

OFFSHORE-WINDPARK GENNAKER

Technische Risikoanalyse

OWP Gennaker GmbH

Berichtsnr.: M-DH-E 2024.031, Rev. 1.0

Datum: 24.04.2024



Projektname: Offshore-Windpark Gennaker
 Berichtstitel: Technische Risikoanalyse
 Kunde: OWP Gennaker GmbH
 Stephanitorsbollwerk 3 (Haus
 LUV), 28217 Bremen
 Kontaktperson: Frau Falldorf
 Datum: 24.04.2024
 Projektnr.: 10484981
 Org-Einheit: Safety, Systems Engineering
 Berichtsnr.: M-DH-E 2024.031, Rev. 1.0

DNV SE
 Maritime Advisory
 Postfach 11 16 06
 20416 Hamburg
 Brooktorkai 18
 20457 Hamburg
 Tel.: +49 40 36149-552
 Fax: +49 40 36149-200
 HRB 115442

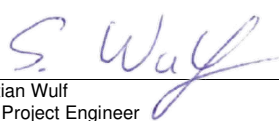
Inhalt:

In dieser technischen Risikoanalyse wird das kumulative Kollisionsrisiko für den Offshore-Windpark Gennaker zusammen mit geplanten benachbarten Offshore-Windparks im Umkreis von 20 Seemeilen ermittelt. 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 der Variante 3 und zwei Notschleppern eine durchschnittliche statistische Wiederholperiode zwischen zwei Kollisionen von 135 Jahren ergeben. Es wurden 0.19 t/Jahr an austretenden Schadstoffen ermittelt.

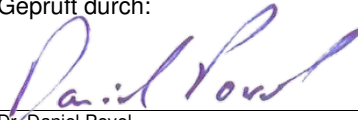
Eine Einstufung des berechneten Risikos in die Risikoprioritätszahl (RPZ) nach dem BSH-Standard „Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen“ ergab ein Risiko mit einer RPZ von 2 bis 3.

Erstellt von:



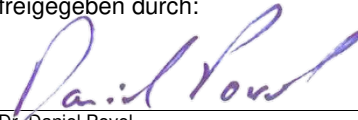
Sebastian Wulf
Senior Project Engineer

Geprüft durch:



Dr. Daniel Povel
Team Leader Risk Assessment

freigegeben durch:



Dr. Daniel Povel
Team Leader Risk Assessment

Copyright © DNV 2024. Alle Rechte vorbehalten. Sofern nicht anders schriftlich vereinbart: (i) Diese Publikation oder Teile davon dürfen nicht in irgendeiner Form oder mit irgendwelchen Mitteln, weder digital noch anderweitig, kopiert, reproduziert oder übertragen werden; (ii) Der Inhalt dieser Publikation ist vom Kunden vertraulich zu behandeln; (iii) kein Dritter darf sich auf ihren Inhalt verlassen; und (iv) DNV übernimmt keine Sorgfaltspflicht gegenüber Dritten. Ein Verweis auf einen Teil dieser Publikation, der zu Fehlinterpretationen führen kann, ist untersagt.

DNV Verteiler:

Schlüsselworte:

- ☒ OFFEN. Unbeschränkte Verteilung, intern und extern
☐ ausschließlich INTERNE Verwendung. Internes DNV Dokument
☐ VERTRAULICH. Beschränkte /unbeschränkte Verteilung innerhalb von DNV und Vertragsparteien, wie erforderlich Distribution within DNV according to applicable contract.
☐ STRENG VERTRAULICH. Nur autorisierter Zugriff.

Referenznr	Datum	Grund der Ausstellung	Erstellt von	Geprüft durch	freigegeben durch
Rev. 0.9	16.02.2024	First Draft	Sebastian Wulf	Dr. Daniel Povel	
Rev. 0.99	19.04.2024	Minor corrections	Sebastian Wulf	Dr. Daniel Povel	
Rev. 1.0	24.04.2024	First Issue	Sebastian Wulf	Dr. Daniel Povel	Dr. Daniel Povel

Hinweis: DNV Maritime Advisory liefert seine Dienstleistungen unabhängig und autonom von einer eventuellen Klassifikation / Zertifizierung durch andere organisatorische Einheiten innerhalb DNV. Zur Sicherstellung der Unabhängigkeit befindet sich DNV Maritime Advisory in einer separaten Berichtslinie. Im Falle einer Klassifikation / Zertifizierung durch DNV kann die hierfür zuständige Einheit daher unabhängig eine eigene Einschätzung vornehmen als Maritime Advisory. Dieses Grundprinzip ist in unsrem nach ISO 9001 zertifizierten Management System definiert.

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
2	EINLEITUNG.....	2
3	BERECHNUNGSGRUNDLAGEN	2
3.1	Harmonisierte Annahmen	3
3.2	Aufstellmuster der kumulativen Betrachtung	4
3.3	Schiffsrouten	6
3.4	Beschreibung von Klima, Wetter und Hydrologie	8
4	RISIKOMINDERNDE MAßNAHMEN	12
4.1	Automatic Identification System (AIS)	12
4.2	Verkehrsüberwachung und Seeraumbeobachtung	13
4.3	Berücksichtigte Notfallschleppkapazitäten	19
5	KUMULATIVE KOLLISIONSHÄUFIGKEIT	21
5.1	Kollisionshäufigkeiten ohne risikomindernde Maßnahmen	21
5.2	Zwischenergebnisse ohne AIS, Notfallschlepper und Seeraumbeobachtung	24
5.3	Kumulatives Gesamtergebnis	25
6	SCHLEPPERWIRKSAMKEIT	26
7	KOLLISIONSRISIKO FÜR DEN OFFSHORE-WINDPARK GENNAKER.....	27
7.1	Risiko für die kumulative Betrachtung	28
8	RISIKOBEURTEILUNG.....	31
8.1	Umweltauswirkungen	31
8.2	Kollisionskonsequenzen Schiff-OWEA	33
8.3	Personensicherheit	33
9	LITERATUR	34
	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	11
A.4	Literatur zum Anhang A	29

1 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Bericht sind die Ergebnisse der quantitativen Risikoanalyse für den Offshore-Windpark Gennaker zusammengefasst. Zu Grunde liegt der Planungsstand Januar 2024. Hierzu wurde das kumulative Kollisionsrisiko für den Offshore-Windpark Gennaker zusammen mit den geplanten Offshore-Windparks im Umkreis von 20 Seemeilen ermittelt. 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 der Variante 3 und zwei Notschleppern hat eine durchschnittliche statistische Wiederholperiode zwischen zwei Kollisionen von 135 Jahren ergeben. Es wurden durchschnittlich 0.19 t/Jahr an austretenden Schadstoffmengen ermittelt. Unter Berücksichtigung einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 1 konnte für dieses Szenario eine durchschnittliche statistische Wiederholperiode zwischen zwei Kollisionen von 156 Jahren ermittelt werden.

Weitere Ergebnisse unter Berücksichtigung unterschiedlicher Kombinationen der risikomindernden Maßnahmen sind in Tabelle 1 angegeben.

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

Tabelle 1: Ermittelte kumulative Kollisionswiederholperioden

Kumulative Betrachtung für den Offshore-Windpark Gennaker inklusive Offshore-Bebauungen in 20 sm Radius	durchschnittliche statistische Kollisionswiederholperiode für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe
unter Berücksichtigung der Wirkung von AIS-Geräten am Windpark	48 Jahre
unter Berücksichtigung der Wirkung von AIS-Geräten am Windpark und einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3	63 Jahre
unter Berücksichtigung der Wirkung von AIS-Geräten am Windpark, vorhandener Notschleppkapazitäten und einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3	135 Jahre
Hauptergebnis der kumulativen Betrachtung unter Berücksichtigung der Wirkung von AIS-Geräten am Windpark, vorhandener Notschleppkapazitäten und einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 1	156 Jahre

Diese Analyse stellt eine Neubetrachtung der vorherigen Analyse und Untersuchungen für den OWP Gennaker dar (/19/ und /20/). Hauptsächlich sind folgende Paramater zu erwähnen, die den größten Einfluss auf die Ergebnisse und Änderungen haben:

- Erweiterte Kumulativbetrachtung (Beschreibung in Kapitel 3.2.), insbesondere auch im Dänischen Bereich mit unsicheren Windparkplanungen.
- Aktualisiertes Aufstellmuster des OWP Gennaker
- Aktualisierte Verkehrsauswertung (Kapitel 3.3)
- Aktualisierte Notschleppkapazitäten (Kapitel 4.3)

2 EINLEITUNG

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

Dieser Bericht gliedert sich in acht 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. In Abschnitt 5 wird die kumulative Wirkung des Offshore-Windparks Gennaker und der umliegenden Windparks untersucht. In Abschnitt 6 wird die Schlepperwirksamkeit aus den vorangegangenen Berechnungsergebnissen ermittelt. Die Konsequenzanalyse bezüglich der austretenden Schadstoffmengen für die kumulative Betrachtung findet in Abschnitt 7 statt. In Abschnitt 8 wird eine Einstufung der ermittelten Risiken anhand des Anhang 1 des BSH Standards „Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen“ 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 Driftmodell verwendet, das die Strömung in der Ostsee in Abhängigkeit des Windes berücksichtigt. Zusätzlich wird die Bergung durch Notschleppkapazitäten innerhalb der Windparkfläche lediglich bis zu einer Windstärke von 4 Bft berücksichtigt, da eine erfolgreiche Bergung innerhalb der Windparkfläche bei höheren Windgeschwindigkeiten für unwahrscheinlich angesehen wird.

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 kumulativen Betrachtung

Entsprechend den harmonisierten Annahmen und den Vorgaben sind die bebauten und planungsrechtlich verfestigten benachbarten Offshore-Windparks in einem Radius von 20 Seemeilen für die kumulative Betrachtung zu berücksichtigen.

In Abbildung 1 sind die in dieser Analyse berücksichtigten Aufstellmuster des Offshore-Windparks Gennaker, der umliegenden Offshore-Windparks sowie Windparkplanungen dargestellt. Es handelt sich hierbei um:

- EnBW Baltic 1 (in Betrieb).
- Kriegers Flak (DK, in Betrieb). Hier liegt lediglich der auch räumlich abgegrenzte westliche Teil des Offshore-Windparks innerhalb des 20-Seemeilen Radius um den Offshore-Windpark Gennaker, so dass nur dieser Teil in der Kumulativbetrachtung berücksichtigt wird. Es handelt sich dabei um die in Abbildung 1 dargestellten 24 Anlagen von Kriegers Flak.
- Danish Kriegers Flak II (DK, frühe Planung), noch keine Genehmigung, Realisierungszeitpunkt unbekannt. Die Fläche des OWP befindet sich weder in einem Ausschreibungs- noch in einem Genehmigungsverfahren. Die Berücksichtigung stellt zum jetzigen Zeitpunkt einen konservativen Ansatz dar, der eine Maximalkulisse dieser ungewissen Planung zugrunde legt
- Weiterhin werden Umspannwerke und Konverterstationen sowie der MARNET-Messmast berücksichtigt. Die Umspannwerke für den OWP Gennaker wurden in Hinblick auf den Einfluss auf das kumulative Kollisionsrisiko berücksichtigt, sie stellen aber keinen Antragsgegenstand dar, da für diese Stationen bereits eine Genehmigung vorliegt.

Nicht berücksichtigt wurden:

- Kadetbanke (DK). Es handelt sich um eine frühe Planung dessen Machbarkeit noch nicht geprüft bzw. bestätigt wurde. Es liegt demnach keine Genehmigung vor. Diese Fläche hätte im Falle einer Realisierung aufgrund ihrer Lage nahe der Kadetrinne und anderen kreuzenden Verkehren einen relativ großen negativen Einfluss auf die zu statistisch zu erwartenden Kollisionshäufigkeiten in diesem Bereich.
- Vorbehaltsgebiet für Windenergie auf See "Hiddensee" gem. Landesraumentwicklungsprogramm Mecklenburg-Vorpommern 2016. Ein vor dem Zulassungsverfahren erforderliches Raumordnungsverfahren ist noch nicht gestartet. Es liegt keine Genehmigung vor.

