

OFFSHORE-WINDPARK GODE WIND 3

Technische Risikoanalyse

Ørsted Wind Power A/S

Bericht Nr.: M-W-ADER 2019.039, Rev. 1.5

Datum: 2020-03-13



Projektname:	Offshore-Windpark Gode Wind 3	DNV GL SE – Maritime
Berichtstitel:	Technische Risikoanalyse	Postfach 11 16 06
Kunde:	Ørsted Wind Power A/S, Kraftværksvej 53 DK-7000 Fredericia	20416 Hamburg Brooktorkai 18 20457 Hamburg
Kontaktperson:	Herr Beeken	Tel.: +49 40 36149-552
Datum:	2020-03-13	Fax: +49 40 36149-200
Projekt Nr.:	10149093	HRB 115442
Abteilungsname:	Safety & Systems Engineering	
Bericht Nr.:	M-W-ADER 2019.039, Rev. 1.5	

Inhalt:

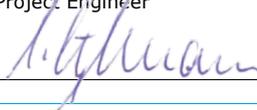
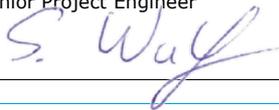
In dieser technischen Risikoanalyse wird das kumulative Kollisionsrisiko für den geplanten Offshore Windpark Gode Wind 3 unter Berücksichtigung der Kumulativlage der OWPs Gode Wind 3, Borkum Riffgrund 1, Borkum Riffgrund 2, Trianel Windpark Borkum, Merkur Offshore, alpha ventus, Nordsee One, Gode Wind 1 und Gode Wind 2 auf der Basis von auswerteten AIS-Daten des Jahres 2018 ermittelt. Diese berücksichtigten Windparks stellen die Kumulativlage zum Zeitpunkt der abgeschlossenen Errichtung von Gode Wind 3 in einem Radius von 20 Seemeilen dar. Dabei werden unter Berücksichtigung 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

Die kumulative Betrachtung hat unter Berücksichtigung von AIS, einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung mit vollständiger Auswertung (Variante 1) und vorhandener Notschleppkapazitäten („Nordic“ unter Berücksichtigung der neuen Bereitschaftsposition südlich Helgolands) eine durchschnittliche statistische Wiederholperiode zwischen zwei Kollisionen von 120 Jahren ergeben.

Erstellt von:
Sebastian Wulf
Senior Project Engineer

Überprüft von:
Stephan Eylmann
Senior Project Engineer

Genehmigt von:
Claas Rostock
Head of Department



-
- 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
-

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
2	EINLEITUNG.....	3
3	BERECHNUNGSGRUNDLAGEN.....	4
3.1	Harmonisierte Annahmen	4
3.2	Aufstellmuster der betrachteten Windparks	6
3.3	Schiffsrouten	7
3.4	Beschreibung von Klima, Wetter und Hydrologie	9
4	RISIKOMINDERNDE MAßNAHMEN	15
4.1	Automatic Identification System (AIS)	15
4.2	Verkehrsüberwachung und Seeraumbeobachtung	16
4.3	Berücksichtigte Notfallschleppkapazitäten	23
5	KUMULATIVE KOLLISIONSHÄUFIGKEIT.....	25
5.1	Zwischenergebnisse ohne AIS, Notfallschlepper und Seeraumbeobachtung	25
5.2	Kumulatives Gesamtergebnis	25
6	RISIKO FÜR DIE KUMULATIVE BETRACHTUNG.....	27
7	RISIKOBEURTEILUNG.....	28
7.1	Umweltauswirkungen	28
7.2	Kollisionskonsequenzen Schiff-WEA	30
7.3	Personensicherheit	30
8	LITERATUR	31
	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

1 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Bericht werden die Ergebnisse der aktualisierten quantitativen Risikoanalyse zum Offshore-Windpark Gode Wind 3 zusammengefasst. Zu Grunde liegt der Planungsstand März 2020 mit 24 Windenergieanlagen (WEA) des Windparks. Hierzu wurde das kumulative Kollisionsrisiko für die geplanten OWPs Gode Wind 3, Borkum Riffgrund 1, Borkum Riffgrund 2, Trianel Windpark Borkum, Merkur Offshore, alpha ventus, Nordsee One, Gode Wind 1 und Gode Wind 2 ermittelt. Die berücksichtigten Windparks stellen die Kumulativlage zum Zeitpunkt der abgeschlossenen Errichtung von Gode Wind 3 in einem Radius von 20 Seemeilen dar. Im Vergleich zur Risikoanalyse („OWP Gode Wind III, Technische Risikoanalyse“, Bericht-Nr. NB-ER 2009.102) wurden in diesem Bericht hauptsächlich folgende geänderte Basisparameter berücksichtigt: Kumulatives Aufstellmuster zum Zeitpunkt der Fertigstellung Gode Wind 3, aktuelle AIS-Daten aus dem Jahr 2018 und Berücksichtigung der neuen Bereitschaftsposition des Notschleppers „Nordic“ südlich Helgolands

Die Berechnungen werden unter Berücksichtigung der im Herbst 2004 für derartige Risikoanalysen harmonisierten Annahmen /1/ sowie der in 2008 in einer BMVBS-Arbeitsgruppe abgestimmten Wirkung risikomindernder Maßnahmen /3/ durchgeführt.

Die kumulative Betrachtung, unter Berücksichtigung von AIS-Geräten am Windpark, einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung mit vollständiger Auswertung (Variante 1) und vorhandener Notschleppkapazitäten („Nordic“) hat eine durchschnittliche statistische Wiederholperiode zwischen zwei Kollisionen von 120 Jahren ergeben.

Eine Einstufung des berechneten Risikos in die Risikoprioritätszahl (RPZ) nach dem BSH-Standard „Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen“ ergab ein akzeptables Risiko einer RPZ von 2 bis 3.

Tabelle 1: Ermittelte kumulative Kollisionswiederholperioden

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



2 EINLEITUNG

In dieser Risikoanalyse wurde das Kollisionsrisiko für den Offshore-Windpark Gode Wind 3 bestimmt. Die Grundlagen zu den durchgeführten Berechnungen sind in Abschnitt 3 und 4 sowie im Anhang A zu finden.

Dieser Bericht gliedert sich in 7 Abschnitte. Ausgehend von der Zusammenfassung im Abschnitt 1 und dieser Einleitung folgt eine Darstellung der verwendeten Berechnungsgrundlagen in Abschnitt 3, sowie eine Vorstellung der risikomindernden Maßnahmen und eine Erläuterung deren angesetzter Wirkung in Abschnitt 4. Anschließend wird in Abschnitt 5 die kumulative Wirkung der Windparks Gode Wind 3, Borkum Riffgrund 1, Borkum Riffgrund 2, Trianel Windpark Borkum, Merkur Offshore, alpha ventus, Nordsee One, Gode Wind 1 und Gode Wind 2 untersucht. Eine Konsequenzanalyse bezüglich der austretenden Schadstoffmengen für die kumulative Betrachtung findet in Abschnitt 6 statt. In Abschnitt 7 wird eine Einstufung der ermittelten Risiken anhand des Anhang 1 des BSH Standards „Standard Konstruktion“ vorgenommen.

3 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 3.1) 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 näher beschrieben.

Für die Berechnung der Kollisionen von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen von Windparks wurde in der Berechnungssoftware ein realitätsnahes Tidenströmungsmodell verwendet, das die Strömungswechsel im zeitlichen Verlauf eines Tidenprogresses realistischer berücksichtigt. Im Abschnitt 3.2 sind die Aufstellmuster der unterschiedlichen Windparks dargestellt. Die an die Aufstellmuster angepassten Schiffsrouten werden im Abschnitt 3.3 erläutert. Abschnitt 3.4 beinhaltet Angaben zu den in der Simulationssoftware implementierten und verwendeten Klima- und Wetterbedingungen.

3.1 Harmonisierte Annahmen

Im Auftrag vom BMVBW wurde vom BSH 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 Ende 2004 eine Harmonisierung von Annahmen vorgenommen. Im Einzelnen wurden gemeinsame Grundannahmen für die Szenarien mit manövrierfähigen und manövrierunfähigen Schiffen 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.

3.2 Aufstellmuster der betrachteten Windparks

In Abbildung 1 sind die Aufstellmuster der Offshore-Windparks Gode Wind 3, Borkum Riffgrund 1, Borkum Riffgrund 2, Trianel Windpark Borkum, Merkur Offshore, alpha ventus, Nordsee One, Gode Wind 1 und Gode Wind 2 dargestellt. Als Außendurchmesser der hier betrachteten Windenergieanlagen (WEA) wurden 5,9 m bis 30,0 m angesetzt. Für den Windpark Gode Wind 3 wurde ein Fundament mit einem kollisionsrelevanten Durchmesser von 11,0 m berücksichtigt. Sollten für diesen Windpark kleinere Fundamente verwirklicht werden, so ist tendenziell mit einer geringfügigen Verbesserung der statistischen Kollisionshäufigkeiten zu rechnen.

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.

Die berücksichtigten Windparks stellen die Kumulativlage zum Zeitpunkt der abgeschlossenen Errichtung von Gode Wind 3 in einem Radius von 20 Seemeilen dar.

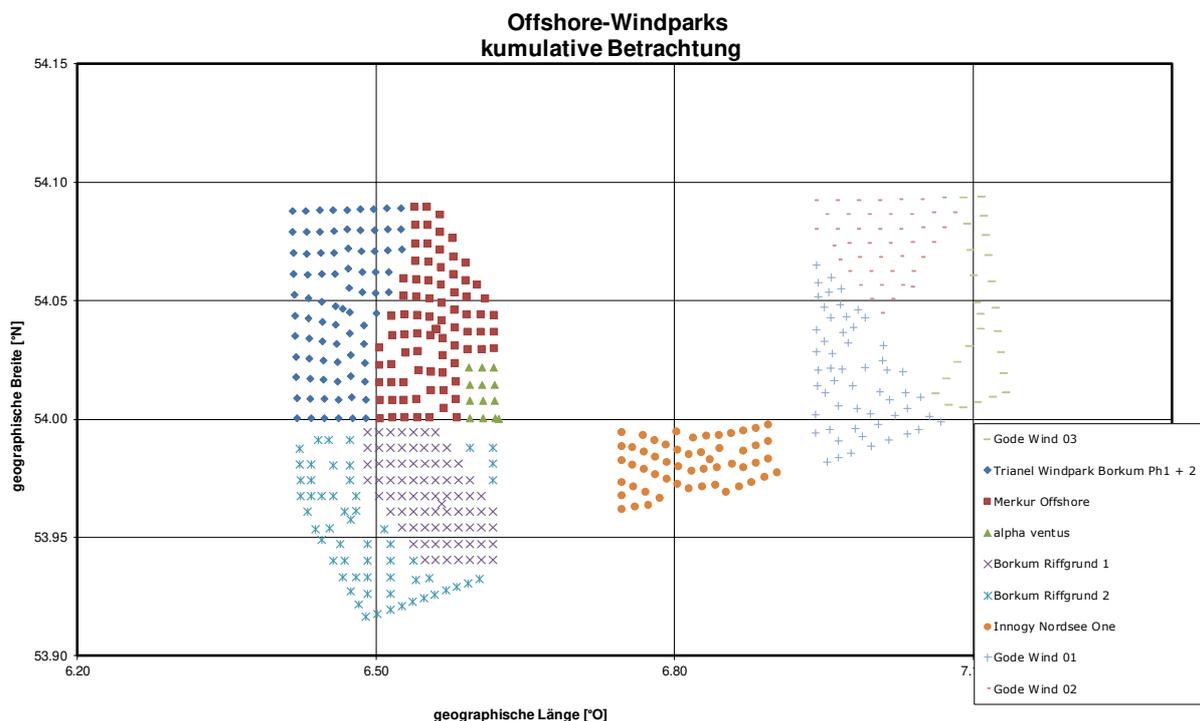


Abbildung 1: Aufstellmuster der betrachteten Offshore-Windparks

3.3 Schiffsrouten

Als Datenbasis wurden Informationen aus Auswertungen von AIS-Daten des Jahres 2018 herangezogen. Die hierbei verwendeten AIS-Daten wurden von der WSV zur Verfügung gestellt. Dabei wurde der Schiffsverkehr über 120 Tage verteilt über das Jahr 2018 ausgewertet. In der folgenden Abbildung sind die Positionsinformationen der Schiffe in Form von Tracks (rot – westgehende Schiffe, grün – ostgehende Schiffe) dargestellt.

