsschlepper nicht oder zu spät auf den Einsatzbefehl reagiert, bzw. nicht rechtzeitig den Havaristen erreicht oder
- der Bergungsschlepper den Havaristen nicht findet oder
- der Bergungsschlepper keine dauerhafte Schleppverbindung zum Havaristen herstellen kann.

Die Ausfallschwere ist hier jeweils mit „katastrophal“ zu bewerten und die Eintrittshäufigkeit mit „äußerst selten“.

Die Gefahrenanalyse zeigt, dass es unter bestimmten Umständen zu einer Kollision von Schiffen mit Installationen des Windparks kommen kann. Es zeigt sich, dass kein Einzelfehler oder -versagen zu einer Kollision führen kann. Erst das zeitgleiche Vorhandensein mehrerer unerwünschter Ereignisse kann zu einer Kollision führen.

Im Folgenden werden die unerwünschten Ereignisse bzw. Zustände aufgelistet, die durch die Gefahrenanalyse als Gefahr und kollisionsrelevantes Ereignis identifiziert wurden:

- schlechtes Wetter (Sichtbehinderung, Sturm),
- menschliches Fehlverhalten gemäß VDI 4006 der Schiffsbesatzung und des Personals im Verkehrskontrollraum
- technisches Versagen der Navigationsanlagen oder von Kollisionsverhütungsgeräten (hier der unerkannte Ausfall von Radar und Geräten der Positionsbestimmung),
- technisches Versagen der Kommunikationsanlagen (Verkehrskontrollraum/Schiff),
- technisches Versagen der Steuer- und Antriebsanlage eines Schiffes,
- fehlgeschlagene Notankerung und fehlgeschlagenes Wiederanfahren der Maschinenanlage eines manövrierunfähigen Schiffes,
- fehlgeschlagene Bergung eines manövrierunfähigen Schiffes,
- Schiff befindet sich auf Kollisionskurs mit einem anderen Schiff und gerät bei einem Ausweichmanöver in den Windpark
- Schiff befindet sich in der Nähe des Windparks.



Nach der Kollision eines Schiffes mit einer WEA wurden folgende Gefahren für das Schiff, die WEA, die Umspannstation und die Umwelt identifiziert:

- Schäden an der WEA/Umspannstation bzw. Verlust der WEA/Umspannstation,
- Struktureller Schaden am Schiff,
- Untergang des Schiffes (diese Gefahr besteht für kleinere Schiffe),
- Explosion und Feuergefahr bei Tankschiffen,
- Austritt und Verbreitung wassergefährdender Stoffe.

In den folgenden Kapiteln werden die in der qualitativen Gefahrenanalyse als relevant eingestuft Gefährdungen (RPZ 4 oder höher) quantifiziert. Diese Studie beschränkt sich auf die Bewertung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs und im Folgenden werden Gefährdungen durch Kollisionen von manövrierfähigen und manövrierunfähigen Schiffen mit Anlagen des Windparks analysiert und quantifiziert.

4 BERECHNUNG DER KOLLISIONSHÄUFIGKEITEN

4.1 Berechnungsgrundlagen

Für die Risikoberechnungen wurden die im Anhang A genannten Grundlagen und Methoden verwendet. Neben den im Jahr 2004 zwischen unterschiedlichen Gutachtern harmonisierten Annahmen (Abschnitt 4.2) werden weitergehende Annahmen für die Wirkung risikomindernder Maßnahmen entsprechend der im Jahr 2008 in einer BMVBS-Arbeitsgruppe abgestimmten Wirkung berücksichtigt /3/. Diese werden im Abschnitt 4.6 näher beschrieben.

Für die Berechnung der Kollisionen von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen von Windparks wurde in der Berechnungssoftware ein realitätsnahes Strömungsmodell verwendet, das die Strömungen (Wind- und Tidenströmung) realistisch berücksichtigt. Die Bergung durch einen Notschlepper wird innerhalb der Windparkfläche lediglich bis zu einer Windstärke von 4 Bft berücksichtigt, da eine erfolgreiche Bergung innerhalb der Windparkfläche bei höheren Windgeschwindigkeiten nach Hinweisen der WSD Nordwest für unwahrscheinlich angesehen wird.

Im Abschnitt 4.3 sind die Aufstellmuster (Layouts) der Windparks dargestellt. Die an die Aufstellmuster angepassten Schiffsrouten werden im Abschnitt 4.4 erläutert. Abschnitt 4.5 beinhaltet Angaben zu den in der Simulationssoftware implementierten und verwendeten Klima- und Wetterbedingungen.

4.2 Harmonisierte Annahmen

Im Auftrag vom BMVBW wurde vom BSH im Jahre 2004 eine Harmonisierung der Annahmen zwischen den unterschiedlichen Gutachtern für die Erstellung von Risikoanalysen zum Kollisionsrisiko mit Installationen von Offshore-Windparks veranlasst.

Zwischen den Gutachtern des Germanischen Lloyd, DNV und MARIN wurde daraufhin Ende 2004 eine Harmonisierung von Annahmen vorgenommen. Im Einzelnen wurden gemeinsame Grundannahmen für die Szenarien mit manövrierfähigen und manövrierunfähigen Schiffen erarbeitet und vereinbart, die eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der unterschiedlichen Gutachter gewährleisten sollen. Detaillierte Angaben hierzu sind im Bericht zur Harmonisierung /1/ zu finden.

Durch die harmonisierten Annahmen wurden hauptsächlich folgende Parameter vereinheitlicht:

Allgemeine Daten:

- Zur bisherigen Lateralverteilung der Schiffe auf den einzelnen Schiffsrouten durch eine Gauß-Verteilung wurde eine zusätzliche gleichförmige Verteilung mit einem Anteil von 2% der Schiffe angenommen, um die Sensibilität zu reduzieren. Dabei reduziert sich der Anteil der Schiffe, die durch die Gauß-Verteilung betrachtet werden, auf 98%.



Szenario mit manövrierfähigen Schiffen

- Ein Causation Factor (Wahrscheinlichkeit $P_{fm,k}$ von nicht erfolgten Maßnahmen zur Kursänderung) von $3.0 \cdot 10^{-4}$ wurde gemeinsam vereinbart (vgl. Anhang A Abs. A.2.1).
- Die effektive Kollisionsbreite wurde mit dem 1.2-fachen der Schiffsbreite zzgl. des Durchmessers des Hindernisses festgelegt.

Szenario mit manövrierunfähigen Schiffen

- Die Ausfallrate der Antriebs- und Ruderanlage wurde mit $2.5 \cdot 10^{-4}$ pro Stunde festgelegt.
- Des Weiteren wurden Anpassungen an den Versagenswahrscheinlichkeiten von einer Notankerung und von Reparaturmaßnahmen vorgenommen. Diese Annahmen sind in A.3.1 beschrieben.

4.3 Aufstellmuster der betrachteten Windparks

In Abbildung 4 sind die Aufstellmuster der Offshore-Windparks Gennaker und Baltic I dargestellt. Als Außendurchmesser der hier betrachteten Windenergieanlagen (WEA) wurden 8,0 m für den OWP Gennaker und 5,0 m für Baltic I angesetzt.

Für sämtliche Anlagen wird aufgrund der Forderungen der Genehmigungsbehörde eine kollisionsfreundliche Konstruktion der Fundamente angenommen. Dies gilt sowohl für die genehmigten als auch für die im Genehmigungsprozess befindlichen Windparks. Ebenfalls wurden die Umspannwerke der einzelnen OWPs in der Berechnung berücksichtigt.

Entsprechend den harmonisierten Annahmen sind die benachbarten Windparks in einem Radius von 20 Seemeilen für die kumulative Betrachtung zu berücksichtigen.

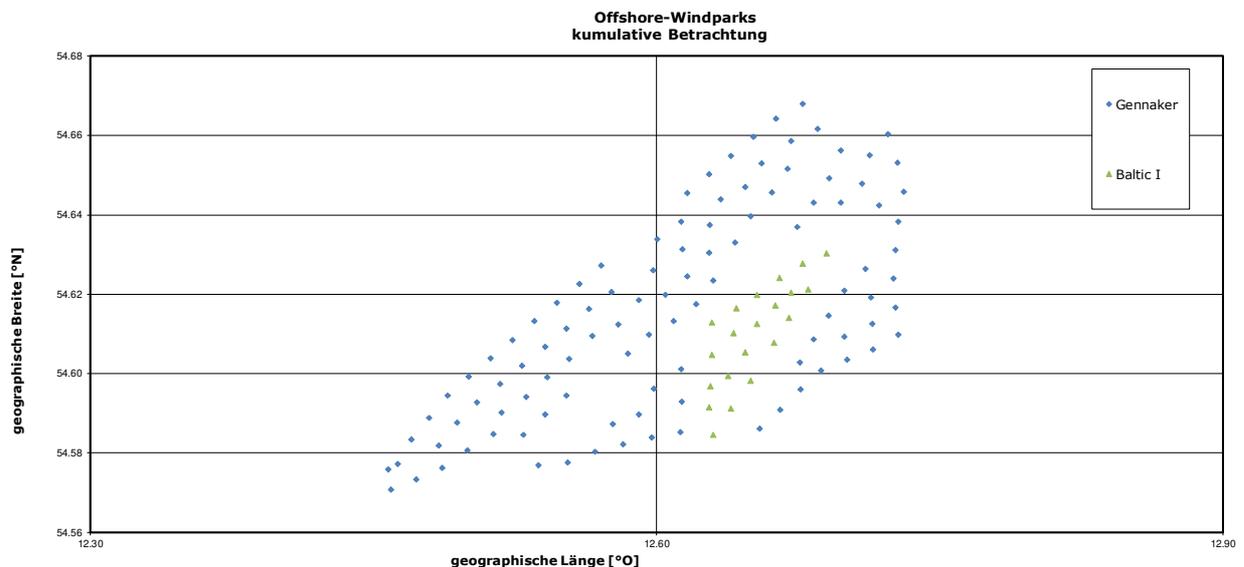


Abbildung 4: Layout der betrachteten Offshore-Anlagen

4.4 Schiffsrouten

Als Datenbasis für den Schiffsverkehr wurden Informationen aus Auswertungen von AIS-Daten des Jahres 2016 herangezogen. Die hierbei verwendeten AIS-Daten wurden von der GDWS zur Verfügung gestellt. Dabei wurde der Schiffsverkehr über 120 Tage verteilt über das Jahr 2016 ausgewertet. In der folgenden Abbildung sind die Positionsinformationen der Schiffe in Form von Tracks (rot – westgehende Schiffe, grün – ostgehende Schiffe) dargestellt. Die Windparks Gennaker und Baltic I sind dunkelblau und die von der GDWS geplante und im Küstenmeer einzurichtende Küstenverkehrszone hellblau eingezeichnet. Das damit ebenfalls geplante Verkehrstrennungsgebiet ist magentafarben eingezeichnet. Die KVZ wird von der nordöstlichen Begrenzung der Küstenverkehrszone südöstlich des VTG „South of Gedser“ entlang der deutschen Hoheitsgrenze bis zu einer Linie verlaufen, die von der Tonne DW 79 bis zum Unterfeuer „Zarrenzin“ reicht.

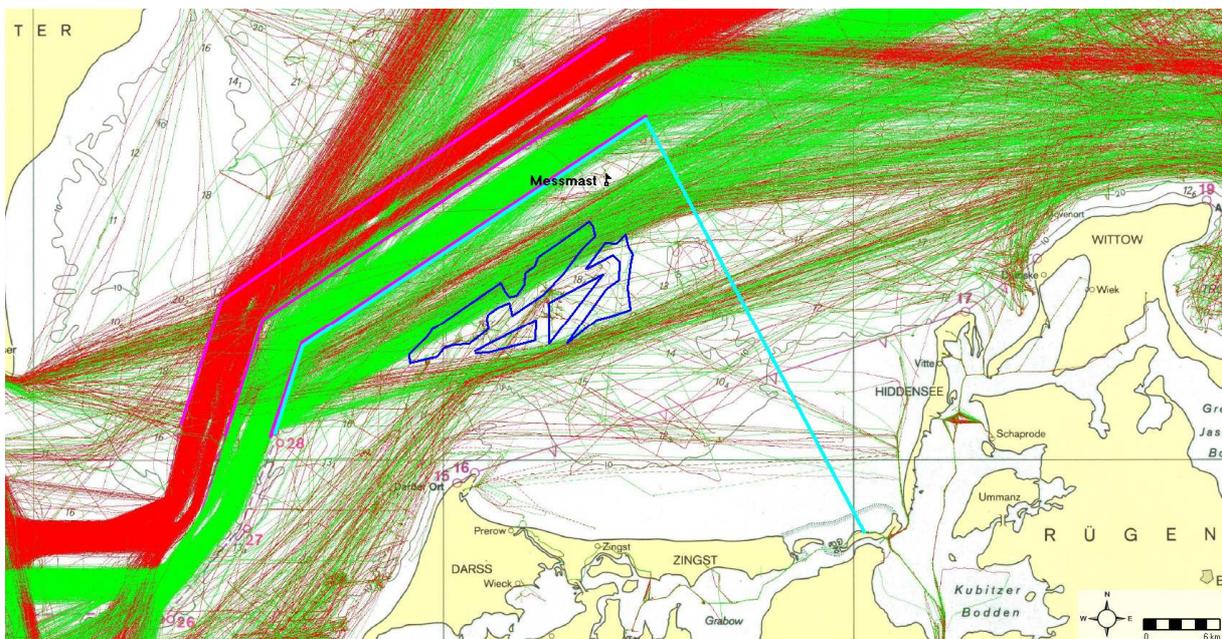


Abbildung 5: AIS Tracks 120 Tage des Jahres 2016 (grün: ostgehender Verkehr; rot: westgehender Verkehr, hellblau: Küstenverkehrszone, magenta: zukünftiges VTG)

Die identifizierten Schiffsrouten im Bereich der Windparkplanungen und des Messmastes sind unter Berücksichtigung der Einrichtung der Küstenverkehrszone (KVZ) und des nördlich parallel zum Tiefwasserweg verlaufenden VTGs in Abbildung 6 dargestellt. Die beiden Windparks Gennaker und Baltic 1 sowie die Messplattform "Darßer Schwelle" liegen vollständig innerhalb des KVZ. Da die KVZ lt. Regel 10 der KVR nicht befahren werden darf, kommt es zu einer Umfahrung der KVZ und Umleitung der Verkehre in internationale Gewässer. Die sich aufgrund dessen zukünftig abzeichnenden Routenführungen mit den jährlichen Schiffsbewegungen sowie die Offshore-Windparks sind in Abbildung 6 eingezeichnet.

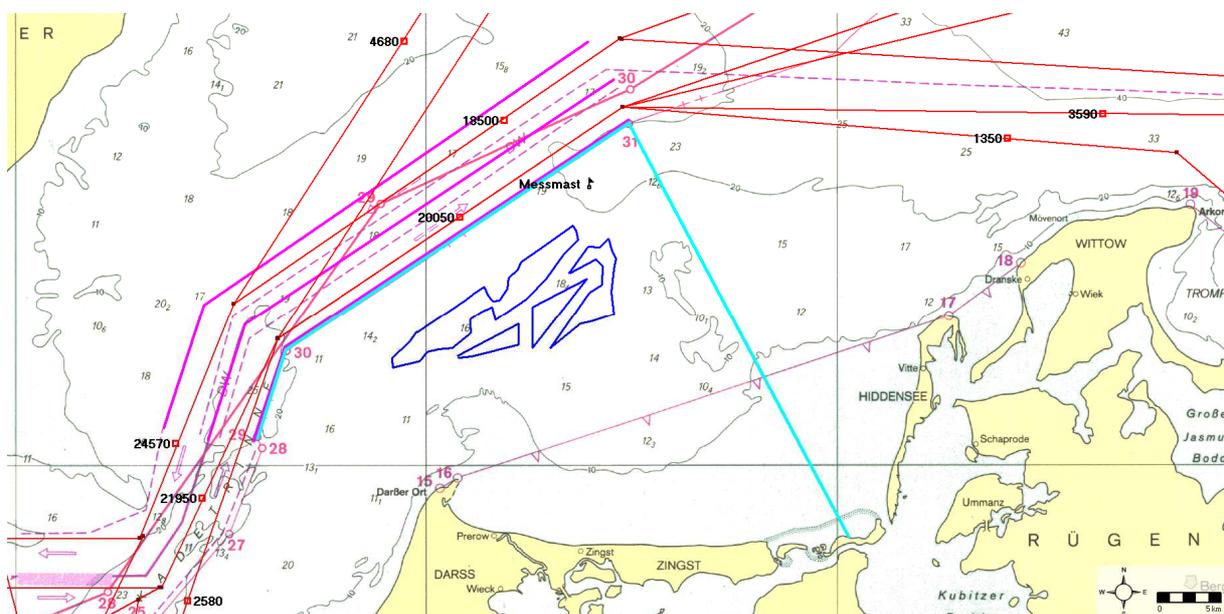


Abbildung 6: Schiffsrouten mit Schiffszahlen unter Berücksichtigung der geplanten Windparks und der KVZ

Wenn zum Baubeginn des OWPs Gennaker das VTG und die KVZ noch nicht offiziell eingerichtet sein sollten, wird von der GDWS übergangsweise eine Sperrzone eingerichtet, in der entsprechend Regel 10 der KVR schiffahrtspolizeiliche Regelungen getroffen werden (Interimsphase). Die GDWS geht davon aus, dass die Verteilung der Schiffe auf den neuen Routen in beiden Phasen vergleichbar ist.

Die aus der KVZ, bzw. Sperrzone ausgewiesenen Fahrzeuge fahren in der Interimsphase, solange im Bereich des Tiefwasserweges das VTG noch nicht eingerichtet ist, unmittelbar nördlich der Grenze der Sperrzone in beide Richtungen. Dies wird in der vorliegenden Ermittlung der Kollisionshäufigkeiten mit dem Windpark so berücksichtigt. In Zukunft nach offizieller Einrichtung des VTG werden von den 20050 Schiffsbewegungen pro Jahr des südlichen Einbahnweges ca. 1000 Schiffsbewegungen auf den nördlichen Einbahnweg des VTG (westwärts) ausweichen müssen. Somit stellt die vorliegende Betrachtung der Interimsphase einen konservativen Ansatz dar, weil später weniger Schiffe auf dem näheren südlichen Einbahnweg verkehren werden. Eine gesonderte



Berechnung für die Phase mit offiziell eingerichteter KVZ und eingerichtetem VTG ist daher nicht erforderlich

Umwege und Zeitverluste

Die bisher küstennah, südlich des OWP Baltic 1 verlaufenden Verkehre müssen auf der Strecke von Warnemünde bis nach Kap Arkona eine zusätzliche Strecke von 9-10 sm fahren um die KVZ zu umgehen. Bei einer durchschnittlichen Reisegeschwindigkeit von ca. 14 kn ist dies mit einem zeitlichen Mehraufwand von max. 45 min verbunden.

Der Verkehr, der zur Zeit zwischen Messmast und OWP Baltic 1 verläuft muss für die gleiche Etappe etwa 5 sm weiter fahren. Bei einer durchschnittlichen Reisegeschwindigkeit von ca. 14 kn ist dies mit einem zeitlichen Mehraufwand von knapp über 20 min verbunden.

Am Beispiel einer Schiffsreise von Warnemünde nach Swinemünde (aktuelle Fahrstrecke etwa 130 sm) würde die Strecke um 3-7% ansteigen. Dieser Zuwachs relativiert sich weiter, wenn man Schiffsreisen über weit größere Distanzen vergleicht (nichtregionaler internationaler Schiffsverkehr).

Routenlage und Lateralverteilung des VTGs

Auf dem zukünftigen Verkehrstrennungsgebiet sind im nördlichen Einbahnweg ca 19500 und im südlichen Einbahnweg ca. 19000 Schiffsbewegungen pro Jahr zu erwarten, wenn das VTG offiziell etabliert ist. Die laterale Verteilung dieser Verkehre entlang ihrer Routen wird nicht durch Grenzen des Windparks tangiert. Der Abstand des südlichen Einbahnwegs wird etwa 5,6 km von den Windparkanlagen entfernt sein. Es ist zu erwarten, dass die Schiffsverkehre in der gleichen Qualität wie aktuell durch die AIS-Auswertung (Abbildung 7) erkennbar, verlaufen werden.

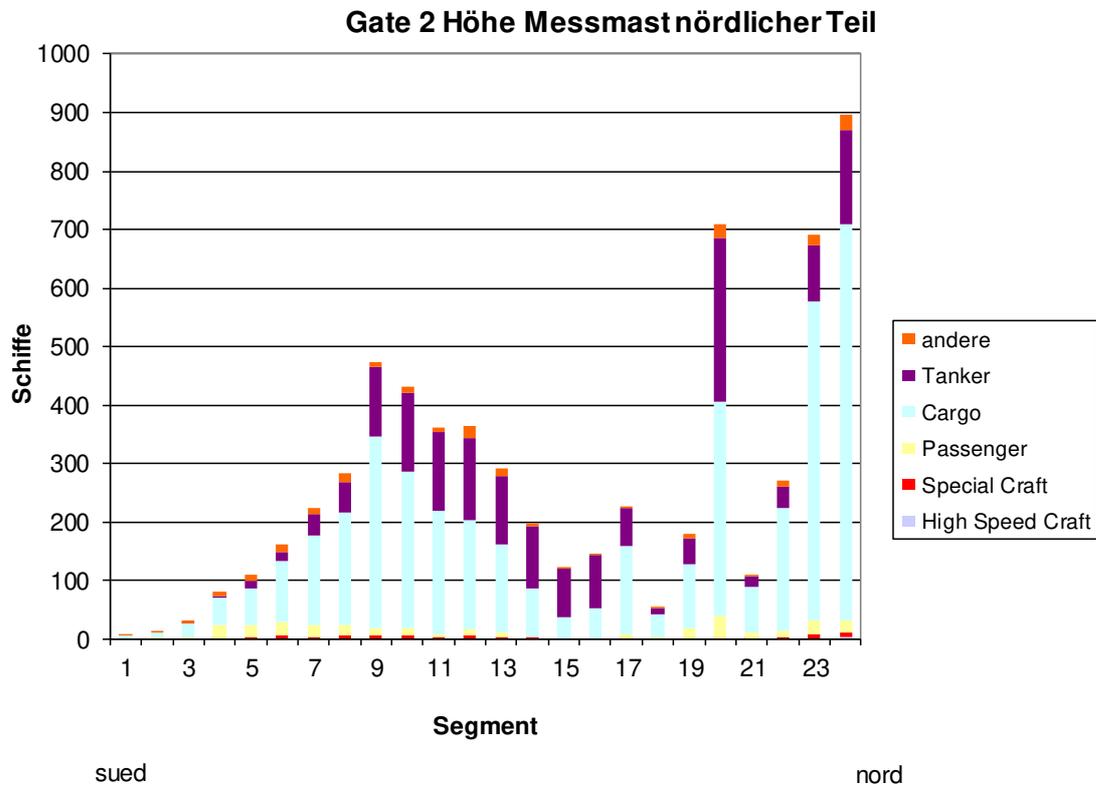


Abbildung 7: AIS Auswertung aus 2016 (3 Monate) im Bereich nördlich des Messmastes

Diese Verteilung kann gut durch eine Gauß-Verteilung mit Standardabweichung, die sich über die Breite einer Einbahnstrecke (3,5 km) erstreckt, abgebildet werden.

Aufgrund des Abstands der Routen zum Windpark und zum Messmast sind Effekte der Lateralverteilung auf die Kollisionshäufigkeiten von Schiffen mit dem Windpark bzw. Messmast ohnehin nicht von maßgeblicher Relevanz auf die Ergebnisse.

4.5 Beschreibung von Klima, Wetter und Hydrologie

In der quantitativen Risikoanalyse werden Umwelteinflüsse wie Wind und Strömung in den Berechnungen der Kollisionshäufigkeiten berücksichtigt. Dabei haben die See- und Wetterverhältnisse insbesondere Einfluss auf die Ergebnisse im Driftmodell für manövrierunfähige Schiffe (siehe A.3.1). In diesem Abschnitt sind die für die Analyse verwendeten Eingangsdaten erläutert.

Das Klima und Wetter im Bereich des Windparks ist im Sonderdruck „Klima und Wetter in der Ostsee“ /4/ beschrieben. In diesem Handbuch wurde die Ostsee in verschiedene Auswahlfelder (Feld A bis Feld G) unterteilt, um genauere und kleinräumige Aussagen über die lokalen Wetter- und Klimaverhältnisse in der Ostsee zu machen. Für die Berechnungen des OWP Gennaker werden gemäß der o.g. Quelle die Wetterdaten des Auswahlfeldes „E“ angesetzt. Informationen und statistischen Daten zu folgenden Aspekten wurden dieser Quelle entnommen:

Als weitere Datenquelle wurden Statistiken des Deutschen Wetterdienstes /5/ herangezogen. Darin werden die folgenden Aspekte behandelt:

- Wind
- Seegang
- Strömung

In den folgenden Abschnitten werden diese Einflüsse für das Seegebiet um den Windpark näher beschrieben.

4.5.1 Wind

Der Wind kommt im Sommer überwiegend aus westlicher Richtung (270°). Im Winter treten auch sehr häufig östlich Winde (90°) auf. Die Auftretenswahrscheinlichkeit einzelner Windrichtungen ist in Abbildung 8 dargestellt.

Die in Abbildung 9 gezeigte Statistik basiert auf Daten /5/ des Deutschen Wetterdienstes, die in einem Zeitraum von 29 Jahren für die Monate Januar bis Dezember angefertigt wurde. Insgesamt wurden 44 372 Messungen durchgeführt. Die gleiche Anzahl von Messungen wurde auch für auftretende Windgeschwindigkeiten gemacht. Das Ergebnis der Statistik ist in Abbildung 9 dargestellt. Die Verteilung zeigt, dass die häufigsten anzutreffenden Windgeschwindigkeiten im Bereich von 7 [Kn] bis 10 [Kn]. Dieser Bereich entspricht ca. Windstärke 3 auf der Beaufort Skala.