Als kollisionsrelevanter Durchmesser der OWEA-Fundamente des hier betrachteten Windparks Gennaker wurden 9,0 m angesetzt. Für die berücksichtigte Planung von Danish Kriegers Flak II sind aufgrund der unzureichenden Datengrundlage die Aufstellmuster generisch angenommen worden. Hier wurden konservativ ebenfalls kollisionsrelevante Durchmesser der OWEA-Fundamente von 9,0 m und damit eine relativ große Anlage berücksichtigt.

Für sämtliche Anlagen wird aufgrund behördlicher Anforderungen eine kollisionsfreundliche Konstruktion der Fundamente angenommen.

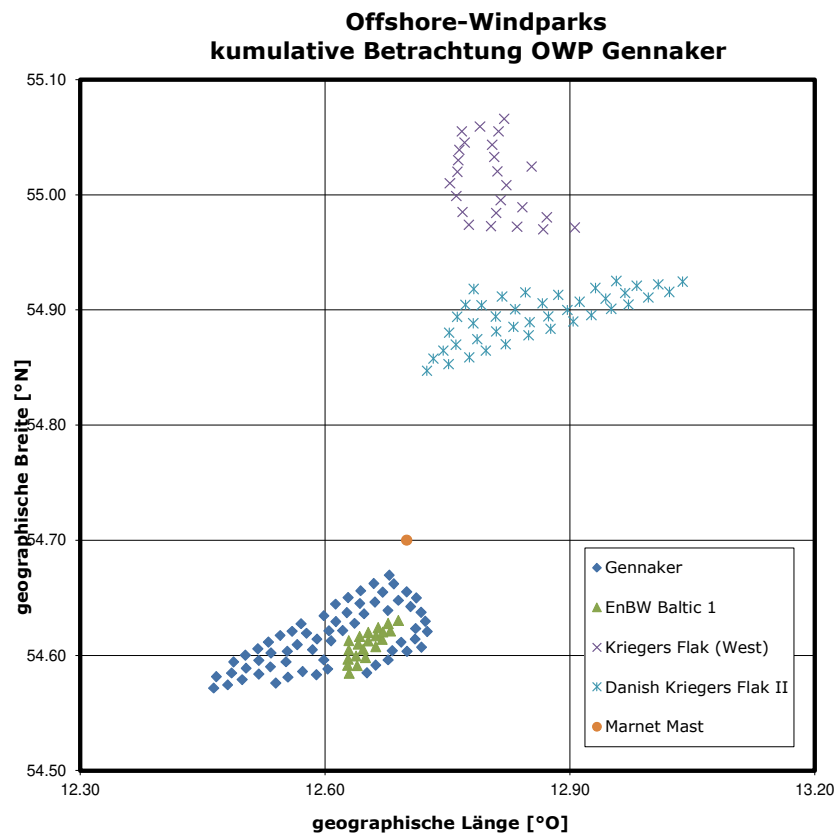


Abbildung 1: Aufstellmuster der kumulativen Betrachtung

3.3 Schiffrouten

Als Datenbasis wurde der Schiffsverkehr im betrachteten Seegebiet durch Auswertungen von pseudonymisierten AIS-Daten analysiert. Die hierbei verwendeten AIS-Daten wurden von der WSV zur Verfügung gestellt. Dabei wurde der Schiffsverkehr über die Monate Oktober des Jahres 2022, sowie Januar, April, und Juli des Jahres 2023 ausgewertet.

Die WSV richtet im Rahmen ihrer Minimierungsmaßnahmen eine Küstenverkehrszone vor Baubeginn um das Projekt ein /18/. Dies wird in der bestehenden Genehmigung des Windparks beschrieben. Somit wird der Schiffsverkehr nach Norden ausweichen und dadurch gerichtet und geordnet passieren. Kleinere Fahrzeuge oder Fahrzeuge mit Sondergenehmigung werden auch weiterhin die zukünftige Küstenverkehrszone befahren, diese sind aufgrund der teilweisen nicht vorhandenen AIS-Kennzeichnung nur schwer zu ermitteln. Diese Fahrzeuge stellen im Vergleich zu dem hier identifizierten Handelsverkehr einen vernachlässigbaren Einfluss auf die in dieser Analyse untersuchten Kollisionsrisiken dar.

In der folgenden Abbildung sind die Positionsinformationen der Schiffe in Form von Tracks (rot – westgehende Schiffe, grün – ostgehende Schiffe) dargestellt. Die berücksichtigten Windparks bzw. Windparkplanungen sind dunkelblau und die geplante Küstenverkehrszone hellblau eingezeichnet.

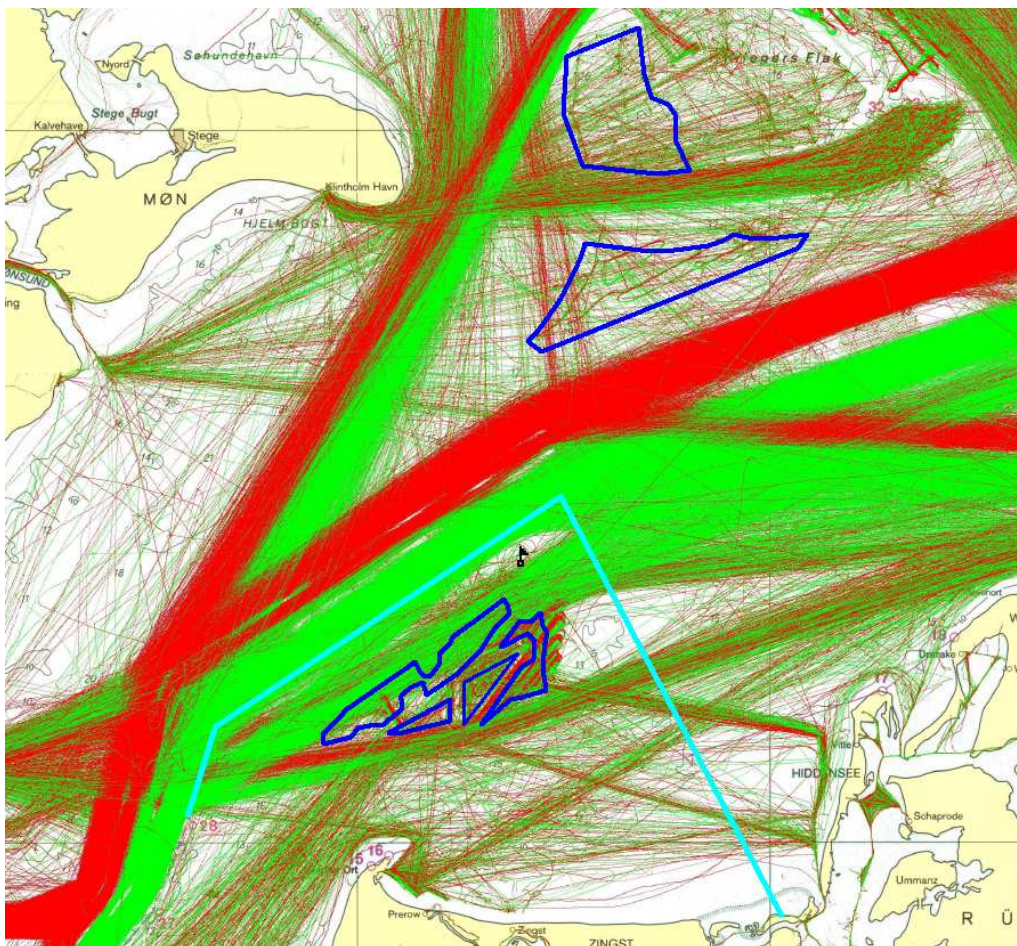


Abbildung 2: AIS Tracks 120 Tage des Jahres 2022/2023 (grün: ostgehender Verkehr; rot: westgehender Verkehr, hellblau: Küstenverkehrszone)

Die auf Basis von AIS-Auswertung 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.

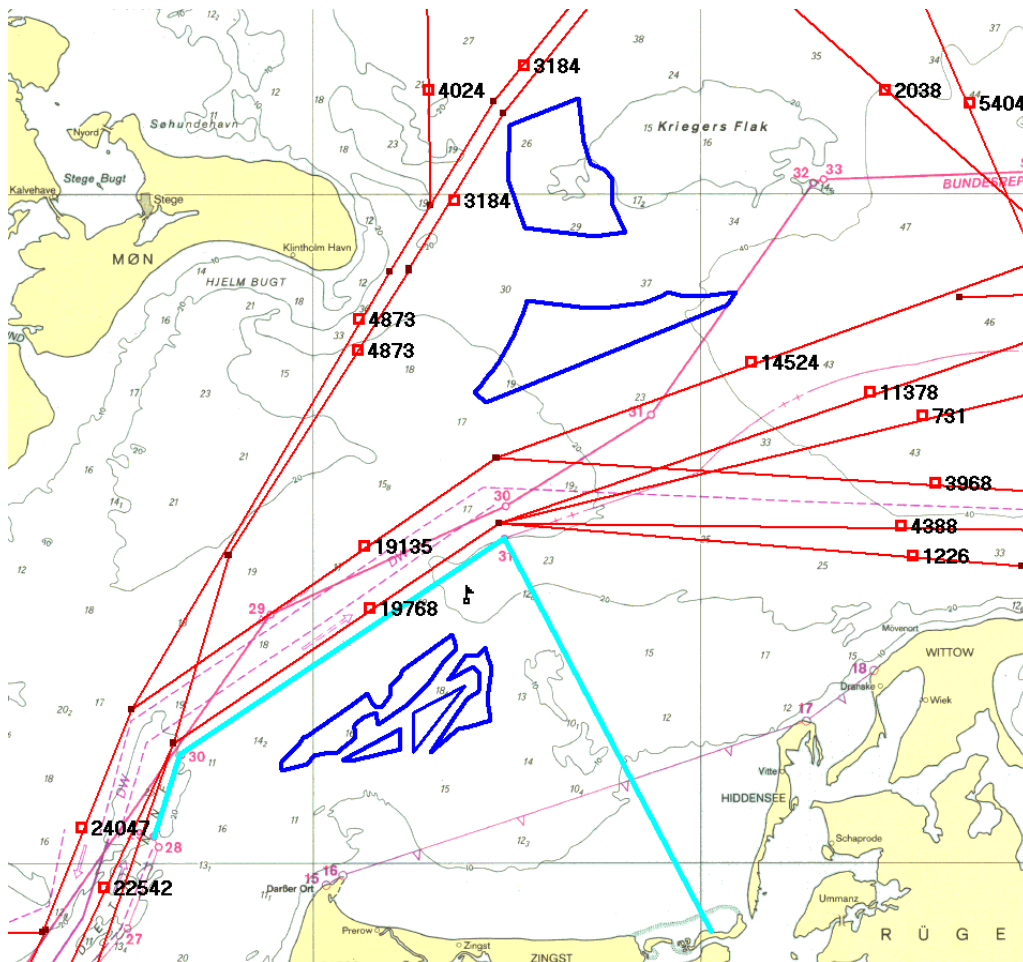


Abbildung 3: Schiffsrouten mit jährlichen Schiffsbewegungen unter Berücksichtigung der geplanten Windparks

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 Ostsee“ /4/ beschrieben. In diesem Handbuch wurde die Ostsee in verschiedene Auswahlfelder (Feld A bis Feld G) unterteilt, um genauere Aussagen über die lokalen Wetter- und Klimaverhältnisse in der Ostsee zu machen. Für die Berechnungen des OWP Offshore-Windpark Gennaker werden gemäß der o.g. Quelle die Wetterdaten des Auswahlfeldes „E“ angesetzt. Als weitere Datenquelle wurden Statistiken des Deutschen Wetterdienstes /5/ herangezogen.

Es werden die folgenden Aspekte behandelt:

- Wind
- Seegang
- Strömung

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 5 gezeigte Statistik basiert auf Daten /5/ des Deutschen Wetterdienstes, die in einem Zeitraum von 29 Jahren für die Monate Januar bis Dezember angefertigt wurde. Insgesamt wurden 44 372 Messungen durchgeführt. Die gleiche Anzahl von Messungen wurde auch für auftretende Windgeschwindigkeiten gemacht. Das Ergebnis der Statistik ist in Abbildung 5 dargestellt.