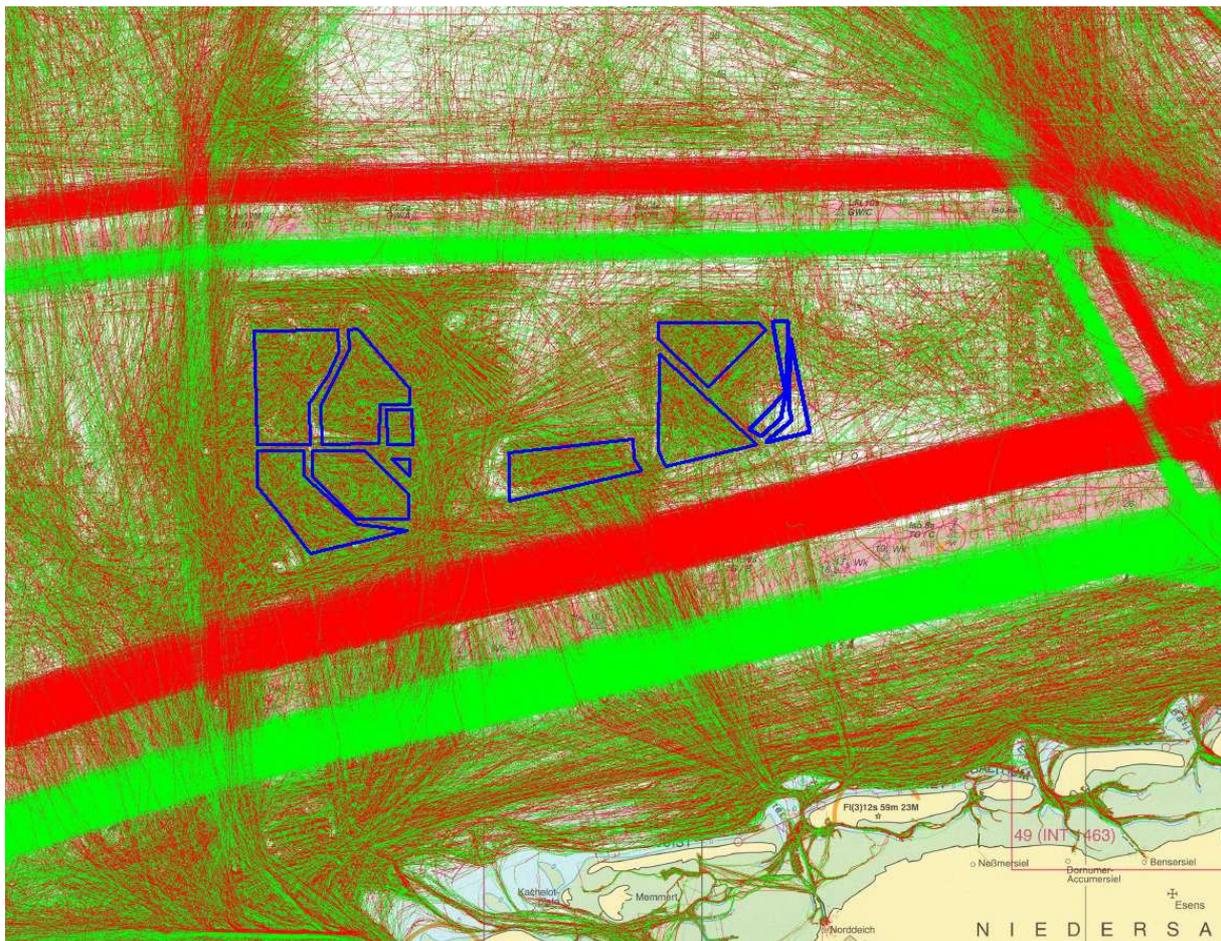


Abbildung 2: AIS Tracks 120 Tage des Jahres 2018 (grün: ostgehender Verkehr; rot: westgehender Verkehr)

Die identifizierten Schiffsrouten im Bereich der Windparkplanungen sind unter Berücksichtigung der Offshore-Windparks in Abbildung 3 dargestellt. Dabei sind die Routenführungen mit den jährlichen Schiffsbewegungen sowie die Offshore-Windparks eingezeichnet.

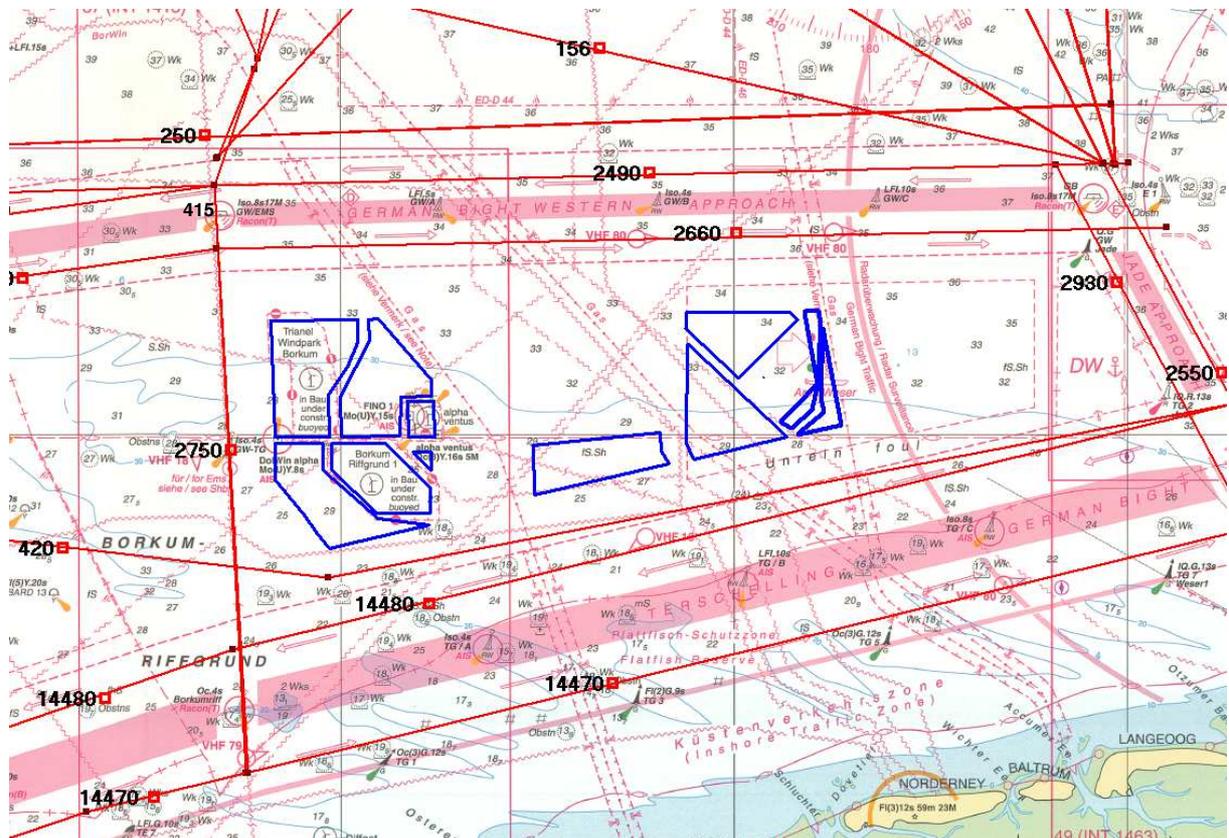


Abbildung 3: Schiffsrouten mit Schiffszahlen unter Berücksichtigung der geplanten Windparks

3.4 Beschreibung von Klima, Wetter und Hydrologie

In der quantitativen Risikoanalyse werden Umwelteinflüsse wie Wind und Strömung berücksichtigt. 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 Nordsee“ /4/ beschrieben. In diesem Handbuch wurde die Nordsee in verschiedene Auswahlfelder (Feld A bis Feld O) unterteilt, um genauere Aussagen über die lokalen Wetter- und Klimaverhältnisse in der Nordsee zu machen. Für die Berechnungen des OWP Gode Wind 3 werden gemäß der o.g. Quelle die Wetterdaten des Auswahlfeldes „K“ 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

Die Strömungsverhältnisse wurden aus Messungen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie aus dem Strömungsatlas abgeleitet. Die Gezeitenverhältnisse werden in der Analyse mitberücksichtigt.

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

3.4.1 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 4 dargestellt.

Die in Abbildung 4 gezeigten Werte basieren auf Daten /4/ die in einem Zeitraum von 32 Jahren für die Monate Januar bis Dezember gemessen wurden. Pro Jahr wurden an der Position des ehemaligen Feuerschiffs „Deutsche Bucht“ (54°11'N, 07°27'E) 89 268 Messungen durchgeführt. Die gleiche Anzahl von Messungen wurde auch für auftretende Windgeschwindigkeiten gemacht. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Abbildung 5 dargestellt.

Die Verteilung zeigt eine maximale Auftretenswahrscheinlichkeit von Windgeschwindigkeiten im Bereich von 12 kn bis 16 kn. Diese Windgeschwindigkeit entspricht Windstärke 4 auf der Beaufort Skala.

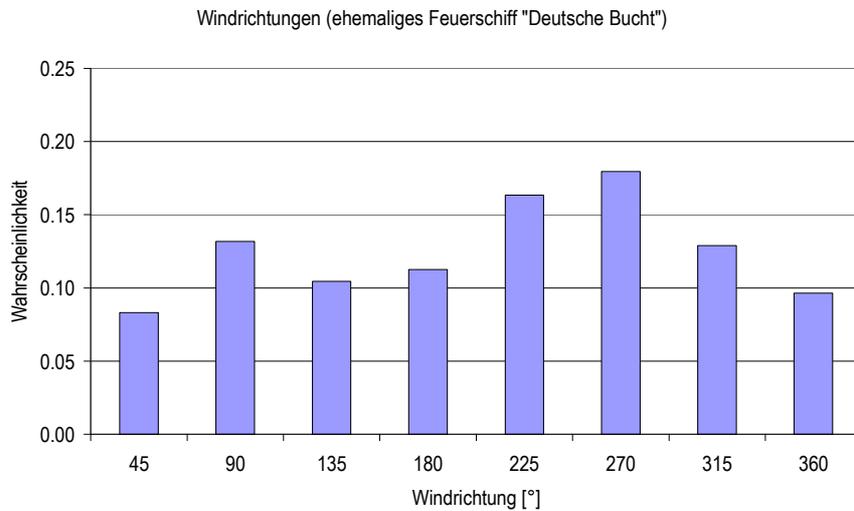


Abbildung 4: Verteilung der für die Monate Januar bis Dezember auftretenden Windrichtungen

