



Dept. Risk Assessment and Mechanical Engineering (NB-ER)

Offshore Windparks - Wirksamkeit kollisionsverhindernder Maßnahmen

Abschlußbericht

Bericht-Nr: NER 2008.178

Version 1.8/2008-11-24



*Offshore Windparks - Wirksamkeit
kollisionsverhindernder Maßnahmen*
Abschlußbericht

Bericht Nr. NB-ER 2008.178

Version 1.8/2008-11-24

Abteilung Risk Assessment and Mechanical Engineering/NB-ER

Berichtskontrollblatt

Auftraggeber: Stiftung Offshore Windenergie Oldenburger Str. 65 26316 Varel	Bestell-Nr. / Auftragseingang: 13.03.2008												
Titel: Offshore Windparks - Wirksamkeit kollisionsverhindernder Maßnahmen Abschlußbericht													
Kurzbeschreibung: Ziel dieses Projektes ist die Beurteilung kollisionsverhindernder Maßnahmen für die in Planung befindlichen Offshore Windparks, um die Genehmigungsfähigkeit von künftigen Windparkprojekten unter Berücksichtigung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs besser beurteilen zu können. Insbesondere sollen Faktoren bestimmt werden, die quantifizieren, inwieweit eine Verminderung der Kollisionshäufigkeiten durch entsprechende Maßnahmen zu erreichen ist.													
Abteilung: Risk Assessment and Mechanical Engineering/NB-ER													
Bearbeiter	freigegeben												
Dipl.-Ing. Kay Dausendschön Dr.-Ing. Daniel Povel	Dr. Thomas Plonski (Head of Department)												
Ausgabe Nr.: 1.8	Datum der letzten Ausgabe: 2008-11-24												
Schlüsselwörter	Seitenzahl												
Offshore-Windpark, risikomindernde Maßnahmen, AIS, Notschlepper, Kollision, Kollisionshäufigkeit, Konsequenzen	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">im Hauptteil</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">: 40</td> <td style="width: 30%;"></td> </tr> <tr> <td>im Tabellenteil</td> <td style="text-align: center;">: -</td> <td></td> </tr> <tr> <td>im Bildteil</td> <td style="text-align: center;">: -</td> <td></td> </tr> <tr> <td>in Anhängen</td> <td style="text-align: center;">: 41</td> <td></td> </tr> </table>	im Hauptteil	: 40		im Tabellenteil	: -		im Bildteil	: -		in Anhängen	: 41	
	im Hauptteil	: 40											
im Tabellenteil	: -												
im Bildteil	: -												
in Anhängen	: 41												
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">☐ Entwurf</td> </tr> <tr> <td>☒ abgeschlossen</td> </tr> <tr> <td>☐ GL intern</td> </tr> </table>	☐ Entwurf	☒ abgeschlossen	☐ GL intern										
☐ Entwurf													
☒ abgeschlossen													
☐ GL intern													
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">Bericht Nr.:</td> <td>NB-ER 2008.178</td> </tr> <tr> <td>GL Auftrags-Nr.:</td> <td>7595 08 16261 194</td> </tr> <tr> <td>GL Reg. Nr.:</td> <td></td> </tr> </table>		Bericht Nr.:	NB-ER 2008.178	GL Auftrags-Nr.:	7595 08 16261 194	GL Reg. Nr.:							
Bericht Nr.:	NB-ER 2008.178												
GL Auftrags-Nr.:	7595 08 16261 194												
GL Reg. Nr.:													

INHALT

1 Zusammenfassung	2
2 Einleitung	5
3 Verkehrssituation und Windparkplanungen	6
4 „Sicherheitskonzept Deutsche Küste“	10
5 Maritime Verkehrssicherung	11
5.1 Wirkung auf manövrierfähige Schiffe	11
5.2 Wirkung auf manövrier <u>un</u> fähige Schiffe	13
6 Wirkung von Schleppern	17
7 Berechnungen der Schlepperwirksamkeit	22
7.1 Schiffsrouten	25
7.2 Klima, Wetter und Hydrologie	28
7.3 Bestimmung der Schlepperwirksamkeit	29
7.4 Wirksamkeit eines lokalen Schleppers	32
7.5 Wirksamkeit der Schlepper bei Berücksichtigung einer Radar- und AIS-Überwachung	35
8 Zusätzliche risikomindernde Maßnahmen	37
8.1 Reduzierung der Kollisionshäufigkeit	37
8.2 Reduzierung der Konsequenzen	39
8.3 Abschließende Bewertung der zusätzlichen risikomindernden Maßnahmen	39
Literatur	40
Anhang A Methoden der Risikoberechnung	41
Anhang B Darstellung berechneter Driftpfade	74
Anhang C Beispiel einer AIS-Auswertung	78

1 Zusammenfassung

In diesem Projekt wurden unterschiedliche, risikomindernde Maßnahmen für Offshore-Windparks betrachtet und quantifiziert, um die Genehmigungsfähigkeit von künftigen Windparkprojekten unter Berücksichtigung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs besser beurteilen zu können.

Die Wirksamkeit von AIS Transpondern am Windpark zur Identifikation der Windparkinstallationen durch die Schiffsführung sowie die Wirksamkeit der Verkehrsüberwachung auf manövrierfähige Schiffe wurde bereits in früheren Arbeiten analysiert. In Tabelle 1 sind die Wirkungen dieser Maßnahmen ebenso dargestellt wie die in diesem Projekt errechneten. Es bleibt darauf hinzuweisen, dass die Wirkung von AIS Transpondern bisher nur, auf der sicheren Seite liegend, abgeschätzt wurde. Eine detaillierte Quantifizierung der Wirkung auf manövrierfähige Schiffe im Zusammenhang mit möglichen Kollisionen mit Windpark-Installationen wurde bisher nicht vorgenommen und steht somit noch aus, wodurch sich eventuell weiteres Potential zur Risikoreduzierung ergibt.

In diesem Projekt wurden unter anderem die Wirkungen einer Verkehrsüberwachung sowie der Einsatz von Notschleppern betrachtet. Hierbei wurden drei Windpark-Cluster (Eignungsgebiete nördlich Borkum, Gebiet nördlich VTG German Bight Western Approach und Gebiet nördlich Helgoland) betrachtet. Die ermittelten Wirkungen (Faktor 2,6 bis 5,2) sind ebenfalls in Tabelle 1 zu finden. Bei der Berechnung der Wirksamkeiten wurde die Ausrüstung der Verkehrsüberwachung zur Identifizierung eines Drifters berücksichtigt. Es wurden die Ausrüstungsvarianten mit AIS sowie mit AIS und Radar unterschieden. Im Detail sind die Ergebnisse für die unterschiedlichen Windpark-Cluster in Tabelle 2 dargestellt.

Im Weiteren wurde die risikomindernde Wirkung jeweils eines zusätzlichen Schleppers mit 70t Pfahlzug an den geplanten Windpark-Clustern betrachtet. Durch den jeweils zusätzlichen Schlepper konnten die Kollisionshäufigkeiten manövrierunfähiger Schiffe weiter reduziert werden. Zusammen mit dem Notfallschlepper auf der Bereitschaftsposition nördlich Norderney konnten Wirksamkeiten zwischen 3.4 und 6.0 ermittelt werden (Tabelle 2).

Im Folgenden wurde versucht, weitere Maßnahmen zu identifizieren, die eine weitergehende Reduzierung des Kollisionsrisikos mit Anlagen der geplanten Offshore-Windparks zum Ziel haben. Es konnte festgestellt werden, dass bereits der Großteil an möglichen risikomindernden Maßnahmen im Rahmen der Genehmigungsverfahren untersucht wird und somit zur Risikoreduzierung berücksichtigt wird (z.B. Kennzeichnung der Anlagen, kollisionsfreundliche Fundamente). Die rechnerische Ermittlung der Wirkung der vorhandenen Notschleppeinrichtungen auf Tankern ergab einen minimalen Effekt auf die berechneten Gesamtkollisionshäufigkeiten von manövrierunfähigen Schiffen.

Tabelle 1: Wirkung risikomindernde Maßnahmen

Maßnahme	Wirkung	
	Manövrierfähige Schiffe	Manövrier<u>un</u>fähige Schiffe
AIS Transponder am Windpark	Verminderung der Kollisionshäufigkeit um den Faktor 1,25 (siehe /2/)	
Verkehrsüberwachung/ Seeraumbeobachtung ^{*)} , Variante 1 (vollständig manuell über AIS und Radar) (siehe S. 12)	Verminderung der Kollisionshäufigkeit um den Faktor 4	Verminderung der Kollisionshäufigkeit um den Faktor 1,1 aufgrund kommunikativer Unterstützung Radar und AIS: Erkennung von 98% der manövrier <u>un</u> fähigen Schiffe Nur AIS: Erkennung von 88% der manövrier <u>un</u> fähigen Schiffe
Verkehrsüberwachung/ Seeraumbeobachtung, Variante 2 (optional manuell über AIS) (siehe S. 12)	Verminderung der Kollisionshäufigkeit um den Faktor 3	
Verkehrsüberwachung/ Seeraumbeobachtung, Variante 3 (automatisch über AIS) (siehe S. 13)	Verminderung der Kollisionshäufigkeit um den Faktor 2,5	
Notschlepper auf der Bereitschaftsposition nördlich Norderney mit 200t Pfahlzug		Verminderung der Kollisionshäufigkeit um den Faktor 2,6 bis 5,2 je nach Windpark-Cluster und Ausrüstung der Verkehrsüberwachung zur Identifizierung eines manövrier <u>un</u> fähigen Schiffes (siehe Tabelle 2)
*) Maßnahmen der Verkehrsüberwachung werden staatlichen Stellen und Maßnahmen der Seeraumbeobachtung privaten Betreibern zugeordnet.		

Die in Tabelle 1 dargestellten Varianten der Verkehrsüberwachung werden in Abschnitt 5 erläutert.

Tabelle 2: Wirksamkeitsfaktoren von Notschleppmanövern

Berücksichtigte Schlepper	Cluster 1 Eignungsgebiete nördlich Borkum	Cluster 2 nördl. VTG German Bight Western Approach	Cluster 3 nördl. Helgoland
Wirksamkeitsfaktoren von Notschleppmanövern unter Berücksichtigung einer Drifteridentifikation über AIS (Identifikationsrate: 84%)			
Bereitschaftsposition nördlich Norderney Pfahlzug 200t	3,7	2,6	2,7
Bereitschaftsposition nördlich Norderney Pfahlzug 200t + Bereitschaftsposition am Windpark-Cluster Pfahlzug 70t	4,1	3,4	3,4
Wirksamkeitsfaktoren von Notschleppmanövern unter Berücksichtigung einer Drifteridentifikation über AIS und Radar (Identifikationsrate: 94%)			
Bereitschaftsposition nördlich Norderney Pfahlzug 200t	5,2	3,1	3,2
Bereitschaftsposition nördlich Norderney Pfahlzug 200t + Bereitschaftsposition am Windpark-Cluster Pfahlzug 70t	6,0	4,6	4,5

Aus Sicht der Gutachter ist aufgrund der festgestellten und dargestellten Wirkung der Maritimen Verkehrssicherung auf manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe eine Ausweitung der Maritimen Verkehrssicherung auf die Seegebiete im Bereich der Windparks in der AWZ zu empfehlen.