Die Verteilung zeigt, dass die häufigsten anzutreffenden Windgeschwindigkeiten im Bereich von 7 [Kn] bis 10 [Kn]. Dieser Bereich entspricht ca. Windstärke 3 auf der Beaufort Skala.

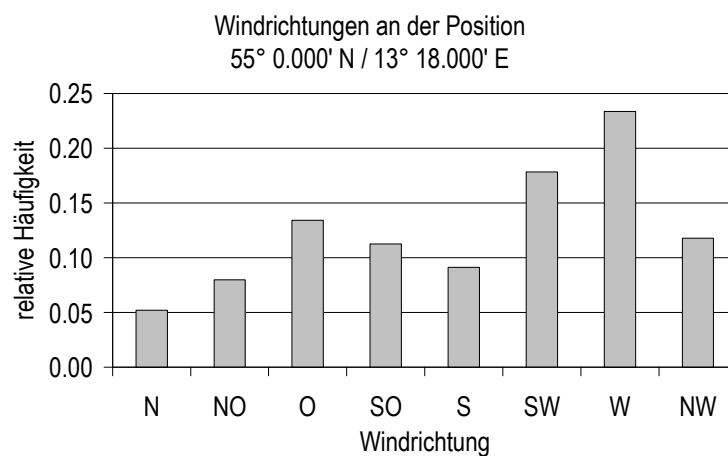


Abbildung 4: Verteilung der für die Monate Januar bis Dezember auftretenden Windrichtungen

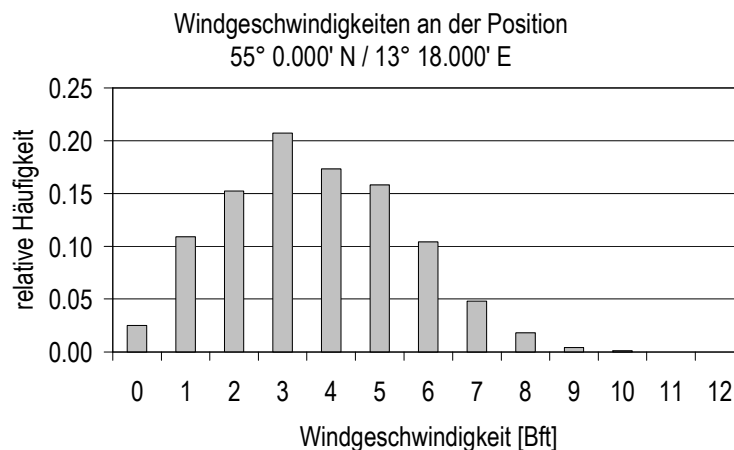


Abbildung 5: Verteilung der für die Monate Januar bis Dezember auftretenden Windgeschwindigkeiten

3.4.2 Seegang

Statistische Daten für den Seegang sind in "Naturverhältnisse in der Ostsee" /4/ angegeben. Der Seegang im Bereich des Offshore-Windpark Gennaker setzt sich aus Windsee und Dünung zusammen. Windsee ist die aus der Windbewegung erzeugte Wellenbewegung der Meeresoberfläche. Insofern ist die Windsee von den lokalen Windbedingungen abhängig. Ein weiterer Einfluss auf die Höhe der Windsee ist die Länge des Weges, den der Wind über die Wasseroberfläche streicht. Dieser Weg wird als Fetch (Windwirkungsstrecke) bezeichnet und muss genügend lang sein, dass sich der Seegang voll ausprägen kann. Ein weiterer Einfluss ist die Dauer, mit der der Wind weht. Dünung sind Wellenformationen, die in weiter entfernten Seegebieten als Windsee entstanden sind und in das betrachtete Seegebiet laufen. Im Gegensatz zur Windsee ist Dünungssee mit regelmäßigeren und gerundeteren Wellenformen ausgestattet. Der Anteil von Dünungssee im Bereich des Offshore-Windpark Gennaker beträgt ca. 4 [%].

Da der Seegang von der Windsee dominiert wird, kann die signifikante Wellenhöhe aus der Windgeschwindigkeit abgeleitet werden. Für das betrachtete Seegebiet wird dieser Zusammenhang in "Naturverhältnisse in der Ostsee" /4/ beschrieben, siehe Abbildung 6.

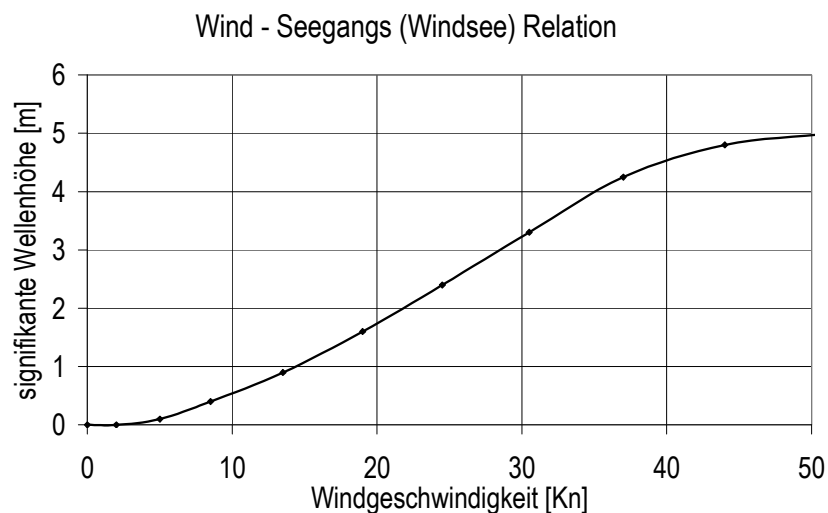


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Windgeschwindigkeiten und signifikanten Wellenhöhen

3.4.3 Strömung

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

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

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

Die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten ergibt sich aus Messungen des ehemaligen Feuerschiffes "Adlergrund". Da die Strömungen in diesem Seegebiet von den herrschenden Windverhältnissen bestimmt werden, besteht ein Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Strömungsgeschwindigkeit. Die Messungen des Feuerschiffes zeigten, dass die Strömungsgeschwindigkeit linear mit der Windgeschwindigkeit zunimmt. Der lineare Zusammenhang ist in Abbildung 7 dargestellt.

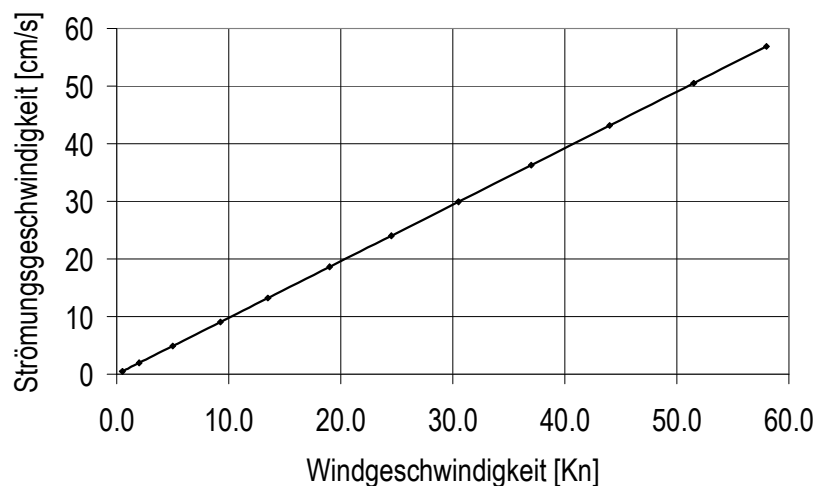


Abbildung 7: Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit im Bereich des Windparks

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 das Notschleppkonzept Deutsche Küste mit Notschleppern auf Bereitschaftspositionen in Rostock und Saßnitz 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 und/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.

4.2.1 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- auswertemethoden eine Identifikation erfolgen. Dabei bietet AIS gegenüber Radar den Vorteil, dass neben GPS gestützten Positions-, Lage- und Geschwindigkeitsdaten auch schiffsspezifische Daten und Statusmeldungen übertragen werden. Der Informationsgehalt von Radar ist zwar geringer, jedoch besteht hier der Vorteil, dass das Signal vom Schiff selbst unabhängig ist. Die höchste Wahrscheinlichkeit 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. Beispielfhaft ist in Abbildung 8 die Spur eines über AIS-Auswertung identifizierten Drifters dargestellt.

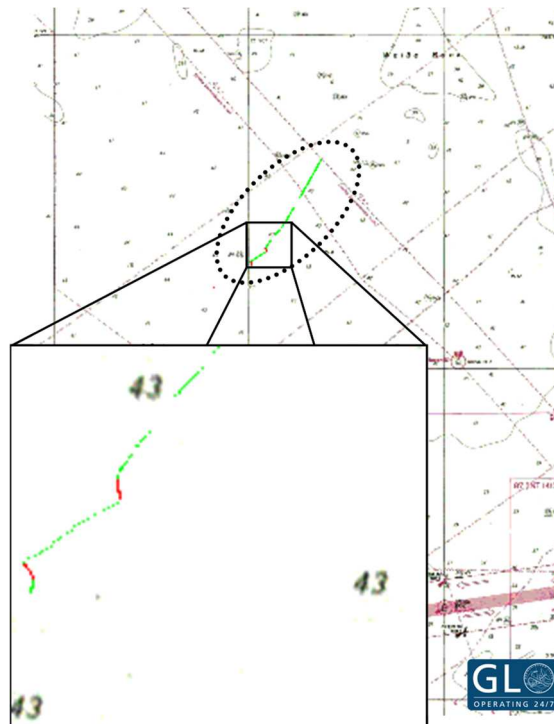


Abbildung 8: Driftweg eines über AIS-Auswertung identifizierten driftenden Schiffes

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. Bei Annahme konservativer Werte, kann davon ausgegangen werden, dass ca. 98% aller manövrierunfähigen Schiffe identifiziert werden können.

Über den in Abbildung 9 dargestellten Ereignisbaum wird eine Erkennung des manövrierunfähigen Schiffes in 98% aller Fälle errechnet.

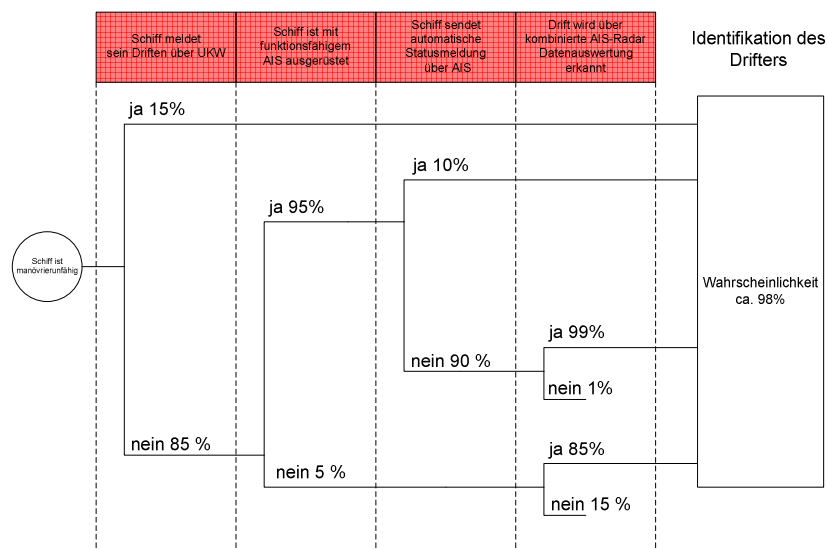


Abbildung 9: Ereignisbaum zur Identifikation driftender Schiffe durch Verkehrsüberwachung über AIS und Radar



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.

4.2.2 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.

4.2.3 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 /3/.

4.2.4 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/Seeraumbeobachtung 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 /3/.

4.2.5 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 /3/.

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

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

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.