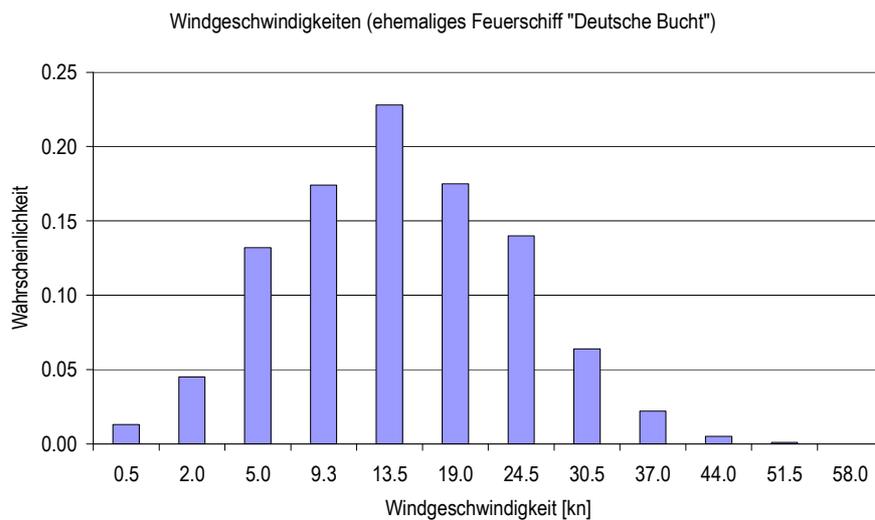


Abbildung 5: Verteilung der für die Monate Januar bis Dezember auftretenden Windgeschwindigkeiten

3.4.2 Seegang

Für die Berechnungen werden Daten aus Messungen /6/ nahe der ehemaligen Forschungsplattform Nordsee verwendet. Die Messungen wurden an der Position 54° 40.800' nördlicher Breite und 7° 03.6' östlicher Länge in einer seeseitigen Entfernung von ca. 20 sm in Zeitintervallen von 6 h gemacht. Der Umfang beträgt 11194 Messungen, die über die Monate Januar bis Dezember durchgeführt wurden. Gemessen wurde im Zeitraum von 1992 bis 1999. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 6 dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass ein Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit und der signifikanten Wellenhöhe besteht. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit wachsen auch die Wellenhöhen an. Der Modalwert der Verteilung, die Kombination von Windgeschwindigkeit und Wellenhöhe mit der größten Wahrscheinlichkeit, tritt bei einer Windgeschwindigkeit von 16 kn und einer signifikanten Wellenhöhe von 1.5 m auf. Die maximal gemessene Wellenhöhe liegt bei 7 m und wurde bei einer Windgeschwindigkeit von 58 kn gemessen.

Verteilung von Windgeschwindigkeiten v_w und signifikanten Wellenhöhen H_s
(ehemalige Forschungsplattform Nordsee)

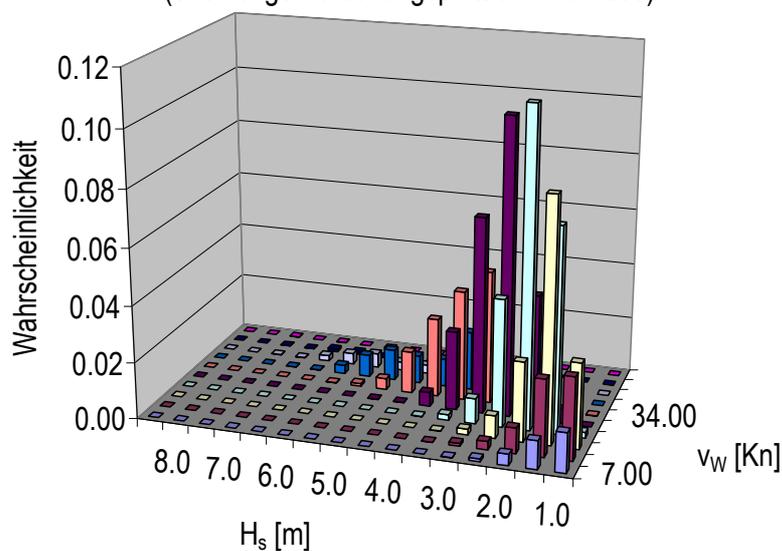


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Windgeschwindigkeiten und signifikanten Wellenhöhen

3.4.3 Strömung

Die Strömungsverhältnisse im betrachteten Seegebiet lassen sich durch Geschwindigkeit und Richtung beschreiben. Für die statistische Beschreibung der Strömungsverhältnisse liegen die Daten des „ADMIRALTY TIDAL STREAM ATLAS“ /16/ zugrunde. Die sich ändernden Strömungsverhältnisse für das Seegebiet sind entsprechend dem Tidenprogress für jede Stunde definiert.

Nach vorliegenden Messwerten des BSH sind Strömungsgeschwindigkeiten um ca. 0.5 kn am häufigsten in der Deutschen Bucht anzutreffen. Starke Strömungen erreichen Geschwindigkeiten bis ca. 1.6 kn. In Abbildung 7 sind die Hauptströmungsrichtungen für einen Tidenprogress im Bereich des Windparks Gode Wind 3 aufgezeigt.

Abbildung 8 zeigt die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten für den Verlauf des Tidenprogresses in der Region des Windparks. Für die Seegebiete im Umkreis des Windparks werden entsprechend der Position die Strömungsdaten angesetzt.

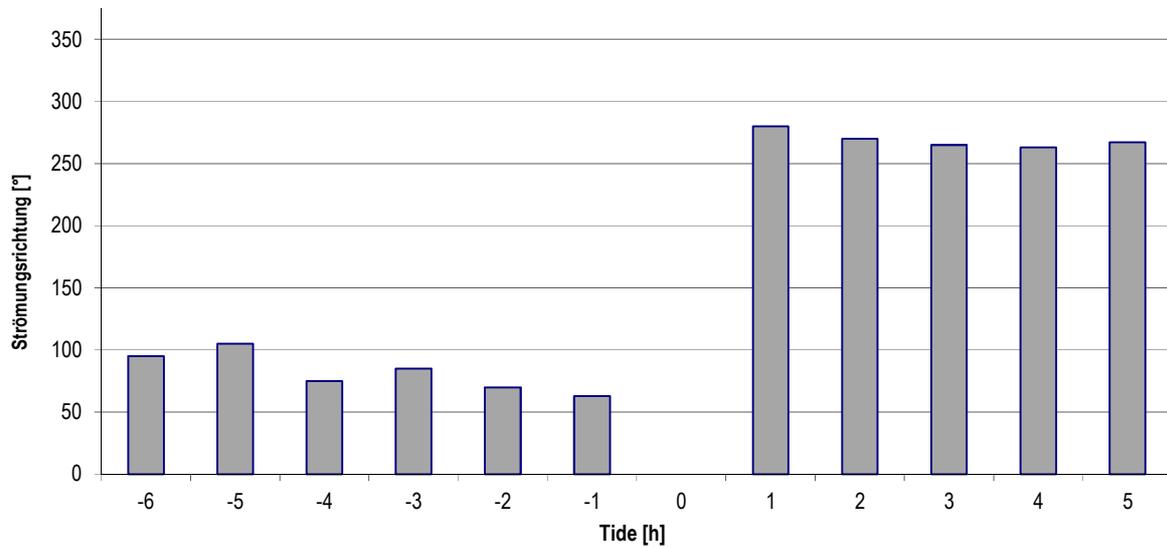


Abbildung 7: Strömungsrichtungen im Bereich des Windparks für jede Stunde des Tidenprogresses

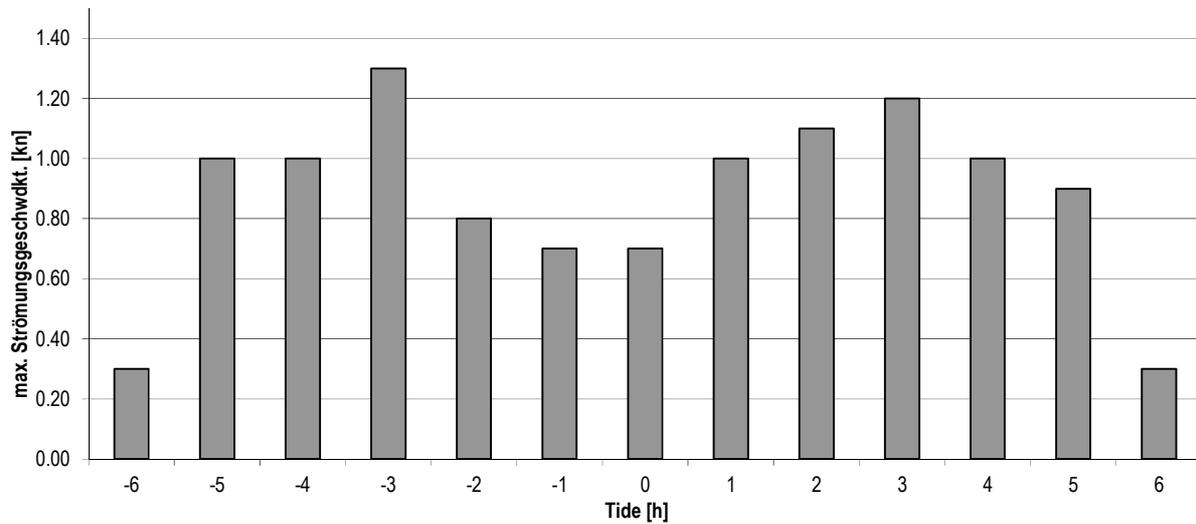


Abbildung 8: Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich des Windparks

3.4.4 Gezeiten

Im Gebiet des OWP Gode Wind 3 treten Gezeiten auf. In einem Zyklus von etwa 12 h steigt der Meeresspiegel an (Flut) und sinkt danach wieder ab (Ebbe). Charakterisiert wird dieser Zyklus durch das mittlere Niedrigwasser (MNW) und das mittlere Hochwasser (MHW). In Abbildung 9 /8/ ist der zeitliche Verlauf der normierten Höhe des Meeresspiegels dargestellt. Die Normierung wurde derart durchgeführt, dass die Höhe des Meeresspiegels beim MNW gleich -1 ist und beim MHW gleich 1 ist.

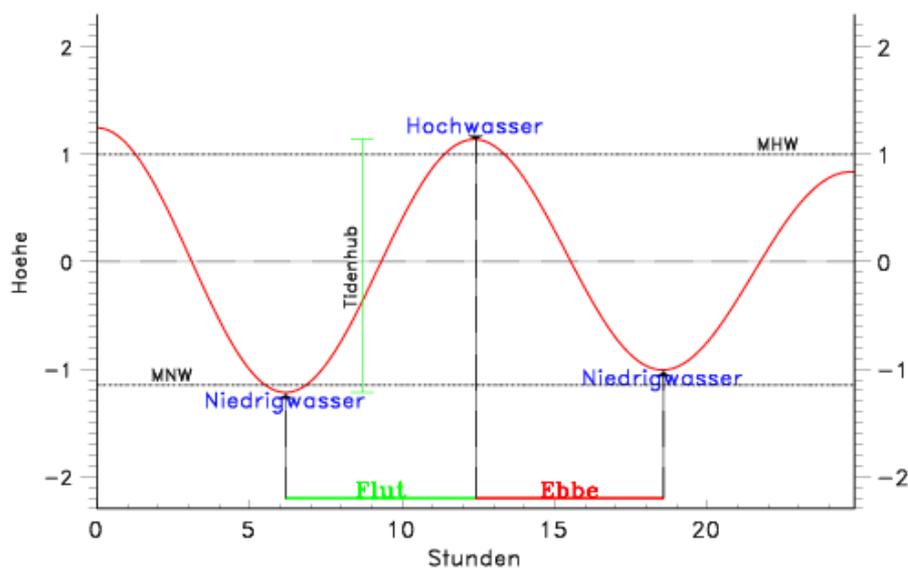


Abbildung 9: Zyklus von Gezeiten /8/

Misst man die Häufigkeiten, mit denen der Meeresspiegel innerhalb bestimmter Höhenintervalle liegt, so ergibt sich die in Abbildung 10 dargestellte Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion.