2 Einleitung

Windenergieanlagen sind künstliche Hindernisse für den Schiffsverkehr auf See. Mit der Errichtung von Windenergieanlagen in Nord- und Ostsee dürfen nur verantwortbare Risiken für den Schiffsverkehr verbunden sein. Diese Risiken werden im Wesentlichen durch mögliche Kollisionen zwischen Schiffen und Windenergieanlagen, bei denen es zur Schädigung von Schiff und/oder Anlage und dem daraus resultierenden Austritt von Schadstoffen kommt, hervorgerufen. Mit zunehmender Nutzung von Flächen für die Windenergie steigt dieses Risiko an, wobei diesem durch eine Weiterentwicklung der Technik bis zu einem gewissen Maß entgegengewirkt werden kann. Um die Risiken nicht über das gesellschaftlich akzeptable Maß ansteigen zu lassen, werden künftig zusätzliche Maßnahmen zur Kollisionsverhütung notwendig. Eine weitere Möglichkeit das Risiko zu mindern, besteht im aktiven Einbringen vorhandener und zusätzlicher Mittel von Seiten des Windparkbetreibers oder von staatlichen Stellen. Eine Beurteilung der Wirksamkeit solcher Maßnahmen ist bisher nur in Grundzügen erfolgt.

Ziel dieses Projektes ist die Beurteilung kollisionsverhindernder Maßnahmen hinsichtlich der Anforderungen, die durch zukünftige Windparkplanungen in Nord- und Ostsee entstehen. Insbesondere sollen Faktoren bestimmt werden, die quantifizieren, inwieweit eine Verminderung der Kollisionshäufigkeiten durch entsprechende Maßnahmen zu erreichen ist. Die Intention dieses Berichts besteht demnach in erster Linie darin, Maßnahmen aufzuzeigen, um Eintrittswahrscheinlichkeiten von Kollisionen zwischen Schiffen und Windenergieanlagen zu verringern. Eine Beurteilung von Maßnahmen zur Verringerung des Schadensausmaßes im Falle einer Kollision wird im Kapitel 8 behandelt, war jedoch nicht primärer Gegenstand dieser Analyse.

3 Verkehrssituation und Windparkplanungen

Da zur Zeit die überwiegende Mehrzahl von Windparks in der Deutschen Bucht geplant werden und insbesondere durch die Kumulationswirkung das hier von den Windparks ausgehende Kollisionsrisiko höher als das von Planungen in der Ostsee einzustufen ist, wird im Rahmen dieser Untersuchung schwerpunktmäßig auf Parks in der Deutschen Bucht eingegangen. Die Analyse von kollisionsverhindernden Maßnahmen wird, sofern es sich nicht um spezielle an den Ort geknüpfte handelt, als ortsunabhängig vorgenommen. Eine Übersicht der Planungen in Nord- und Ostsee ist der Abbildung 1 und Abbildung 2 des BSH zu entnehmen /3/ (Stand August 2008).

Eine Kumulationswirkung, das heißt eine Erhöhung des Kollisionsrisikos innerhalb eines Seegebietes durch die Ballung von Windparks ist in der Nordsee insbesondere zwischen den Verkehrstrennungsgebieten „Terschelling German Bight“ und „German Bight Western Approach“ und im Bereich der Gasverdichterplattform GNSC-H7 zu erwarten. Speziell im ersten Fall trifft die hohe Anlagenzahl mit einem starken Verkehrsaufkommen zusammen.

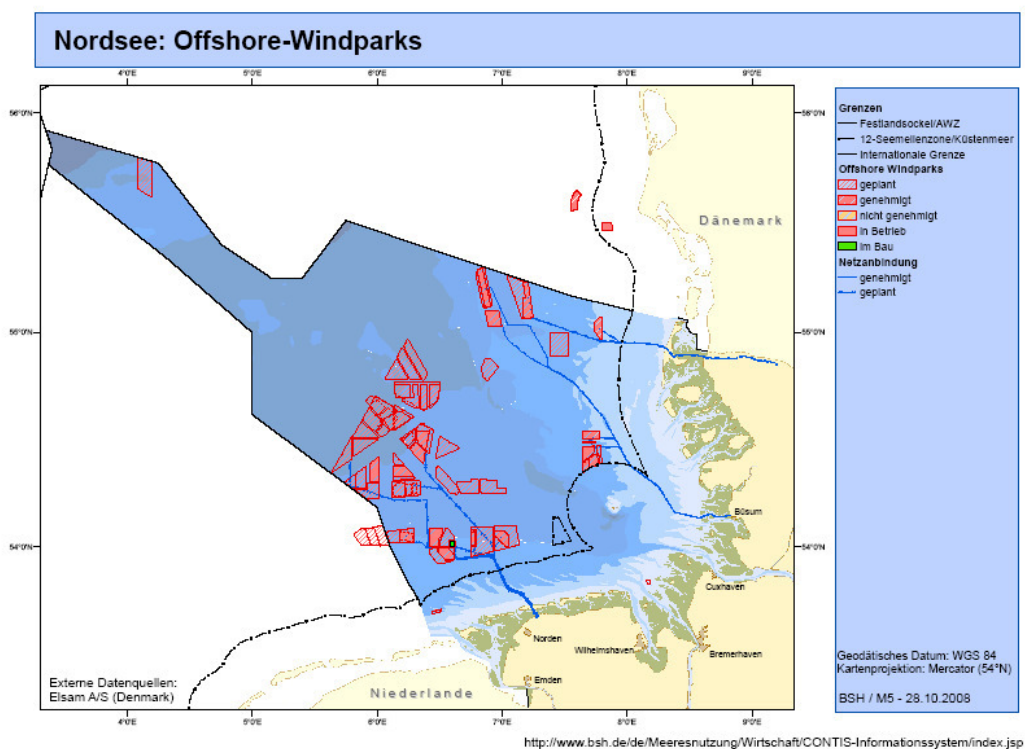


Abbildung 1: Planung von Offshore Windparks in der Deutschen Bucht /3/

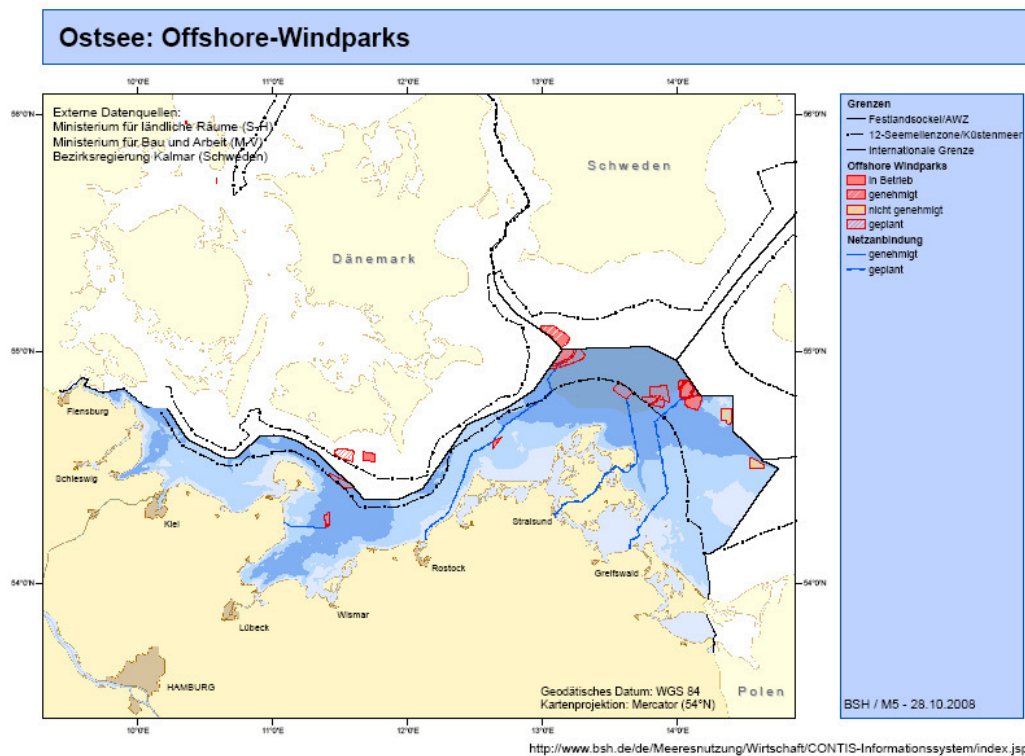


Abbildung 2: Planung von Offshore Windparks im deutschen Ostseeraum /3/

Von der WSD-Nordwest werden jährlich die Schiffsbewegungen auf den Hauptrouten in der Deutschen Bucht erhoben, wie in Abbildung 3 dargestellt. Die Nähe der Windparkplanungen zum stark befahrenen TSS Terschelling German Bight (ca. 35.000 Schiffsbewegungen pro Jahr) verlangt zumindest in Bezug auf mögliche Kollisionen zwischen manövrierunfähigen Schiffen und Windenergieanlagen besondere Beachtung.