Die Schlepper sind in der Regel innerhalb von 0,5 h einsatzklar. Bei diesen Schleppern kann von einer hohen Wahrscheinlichkeit der Bereitschaft von etwa 96% ausgegangen werden, da sie ausschließlich für Schleppmanöver, allerdings vorwiegend zum Küstenschutz, vorgehalten werden. Für den Fall des technischen Ausfalls, des Besatzungswechsels und Bunkerns von Treibstoff wird er adäquat durch andere Schiffe ersetzt. Die Bereitschaftsposition der in dieser Analyse berücksichtigten Schlepper kann man der unten dargestellten Karte entnehmen. Der in Saßnitz stationierte Notschlepper „Fairplay 25“ wurde durch den Notschlepper „VB Bremen Fighter“ ersetzt. Ab 8 Beaufort bezieht er eine Sturmposition 5 Seemeilen nördlich Dornbusch/Rügen.

Für die Schlepper ergeben sich folgende Leistungsdaten:

Tabelle 6: Daten für die berücksichtigten Schlepper

Name:	Position/Sturmposition:	Max. Geschwindigkeit:	Berücksichtigte Geschwindigkeit (70% V_{max}):	Pfahlzug:
Baltic	Warnemünde / vor Warnemünde	17 kn	13 kn	127 t
VB Bremen Fighter	Saßnitz/ 5sm N Dornbusch	15 kn	10,5 kn	104 t

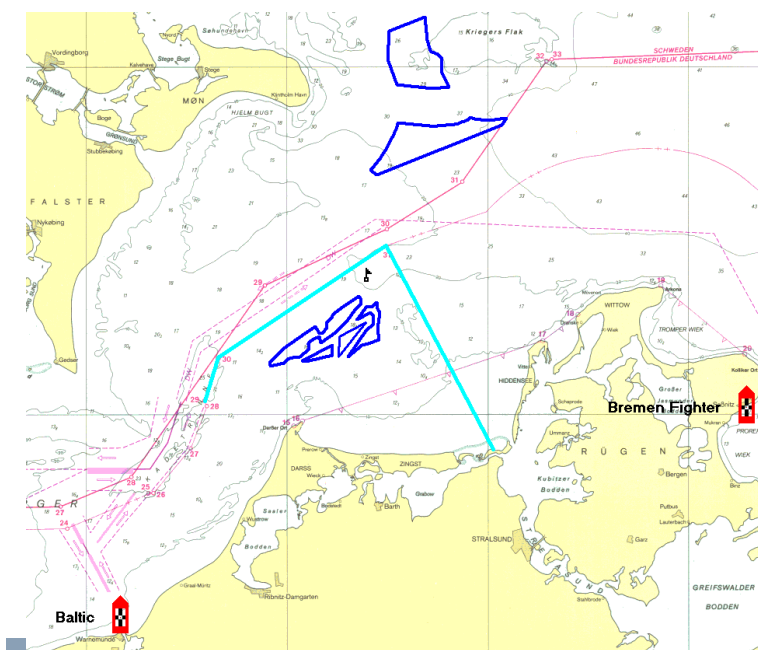


Abbildung 10: Bereitschaftspositionen der berücksichtigten Notschlepper



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

Bei Annahme einer Wahrscheinlichkeit für die Identifikation eines manövrierunfähigen Schiffes durch die Verkehrsüberwachung der WSV von 98% mit einer Kombination aus AIS und Radar und einer Schlepperbereitschaft von 96% ergibt sich somit eine Gesamtwahrscheinlichkeit für die Initiierung eines einzelnen Schleppers von:

$$98\% \quad \times \quad 96\% \quad = \quad 94\%$$

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 sind die an die berücksichtigten Windparks bzw. Windparkplanungen angepassten Routen entsprechend Abbildung 3. In diesem Abschnitt wird das kumulative Kollisionsrisiko mit Installationen des Offshore-Windpark Gennaker und der berücksichtigten Windparks bzw. Windparkplanungen angegeben.

In den folgenden Abschnitten 5.1 und 5.2 werden die Kollisionshäufigkeiten ohne risikomindernde Maßnahmen angegeben. Die Gesamtergebnisse der kumulativen Betrachtung mit und ohne risikomindernde Maßnahmen sind im Abschnitt 5.3 zusammengestellt.

5.1 Kollisionshäufigkeiten ohne risikomindernde Maßnahmen

Die berechnete Kollisionshäufigkeit von **manövrierfähigen** Schiffen mit Installationen der Windparks ergibt ohne risikomindernde Maßnahmen eine Gesamtkollisionshäufigkeit aller Routenabschnitte von 0.0080 Kollisionen/Jahr, welches einer statistisch zu erwartenden Zeit zwischen zwei Kollisionen von 124 Jahren entspricht.

Die aufsummierte Kollisionshäufigkeit für **manövrierunfähige** Schiffe aller Routenabschnitte ergibt ohne risikomindernde Maßnahmen eine Häufigkeit von 0.0145 Kollisionen/Jahr. Dies entspricht einer statistisch zu erwartenden Zeit zwischen zwei Kollisionen von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen der Windparks von 69 Jahren.

Tabelle 7: Kollisionshäufigkeiten von manövrierfähigen Schiffen mit Installationen der Windparks (ohne risikomindernde Maßnahmen), sortiert nach normierter Häufigkeit

Nr.	Koordinaten des Abschnittsbeginns		Koordinaten des Abschnittsendes		Routenabschnittslänge [sm]	normierte Kollisionshäufigkeit [Kollisionen/Jahr/sm]	normierte mittlere Zeit zwischen den Kollisionen [Jahre/sm]	Kollisionshäufigkeit [Kollisionen/Jahr]	mittlere Zeit zwischen den Kollisionen [Jahren]
	geografische Breite	geografische Länge	geografische Breite	geografische Länge					
1	54° 56.588' N	12° 37.495' O	55° 03.610' N	12° 44.770' O	8	0.000792	1263	0.006470	155
2	54° 56.539' N	12° 35.926' O	55° 04.110' N	12° 44.074' O	9	0.000055	18210	0.000489	2045
3	55° 04.110' N	12° 44.074' O	55° 20.468' N	13° 06.878' O	21	0.000022	44840	0.000467	2141
4	54° 59.477' N	12° 39.127' O	55° 19.226' N	12° 38.585' O	20	0.000017	58170	0.000339	2947
5	54° 06.774' N	11° 14.704' O	54° 24.742' N	12° 10.459' O	37	0.000007	152200	0.000244	4098
6	54° 35.397' N	12° 19.127' O	54° 45.275' N	12° 44.382' O	18	0.000002	546400	0.000032	31060
7	54° 56.130' N	13° 53.481' O	54° 55.380' N	13° 20.172' O	19	0.000000	6329000	0.000003	328900
8	54° 43.308' N	13° 24.932' O	54° 34.377' N	13° 42.829' O	14	0.000000	970900000	0.000000	70420000

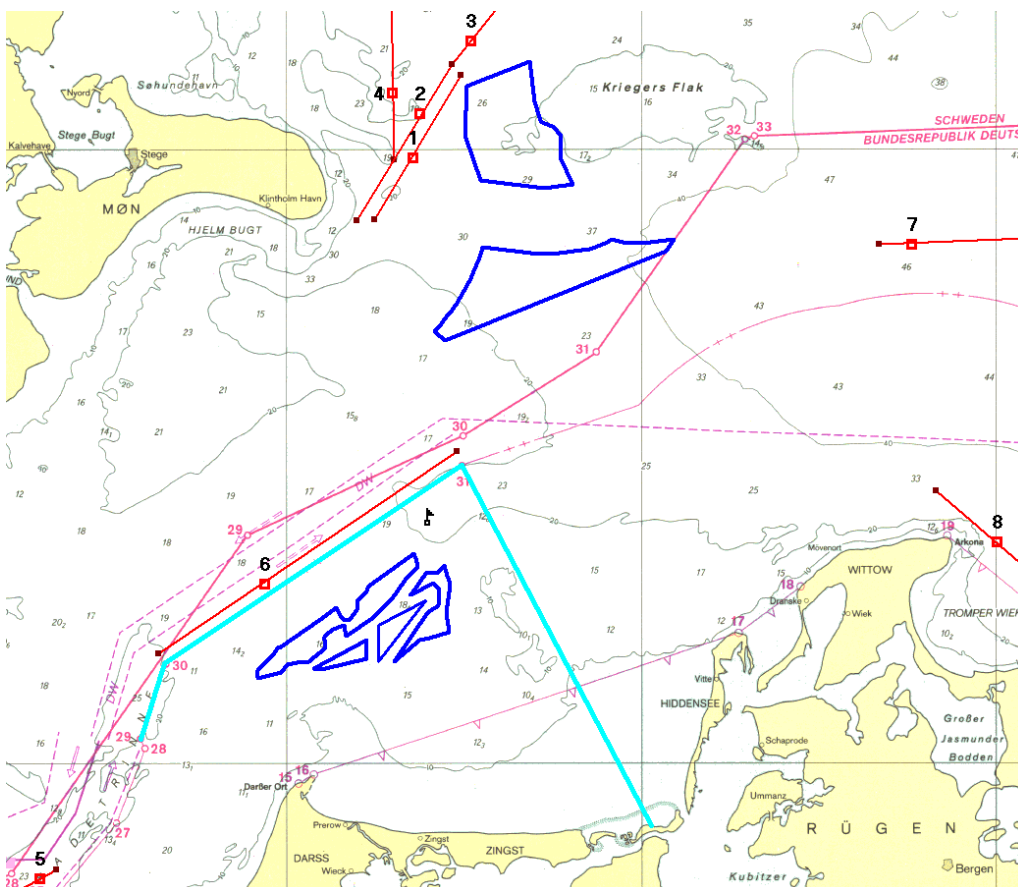


Abbildung 11: Darstellung der Routen mit den größten normierten Kollisionshäufigkeiten von manövrierfähigen Schiffen mit Installationen der Windparks

5.2 Zwischenergebnisse ohne AIS, Notfallschlepper und Seeraumbeobachtung

Tabelle 9: Kumulative Zwischenergebnisse der Risikoanalyse ohne risikomindernde Maßnahmen

Szenario	Kollisionshäufigkeit [1/Jahr]	stat. zu erwartende Zeit zwischen zwei Kollisionen [Jahre]
Kollision eines manövrierfähigen Schiffes mit Installationen des Windparks	0.0080	124
Kollision eines manövrierunfähigen Schiffes mit Installationen des Windparks	0.0145	69
Gesamt	0.0225	44

5.3 Kumulatives Gesamtergebnis

Die Ergebnisse der kumulativen Betrachtung des Offshore-Windparks Gennaker und der im Seegebiet berücksichtigten Windparks bzw. Windparkplanungen mit und ohne Berücksichtigung der Wirkung risikomindernder Maßnahmen sind in Tabelle 10 zusammengestellt. Die Kollisionshäufigkeit für die kumulative Aufstellung von manövrierfähigen und manövrierunfähigen Schiffen ergibt, unter Berücksichtigung von AIS, einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 (s. Kapitel 4.2) und der zwei Notschlepper auf den Bereitschaftspositionen, eine Wiederholfrequenz von 135 Jahren. Es werden die als realistisch zu erwartenden Varianten 1 und 3 der Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung aufgezeigt, da diese auch die Wirksamkeit der Variante 2 mit einschliessen.

Tabelle 10: Kumulative Analyseergebnisse ohne und unter Berücksichtigung der risikomindernden Maßnahmen

Szenario Kumulative Betrachtung	Kollisionshäufigkeit			
	für manövrierfähige Schiffe [1/Jahr]	für manövrierunfähige Schiffe [1/Jahr]	für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe [1/Jahr]	stat. zu erwartende Zeit zwischen zwei Kollisionen [Jahre]
ohne risikomindernde Maßnahmen (Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung, AIS, Notfallschlepper)	0.0080	0.0145	0.0225	44
mit AIS, ohne Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und ohne Notfallschlepper	0.0064	0.0145	0.0209	48
mit AIS, mit Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und ohne Notfallschlepper	0.0026	0.0132	0.0158	63
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 und zwei Notschleppern	0.0026	0.0048	0.0074	135
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 1 und zwei Notschleppern	0.0016	0.0048	0.0064	156

6 SCHLEPPERWIRKSAMKEIT

Wie die Ergebnisse aus Kapitel 5.3 zeigen, hat die Möglichkeit des Einsatzes von Notschleppern einen erheblichen Einfluss auf die Kollisionshäufigkeit von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen der Windparks. Eine Kollision mit einem driftenden Schiff kann in Abhängigkeit verschiedener Faktoren durch rechtzeitige Bergung von einem Schlepper verhindert werden (vgl.: A.3.1 Bergung mit Schleppunterstützung).