Verteilung der normierten Gezeiten in Abhängigkeit vom mittleren Hoch- und Niedrigwasser

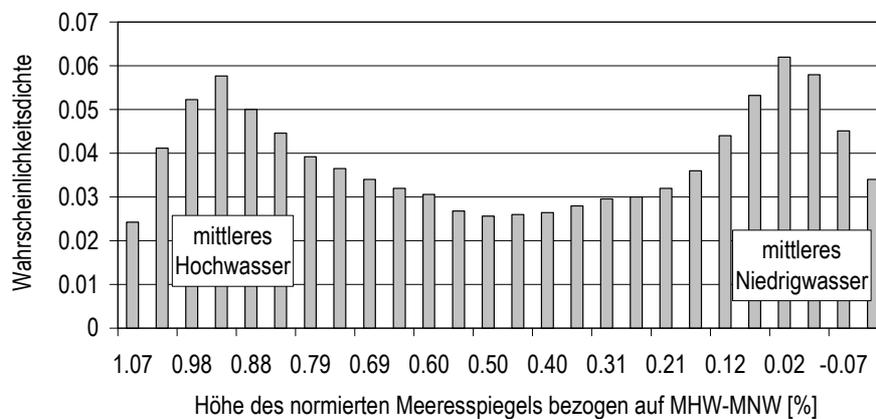


Abbildung 10: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für das Auftreten bestimmter Höhen des Meeresspiegels

4 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 ein Notschlepper mit 200 t Pfahlzug auf Bereitschaftsposition nördlich Norderney, sowie ein Notschlepper mit 130 t Pfahlzug auf Bereitschaftsposition in Den Helder sind als vorhandene Maßnahmen anzusehen /2/. Als zusätzliche Maßnahme kann eine Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung vorgesehen werden, durch die auf Kollisionskurs fahrende Schiffe erkannt, identifiziert und gewarnt werden können und gegebenenfalls Unterstützung gegeben oder veranlasst werden kann.

4.1 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 2: 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

4.2 Verkehrsüberwachung und Seeraumbeobachtung

Eine weitere Verminderung der Risiken kann durch die Einbeziehung einer Seeraumbeobachtung seitens des Betreibers 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, und diese zu warnen sowie gegebenenfalls Navigationshinweise oder Navigationsanweisungen zu 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 Aufwand 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-Auswertungsmethoden 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 der 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 11 die Spur eines über AIS-Auswertung identifizierten Drifters dargestellt.

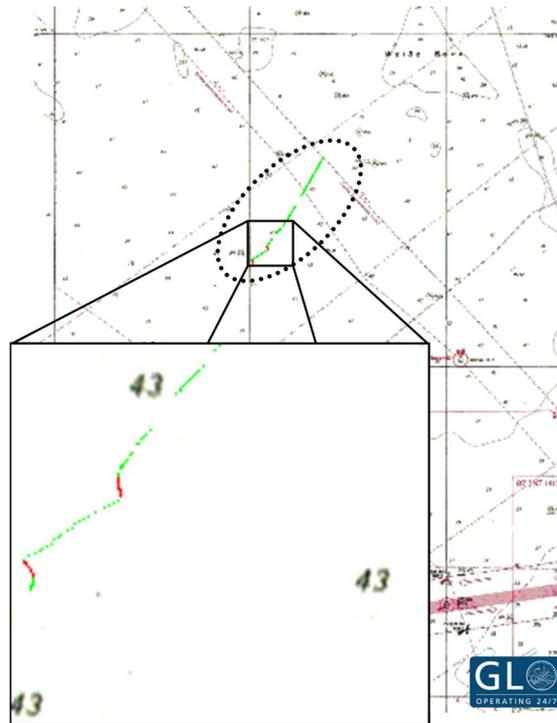


Abbildung 11: Driftweg eines über AIS-Auswertung identifizierten driftenden Schiffes

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 12. 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 der 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 13 dargestellten Ereignisbaum wird bei Berücksichtigung einer AIS- und Radarüberwachung eine Erkennung des manövrierunfähigen Schiffes in 98% aller Fälle errechnet.

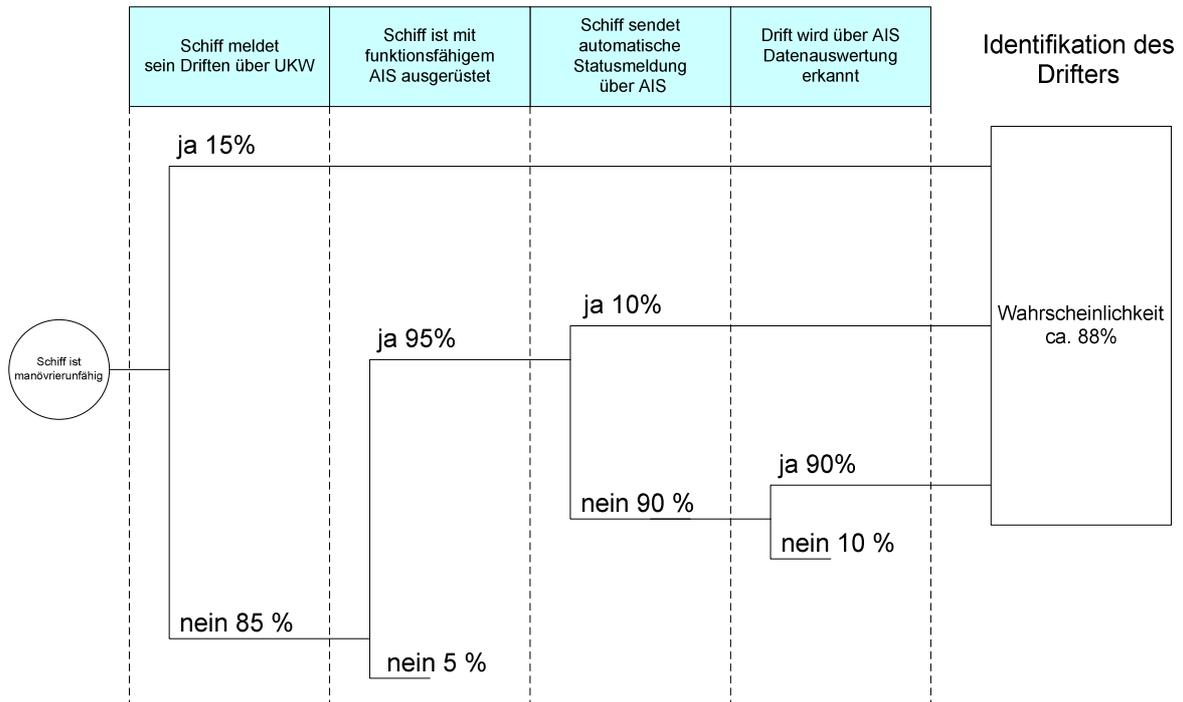


Abbildung 12: Ereignisbaum zur Identifikation driftender Schiffe durch Verkehrsüberwachung über AIS

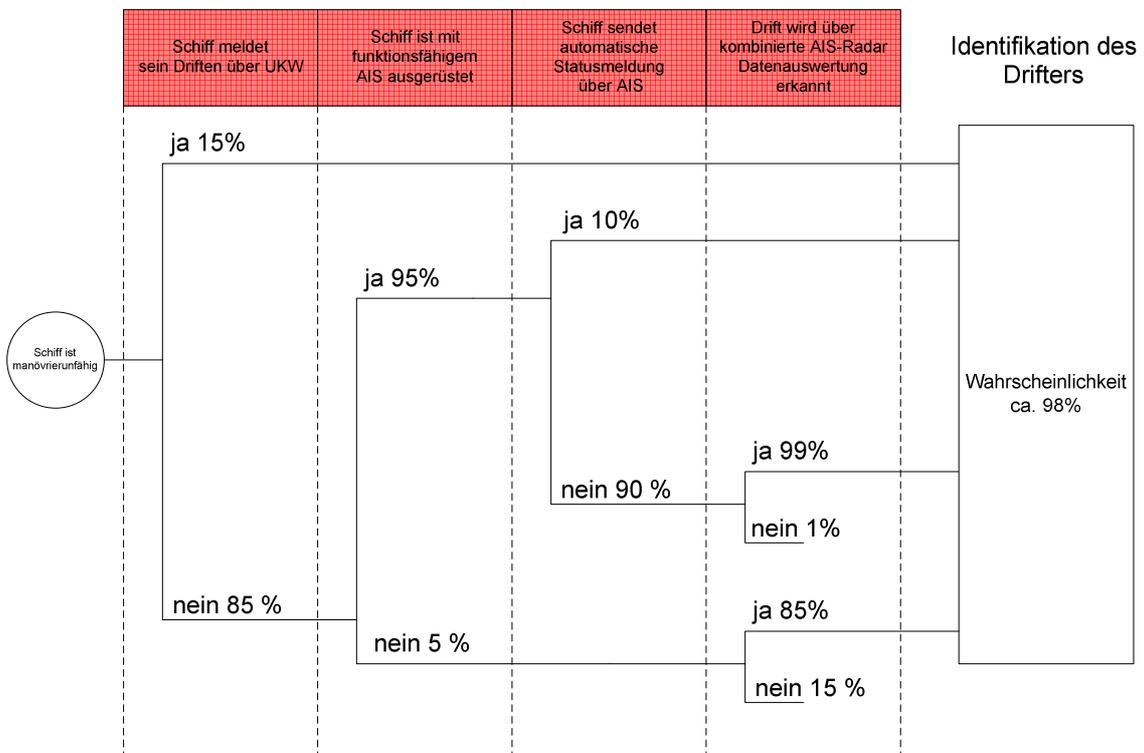


Abbildung 13: Ereignisbaum zur Identifikation driftender Schiffe durch Verkehrsüberwachung über AIS und Radar



Bei Verfolgung der Driftbewegung der erkannten manövrierunfähigen Schiffe sowie einer Kommunikation mit dem driftenden Schiff kann ein Gefährdungspotential durch das jeweilig 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.

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 3 und Tabelle 4 zeigen die Faktoren zur Reduzierung der Kollisionshäufigkeiten, bedingt durch die Wirkung der Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung gemäß den verschiedenen Varianten.

Zusätzlich wird eine Kombination der Varianten 1 und 3 betrachtet, bei der im Seegebiet nördlich des Verkehrstrennungsgebietes German Bight Western Approach die Variante 3 berücksichtigt wird und im übrigen Seegebiet, in welchem die hohen Schiffsverkehre der Verkehrstrennungsgebiete dominieren, die Variante 1 berücksichtigt wird, da hier laut Aussagen der WSD Nordwest für diesen Bereich der Deutschen AWZ eine zusätzliche Radarüberwachung als notwendig angesehen wird.

In Tabelle 5 sind die erforderlichen Ausrüstungen und das erforderliche Personal für eine Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung gemäß Variante 3 näher beschrieben.

Tabelle 3: 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 4: 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 5: 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.

4.3 Berücksichtigte Notfallschleppkapazitäten

Notschlepper werden zum Bergen von manövrierunfähigen Havaristen eingesetzt. Ihr risikomindernder Einfluss kommt daher nur beim Szenario der Kollision von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen des Windparks zur Wirkung. 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.