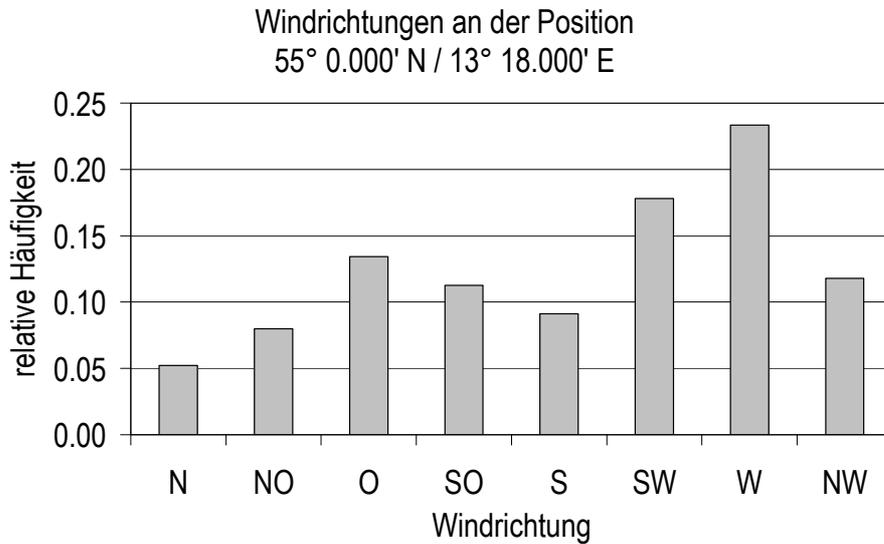


Abbildung 8: Verteilung der für die Monate Januar bis Dezember auftretenden Windrichtungen

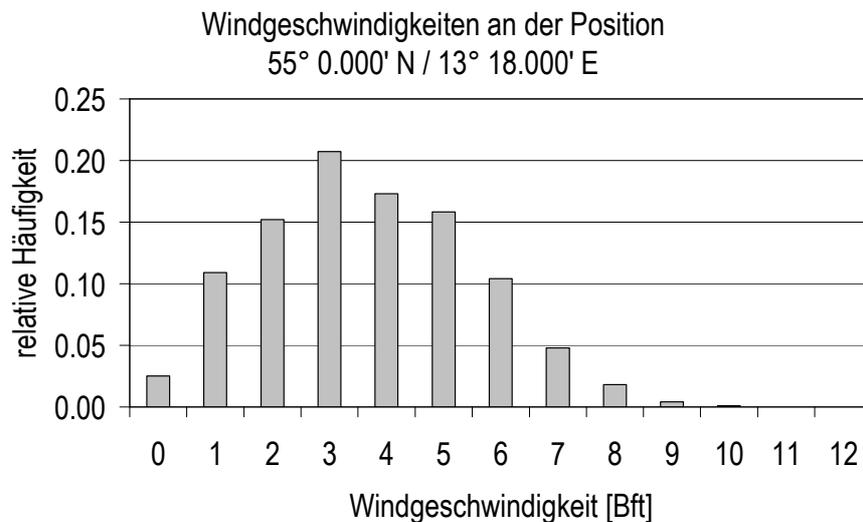


Abbildung 9: Verteilung der für die Monate Januar bis Dezember auftretenden Windgeschwindigkeiten

4.5.2 Seegang

Statistische Daten für den Seegang sind in "Naturverhältnisse in der Ostsee" /4/ angegeben. Der Seegang im Bereich des Windparks Gennakers setzt sich aus Windsee und Dünung zusammen. Windsee ist die aus der Windbewegung erzeugte Wellenbewegung der Meeresoberfläche. Insofern ist die Windsee von den lokalen Windbedingungen abhängig. Ein weiterer Einfluss auf die Höhe der Windsee ist die Länge des Weges, den der Wind über die Wasseroberfläche streicht. Dieser Weg wird als Fetch (Windwirkungsstrecke) bezeichnet und muss genügend lang sein, dass sich der

Seegang voll ausprägen kann. Ein weiterer Einfluss ist die Dauer, mit der der Wind weht. Dünung sind Wellenformationen, die in weiter entfernten Seegebieten als Windsee entstanden sind und in das betrachtete Seegebiet hineinlaufen. Im Gegensatz zur Windsee ist Dünungssee mit regelmäßigeren und gerundeteren Wellenformen ausgestattet. Der Anteil von Dünungssee im Bereich des Offshore-Windparks Gennakers beträgt ca. 4 [%].

Da der Seegang von der Windsee dominiert wird, kann die signifikante Wellenhöhe aus der Windgeschwindigkeit abgeleitet werden. Für das betrachtete Seegebiet wird dieser Zusammenhang in "Naturverhältnisse in der Ostsee" /4/ beschrieben, siehe Abbildung 10.

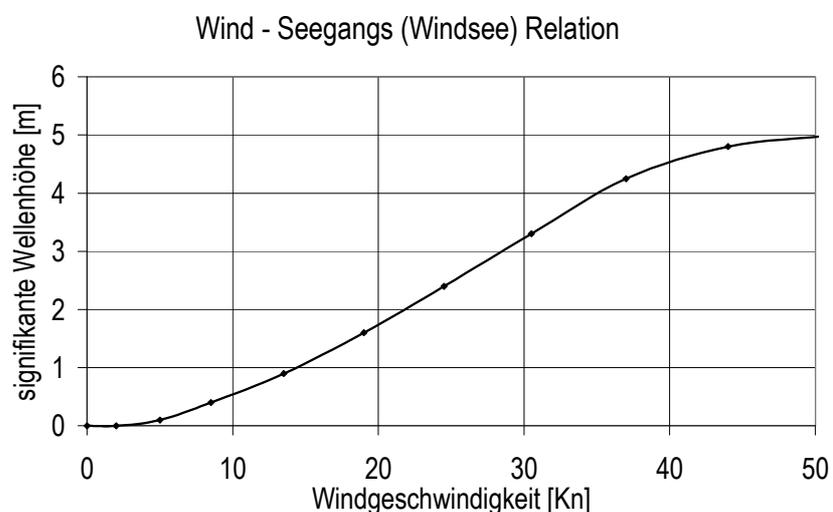


Abbildung 10: Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Windgeschwindigkeiten und signifikanten Wellenhöhen

4.5.3 Strömung

Oberflächenströmungen werden im betrachteten Seegebiet hauptsächlich von den herrschenden Windverhältnissen bestimmt. Durch die vom Wind erzeugten Schubkräfte werden dabei die oberflächennahen Wasserschichten (ca. 10-20 [m]) bewegt. Diese Art der Strömung wird als Driftströmung bezeichnet. Andere Strömungsarten wie Gefällströmungen und Dichtenausgleichsströmungen spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Für das offene Seegebiet der südlichen Ostsee, zu dem auch der Bereich des Offshore-Windparks Gennaker gezählt wird, liegen Strömungsdaten des ehemaligen Feuerschiffes "Adlergrund" vor. Das Feuerschiff war im Zeitraum von 1924 bis 1938 zwischen Bornholm und dem Adlergrund stationiert.

Die auffälligste Erscheinung der Oberflächenströmungen in diesem Bereich ist die Rechtsablenkung der Strömungsrichtung gegenüber der Windrichtung von ca. 7 bis 15 [°].

Die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten ergibt sich aus Messungen des ehemaligen Feuerschiffes "Adlergrund". Da die Strömungen in diesem Seegebiet von den herrschenden Windverhältnissen bestimmt werden, besteht ein Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Strömungsgeschwindigkeit. Die Messungen des Feuerschiffes zeigten, dass die Strömungsgeschwindigkeit linear mit der Windgeschwindigkeit zunimmt. Der lineare Zusammenhang ist in Abbildung 11 dargestellt.

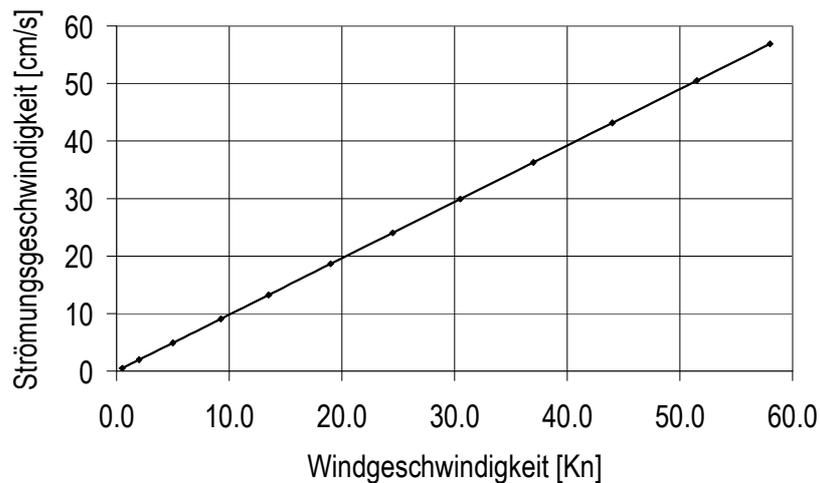


Abbildung 11: Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit im Bereich des Windparks

4.6 Risikomindernde Maßnahmen

Als risikomindernde Maßnahmen werden die Installation von AIS-Geräten an den Installationen der Windparks, verschiedene Varianten einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und die Wirksamkeit von Schleppern betrachtet. Die Ausrüstung des Windparks mit AIS-Geräten und das Notschleppkonzept Deutsche Küste mit Notschleppern auf Bereitschaftspositionen in Warnemünde und Saßnitz sind als vorhandene Maßnahmen anzusehen /2/. Als zusätzliche Maßnahme kann eine Verkehrsüberwachung (VKZ Warnemünde)/Seeraumbeobachtung durch den Betreiber (passiv) vorgesehen werden, durch die auf Kollisionskurs fahrende Schiffe erkannt, identifiziert und z.B. über Informationen des Betreibers an die VKZ gewarnt werden können und durch diese gegebenenfalls Unterstützung gegeben oder veranlasst werden kann.

4.6.1 Automatic Identification System (AIS)

AIS ermöglicht der Schiffsführung das rechtzeitige Erkennen eines Kollisionskurses mit anderen Schiffen oder Offshore-Einrichtungen, die mit AIS ausgerüstet sind. Die Warnung erfolgt durch das jeweilige an Bord befindliche AIS-Gerät. Das Kollisionsrisiko manövrierfähiger Schiffe kann somit durch den Einsatz von AIS reduziert werden. Seit Anfang 2005 gilt für alle Schiffe auf internationaler Fahrt größer 300 BRZ die AIS-Ausrüstungspflicht.

Solange keine Erkenntnisse durch empirische Daten oder detaillierte analytische Modelle vorliegen, wird ein konservativer Wert als Faktor der Wirksamkeit von 1.25 angenommen /1/.

Tabelle 4: Risikoreduzierungen aufgrund der Wirkung von AIS Geräten am Windpark

Szenario	angesetzte Wirkung
Kollision manövrierfähiger Schiffe mit Installationen der Windparks	Faktor
ohne AIS	1.00
mit AIS	1.25

4.6.2 Verkehrsüberwachung und Seeraumbeobachtung

Eine weitere Verminderung der Risiken kann durch die Einbeziehung einer Seeraumbeobachtung seitens des Betreibers und, bzw. oder einer Verkehrsüberwachung durch staatliche Stellen erzielt werden. Ziel der Seeraumbeobachtung und Verkehrsüberwachung ist es, Schiffe zu erkennen und zu identifizieren, die einen Kurs auf die Sicherheitszone haben oder sich auf Kollisionskurs mit dem Windpark befinden. Anhand der Lagebeurteilung kann die VKZ diese Verkehrsteilnehmer dann aufgrund ihrer hoheitlichen Befugnisse gezielt warnen sowie gegebenenfalls Navigationshinweise oder Navigationsanweisungen geben.

Wirkung auf manövrierunfähige Schiffe

Durch eine Verkehrsüberwachung können in Richtung Windpark driftende manövrierunfähige Schiffe erkannt, identifiziert und gezielt angesprochen, sowie gegebenenfalls Rettungsmaßnahmen eingeleitet werden. Ein solcher Vorgang wird durch die technischen Mittel AIS und Radar unterstützt. Dabei hat der Ausrüstungsgrad bei der Realisierung solcher Maßnahmen einen entscheidenden Einfluss auf die Wirksamkeit. Weiterhin sind der Schulungsgrad und die Anzahl der involvierten Personen von zentraler Wichtigkeit.

Durch eine AIS-Überwachung können mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit Schiffe erkannt werden, die durch einen Ausfall der Maschinenanlage oder andere Ereignisse manövrierunfähig werden. Dabei werden Schiffe erfasst, die mit einem AIS-Gerät ausgerüstet sind und AIS-Daten senden. Aufgrund der Ausrüstungspflicht seit Anfang 2005 ist die Mehrzahl der im Seegebiet des OWP fahrenden Schiffe mit AIS-Geräten ausgerüstet. In dem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben SAFESHIP /13/ wurde pessimistisch eine Ausrüstung und die Sendung der AIS-Daten bei 90% aller Schiffe angenommen. Inzwischen ist mit einem deutlich über diesem Wert liegenden Anteil zu rechnen.

Sofern das manövrierunfähige Schiff sein Driften nicht selbst meldet, kann über verschiedene AIS- und Radar-Auswertemethoden eine Identifikation erfolgen. Dabei bietet AIS gegenüber Radar den Vorteil, dass neben GPS gestützten Positions-, Lage- und Geschwindigkeitsdaten auch schiffsspezifische Daten und Statusmeldungen übertragen werden. Der Informationsgehalt von Radar ist zwar geringer, jedoch besteht hier der Vorteil, dass das Signal vom Schiff selbst unabhängig ist. Die höchste Wahrscheinlichkeit für die Erkennung ist über eine Kombination von AIS und Radar zu erreichen.

Softwarealgorithmen, mit denen sich driftende Schiffe erkennen lassen, sind derzeit in der Entwicklung. Untersuchungen des GL deuten auf eine nahezu sichere Erkennung von driftenden Schiffen über AIS hin. Zum einen kann das AIS-Gerät an Bord durch eine Statusmeldung (z.B. „not under command“ oder „restricted ability to manoeuvre“) auf ein Driften aufmerksam machen, zum anderen ist ein Erkennen durch Auswertung der Positionsmeldungen möglich. Letzteres ist durch ein Feststellen einer Differenz zwischen Kurs und Ausrichtung des Schiffes („course over ground“

und „heading“) und über komplexere Auswertung der zeitlichen Änderung verschiedener AIS-Parameter („speed over ground“, „course over ground“, „heading“) zu erreichen. Beispielhaft ist in Abbildung 12 die Spur eines über AIS-Auswertung identifizierten Drifters dargestellt.

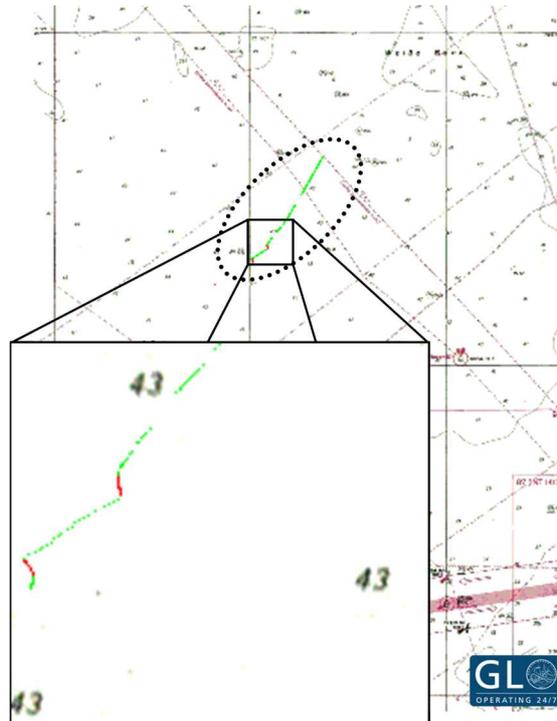


Abbildung 12: Driftweg eines über AIS-Auswertung identifizierten driftenden Schiffes

Durch einen Ereignisbaum, der die jeweiligen Teilwahrscheinlichkeiten für verschiedene Arten der Identifikation enthält, lässt sich eine Gesamtwahrscheinlichkeit für das Erkennen eines driftenden Schiffes durch eine Verkehrsüberwachung ermitteln, siehe Abbildung 13. Bei Annahme konservativer Werte, kann davon ausgegangen werden, dass ca. 88% aller manövrierunfähigen Schiffe identifiziert werden können.

Wird die Verkehrsüberwachung über AIS durch Radar ergänzt, ergibt sich eine höhere Wahrscheinlichkeit für die Identifikation eines driftenden Schiffes. Einerseits ist man vom AIS-Signal unabhängig, andererseits können auftretende Differenzen zwischen beiden Signalen zusätzliche Informationen liefern. Über den in Abbildung 14 dargestellten Ereignisbaum wird bei Berücksichtigung einer AIS- und Radarüberwachung eine Erkennung des manövrierunfähigen Schiffes in 98% aller Fälle errechnet.

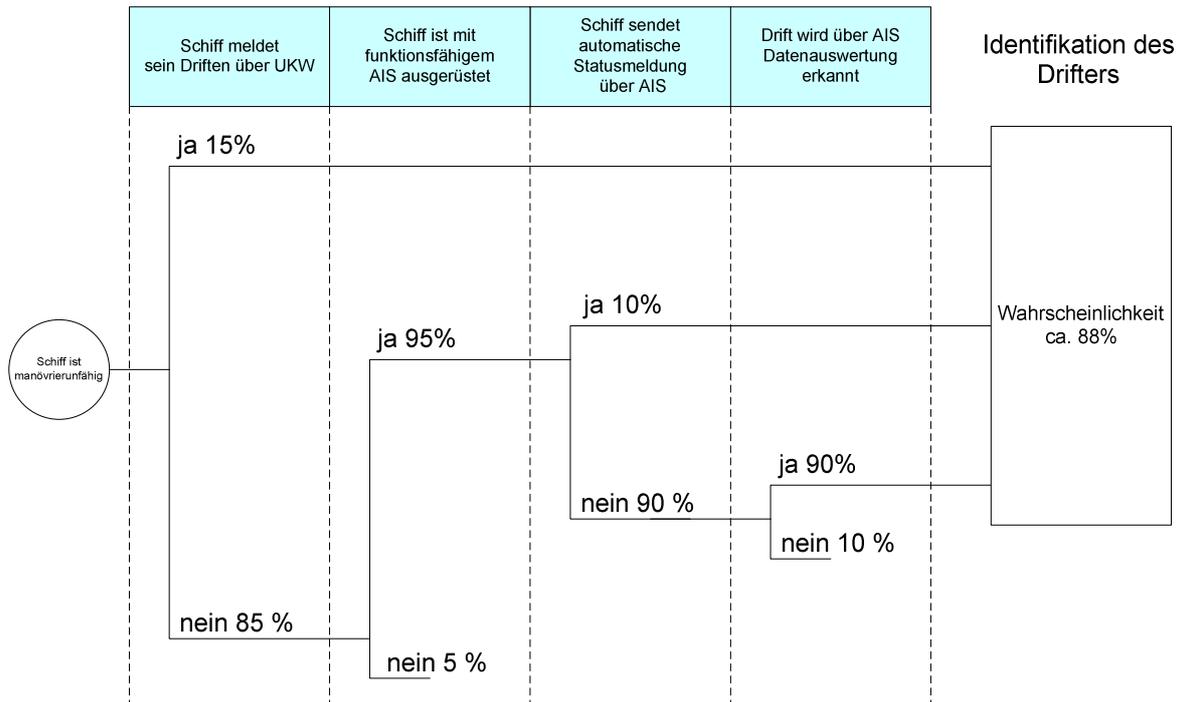


Abbildung 13: Ereignisbaum zur Identifikation driftender Schiffe durch Verkehrsüberwachung über AIS

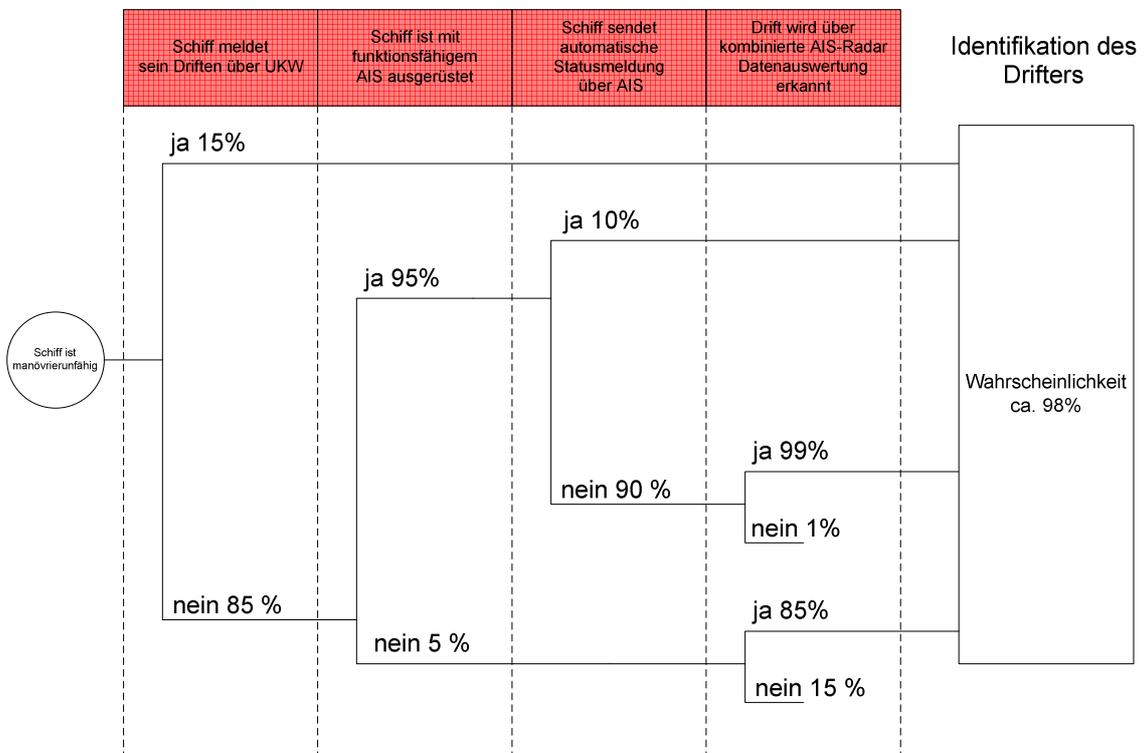


Abbildung 14: Ereignisbaum zur Identifikation driftender Schiffe durch Verkehrsüberwachung über AIS und Radar



Bei Verfolgung der Driftbewegung eines als manövrierunfähig identifizierten Schiffes sowie einer Kommunikation mit dem driftenden Schiff kann ein Gefährdungspotential durch das jeweilige driftende Schiff abgeschätzt werden. Für die Beurteilung der risikomindernden Wirkung einer Verkehrsüberwachung auf Kollisionen manövrierunfähiger Schiffe mit Installationen der Windparks sind im Weiteren die Wirksamkeit der kommunikativen Unterstützung durch Verkehrsüberwachung und Bergungsmaßnahmen zu betrachten.

Kommunikative Unterstützung durch nautisch geschultes Personal kann zu einer Verminderung des Kollisionsrisikos führen. Dabei ist die Bereitstellung von Hinweisen zum gezielten Einsetzen von eventuell noch vorhandenen Bordmitteln, wie beispielsweise Bugstrahlruder, Ruderstellung oder Anker zur Beeinflussung der Drift zu nennen; hinzu kommt der psychologische Effekt der Beratung, der zu einer positiven Veränderung der Lage des Havaristen beitragen kann. Da dieser Effekt schwer zu quantifizieren ist, wird hier zunächst pessimistisch von einem Faktor 1.1 ausgegangen. Das heißt, in etwa 10% aller identifizierten Fälle kann eine Kollision zwischen manövrierunfähigen Schiffen und Windenergieanlagen durch kommunikative Mittel verhindert werden.

Das Modell zur Simulation der Driftbewegungen und die berücksichtigten Parameter sind ausführlich in Abschnitt 5, sowie im Anhang A.3.1 beschrieben.

Wirkung auf manövrierfähige Schiffe

Für die Betrachtung und Quantifizierung der Maßnahmen der Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung auf manövrierfähige Schiffe werden im Folgenden drei verschiedene Varianten unterschieden, die sich bezüglich ihrer Ausrüstung, Konzeption und Wirksamkeit unterscheiden.

Variante 1: Vollständige Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung

Eine vollständige Überwachung und Beobachtung schließt alle Maßnahmen der maritimen Verkehrssicherung ein. Dies beinhaltet eine permanente (manuelle) Beobachtung des Schiffsverkehrs durch ausgebildete Nautiker sowohl mit Hilfe von AIS, als auch mit Hilfe von Radar. Eine Quantifizierung der Wirksamkeit ist auf Grund der unterschiedlichen Ausrüstung der Schiffe und der jeweiligen nautischen Gegebenheiten des betrachteten Seeraums schwierig. Die Studien /9/ und /10/ geben für die Vergangenheit eine Spanne der Reduzierung der Kollisionshäufigkeiten von Faktor 2 bis 10 an. Es wird erwartet, dass sich die Wirksamkeit auf Grund der ständig fortschreitenden technischen Ausrüstung der Schiffe eher reduziert hat. Andererseits wird jedoch erwartet, dass sich die Möglichkeit einer gezielten Identifikation einzelner Schiffe durch AIS in Verbindung mit einer Seeraumbeobachtung positiv auswirkt /11/. Basierend auf Ergebnissen eines vom Germanischen Lloyd, MARIN und der Technical University of Denmark durchgeführten Forschungsprojektes /13/ wurde ein risikomindernder Faktor von 4.33 für eine umfassende Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung quantifiziert. Im Rahmen der Harmonisierung der Annahmen unterschiedlicher Gutachter wurde ein Faktor von 4 vereinbart /1/.

Variante 2: Automatische Überwachung/Beobachtung mit manueller Option

Grundlage der Variante 2 ist die ständige automatische Auswertung aller mit AIS ausgerüsteten Fahrzeuge. Parallel dazu erfolgt in regelmäßigen Abständen eine manuelle Auswertung. Werden Grenzparameter überschritten, das heißt, befindet sich beispielsweise ein Schiff in einem definierten Abstand auf Kollisionskurs mit dem Windpark, erfolgt in jedem Fall eine automatische Alarmierung/Warnung und eine weitere manuelle Überwachung/Beobachtung der entsprechenden Fahrzeuge durch Nautiker. Bei Identifikation eines Schiffes kann versucht werden, den potentiellen Kollisionsgegner rechtzeitig über Funk oder Satellitentelefon zu warnen. Für die hier vorgeschlagene automatische Beobachtung mit Hilfe von AIS-Signalen und einer zusätzlichen manuellen Beobachtung der in der Umgebung des Windparks fahrenden Schiffe ist ein geringerer Faktor als 4 anzusetzen, da einerseits nur AIS-Daten verwendet werden und andererseits teilweise eine automatische Beobachtung stattfindet. Mit diesen Einschränkungen gegenüber einer umfassenden Verkehrsüberwachung/Seeraum-beobachtung mit einer zusätzlichen Radarüberwachung und einer ständigen manuellen Auswertung sind Annahmen bezüglich einer reduzierten Wirksamkeit verbunden. Im Forschungsvorhaben SAFESHIP /13/ wurde eine Seeraumbeobachtung nur mit AIS-Geräten untersucht. Aufgrund der nicht 100%igen Verfügbarkeit der Schiffsinformationen (nicht vorhandenes, defektes oder abgeschaltetes AIS-Gerät an Bord) ist eine geringere Wirksamkeit anzusetzen. Jedoch sind aufgrund der besseren Identifikation der Schiffe durchaus Vorteile gegenüber einer Radarüberwachung vorhanden. Insgesamt konnte für eine nur über AIS betriebene Seeraumbeobachtung in /13/ ein Faktor von 3.66 festgestellt werden. Zusätzlich ist für diese Variante zu berücksichtigen, dass die Auswertung der AIS-Signale zunächst teilweise automatisch erfolgt. Hierbei ist mit einer Reduzierung der Wirksamkeit zu rechnen, so dass ein risikomindernder Faktor von 3 als realistisch angenommen wird.

Variante 3: Automatische Auswertung

Diese Variante unterscheidet sich gegenüber der oben beschriebenen Variante 2 in der Weise, dass die Auswertung des Schiffsverkehrs permanent automatisch über AIS vor dem Hintergrund der Einleitung von Sofortmaßnahmen bei besonderen Ereignissen vorgenommen wird und nur bei Überschreiten vorgegebener Grenzparameter ein Aufmerksamkeitssignal als Hinweis erfolgt. Nach Überprüfung können mögliche Maßnahmen ergriffen werden. Es ist auch denkbar, dass zusätzlich eine automatische Textmeldung über AIS an das entsprechende Schiff gesendet wird oder automatisch über den DSC-Kanal des UKW-Funkgerätes (Kanal 70) an das entsprechende Schiff eine Dringlichkeits- oder Sicherheitsmeldung abgesetzt wird. Aufgrund der zunächst nur automatisch vorgenommenen Auswertung ist von einer weiteren Verminderung der Wirksamkeit im Vergleich zu Variante 2 auszugehen. Deshalb wird für diese Variante von einem reduzierten risikomindernden Faktor von 2.5 ausgegangen.

Tabelle 5 und Tabelle 6 zeigen die Faktoren zur Reduzierung der Kollisionshäufigkeiten, bedingt durch die Wirkung der Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung gemäß den verschiedenen Varianten.

In Tabelle 7 sind die erforderlichen Ausrüstungen und das erforderliche Personal für eine Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung gemäß Variante 3 näher beschrieben.