Die Schlepperwirksamkeit kann explizit aus den errechneten Ergebnissen für die Kollisionshäufigkeiten für manövrierunfähige Schiffe bestimmt werden. Die Wirksamkeit des Schleppers ergibt sich folgendermaßen:

$$\text{Schlepperwirksamkeit} = \frac{\text{Häufigkeit der Kollision zwischen Schiff und Windenergieanlage (ohne Schleppereinsatz)}}{\text{Häufigkeit der Kollision zwischen Schiff und Windenergieanlage (mit Schleppereinsatz)}}$$

Die errechneten Faktoren der Schlepperwirksamkeit der Notschlepper sind bei Ansatz einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung der Variante 3 für die kumulative Betrachtung in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 11: Schlepperwirksamkeit der berücksichtigten Schlepper für die Kumulativbetrachtung

	Kumulative Betrachtung Offshore-Windpark Gennaker
Ermittelte Schlepperwirksamkeit für manövrierunfähige Schiffe	2.74

7 KOLLISIONSRISIKO FÜR DEN OFFSHORE-WINDPARK GENNAKER

In diesem Abschnitt werden die im vorangegangenen Kapitel ermittelten Kollisionswiederholperioden mit den bei Kollisionen auftretenden Konsequenzen verknüpft. Als Konsequenzen werden die Folgen einer Kollision zwischen Schiffen und Windenergieanlagen und anderen Plattformen bezeichnet. Diese werden in Form von Mengen an austretenden Schadstoffen ermittelt. Bei der Betrachtung der Konsequenzen wird wiederum zwischen verschiedenen Kollisionsszenarien unterschieden. Dies ist in der Tatsache begründet, dass Kollisionen zwischen manövrierfähigen Schiffen und Windenergieanlagen grundsätzlich von solchen zwischen manövrierunfähigen Schiffen und Windenergieanlagen zu unterscheiden sind.

Aufgrund der angenommenen kollisionsfreundlichen Konstruktion der Fundamente wird als kritische Driftgeschwindigkeit eine Geschwindigkeit von 2,0 m/s angesetzt, auch wenn diese für das jeweilige verwendete Fundament noch im Detail nachgewiesen werden muss. Bei einem Überschreiten dieser Geschwindigkeit wird angenommen, dass die Schiffshülle beschädigt wird und es zu einem Schadstoffaustritt kommt. Eine Zerstörung der Windkraftanlage und ein Austritt der in der Anlage vorhandenen Schadstoffe wird bei jeder Kollision angenommen.

Bei einer kleineren Kollisionsgeschwindigkeit als 2,0 m/s wird angenommen, dass der Schiffskörper intakt bleibt und keine Schadstoffe aus dem Schiff austreten. Die kritische Geschwindigkeit von 2,0 m/s wird von driftenden Schiffen nur bei starken Winden und/oder Strömungen erreicht und ist außerdem vom Schiffstyp und Schiffsgröße abhängig.

7.1 Risiko für die kumulative Betrachtung

In Tabelle 12 sind die mittleren freigesetzten Schadstoffmengen für unterschiedliche Schiffstypen aufgelistet

Tabelle 12: Mittlere freigesetzte Treibstoff- und Ladeölmengen für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe

Konsequenzanalyse manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe		
Schiffstyp	Mittlere freigesetzte Treibstoffmenge [t/Kollision]	Mittlere freigesetzte Ladeölmenge [t/Kollision]
Tankschiffe	0.19	131.30
Stückgut & Container	0.89	0.00
Fähren & Passagierschiffe	0.00	0.00

Das Gesamtrisiko an austretenden Schadstoffen für die kumulative Betrachtung beträgt 0.61 t/Jahr. Das schiffsspezifische Risiko für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe ist in Tabelle 13 und das routenspezifische Risiko für die Routen mit den größten auf die Routenlänge normierten Risikoanteilen in Tabelle 14 dargestellt. Diese Routenabschnitte der Tabelle 14 sind in Abbildung 13 dargestellt und entsprechend nummeriert.

Tabelle 13: Schiffsspezifisches Risiko

Schiffstypspezifisches Risiko			
Schiffstyp	Risiko $R_{öl,k}$ [t/Jahr] für manövrierfähige Schiffe	Risiko $R_{öl,k}$ [t/Jahr] für manövrierunfähige Schiffe	Risiko $R_{öl,k}$ [t/Jahr] für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe
Tankschiffe	0.42	0.03	0.45
Stückgut & Container	0.01	0.08	0.09
Fähren & Passagierschiffe	0.04	0.03	0.07
		Gesamtrisiko	0.61

Tabelle 14: Routenspezifisches Risiko

normiertes Routenabschnittsspezifisches Risiko											
Nr.	Koordinaten des Abschnittsanfangs		Koordinaten des Abschnittsendes		Routenabschnitts- länge[sm]	normiertes Risiko $R_{0,i,k}$ [1/Jahr/sm] für manövrierfähige Schiffe	normiertes Risiko $R_{0,i,k}$ [1/Jahr/sm] für manövrierunfähige Schiffe	normiertes Risiko $R_{0,i,k}$ [1/Jahr/sm] für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe	Risiko $R_{0,i,k}$ [1/Jahr] für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe		
	geografische Breite	geografische Länge	geografische Breite	geografische Länge							
1	54° 35.397' N	12° 19.127' O	54° 45.275' N	12° 44.382' O	18	0.023700	0.002040	0.025740	0.455000		
2	54° 56.588' N	12° 37.495' O	55° 03.610' N	12° 44.770' O	8	0.005060	0.000226	0.005286	0.043200		
3	54° 48.196' N	12° 44.188' O	54° 36.915' N	12° 15.931' O	20	0.000000	0.001230	0.001230	0.024400		
4	54° 24.758' N	12° 10.576' O	54° 35.397' N	12° 19.127' O	12	0.000000	0.000620	0.000620	0.007280		
5	54° 36.915' N	12° 15.931' O	54° 26.858' N	12° 09.007' O	11	0.000000	0.000550	0.000550	0.005960		
6	54° 56.539' N	12° 35.926' O	55° 04.110' N	12° 44.074' O	9	0.000304	0.000164	0.000468	0.004170		
7	55° 04.800' N	14° 03.658' O	54° 48.196' N	12° 44.188' O	49	0.000000	0.000416	0.000416	0.020200		
8	54° 45.275' N	12° 44.382' O	55° 01.665' N	14° 07.551' O	51	0.000000	0.000231	0.000231	0.011700		
9	55° 04.110' N	12° 44.074' O	55° 20.468' N	13° 06.878' O	21	0.000130	0.000090	0.000220	0.004600		
10	54° 59.477' N	12° 39.127' O	55° 19.226' N	12° 38.585' O	20	0.000121	0.000092	0.000213	0.004200		
Gesamtrisiko [1/Jahr] aller Routenabschnitte										0.60760	

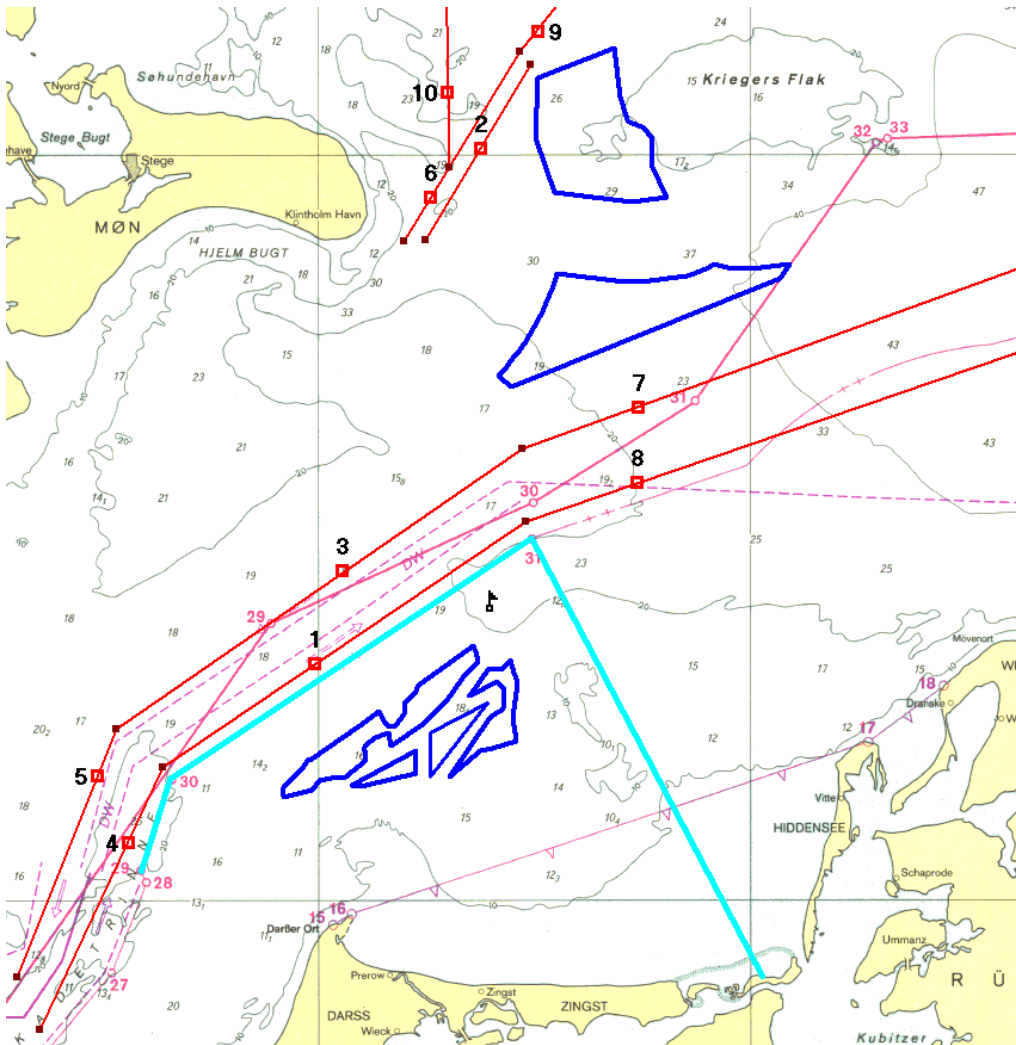


Abbildung 13: Darstellung der Routen mit dem größten normierten Risikoanteil für die kumulative Betrachtung

In Tabelle 15 sind die austretenden Schadstoffmengen ohne und mit Berücksichtigung risikomindernder Maßnahmen für die kumulative Anordnung angegeben.

Tabelle 15: Analyseergebnisse ohne und mit Berücksichtigung der risikomindernden Maßnahmen für die kumulative Betrachtung

Szenario	Austretende Schadstoffmengen [t/Jahr]
ohne risikomindernde Maßnahmen	0.61
mit AIS, ohne Verkehrsüberwachung/ Seeraumbeobachtung und ohne Notfallschlepper	0.51
mit AIS, mit Verkehrsüberwachung/See- raumbeobachtung der Variante 3 und ohne Notfallschlepper	0.27
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraum- beobachtung der Variante 3 und zwei Notschleppern	0.19
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraum- beobachtung der Variante 1 und zwei Notschleppern	0.14

Die Ergebnisse der Konsequenzbetrachtung für die kumulative Aufstellung sind 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.

8 RISIKOBEURTEILUNG

In diesem Abschnitt wird die Einstufung des berechneten Risikos in die Risikomatrix des Anhang 1 des BSH-Standards „Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen“ /17/ vorgenommen. Neben der Einstufung des Umweltrisikos werden Einstufungen des Risikos in Bezug auf die Kollisionskonsequenzen Schiff-Offshore-Anlagen und Personensicherheit angegeben.