Der große Nordseeschlepper „Nordic“, seit Anfang 2019 auf der neuen Bereitschaftsposition südlich Helgoland, kann ganzjährig für Notschleppsätze vom Havariekommando oder dem WSA Cuxhaven eingesetzt werden. Er ist in der Regel innerhalb von 0.5 h einsatzklar. Bei diesem Schlepper kann von einer hohen Wahrscheinlichkeit der Bereitschaft von etwa 96% (d.h. an 16 Tagen im Jahr steht hier kein Schlepper zur Verfügung) ausgegangen werden, da er ausschließlich für Schleppmanöver, allerdings vorwiegend zum Küstenschutz, vorgehalten wird. Für den Fall des technischen Ausfalls, des Besatzungswechsels und Bunkerns von Treibstoff wird er adäquat durch andere Schiffe ersetzt. Aus dem Anforderungsprofil für diesen Schlepper ergeben sich folgende Leistungsdaten:

Tabelle 6: Leistungsdaten für den angesetzten Schlepper

Geschwindigkeit:	~19.5 kn
Berücksichtigte Geschwindigkeit (70% V_{max})	14 kn
Pfahlzug:	200 t
Position	Bereitschaftsposition: 5 sm SE'lich Helgoland, zwischen Insel Helgoland und Außenelbe-Reede Sturmposition: in 5-sm-Radius um Pos. 8 sm S'lich Lcht.Tn. „GW/C“
Manövrierfähigkeit:	Wende 360° in unter 2.5 min
Position halten:	Bei 6 Bft quer zum Wind möglich

Zusätzlich besteht die Möglichkeit den niederländischen Notschlepper „Guardian“ (ex „Ievoli Amaranth“) mit 130 t Pfahlzug anzufordern. In den Berechnungen wird konservativ die mögliche

risikomindernde Wirkung der Guardian, sowie der genannten Mehrzweckschiffe „Mellum“ und „Neuwerk“ vernachlässigt.

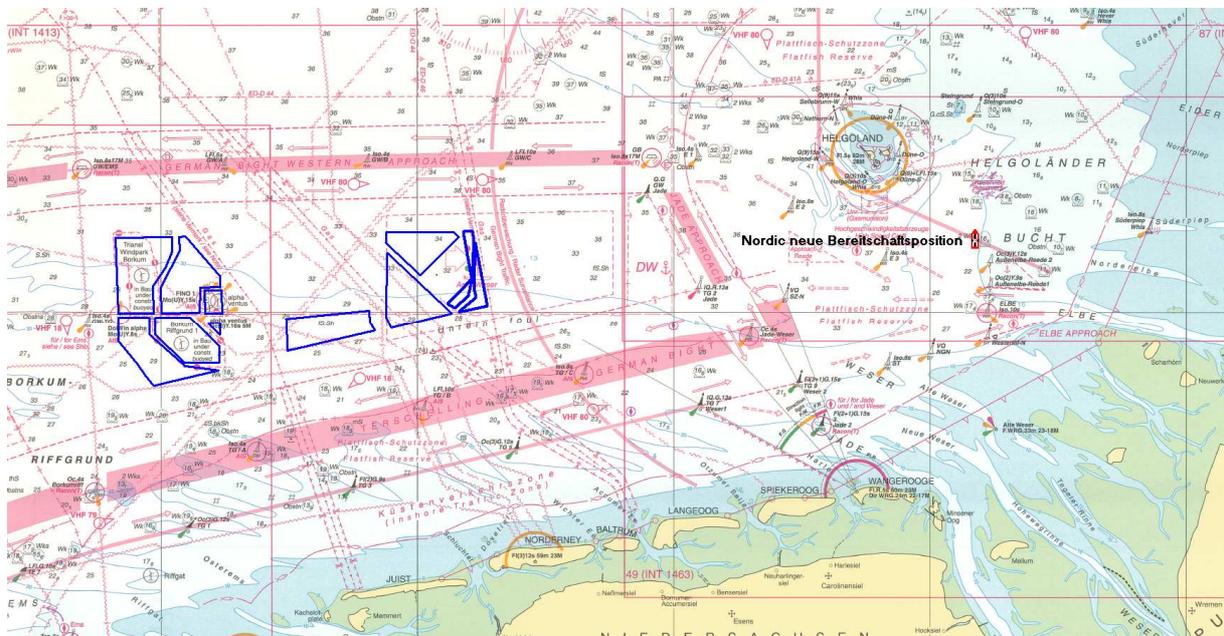


Abbildung 14: Neue Bereitschaftsposition der Nordic

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 nach Hinweisen der GDWS Nordwest für unwahrscheinlich angesehen wird.

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, wurde das von manövrierunfähigen Havaristen ausgehende Kollisionsrisiko unter Berücksichtigung der Wirkung eines Notschleppers entsprechend den Angaben in Anhang A berechnet.

5 KUMULATIVE KOLLISIONSHÄUFIGKEIT

Grundlage für die kumulativen Berechnungen dieses Abschnitts sind die an die Windparks Gode Wind 3, Borkum Riffgrund 1, Borkum Riffgrund 2, Trianel Windpark Borkum, Merkur Offshore, alpha ventus, Nordsee One, Gode Wind 1 und Gode Wind 2 angepassten Routen entsprechend Abbildung 3. In diesem Abschnitt wird das kumulative Kollisionsrisiko mit Installationen der genannten Windparks angegeben.

Im folgenden Abschnitt werden die Kollisionshäufigkeiten ohne risikomindernde Maßnahmen angegeben. Die Gesamtergebnisse der kumulativen Betrachtung mit und ohne risikomindernde Maßnahmen sind im Abschnitt 5.2 zusammengestellt.

5.1 Zwischenergebnisse ohne AIS, Notfallschlepper und Seeraumbeobachtung

Tabelle 7: 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 der Windparks	0.0004	2720
Kollision eines manövrierunfähigen Schiffes mit Installationen der Windparks	0.025	40
Gesamt	0.0254	29

5.2 Kumulatives Gesamtergebnis

Die Ergebnisse der kumulativen Betrachtung der Windparks Gode Wind 3, Borkum Riffgrund 1, Borkum Riffgrund 2, Trianel Windpark Borkum, Merkur Offshore, alpha ventus, Nordsee One, Gode Wind 1 und Gode Wind 2 mit und ohne Berücksichtigung der Wirkung risikomindernder Maßnahmen sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Die Kollisionshäufigkeit für die kumulative Aufstellung von manövrierfähigen und manövrierunfähigen Schiffen ergibt unter Berücksichtigung von AIS, einer automatischen Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 1 (s. Kapitel 4.2) und der vorhandenen Notschleppkapazitäten eine Wiederholffrequenz von 120 Jahren.

Tabelle 8: Kumulative Analyseergebnisse ohne und unter Berücksichtigung der risikomindernden Maßnahmen

Kumulative Betrachtung	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]	
Gode Wind 3, Borkum Riffgrund 1, Borkum Riffgrund 2, Trianel Windpark Borkum, Merkur Offshore, alpha ventus, Nordsee One, Gode Wind 1 und Gode Wind 2	[1/Jahr]	[1/Jahr]	[1/Jahr]	
ohne risikomindernde Maßnahmen (Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung, AIS, Notfallschlepper)	0.0004	0.0250	0.0254	39
mit AIS, ohne Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und ohne Notfallschlepper	0.0003	0.0250	0.0254	40
mit AIS, mit Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 1 und ohne Notfallschlepper	0.0001	0.0227	0.0228	44
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 1 und Notschlepper „Nordic“ (alte Bereitschaftsposition)	0.0001	0.0062	0.0063	159
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 1 und Notschlepper „Nordic“ (neue Bereitschaftsposition)	0.0001	0.0083	0.0083	120

6 RISIKO FÜR DIE KUMULATIVE BETRACHTUNG

In Tabelle 9 sind die statistisch zu erwartenden austretenden Schadstoffmengen ohne und mit Berücksichtigung risikomindernder Maßnahmen für die kumulative Anordnung angegeben. Im Falle einer Kollision, entsprechend der im vorigen Kapitel ermittelten Häufigkeit, ist von höheren Mengen, im Normalfall dagegen von keinerlei Austritten auszugehen. Die ermittelten statistischen Werte stellen somit keine regelmäßig zu erwartenden Mengen von auslaufenden Schadstoffen, sondern eher einen Risikovergleichswert dar.

Tabelle 9: Analyseergebnisse ohne und mit Berücksichtigung der risikomindernden Maßnahmen für die kumulative Betrachtung

Kumulative Betrachtung	Austretende Schadstoffmengen [t/Jahr]
Gode Wind 3, Borkum Riffgrund 1, Borkum Riffgrund 2, Trianel Windpark Borkum, Merkur Offshore, alpha ventus, Nordsee One, Gode Wind 1 und Gode Wind 2	
ohne risikomindernde Maßnahmen (Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung, AIS, Notfallschlepper)	0.84
mit AIS, ohne Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und ohne Notfallschlepper	0.83
mit AIS, mit Verkehrsüberwachung/ Seeraumbeobachtung der Variante 1 und ohne Notfallschlepper	0.75
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 1 und Notschlepper „Nordic“ (neue Bereitschaftsposition)	0.28

Die Ergebnisse der Konsequenzbetrachtung für die kumulative Aufstellung sind wie die der Einzelbetrachtung als gering einzustufen. Aufgrund der kritischen Driftgeschwindigkeit von 2.0 m/s werden bei Kollisionen mit manövrierunfähigen Schiffen annähernd keine Schadstoffaustritte am Schiff ermittelt. Bei geringeren kritischen Driftgeschwindigkeiten würde dieser Anteil der Schadstoffmengen einen größeren Beitrag zum Risiko liefern. Der Hauptanteil der ermittelten austretenden Schadstoffe resultiert aus den möglichen Kollisionen manövrierfähiger Schiffe mit Anlagen der Windparks.

7 RISIKOBEURTEILUNG

In diesem Abschnitt wird die Einstufung des berechneten Risikos in die Risikomatrix des Anhang 1 des BSH-Standards „Standard Konstruktion“ /17/ vorgenommen. Neben der Einstufung des Umweltrisikos werden Einstufungen des Risikos in Bezug auf die Kollisionskonsequenzen Schiff-WEA und Personensicherheit angegeben.

7.1 Umweltauswirkungen

Bei Kollisionen mit driftenden Schiffen ist entsprechend der Annahme eines kollisionsfreundlichen Fundamentes bei einer Driftgeschwindigkeit bis 2 m/s kein Aufreißen der Außenhaut des Schiffes zu erwarten /17/. Höhere Driftgeschwindigkeiten treten äußerst selten auf, da in der Regel Driftgeschwindigkeiten kleiner 4 kn festgestellt werden. Nur bei äußerst ungünstigen Verhältnissen muss eventuell mit leicht höheren Driftgeschwindigkeiten und somit mit der Möglichkeit des Aufreißens der Schiffshülle gerechnet werden. Hinzu kommen Kollisionen manövrierfähiger Schiffe, bei denen ebenfalls in ungünstigen Konstellationen mit einem Aufreißen der Schiffshülle im Tankbereich gerechnet werden muss. Insgesamt kann die Einstufung der Häufigkeit eines Ölaustritts aus einem Schiff bei Berücksichtigung der in der Risikoanalyse angegebenen risikomindernden Maßnahmen in die Häufigkeitsklasse „äußerst selten“ vorgenommen werden. Die beschriebenen Szenarien mit einem Ölaustritt aus dem Schiff können in die Konsequenzklassen „beträchtlich“ bis „schwerwiegend“ und somit in der Risikomatrix mit einer akzeptablen Risikoprioritätszahl (RPZ) von 2 bis 3 eingestuft werden.