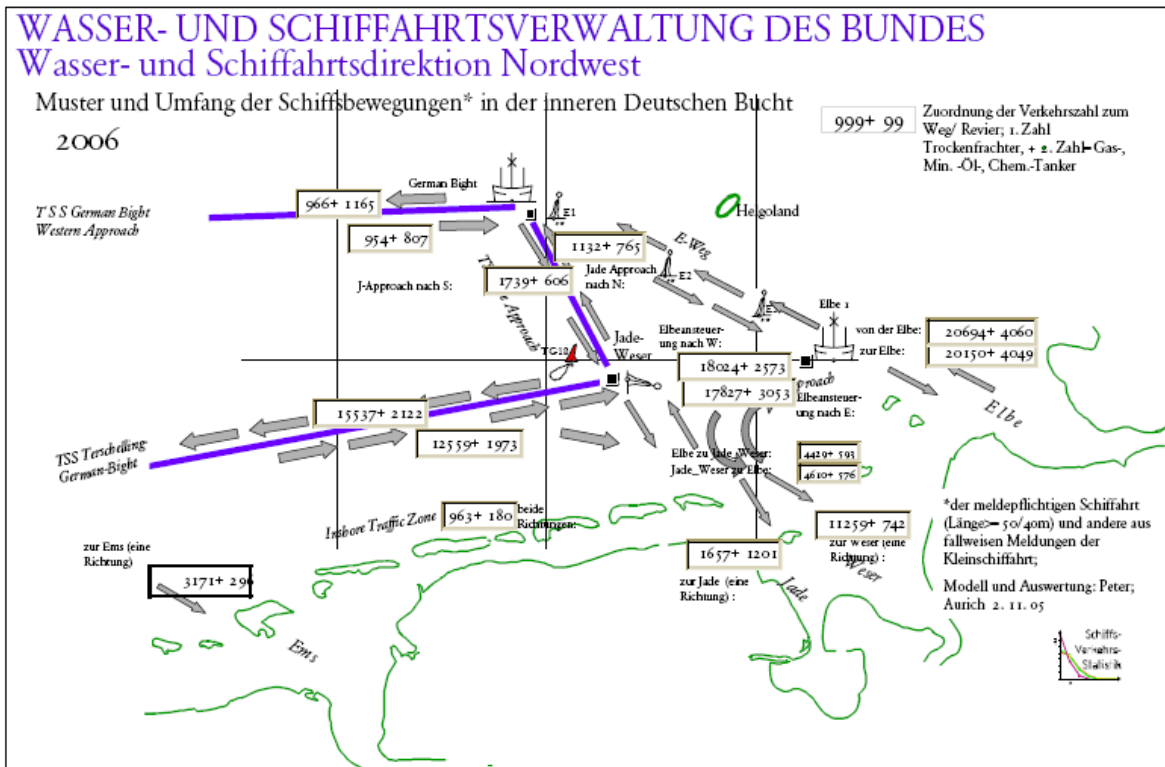


Abbildung 3: Schiffsbewegungen auf den Hauptrouten in der Deutschen Bucht /6/

Nördlich der Verkehrstrennungsgebiete ist der Schiffsverkehr weniger konzentriert, sondern flächig verteilt, wie in der Darstellung von AIS-Tracks in Abbildung 4 zu sehen ist. Dieser Flächenverkehr muss in der Zukunft an den Windparks vorbeigeführt werden. Deshalb sollte in diesem Bereich besonderes Augenmerk auf Risiken der Kollision zwischen manövrierfähigen Schiffen und Windenergieanlagen gelegt werden.



Abbildung 4: AIS-Tracks des Verkehrs in der Deutschen Bucht; erhoben über drei Monate in 2007 (rot: westgehende Schiffe; grün: ostgehende Schiffe)

4 „Sicherheitskonzept Deutsche Küste“

Unter Federführung des BMVBS entwickelte und implementierte die WSV das Sicherheitskonzept für die Deutsche Küste (/4/,/5/), dessen wesentliches Ziel es ist, die maritime Verkehrssicherheit mit verschiedenen Komponenten zu erhöhen. Dieses Konzept wird ständig den Entwicklungen der Seeschifffahrt und den Bedürfnissen der maritimen Umwelt angepasst und fortgeschrieben. Es zielt primär auf die Vermeidung von Schiffsunfällen durch Präventivmaßnahmen ab, wobei das Unfallmanagement und die Bekämpfung von Schäden bei Eintreten eines Unfalls ebenfalls einen wichtigen Platz einnehmen.

Durch den Ausbau der Windenergie, vor allem im Bereich der Deutschen Bucht, ergibt sich für die Schifffahrt eine veränderte Lage und somit sind in Zukunft auch Auswirkungen auf das Sicherheitskonzept Deutsche Küste zu erwarten.

5 Maritime Verkehrssicherung

Der Schiffsverkehr in der Deutschen Bucht, Teilen der Ostsee und in den Zufahrten zu den deutschen Seehäfen wird von Verkehrszentralen (VZ, engl. VTSC) kontinuierlich mit verschiedenen technischen Hilfsmitteln überwacht. Die maritime Verkehrssicherung wird auf Grundlage des SeeAufgG sowie der SeeSchStrO durchgeführt. Die Verkehrszentralen bieten der Schifffahrt Verkehrsinformationen und Verkehrsunterstützung, bei Bedarf wird verkehrsregelnd eingewirkt. Dabei werden folgende Ziele verfolgt:

- Verhütung von Kollisionen und Grundberührungen
- Verkehrsablaufsteuerung
- Verhütung von Gefahren, ausgehend von der Schifffahrt, für die Meeresumwelt

Die Windparkplanungen in der Deutschen Bucht befinden sich fast ausschließlich außerhalb der 12 sm Zone. Inwieweit in der Zukunft durch die Verkehrszentralen eine kollisionsverhindernde Wirkung für Offshore-Windparks erzielt werden kann, ist nicht Ziel dieser Untersuchung. Vielmehr wird allgemein die Wirksamkeit einer Verkehrsüberwachung, die den Bereich der Windparkgebiete über die Mittel AIS und/oder Radar abdeckt, analysiert. Gegenwärtig liegen die in der AWZ geplanten Windpark-Flächen weitestgehend außerhalb der bestehenden Radarabdeckung der Verkehrszentralen der WSV.

Aufgabe einer solchen maritimen Verkehrssicherung ist es, Schiffe zu erkennen und zu identifizieren, die einen Kurs auf die Sicherheitszone eines Windparks haben oder sich auf Kollisionskurs mit dem Windpark befinden, und diese gegebenenfalls zu warnen sowie Navigationshinweise oder Navigationsanweisungen zu geben. Darüber hinaus können in Richtung eines Windparks driftende Schiffe erkannt und identifiziert werden, kommunikative Unterstützung gewährt werden und gegebenenfalls Notfallmaßnahmen ergriffen werden.

Im Folgenden wird die Wirkung der maritimen Verkehrssicherung auf manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe aufgrund ihrer Verschiedenartigkeit separat betrachtet.

5.1 Wirkung auf manövrierfähige Schiffe

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

Variante 1: Vollständige Verkehrsüberwachung / Seeraumbeobachtung

Eine vollständige Überwachung und Beobachtung schließt alle Maßnahmen der maritimen Verkehrssicherung ein. Dies beinhaltet eine permanente (manuelle) Beobachtung des Schiffsverkehrs durch ausgebildete Nautiker sowohl mit Hilfe von AIS, als auch mit Hilfe von Radar. Eine Quantifizierung der Wirksamkeit ist auf Grund der unterschiedlichen Ausrüstung der Schiffe und der jeweiligen nautischen Gegebenheiten des betrachteten Seeraums schwierig. Die Studien /7/ und /8/ 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 Verkehrsüberwachung positiv auswirkt /9/. Basierend auf Ergebnissen eines vom Germanischen Lloyd, MARIN und der Technical University of Denmark durchgeführten Forschungsprojektes /11/ wurde ein risikomindernder Faktor von 4,33 für eine umfassende Verkehrsüberwachung quantifiziert. Im Rahmen der Harmonisierung der Annahmen unterschiedlicher Gutachter wurde ein Faktor von 4 vereinbart /1/.

Variante 2: Automatische Überwachung oder 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 mit einer zusätzlichen Radarüberwachung und einer ständigen manuellen Auswertung sind Annahmen bezüglich einer reduzierten Wirksamkeit verbunden. Im Forschungsvorhaben SAFESHIP /11/ wurde eine Verkehrsüberwachung nur mit AIS-Geräten untersucht. Aufgrund der nicht 100% 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 /11/ ein Faktor von 3.66 festgestellt werden. Zusätzlich ist für diese Variante zu berücksichtigen, dass die Auswertung der AIS-Signale zunächst teilweise automatisch erfolgt. Hierbei ist mit einer Reduzierung der Wirksamkeit zu rechnen, so dass ein risikomindernder Faktor von 3 als realistisch angenommen wird.

Variante 3: Automatische Auswertung

Diese Variante unterscheidet sich gegenüber der oben beschriebenen Variante 2 in der Weise, dass die Auswertung des Schiffsverkehrs permanent automatisch über AIS vor dem Hintergrund der Einleitung von Sofortmaßnahmen bei besonderen Ereignissen vorgenommen wird und nur bei Überschreiten vorgegebener Grenzparameter ein Aufmerksamkeitssignal als Hinweis erfolgt. Nach Überprüfung können mögliche Maßnahmen ergriffen werden. Es ist auch denkbar, dass zusätzlich eine automatische Textmeldung über AIS an das entsprechende Schiff gesendet wird oder automatisch über den DSC-Kanal des UKW-Funkgerätes (Kanal 70) an das entsprechende Schiff eine Dringlichkeits- oder Sicherheitsmeldung abgesetzt wird.

Aufgrund der zunächst nur automatisch vorgenommenen Auswertung ist von einer weiteren Verminderung der Wirksamkeit im Vergleich zu Variante 2 auszugehen. Deshalb wird für diese Variante von einem reduzierten risikomindernden Faktor von 2.5 ausgegangen.

5.2 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 OWPs fahrenden Schiffe mit AIS-Geräten ausgerüstet. In dem F+E Vorhaben SAFESHIP /11/ (2005) wurde pessimistisch eine Ausrüstung und die Sendung der AIS-Daten bei 90% aller Schiffe angenommen. Inzwischen ist mit einem deutlich über diesem Wert liegenden Anteil zu rechnen.

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

Softwarealgorithmen, mit denen sich driftende Schiffe erkennen lassen, sind derzeit in der Entwicklung. Untersuchungen des GL deuten auf eine nahezu sichere Erkennung von driftenden Schiffen über AIS hin. Zum einen kann das AIS Gerät an Bord durch eine Statusmeldung (z.B. „not under command“ oder „restricted ability to manoeuvre“) auf ein Driften aufmerksam machen, zum anderen ist ein Erkennen durch Auswertung der Positionsmeldungen möglich. Letzteres ist durch ein Feststellen einer Differenz zwischen Kurs und Ausrichtung des Schiffes („course over ground“ und „heading“) und über komplexere Auswertung der zeitlichen Änderung verschiedener AIS-Parameter („speed over ground“, „course over ground“, „heading“) zu erreichen. Beispielhaft ist in Abbildung 6 die Spur eines über AIS-Auswertung identifizierten Drifters dargestellt.