Tabelle 5: Risikoreduzierungen aufgrund der Wirkung einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung auf manövrierfähige Schiffe

Szenario	angesetzte Wirkung
Kollision manövrierfähiger Schiffe mit Installationen des Windparks	Faktor
ohne Überwachung/Beobachtung und Warnmeldungen	1
mit Überwachung/Beobachtung nach Variante 1	4
mit Überwachung/Beobachtung nach Variante 2	3
mit Überwachung/Beobachtung nach Variante 3	2.5

Tabelle 6: Risikoreduzierungen aufgrund der Wirkung einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und anschließender kommunikativen nautischen Unterstützung auf manövrierunfähige Schiffe

Szenario	angesetzte Wirkung
Kollision manövrierunfähiger Schiffe mit Installationen des Windparks	Faktor
ohne kommunikative Unterstützung durch nautisch geschultes Personal	1
mit kommunikativer Unterstützung durch nautisch geschultes Personal	1.1

Tabelle 7: Ausrüstung und Personal für eine Seeraumbeobachtung durch die Leitwarte

Ausrüstung:	Beschreibung
AIS	Redundante AIS-Empfangsgeräte und redundante Datenweiterleitung
AIS-Auswertung	Die am Windpark empfangenen AIS-Daten werden in geeigneter Art und Weise ausgewertet. Wenn sich in einem bestimmten Radius um den Windpark ein Schiff auf Kurs in Richtung des Windparks befindet, wird ein Alarm ausgegeben. Eventuell ist in Verbindung mit den AIS-Geräten und den UKW-Funkgeräten eine zusätzliche automatische Alarmierung der entsprechenden Schiffsführung realisierbar.
UKW-Funk mit DSC	Mindestens zwei redundant arbeitende Geräte Es können potenzielle Kollisionsgegner informiert und gewarnt werden (z.B. über UKW Kanal 16 oder über den DSC Kanal 70).
Telefon	Zur Kommunikation mit dem Kollisionsgegner (Satellitentelefon) und mit Behörden/Verkehrszentrale zur Information und gegebenenfalls zur Einleitung von Hilfsmaßnahmen
Datenübertragung	Redundante Datenübertragung vom Windpark zur Leitwarte des Windparks zur Sicherstellung des Informationsaustausches (Funk und AIS)
Sicherheitshandbuch	Sicherheitshandbuch mit Verfahrensanweisungen und Notfallplänen für das Personal
Weitere Informationssysteme	Informationssysteme zur Anzeige von hydrologischen und meteorologischen Daten (Windstärke und -richtung, Wasserstand, Sichtweite) Eventuell weitere Systeme, die den Status der einzelnen WEA anzeigen
Personal:	
Betriebspersonal	Ausgebildetes Personal ist 24 Stunden am Tag notwendig.

4.6.3 Berücksichtigte Notschleppkapazitäten

Notschlepper werden zum Bergen von manövrierunfähigen Havaristen eingesetzt. Ihr risikomindernder Einfluss wird daher nur beim Szenario der Kollision von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen des Windparks berücksichtigt. Die Möglichkeit der Bergung eines Havaristen durch einen oder mehrere Schlepper setzt neben der Erkennung und Identifikation des Schiffes die Einsatzbereitschaft der Schlepper voraus. Dafür können ebenfalls Annahmen getroffen werden. Die tatsächlichen Aktivierungszeiten der Notschlepper wurden im Sommer 2018 bei der Schlepperreederei Fairplay abgefragt, um diese Annahmen auf der sicheren Seite liegend zu validieren.

Die Schlepper sind in der Regel innerhalb von 0,5 h einsatzklar. Die Rückfrage bei Fairplay hat ergeben, dass die in diesem Seegbiet vorgehaltenen Schlepper "Baltic" und "Fairplay 25" tatsächlich bereits nach "wenigen Minuten" ablegen und ihren Einsatz starten. In Abschnitt 6 werden dieser und andere Parameter einer Sensitivitätsbetrachtung unterzogen.

Bei diesen Schleppern kann von einer hohen Wahrscheinlichkeit der Bereitschaft von etwa 96% ausgegangen werden, da sie ausschließlich für Schleppmanöver, allerdings vorwiegend zum Küstenschutz, vorgehalten werden. Für den Fall des technischen Ausfalls, des Besatzungswechsels und Bunkerns von Treibstoff wird er adäquat durch andere Schiffe ersetzt. Die Bereitschaftsposition der in dieser Analyse berücksichtigten Schlepper kann man der unten dargestellten Karte entnehmen. Für diese Schlepper ergeben sich folgende Leistungsdaten:

Die berücksichtigten Schlepper sind Bestandteil des deutschen Notschleppkonzeptes. Leicht andere Bereitschaftspositionen oder Aufenthaltsorte der Schlepper würden zu gering abweichenden Ergebnissen führen und haben somit keinen Einfluss auf die grundsätzliche Wirksamkeit der Notschleppkapazitäten.

Die vom Bund gecharterten Schlepper Baltic und Fairplay 25 stehen durchgehend zur Verfügung. Das Mehrzweckschiff Arkona, das in Stralsund stationiert ist, bezieht ab 8 Bft seine Position. Die harmonisierte Annahme von einer Verfügbarkeit von 96% wurde für die Baltic und Fairplay 25 berücksichtigt. Die Arkona wurde in dieser Risikoanalyse aufgrund ihrer fraglichen Verfügbarkeit nicht berücksichtigt. Es zeigte sich im Laufe der Risikoberechnungen, dass die Baltic und die Fairplay 25 aufgrund ihrer größeren Geschwindigkeiten, sowie höheren Pfahlzügen als die der Arkona, diese in seiner Wirksamkeit mit ausgleichen.

Tabelle 8: Daten für die berücksichtigten Schlepper

Name:	Position:	Max v:	v berücksichtigt:	Pfahlzug:
Baltic	Warnemünde	17 kn	12 kn	127 t
Fairplay 25	Saßnitz	12 kn	8,5 kn	65 t

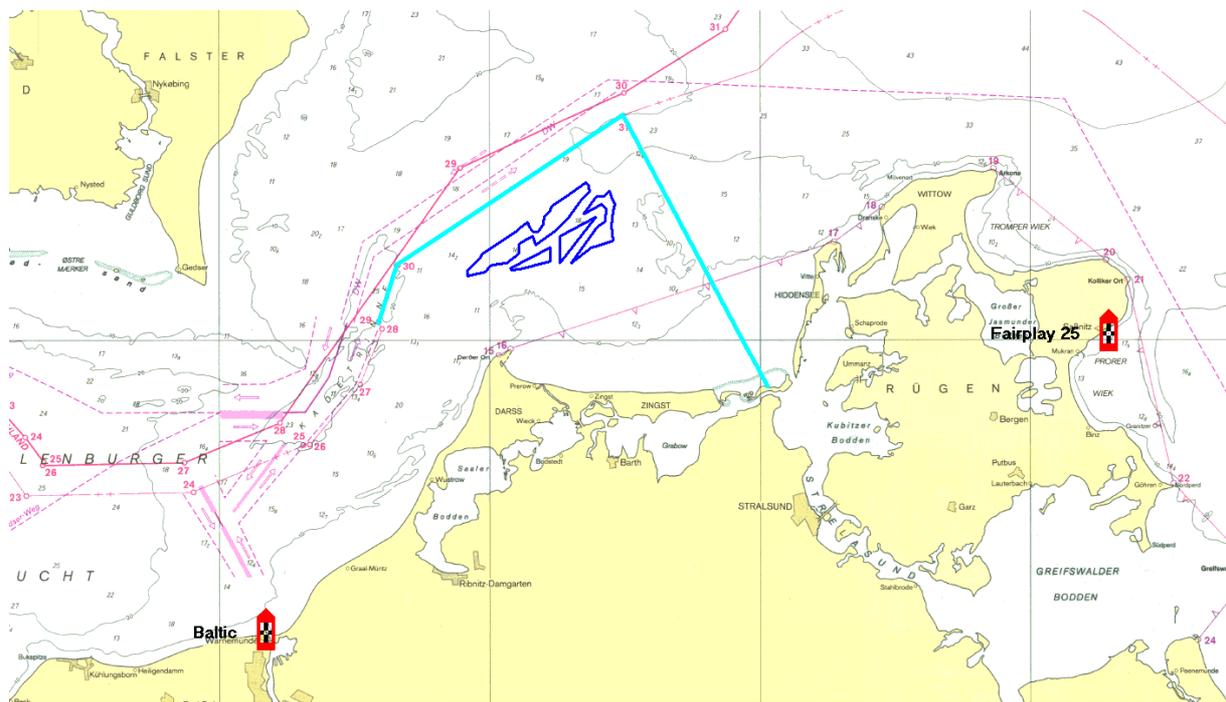


Abbildung 15: Bereitschaftspositionen der berücksichtigten Notschlepper

Die Bergung durch einen Notschlepper innerhalb der Windparkfläche wird lediglich bis zu einer Windstärke von 4 Bft berücksichtigt, da eine erfolgreiche Bergung innerhalb der Windparkfläche bei höheren Windgeschwindigkeiten für unwahrscheinlich angesehen wird.

Eine weiterführende Beschreibung der Simulation der Notschleppereinsätze findet sich in Abschnitt 5 und im Anhang A.3.1.

Bei Annahme einer Wahrscheinlichkeit für die Identifikation eines manövrierunfähigen Schiffes von 88% (nur AIS) bzw. 98% mit einer Kombination aus AIS und Radar und einer Schlepperbereitschaft von 96% ergibt sich somit eine Gesamtwahrscheinlichkeit für die Initiierung eines Bergungsversuches von:

$$88\% (98\%) \quad \times \quad 96\% \quad = \quad 84\% (94\%)$$



Um den risikomindernden Einfluss der Notschlepper auf die Kollisionshäufigkeit von Schiffen mit dem Windpark zu untersuchen, wird das von manövrierunfähigen Havaristen ausgehende Kollisionsrisiko unter Berücksichtigung der Wirkung eines Notschleppers entsprechend den Angaben in Anhang A berechnet.

Bei der Außerachtlassung von Radar bei der Verkehrsüberwachung (Varianten 2 und 3) wird ein Bergeversuch mit 84%-iger Wahrscheinlichkeit eingeleitet.

4.7 Ergebnisse kumulative Kollisionshäufigkeit des OWPs Gennaker

Grundlage für die kumulativen Berechnungen dieses Abschnitts sind die an die Einrichtung der KVZ und des VTGs angepassten Routen entsprechend Abbildung 6. In diesem Abschnitt wird das kumulative Kollisionsrisiko mit Installationen der Windparks Gennaker und Baltic I angegeben.

In den folgenden Abschnitten 4.7.1 und 4.7.2 werden die Kollisionshäufigkeiten ohne risikomindernde Maßnahmen angegeben. Die Gesamtergebnisse der kumulativen Betrachtung mit und ohne risikomindernde Maßnahmen sind im Abschnitt 4.7.3 zusammengestellt.

4.7.1 Kollisionshäufigkeiten

Die berechnete Kollisionshäufigkeit von manövrierfähigen Schiffen mit Installationen der Windparks ergibt eine statistisch zu erwartenden Zeit zwischen zwei Kollisionen von 3470 Jahren (ohne risikomindernde Maßnahmen).

Die aufsummierte Kollisionshäufigkeit für manövrierunfähige Schiffe aller Routenabschnitte ergibt eine Häufigkeit von 0,0078 Kollisionen/Jahr. Dies entspricht einer statistisch zu erwartenden Zeit zwischen zwei Kollisionen von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen der Windparks von 128 Jahren (ohne risikomindernde Maßnahmen).

Tabelle 9: Kollisionshäufigkeiten von manövrierfähigen Schiffen mit Installationen der Windparks (ohne risikomindernde Maßnahmen), sortiert nach normierter Häufigkeit

Nr.	Koordinaten des Abschnittsanfangs		Koordinaten des Abschnittsendes		Routenabschnittslänge [sm]	normierte Kollisionshäufigkeit [Kollisionen/Jahr/sm]	normierte mittlere Zeit zwischen den Kollisionen [Jahre/sm]	Kollisionshäufigkeit [Kollisionen/Jahr]	mittlere Zeit zwischen den Kollisionen [Jahren]
	geografische Breite	geografische Länge	geografische Breite	geografische Länge					
1	54° 35.397' N	12° 19.127' O	54° 45.275' N	12° 44.382' O	18	0.0000162	61730.00	0.0002880	3472

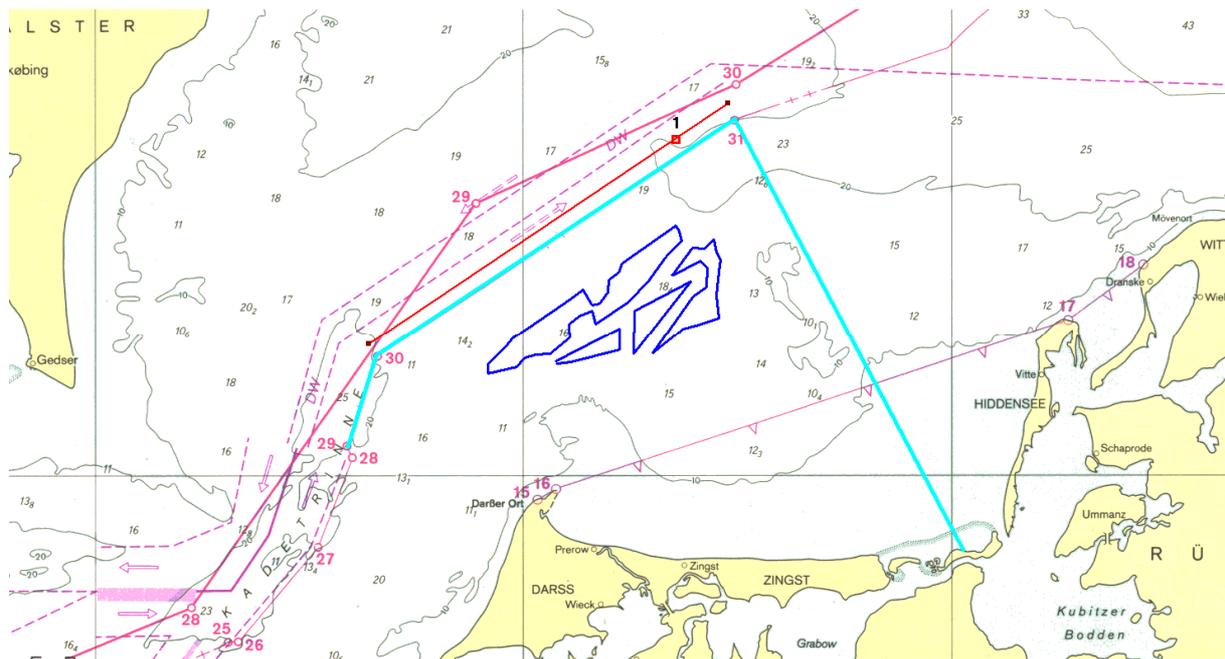


Abbildung 16: Darstellung der Routen mit den größten normierten Kollisionshäufigkeiten von manövrierfähigen Schiffen mit Installationen der Windparks

Tabelle 10: Kollisionshäufigkeiten von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen der Windparks (ohne risikomindernde Maßnahmen), sortiert nach normierter Häufigkeit

Nr.	Koordinaten des Abschnittsanfangs		Koordinaten des Abschnittsendes		Routenabschnittslänge [sm]	normierte Kollisionshäufigkeit [Kollisionen/Jahr/sm]	normierte mittlere Zeit zwischen den Kollisionen [Jahren/sm]	Kollisionshäufigkeit [Kollisionen/Jahr]	mittlere Zeit zwischen den Kollisionen [Jahre]
	geografische Breite	geografische Länge	geografische Breite	geografische Länge					
1	54° 35.397' N	12° 19.127' O	54° 45.275' N	12° 44.382' O	18	0.0001320	7576.00	0.0023400	427
2	54° 48.196' N	12° 44.188' O	54° 36.915' N	12° 15.931' O	20	0.0001030	9709.00	0.0020600	485
3	54° 35.413' N	12° 19.146' O	54° 45.275' N	12° 44.382' O	18	0.0000471	21230.00	0.0008351	1197
4	54° 24.758' N	12° 10.576' O	54° 35.397' N	12° 19.127' O	12	0.0000349	28650.00	0.0004110	2433
5	54° 36.915' N	12° 15.931' O	54° 26.858' N	12° 09.007' O	11	0.0000331	30210.00	0.0003600	2778
6	54° 35.397' N	12° 19.127' O	54° 56.533' N	12° 42.624' O	25	0.0000153	65360.00	0.0003860	2591
7	54° 56.602' N	12° 37.741' O	54° 36.915' N	12° 15.931' O	24	0.0000125	80000.00	0.0002940	3401
8	54° 26.858' N	12° 09.007' O	54° 26.834' N	11° 47.907' O	12	0.0000094	106600.00	0.0001160	8621
9	54° 24.702' N	11° 47.267' O	54° 24.758' N	12° 10.576' O	14	0.0000073	137900.00	0.0000989	10110
10	54° 45.275' N	12° 44.382' O	55° 01.665' N	14° 07.551' O	51	0.0000060	167200.00	0.0003050	3279
11	55° 04.800' N	14° 03.658' O	54° 48.196' N	12° 44.188' O	49	0.0000052	194200.00	0.0002520	3968

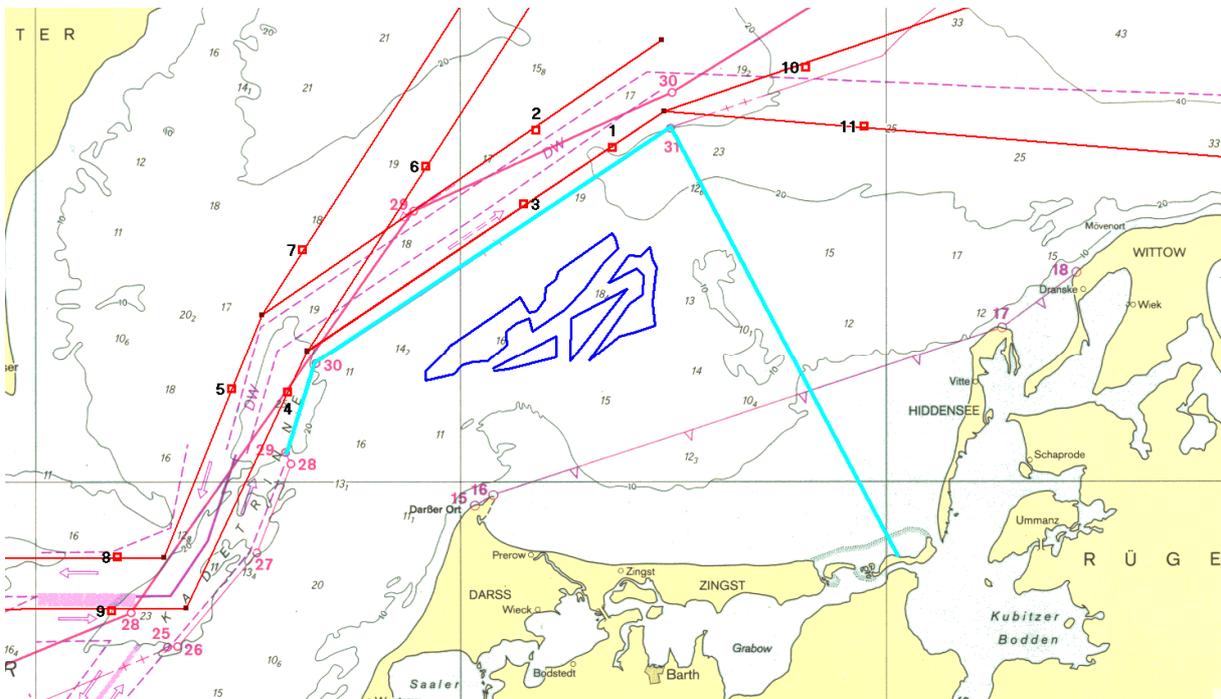


Abbildung 17: Darstellung der Routen mit den größten normierten Kollisionshäufigkeiten von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen der Windparks

4.7.2 Zwischenergebnisse ohne AIS, Notfallschlepper und Seeraumbeobachtung

In Tabelle 11 sind die Kollisionshäufigkeiten ohne die Wirkung der risikomindernden Maßnahmen für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe angegeben.

Tabelle 11: Kumulative Zwischenergebnisse der Risikoanalyse ohne risikomindernde Maßnahmen

Szenario	Kollisionshäufigkeit [1/Jahr]	stat. zu erwartende Zeit zwischen zwei Kollisionen [Jahre]
Kollision eines manövrierfähigen Schiffes mit Installationen des Windparks	0.0002880	3470
Kollision eines manövrierunfähigen Schiffes mit Installationen des Windparks	0.0078200	128
Gesamt	0.0081100	123

Kollisionswahrscheinlichkeit manövrierfähige Schiffe-Windpark

Die in Tabelle 11 dargestellten Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Kollisionshäufigkeiten ausgehend durch manövrierfähige Schiffe äußerst gering sind. Der relativ große Abstand zu den relevanten Routen (VTG) ist durch die Schaffung der KVZ, bzw. der Sperrzone von risikomindernder Wirkung. Effekte der Ansteuerungen des VTGs und auch der Lateralverteilung der Route sind aufgrund des räumlichen Abstandes nicht mehr relevant für das Ergebnis der Kollisionshäufigkeit.

4.7.3 Kumulatives Gesamtergebnis

Die Ergebnisse der kumulativen Betrachtung der Windparks Gennaker und Baltic I mit und ohne Berücksichtigung der Wirkung risikomindernder Maßnahmen sind in Tabelle 12 zusammengestellt. Die Ergebnisse sind sukzessive in der Berücksichtigung der Wirksamkeiten der risikomindernden Maßnahmen aufgeführt um die Abstufungen der Einflüsse auf die Ergebnisse ersichtlich zu machen.

Als Hauptergebnis dieser Untersuchungen ergibt sich eine Kollisionswiederholungsrate von 351 Jahren für die kumulative Aufstellung unter Berücksichtigung von AIS, einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 (s. Kapitel 4.6.2) und der zwei Notschlepper auf den Bereitschaftspositionen. Dieses Ergebnis ist in Tabelle 12 in der letzten Zeile angegeben. Somit ist eine positive Überschreitung der Kollisionswiederholungsfrequenz von 150 Jahren (siehe „Genehmigungsrelevante Richtwerte für Offshore-Windparks“ /2/) um 201 Jahren gegeben.

Tabelle 12: Kumulative Analyseergebnisse ohne und unter Berücksichtigung der risikomindernden Maßnahmen

Szenario Kumulative Betrachtung OWP Gennaker und Baltic I	Kollisionshäufigkeit			stat. zu erwartende Zeit zwischen zwei Kollisionen [Jahre]
	für manövrierfähige Schiffe [1/Jahr]	für manövrierunfähige Schiffe [1/Jahr]	für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe [1/Jahr]	
ohne risikomindernde Maßnahmen (Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung, AIS, Notfallschlepper)	0.0003	0.0078	0.0081	123
mit AIS, ohne Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und ohne Notfallschlepper	0.0002	0.0078	0.0081	124
mit AIS, mit Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und ohne Notfallschlepper	0.0001	0.0071	0.0072	139
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und zwei Notschleppern	0.0001	0.0028	0.0028	351

4.8 Ergebnisse Kollisionshäufigkeit des Messmastes Darßer Schwelle

Ebenfalls Grundlage für die Berechnung des Messmastes sind die an die KVZ und VTG angepassten Routen entsprechend Abbildung 6. In diesem Abschnitt wird das Kollisionsrisiko des Einzelhindernisses Messmast Darßer Schwelle angegeben.

Der Messmast weist einen Mindestabstand von 3,648 km zum Windpark, sowie einen Abstand von etwa 2,5 km zur nördlichen Grenze der KVZ auf

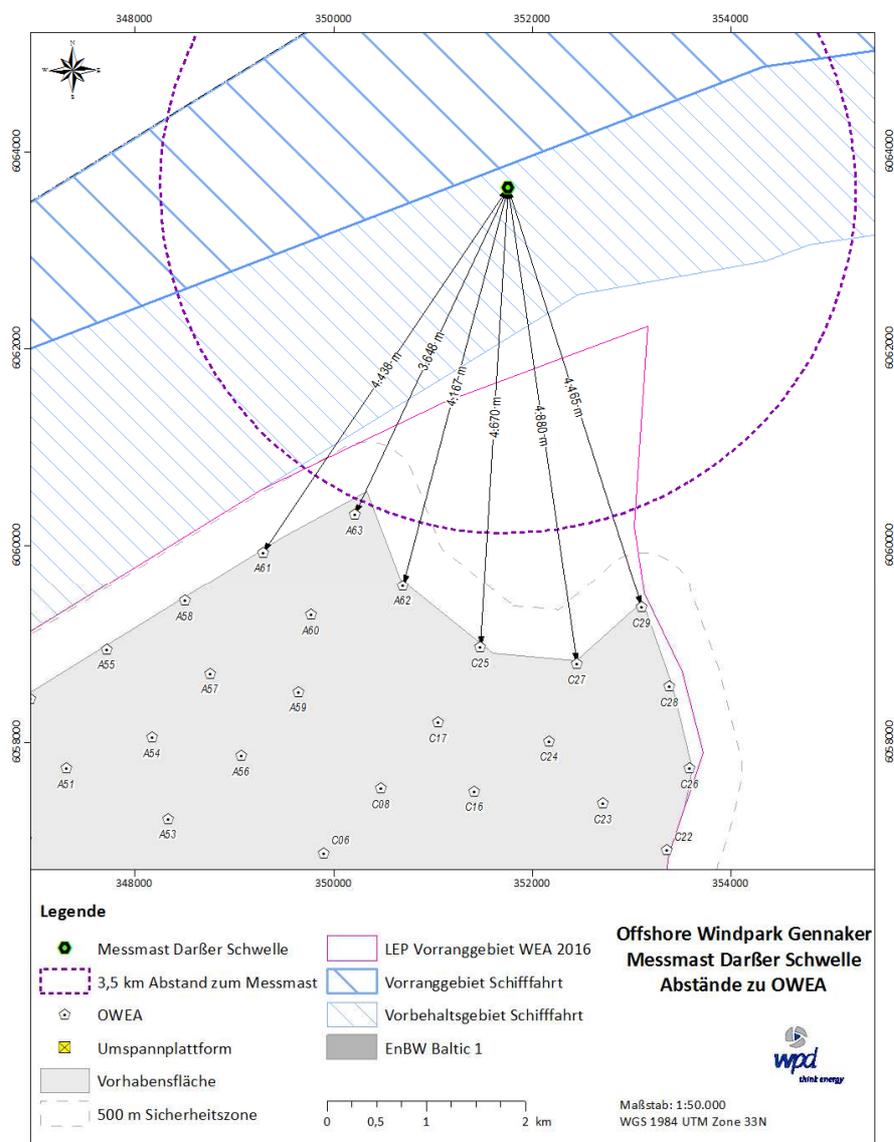


Abbildung 18: Lage des Messmastes relativ zum Windpark Gennaker (Grafik OWP Gennaker GmbH)

Die Ergebnisse der Einzelbetrachtung des Messmastes mit und ohne Berücksichtigung der Wirkung risikomindernder Maßnahmen sind in Tabelle 13 zusammengestellt. Die Ergebnisse sind sukzessive in der Berücksichtigung der Wirksamkeiten der risikomindernden Maßnahmen aufgeführt um die Abstufungen der einzelnen Einflüsse auf die Ergebnisse ersichtlich zu machen.

Als Hauptergebnis dieser Berechnung ergibt sich eine Kollisionswiederholungsrate von 945 Jahren für die kumulative Aufstellung unter Berücksichtigung von AIS, einer Verkehrsüberwachung/-Seeraumbeobachtung der Variante 3 (s. Kapitel 4.6.2) und der beiden Notschlepper auf den Bereitschaftspositionen.