8.1 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 Aufreißen 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 Risikoprioritätszahl (RPZ) von 2 bis 3 eingestuft werden.

Ein ähnliches 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 14 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 3 sowie der zwei Notschlepper 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}

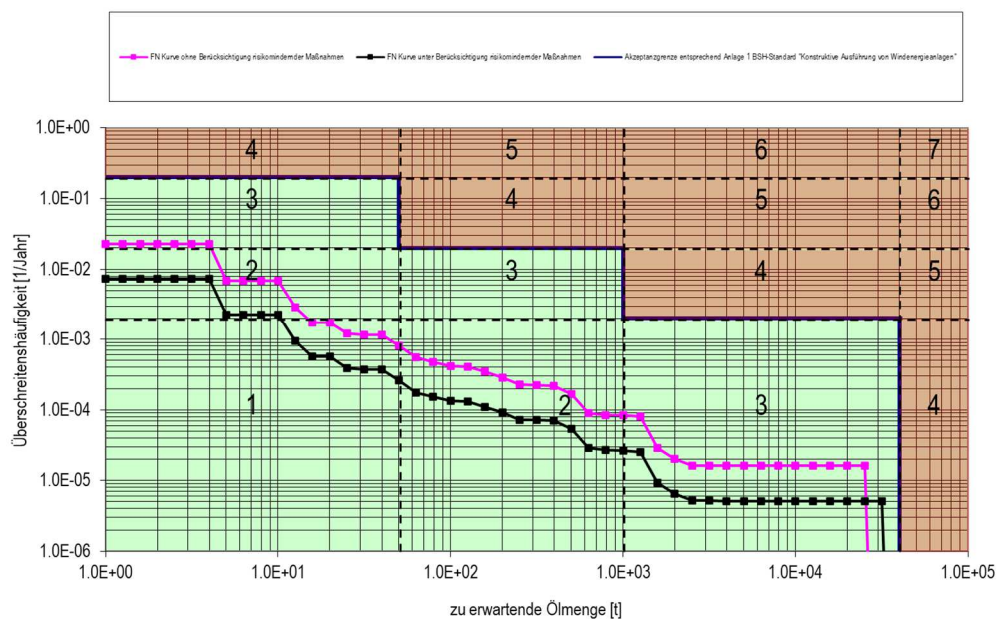


Abbildung 14: Einstufung des Risikos anhand des FN-Diagramms für die kumulative Betrachtung

Eine Auswertung der im FN-Diagramm dargestellten Kurven liefert für die kumulative Betrachtung folgende Kollisionshäufigkeitswerte, bei denen gewisse Ölmengen überschritten werden (Tabelle 16).

Tabelle 16: 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	0.023 (44 Jahre)	0.007 (135 Jahre)
beträchtlich	≥ 50 t	0.0008 (1241 Jahre)	0.0003 (3858 Jahre)
schwerwiegend	≥ 1000 t	0.00008 (12007 Jahre)	0.00003 (37544 Jahre)

8.2 Kollisionskonsequenzen Schiff-OWEA

Die berechneten Kollisionshäufigkeiten von Schiffen mit Installationen des betrachteten Offshore-Windparks Gennaker 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 OWEA 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 OWEA 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 OWEA 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 einzeln für jeden Windpark vorgenommen werden sollten.

8.3 Personensicherheit

Die Sicherheit von beteiligten Personen wurde in dieser Risikoanalyse nicht explizit betrachtet. Jedoch können die Gefährdung aus früheren Arbeiten des DNV 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.

9 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, Risk Assessment and Mechanical Engineering/NB-ER, 2008-11-24
- /4/ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie: Nr. 20032 „Klima und Wetter in der Ostsee“; Hamburg, 1996.
- /5/ Deutscher Wetterdienst: Statistische Auswertung über die Überschreitenswahrscheinlichkeit von Schwellwerten der Windgeschwindigkeit und der kennzeichnenden Wellenhöhe in der Deutschen Bucht und der Westlichen Ostsee, Aktenzeichen SF2/64.30.16-10-/1000, Hamburg, 2000.
- /6/ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie: Häufigkeitsverteilungen der signifikanten Wellenhöhe gegen die Windgeschwindigkeit, Hamburg, 2000.
- /7/ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie: Strömungsmessdaten, Record Nr. 78049, 78050, 88043, 88044, 90062, 90063, 91047, 91048, 91049, 91097, 92072.
- /8/ <http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Vorhersagen/Gezeiten/810.jsp>
- /9/ Olsen, D., H.-H. Gotfredsen, Y. Fujii: Risk Reducing Effect of the Great Belt VTS System; Publ. no. 810, VTS 92 – 7th International VTS Symposium, Vancouver, Canada, 1992.
- /10/ Fujii, Y., N. Mizuki: Design of VTS systems for water with bridges; Proc. of the International Symposium on Advances in Ship Collision Analysis. Glueck & 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, 2014
- /16/ Hydrographic Office; „Admiralty Tidal Stream Atlas – north sea eastern part“; Taunton; Edition 2 2004
- /17/ Standard „Standard Konstruktion“, BSH- Nr: 7005, BSH 2015
- /18/ §16 BImSchG-Änderungsgenehmigung, Staatliches Amt für Landwirtschaft um Umwelt Vorpommern, 2024"
- /19/ „OWP Gennaker - Technische Risikoanalyse, Revision“, M-W-ADER 2018.074, Rev. 1.00, DNV GL SE, 2018-10-08
- /20/ „OWP Gennaker,Stellungnahme zur Änderung des Turbinentyps, Einfluss auf die Ergebnisse der Technischen Risikoanalyse,Bericht M-W-ADER 2018.074, Rev. 1.00“, 10340508 V1.3, Stellungnahme des DNV GL SE, 2022-04-26



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.

Statistischen Verfahren basieren auf der Erfassung ("Zählung") von Sachverhalten. Bezogen auf Kollisionseignisse 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. Eine Auswertung von Kollisionseignissen 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 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 oder auch eine veränderte Kulisse mariner Nutzungen. Das bedeutet, dass sich das System an sich geändert hat und statistische Aussagen auf der Basis früherer Ereignisse nicht mehr dem aktuellen Systemzustand entsprechen.

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).

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 eines 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).

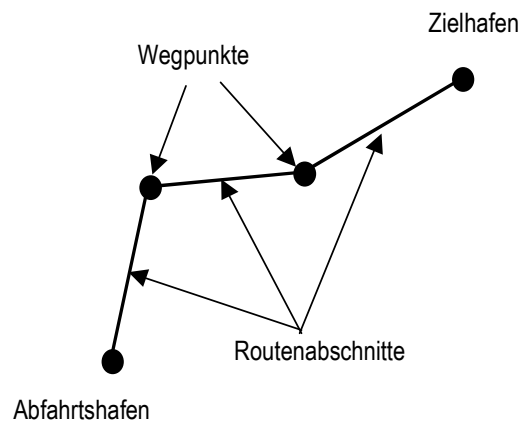


Abbildung A-1: Zusammenhang von Schiffsroute, Routenabschnitt und Wegpunkten

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.

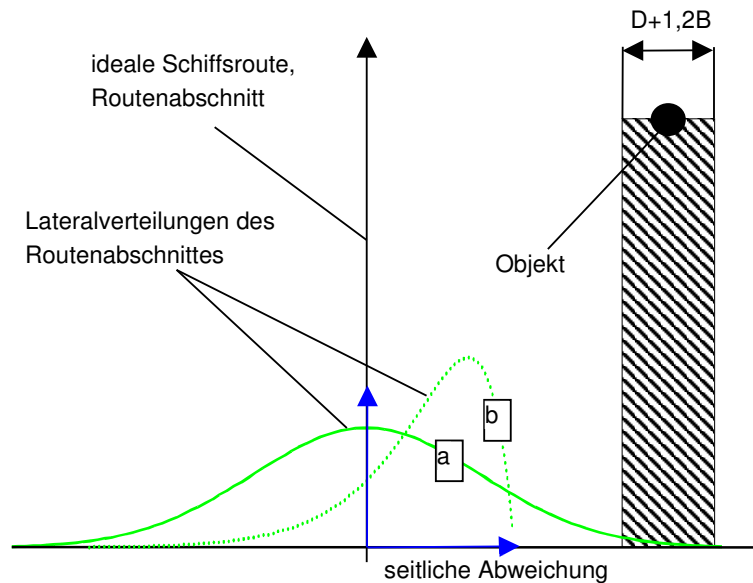


Abbildung A-2: Lateralverteilungen für den Schiffsverkehr

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 OWEA/Umspannwerk (UW) plus 1.2 mal der Schiffsbreite B überdeckt wird. Für die i -te Installation mit dem Durchmesser D_i wird diese Wahrscheinlichkeit mit Gleichung (A-2) berechnet.

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

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

Neben den Kollisionen der Kategorie I durch eine laterale Verteilung der Schiffe werden auch Kollisionen der Kategorie II durch einen Verpassen des Wegpunkt 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 einen 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.

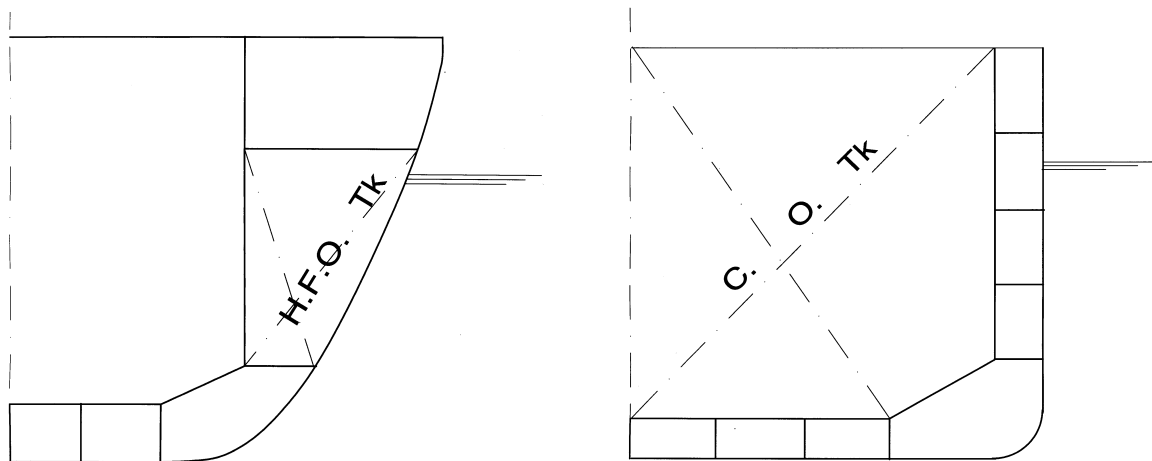
A.2.2 Berechnung der Kollisionskonsequenzen

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 OWEA 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 Ladeölkammer (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, dass eine Aussage über die kritische Schiffsgeschwindigkeit gibt, ab der mit einem Versagen der Schiffsstruktur und der Windkraftanlage zu rechnen ist.

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

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

In Gleichung (A-3) ist $P_{\text{SE,Br}}$ - die Wahrscheinlichkeit, dass bei der Kollision ein Brennstofftank getroffen wird, $M_{\text{Br,s,t}}$ - die freigesetzte Brennstoffmenge für ein Schiff der Größenklasse s und des Typs t, $P_{\text{SE,La}}$ - die Wahrscheinlichkeit, dass bei einer Kollision ein Ladetank getroffen wird, $M_{\text{La,s,Tanker}}$ - die freigesetzte Ladeölmeng für einen Tanker der Größenklasse s, P_s - die Auftretenswahrscheinlichkeit der Schiffsgrößenklasse s und P_t die Auftretenswahrscheinlichkeit des Schiffstyps t, $P_{\text{WEA,Typ,I}}$ die Wahrscheinlichkeit des Typs I (OWEA oder Umspannwerk (UW)) und $M_{\text{Öl,I}}$ die freiwerdende Ölmenge Typs I (OWEA oder UW). Die betrachteten Schiffsgrößenklasse s und die unterschiedlichen

Schiffstypen t werden der Schiffsverkehrsdatenbank entnommen und sind aus den Schiffsverkehrsdaten abgeleitet. Die unterschiedlichen Anlagentypen l des Windparks definieren sich durch die Angaben der Planer. Es wird zwischen unterschiedlichen Anlagen der Windenergieanlagen (OWEA) 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 $P_{SE,Br} = 0.0375$.