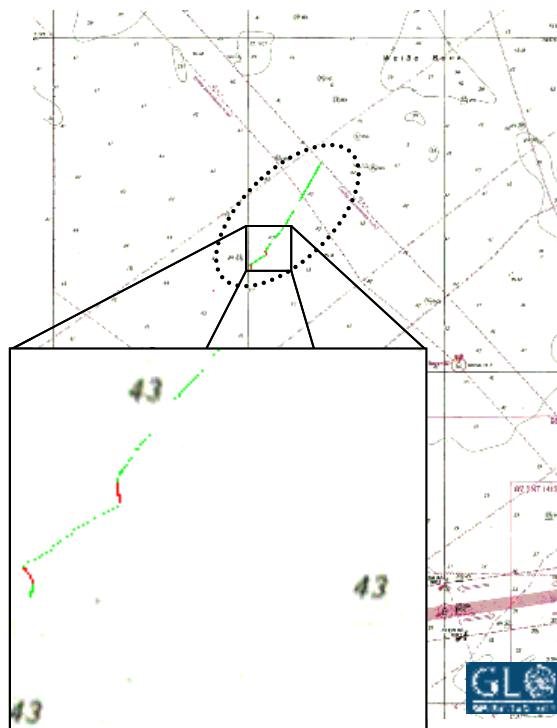


Abbildung 5: Spur eines über AIS-Auswertung identifizierten Drifters

Durch einen Ereignisbaum, der die jeweiligen Teilwahrscheinlichkeiten für verschiedene Arten der Identifikation enthält, lässt sich eine Gesamtwahrscheinlichkeit für das Erkennen eines Drifters durch eine Verkehrsüberwachung ermitteln, siehe Abbildung 6. Bei Annahme konservativer Werte, kann davon ausgegangen werden, dass ca. 85% aller Schiffe über das AIS-Signal identifiziert werden können. Ein Nicht-Erkennen kann, unter anderem, durch Ausfall des bordseitigen AIS-Systems, Fehler bei der Installation und Einstellung oder ein Fehlschlagen der Auswertelgorithmen hervorgerufen werden. Unabhängig von der Erkennung über AIS ist auch ein Selbstmelden des driftenden Schiffes über UKW möglich, was mit einer

geringen Wahrscheinlichkeit berücksichtigt wird. Somit können insgesamt durch Selbstmeldung und AIS-Auswertung 88% aller manövrierunfähigen Schiffe identifiziert werden.

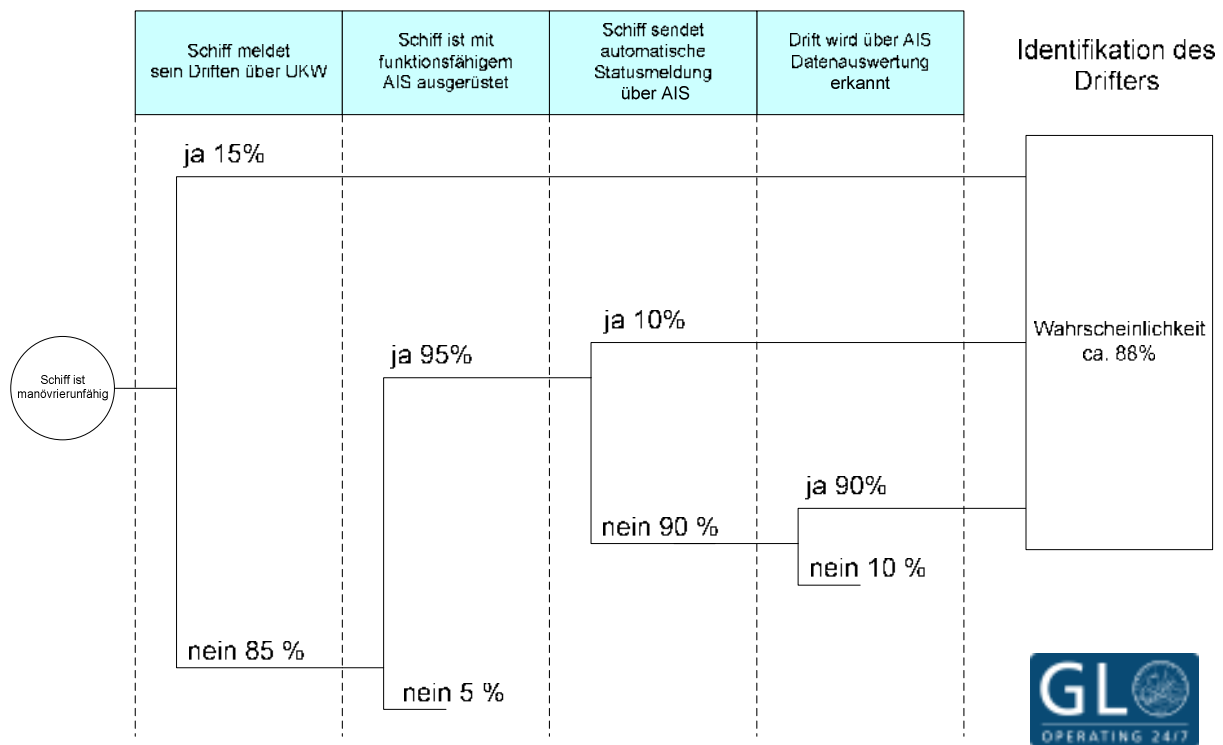


Abbildung 6: Ereignisbaum zur Drifteridentifikation durch Verkehrsüberwachung über AIS

Wird die Verkehrsüberwachung über AIS durch Radar ergänzt, ergibt sich eine höhere Wahrscheinlichkeit der Drifteridentifikation. Einerseits ist man vom AIS-Signal unabhängig, andererseits können auftretende Differenzen zwischen beiden Signalen zusätzliche Informationen liefern. Über den in Abbildung 7 dargestellten Ereignisbaum wird eine Erkennung des Drifters in 98% aller Fälle errechnet.

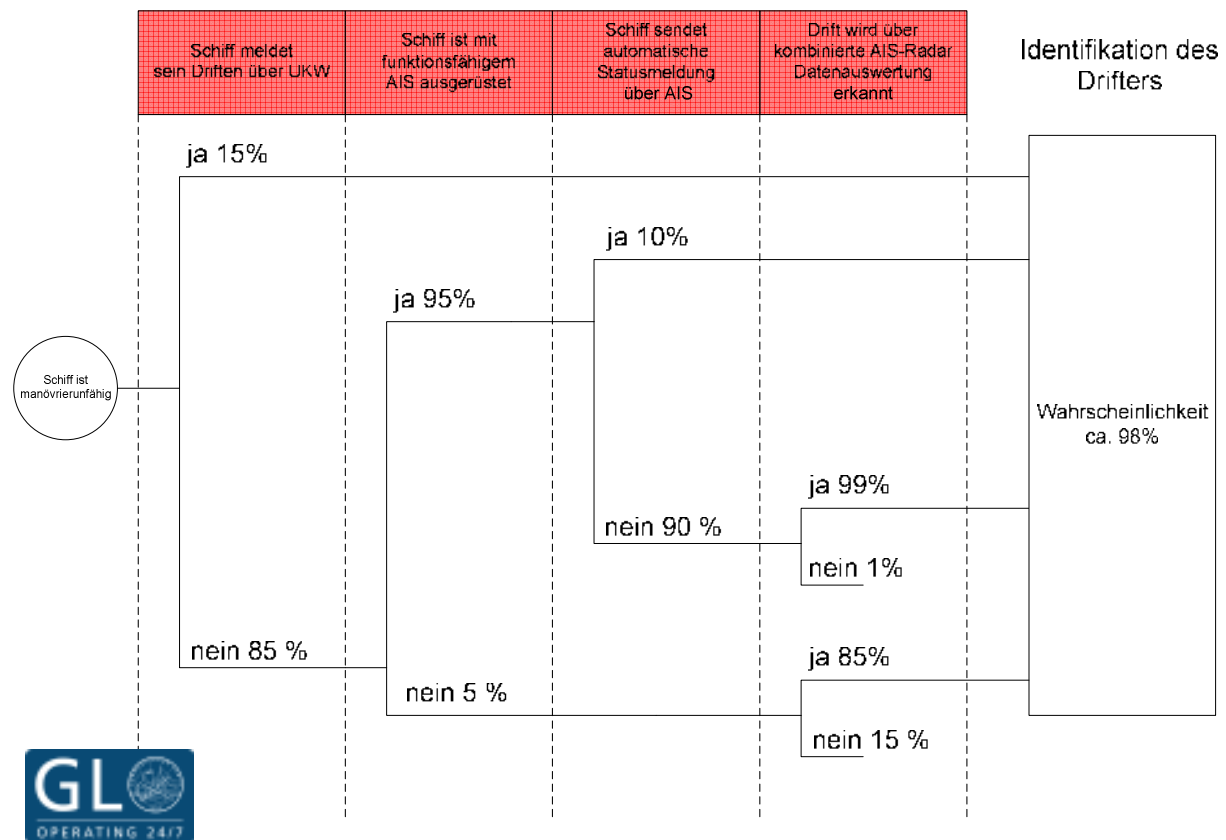


Abbildung 7: Ereignisbaum zur Drifteridentifikation durch Verkehrsüberwachung über AIS und Radar

Bei Verfolgung der Driftbewegung der erkannten manövrierunfähigen Schiffe sowie einer Kommunikation mit dem Drifter kann ein Gefährdungspotential durch den jeweiligen Drifter 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 der Verkehrsüberwachung und die der 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 10% aller Fälle kann eine Kollision zwischen manövrierunfähigen Schiffen und Windenergieanlagen durch kommunikative Mittel verhindert werden.

6 Wirkung von Schleppern

Die Möglichkeit der Bergung eines Havaristen durch einen oder mehrere Schlepper setzt neben der Erkennung und Identifikation des Schiffes die Einsatzbereitschaft der Schlepper voraus. Dafür können ebenfalls Annahmen getroffen werden.