Tabelle 13: Kumulative Analyseergebnisse ohne und unter Berücksichtigung der risikomindernden Maßnahmen

Szenario	Kollisionshäufigkeit			
	für manövrierfähige Schiffe [1/Jahr]	für manövrierunfähige Schiffe [1/Jahr]	für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe [1/Jahr]	stat. zu erwartende Zeit zwischen zwei Kollisionen [Jahre]
ohne risikomindernde Maßnahmen (Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung, AIS, Notfallschlepper)	0.0030	0.0002	0.0032	311
mit AIS, ohne Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und ohne Notfallschlepper	0.0024	0.0002	0.0026	383
mit AIS, mit Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und ohne Notfallschlepper	0.0010	0.0002	0.0012	869
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und zwei Notschleppern	0.0010	0.0001	0.0011	945

5 KONKRETISIERUNG DER RISIKOMINDERNDEN WIRKUNG DER STAATLICHEN NOTSCHLEPPKAPAZITÄTEN

Im Folgenden wird im Wesentlichen die Simulation der Notschleppsätze beschrieben:

- Jeder Drifter wird individuell simuliert. Die Auftretenshäufigkeit hängt unmittelbar mit der Befahrens-Frequenz der Verkehre zusammen.
- Driftgeschwindigkeit und -richtung abhängig von SchiffsgöÙe/-typ und Umwelteinflüssen (Wind, Welle und Strömung/Windströmung). In der Regel zwischen 0-4 kn, in Extremfällen auch drüber. Hierfür werden die Windrichtungen und -stärken aus Abschnitt 4.5 im Modell berücksichtigt.
- Die Auftretenswahrscheinlichkeit (Ausfallrate der Antriebs- und Ruderanlage) eines Drifters ist in der Risikoanalyse mit $2,5 \cdot 10^{-4}$ pro Stunde (alle 4000 h ein Ausfall) für ein Schiff angenommen (entsprechend harmon. Annahmen). D. h. Bereiche mit jährlich hoher Anzahl von Schiffsbewegungen haben auch entsprechend hohe Drifterwahrscheinlichkeiten.
- In Abhängigkeit von Zeit und Wind werden die Wahrscheinlichkeiten einer Selbstreparatur und gelungener Notankermanöver im Modell berücksichtigt (entsprechend harmon. Annahmen):

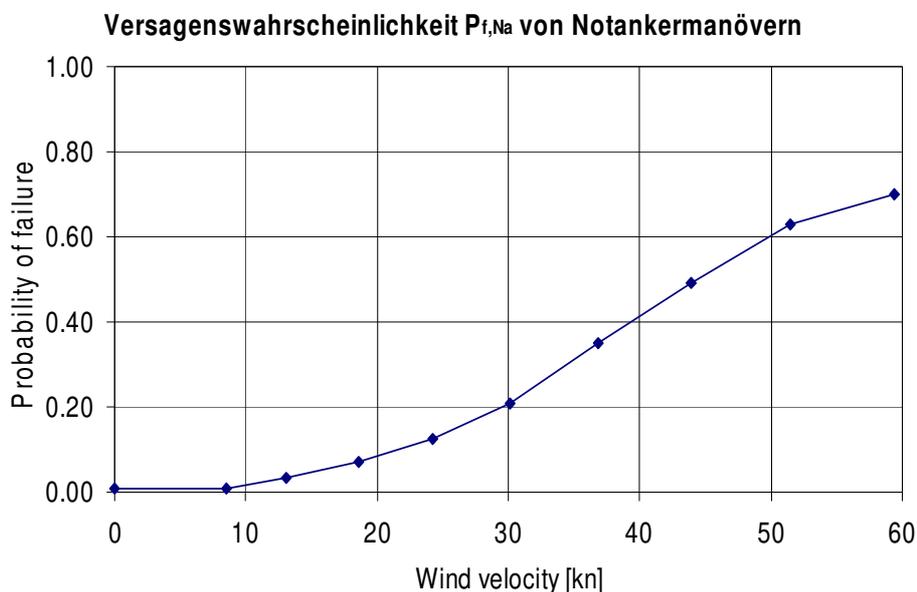


Abbildung 19: Versagenswahrscheinlichkeit von Notankermanövern

Versagenswahrscheinlichkeit von Reparaturmaßnahmen

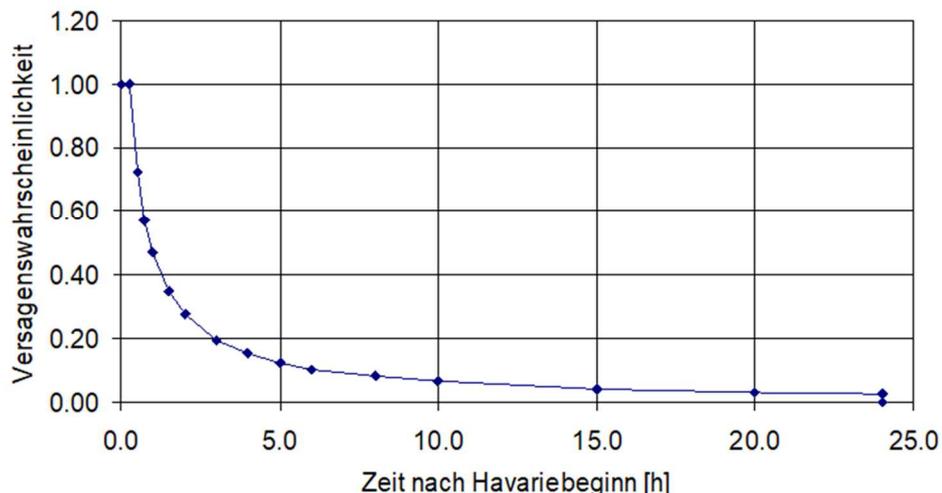


Abbildung 20: Versagenswahrscheinlichkeit von Reparaturmaßnahmen

Die Schlepper steuern generell die havarierten Schiffe an und nicht die OWPs. Daher ist eine Wirksamkeit auch bei größeren Distanzen zwischen Schlepper und OWP gegeben. Die Bergung durch einen Notschlepper innerhalb der Windparkfläche wird lediglich bis zu einer Windstärke von 4 Bft berücksichtigt, da eine erfolgreiche Bergung innerhalb der Windparkfläche bei höheren Windgeschwindigkeiten für unwahrscheinlich angesehen wird. Im Modell werden die Schlepper entsprechend ihrer individuellen Daten (Geschwindigkeit, Pfahlzug) berücksichtigt:

Tabelle 14: Daten für die berücksichtigten Schlepper

Name:	Position:	Max v:	V berücksichtigt:	Pfahlzug:
Baltic	Warnemünde	17 kn	12 kn	127 t
Fairplay 25	Saßnitz	12 kn	8,5 kn	65 t

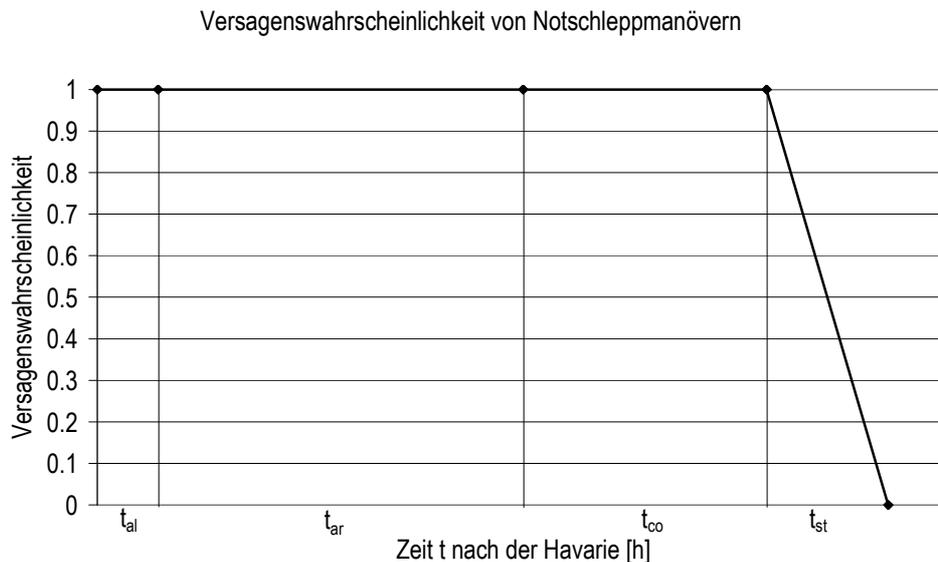


Abbildung 21: Versagenswahrscheinlichkeit von Notschleppmanövern

- Im Modell wurde standardmäßig eine Aktivierungszeit (t_{al}) von 30 min für beide Schlepper in allen Fällen berücksichtigt, obwohl lt. Fairplay-Reederei eine Aktivierungszeit von nur wenigen Minuten angegeben wurde.
- Die Anfahrdauer (t_{ar}) ergibt sich aus der Geschwindigkeit des jeweiligen Notschleppers und der Entfernung des anzufahrenden Havaristen. Es wird ein pauschaler Ansatz von 70% der maximalen Geschwindigkeit des jeweiligen Schleppers unabhängig der Wetterbedingungen berücksichtigt (siehe auch Tabelle 15).
- Die benötigte Zeit (t_{co}) für die Leinenverbindung wird mit 1 h berücksichtigt. Ab 8 Bft wird hierfür eine Zeit von 3,5 h berücksichtigt.
- Die Zeit bis zur einer stabilen Lage (t_{st}) wird mit 0,5 h angenommen. Ab 8 Bft steigt die Stabilisierungszeit auf 1h.

Zur Erläuterung wird folgend ein Beispiel eines Havaristen mit Position im zukünftigen VTG entsprechend den zugrundeliegenden Annahmen betrachtet:

- Der Schlepper „Baltic“ wird alarmiert und mobilisiert: 0,5 h.
- Die Entfernung von Warnemünde in das VTG beträgt etwa 30 sm. Bei 12 kn Anreisegeschwindigkeit (pauschaler Wert 70% V_{max}). Das ergibt eine Anreisezeit von 2,5 h.
- Die Leinenverbindung benötigt bis 8 Bft 1 h (3,5 h ab 8 Bft).
- Die Stabilisierung des Havaristen benötigt bis 8 Bft 0,5 h (1 h ab 8 Bft).

Als Ergebnis werden für dieses Beispiel eines Notschleppereinsatzes insgesamt 4,5 h (7,5 h ab 8 Bft) von der Alarmierung bis zu einer stabilen Leinenverbindung benötigt.

6 SENSITIVITÄTSBERECHNUNGEN DER STAATLICHEN NOTSCHLEPPKAPAZITÄTEN

In diesem Kapitel wird die in Abschnitt 4.7.3 berechnete Kollisionshäufigkeit mit variierenden Parametern bezüglich der Notschlepper ermittelt. Entsprechend des Anforderungskataloges der GDWS werden folgende Sensitivitätsbetrachtungen untersucht.

6.1 Alarmierung und Mobilisierung der Notschlepper

Zusätzlich zur Standardannahme von 30 min wird eine Berechnung der Kollisionshäufigkeit mit 60 min für Alarmierung und Mobilisierung durchgeführt. Seitens der Reederei Fairplay wird eine reale Alarmierungs- und Mobilisierungszeit von wenigen Minuten angegeben. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 zusammengefasst:

Tabelle 15: Alarmierungs- und Mobilisierungszeit

	stat. zu erwartende Zeit zwischen zwei Kollisionen [Jahre]
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und Notschlepper. 30 min Alarmierung und Mobilisierung:	Basisergebnis aus Abschnitt 4.7.3: 351
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und Notschlepper 60 min Alarmierung und Mobilisierung:	 345

6.2 Anreisegeschwindigkeit

Um den Einfluss der Geschwindigkeiten der Schlepper „Baltic“ und „Fairplay 25“ zu untersuchen wurde zusätzlich zu der Standardannahme von 70% der maximalen Geschwindigkeit bei jedem Wetter ein Ansatz mit 100% der Schleppergeschwindigkeiten durchgeführt. Das Ergebnis ist in Tabelle 16 aufgeführt.

Tabelle 16: Anreisegeschwindigkeit

	stat. zu erwartende Zeit zwischen zwei Kollisionen [Jahre]
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und Notschlepper. 70% der Maximalgeschwindigkeit (12 kn und 8,5 kn):	Basisergebnis aus Abschnitt 4.7.3: 351
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und Notschlepper 100% der Maximalgeschwindigkeit (17 kn und 12 kn):	 360

6.3 Zeit der Leinenverbindung

Es werden zusätzlich zu der pauschal angesetzten Dauer von 60 min bis zur stabilen Leinenverbindung die Dauer von 30 bzw. 120 min simuliert. Über 8 Bft wurde in allen Fällen eine Zeit für die Leinenverbindung von 3,5 h berücksichtigt. In Tabelle 17 sind die Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 17: Zeit der Leinenverbindung

	stat. zu erwartende Zeit zwischen zwei Kollisionen [Jahre]
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und Notschlepper. Leinenverbindung in 60 min:	Basisergebnis aus Abschnitt 4.7.3: 351
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und Notschlepper Leinenverbindung in 30 min:	357
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und Notschlepper Leinenverbindung in 120 min:	337

6.4 Pfahlzugleistung und Annahmen zu unterschiedlichen Seegangbedingungen

Die Pfahlzugleistungen beider Schlepper betragen in dieser Sensitivitätsbetrachtung jeweils 70 t und 160 t.

Weiterhin unterscheiden die Berechnungen zwischen den normalen Ansätzen der Wetterbedingungen entsprechend Abschnitt 4.7.1 und einer Schlechtwetterannahme.

Die Schlechtwetterannahme berücksichtigt zu jeder Zeit für alle Driftszenarien eine Dauer der Leinenverbindung von 3,5 h und für die Stabilisierungszeit 1 h. Die Geschwindigkeiten werden für beide Szenarien pauschal mit 70% der jeweils maximalen Geschwindigkeit berücksichtigt (siehe auch Tabelle 8 in Abschnitt 4.6.3).

Tabelle 18: Anreisegeschwindigkeit

	stat. zu erwartende Zeit zwischen zwei Kollisionen [Jahre]	stat. zu erwartende Zeit zwischen zwei Kollisionen [Jahre]
	Standardannahme	Schlechtwetterannahme immer über 8 Bft
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraum- beobachtung der Variante 3 und Notschlepper. Beide Schlepper haben eine Pfahlzugleistung von 70 t:	285	238
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraum- beobachtung der Variante 3 und Notschlepper Beide Schlepper haben eine Pfahlzugleistung von 160 t:	478	343



Ergebnis der Sensitivitätsbetrachtungen

Es zeigt sich, dass von den in diesem Rahmen untersuchten Einflussgrößen die Pfahlzugleistung den größten Einfluss auf die Schlepperwirksamkeit hat. Im Ergebnis der Sensitivitätsberechnungen kann festgestellt werden, dass die Schlepper tendenziell keinen zeitkritischen Einsatzrahmen haben, sondern ein Grad an Versagenswahrscheinlichkeit der simulierten Schleppereinsätze durch zu geringe Schleppkraft entsteht oder entstehen kann.

Weiter konnte in der Sensitivitätsanalyse aufgezeigt werden, dass auch mit Variation der Eingangsdaten bezüglich des Schleppereinsatzes die für die Genehmigung mindestens zulässigen Kollisionswiederholungsfrequenzen nicht unterschritten werden.

7 LITERATUR

- /1/ MARIN, DNV und Germanischer Lloyd: Harmonisierung der Grundannahmen für Kollisionsrisikoanalysen zwischen MARIN, DNV und GL; Hamburg, Dezember 2004.
- /2/ BMVBW: Genehmigungrelevante Richtwerte für Offshore-Windparks - Bericht einer Arbeitsgruppe; Referat LS 23, Bonn, März 2005.
- /3/ Germanischer Lloyd: Offshore Windparks – Wirksamkeit kollisionsverhindernder Maßnahmen – Abschlußbericht, Bericht Nr. NB-ER 2008.178, Version 1.8, Abteilung Risk Assessment and Mechanical Engineering/NB-ER, 2008-11-24
- /4/ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie: Nr. 20032 „Klima und Wetter in der Ostsee“; Hamburg, 1996.
- /5/ Deutscher Wetterdienst: Statistische Auswertung über die Überschreitenswahrscheinlichkeit von Schwellwerten der Windgeschwindigkeit und der kennzeichnenden Wellenhöhe in der Deutschen Bucht und der Westlichen Ostsee, Aktenzeichen SF2/64.30.16-10-/1000, Hamburg, 2000.
- /6/ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie: Häufigkeitsverteilungen der signifikanten Wellenhöhe gegen die Windgeschwindigkeit, Hamburg, 2000.
- /7/ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie: Strömungsmessdaten, Record Nr. 78049, 78050, 88043, 88044, 90062, 90063, 91047, 91048, 91049, 91097, 92072.
- /8/ <http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Vorhersagen/Gezeiten/810.jsp>
- /9/ Olsen, D., H.-H. Gotfredsen, Y. Fujii: Risk Reducing Effect of the Great Belt VTS System; Publ. no. 810, VTS 92 – 7th International VTS Symposium, Vancouver, Canada, 1992.
- /10/ Fujii, Y., N. Mizuki: Design of VTS systems for water with bridges; Proc. of the International Symposium on Advances in Ship Collision Analysis. Gluver & Olsen eds.; Copenhagen, Denmark; 1998.
- /11/ Foxwell, D.: AIS: The next big thing in navigation; Fairplay, Nov. 2003.
- /12/ Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik: Aufbereitung statistischer Daten zu Schiffsverkehren in Nord- Ostsee; FE-Nr. 40.347/2000; Bremen, 30.10.2000.
- /13/ SAFESHIP – Reduction of Ship Collision Risks for Offshore Wind Farms, Report, Germanischer Lloyd AG, MARIN, Technical University of Denmark, January 2005.
- /14/ Hilmer H. H.: Verkehrssicherungskonzept Deutsche Küste, in "Konzepte zur Verbesserung der Seeverkehrssicherheit in Nord und Ostsee, Schriftenreihe des Schifffahrtsinstitutes Warnemünde an der Hochschule Wismar, Heft 4, Warnemünde, 2003.
- /15/ Standard „Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen“, BSH, 2007
- /16/ VDI Richtlinie 4006, „Menschliche Zuverlässigkeit, Methoden zur quantitativen Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit“



ANHANG A

METHODEN DER

RISIKOBERECHNUNG

- A.1 Risikoberechnungen für den Windpark
- A.2 Verfahren zur Berechnung des Risikos für Kollisionen **manövrierfähiger Schiffe** mit Installationen des Windparks
 - A.2.1 Berechnung der Kollisionshäufigkeiten
 - A.2.2 Berechnung der Kollisionskonsequenzen
 - A.2.3 Berechnung des Kollisionsrisikos
- A.3 Verfahren zur Berechnung von Risiken für die Kollisionen **manövrierunfähiger Schiffe** mit Installationen des Windparks
 - A.3.1 Berechnung der Kollisionshäufigkeit
 - A.3.2 Berechnung der Kollisionskonsequenzen
 - A.3.3 Berechnung des Kollisionsrisikos
- A.4 Literatur zum Anhang A

A.1 Risikoberechnungen für den Windpark

Verfahren zur Berechnung von Risiken können in statistische¹ und analytische² Verfahren eingeteilt werden. Statistische Verfahren basieren auf der Erfassung ("Zählung") von Sachverhalten. Bezogen auf Kollisionsereignisse sind das z.B. die Zahl von Schiff-Schiff Kollisionen in einem bestimmten Seegebiet. Sofern sich die Randbedingungen der Statistik nicht ändern, können aus den statistisch ermittelten Werten Prognosen abgeleitet werden. Bei analytischen Verfahren wird versucht, die Einflussgrößen des Sachverhaltes (z.B. Windeinfluss, Zusammensetzung des Schiffsverkehrs) und das Zusammenspiel der Einflussfaktoren zu ermitteln. Bei der Beschreibung der Einflussgrößen werden dann wiederum statistische Methoden verwendet.

Sowohl statistische als auch analytische Verfahren zur Risikoberechnung werden in der Technik angewendet. Welche Vorgehensweise besser geeignet ist, um bestimmte Sachverhalte zu klären, ergibt sich aus einer Abwägung der Vor- und Nachteile der jeweiligen Verfahren.

Vorteile statistischer Verfahren

- Statistische Verfahren beinhalten alle Einflussgrößen
Da statistische Verfahren auf Messungen und Zählungen basieren, erfassen sie naturgemäß alle wirkenden Einflussfaktoren und deren Zusammenwirken.
- Grundlage sind historische Daten
Da Statistiken auf tatsächlich geschehenen Ereignissen basieren, liefern sie ein exaktes Abbild des Sachverhaltes.
- Einfache Ermittlung von Statistiken
Sofern der Sachverhalt direkt messbar ist, können statistische Werte sehr schnell und einfach ermittelt werden.

Nachteile statistischer Verfahren

- Vertrauen statistischer Ergebnisse
Das Gesetz der großen Zahlen besagt, dass sich die relative Häufigkeit (Wahrscheinlichkeit) eines Zufallsergebnisses immer weiter an die theoretische Wahrscheinlichkeit für dieses Ergebnis (Erwartungswert) annähert, je häufiger das Zufallsexperiment durchgeführt wird. Das bedeutet, um eine "sichere" statistische Aussage über zufällige Ereignisse zu machen, müssen diese in ausreichender Menge vorhanden sein bzw. gemessen werden. Bei sehr selten auftretenden Ereignissen ist dies häufig nicht gegeben. Kollisionsereignisse von Schiffen mit Installationen von Windparks sind bisher nicht bekannt geworden. Eine Auswertung von Kollisionsereignissen aus statistischen Unfallzahlen für genau dieses Szenario ist daher nicht möglich.
- Übertragung statistischer Ergebnisse
Die Übertragung statistischer Werte von einem System auf ein anderes System ist nur begrenzt möglich. Mit Bezug auf Kollisionen von Schiffen mit Installationen eines Windparks bedeutet das, dass bei statistisch ermittelten Kollisionshäufigkeiten eine Übertragung von einem Windpark zu einem anderen Windpark nur zulässig ist, sofern die Randbedingungen (nautische Gegebenheiten, Umwelteinflüsse, etc.) bei beiden Windparks die gleichen sind. In der Regel unterscheiden sich diese.
- Entwicklung des Systems
Aus den ersten beiden Nachteilen ergibt sich ein dritter Nachteil. Sind die zu beobachtenden

¹ Statistik, allg.: (meist in Tabellenform zusammengestellte) Ergebnisse von zahlenmäßigen Erfassungen bestimmter Sachverhalte (z.B. Bevölkerungs-, Ind.-, Landwirtschafts-, Verkehrs- und Preisstatistik).

² Analyse allg.: Verfahren, bei dem Erkenntnisse durch die Untersuchung der einzelnen, elementaren Bestandteile eines Ganzen gewonnen werden (Ggs.: Synthese).

Ereignisse sehr selten, so vergeht ein großer Zeitraum bevor statistisch sichere Aussagen formuliert werden können. Innerhalb dieses Zeitraums verändert sich das System jedoch selbst. Beispiele hierfür sind die Veränderungen der Schiffsbewegungen auf Grund wirtschaftlicher Veränderungen oder die Entwicklung neuer Hilfsmittel für die Navigation bzw. neuer Schiffsmaschinenanlagen. Das bedeutet, dass sich das System an sich geändert hat und statistische Aussagen auf der Basis früherer Ereignisse nicht mehr dem aktuellen Systemzustand entsprechen.

Vorteile analytischer Verfahren

- Unabhängigkeit von historischen Kollisionsereignissen
Ein Vorteil analytischer Verfahren ist, dass sie auch zur Prognose seltener Ereignisse geeignet sind, weil für sie keine historischen Daten des Ereignisses selbst notwendig sind. Bei analytischen Verfahren werden die elementaren Bestandteile und deren Zusammenspiel betrachtet. Mit Bezug auf Kollisionsszenarien bedeutet das, dass einzelne Einflussgrößen (z.B. auftretende Windrichtungen) separat untersucht werden können und nicht nur im Zusammenhang mit Kollisionen von Schiffen zu betrachten sind. Das Erfassen der elementaren Bestandteile wiederum kann auf statistischem Wege erfolgen.
- Berücksichtigung der Entwicklung des Systems
Durch die Kenntnis des Zusammenwirkens der einzelnen Einflussfaktoren können auch neue Einflussgrößen in das System eingearbeitet werden. Das bedeutet, dass neue Entwicklungen (z.B. die Wirkung von AIS) in der Schiffstechnik bei der Prognose von Kollisionsereignissen berücksichtigt werden können.

Nachteile analytischer Verfahren

- Komplexes mathematisches Modell
Je mehr Einflussfaktoren vorhanden sind und je komplexer deren Zusammenspiel ist, umso schwieriger ist es, ein mathematisches Modell für deren Beschreibung zu finden. Um die Komplexität des mathematischen Modells in Grenzen zu halten, werden wesentliche und unwesentliche Einflüsse voneinander getrennt. Die Vernachlässigung von unbedeutenden Einflüssen führt zu Ungenauigkeiten in den Ergebnissen.
- Prüfung des analytischen Verfahrens
Um die Qualität des analytischen Verfahrens zu überprüfen, ist eine Überprüfung des Verfahrens notwendig. Sofern vorhanden, werden dafür statistische Daten historischer Ereignisse herangezogen. Exemplarisch wird dann ein Vergleich der Ergebnisse des analytischen Verfahrens mit den statistisch ermittelten Werten vorgenommen.

A.2 Verfahren zur Berechnung des Risikos für Kollisionen manövrierfähiger Schiffe mit Installationen des Windparks

A.2.1 Berechnung der Kollisionshäufigkeiten

Basierend auf Arbeiten von Fujii /A-1/ und MacDuff /A-2/ wurde von Pedersen /A-3/ ein Verfahren präsentiert, dass die Berechnung der Häufigkeit von Kollisionen von Schiffen mit im Wasser befindlichen Objekten ermöglicht.

Das Verfahren basiert auf zwei Bedingungen, die gleichzeitig erfüllt sein müssen, damit es zur Kollision eines Schiffes mit einem Objekt kommt.

1. Das Schiff muss sich auf Kollisionskurs mit einer Windenergieanlage oder Umspannstation des Windparks befinden (die Wahrscheinlichkeit dafür wird mit $P_{fK,k}$ bezeichnet).
2. Die Schiffsführung unternimmt keine Kurskorrektur, um die drohende Kollision zu vermeiden oder die Kurskorrektur erfolgt zu spät, um die Kollision zu vermeiden (die Wahrscheinlichkeit dafür wird mit $P_{fM,k}$ bezeichnet).

Für beide Bedingungen muss die Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmt werden.

Für die Berechnung der Kollisionshäufigkeit werden diese Wahrscheinlichkeiten ($P_{fM,k}$, $P_{fK,k}$) mit der Zahl der Schiffsbewegungen $n_{S,k}$ (Zahl der Schiffspassagen einer Routenabschnitts) multipliziert, siehe Gleichung (A-1).

Die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten $P_{fM,k}$ und $P_{fK,k}$ wird im Folgenden erläutert.

$$n_{\text{coll,pow}} = \sum_K n_{\text{coll,pow,k}} = \sum_K P_{fM,k} \cdot P_{fK,k} \cdot n_{S,k} \quad (\text{A-1})$$

Befinden sich in einem Seegebiet mehrere Schifffahrtsrouten, so kann die Gesamtkollisionshäufigkeit $n_{\text{coll,pow}}$ aller Routen durch Addition der Kollisionshäufigkeiten $n_{\text{coll,pow,k}}$ der einzelnen Routenabschnitte der Schifffahrtsrouten bestimmt werden.