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

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

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

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 Tonnage- begrenzungen [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
Chemikaliertanker	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 Tonnage- begrenzung [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.

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

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.

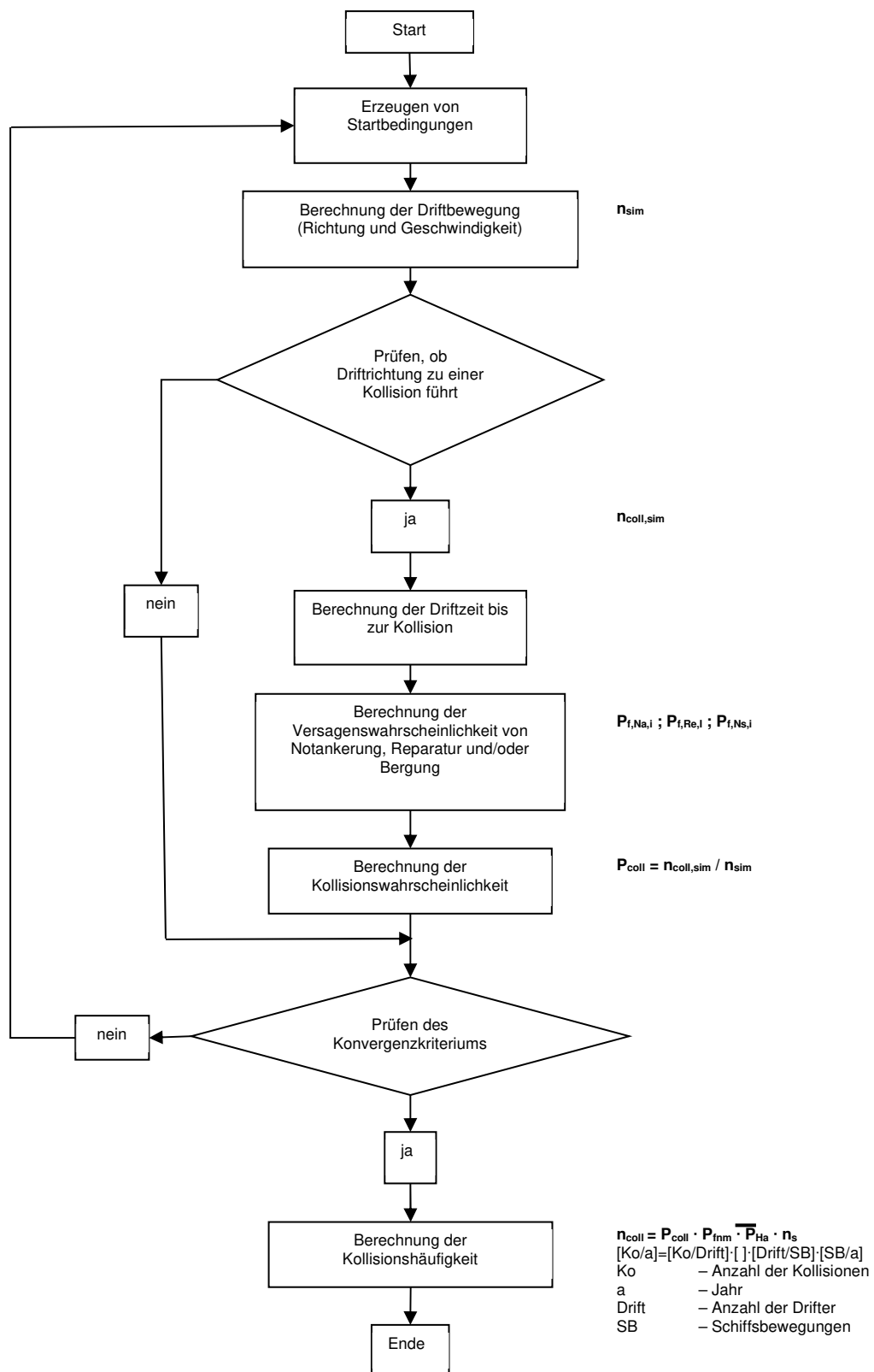


Abbildung A-4: Schematische Darstellung des Ablaufs der Monte-Carlo Simulation

- *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°.

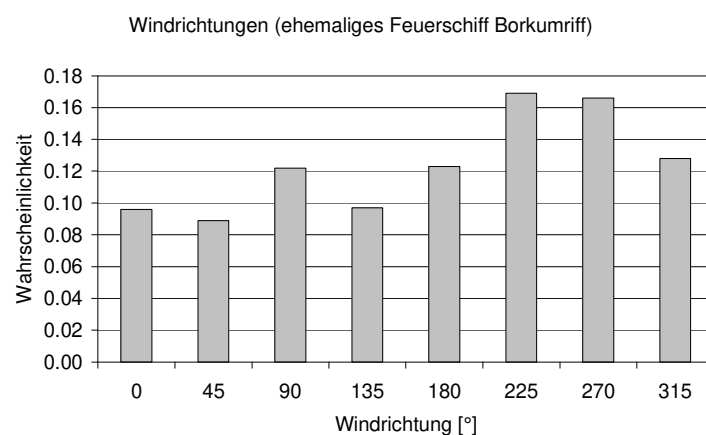


Abbildung A-5: Beispiel einer Zufallsvariable (Windrichtung)

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

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

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, in dem 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 die 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.

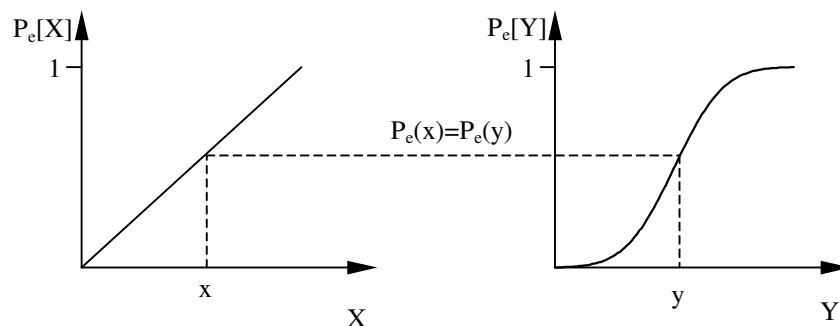


Abbildung A-6: Transformation gleichverteilter Zufallszahlen

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.

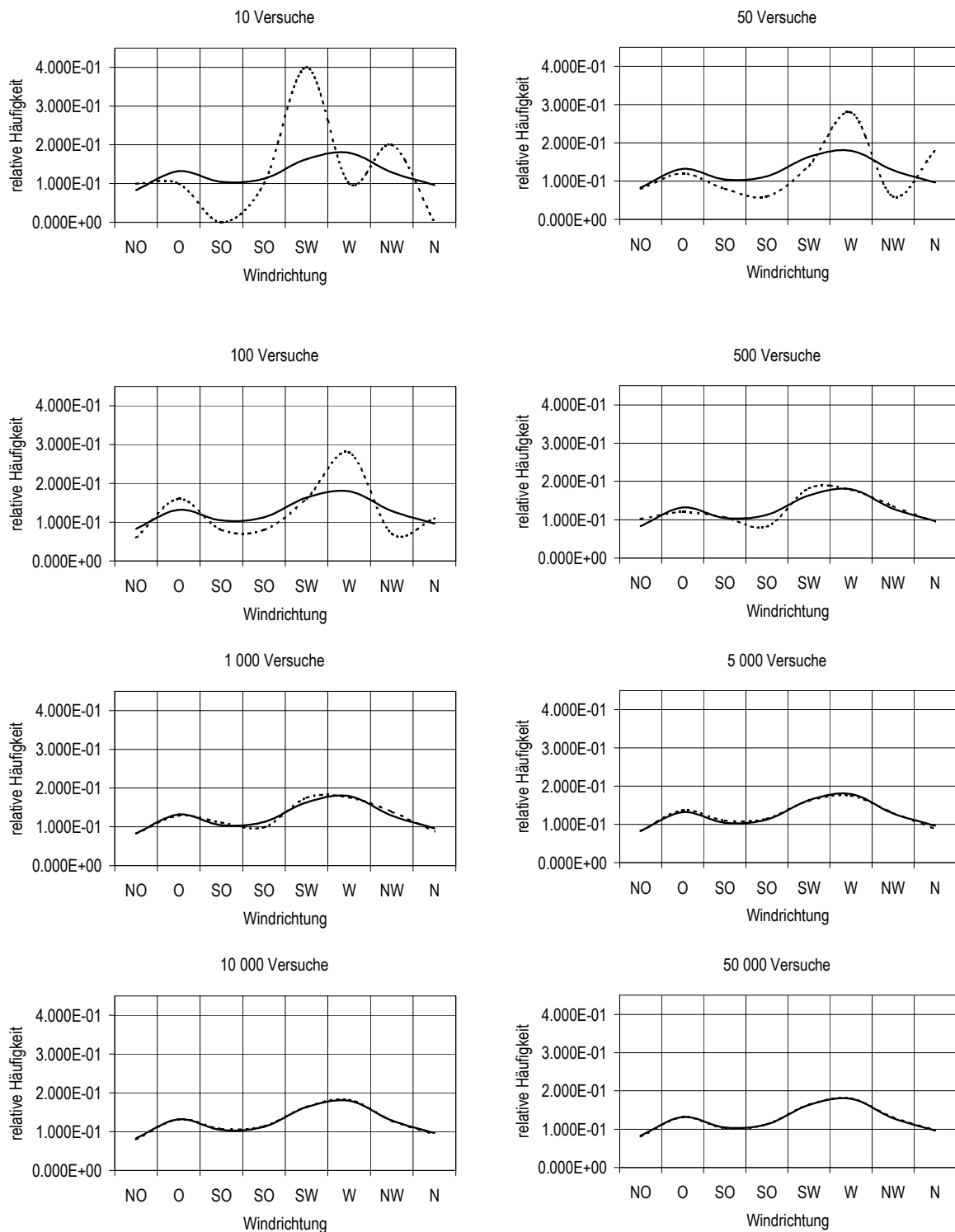


Abbildung A-7: Konvergenz der simulierten Windrichtungen mit steigender Zahl von Versuchen

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.

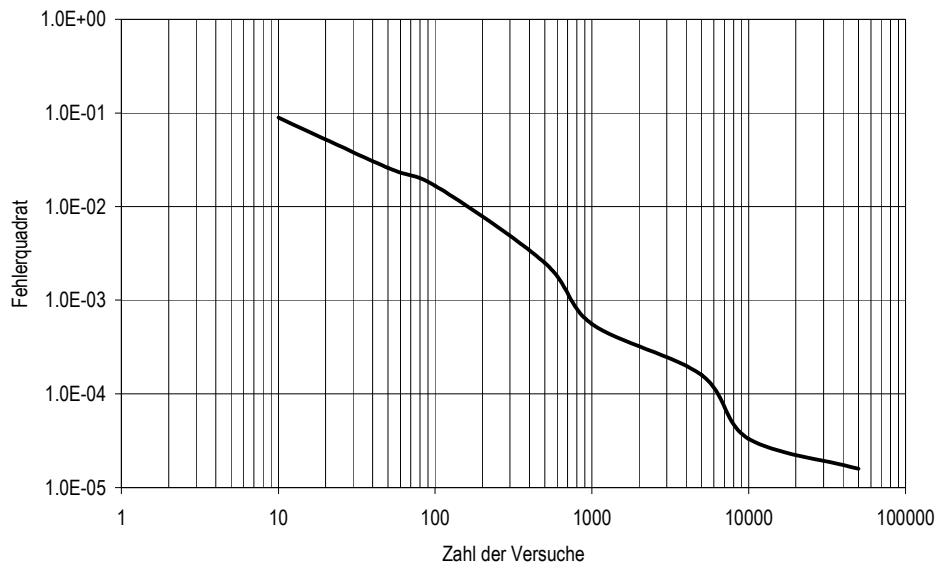


Abbildung A-8: Quantitative Beschreibung des Konvergenzverhaltens der berechneten Startbedingungen

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 Lateralfläche des Überwasserschiffes und v_S - die Geschwindigkeit des Schiffes über Grund. Die Lateralfläche $A_{l,Win}$ 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 Lateralfäche des Unterwasserschiffes. Die Lateralfäche 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 OWEA bzw. UW führen kann. Hierfür wird die Fläche (Driftkorridor) berechnet, über die das Schiff manövrierunfähig driftet, siehe Abbildung A-9. Liegen OWEA oder UW des Windparks innerhalb dieses Korridors, so ist das Schiff kollisionsgefährdet.