Der große Nordseeschlepper auf der Position 10 sm nördlich von Norderney (derzeit von der "Oceanic" besetzt) kann ganzjährig für Notschleppesätze vom Havariekommando oder dem WSA Cuxhaven eingesetzt werden. Er ist in der Regel innerhalb von 0,5 h einsatzklar. Bei diesem Schlepper kann von einer hohen Wahrscheinlichkeit der Bereitschaft von etwa 96% (d.h. an 16 Tagen im Jahr steht hier kein Schlepper zur Verfügung) ausgegangen werden, da er ausschließlich für Schleppmanöver, allerdings vorwiegend zum Küstenschutz, vorgehalten wird. Für den Fall des technischen Ausfalls, des Besatzungswechsels und Bunkerns von Treibstoff wird er adäquat durch andere Schiffe ersetzt. Die „Oceanic“ wird im Jahr 2010 durch einen neuen Schlepper ersetzt. Aus dem Anforderungsprofil der Ausschreibung für diesen neuen Schlepper ergeben sich folgende Leistungsdaten:

Tabelle 3: Leistungsdaten für den geplanten Schlepper auf der Position nördlich Norderney

Geschwindigkeit:	19,5 kn
Geschwindigkeit (Schlechtwetter):	>14 kn bei 9 bft Gegenwind und 5 m Wellenhöhe
Pfahlzug:	200t
Manövrierfähigkeit:	Wende 360° in unter 2,5 min
Position halten:	Bei 6 bft quer zum Wind möglich

Die Mehrzweckschiffe „Mellum“ und „Neuwerk“ sind ebenfalls Bestandteil des Notschleppkonzeptes im Rahmen des Sicherheitskonzeptes Deutsche Küste. Da diese Schiffe bis zu einer Windstärke von 8 bft mit anderen Tätigkeiten, wie etwa Tonnenlegen, beschäftigt sind, ist nur mit eingeschränkter Bereitschaft zu rechnen. Zusätzlich besteht grundsätzlich die Möglichkeit den niederländischen Notschlepper „Waker“ anzufordern. Im Weiteren werden die genannten Schlepper in diesen Untersuchungen nicht mit einbezogen.

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

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

Es gibt in Abhängigkeit der Umweltbedingungen verschiedene Parameter, die sich wesentlich auf die Wirkung eines Notschleppers auswirken. Dies sind:

- Entfernung des Drifters zum Windpark
- Driftgeschwindigkeit
- Entfernung des Schleppers zum Drifter und Windpark
- Zugleistung
- Alarmierungszeit / Bereitschaft des Schleppers

Die zwei erstgenannten Parameter lassen sich durch Maßnahmen nicht beeinflussen, wohingegen aus den letzteren Anforderungen an ein Notschleppkonzept abgeleitet werden können. Im Rahmen dieses Projektes wurde mit Hilfe des GL-Driftmodells und der Risikoanalysesoftware CollWt der Einfluss der eben genannten Parameter untersucht.

Entsprechend den harmonisierten Annahmen von 2005 /2/ berücksichtigt das Rechenmodell des GL eine detaillierte Modellierung der Bergung durch Notschlepper mit Berücksichtigung der zeitlichen Abläufe sowie der Schleppkapazitäten. Eine Begrenzung der Notschleppeinsätze auf Windbedingungen kleiner 8 bft wird nicht vorgenommen.

Natürlich wirken sich die Entfernung der driftenden Schiffe zum Windpark und der Stationierungsort des Schleppers wesentlich auf Wirksamkeit aus. In einigen Gebieten, wie etwa dem Verkehrstrennungsgebiet Terschelling German Bight sind die Abstände zwischen Windpark und Verkehrsrouten sehr gering, das Verkehrsaufkommen jedoch hoch. In solchen Fällen ist ein möglichst schneller und nah an den Windpark positionierter Schlepper besonders vorteilhaft. Die Bereitschaftsposition nördlich Norderney erscheint vor diesem Hintergrund günstig.

Die Zeit, die für eine erfolgreiche Bergung benötigt wird, lässt sich durch die in der folgenden Abbildung 8 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 Drifter zu einer Kollision mit einer Windenergieanlage kommen kann. Das Notschleppmanöver gilt als gescheitert, wenn es innerhalb der Summe der hier aufgezeigten Teilzeiten (Alarmierung, Anfahrt, Leinenverbindung und Stabilisieren) zu einer Kollision zwischen Drifter und WEA kommt. Die Bergung gilt als erfolgreich, wenn der Schlepper den Havaristen mit Ablauf der Zeit für die Stabilisierung angeschleppt hat und bis dahin zu keiner Kollision gekommen ist.

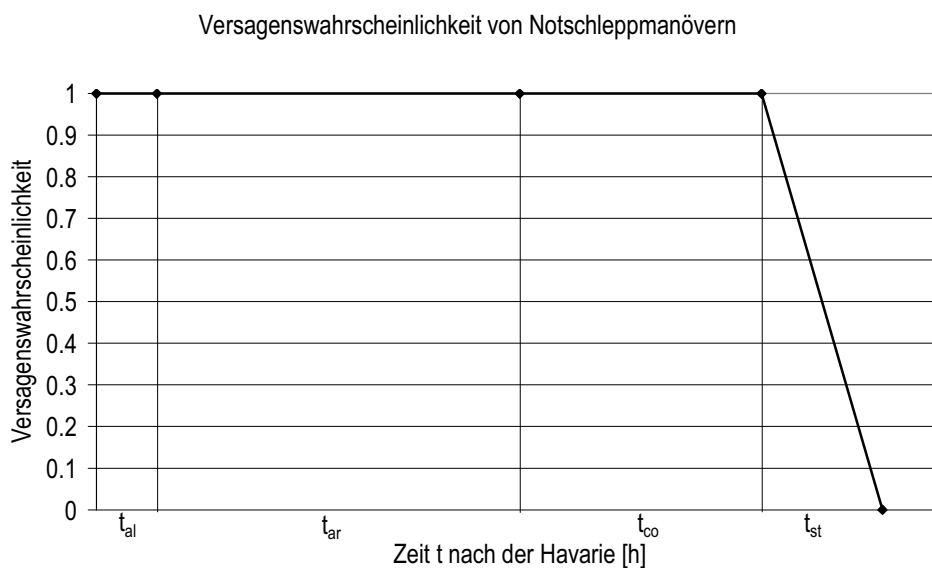


Abbildung 8: Versagenswahrscheinlichkeit von Notschleppmanövern

t_{al} - Zeit für die Alarmierung und Aktivierung

Die Zeit t_{al} umfasst den Zeitraum von der Feststellung relevanter Vorkommnisse (z.B. Manövrierunfähigkeit) bis zum Auslaufen des Bergungsschleppers von seinem Stationierungsort. Diese Zeitspanne enthält die Zeit zur Feststellung der Manövrierunfähigkeit bei den verantwortlichen Behörden, die Zeit bis zur Entscheidung, ob Bergungsschlepper eingesetzt werden sollen und die Mobilisierung der Schlepper und deren Besatzung. Die Feststellung des Driftens eines Schiffes basiert auf AIS (und Radar) gestützter Verkehrsüberwachung, die im Zuge der Realisierung der Windparks für die jeweilig betroffenen Gebiete angenommen wird. Diese Zeitspanne variiert für die einzelnen Notschlepper. Der Notschlepper auf der Position 10 sm nördlich von Norderney (derzeit von der "Oceanic" besetzt) kann ganzjährig für Notschleppereinsätze eingesetzt werden. Er ist in der Regel innerhalb von 0,5 h einsatzklar. Im Mittel kann von einer Zeit für die Alarmierung von 0,5 h ausgegangen werden, da die Erkennung über AIS und Radar durch eine kontinuierliche Auswertung der Signale innerhalb weniger Minuten möglich ist.

t_{ar} - Zeit für den Anfahrtsweg

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

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

Ist der Schlepper beim Havaristen eingetroffen, so wird eine gewisse Zeit benötigt, um eine Schleppverbindung mit dem Havaristen herzustellen. Die benötigte Zeit schwankt zwischen 0,5 h unter normalen Bedingungen und evtl. mehreren Stunden bei schwerer See. Sie ist sowohl von der Ausrüstung des Schleppers (Leinenschussgeräte etc.) und des Havaristen (Notschleppgeschirre), von den Witterungsbedingungen (Seegang, Wind) als auch von Erfahrungen bzw. Fähigkeiten der Besatzungen an Bord beider Schiffe abhängig. In den Berechnungen wird diese Zeitspanne pessimistisch mit 1,0 h bei Windgeschwindigkeiten bis 8 bft angenommen. Bei Windverhältnissen ab 8 bft wird eine längere Zeitspanne für die Leinenverbindung von 3,5 h angenommen.

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

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

Zusammengefasst werden für den Zeitbedarf eines Bergungsversuches folgende Werte angenommen:

Tabelle 4: Zeitbedarf eines Bergungsversuches

Alarmierungszeit t_{al}	0,5 h
Anfahrtszeit t_{ar}	Variabel (v=14 kn)
Zeit zum Herstellen einer Leinen- verbindung t_{co}	1 h (ab 8 bft 3,5 h)
Stabilisierung und Anschleppen t_{st}	0,5 h (ab 8 bft 1,0 h)

An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass in vielen Fällen, z.B. bei ungünstigen Wetterbedingungen, zu langer Anfahrtszeit etc. der Bergungsversuch fehlschlagen kann. Diese Szenarien werden in der Analyse explizit berücksichtigt.

7 Berechnungen der Schlepperwirksamkeit

Mit den in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Parametern wurden Kollisionsberechnungen mit der auf der Monte-Carlo Methode basierenden GL-Risikoanalysesoftware, GL-CollWt, durchgeführt. Ziel dieser Berechnungen war es, Wirksamkeitsfaktoren für den Schlepper „Oceanic“ (und dessen Nachfolger) in Verbindung mit einer AIS-Verkehrsüberwachung abzuschätzen. Darüber hinaus wurde die zusätzliche Wirksamkeit eines kleineren, lokal an den Windparks stationierten Schleppers untersucht.

Bei den Simulationsläufen wurden verschiedene Berechnungen mit und ohne den Einsatz eines Schleppers in den dargestellten Gebieten durchgeführt. Hierbei wurde im ersten Schritt eine Verkehrsüberwachung mit AIS berücksichtigt. In einem weiteren Schritt (Abschnitt 7.5) wurde die Wirksamkeit einer Verkehrsüberwachung über AIS und Radar betrachtet. Diese zusätzliche Berücksichtigung der Radargeräte wird vor allem für das Cluster 1 „Eignungsgebiete nördlich Borkum“ als notwendig angesehen.

Cluster 1: „Eignungsgebiet nördlich Borkum“ (zwischen den Verkehrstrennungsgebieten Terschelling German Bight und German Bight Western Approach).

Cluster 2: Windpark-Cluster mit den OWPs Bard Offshore 1, 'He dreht', Nordsee, und Global Tech 1.

Cluster 3: Windpark Cluster mit den OWPs Meerwind, Nordsee Ost, Amrumbank West und Testfeld Helgoland.

Für die Berechnungen wurden die im Anhang A genannten Grundlagen und Methoden verwendet.