- Wahrscheinlichkeit $P_{fK,k}$ von Schiffen auf Kollisionskurs

Für die Berechnung der Kollisionshäufigkeit muss die Wahrscheinlichkeit $P_{fK,k}$ bestimmt werden. Diese Wahrscheinlichkeit beschreibt den Anteil von Schiffen des Seegebietes, der sich auf Kollisionskurs mit dem Windpark befindet.

Für die Berechnung dieser Wahrscheinlichkeit wird modellhaft davon ausgegangen, dass Schiffe auf idealisierten Routen fahren, die typischerweise aus dem kürzesten Weg zwischen Abfahrts- und Zielhafen

bestehen. Aufgrund nautischer Restriktionen wie Tiefgang, markierten Wasserwegen, Zwangswegen etc. muss der Kurs im Allgemeinen an so genannten Wegpunkten geändert werden. Eine Route besteht somit aus mindestens einem Routenabschnitt. Ein Routenabschnitt wird durch Abfahrts-, Zielhafen oder durch Wegpunkte begrenzt (siehe Abbildung A-1).

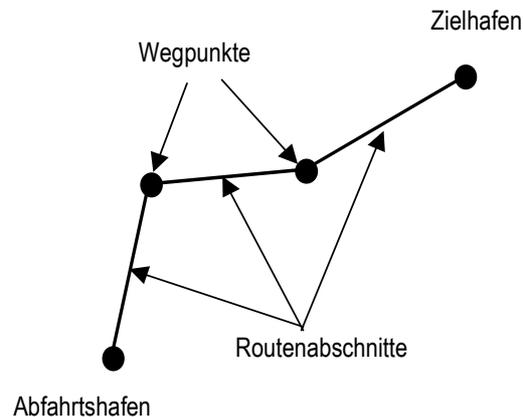


Abbildung A-1: Zusammenhang von Schiffsrouten, Routenabschnitt und Wegpunkten

Aufgrund von Ungenauigkeiten beim Abstecken des Kurses beziehungsweise Versatz durch Wind, Strömung und Wellen weichen die tatsächlich gefahrenen Routen der Schiffe jedoch mehr oder weniger stark von der im Programm verwendeten, idealisierten Route ab.

Es wird davon ausgegangen, dass die Schiffführung bestrebt ist, die ideale, kürzeste Route aus Zeit- und Kostengründen zu fahren. Folglich kann man auch davon ausgehen, dass die Wahrscheinlichkeit von kleinen Abweichungen größer ist, als die Wahrscheinlichkeit von großen Abweichungen.

Die Abweichung der Schiffe orthogonal zur idealen Route wird über sog. Lateralverteilungen (statistischen Verteilungsfunktionen) in die Berechnung einbezogen.

Bei Schifffahrtsrouten, die keinen nautischen Restriktionen unterliegen, geht man von Gauß'schen Normalverteilungen aus. Eine typische Lateralverteilung dieses Typs ist in Abbildung A-2 als "a" dargestellt. Bei dieser Verteilung geht man davon aus, dass die Abweichungen der Schifffahrtsrouten von der idealen Route nach beiden Seiten in gleichem Maße auftreten, also symmetrische Verteilungen vorhanden sind. Auf Zwangswegen wie Verkehrstrennungsgebieten oder betonnten Fahrwassern (Verteilungsfunktion "b" in Abbildung A-2) verschiebt sich das Maximum der Verteilungsfunktion (Modalwert) zum Rand des Fahrwassers, weil die Betonnung häufig als Orientierungspunkt genutzt wird und nach den Kollisionsverhütungsregeln ein Rechtsfahrgebot vorliegt.

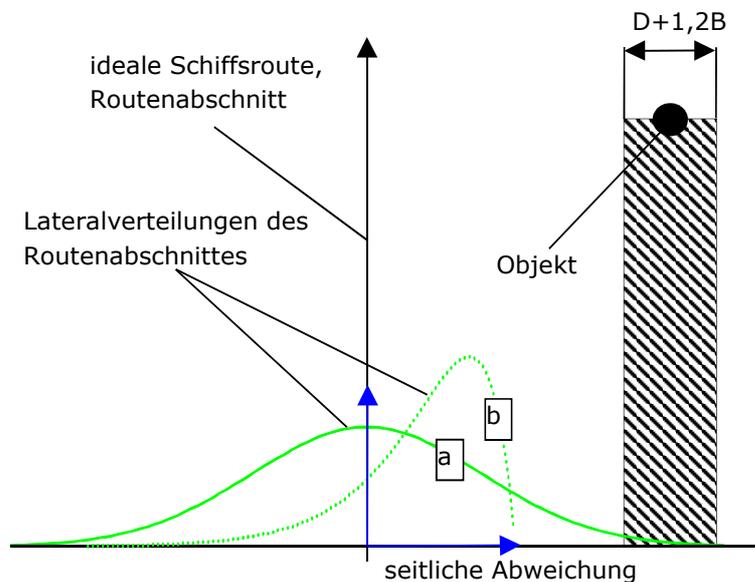


Abbildung A-2: Lateralverteilungen für den Schiffsverkehr

Die Wahrscheinlichkeit $P_{fk,k}$, dass sich ein Schiff auf Kollisionskurs mit einer Windenergieanlage oder der Umspannstation befindet, ergibt sich aus der Fläche unter der jeweiligen Lateralverteilung $h_i = f(x)$ des Routenabschnittes k , die von der Schattenfläche der WEA/Umspannwerk (UW) plus 1.2 mal der Schiffsbreite B überdeckt wird. Für die i -te Installation mit dem Durchmesser D_i wird diese Wahrscheinlichkeit mit Gleichung (A-2) berechnet.

$$P_{fk,k} = \sum_i P_{fk,k,i} = \sum_i \int_{D_i+1,2B} f_k(x) dx \quad (A-2)$$

Durch Annahme der 1.2-fachen Schiffsbreite wird die Möglichkeit einer seitlichen Kollision berücksichtigt. Dies kann auftreten, wenn ein Schiff sich mit einem kleinen Schiebewinkel relativ zur Kurslinie fortbewegt (z. B. durch Windeinfluss).

Neben den Kollisionen der Kategorie I durch eine laterale Verteilung der Schiffe werden auch Kollisionen der Kategorie II durch einen Verpassen des Wegpunktes entsprechend den Angaben in /A-4/ berücksichtigt.

- *Wahrscheinlichkeit $P_{fm,k}$ von Maßnahmen zur Kursänderung*

Die Wahrscheinlichkeit $P_{fm,k}$, dass ein Kollisionskurs auf einem Routenabschnitt nicht geändert wird, kann aus statistischen Daten oder mit Hilfe analytischer Methoden (Fehlerbaummethode, Bayes'sche Netzwerke) ermittelt werden.

Statistische Daten von Schiffsunfällen mit Offshore-Windparks liegen z. Z. nicht vor. Somit kann derzeit die Wahrscheinlichkeit $P_{FM,k}$ nicht aus statistischen Daten abgeleitet werden. Eine Orientierung der Größenordnung dieser Wahrscheinlichkeit liefern jedoch Unfallszenarien mit Brücken, Schiffsstrandungen oder Schiff-Schiff-Kollisionen aus unterschiedlichen Seegebieten. In Tabelle A-1 sind Minimal- und Maximalwerte für die Wahrscheinlichkeit $P_{FM,k}$ aus unterschiedlichen Unfallszenarien der Schifffahrt gemäß /A-4/ dargestellt.

Tabelle A-1: Bereiche der Wahrscheinlichkeit $P_{FM,k}$ aus anderen Unfallszenarien der Schifffahrt /A-4/

Szenario	Minimaler Wert	Maximaler Wert
Schiff - Schiff Kollisionen (frontale Kollisionen)	4.9E-05	5.18E-04
Schiff - Schiff Kollisionen (seitliche Kollision)	9.5E-05	1.11E-04
Schiffsstrandungen	8.0E-05	6.3E-04
Schiff - Brücke Kollisionen	4.0E-05	5.4E-04

Fujii und Mizuki geben in /A-5/ für die Kollision von Schiffen mit fixen Objekten ein Bereich für die Wahrscheinlichkeit von $8.12E-05 < P_{FM,k} < 5.26E-04$ an. Das angegebene Intervall für die Wahrscheinlichkeit $P_{FM,k}$ wurde auf der Grundlage von Radarbeobachtungen erhoben und enthält alle möglichen Ursachen für Kollisionsunfälle einschließlich aller Aspekte menschlichen Versagens. Der entsprechend der Harmonisierung /A-6/ in den vorliegenden Berechnungen verwendete Wert für die Wahrscheinlichkeit $P_{FM,k} = 3.0E-04$ entspricht dem Mittelwert des angegebenen Wahrscheinlichkeitsintervalls.

A.2.2 Berechnung der Kollisionskonsequenzen

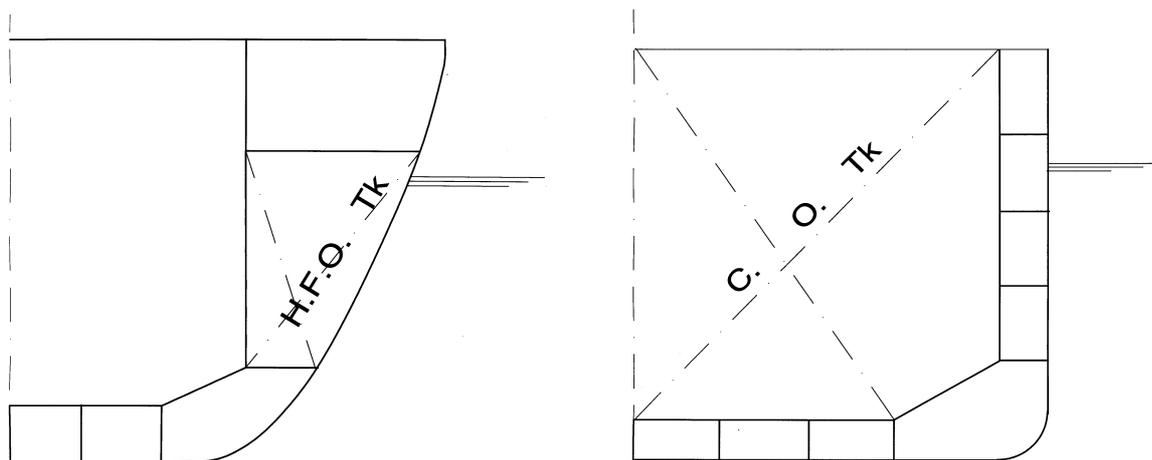
Je nach Ablauf einer Kollision eines Schiffes mit einer Installation eines Windparks sind unterschiedliche Konsequenzen zu erwarten.

Ein mögliches Szenario des Auftreffens von Schiffen bei Kollisionen ist die frontale Kollision, bei der der Bug des Schiffes den Turm der WEA zentral trifft. Bei einer derartigen Kollision ist damit zu rechnen, dass es zum Versagen des Turmes kommt. Dabei kann der Turm am Fundament oder in der Nähe des Kollisionspunktes abknicken. Bei einem zentralen Stoß ist mit einem Aufreißen der Außenhaut im Bereich von Tanks nicht zu rechnen.

Trifft das Schiff nicht zentrisch, sondern streift seitlich am Bug des Schiffes entlang, so ist ebenfalls mit dem Versagen des Turmes zu rechnen. Das relative steife konische Vorschiff kann einen großen Teil der Kollisionsenergie umwandeln, in dem das Schiff beim seitlichen Entlangschleifen vom Turm weggedrückt wird. Schäden am Vorschiff sind zu erwarten. Inwieweit ein seitliches Streifen des Schiffes am Turm zu einem Aufreißen der Schiffsaußenhaut im Bereich möglicher Ladetanks oder Brennstofftanks führen kann, ist derzeit nicht abschließend geklärt. Bei Einhüllenschiffen ist ein lokal begrenztes Aufreißen der Außenhaut denkbar. Bei Doppelhüllenschiffen ist ein Aufreißen der inneren Wand nur schwer vorstellbar, kann jedoch bisher nicht vollständig ausgeschlossen werden. Eine detaillierte Quantifizierung dieser Szenarien für manövrierfähige Schiffe erfolgte bisher nicht in einem vergleichbaren Rahmen wie die Quantifizierung der möglichen Szenarien für manövrierunfähige driftende Schiffe. Die

Kollisionskonsequenzen durch Kollisionen manövrierunfähiger Schiffe mit Windenergieanlagen wurden intensiv in Forschungsvorhaben der TU Harburg (F. Biehl) und im europäischen SAFESHIP-Vorhaben /A-7/ betrachtet.

Zur Veranschaulichung der Lage von Brennstofftanks und Ladeölkzellen sind in Abbildung A-3 typische Schiffsquerschnitte dargestellt.



Typischer Achterschiffsquerschnitt eines Trockenfrachters/Containerschiffs mit einem Brennstoffseitentank (H.F.O. Tk)

Typischer Mittschiffsquerschnitt eines Doppelhüllentankers mit Ladeölkzelle (C.O.Tk)

Abbildung A-3: Typische Schiffsquerschnitte

Die Frage, ob die Gondel auf das kollidierende Schiff fällt und dadurch weitere Schäden bewirkt oder nicht auf das Schiff fällt, ist ebenfalls nicht abschließend wissenschaftlich untersucht.

Die Berechnung der Kollisionskonsequenzen konzentrieren sich auf die Freisetzung von Öl und Brennstoff sowie in den Installationen des Windparks enthaltene wassergefährdende Schadstoffe. Bei der Berechnung der Konsequenzen werden sowohl die Treibstofftanks als auch die Ladetanks von Schiffen betrachtet. Es werden zusätzlich Ölmengen berechnet, die im Falle einer Kollision durch umstürzende Windenergieanlagen freigesetzt werden. Bei Passagierschiffen wird angenommen, dass Brennstoff nur im Doppelboden und in Zwischentanks im Mitschiffsbereich gelagert wird. An diesen Positionen sind Schäden durch Kollisionen mit einer Windenergieanlage nicht zu erwarten und werden daher ausgeschlossen.

Grundlage der Berechnungen zur Konsequenzanalyse (austretende Schadstoffmengen) ist ein Kollisionsgutachten, das eine Aussage über die kritische Schiffsgeschwindigkeit gibt, ab der mit einem Versagen der Schiffsstruktur und der Windkraftanlage zu rechnen ist.

Die bei einer Kollision freigesetzte mittlere Ölmenge $\bar{M}_{\text{Öl}}$ wird für manövrierfähige Schiffe mit Gleichung (A-3) berechnet. Vereinfachend wird auf die Darstellung des Zählers k für jeden betrachteten Routenabschnitt an dieser Stelle verzichtet.

$$\bar{M}_{\text{Öl,pow}} = \sum_s \sum_t (P_{\text{SE,Br}} \cdot M_{\text{Br,s,t}} + P_{\text{SE,La}} \cdot M_{\text{La,pow,s,Tanker}}) \cdot P_s \cdot P_t + \sum_I P_{\text{WEA,Typ,I}} \cdot M_{\text{Öl,I}} \quad (\text{A-3})$$

In Gleichung (A-3) ist $P_{\text{SE,Br}}$ - die Wahrscheinlichkeit, dass bei der Kollision ein Brennstofftank getroffen wird, $M_{\text{Br,s,t}}$ - die freigesetzte Brennstoffmenge für ein Schiff der Größenklasse s und des Typs t , $P_{\text{SE,La}}$ - die Wahrscheinlichkeit, dass bei einer Kollision ein Ladetank getroffen wird, $M_{\text{La,s,Tanker}}$ - die freigesetzte Ladeölmenge für einen Tanker der Größenklasse s , P_s - die Auftretenswahrscheinlichkeit der Schiffsgrößenklasse s und P_t die Auftretenswahrscheinlichkeit des Schiffstyps t , $P_{\text{WEA,Typ,I}}$ die Wahrscheinlichkeit des Typs I (WEA oder Umspannwerk (UW)) und $M_{\text{Öl,I}}$ die freiwerdende Ölmenge Typs I (WEA oder UW). Die betrachteten Schiffsgrößenklasse s und die unterschiedlichen Schiffstypen t werden der Schiffsverkehrsdatenbank entnommen und sind aus den Schiffsverkehrsdaten abgeleitet. Die unterschiedlichen Anlagentypen I des Windparks definieren sich durch die Angaben der Planer. Es wird zwischen unterschiedlichen Anlagen der Windenergieanlagen (WEAn) und der Umspannwerke (UW) unterschieden.

Eine Bedingung, dass bei der Kollision ein Brennstofftank getroffen wird, ist dass die Kollisionstelle im Bereich eines an der Außenhaut des Schiffes liegenden Brennstofftanks liegt. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist 0.15, da die Länge der Tanks im Verhältnis zur Schiffslänge nur 15 % ausmacht.

Die zweite Bedingung, dass ein Brennstofftank geschädigt wird ist, dass das Schiff überhaupt einen an der Außenhaut liegenden Brennstofftank besitzt. Dies ist bei etwa 25 % der Schiffe der Fall.

Berücksichtigt man beide Bedingungen so ergibt sich ein Faktor $P_{\text{SE,Br}} = 0.0375$.

$$P_{\text{SE,Br}} = P_{\text{tt}} \cdot P_{\text{ta}} = 0.25 \cdot 0.15 = 0.0375 \quad (\text{A-4})$$

Die freigesetzte Brennstoffmenge für ein Schiff der Größenklasse s und des Schiffstyps t ergibt sich aus Gleichung (A-5).

$$M_{\text{Br,s,t}} = \frac{(a_k + b_k \cdot T + c_k \cdot T^2)}{6} \quad (\text{A-5})$$

In Gleichung (A-5) sind a_k , b_k , c_k - die angewendeten schiffstypspezifischen Koeffizienten aus Tabelle A-2 und T die Tonnage des betrachteten Schiffes. Die Koeffizienten der Tabelle A-2 wurden statistisch ermittelt, in dem stichprobenartig beim Germanischen Lloyd klassifizierte Schiffe ausgewählt wurden. Aus den Klasseunterlagen konnte deren Brennstoffmenge ermittelt werden und durch eine Regressionsfunktion approximiert werden.

Tabelle A-2: Schiffstypspezifische Koeffizienten für Gleichung A-5, Brennstoff

Schiffstyp k	Obere Tonnagebegrenzungen [tdw]	Koeffizienten		
		a _k	b _k	c _k
Stückgut & Containerschiffe	100 000	1.886E+01	8.560E-02	4.000E-07
Massengut	300 000	5.480E+01	4.940E-02	0.000E+00
RoRo-Schiffe	50 000	1.89E+01	8.560E-02	4.000E-07
Gastanker	70 000	1.750E+02	7.09E-02	-1.69E-07
Chemikalien-tanker	200 000	4.761E+01	2.760E-02	0.000E+00
Öltanker	200 000	7.12E+02	2.98E-02	0.000E+00
Fähren- und Passagierschiffe	50 000	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Für Öltanker wird ebenfalls der Austritt von Ladeöl im Berechnungsverfahren berücksichtigt. Bedingung für den Austritt von Ladeöl ist, dass die Kollision im Bereich eines Ladeöltanks erfolgt. Dieser Faktor wird $P_{SE,La} = 0.75$ angenommen, was dem Verhältnis der Länge der Ladeöltanks zur Schiffslänge 75 % entspricht.

Bei der Berechnung der Menge austretenden Ladeöls wird konservativ davon ausgegangen, dass der komplette Inhalt zweier Ladetanks freigesetzt wird und dass 50% der Tanker voll beladen sind.

Die freigesetzte Ladeölmenge $M_{La,k}$ für einen Tanker der Größenklasse k wird mit Gleichung (A-6) berechnet.

$$M_{La,pow,s,Tanker} = 2 \cdot (a_k + b_k \cdot T + c_k \cdot T^2) \quad (A-6)$$

In Gleichung (A-6) sind a_k , b_k , c_k Koeffizienten, die statistisch aus den Klasseunterlagen von beim Germanischen Lloyd klassifizierten Tankern ermittelt wurden, und T die Tonnage des betrachteten Schiffes.

Tabelle A-3: Schiffstypspezifische Koeffizienten für Gleichung (A-6) und (A-21), Ladeöl

Schiffstyp k	Obere Tonnagebegrenzung [tdw]	Koeffizienten		
		a _k	b _k	c _k
Öltanker	200 000	0.000E+00	8.02E-02	4.000E-08

A.2.3 Berechnung des Kollisionsrisikos

Das Kollisionsrisiko für das Szenario "Kollision von manövrierfähigen Schiffen mit Installationen des Windparks" ergibt sich für jeden betrachteten Routenabschnitt k aus der Kombination von Kollisionshäufigkeiten und Kollisionskonsequenzen.

$$R_{\text{Öl},k} = n_{\text{collpowk}} \cdot \bar{M}_{\text{Ölpowk}} \quad \text{für jeden Routenabschnitt k} \quad (\text{A-7})$$

A.3 Verfahren zur Berechnung von Risiken für die Kollisionen manövrierunfähiger Schiffe mit Installationen des Windparks

In den internationalen Kollisionsverhütungsregeln /A-8/ (KVR 1972, Teil A, Regel 3) wird ein manövrierunfähiges Schiff wie folgt definiert:

"Der Ausdruck "manövrierunfähiges Fahrzeug" bezeichnet ein Fahrzeug, das wegen außergewöhnlicher Umstände nicht so manövrieren kann, wie es die Regeln vorschreiben, und daher einem anderen Fahrzeug nicht ausweichen kann."

Manövrierunfähige Schiffe müssen ihre Manövrierunfähigkeit durch Setzen entsprechender Signalkörper bzw Lichter (KVR 1972, Teil C, Regel 27) deutlich machen.

" Ein manövrierunfähiges Schiff muss führen:

- (i) zwei rote Rundumlichter senkrecht übereinander dort, wo sie am besten gesehen werden können;
- (ii) zwei Bälle oder ähnliche Signalkörper senkrecht übereinander dort, wo sie am besten gesehen werden können;
- (iii) bei Fahrt durch Wasser zusätzlich zu den unter diesem Buchstaben vorgeschriebenen Lichtern Seitenlichter und ein Hecklicht."

Zusätzlich müssen manövrierunfähige Schiffe im Falle verminderter Sicht alle 2 min die Signaltöne - lang, kurz, kurz - (KVR 1972, Teil D, Regel 35) geben.

Eine häufige Ursache für Manövrierunfähigkeit sind Ausfälle der Antriebs- oder Ruderanlage. Solche Ausfälle bewirken, dass Schiffe aufgrund von Seegangs-, Wind- und Strömungskräften anfangen zu driften. Die Driftrichtung und Driftgeschwindigkeit hängt jeweils von der Größe der am Schiff angreifenden Kräfte ab. In Abhängigkeit vom Ort, an dem ein Schiff manövrierunfähig wird, müssen bestimmte Kombinationen von Wind-, Strömungs- und Seegangskräften vorhanden sein, so dass das Schiff in Richtung Windpark treibt. Zusätzliche Einflussgrößen für die Driftbewegung sind Schiffstyp und Schiffsgröße.

Bevor es zu einer Kollision mit Installationen des Windparks kommt, besteht die Möglichkeit einer Notankerung, einer erfolgreichen Reparatur und somit die Wiedererlangung der Manövrierfähigkeit, oder die Bergung durch andere Fahrzeuge. Die zur Verfügung stehende Zeit ist vom Havarieort, den Wetter-/Stömungsbedingungen und dem Abstand zum Windpark abhängig.

A.3.1 Berechnung der Kollisionshäufigkeit

Die Kollisionshäufigkeit von manövrierunfähigen Schiffen wird je Routenabschnitt aus der Kombination der Wahrscheinlichkeit der Manövrierunfähigkeit, der Kollisionswahrscheinlichkeit durch entsprechende



Driftbewegungen, der Versagenswahrscheinlichkeit der kollisionsverhindernden Maßnahmen und der Anzahl der Schiffe auf dem Routenabschnitt bestimmt. Eine Erläuterung der Berechnung der einzelnen Wahrscheinlichkeiten wird in diesem Abschnitt vorgenommen.

Als Grundannahme für die Manövrierunfähigkeit wird die Ausfallrate des Propulsionssystems (Antriebs- und Rudersystem) verwendet. Entsprechend der Harmonisierung der Grundannahmen für Kollisionsrisikoanalysen /A-6/ wird für diese Ausfallrate ein Wert von $2,5 \cdot 10^{-4}$ pro Stunde angesetzt. Dies entspricht einem durchschnittlichen statistischen Ausfallintervall von 4.000 Stunden.

Die Kollisionswahrscheinlichkeit aufgrund der Driftbewegung wird berechnet, indem alle Kombinationen aus den genannten Einflussgrößen herausgefiltert, die zu einer Kollision führen. Dies wird mit Hilfe einer Monte-Carlo Simulation durchgeführt. Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens ist in /A-9/ gegeben.

Bei der angewendeten Monte-Carlo Simulation /A-9/ wird die Wahrscheinlichkeit der Kollision von Schiffen mit Installationen des Windparks ermittelt, in dem mögliche Driftvorgänge von manövrierunfähigen Schiffen rechnerisch simuliert werden. Hierzu werden eine Vielzahl von Simulationsläufen durchgeführt, bei denen für jeden Simulationslauf die den Driftvorgang bestimmenden Einflussfaktoren als Startbedingungen vorgegeben werden. Als Ergebnis eines Simulationslaufes ergibt sich, ob ein Schiff unter den angenommenen Startbedingungen in Richtung einer Anlage driftet oder nicht und eine Kollisionsgefahr besteht. Es wird eine Vielzahl von Simulationsläufen durchgeführt, wobei die Startbedingungen für jeden Simulationslauf neu generiert werden.

Die Kollisionswahrscheinlichkeit ergibt sich aus dem Quotienten der Anzahl von Simulationsläufen mit Kollision und der Gesamtzahl an durchgeführten Simulationsläufen. Bei der Ermittlung der Kollisionswahrscheinlichkeit werden zunächst risikomindernde Maßnahmen nicht miteinbezogen. Diese werden in einem späteren Schritt bei der Berechnung der Kollisionshäufigkeit berücksichtigt. In Abbildung A-4 ist der Ablauf der Monte-Carlo Simulation grafisch dargestellt. Die einzelnen Schritte der Simulation werden im Folgenden erläutert.