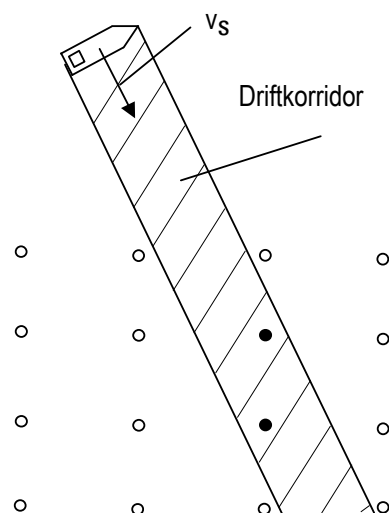


Abbildung A-9: Driftkorridor eines manövrierunfähigen Schiffes (nicht maßstäblich)

- *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 OWEA 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/.

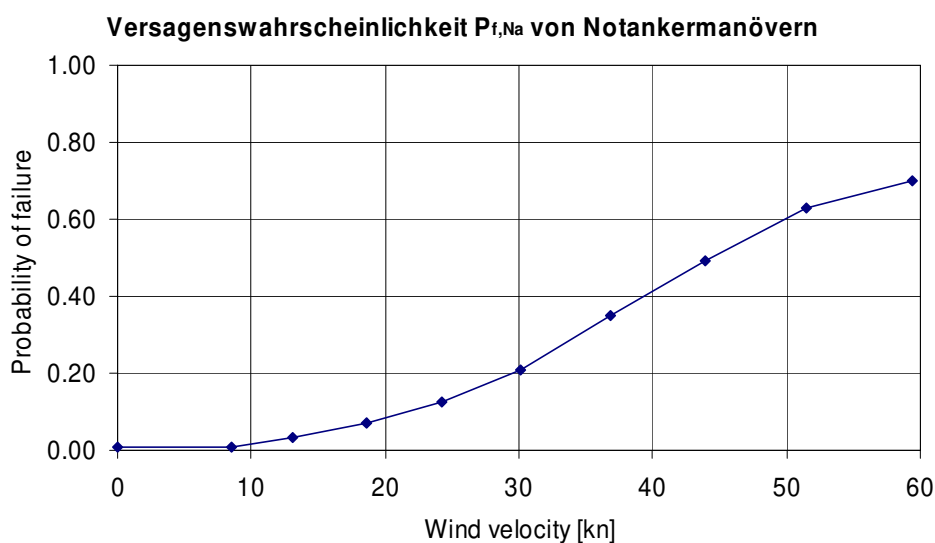


Abbildung A-10: Risikomindernde Wirkung von Notankerung

- Reparaturmaßnahmen

Manövrierunfähigkeit 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.

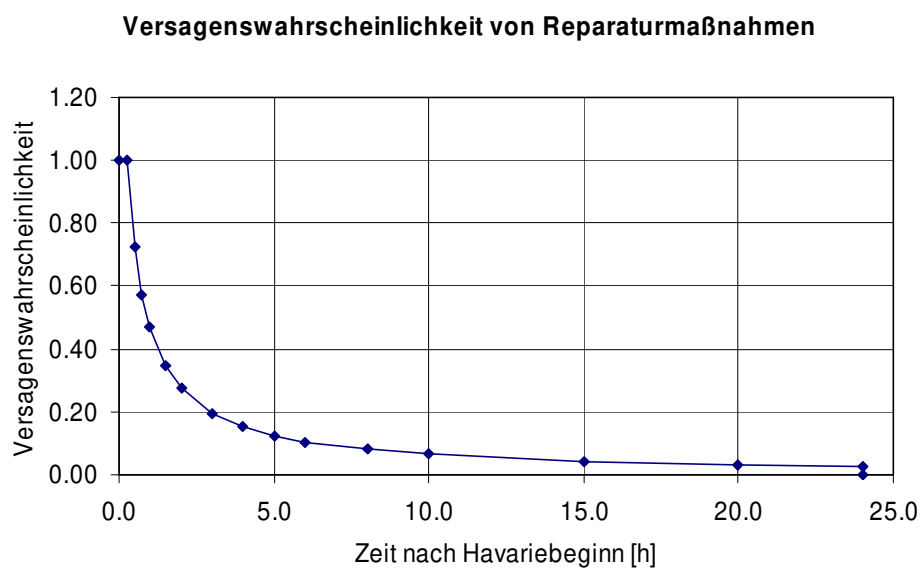


Abbildung A-11: Berücksichtigung von Reparaturmaßnahmen in der Monte-Carlo Simulation

- Bergung mit Schlepperunterstützung

Der Einsatz von Bergungsschleppern ist eine weitere Möglichkeit, die drohende Kollision eines manövrierunfähigen Schiffes mit OWEA 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.

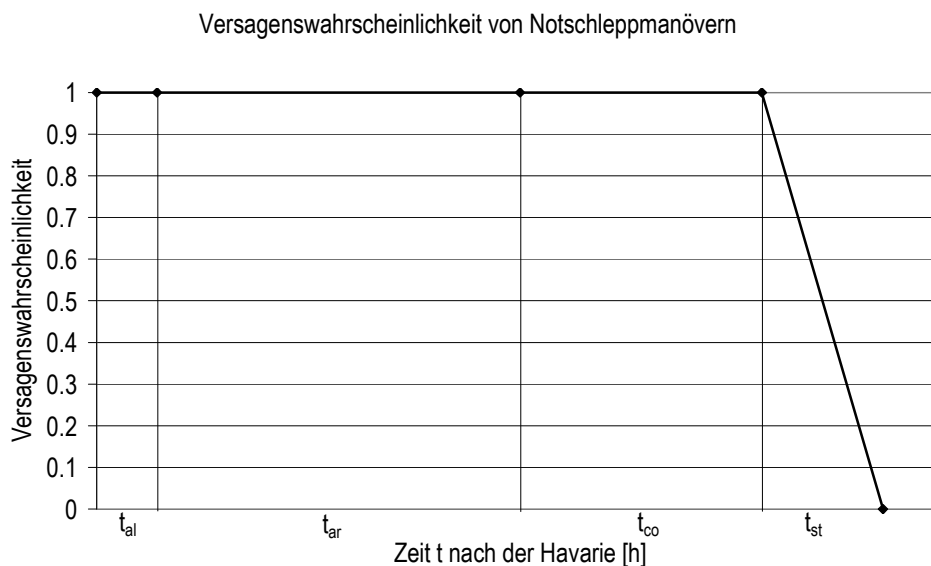


Abbildung A-12: Berücksichtigung von Bergungseinsätzen in der Monte-Carlo Simulation

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 OWEA 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 Notschleppereinsätze 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, 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 Notschleppereinsätze 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 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.

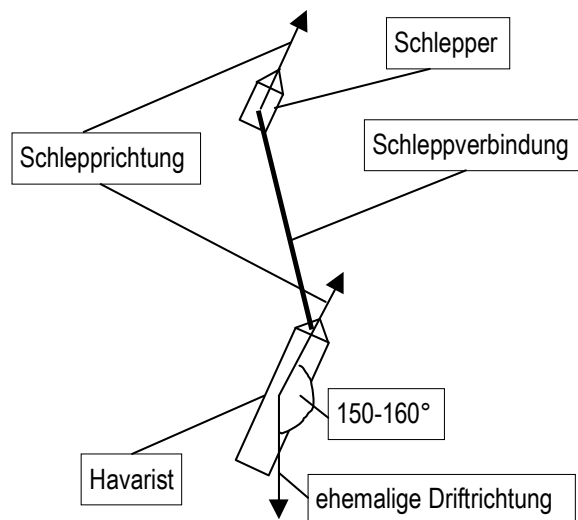


Abbildung A-13: Annahme zur Lage von Havarist und Schlepper bei Schleppmanövern

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 $\vec{F}_p$ 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).

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

- *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.

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

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:

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

In Gleichung (A-16) ist $\bar{P}_{\text{coll}}$ die Standardabweichung der Kollisionswahrscheinlichkeit, $\bar{P}_{\text{coll}}$ 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.

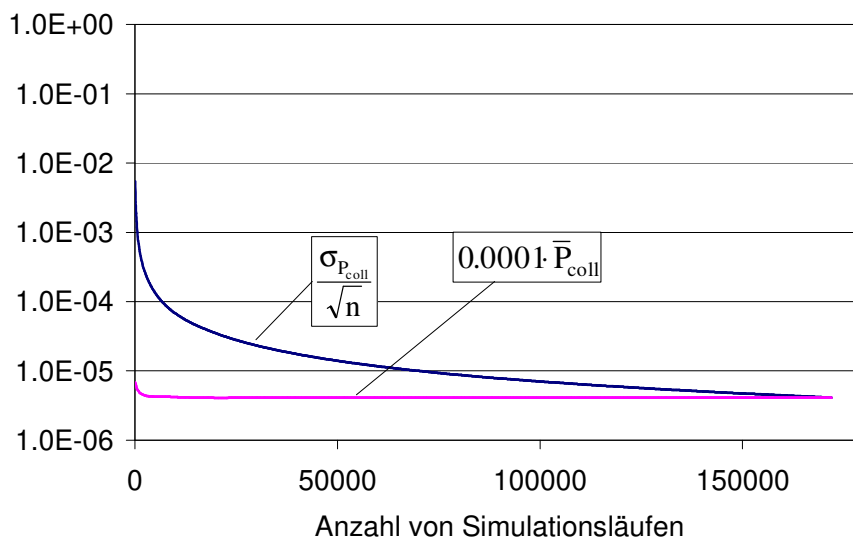


Abbildung A-14: Konvergenz der Kollisionswahrscheinlichkeit innerhalb der Monte-Carlo Simulation

- *Berechnung der Kollisionshäufigkeit*

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

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

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

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

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

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

In Gleichung (A-19) ist l_{k} die Länge des betrachteten Routenabschnittes, $t_{\text{f,PS}}$ das Ausfallintervall des Propulsionssystems und v_{S} die Schiffsgeschwindigkeit nach Tabelle A-4.

Tabelle A-4: Tabelle der typspezifischen Schiffsgeschwindigkeiten

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

A.3.2 Berechnung der Kollisionskonsequenzen

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

Im Falle eines driftenden Schiffes kann davon ausgegangen werden, dass das Schiff seitlich mit dem Turm der OWEA 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, dass 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 $\bar{M}_{\text{Öl}}$ wird für manövrierunfähigen Schiffen mit Gleichung (A-20) berechnet. An dieser Stelle wird ebenfalls vereinfachend auf die Darstellung des Zähler k für jeden betrachteten Routenabschnitt verzichtet.

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

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

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

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.

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.

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

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/ ISESO 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.; Østergaard, 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

DNV is the independent expert in risk management and assurance, operating in more than 100 countries. Through its broad experience and deep expertise DNV advances safety and sustainable performance, sets industry benchmarks, and inspires and invents solutions.

Whether assessing a new ship design, optimizing the performance of a wind farm, analyzing sensor data from a gas pipeline or certifying a food company's supply chain, DNV enables its customers and their stakeholders to make critical decisions with confidence.

Driven by its purpose, to safeguard life, property, and the environment, DNV helps tackle the challenges and global transformations facing its customers and the world today and is a trusted voice for many of the world's most successful and forward-thinking companies.