Als Basis dienten, neben den in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Annahmen, die in den „Harmonisierten Annahmen“ /1/ festgelegten Parameter für Risikoberechnungen für Offshore Windparks, Statistiken für Umweltbedingungen (Wind, Strömung, Wellen) sowie der durch aktuelle Statistiken und AIS-Daten ermittelte Schiffsverkehr in diesen Seegebieten. Dabei wurde jeder Cluster getrennt unter den lokalen Bedingungen betrachtet.

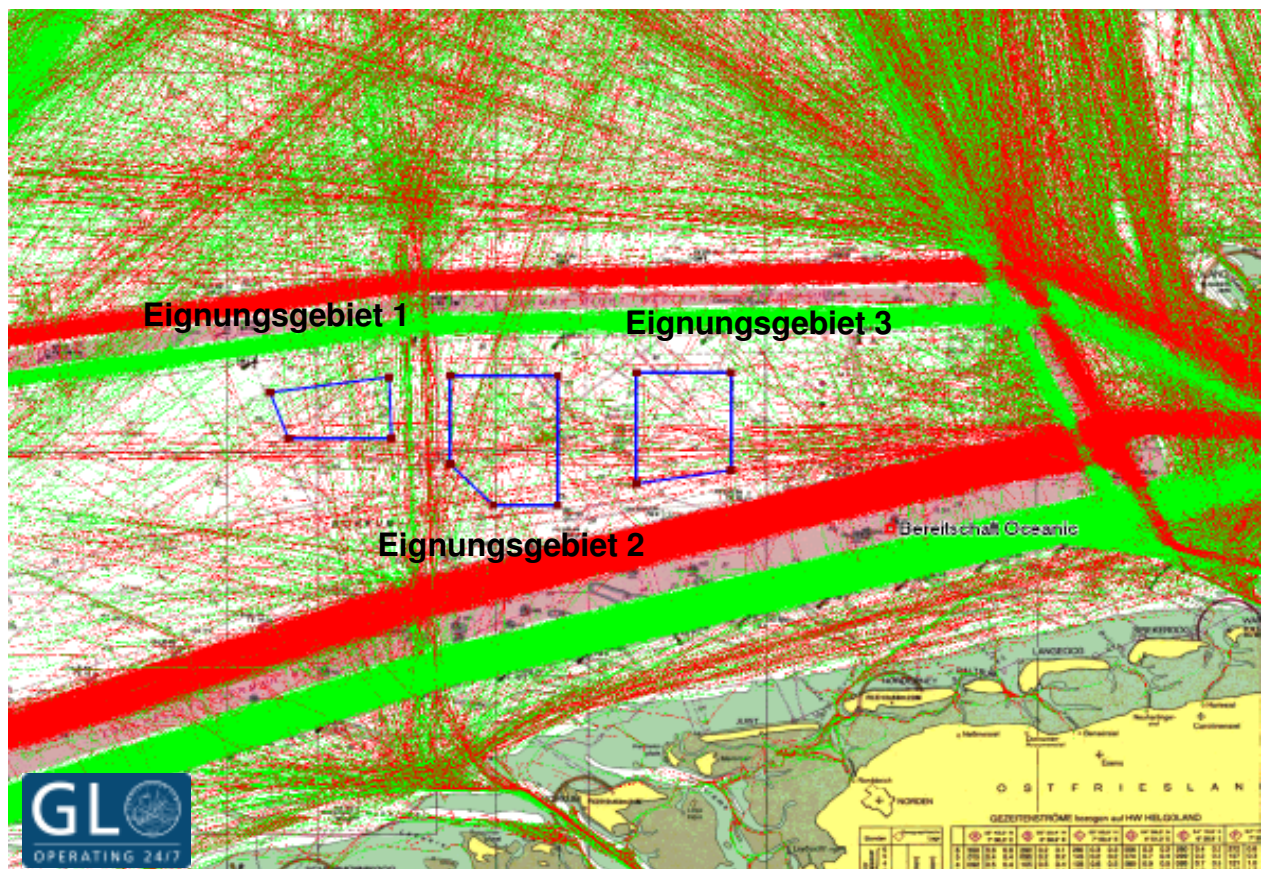


Abbildung 9: Schiffsverkehr im Bereich des „Eignungsgebiets Nördlich Borkum“ für Offshore Windparks; AIS-Daten (rot: westgehender Schiffsverkehr, grün: ostgehender Schiffsverkehr)

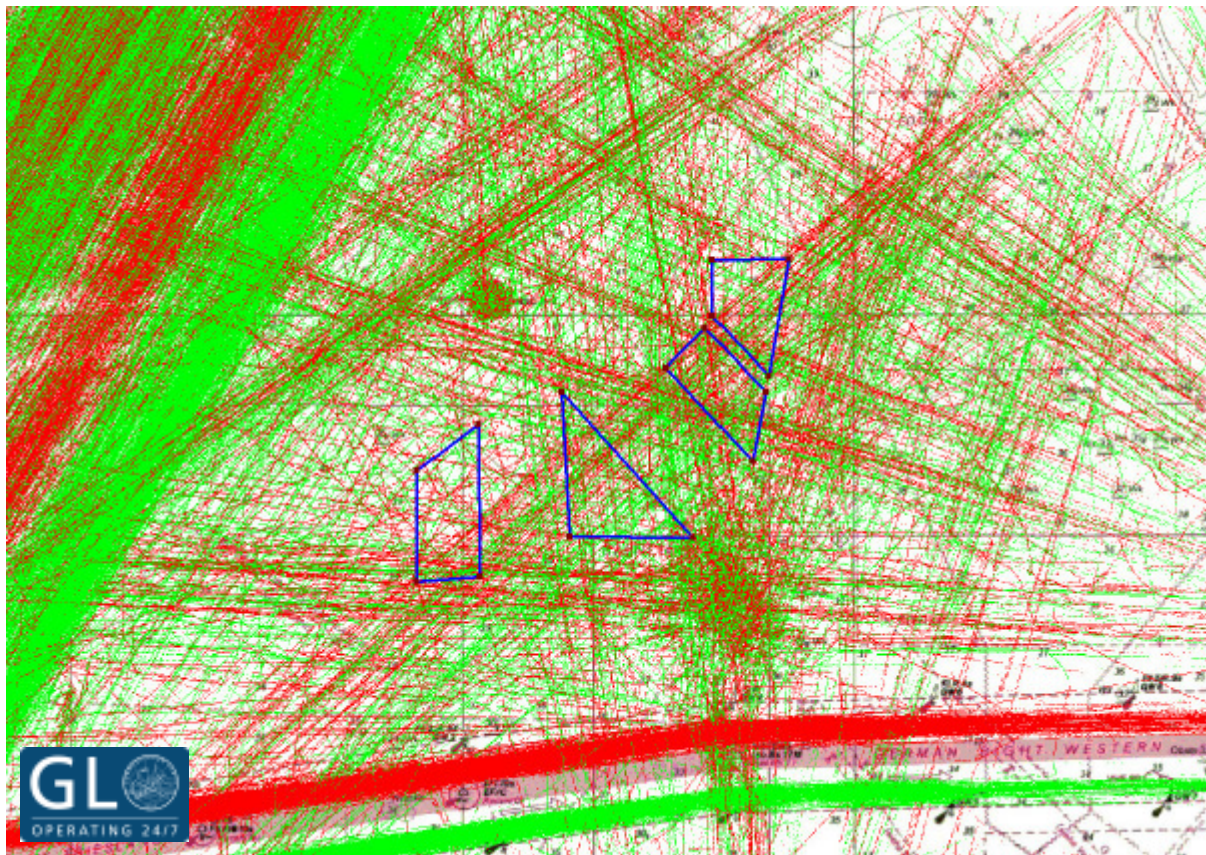


Abbildung 10: Schiffsverkehr im Bereich der Windparks Bard Offshore 1, 'He dreht', Nordsee und Global Tech 1; AIS-Daten (rot: westgehender Schiffsverkehr, grün: ostgehender Schiffsverkehr)

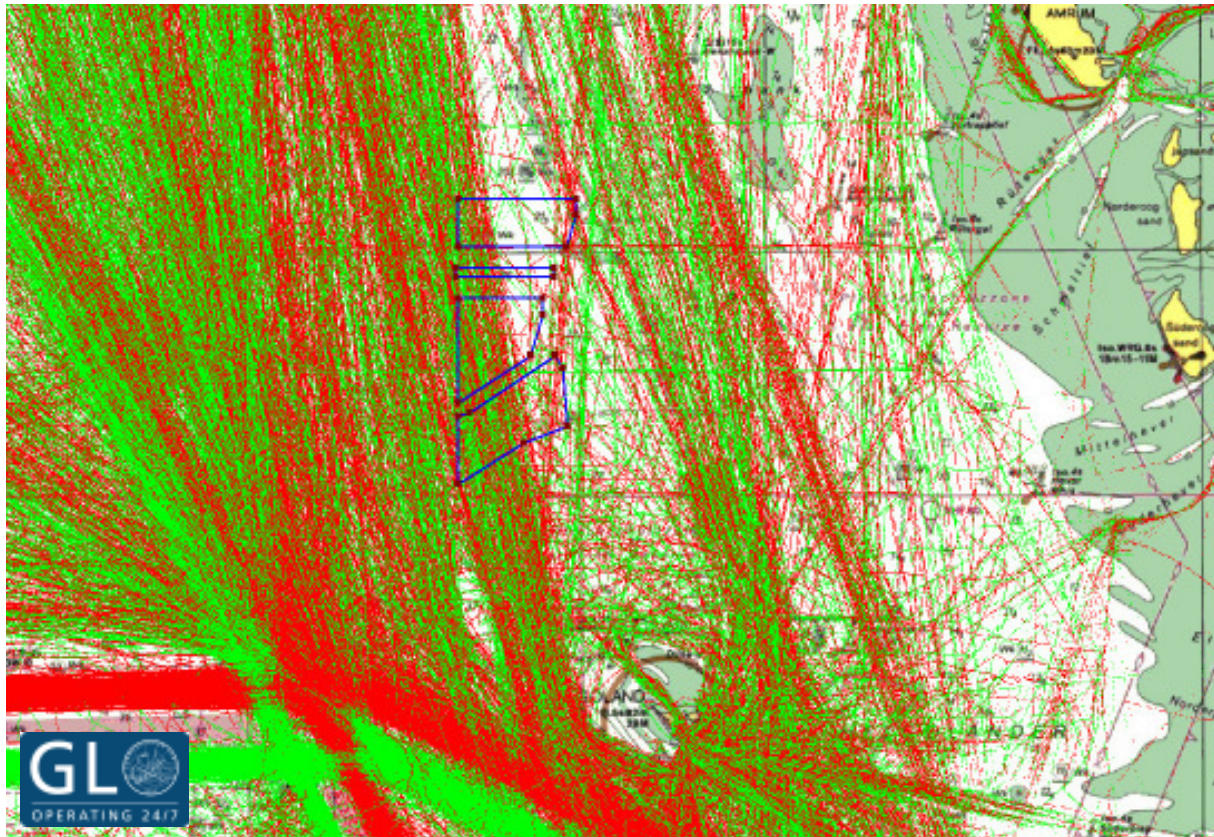


Abbildung 11: Schiffsverkehr im Bereich der Windparks Meerwind, Nordsee Ost, Amrumbank West und Testfeld Helgoland; AIS-Daten (rot: westgehender Schiffsverkehr, grün: ostgehender Schiffsverkehr)

Bevor auf die eigentliche Berechnung der Wirksamkeit eingegangen wird, werden folgend die statistischen Randbedingungen beschrieben, auf denen die betrachteten Szenarien basieren.