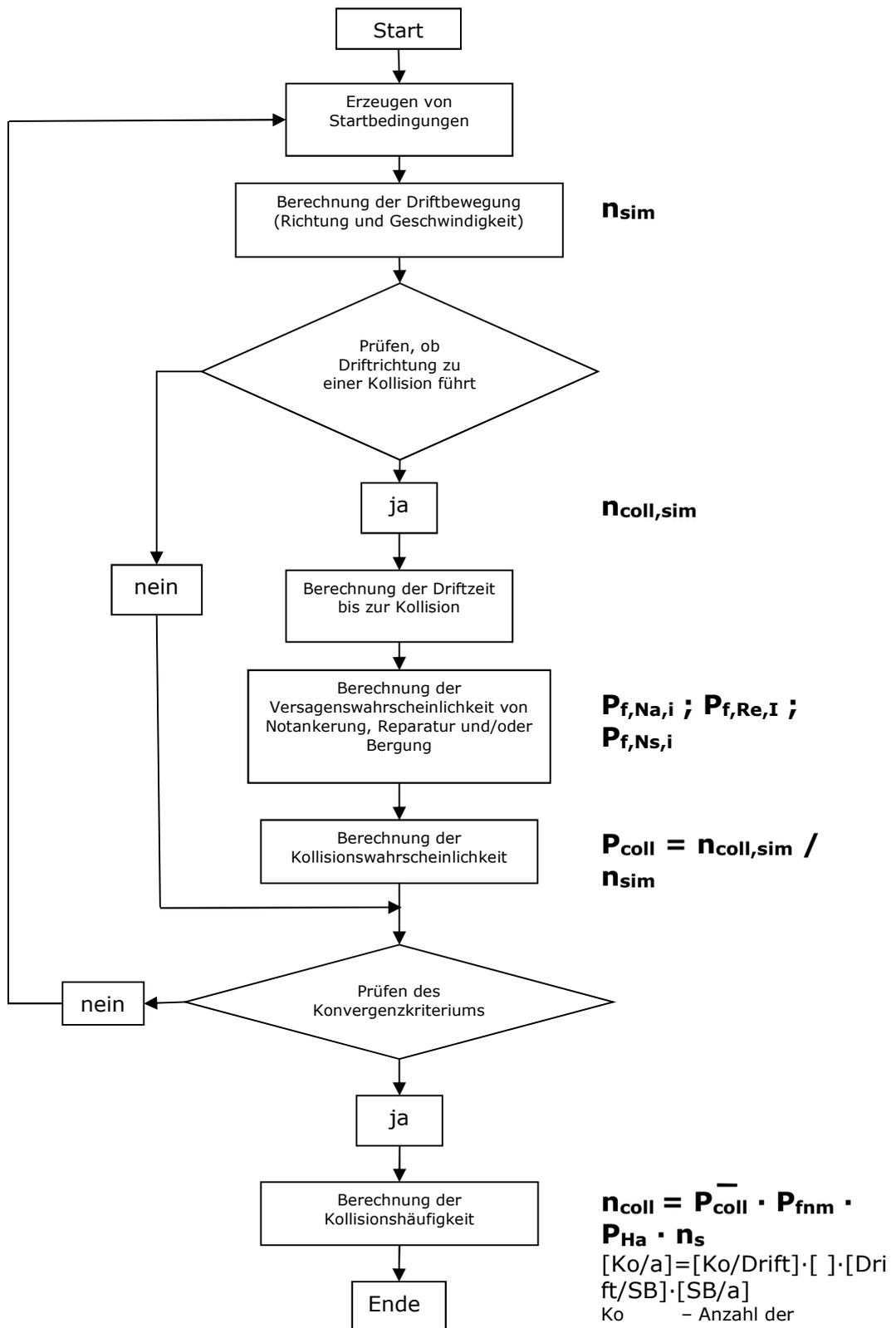


Abbildung A-4: Schematische Darstellung des Ablaufs der Monte-Carlo Simulation

- *Generierung von zufälligen Startbedingungen*

In einer Monte-Carlo Simulation werden Zufallsvariablen betrachtet, die durch Verteilungsfunktionen beschrieben werden. Im Gegensatz zu deterministischen Variablen, denen jeweils ein bestimmter Wert zugewiesen wird, können Zufallsvariablen ein ganzes Spektrum von Werten annehmen, denen jeweils eine Auftretenswahrscheinlichkeit oder Auftretenshäufigkeit zugeordnet wird.

Eine typische Zufallsvariable ist z.B. die Windrichtung. Einer deterministischen Variablen kann nur ein Wert zugewiesen werden, z.B. Windrichtung Ost (90°). Bei einer Zufallsvariable werden alle Windrichtungen mit ihrer entsprechenden Auftretenswahrscheinlichkeit beschrieben. Sie umfasst somit das gesamte Spektrum möglicher Werte, z.B. die Windrichtungen 0-360°.

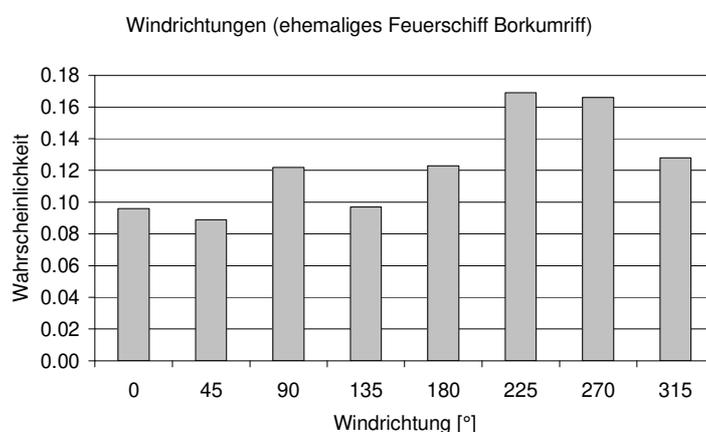


Abbildung A-5: Beispiel einer Zufallsvariable (Windrichtung)

Im Falle der Kollisionsberechnungen von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen des Windparks werden die folgenden Zufallsvariablen betrachtet.

- schiffsbezogen
 - Schiffstyp
 - Schiffsgröße
- routenbezogen
 - Ort, an dem das Schiff manövrierunfähig wird
- umweltbezogen
 - Wind (Geschwindigkeit und Richtung)
 - Strömung (Geschwindigkeit und Richtung sind zeitenabhängig)
 - Seegang (Wellenrichtung, Wellenhöhe)
 - Wassertiefe, (Gezeiten)

In einer Monte-Carlo Simulation werden eine Reihe von Simulationsläufen durchgeführt. In jedem Simulationslauf wird der Prozess deterministisch untersucht. Das bedeutet, dass jeder Simulationslauf mit deterministischen Variablen durchgeführt werden muss. Im Falle der Kollision von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen des Windparks bedeutet dies, dass ein Simulationslauf mit genau einem Schiff einer bestimmten Größe, eines bestimmten Typs, bei einer definierten Windrichtung und Windstärke, etc. durchgeführt wird. Die Problematik besteht nun darin, aus den

Zufallsvariablen (den Verteilungen) Werte (z.B. eine Windrichtung) zu finden, mit denen die einzelnen Simulationsläufe durchzuführen sind. Hinzu kommt, dass die deterministischen Variablen so ausgewählt werden sollen, dass sie in ihrer Gesamtheit (alle Simulationsläufe zusammen betrachtet) den Häufigkeiten ihres Auftretens entsprechen. Das bedeutet, dass Windrichtungen, die in der Realität häufiger vorkommen auch häufiger in den Simulationsläufen verwendet werden sollen. Für den einzelnen Simulationslauf ist die Auswahl der Startbedingungen zufällig. In der Gesamtheit aller Simulationsläufe entsprechen sie den real existierenden Verteilungen.

Diese Forderung an das Berechnungsverfahren wird umgesetzt, indem Zufallszahlen gebildet werden, die an die Verteilungsfunktionen der Zufallsvariablen angepasst werden. Zufallsgeneratoren können im Allgemeinen nur gleichverteilte Zufallszahlen zwischen 0 und 1 erzeugen. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit aller Zahlen in besagtem Intervall gleich groß ist. Die Anpassung der Verteilungsfunktionen der Zufallsvariablen erfolgt über eine mathematische Transformation.

Die Transformationsvorschrift lautet:

$$P_e[X] = P_e[Y] \quad (\text{A-8})$$

In Gleichung (A-8) ist $P_e[X]$ die Überschreitenswahrscheinlichkeit der gleichverteilten Zufallszahlen des Zufallsgenerators und $P_e[Y]$ die Überschreitenswahrscheinlichkeit der anzupassenden Zufallsvariablen (z.B. Windrichtung). In Abbildung A-6 ist der Algorithmus der Berechnung zufälliger Startbedingungen graphisch dargestellt. Es wird per Zufallsgenerator eine Zahl x erzeugt und der entsprechende Funktionswert $P_e(x)$ berechnet. Dann wird die Zahl y gesucht, bei der $P_e(y)$ gleich $P_e(x)$ ist.

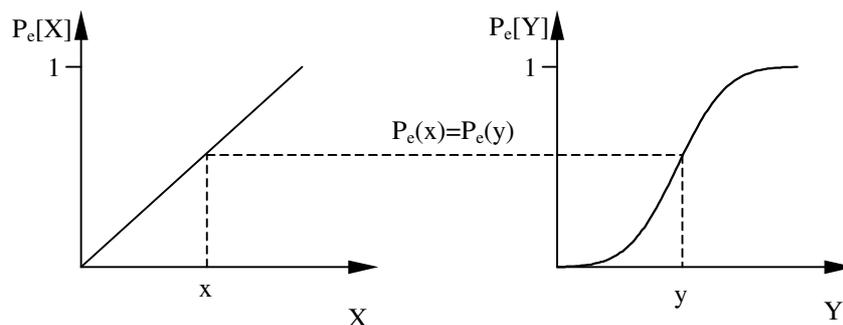


Abbildung A-6: Transformation gleichverteilter Zufallszahlen

Die Genauigkeit, mit der die einzelnen Einflussfaktoren von der Monte-Carlo Simulation abgebildet werden, steigt mit der Zahl der Simulationsläufe. In Abbildung A-7 wird dieses konvergierende Verhalten für eine jeweils unterschiedliche Anzahl von Simulationsläufen beispielhaft an der Verteilung der Windrichtungen gezeigt. In den einzelnen Bildern stellt die durchgezogene Kurve jeweils die Verteilung der original gemessenen Daten dar. Die gestrichelte Kurve zeigt die relative Häufigkeit der simulierten Windrichtungen an. Es ist deutlich zu erkennen, wie die gestrichelte Kurve der simulierten Windrichtungen sich mit wachsender Zahl von Simulationsversuchen der originalen Kurve anpasst.

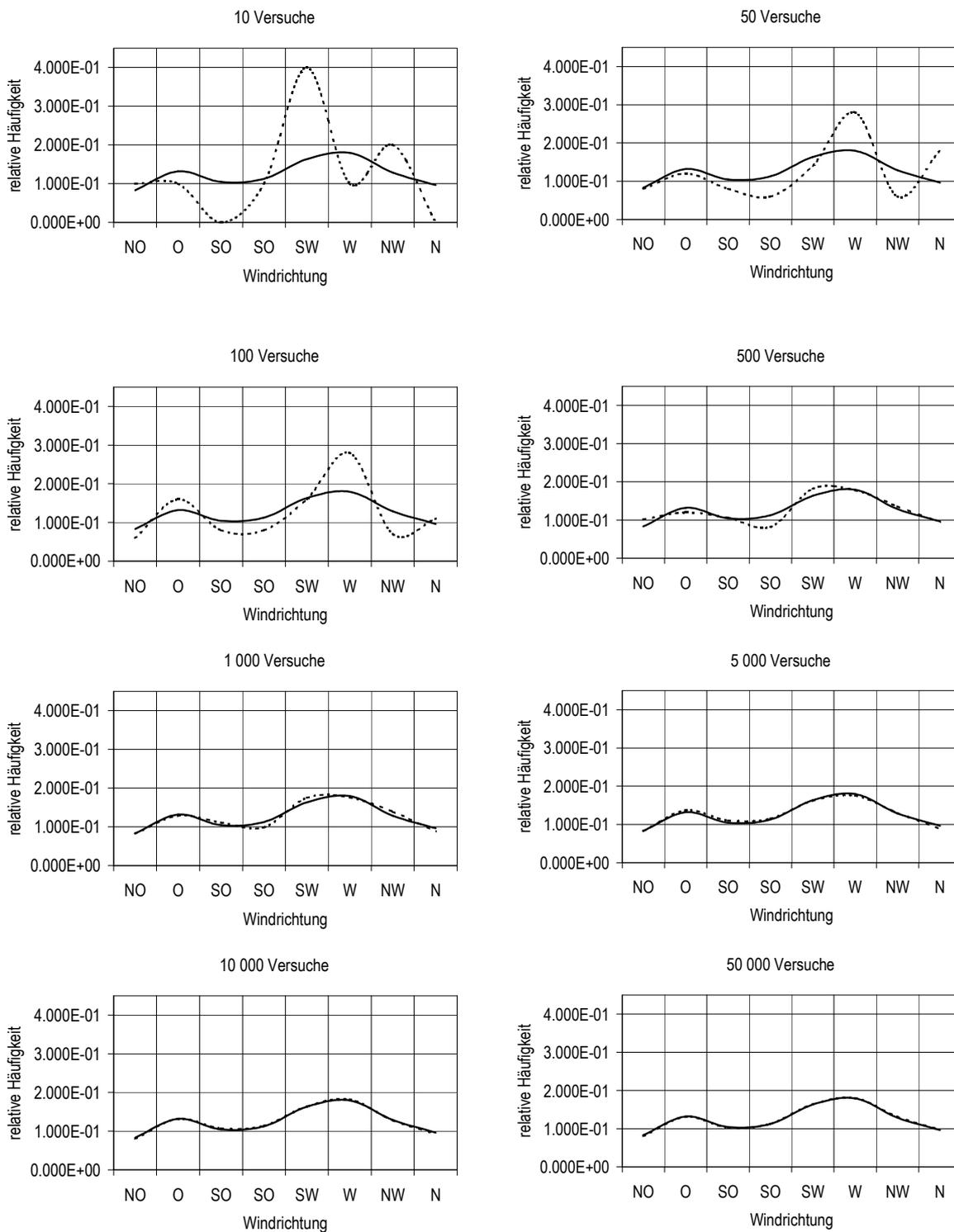


Abbildung A-7: Konvergenz der simulierten Windrichtungen mit steigender Zahl von Versuchen

Bildet man das Quadrat des Fehlerintegrals, also das Quadrat der Fläche zwischen den beiden Kurven, so kann man die Konvergenz erkennen. In Abbildung A-8 ist das Quadrat des Fehlerintegrals über die Zahl von Versuchen der Simulation dargestellt. Deutlich ist die Abnahme des Fehlerintegrals zu erkennen.

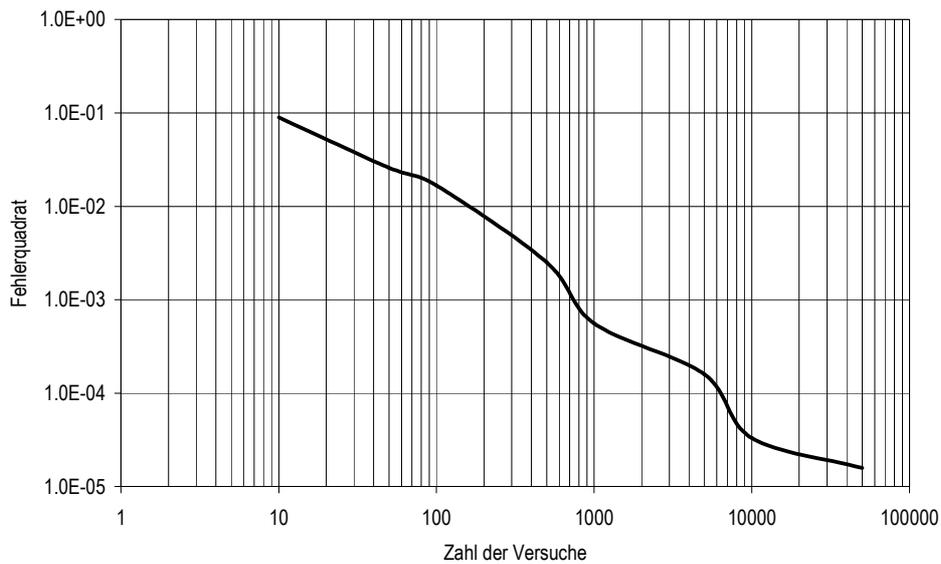


Abbildung A-8: Quantitative Beschreibung des Konvergenzverhaltens der berechneten Startbedingungen

Die Kombination der einzelnen deterministischen Variablen wird in den Berechnungen unabhängig vorgenommen. Das bedeutet, dass der für einen Simulationslauf ausgewählte Schiffstyp unabhängig davon ist, welche Windrichtung für den Simulationslauf ausgewählt wird. Am Ende der Auswahl der Startbedingungen liegen für einen Simulationslauf ein Satz Startbedingungen (ein Schiffstyp, eine Schiffsgröße, eine Windrichtung, eine Windgeschwindigkeit, Ort der Havarie, etc.) vor, mit dem die Driftbewegung des Schiffes berechnet werden kann.

- *Berechnung der Driftbewegung*

Für jeden Simulationslauf muss für die gewählten Startbedingungen die Berechnung der Driftbewegung erfolgen, um festzustellen, ob das Schiff in Richtung des Windparks driftet oder nicht. Diese Driftbewegung wird 24 Stunden lang für jede Stunde neu berechnet. So können die Einflüsse der Tidenströmungen, die abhängig von der Position des Havaristen und dem Tidenprogress sind, mit in die Driftbewegung einfließen.

Die Driftbewegung eines Schiffes ergibt sich allgemein aus dem Gleichgewicht der auf das Schiff wirkenden Wind-, Wellen- und Strömungskräfte. Um die Driftbewegung des Havaristen berechnen zu können, müssen die jeweils wirkenden Kraftkomponenten berechnet werden. Für die einzelnen Kraftkomponenten wurden die folgenden Berechnungsformeln /A-11/ angewendet:

- Windkräfte

Die auf das manövrierunfähige Schiff wirkenden Windkräfte werden mit Gleichung (A-9) berechnet.

$$\vec{F}_{Wi,90} = c_{d,Wi,90} \frac{\rho_{Air}}{2} \cdot (\vec{v}_{Wi} + \vec{v}_S)^2 \cdot A_{l,Wi} \quad (A-9)$$

In Gleichung (A-9) ist $c_{d,Wi,90} = 0.855$ - der Widerstandsbeiwert des Überwasserschiffes, $\rho_{Air} = 1.3 \text{ kg/m}^3$ - die Dichte von Luft, v_{Wi} - die Windgeschwindigkeit, $A_{l,Wi}$ - die Lateralfäche des Überwasserschiffes und v_S - die Geschwindigkeit des Schiffes über Grund. Die Lateralfäche $A_{l,Wi}$ des Überwasserschiffes ergibt sich aus der Länge multipliziert mit dem Freibord des Schiffes. Dazu wird die Fläche addiert, die sich aus dem Produkt der Länge und Höhe der Decksaufbauten ergibt. Die laterale Fläche der Decksaufbauten schließt bei Frachtschiffen die Flächen der möglichen Ladung ein, dies gilt insbesondere für Containerschiffe.

- Wellendriftkräfte

Die resultierende Wellendriftkraft wird mit Gleichung (A-10) berechnet.

$$\vec{F}_{We,90} = c_{d,We,90} \frac{\rho_W}{2} \cdot g \cdot \nabla^{1/3} \cdot \xi_a^2 \quad (A-10)$$

In Gleichung (A-10) ist $c_{d,We,90} = 0.5$ - der Beiwert der Wellendriftkraft, $\rho_W = 1024 \text{ kg/m}^3$ - die Dichte von Seewasser, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ - die Erdbeschleunigung, ∇ - die Verdrängung des Havaristen und ξ_a - die signifikante Wellenamplitude ($H_s/2$).

- Strömungskräfte

Die resultierende Strömungskraft wird mit Gleichung (A-11) berechnet.

$$\vec{F}_{St,90} = c_{d,St,90} \cdot \frac{\rho_w}{2} \cdot (\vec{v}_S + \vec{v}_{T,Wd})^2 \cdot A_{l,St} \quad (A-11)$$

In Gleichung (A-11) ist $c_{d,St,90} = 0.6$ - der Beiwert der Strömungskraft, \vec{v}_S - die Geschwindigkeit des Schiffes über Grund, $\vec{v}_{T,Wd}$ - die Geschwindigkeit der Strömung von Gezeiten und Winddrift und $A_{l,St}$ - die Lateralfläche des Unterwasserschiffes. Die Lateralfläche des Unterwasserschiffes ergibt sich aus dem Produkt der Schiffslänge zwischen den Loten und dem Schiffstiefgang.

Unter der Annahme, dass bei konstanter Driftbewegung alle am Schiff angreifenden Kräfte im Gleichgewicht stehen, ergibt sich die Driftgeschwindigkeit (Fahrt des Schiffes über Grund) als Lösung von Gleichung (A-12).

$$\vec{0} = \vec{F}_{Wi,90} + \vec{F}_{We,90} + \vec{F}_{St,90} \quad (A-12)$$

Die Driftrichtung ergibt sich aus der komponentenweisen Betrachtung der Vektorgleichung (A-12).

Vergleichsberechnungen mit realen Driftbewegungen von manövrierfähigen Schiffen haben gezeigt, dass unter Einbeziehung der Windkräfte und der Kräfte aus Wind- und Tidenströmung eine realistische Driftbewegung berechnet werden kann. Somit bleibt die Wellenkraft für die Berechnung der Driftbewegung unberücksichtigt. Unabhängig davon wird diese Kraftkomponente bei der Ermittlung der erforderlichen Schleppleistung eines Notschleppers berücksichtigt.

- *Prüfen ob Driftrichtung zu einer Kollision führt*

Im nächsten Schritt des Berechnungsverfahrens wird geprüft, ob die Driftbewegung des Havaristen zu einer Kollision zwischen Schiff und WEA bzw. UW führen kann. Hierfür wird die Fläche (Driftkorridor) berechnet, über die das Schiff manövrierunfähig driftet, siehe Abbildung A-9. Liegen WEA oder UW des Windparks innerhalb dieses Korridors, so ist das Schiff kollisionsgefährdet.

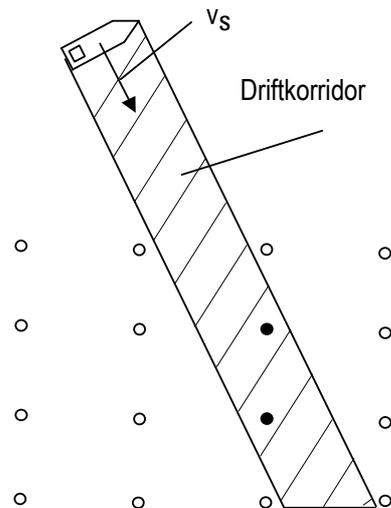


Abbildung A-9: Driftkorridor eines manövrierunfähigen Schiffes (nicht maßstäblich)

- *Berechnung der Driftzeit bis zur Kollision*

Liegen im Driftkorridor Installationen des Windparks, so kann aus der Driftgeschwindigkeit v_s und der Distanz d (Strecke zwischen der Position an der die Drift des Schiffes begann und der dichtesten WEA im Driftkorridor) die Driftzeit t_d bis zur Kollision berechnet werden.

$$t_d = \frac{d}{v_s} \quad (\text{A-13})$$

- *Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit von Notankerung, Reparatur und/oder Bergung*

In der Simulation werden drei Arten von kollisionsverhindernden Maßnahmen berücksichtigt, die von jeder Schiffsführung eingeleitet werden können, deren Schiff manövrierunfähig geworden ist. Diese Maßnahmen sind Notankerung, Reparatur und Bergung.

Hierfür wird bei jedem Simulationslauf die Wahrscheinlichkeit ermittelt, die den Erfolg oder Misserfolg dieser risikomindernden Maßnahmen ausdrücken.

- Notankerung

Eine Möglichkeit, die Drift des manövrierunfähigen Schiffes aufzuhalten oder zu verlangsamen, ist die Notankerung. Dabei werden einer oder beide Anker geworfen und es wird versucht, das Schiff aufzustoppen. Gelingt die Notankerung, so besteht für das Schiff keine weitere Kollisionsgefahr.

Um die mögliche risikoreduzierende Wirkung einer Notankerung in die Berechnung einfließen zu lassen, wird eine Funktion (Abbildung A-10) eingeführt, welche die Versagenswahrscheinlichkeit von

Notankermanövern in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit beschreibt. Diese Funktion entspricht den harmonisierten Grundannahmen /A-6/.

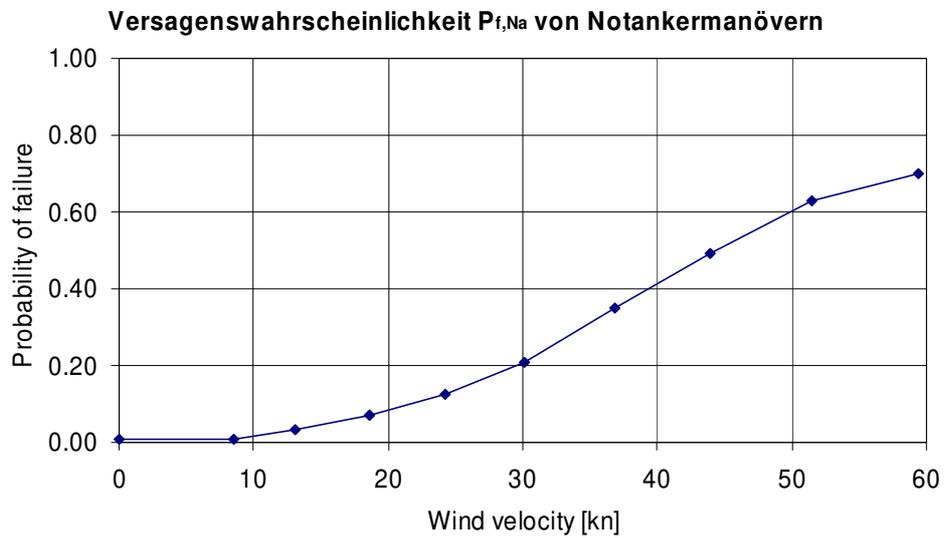


Abbildung A-10: Risikomindernde Wirkung von Notankerung

- Reparaturmaßnahmen

Manövrierfähigkeit ist immer mit dem Ausfall der Antriebs- und/oder der Ruderanlage verbunden. Somit besteht in den meisten Fällen auch die Möglichkeit einer Reparatur der ausgefallenen Anlage und somit der Wiedererlangung der Manövrierfähigkeit. Kritisch für die Wiederherstellung der Manövrierfähigkeit ist daher die dafür zur Verfügung stehende Zeit. Die Versagenswahrscheinlichkeit von Reparaturmaßnahmen wird deshalb als zeitabhängige Funktion in der Simulation berücksichtigt (Abbildung A-11). Diese Funktion entspricht den harmonisierten Grundannahmen /A-6/ und wurde von MARIN aus der Datenbank über manövrierunfähige Schiffe der niederländischen Coastguard aus den Jahren 2002 und 2003 abgeleitet (siehe /A-10/). Die Datenbank ermöglicht aufgrund der enthaltenen Informationen die Ableitung des Zusammenhangs zwischen Ausfall des Antriebs- und Rudersystems und der Dauer der Manövrierunfähigkeit.

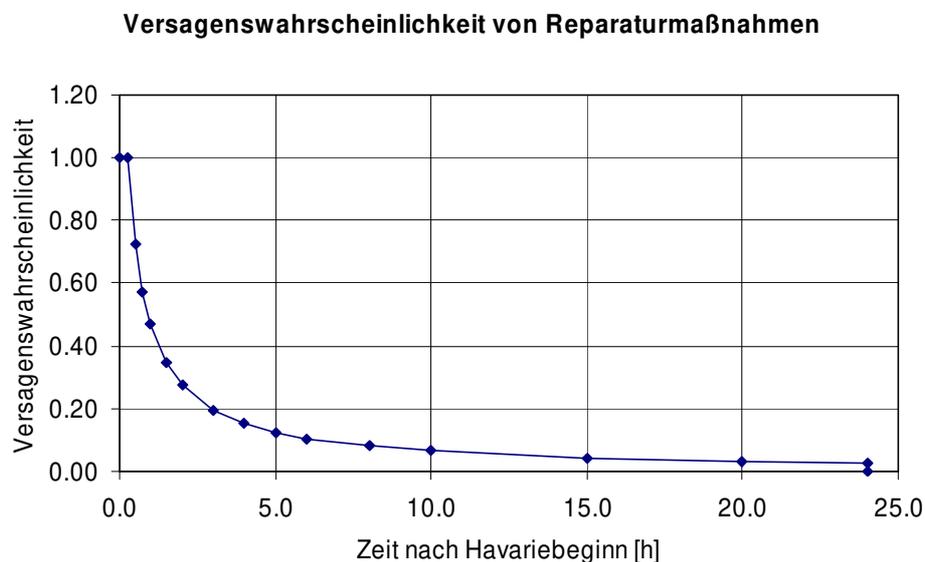


Abbildung A-11: Berücksichtigung von Reparaturmaßnahmen in der Monte-Carlo Simulation

- Bergung mit Schlepperunterstützung

Der Einsatz von Bergungsschleppern ist eine weitere Möglichkeit, die drohende Kollision eines manövrierunfähigen Schiffes mit WEA oder der UW abzuwenden. Es wird eine zeitabhängige Funktion der Versagenswahrscheinlichkeit (Abbildung A-12) eingeführt. Die einzelnen Zeitabschnitte müssen entsprechend der Position des Windparks sowie des Havaristen und der Kapazitäten von verfügbaren Bergungsschleppern angepasst werden. In Abbildung A-12 ist daher der Verlauf der Funktion nur schematisch dargestellt.