Ein gleiches Bild (RPZ = 2 bis 3) liefert die Auswertung der FN-Diagramme. Die FN-Diagramme stellen den Zusammenhang zwischen Schadstoffaustrittsmengen und Häufigkeiten her und liefern somit die notwendigen Informationen für eine Einstufung des Risikos in die Risikoprioritätszahlen (RPZ). In Abbildung 15 ist das FN-Diagramm mit der zugehörigen RPZ dargestellt. Als risikomindernde Maßnahmen sind in dem Diagramm die Installation von AIS-Geräten an den Windparkinstallationen, eine Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 1 sowie der 200 t Notschleppers („Nordic“) auf der neuen Bereitschaftsposition südlich Helgoland berücksichtigt. Für die Abgrenzung der einzelnen Konsequenzklassen der Anlage 1 des BSH-Standards wurden folgende Einstufungen anhand der austretenden Schadstoffe vorgenommen.

Konsequenzklasse	Freigesetzte Schadstoffmenge in t _{Öl}
Unbedeutend	1 bis 50 t _{Öl}
Beträchtlich	50 bis 1.000 t _{Öl}
Schwerwiegend	1.000 bis 40.000 t _{Öl}
Katastrophal	Mehr als 40.000 t _{Öl}

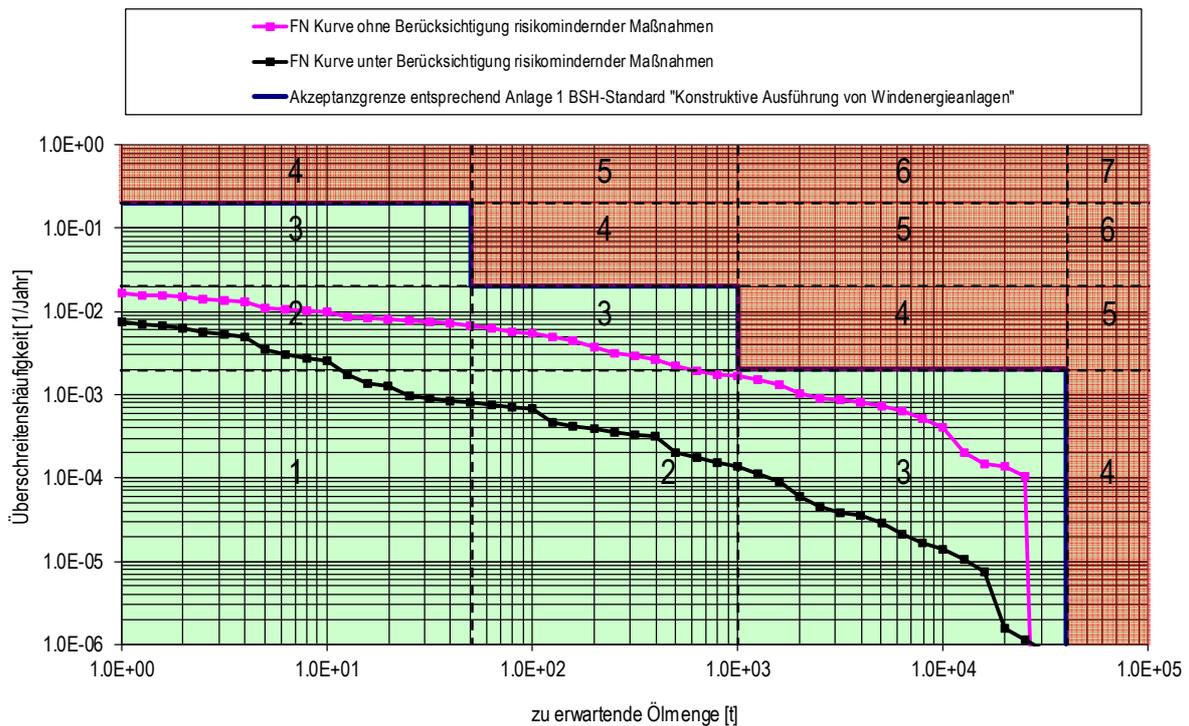


Abbildung 15: Einstufung des Risikos anhand des FN-Diagramms für die kumulative Betrachtung

Eine Auswertung der im FN-Diagramm dargestellten Kurven liefert für die kumulative Betrachtung folgende Kollisionshäufigkeitswerte, bei denen gewisse Ölmenge überschritten werden (Tabelle 10).

Tabelle 10: Einstufungen der Konsequenzen anhand der austretenden Schadstoffe für die kumulative Betrachtung

Konsequenz- klasse Umwelt	Ölmenge [t]	Überschreitenshäufigkeit [1/Jahr] (Wiederholperiode in Jahren)	
		ohne Berücksichtigung risikomindernde Maßnahmen	mit Berücksichtigung risikomindernder Maßnahmen
unbedeutend	≥ 1 t	0.025 (39 Jahre)	0.008 (120 Jahre)
beträchtlich	≥ 50 t	0.004 (256 Jahre)	0.0012 (798 Jahre)
schwerwiegend	≥ 1000 t	3.32E-05 (30088 Jahre)	8.85E-06 (112972 Jahre)

7.2 Kollisionskonsequenzen Schiff-WEA

Die berechneten Kollisionshäufigkeiten von Schiffen mit Installationen des betrachteten Offshore-Windparks Gode Wind 3 beziehen sich auf alle möglichen Kollisionsfälle. Die Ergebnisse unter Berücksichtigung der risikomindernden Maßnahmen sind in die Kategorie „äußerst selten“ ($10^{-3} \geq H$) einzustufen. Bei einer Kollision eines Seeschiffes mit einer WEA wird diese in der Regel beschädigt oder zerstört, so dass diese nicht weiter betrieben werden kann. Eine derartige Beschädigung kann bereits bei Kollisionen mit Driftgeschwindigkeiten kleiner 2,0 m/s auftreten. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine Zerstörung der WEA nicht in allen berechneten Kollisionsfällen eintritt. Die zu erwartenden Konsequenzen sind in die Konsequenzklassen „beträchtlich“ bis „schwerwiegend“ einzustufen. Somit kann eine RPZ für die Risiken im Bereich der WEA mit 2 bis 3 berechnet werden.

Eine Einstufung der Risiken in Bezug auf Kollisionskonsequenzen im Bereich der Anlagen der kumulativ betrachteten Windparks wurde an dieser Stelle nicht vorgenommen, da diese nach Auffassung des DNV GL einzeln für jeden Windpark vorgenommen werden sollten.

7.3 Personensicherheit

Die Sicherheit von beteiligten Personen wurde in dieser Risikoanalyse nicht explizit betrachtet. Jedoch können die Gefährdung aus früheren Arbeiten des Germanischen Lloyd abgeleitet werden, in denen eine Gefahrenanalyse für Offshore-Windparks vorgenommen wurde. In dieser Gefahrenanalyse wurden mögliche Personenschäden der Kategorie „schwerwiegend“ in die Kategorien „äußerst selten“ und somit in die RPZ 3 eingestuft.

8 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. 2182 „Klima und Wetter in der Nordsee“; Hamburg, 1994.
- /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/ "Verkehrsstatisik der Deutschen Bucht"; Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest; 2009, 2010, 2011, 2012, 2013
- /16/ Hydrographic Office; „Admiralty Tidal Stream Atlas – north sea eastern part“; Taunton; Edition 2 2004
- /17/ Standard „Standard Konstruktion“, BSH- Nr: 7005, BSH 2015



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 befinden.

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).

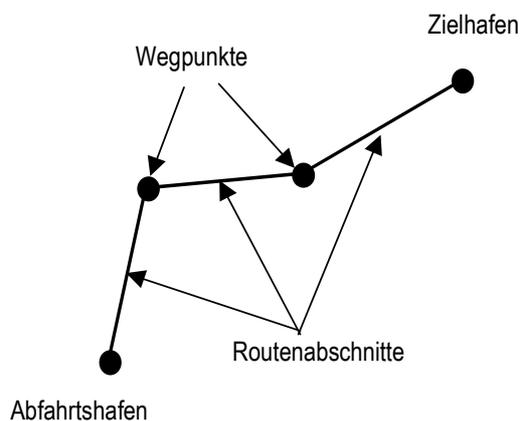


Abbildung A-1: Zusammenhang von Schiffsrouten, Routenabschnitt und Wegpunkten

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 Schiffsführung 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.

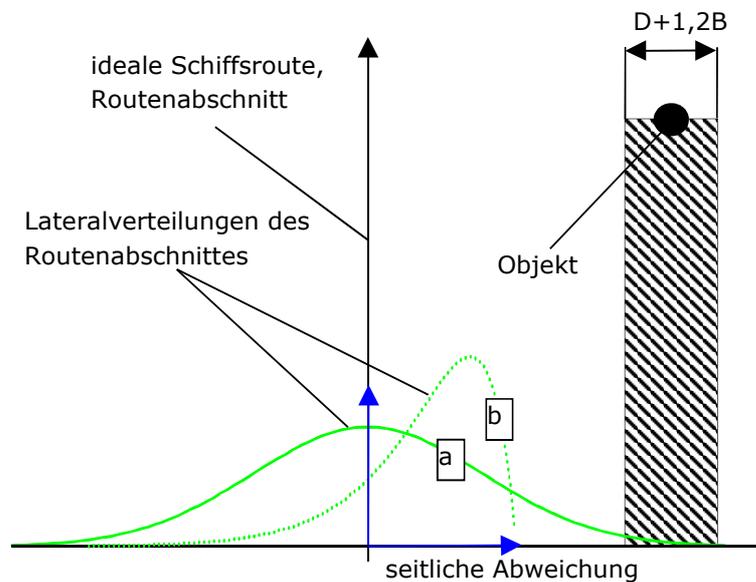


Abbildung A-2: Lateralverteilungen für den Schiffsverkehr

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 ein 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

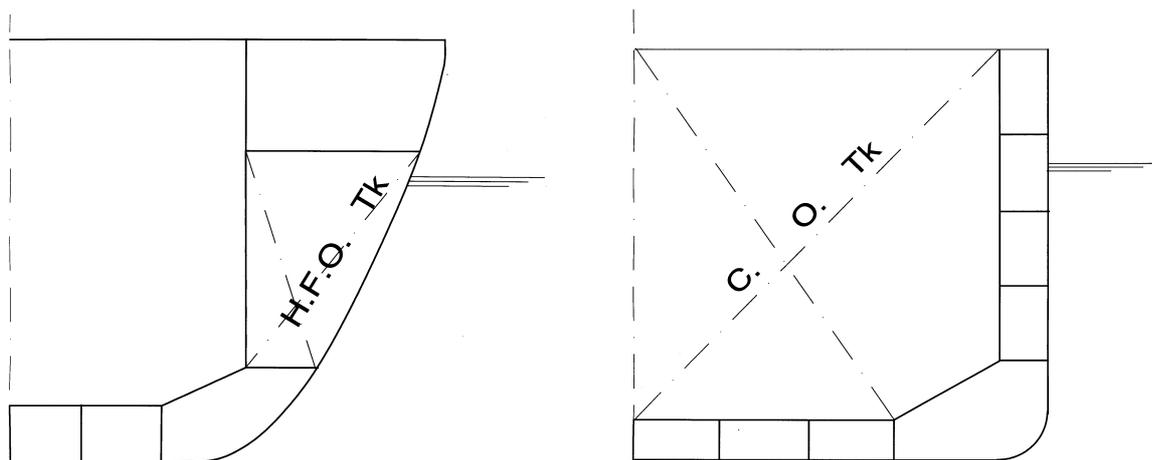
Je nach Ablauf einer Kollision eines Schiffes mit einer Installation eines Windparks sind unterschiedliche Konsequenzen zu erwarten.

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.