7.1 Schiffsrouten

Als Datenbasis wurden zwei Quellen über den Schiffsverkehr im betrachteten Seegebiet analysiert und miteinander verglichen. Zum einen handelt es sich um Statistiken aus dem Jahr 2006, die von der WSD Nordwest zur Verfügung gestellt wurden. Die zweite Quelle basiert hauptsächlich auf Daten von Lloyds Maritime Information Services (LMIS) und wurde von der britischen Firma ANATEC UK Ltd. für den Germanischen Lloyd aufbereitet. Die Daten von ANATEC UK Ltd. gehen auf Informationen aus dem Jahr 2000 zurück und unterscheiden unterschiedliche Schiffstypen sowie fünf Schiffsgößenklassen.

Zusätzlich zu den genannten Informationsquellen wurden Analysen von anonymisierten AIS-Aufzeichnungen der Stationen Borkum, Norderney, Helgoland und GNSC-H7 über mehrere Monate in den Jahren 2006 und 2007

durchgeführt. Diese Analysen liefern für diese Zeiträume aktuelle Schiffsverkehrszahlen der betrachteten Seegebiete. Hierbei stand die Ermittlung des Schiffsverkehrs im Vordergrund, der nicht durch die WSD-Statistiken abgedeckt wird. Die AIS-Daten wurden für die Analyse von der WSD-Nord zur Verfügung gestellt.

Ein Abgleich der Schiffzahlen ergab, dass die ANATEC-Daten den Schiffsverkehr im Bereich der Verkehrstrennungsgebiete „German Bight Western Approach“ und „Terschelling German Bight“ in weiten Teilen die Schiffszahlen der WSD-Nordwest wiedergeben oder überschreiten. Dies ist eventuell auf Ungenauigkeiten bei der Erfassung der ANATEC-Daten zurückzuführen. Lediglich auf der westgehenden Route des VTG Terschelling German Bight wurde ein größerer Unterschied festgestellt, weshalb die Schiffzahlen um ca. 15% auf das Niveau der WSD-Daten angehoben wurden. Zusätzlich wurde zwischen den VTGen eine mit Hilfe der AIS-Daten identifizierte Schiffsroute eingefügt. Somit ist festzustellen, dass die angepassten Routen eine ausreichend genaue Basis für die Analyse darstellen.

Die identifizierten Schiffsrouten in der Deutschen Bucht sind unter Berücksichtigung der Offshore-Windparks in den Abbildung 12, Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt. Dabei sind die Routenführungen mit den jährlichen Schiffsbewegungen sowie die Offshore-Windparkflächen eingezeichnet.

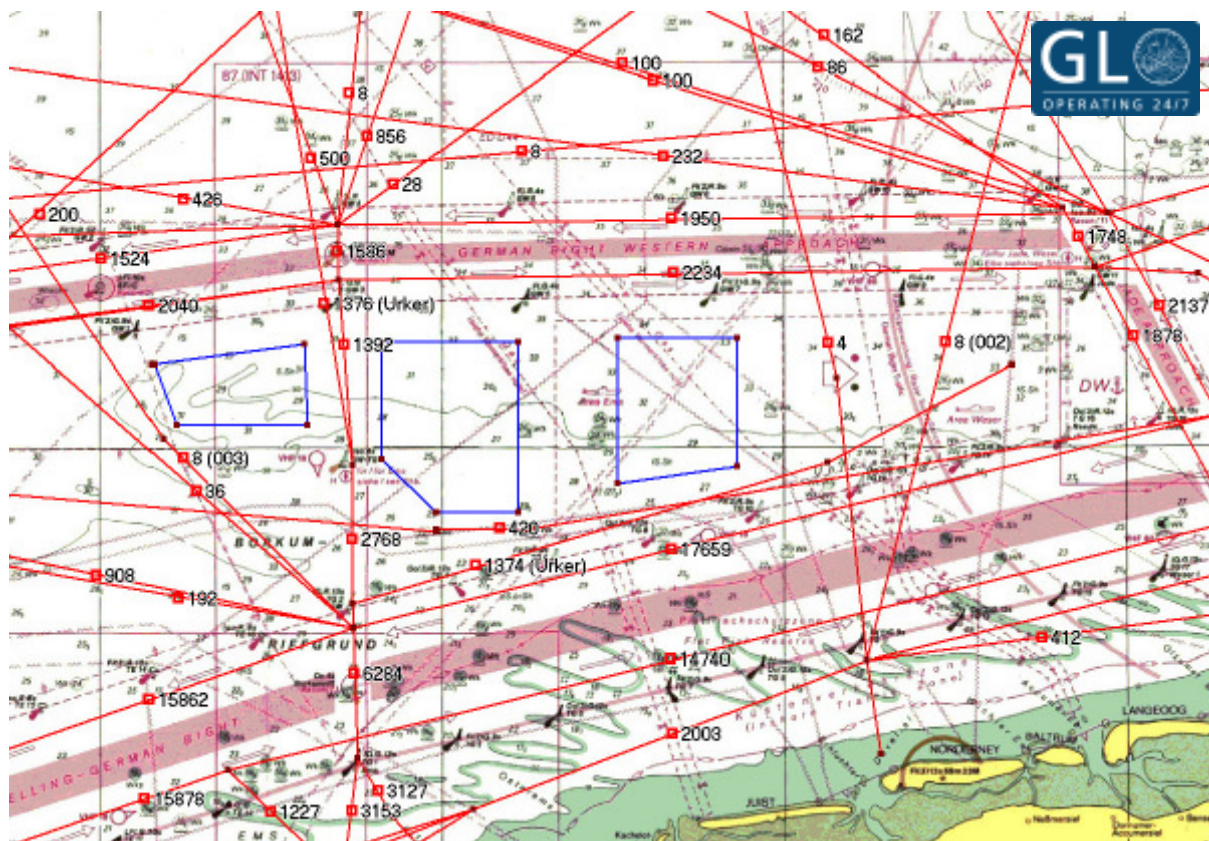


Abbildung 12: Schiffsrouten mit Schiffszahlen im Bereich des „Eignungsgebiets nördlich Borkum“

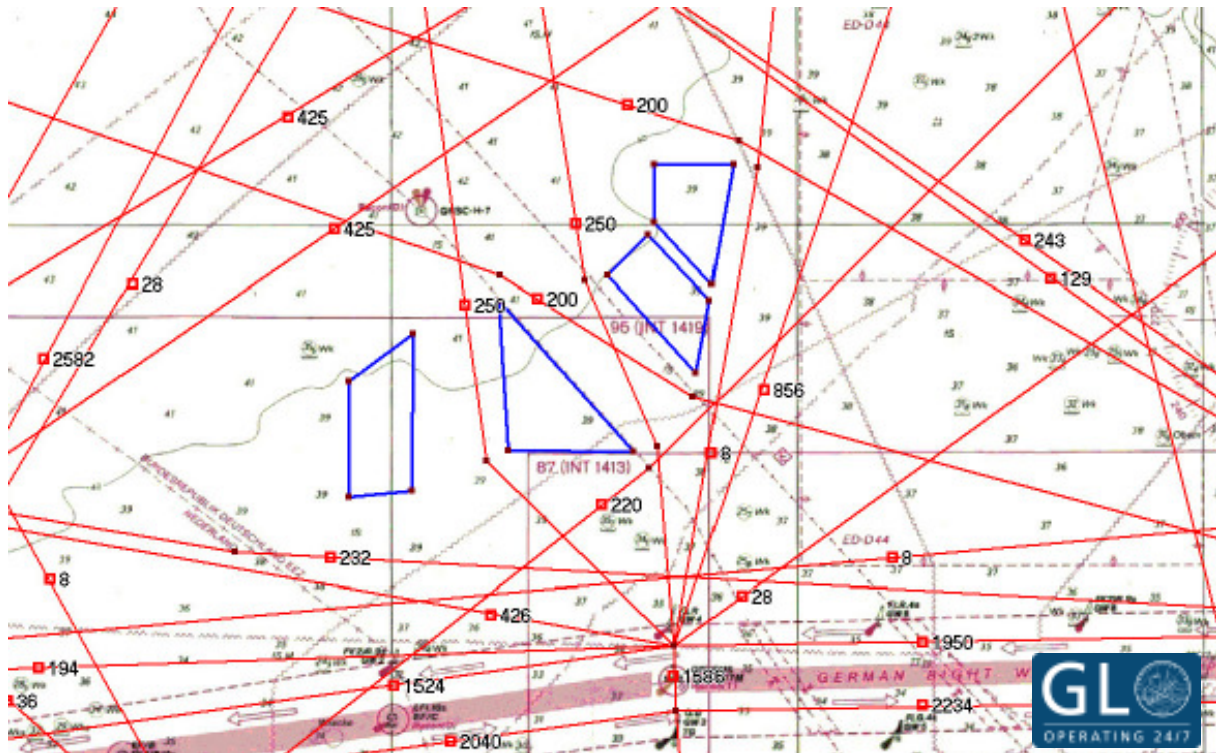


Abbildung 13: Schiffsrouten mit Schiffszahlen im Bereich der Windpark Bard Offshore 1, 'He dreht', Nordsee und Global Tech 1