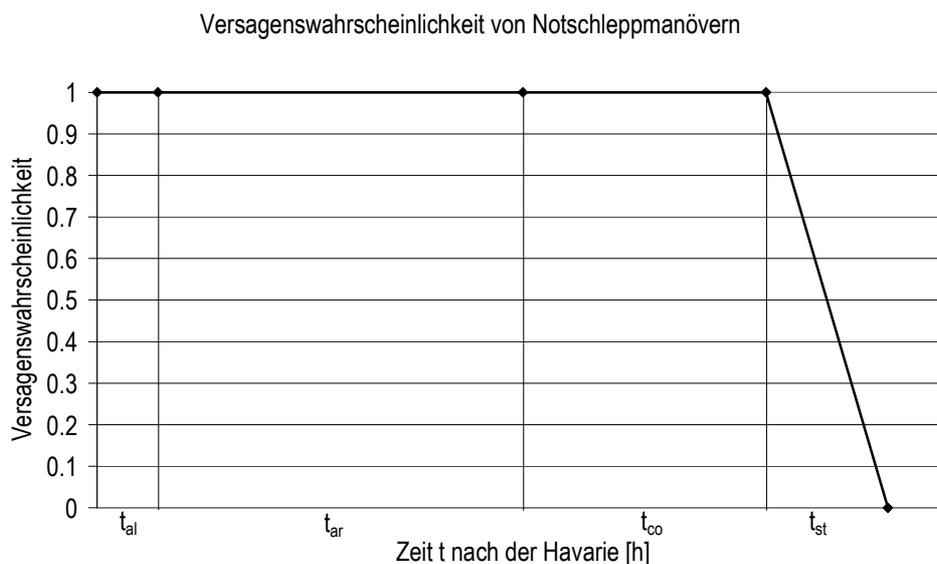


Abbildung A-12: Berücksichtigung von Bergungseinsätzen in der Monte-Carlo Simulation

Die Zeit, die für eine erfolgreiche Bergung benötigt wird, lässt sich durch die in der Abbildung A-12 schematisch dargestellten Faktoren t_{al} , t_{ar} , t_{co} und t_{st} beschreiben. Wird diese Zeit überschritten, kommt es auf jeden Fall zu einem Versagen des Bergungsmanövers. Ansonsten sinkt die Versagenswahrscheinlichkeit erst im Laufe der Zeitperiode für die Stabilisierung und Anschleppens des manövrierunfähigen Schiffes langsam auf Null ab. D.h., sollte keine ausreichende Zeit für die Stabilisierung und das Anschleppen verbleiben, kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass es trotz Leinenverbindung zwischen Schlepper und driftendem Schiff zu einer Kollision mit einer Windenergieanlage kommen kann. Das Notschleppmanöver gilt als gescheitert, wenn es innerhalb der Summe der hier aufgezeigten Teilzeiten (Alarmierung, Anfahrt, Leinenverbindung und Stabilisieren) zu einer Kollision zwischen Drifter und WEA kommt bzw. wenn das manövrierunfähige Schiff bei Windstärken größer 4 Bft in einen Windpark driftet. Die Bergung gilt als erfolgreich, wenn der Schlepper den Havaristen mit Ablauf der Zeit für die Stabilisierung angeschleppt hat und es bis dahin zu keiner Kollision gekommen ist bzw. das Schiff bei Windstärken größer 4 Bft nicht in einen Windpark gedriftet ist.



Entsprechend den harmonisierten Annahmen von 2005 /A-14/ berücksichtigt das Rechenmodell des GL eine detaillierte Modellierung der Bergung durch Notschlepper mit Berücksichtigung der zeitlichen Abläufe sowie der Schleppkapazitäten. Eine Begrenzung der Notschleppeinsätze auf Windbedingungen kleiner 8 Bft wird nicht vorgenommen.

t_{al} - Zeit für die Alarmierung und Aktivierung

Die Zeit t_{al} umfasst den Zeitraum von der Havarie bis zum Auslaufen des Bergungsschleppers von seinem Stationierungsort. Diese Zeitspanne enthält die Zeit zur Feststellung der Havarie bzw. die Zeit bis zur Entscheidung, ob Bergungsschlepper eingesetzt werden sollen und die Mobilisierung der Schlepper und deren Besatzung. Es wird angenommen, dass diese Zeitspanne für die Notschlepper, die im Rahmen des staatlichen Notschleppkonzeptes vorgehalten werden, nahezu identische Alarmierungs- und Aktivierungszeiten angesetzt werden können. Im Mittel kann von einer konservativen Zeit für die Alarmierung von 0,5 h ausgegangen werden, da die Erkennung über AIS und Radar innerhalb weniger Minuten möglich ist.

t_{ar} - Zeit für den Anfahrtsweg

Nach dem Auslaufen benötigen die Schlepper eine gewisse Zeit, um bis zum Havaristen zu fahren. Diese Zeitspanne ist von der Distanz zum Havaristen und von der möglichen Geschwindigkeit des Schleppers abhängig. Zusätzlich haben auch die herrschenden Witterungsbedingungen wie Wind, Strömung und Seegang Einfluss auf die Geschwindigkeit des Schleppers. Die Zeitspanne für den Anfahrtsweg des Schleppers ist daher variabel. Pessimistisch kann die maximale Vorausgeschwindigkeit bei 9 Bft Gegenwind und 5 m Wellenhöhe angenommen werden, die etwa 14 kn beträgt.

t_{co} - Zeit zum Herstellen der Leinenverbindung zwischen Havarist und Schlepper

Ist der Schlepper beim Havaristen eingetroffen, so wird eine gewisse Zeit benötigt, um eine Schleppverbindung mit dem Havaristen herzustellen. Die benötigte Zeit schwankt zwischen 0.5 h unter normalen Bedingungen und evtl. mehreren Stunden bei schwerer See. Sie ist sowohl von der Ausrüstung des Schleppers (Leinenschussgeräte etc.) und des Havaristen (Notschleppgeschirre), von den Witterungsbedingungen (Seegang, Wind) als auch von Erfahrungen bzw. Fähigkeiten der Besatzungen an Bord beider Schiffe abhängig. In den Berechnungen wird diese Zeitspanne pessimistisch mit 1.0 h bei Windgeschwindigkeiten bis 8 Bft angenommen. Bei Windverhältnissen ab 8 Bft wird eine längere Zeitspanne für die Leinenverbindung von 3.5 h angenommen.

t_{st} - Zeit bis zur Stabilisierung der Lage des Havaristen

Nachdem eine Schleppverbindung hergestellt wurde, kann damit begonnen werden, die Driftgeschwindigkeit des Havaristen zu verringern und ihn aus der Gefahrenzone zu schleppen. Die Zeit, die dafür benötigt wird, hängt wiederum von einer Reihe von Faktoren ab. Zunächst ist sie von der Leistung der Schlepper und von den vorhandenen Umweltbedingungen abhängig. Aber auch die Erfahrungen der Besatzung und die angewendete Schleppstrategie beeinflussen diesen Zeitraum. In

Moore et al. /A-12/ wird eine mittlere Zeit von 15 min für Tanker bei 30 Kn Windgeschwindigkeit angegeben. Bei Schleppsimulationen am "Institut für Schiffsbetrieb, Seeverkehr und Simulation" (ISSUS) zeigte sich, dass diese Zeiträume auch bis zu einer Stunde lang sein können. Daher wird dieser Zeitraum t_{st} mit 0.5 h angenommen. Im Zeitraum t_{st} sinkt die Versagenswahrscheinlichkeit linear auf Null herab. Bei Windverhältnissen ab 8 Bft wird eine längere Zeitspanne bis zur Stabilisierung der Lage des Havaristen (Aufstoppen der Drift) von 1.0 h angenommen.

- Berechnung der notwendigen Schleppkraft

Eine Voraussetzung für den Schlepper ist eine ausreichende Schleppleistung, so dass der Schlepper die Drift des Havaristen vor Erreichen des Windparks aufstoppen kann. Insofern muss geprüft werden, ob die zur Verfügung stehenden Schlepper in der Lage sind, bei den gegebenen Umweltbedingungen, Größe und Typ des Havaristen etc., den Havaristen zu bergen.

Wie schon bei der Berechnung der Driftgeschwindigkeit, benötigt man zur Ermittlung der notwendigen Schleppleistung die auf den Havaristen wirkenden Kräfte. Erfahrungswerte und Simulationen (siehe /A-13/) zeigten, dass sich in den meisten Fällen eine stabile Lage des Havaristen zum Schleppen bei etwa $150 - 160^\circ$ zur Driftrichtung ergibt, siehe Abbildung A-13.

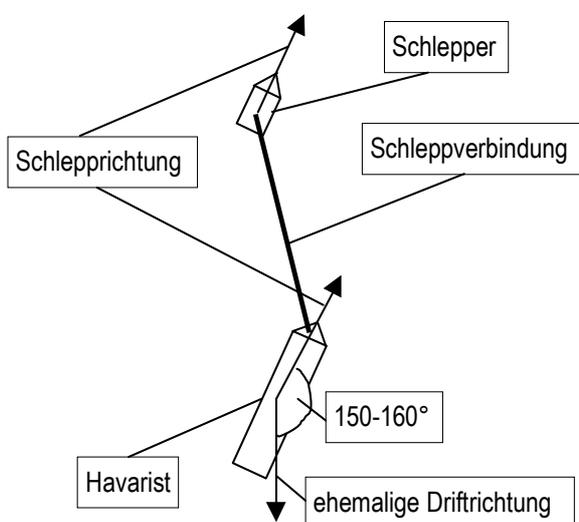


Abbildung A-13: Annahme zur Lage von Havarist und Schlepper bei Schleppmanövern

In der Realität ist der Schleppvorgang natürlich ein sehr dynamischer Vorgang. Das bedeutet, dass sich die Lage zwischen Schlepper und Havaristen ständig verändert. Aus der jeweiligen Lage des Havaristen zu den wirkenden Kraftkomponenten (Wind, Wellen und Strömung) verändern sich die Angriffsflächen der jeweiligen Kraftkomponenten.

Nur wenn die Pfahlzugleistung des Schleppers größer als der erforderliche Pfahlzug \bar{F}_p ist, wird die Wahrscheinlichkeitsfunktion, Abbildung A-12, angewendet. Ansonsten wird der Schlepper als wirkungslos betrachtet. Als wirkende Kraft wird in den Berechnungen eine Trossenzugkraft der Schlepper in Höhe von 60% der angegebenen Pfahlzugkraft angenommen.

- *Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit*

Ist ein Simulationslauf abgeschlossen, so kann die Kollisionswahrscheinlichkeit pro Schiff P_{coll} berechnet werden. Diese ergibt sich aus der Zahl der durchgeführten Simulationsläufe mit erfolgter Kollision $n_{coll,sim}$ und der Gesamtzahl an durchgeführten Simulationsläufen n_{sim} entsprechend Gleichung (A-14).

$$P_{coll} = \frac{n_{coll,sim}}{n_{sim}} \quad (A-14)$$

- *Prüfen des Konvergenzkriteriums*

Als Konvergenzkriterium der Monte-Carlo Simulation wird der Standard Fehler des Mittelwertes SEM ("Standard Error of the Mean Statistic") verwendet. Diese statistische Größe, Gleichung (A-15), wird aus der Standardabweichung der Kollisionswahrscheinlichkeit und der Anzahl der Simulationsläufe berechnet.

$$SEM = \frac{\sigma_{P_{coll}}}{\sqrt{n}} \quad (A-15)$$

Ein gängiges Maß für die Konvergenz der Simulation ist wenn der SEM Wert kleiner als 1% des Mittelwertes der Kollisionswahrscheinlichkeit P_{coll} ist. In den Berechnungen des GL wird ein genaueres Konvergenzkriterium 0.01 % des Mittelwertes angewendet.

Daraus ergibt sich als Konvergenzkriterium der Simulation:

$$\frac{\sigma_{P_{coll}}}{\sqrt{n}} < 0.0001 \cdot \bar{P}_{coll} \quad (A-16)$$

In Gleichung (A-16) ist $\sigma_{P_{coll}}$ die Standardabweichung der Kollisionswahrscheinlichkeit, \bar{P}_{coll} der Mittelwert der Kollisionswahrscheinlichkeit und n die Anzahl der Simulationsläufe. Das Konvergenzverhalten der Monte-Carlo Simulation ist in Abbildung A-14 dargestellt. Die beiden Kurven stellen jeweils eine Seite der Ungleichung (A-16) dar. Deutlich ist die Annäherung der Kurven mit zunehmender Anzahl von Simulationsläufen zu erkennen. Am Schnittpunkt beider Kurven ist das Abbruchkriterium der Simulation erreicht und die Simulation wird beendet.

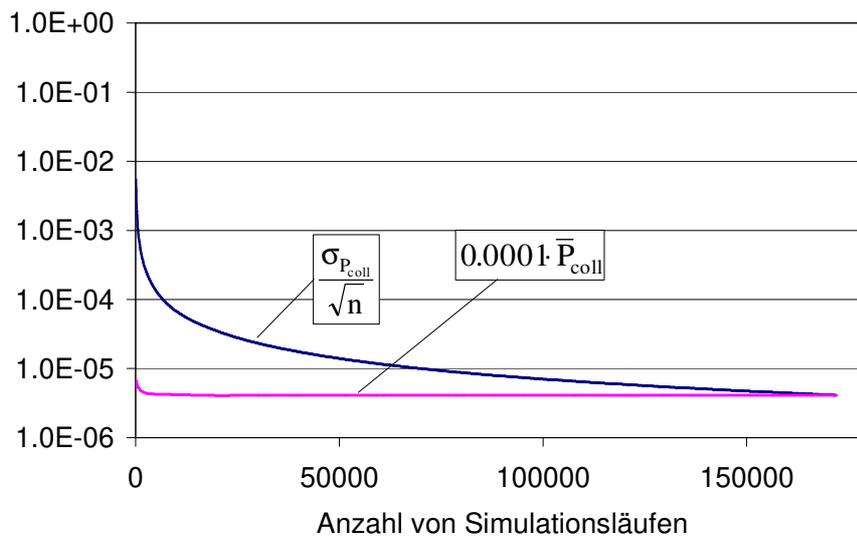


Abbildung A-14: Konvergenz der Kollisionswahrscheinlichkeit innerhalb der Monte-Carlo Simulation

- *Berechnung der Kollisionshäufigkeit*

Die Kollisionshäufigkeit von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen des Windparks wird mit Gleichung (A-17) berechnet.

$$n_{\text{coll}} = P_{\text{coll}} \cdot \bar{P}_{\text{fnn}} \cdot P_{\text{Ha}} \cdot n_{\text{S}} \quad (\text{A-17})$$

In Gleichung (A-17) ist \bar{P}_{fnn} die Versagenswahrscheinlichkeit von Notankerung, Selbstreparatur und Bergung, P_{Ha} - die Wahrscheinlichkeit der Havarie eines Schiffes auf dem betrachteten Routenabschnitt und n_{S} - die Anzahl der Schiffe auf dem Routenabschnitt.

Die Wirkung von Notankerung, Selbstreparatur und Bergung wird im Faktor \bar{P}_{fnn} für alle Simulationläufe zusammengefasst.

$$\bar{P}_{\text{fnn}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{coll,sim}}} (P_{\text{f,Na},i} \cdot P_{\text{f,Rej},i} \cdot P_{\text{f,Ns},i})}{n_{\text{coll,sim}}} \quad (\text{A-18})$$

Darin sind $P_{\text{f,Na},i}$, $P_{\text{f,Rej},i}$ und $P_{\text{f,Ns},i}$ - die Versagenswahrscheinlichkeiten der kollisionsverhindernden Maßnahmen unter der Bedingung, dass der Havarist auf das Objekt zu driftet.

$$P_{\text{Ha}} = \frac{l_k}{v_{\text{S}} \cdot t_{\text{f,PS}}} \quad (\text{A-19})$$

In Gleichung (A-19) ist l_k die Länge des betrachteten Routenabschnittes, $t_{f,ps}$ das Ausfallintervall des Propulsionssystems und v_s die Schiffsgeschwindigkeit nach Tabelle A-4.

Tabelle A-4: Tabelle der typspezifischen Schiffsgeschwindigkeiten

Schiffstyp	durchschnittliche Schiffsgeschwindigkeit v_s [Kn]
Stückgutschiffe	20.0
Containerschiffe	20.0*)
Ro-Ro Schiffe	20.0
Bulker	14.0
Fähren und Passagierschiffe	20.0
Öltanker	14.0
Gastanker	15.0
Chemikalien tanker	15.0
*) Die durchschnittliche Schiffsgeschwindigkeit für Containerschiffe wurde gegenüber den harmonisierten Annahmen konservativ mit einer Geschwindigkeit von 20.0 kn angenommen.	

A.3.2 Berechnung der Kollisionskonsequenzen

Im Falle der Kollision von manövrierunfähigen Schiffen ist mit deutlich kleineren Kollisionsenergien zu rechnen als im Falle der Kollision von manövrierfähigen Schiffen, da Driftgeschwindigkeiten deutlich kleiner sind als die Fahrtgeschwindigkeiten der Schiffe.

Im Falle eines driftenden Schiffes kann davon ausgegangen werden, dass das Schiff seitlich mit dem Turm der WEA in Kontakt kommt. Durch die geringe Auftreffgeschwindigkeit ist damit zu rechnen, dass der Turm am Fundament versagt und der Turm vom Schiff wegfällt. Dass die Gondel auf das Schiff fällt, ist bei diesem Szenario nicht zu erwarten.

Wie bereits erwähnt ist die Schiffstruktur in der Lage, begrenzt Kollisionsenergie zu absorbieren. Somit kann bei geringen Driftgeschwindigkeiten davon ausgegangen werden, dass die Schiffsaußenhaut sich verformt aber nicht aufreißt. Letztendlich kann bisher jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass es auch bei seitlichen Kollisionen zum Aufreißen der Schiffsaußenhaut kommt. Grundlage der Berechnungen zur Konsequenzanalyse (austretende Schadstoffmengen) ist ein Kollisionsgutachten, das eine Aussage über die kritische Schiffsgeschwindigkeit gibt, bei der mit einem Versagen der Schiffsstruktur zu rechnen ist. Als pessimistische Annahme wird in den Berechnungen davon ausgegangen, dass bei allen höheren Geschwindigkeiten als bei der ermittelten immer ein Versagen der Schiffshaut eintritt. Ein Kollaps der Windenergieanlage wird pessimistisch für jede Driftgeschwindigkeit angenommen.

Beim angenommenen Versagen der Schiffshaut wird in den Berechnungen sowohl von möglichen Schädigungen von Treibstoff- als auch von Ladetanks ausgegangen. Es werden zusätzlich Ölmengen berechnet, die im Falle einer Kollision durch umstürzende Windenergieanlagen freigesetzt werden. Bei Passagierschiffen wird wiederum angenommen, dass Brennstoff nur im Doppelboden und in Zwischentanks im Mitschiffsbereich gelagert wird. An diesen Positionen sind Schäden durch Kollisionen mit einer Windenergieanlage nicht zu erwarten und werden daher ausgeschlossen.

Die bei einer Kollision freigesetzte mittlere Ölmenge $\bar{M}_{\text{Öl},\text{dis}}$ wird für manövrierunfähigen Schiffen mit Gleichung (A-20) berechnet. An dieser Stelle wird ebenfalls vereinfachend auf die Darstellung des Zählers k für jeden betrachteten Routenabschnitt verzichtet.

$$\bar{M}_{\text{Öl},\text{dis}} = \sum_s \sum_t (P_{\text{SE},\text{Br}} \cdot M_{\text{Br},s,t} + P_{\text{SE},\text{La}} \cdot M_{\text{La},\text{dis},s,\text{Tanker}}) \cdot P_s \cdot P_t + \sum_l P_{\text{WEA},\text{Typ},l} \cdot M_{\text{Öl},l} \quad (\text{A-20})$$

In Gleichung (A-20) werden für die Berechnung der durch Kollisionen manövrierunfähigen Schiffe freigesetzten Ölmengen die selben Elemente wie in Gleichung (A-3) für Kollisionen manövrierfähiger Schiffe im Abschnitt A.2.2 verwendet. Ausnahme bildet die freigesetzte Ladeölmenge $M_{\text{La},\text{dis},s,\text{Tanker}}$ für einen Tanker der Größenklasse s .

Bei der Berechnung der Menge des austretenden Ladeöls wird bei einem angenommenen Aufreißen der Schiffshaut konservativ davon ausgegangen, dass der ganze Inhalt eines³ Ladetanks freigesetzt wird.

Die freigesetzte Ladeölmenge $M_{La,dis,s,Tanker}$ für einen manövrierunfähigen Tanker der Größenklasse s wird mit Gleichung (A-21) berechnet.

$$M_{La,dis,s,Tanker} = (a_k + b_k \cdot T + c_k \cdot T^2) \quad (A-21)$$

In Gleichung (A-21) sind a_k , b_k , c_k Koeffizienten, die statistisch aus den Klasseunterlagen von beim Germanischen Lloyd klassifizierten Tankern ermittelt wurden und T die Tonnage des betrachteten Schiffes (Tabelle A-3)

A.3.3 Berechnung des Kollisionsrisikos

Das Kollisionsrisiko für das Szenario "Kollision von manövrierfähigen Schiffen mit Installationen des Windparks" ergibt sich für jeden betrachteten Routenabschnitt k aus der Kombination von Kollisionshäufigkeiten und Kollisionskonsequenzen.

$$R_{\text{Öl},dis,k} = n_{\text{coll},dis,k} \cdot \bar{M}_{\text{Öl},dis,k} \quad \text{für jeden Routenabschnitt } k \quad (A-22)$$

³ Im Gegensatz zu den Annahmen bei der Kollision eines manövrierunfähigen Tankers wird bei einer Kollision eines manövrierfähigen Tankers aufgrund des eventuell auftretenden „Entlangschleifens“ von der Freisetzung des gesamten Ladeinhalts zweier Ladetanks ausgegangen.

A.4 Literatur zum Anhang A

- /A-1/ Fujii, Y., Yamanouchi, H., Mizuki, N.: "Some Factors Affecting the Frequency of Accidents in Marine Traffic". Section II – The Probability of Stranding and Section III – The Effect of Darkness on the Probability of Collision and Stranding, Journal of Navigation, Vol. 27, pp. 235-247, 1974.
- /A-2/ MacDuff, J.: "The Probability of Vessel Collision", Ocean Industry, September 1974.
- /A-3/ Pedersen, P. T.; „Collision and Grounding Mechanics“; Department of Ocean Engineering; Technical University of Lyngby; in WEMT 95, Denmark, 1995.
- /A-4/ ISES0 Project 7 and 8: Grounding and Collision: Basic Modelling Principles and Validation of Software for Prediction of Frequencies, 2000-05-30.
- /A-5/ Fujii, Y., Mizuki, N., "Design of VTS systems for water with bridges", Gluver & Olsen (eds) Ship Collision Analysis, Balkema ISBN 90 54 10 962 9, Rotterdam 1998.
- /A-6/ MARIN, DNV und Germanischer Lloyd: Harmonisierung der Grundannahmen für Kollisionsrisikoanalysen zwischen MARIN, DNV und GL; Hamburg, Dezember 2004.
- /A-7/ Dalhoff, P., J. Stein: Development of a Simplified Method for the Calculation of Consequences for the Windturbine / HV Station; SAFESHIP deliverable 7-1, confidential, Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH, Januar 2005.
- /A-8/ Verordnung zu den Internationalen Regeln von 1972 zur Verhütung von Zusammenstößen auf See vom 13. Juni 1977 (BGBl. I S. 813), zuletzt geändert durch die Verordnung seeverkehrsrechtlicher Vorschriften (Ausführungsverordnung zum Seerechtsübereinkommen), Kollisionsverhütungsregeln (KVR).
- /A-9/ VDI-Richtlinie 4008; Blatt 6; „Monte-Carlo-Simulation“; Beuth-Verlag; Berlin; 1999.
- /A-10/ Van der Tak, C.: Harmonization of assumptions; MARIN Memo, Netherlands, Dec. 2004.
- /A-11/ OCIMF; Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs; published by Oil Companies International Marine Forum; London.
- /A-12/ Moore, C. et al.; "An Application of Collision and Grounding Simulation to Regulatory Assessment"; Proceedings of the International Conference of Collision and Grounding of Ships; Copenhagen; 2001.
- /A-13/ Otto, S.; Östergaard, C.; "Berechnung notwendiger Trossenzüge für Notschleppeinsätze in Nord- und Ostsee"; intern; Germanischer Lloyd; Hamburg; 2001.
- /A-14/ BMVBW: Genehmigungrelevante Richtwerte für Offshore-Windparks - Bericht einer Arbeitsgruppe; Referat LS 23, Bonn, März 2005.



ABOUT DNV GL SE

Driven by our purpose of safeguarding life, property and the environment, DNV GL enables organizations to advance the safety and sustainability of their business. We provide classification and technical assurance along with software and independent expert advisory services to the maritime, oil and gas, and energy industries. We also provide certification services to customers across a wide range of industries. Operating in more than 100 countries, our 16,000 professionals are dedicated to helping our customers make the world safer, smarter and greener.

Anhang B

Qualitative Gefahrenanalyse

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 1 von 2
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: VKZ
Gerät: Radar, AIS, Funk, Kommunikation

Funktion: Seeraumbeobachtung, Kommunikation mit Schiffen und VKZ

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
1	Unerkannter Ausfall der Radaranlage des Windenergieparks	Radarüberwachung des Seeraumes außerhalb und innerhalb des Windparks nicht mehr möglich	Geringfügig	Sehr selten	2	Es ist keine Radar-Kennzeichnung des Windparks durch den Betreiber geplant. Eine Überwachung mittels AIS findet statt. AIS und Radar auf den Schiffen noch vorhanden
2	Ausfall der Radarsignalübertragung zum VKZ an Land	Dito	Geringfügig	Sehr selten	2	s.o.
3	Ausfall der AIS-Anlage	AIS-Kennung des Windparks ausgefallen; Keine Kommunikation (Warnung) im DSC-Bereich (Kanal 70) mit potenziellem Kollisionsgegner oder Havaristen möglich a) außerhalb des Nahbereiches des Windparks b) innerhalb des Nahbereiches des Windparks und in der Sicherheitszone	Geringfügig Beträchtlich	Sehr selten Äußerst selten	2 2	AIS ist redundant ausgeführt AIS und Radar auf den Schiffen noch vorhanden

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 2 von 2
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: VKZ
Gerät: Radar, AIS, Funk, Kommunikation

Funktion: Seeraumbeobachtung, Kommunikation mit Schiffen und VKZ

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
4	Ausfall der Signal- bzw. Datenübertragung zur OWP-Leitwarte	Keine Steuersignale (z.B. Notbremsung)	Geringfügig	Äußerst selten	1	Die OWP-Leitwarte meldet an VKZ.
5	Operator VKZ reagiert nicht / fehlerhaft auf möglichen Kollisionsgegner	Keine Warnung an potentiellen Kollisionsgegner; a) außerhalb des Nahbereiches des Windparks b) innerhalb des Nahbereiches und der Sicherheitszone	Geringfügig Beträchtlich	Sehr selten Sehr selten	2 3	

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 1 von 1
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Leitwarte
Gerät: div.

Funktion: Überwachung u. Steuerung der WEA und Umspannstation

Lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere- Klassifizierung	Eintritts- häufigkeit	Risiko	Bemerkung
1	Ausfall der Datenübertragung Windpark – OWP-Leitwarte	Keine Steuersignale (z.B. Notbremsung) Alarmierung des Personals; Instandhaltungsmaßnahme	Geringfügig	Selten	3	Datenübertragung ist redundant ausgeführt: 1. Datenübertragung über Signalkabel o.ä. 2. Datenübertragung über Richtfunk o.ä.