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

In Gleichung (A-3) ist $P_{SE,Br}$ - die Wahrscheinlichkeit, dass bei der Kollision ein Brennstofftank getroffen wird, $M_{Br,s,t}$ - die freigesetzte Brennstoffmenge für ein Schiff der Größenklasse s und des Typs t , $P_{SE,La}$ - die Wahrscheinlichkeit, dass bei einer Kollision ein Ladetank getroffen wird, $M_{La,s,Tanker}$ - die freigesetzte Ladeölmenge für einen Tanker der Größenklasse s , P_s - die Auftretenswahrscheinlichkeit der Schiffsgrößenklasse s und P_t die Auftretenswahrscheinlichkeit des Schiffstyps t , $P_{WEA,Typ,I}$ 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 Kollisionsstelle 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 $P_{SE,Br} = 0.0375$.

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

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

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

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 Ladöltanks 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.

$$R_{\ddot{O}l,k} = n_{coll,pow,k} \cdot \bar{M}_{\ddot{O}l,pow,k} \quad \text{für jeden Routenabschnitt k} \quad (A-7)$$

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.

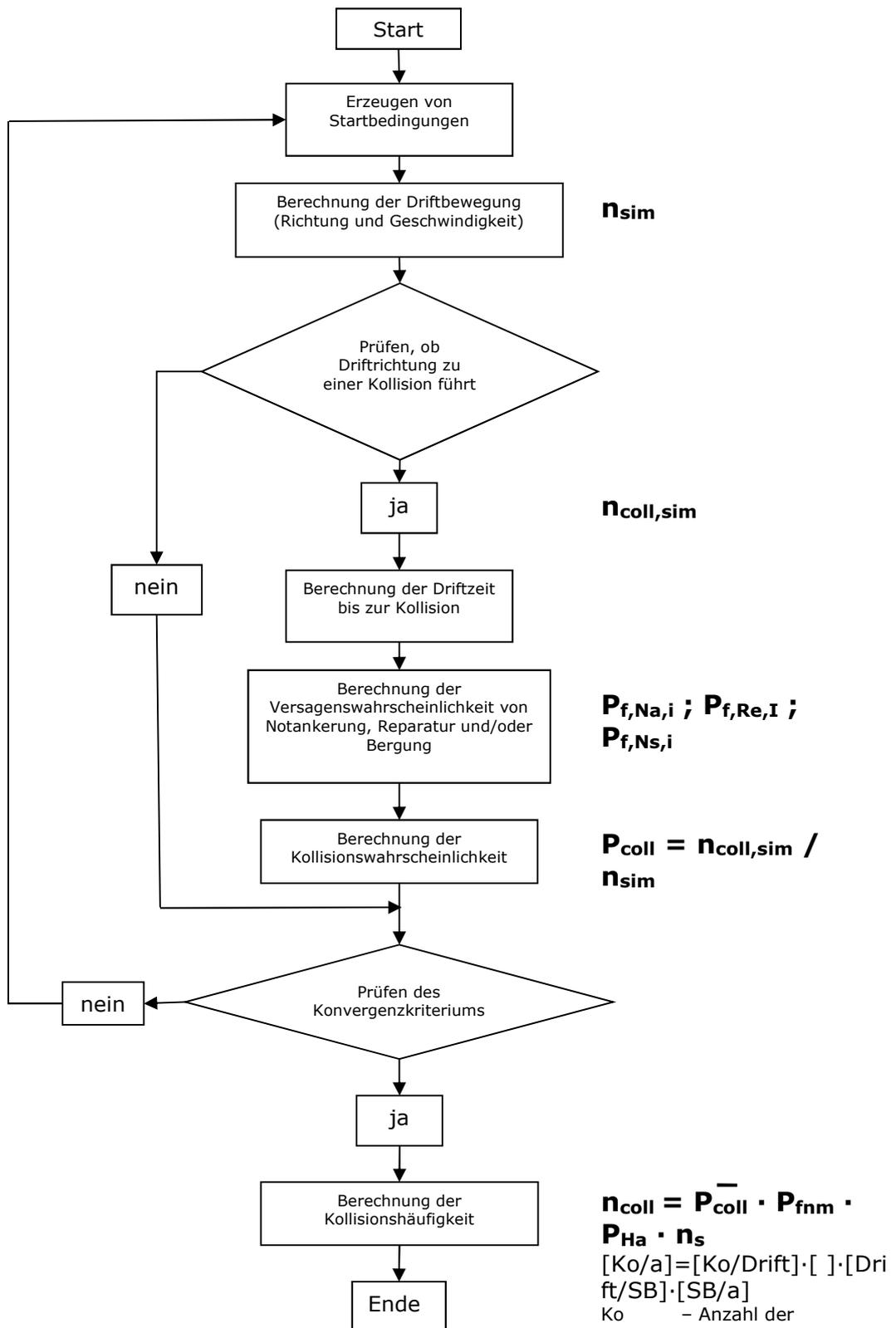


Abbildung A-4: Schematische Darstellung des Ablaufs der Monte-Carlo Simulation

- *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°.

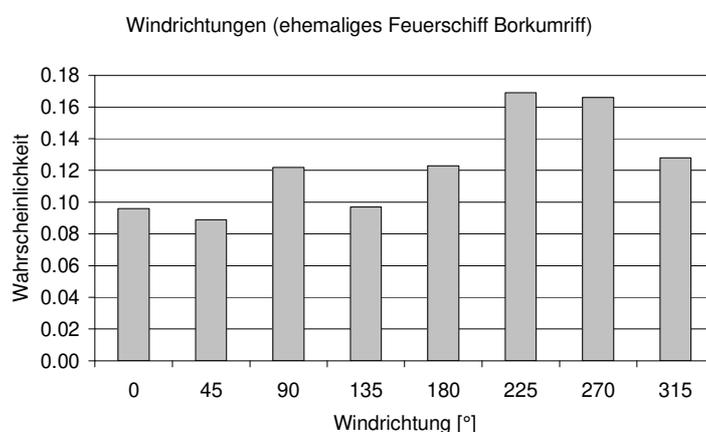


Abbildung A-5: Beispiel einer Zufallsvariable (Windrichtung)

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

- 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.

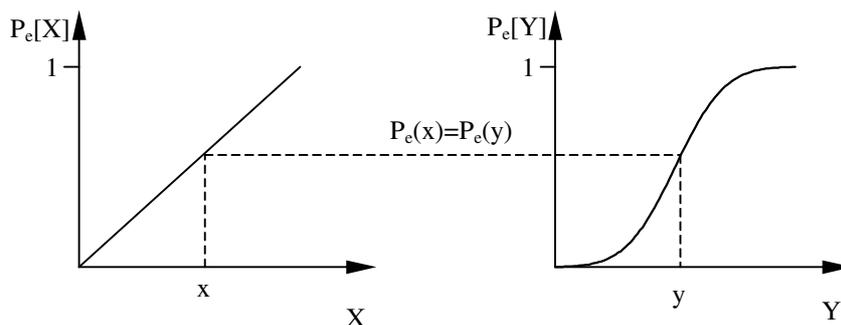


Abbildung A-6: Transformation gleichverteilter Zufallszahlen

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.

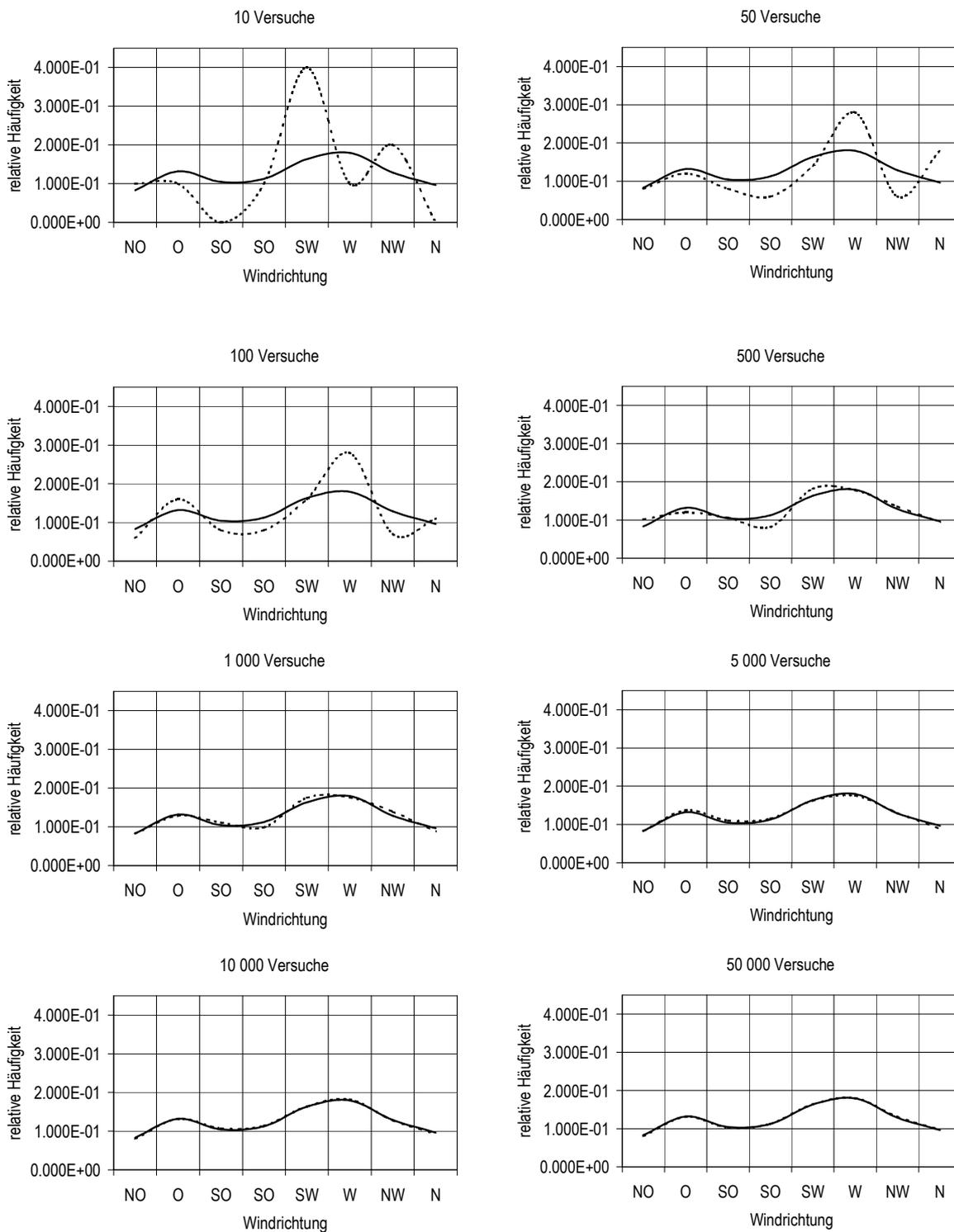


Abbildung A-7: Konvergenz der simulierten Windrichtungen mit steigender Zahl von Versuchen

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.

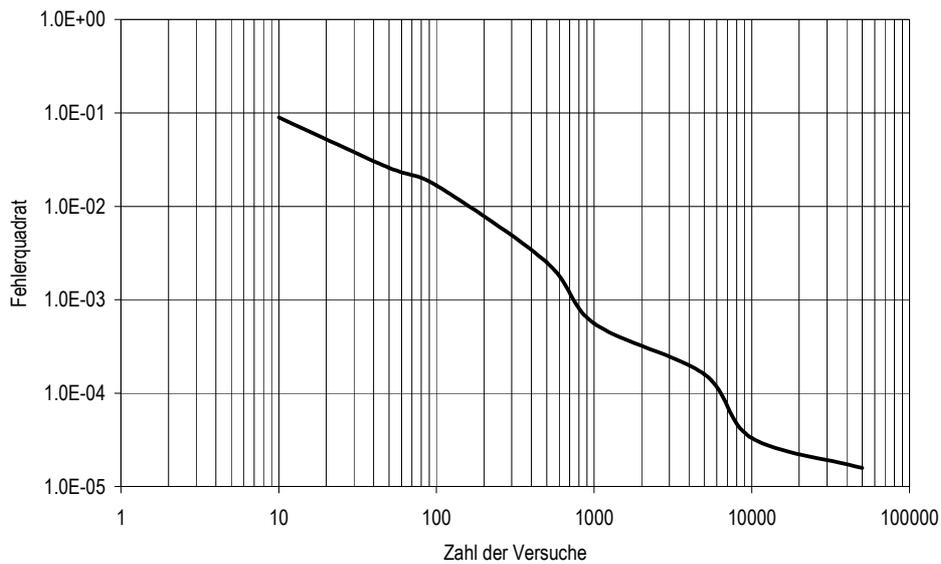


Abbildung A-8: Quantitative Beschreibung des Konvergenzverhaltens der berechneten Startbedingungen

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.