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 1 von 2
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: WEA
Gerät: Sicherheitsausrüstung

Funktion: Identifizierung

Lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
1	Ausfall der Flughindernisleuchte	Tagsüber bei guter Sicht keine Auswirkung, Nachts und bei verminderter Sicht: 1. Erhöhtes Kollisionsrisiko für Luftfahrzeugen 2. Geringfügig erhöhtes Kollisionsrisiko für Schiffe	Geringfügig Beträchtlich Geringfügig	Sehr selten Sehr selten Sehr selten	2 3 2	Luftfahrzeuge sehen die anderen Flughindernisleuchte und umfliegen bzw. überfliegen i.d.R. diesen Bereich
2	Windenergiepark in Seekarte falsch oder gar nicht eingezeichnet	Tagsüber bei guter Sicht keine Auswirkung Nachts und bei verminderter Sicht führt dies zur Irritation der Schiffsführung - Erfahrene Schiffsführer umfahren weiträumig diesen Bereich, - Unerfahrene Schiffsführer manövrieren unkalkulierbar	Geringfügig Geringfügig Beträchtlich	Selten Selten Sehr selten	3 3 3	

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 2 von 2
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: WEA
Gerät: Sicherheitsausrüstung

Funktion: Identifizierung

Lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
3	Windenergiepark in Luftfahrtkarte falsch oder gar nicht eingezeichnet	<p>Tagsüber bei guter Sicht für</p> <ul style="list-style-type: none"> • tieffliegende Sportflugzeuge/Helikopter • hochfliegende Verkehrsflugzeuge • tieffliegende Militärmaschinen <p>Nachts und bei verminderter Sicht für</p> <ul style="list-style-type: none"> • hochfliegende Verkehrsflugzeuge • tieffliegende Sportflugzeuge/Helikopter • tieffliegende Militärmaschinen 	<p>Geringfügig Geringfügig Beträchtlich</p> <p>Geringfügig Schwerwiegend Schwerwiegend</p>	<p>Selten Sehr selten Sehr selten</p> <p>Sehr selten Sehr selten Sehr selten</p>	<p>3 2 3</p> <p>2 4 4</p>	<p>Es wird davon ausgegangen, dass Sportflugzeuge / Helikopter nachts die Flughindernisse nicht sehen und entsprechend reagieren. Bei verminderter Sicht ist eine Kollision WEA – Sportflugzeug / Helikopter nicht auszuschließen.</p>

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 1 von 1
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Umspannstation
Gerät: Umspannstation

Funktion: Transformiert Strom, Zu- u. Abschaltung der Anlage

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
1	Ausfall der Umspannstation	<ul style="list-style-type: none">- WEA schalten automatisch bei Stromausfall ab- Beleuchtung jeder WEA durch Batterie für befristeten Zeitraum gewährleistet- Alarmierung des Personals;- Instandhaltungsmaßnahme	Geringfügig	Selten	3	Radarüberwachung durch Versorgungsfahrzeug möglich, sofern vor Ort.

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 1 von 17
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
Gerät: Allgemeine Betrachtungen

Funktion: Transport

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
1	Schiff fährt im Nahbereich des Windenergieparks	Wenn keine Kollisionsgefahr mit WEA besteht,	Geringfügig	Selten	3	Die VKZ tritt mit allen Schiffen über UKW Kanal 16 in Funkkontakt die <ul style="list-style-type: none"> • auf Kollisionskurs zur WEA sind • im Nahbereich des Windenergieparks sind
		Wenn Kollisionsgefahr mit WEA besteht:	Geringfügig	Selten	3	
		1. am Tage und bei guter Sicht: Schiff weicht nach Erkennen des Windparks bzw. nach Warnung durch den VKZ aus	Geringfügig	Selten	3	
		2. nachts und gute Sicht: Schiff weicht nach Erkennen des Windparks bzw. nach Warnung durch den VKZ aus	Geringfügig	Selten	3	
		3. Sichtbehinderung: Schiff erkennt Windpark im Radar und weicht aus bzw. weicht nach Warnung durch den VKZ aus	Geringfügig	Selten	3	
		4. Schiff reagiert nicht auf Warnung (UKW Kanal 16) durch den VKZ und nähert sich der Sicherheitszone	Beträchtlich	Sehr selten	3	

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 2 von 17
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
Gerät: Allgem. Betrachtungen

Funktion: Transport

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere- Klassifizierung	Eintritts- häufigkeit	Risiko	Bemerkung
2	Schiff fährt in der Sicherheitszone des Windenergieparks	<ul style="list-style-type: none"> • Wenn keine Kollisionsgefahr mit WEA besteht (z.B. durch langsam und vorsichtig fahrende Versorgungsfahrzeuge) • Erhöhte Kollisionsgefahr, wenn möglicher Kollisionsgegner Kurs und Geschwindigkeit nicht ändert und möglicher Kollisionsgegner nicht auf Kontaktaufnahme über UKW, auf Lichtsignale und auf Böller/Typhon. Alarmierung der Küstenwache reagiert 	Geringfügig Schwerwiege nd	Selten Sehr selten	3 4	Der VKZ versucht permanent mit dem möglichen Kollisionsgegner in Funkkontakt zu gelangen. Innerhalb der Sicherheitszone werden bei gefährlicher Annäherung Geräusch- und Lichtsignale vom Versorgungsfahrzeugs aktiviert. Zusätzlich werden die Küstenwache und die SAR-Dienste alarmiert.

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 3 von 17
 Ausgabe: 1
 Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
Gerät: Allgem. Betrachtungen

Funktion: Transport

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere- Klassifizierung	Eintritts- häufigkeit	Risiko	Bemerkung
3	Schiff befindet sich auf Kollisionskurs mit anderem Schiff und gerät beim Ausweichmanöver in die Sicherheitszone des Windparks.	<ul style="list-style-type: none"> - kleine Schiffe fahren kontrolliert in die Sicherheitszone und danach wieder auf den alten Kurs - große Schiffe haben möglicherweise nicht genug Platz beim Manövrieren und geraten in den Windpark (erhöhte Kollisionsgefahr), es sind die Szenarien Nr. 4 und Nr. 5 (siehe folgende Blätter) möglich 	Geringfügig -	Sehr selten -	2 -	siehe Einstufung Nr. 4 und 5

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 5 von 17
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
Gerät: Allgem. Betrachtung

Funktion: Transport

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
5	Manövrierfähiges Schiff kollidiert mit Umspannstation	<p>Bei einem kleinen Schiff sind folgende Schäden möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Umspannstation fällt um und verliert Öl - Schiff mit Schäden im Überwasserbereich - evt. auch im Unterwasserbereich, <p>Bei einem großen Trockenfrachter sind folgende Schäden möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Umspannstation fällt um und verliert Öl - Schiff mit Schäden im Über- und Unterwasserbereich und Austritt von Bunkeröl oder Ballastwasser. <p>Bei einem Tankschiff sind folgende Schäden möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Umspannstation fällt um u. verliert Öl - Schiff mit Schäden im Über- und Unterwasserbereich und Austritt von Bunkeröl u./od. anderen wassergefährdenden Stoffen - Feuer und Explosionsgefahr 	<p>Katastrophal</p> <p>Katastrophal</p> <p>Katastrophal</p>	<p>Äußerst selten</p> <p>Äußerst selten</p> <p>Äußerst selten</p>	<p>4</p> <p>4</p> <p>4</p>	Küstenverkehrszone, sehr geringer Schiffsverkehr

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 6 von 17
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
Gerät: Allgem. Betrachtung

Funktion: Transport

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
6	Schiff wird vom sich drehendem Rotorblatt getroffen	Alarmierung der Küstenwache und SAR-Dienste. Bei großen Schiffen sind folgende Schäden möglich: - WEA beschädigt, fällt evtl. um und verliert Öl - Schiff mit Schäden im Überwasserbereich (Deckshaus mit Brücke und evtl. Ladung) - Personenschäden	Schwerwiegend	Äußerst selten	3	<ul style="list-style-type: none"> Eine Bergung des Schiffes im Windpark muss erfolgen Szenario nur bei großen Schiffen möglich (die nicht in die Küstenverkehrszone fahren dürfen)

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 7 von 17
 Ausgabe: 1
 Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
 Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
 Gerät: Allgemeine Betrachtungen

Funktion: Transport

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere- Klassifizierung	Eintritts- häufigkeit	Risiko	Bemerkung
7	Schiff treibt manövrierunfähig außerhalb des Nahbereichs des Windenergieparks	<ol style="list-style-type: none"> Havarist wird von OWP-Leitwarte oder VKZ erkannt und angesprochen, oder Schiffsführung informiert VKZ über die Situation und bittet um Schlepperhilfe. <ul style="list-style-type: none"> Schlepperhilfe trifft nicht rechtzeitig ein u./od. Schleppverbindung kann nicht hergestellt werden: Havarist treibt auf Windenergiepark zu Schiffsführung informiert VKZ nicht und verschweigt Notlage. <ul style="list-style-type: none"> Havarist treibt auf Windenergiepark zu. VKZ ist in der Lage ausserhalb des Nahbereichs den Havaristen zu identifizieren und anzusprechen. Von OWP-Leitwarte wird erkannt, wenn Havarist im Überwachungsbereich treibt. OWP-Leitwarte versucht Funkkontakt mit Havaristen und informiert VKZ 	Geringfügig	Sehr selten	2	
			Geringfügig	Sehr selten	2	

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 8 von 17
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
Gerät: allgemeine Betrachtungen

Funktion: Transport

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
8	Schiff treibt manövrierunfähig innerhalb des Nahbereichs des Windenergieparks	<ol style="list-style-type: none"> Schiffsführung informiert VKZ über die Situation und bittet um Schlepperhilfe. Alarmierung der Küstenwache <ul style="list-style-type: none"> Schlepperhilfe trifft nicht rechtzeitig ein u./od. Schleppverbindung kann nicht hergestellt werden: Havarist treibt auf Windenergiepark zu Schiffsführung informiert ZMK nicht und verschweigt Notlage. Havarist treibt auf Windenergiepark zu. <ul style="list-style-type: none"> Notankerung/Anfahren gelingt nicht Schlepperhilfe trifft nicht rechtzeitig ein Schleppverbindung kann nicht hergestellt werden 	<p>Beträchtlich</p> <p>Schwerwiegend</p> <p>Schwerwiegend</p> <p>Schwerwiegend</p>	<p>Sehr selten</p> <p>Sehr selten</p> <p>Sehr selten</p> <p>Sehr selten</p>	<p>3</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>4</p>	<p>Wird von OWP-Leitwarte erkannt. Diese versucht Funkkontakt mit Havaristen und informiert VKZ und Einsatzleitgruppe schicken Schlepper zum Havaristen</p>

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 9 von 17
 Ausgabe: 1
 Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
 Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
 Gerät: Allgemeine Betrachtungen

Funktion: Transport

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere- Klassifizierung	Eintritts- häufigkeit	Risiko	Bemerkung
9	Schiff treibt manövrierunfähig innerhalb der Sicherheitszone des Windenergieparks	Schiffsführung informiert ZMK über die Situation und bittet um Schlepperhilfe. Alarmierung der Küstenwache. Havarist treibt auf Windpark / WEA zu. - Notankerung/Anfahren gelingt nicht - Schlepperhilfe trifft nicht rechtzeitig ein u./od. - Schleppverbindung kann nicht hergestellt werden	Schwerwiege nd Schwerwiege nd Schwerwiege nd	Sehr selten Sehr selten Sehr selten	4 4 4	

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 10 von 17
 Ausgabe: 1
 Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
 Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
 Gerät: Allgemeine Betrachtungen

Funktion: Transport

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
10	Manövrierunfähiges Schiff kollidiert mit WEA	Bei einem kleinen Schiff sind folgende Schäden möglich: <ul style="list-style-type: none"> - Schiff mit erheblichen Schäden im Unterwasserbereich - Schiff sinkt und verliert Öl Bei einem großen Trockenfrachter sind folgende Schäden möglich: <ul style="list-style-type: none"> - WEA fällt um und verliert Öl - Schiff mit Schäden im Unterwasserbereich und Austritt von Bunkeröl oder Ballastwasser. Bei einem Tankschiff sind folgende Schäden möglich: <ul style="list-style-type: none"> - WEA fällt um und verliert Öl - Austritt von Bunkeröl u./od. anderen wassergefährdenden Stoffen - Feuer- und Explosionsgefahr 	Katastrophal	Äußerst selten	4	
			Katastrophal	Äußerst selten	4	
			Katastrophal	Äußerst selten	4	

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 11 von 17
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
Gerät: allgemeine Betrachtungen

Funktion: Transport

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
11	Manövrierunfähiges Schiff kollidiert mit Umspannstation	<p>Bei einem kleinen Schiff sind folgende Schäden möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Umspannstation fällt um und verliert Öl - Schiff mit Schäden im Überwasserbereich - evt. Auch im Unterwasserbereich <p>Bei einem großen Trockenfrachter sind folgende Schäden möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Umspannstation fällt um und verliert Öl - Schiff mit Schäden im Über- und Unterwasserbereich und Austritt von Bunkeröl oder Ballastwasser. <p>Bei einem Tankschiff sind folgende Schäden möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Umspannstation fällt um u. verliert Öl - Schiff mit Schäden im Über- und Unterwasserbereich und Austritt von Bunkeröl u./od. anderen wassergefährdenden Stoffen - Feuer und Explosionsgefahr 	<p>Katastrophal</p> <p>Katastrophal</p> <p>Katastrophal</p>	<p>Äußerst selten</p> <p>Äußerst selten</p> <p>Äußerst selten</p>	<p>4</p> <p>4</p> <p>4</p>	Hauptverkehrswege ausserhalb der Küstenverkehrszone

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 12 von 17
 Ausgabe: 1
 Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
 Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
 Gerät: Ruderanlage

Funktion: Kurs halten und ändern

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
12	Ausfall der Manövrierfähigkeit außerhalb des Nahbereichs des Windparks	- Schiff kann Kurs nicht mehr halten und verdriftet - Besatzung führt Notankerung durch, meldet Notfall und beginnt mit Reparaturen				
	a) feststehendes Ruder mittschiffs	- Falls Notankerung misslingt, sind die Szenarien Nr. 7 bis 11 möglich - Falls Reparatur misslingt, sind die Szenarien Nr. 7 bis 11 möglich	-	-	-	siehe Einstufung Nr. 7 bis Nr. 11
			-	-	-	siehe Einstufung Nr. 7 bis Nr. 11
	b) feststehendes Ruder in Hartruderlage	- Falls Notankerung misslingt, sind die Szenarien Nr. 7 bis 11 möglich - Falls Reparatur misslingt, sind die Szenarien Nr. 7 bis 11 möglich	-	-	-	siehe Einstufung Nr. 7 bis Nr. 11
			-	-	-	siehe Einstufung Nr. 7 bis Nr. 11

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 13 von 17
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
Gerät: Ruderanlage

Funktion: Kurs halten und ändern

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
13	Ruderschaden innerhalb des Nahbereichs des Windparks	- Schiff kann Kurs nicht mehr halten und verdriftet - Besatzung führt Notankerung durch, meldet Notfall und beginnt mit Reparaturen.				
	a) feststehendes Ruder mittschiffs	- Falls Notankerung misslingt, sind die Szenarien Nr. 8 bis 11 möglich - Falls Reparatur misslingt, sind die Szenarien Nr. 8 bis 11 möglich	-	-	-	siehe Einstufung Nr. 8 bis Nr. 11
	b) feststehendes Ruder in Hartruderlage	- Falls Notankerung misslingt, sind die Szenarien Nr. 8 bis 11 möglich - Falls Reparatur misslingt, sind die Szenarien Nr. 8 bis 11 möglich	-	-	-	siehe Einstufung Nr. 8 bis Nr. 11

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 14 von 17
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
Gerät: Ruderanlage

Funktion: Kurs halten und ändern

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
14	Ruderschaden innerhalb der Sicherheitszone	- Schiff kann Kurs nicht mehr halten und verdriftet				
	a) feststehendes Ruder mittschiffs	- Besatzung führt Notankerung durch, meldet Notfall und beginnt mit Reparaturen. - Falls Notankerung misslingt, sind die Szenarien Nr. 9 bis 11 möglich	-	-	-	siehe Einstufung Nr. 9 bis Nr. 11
		- Falls Reparatur misslingt, sind die Szenarien Nr. 9 bis 11 möglich	-	-	-	siehe Einstufung Nr. 9 bis Nr. 11
	b) feststehendes Ruder in Hartruderlage	- Falls Notankerung misslingt, sind die Szenarien Nr. 9 bis 11 möglich	-	-	-	siehe Einstufung Nr. 9 bis Nr. 11
		- Falls Reparatur misslingt, sind die Szenarien Nr. 9 bis 11 möglich	-	-	-	siehe Einstufung Nr. 9 bis Nr. 11

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 15 von 17
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
Gerät: Navigationsgeräte / menschliches Versagen

Funktion: Kurs halten und ändern, Kollisionswarnung / -verhütung

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
15	Erkannter Ausfall bzw. erkannte Fehlfunktion des Radargerätes	- Wachoffizier benutzt 2. Radargerät - Wenn 2. Radargerät nicht vorhanden, navigiert der Wachoffizier mit den Navigationsanlagen (Kompass, Decca, Loran, GPS, Log, Trägheitsnavigation), reduziert die Fahrt und besetzt den Ausguck bei schlechter Sicht	Geringfügig Beträchtlich	Selten Selten	3 4	
16	Unerkannter Ausfall bzw. unerkannte Fehlfunktion des Radargerätes	- Wachoffizier stellt Fehlfunktion durch Vergleich mit 2. Radargerät bzw. durch Vergleich mit den Daten der Navigationsanlagen (Kompass, Decca, Loran, GPS, Trägheitsnavigation) fest. Kurze Desorientierung möglich. Nach Fehlerfeststellung Fahrtreduzierung und Besetzung des Ausgucks bei schlechter Sicht - Wachoffizier benutzt nicht 2. Radargerät bzw. kein weiteres Navigationsgerät: 1. bei guter Sicht: Schiffsführung kann Windpark optisch wahrnehmen 2. bei schlechter Sicht und Warnung durch VKZ oder OWP-Leitwarte 3. bei schlechter Sicht und ohne Warnung durch VKZ oder OWP-Leitwarte ist eine Kollision möglich	Beträchtlich Beträchtlich Schwerwiegend	Äußerst selten Äußerst selten Äußerst selten Äußerst selten	2 2 3	

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 16 von 17
 Ausgabe: 1
 Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
 Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
 Gerät: Navigationsgeräte / menschliches Versagen

Funktion: Kurs halten und ändern, Kollisionswarnung / -verhütung

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere- Klassifizierung	Eintritts- häufigkeit	Risiko	Bemerkung
17	Wachoffizier ist übermüdet und schläft ein	ARPA Warnton weckt WO bei Kollisionsgefahr. Tot-Mann-Alarm alarmiert nach kurzer Zeit die Besatzung bzw. zweiter Mann auf der Brücke weckt WO. Kurze Desorientierung möglich a) außerhalb des Nahbereichs des Windparks b) innerhalb des Nahbereiches c) innerhalb des Nahbereiches + Kollisionskurs WO wird von VKZ oder OWP-Leitwarte über AIS/UKW über die mögl. Kollisionsgefahr informiert d) innerhalb der Sicherheitszone	Geringfügig Beträchtlich Schwerwiege nd Schwerwiege nd	Selten Sehr selten Äußerst selten Sehr selten	3 3 3 4	

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 17 von 17
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Möglicher Kollisionsgegner Schiff
Gerät: Ruderanlage / menschliches Versagen

Funktion: Kurs halten und ändern

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
18	Wachoffizier trägt falschen Kurs ein bzw. gibt falsche Kursdaten in die Selbststeueranlage ein	Wachoffizier bemerkt Irrtum durch Vergleich mit den Positionsanzeigen und durch Vergleich mit dem Radarbild. Kurze Desorientierung möglich a) außerhalb des Nahbereiches b) innerhalb des Nahbereiches + Kollisionskurs WO wird vom VKZ über AIS/UKW über die mögliche Kollisionsgefahr informiert. WO erhält ARPA-Warnton bei Kollisionsgefahr	Geringfügig Beträchtlich	Selten Sehr selten	3 3	Der Windenergiepark gibt im Radar ein deutliches Echo und AIS-Signal
19	Beeinflussung des magnetischen Kompasses durch das in der Nähe des Offshore-Windparks verlaufende Hochspannungskabel (siehe Seekarte)	Wachoffizier bemerkt Fehlweisung des magnetischen Kompasses durch Vergleich mit dem Kreiselkompass und den Positionsanzeigen sowie durch Vergleich mit dem Radarbild. Kurze Desorientierung möglich a) außerhalb des Nahbereiches b) innerhalb des Nahbereiches + Kollisionskurs WO wird vom VKZ über AIS/UKW über die mögliche Kollisionsgefahr informiert. WO erhält ARPA-Warnton bei Kollisionsgefahr	Geringfügig Beträchtlich	Sehr selten Sehr selten	2 3	In der Regel wird nicht ausschließlich nach dem magnetischen Kompass gesteuert. Der Kreiselkompass und die Positionsbestimmung über Satelliten (Sattelitennavigation) wird nicht durch das Hochspannungskabel beeinflusst.

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 1 von 4
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Bergungsschlepper / SUBS
Gerät: Allgemein

Funktion: Bergen

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
1	Kein einsatzbereiter(s) Bergungsschlepper / SUBS im Bereich der westlichen und südlichen Ostsee vorhanden	a) solange kein havariertes Schiff im Nahbereich des Windenergieparks ist; b) Wenn havariertes Schiff im Nahbereich des Windenergieparks ist: - Havarist kann nicht rechtzeitig geborgen werden; - Kollisionsgefahr bei ungünstigen Wind- und Strömungsverhältnissen; c) Wenn havariertes Schiff innerhalb der Sicherheitszone des Windenergieparks ist: - Havarist kann nicht rechtzeitig geborgen werden; - Erhöhte Kollisionsgefahr bei ungünstigen Wind- und Strömungsverhältnissen; d) Wenn havariertes Schiff mit WEA kollidiert ist: - Bergung eines kollidierten Schiffes innerhalb des Windenergieparks schwierig; - Schadstoffunfallbekämpfung begrenzt möglich; - Schadstoffausbreitung	Geringfügig Beträchtlich Schwerwiege nd Katastrophal	Äußerst selten Äußerst selten Äußerst selten Äußerst selten	1 2 3 4	

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 2 von 4
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Bergungsschlepper / SUBS
Gerät: Allgemein

Funktion: Bergen

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere-Klassifizierung	Eintrittshäufigkeit	Risiko	Bemerkung
2	Bergungsschlepper/SUBS reagiert nicht oder zu spät auf Einsatzbefehl	<p>a) Unbedeutend solange kein havariertes Schiff im Nahbereich des Windenergieparks ist;</p> <p>b) Wenn havariertes Schiff im Nahbereich des Windenergieparks ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Havarist kann nicht rechtzeitig geborgen werden; - Kollisionsgefahr bei ungünstigen Wind- und Strömungsverhältnissen; <p>c) Wenn havariertes Schiff innerhalb der Sicherheitszone des Windenergieparks ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Havarist kann nicht rechtzeitig geborgen werden; - Erhöhte Kollisionsgefahr bei ungünstigen Wind- und Strömungsverhältnissen; <p>d) Wenn havariertes Schiff mit WEA kollidiert ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bergung eines kollidierten Schiffes innerhalb des Windenergieparks kaum möglich; - Schadstoffunfallbekämpfung begrenzt möglich; - Schadstoffausbreitung 	<p>Geringfügig</p> <p>Beträchtlich</p> <p>Schwerwiegend</p> <p>Katastrophal</p>	<p>Äußerst selten</p> <p>Äußerst selten</p> <p>Äußerst selten</p> <p>Äußerst selten</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p>	

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 3 von 4
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Bergungsschlepper / SUBS
Gerät: Allgemein

Funktion: Bergen

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere- Klassifizierung	Eintritts- häufigkeit	Risiko	Bemerkung
3	Bergungsschlepper/SUBS findet Havaristen nicht rechtzeitig	<p>a) Unbedeutend, solange kein havariertes Schiff im Nahbereich des Windenergieparks ist;</p> <p>b) Wenn havariertes Schiff im Nahbereich des Windenergieparks ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Havarist kann nicht rechtzeitig geborgen werden; - Kollisionsgefahr bei ungünstigen Wind- und Strömungsverhältnissen; <p>c) Wenn havariertes Schiff innerhalb der Sicherheitszone des Windenergieparks ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Havarist kann nicht rechtzeitig geborgen werden; - Erhöhte Kollisionsgefahr bei ungünstigen Wind- und Strömungsverhältnissen <p>d) Wenn havariertes Schiff mit WEA kollidiert ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bergung eines kollidierten Schiffes innerhalb des Windenergieparks kaum möglich; - Schadstoffunfallbekämpfung begrenzt möglich; - Schadstoffausbreitung 	<p>Geringfügig</p> <p>Beträchtlich</p> <p>Schwerwiegend</p> <p>Katastrophal</p>	<p>Äußerst selten</p> <p>Äußerst selten</p> <p>Äußerst selten</p> <p>Äußerst selten</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p>	

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 4 von 4
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Bergungsschlepper / SUBS
Gerät: Allgemein

Funktion: Bergen

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere- Klassifizierung	Eintritts- häufigkeit	Risiko	Bemerkung
4	Bergungsschlepper/SUBS kann keine dauerhafte Schleppverbindung zum Havaristen herstellen	a) Im Nahbereich des Windenergieparks: <ul style="list-style-type: none"> - Havarist treibt bei ungünstigen Wind- und Strömungsverhältnissen in Richtung Windenergiepark; - Kollisionsgefahr b) Innerhalb der Sicherheitszone des Windenergieparks: <ul style="list-style-type: none"> - Havarist treibt bei ungünstigen Wind- und Strömungsverhältnissen in Richtung Windenergiepark; - Erhöhte Kollisionsgefahr; c) Wenn havariertes Schiff mit WEA kollidiert ist: <ul style="list-style-type: none"> - Bergung eines kollidierten Schiffes innerhalb des Windenergieparks schwierig; - Schadstoffunfallbekämpfung begrenzt möglich; - Schadstoffausbreitung 	Beträchtlich Schwerwiege nd Katastrophal	Äußerst selten Äußerst selten Äußerst selten	2 3 4	

Datenblatt zur Gefahrenanalyse

Blatt: 1 von 1
Ausgabe: 1
Datum: 2018-08-22

System: Offshore-Windpark „Gennaker“
Anlage: Seekabel
Gerät: Allgemein

Funktion: Strom- oder Datentransport

lfd. Nr.	Ausfallbedingung bzw. Gefahr	Ausfalleffekt	Ausfallschwere- Klassifizierung	Eintritts- häufigkeit	Risiko	Bemerkung
1	Schiff wirft Anker über Seekabel.	Der Anker kann das Seekabel zerreißen, Ausfall der Stromversorgung, Instandhaltungsmaßnahmen erforderlich	Geringfügig	Äußerst selten	1	
2	Schiff schleppt Anker hinter sich her. Der Anker gräbt sich in den Boden ein.	Der Anker kann das Seekabel zerreißen, Ausfall der Stromversorgung, Instandhaltungsmaßnahmen erforderlich	Geringfügig	Äußerst selten	1	



ABOUT DNV GL SE

Driven by our purpose of safeguarding life, property and the environment, DNV GL enables organizations to advance the safety and sustainability of their business. We provide classification and technical assurance along with software and independent expert advisory services to the maritime, oil and gas, and energy industries. We also provide certification services to customers across a wide range of industries. Operating in more than 100 countries, our 16,000 professionals are dedicated to helping our customers make the world safer, smarter and greener.