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

In Gleichung (A-9) ist $c_{d,Win,90} = 0.855$ - der Widerstandsbeiwert des Überwasserschiffes, $\rho_{Air} = 1.3 \text{ kg/m}^3$ - die Dichte von Luft, v_{Wi} - die Windgeschwindigkeit, $A_{l,Win}$ - die Lateralfäche des Überwasserschiffes und v_S - die Geschwindigkeit des Schiffes über Grund. Die Lateralfäche $A_{l,Win}$ 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.

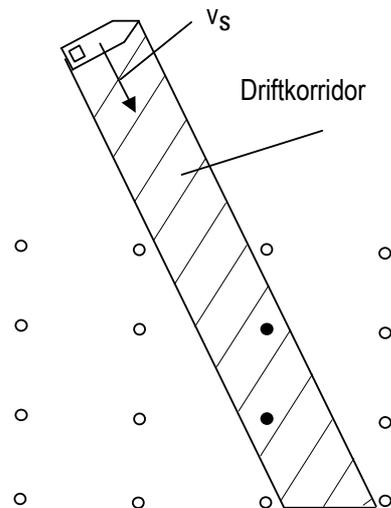


Abbildung A-9: Driftkorridor eines manövrierunfähigen Schiffes (nicht maßstäblich)

- *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/.

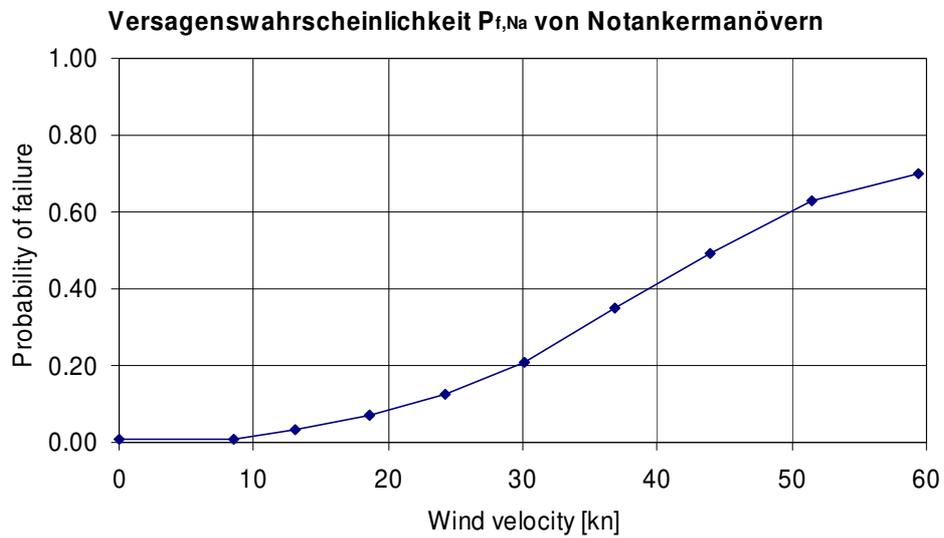


Abbildung A-10: Risikomindernde Wirkung von Notankerung

- 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.

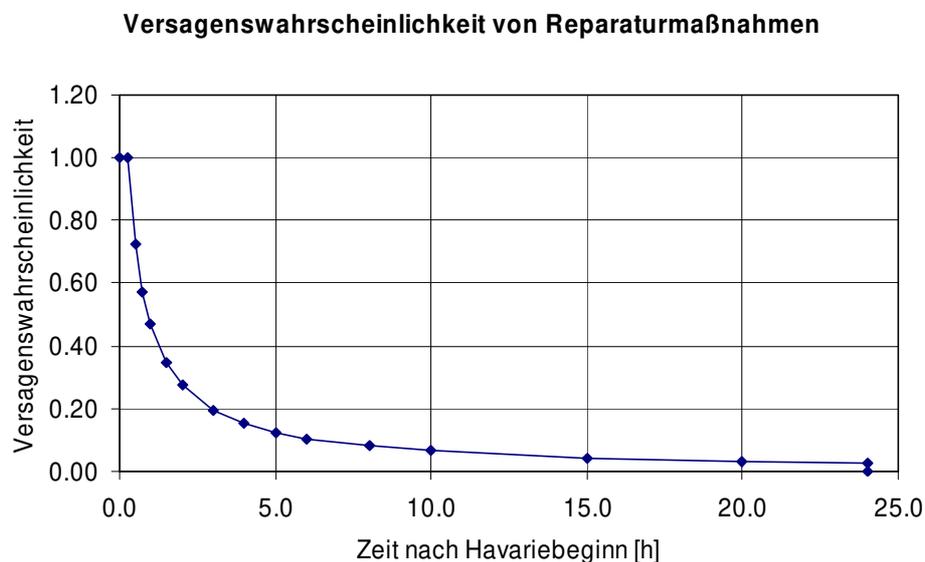


Abbildung A-11: Berücksichtigung von Reparaturmaßnahmen in der Monte-Carlo Simulation

- 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.

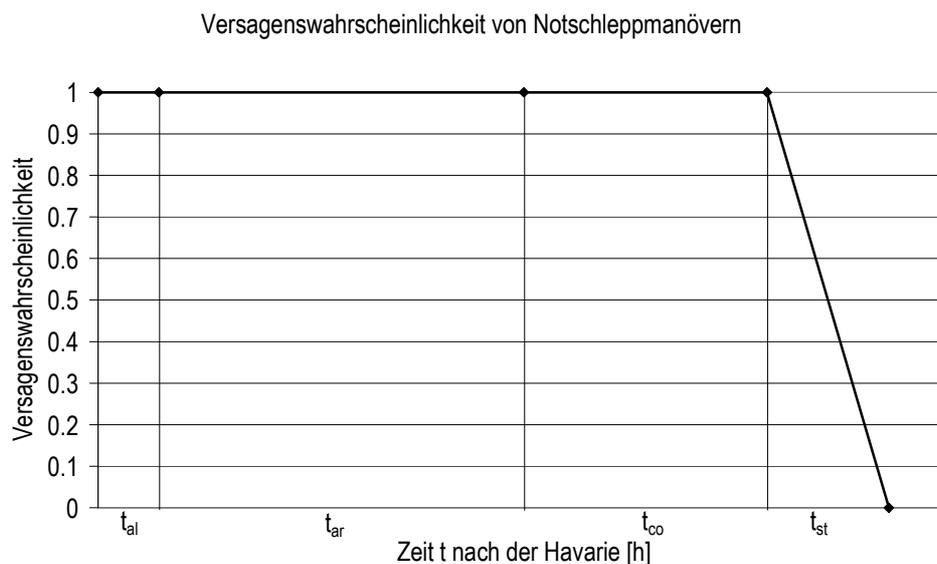


Abbildung A-12: Berücksichtigung von Bergungseinsätzen in der Monte-Carlo Simulation

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 bei, die Zeit bis zur Entscheidung, ob Bergungsschlepper eingesetzt werden sollen und die Mobilisierung der Schlepper und deren Besatzung. Diese Zeitspanne variiert für die einzelnen Notschlepper. Die "Oceanic" (bzw. dessen Nachfolger) steht permanent für Notschleppeinsätze zur Verfügung und benötigt somit nur eine geringe Zeitspanne, um zu beginnen, in Richtung Einsatzgebiet zu fahren. Die "Neuwerk" und die "Mellum" benötigen gegebenenfalls längere Zeit, um sich zum Havaristen in Marsch zu setzen, sofern sie gerade mit anderen Aufgaben (Tonnenlegen, Messungen, etc.) beauftragt sind. Im Mittel kann von einer 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 Vorausschwindigkeit 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 ist 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 ° zur Driftrichtung ergibt, siehe Abbildung A-13.

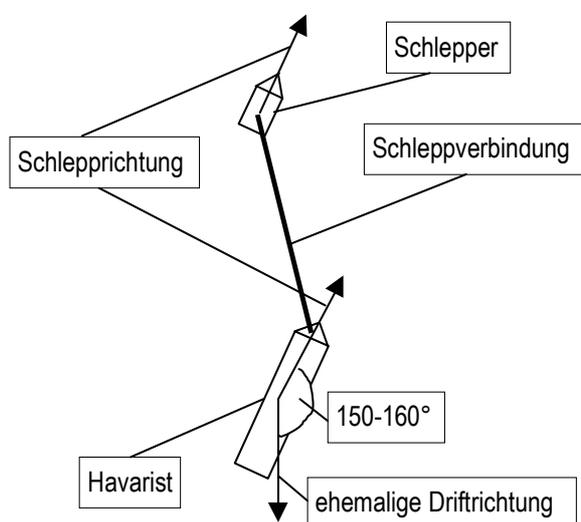


Abbildung A-13: Annahme zur Lage von Havarist und Schlepper bei Schleppmanövern

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.

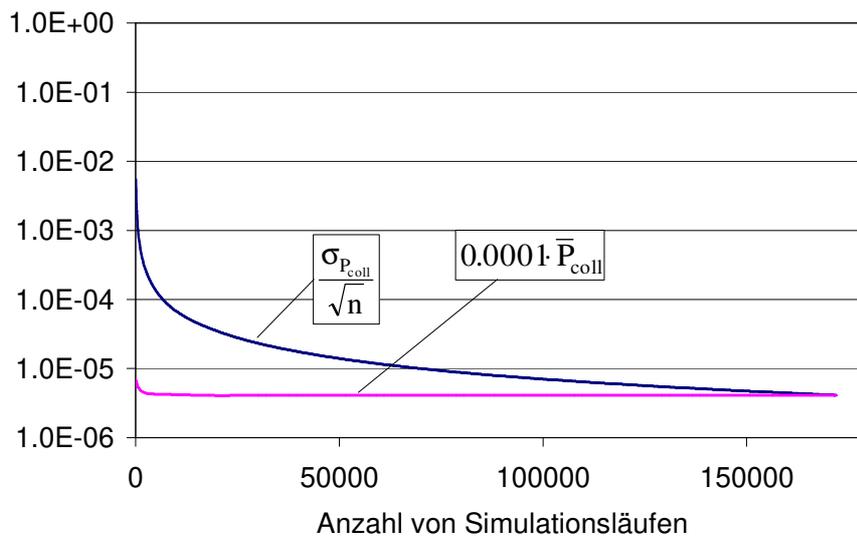


Abbildung A-14: Konvergenz der Kollisionswahrscheinlichkeit innerhalb der Monte-Carlo Simulation

- *Berechnung der Kollisionshäufigkeit*

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

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

In Gleichung (A-17) ist \bar{P}_{fnm} 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}_{fnm} für alle Simulationsläufe zusammengefasst.

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

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

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

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
Chemikalientanker	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 zur Folge hat. 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.

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

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 $M_{\text{La,dis},s,\text{Tanker}}$ 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.

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

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.