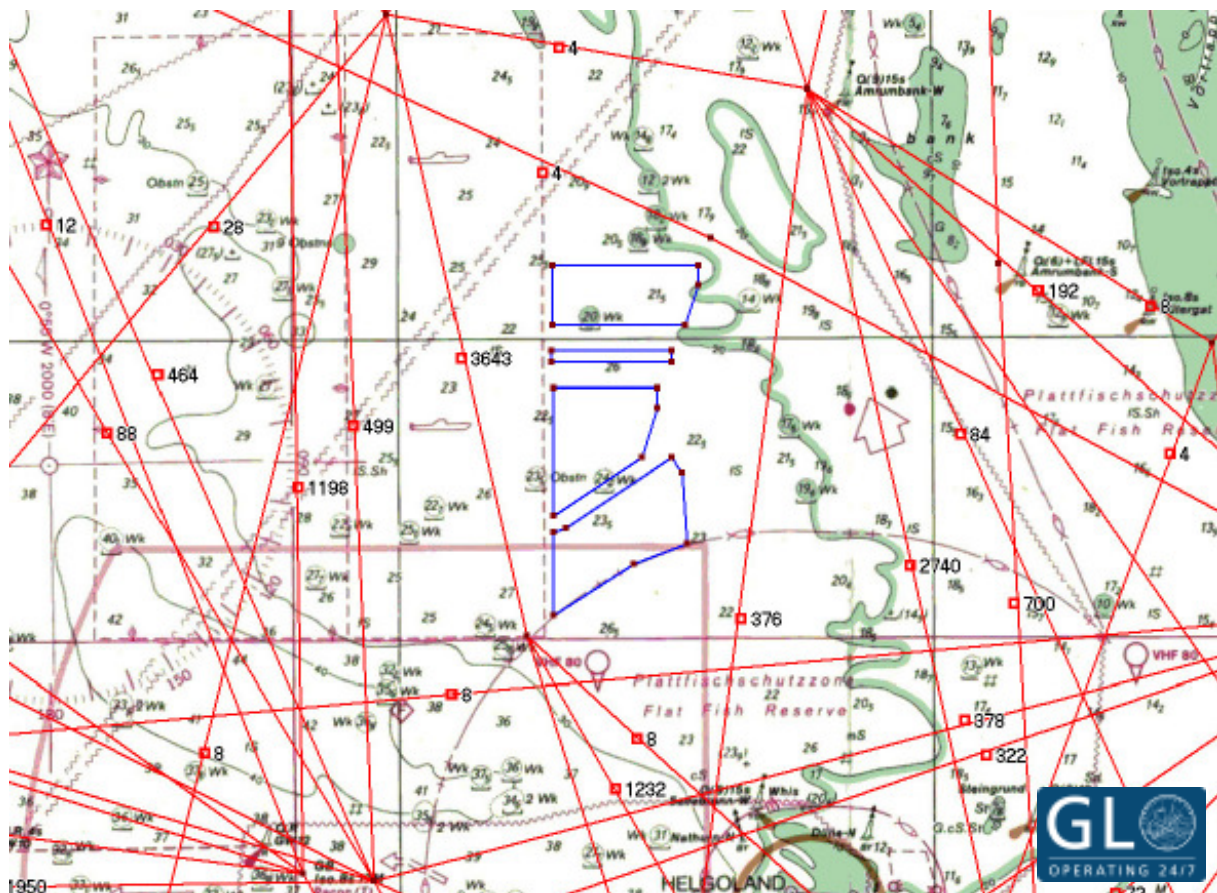


Abbildung 14: Schiffsrouten mit Schiffszahlen im Bereich der Windparks Meerwind, Nordsee Ost, Amrumbank West und Testfeld Helgoland

Auf den Schiffsrouten werden entsprechend der „Harmonisierten Annahmen“ /1/ Lateralverteilungen des Verkehrs angenommen.

7.2 Klima, Wetter und Hydrologie

In der quantitativen Analyse werden Umwelteinflüsse wie Wind, Strömung und Wellengang berücksichtigt.

Das Klima und Wetter im Bereich des Windparks ist im Sonderdruck „Klima und Wetter in der Nordsee“ /16/ beschrieben. In diesem Handbuch wurde die Nordsee in verschiedene Auswahlfelder (Feld A bis Feld O) unterteilt, um genauere Aussagen über die lokalen Wetter- und Klimaverhältnisse in der Nordsee zu machen. Informationen und statistischen Daten zu folgenden Aspekten wurden dieser Quelle entnommen:

- Eis
- Gezeiten
- Sicht

Als weitere Datenquelle wurden Statistiken des Deutschen Wetterdienstes /17/ herangezogen. Darin werden die folgenden Aspekte behandelt:

- Wind und
- Seegang

Die Strömungsverhältnisse wurden aus Messungen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie abgeleitet, wobei der zeitliche Tideneinfluss bei jeder Simulation Eingang findet. Die Gezeitenverhältnisse werden in der Analyse mit berücksichtigt.

Die das Wetter betreffenden statistischen Eingangsdaten unterscheiden sich für die einzelnen Seegebiete. Es sei hierbei auf die oben genannten Quellen verwiesen.

7.3 Bestimmung der Schlepperwirksamkeit

Die Schlepperwirksamkeit errechnet sich aus dem Quotienten zweier Kollisionswahrscheinlichkeiten. Diese Wahrscheinlichkeiten werden in umfangreichen Monte-Carlo-Simulationen mit einer großen Anzahl von Szenarien (verschiedene Schiffstypen, Schiffsgößen, Startpositionen der Drift, Wetterbedingungen, etc.) ermittelt. Für eine detaillierte Beschreibung des Rechenweges sei auf den Anhang „Methoden der Risikoberechnung“ verwiesen. Im ersten Fall werden Kollisions-Szenarien ohne die Wirkung von Schleppern betrachtet, aus denen sich schließen lässt, wie wahrscheinlich es ist, dass ein Schiff aus der Umgebung des Windparks in diesen hineindrifft und mit einer Windenergieanlage kollidiert. Dabei wird nicht berücksichtigt, dass ein Schlepper den Drifter bergen könnte. Im zweiten Fall werden Kollisions-Szenarien mit der Wirkung von Schleppern betrachtet, bei denen mit einer vorher festgelegten Wahrscheinlichkeit (Fehlerbäume) der Schlepper mit den in Tabelle 3 genannten Leistungsdaten eingesetzt wird, um den Havaristen zu bergen. Eine Initiierung des Schleppereinsatzes hat nicht unbedingt zur Folge, dass der Havarist auch rechtzeitig geborgen wird. In vielen Fällen, z.B. bei ungünstigen Wetterbedingungen, zu langer Anfahrtszeit etc. kann der Bergungsversuch fehlschlagen. Diese Szenarien werden in der nachfolgenden Analyse berücksichtigt.

Die Wirksamkeit des Schleppers ergibt sich demnach folgendermaßen:

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

Wie in den zwischen den Gutachtern harmonisierten Annahmen (HA) aus dem Jahr 2005 /1/ vereinbart, kommt es bei einem Schiff mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa $2.5 \cdot 10^{-4}$ pro Betriebsstunde zu einem Ausfall von für die Manövrierfähigkeit wichtigen Anlagen. Dieser Wert wurde bei den Berechnungen als Wahrscheinlichkeit für eine Drift zugrunde gelegt. Während der Drift kann es zu einer Selbstreparatur des Schiffes und zu erfolgreichen Notankerungen kommen. Hierfür wurden ebenfalls die in den HA vereinbarten Werte angenommen. Das Rechenmodell des GL berücksichtigt entsprechend den harmonisierten Annahmen /2/ eine detaillierte Modellierung der Bergung durch Notschlepper mit Berücksichtigung der zeitlichen Abläufe sowie der Schleppkapazitäten. Eine Begrenzung der Notschleppeinsätze auf Windbedingungen kleiner 8 bft wird nicht vorgenommen. Verschiedene Übungen und Simulationen /14/, /15/ haben gezeigt, dass eine erfolgreiche Bergung bei höheren Windstärken nicht unwahrscheinlich ist. Für Windgeschwindigkeiten ab 8 bft werden erhöhte Zeiten für die Herstellung der Leinenverbindung und die Zeit zum Aufstoppen der Drift angesetzt (vgl. Abschnitt 6), wodurch die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Bergung reduziert wird.

Die Faktoren sind ein Ergebnis von Simulationen, die auf Basis der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Parameter durchgeführt wurden. Die genauen Faktoren hängen auch bei gleichen Randbedingungen von der Methodik und den verwendeten Simulationsalgorithmen ab und sind daher nicht allgemein gültig. Jedoch können sie in ihrer Höhe eine gute Abschätzung für die Schlepperwirksamkeit in den untersuchten Gebieten liefern.

Der berechnete Wirksamkeitsfaktor bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich die Wahrscheinlichkeit von Drifter-Kollisionen durch Installation einer Verkehrsüberwachung mit Hilfe von AIS-Daten in Verbindung mit der Stationierung eines Notschleppers auf der Bereitschaftsposition nördlich Norderney für das jeweilige Gebiet um diese Zahl reduzieren.

Die Simulationen lieferten folgende Wirksamkeitsfaktoren für den **Cluster 1**:

Tabelle 5: Wirksamkeitsfaktoren von Notschleppmanövern im Bereich der Eignungsgebiete nördl. Borkum

Schlepper Bereitschaftsposition nördlich Norderney Pfahlzug 200t	Eignungsgebiet 1	Eignungsgebiet 2	Eignungsgebiet 3	Alle Eignungsgebiete
Reduktion der Wahrscheinlichkeit einer Drifterkollision	3,3	3,5	3,9	3,7

Für das **Cluster 2** mit den Offshore Windparks Bard Offshore 1, 'He dreht', 'Nordsee' und Global Tech 1 konnte der folgende Wirksamkeitsfaktor ermittelt werden.

Tabelle 6: Wirksamkeitsfaktoren von Notschleppmanövern

Schlepper Bereitschaftsposition nördlich Norderney Pfahlzug 200t	Windparks Bard Offshore 1, 'He dreht', Nordsee und Global Tech 1
Reduktion der Wahrscheinlichkeit einer Drifter-Kollision	2,6

Im **Cluster 3** mit den Offshore Windparks Meerwind, Nordsee Ost, Amrumbank West und Testfeld Helgoland wurde eine Wirksamkeit des Schleppers von 2,7 errechnet.

Tabelle 7: Wirksamkeitsfaktoren von Notschleppmanövern

Schlepper Bereitschaftsposition nördlich Norderney Pfahlzug 200t	Windparks Meerwind, Nordsee Ost, Amrumbank West und Testfeld Helgoland
Reduktion der Wahrscheinlichkeit einer Drifterkollision	2,7

Die Wirksamkeit des Notschleppers ist für die Eignungsgebiete nördlich Borkum am höchsten. Für die beiden anderen Windpark-Cluster wurden aufgrund der größeren Entfernung zur Bereitschaftsposition nördlich Norderney geringere Faktoren ermittelt.

7.4 Wirksamkeit eines lokalen Schleppers

Zusätzlich zum auf der Bereitschaftsposition nördlich Norderney angenommenen Schleppers wurde auch für alle Cluster ein nah an den Windparks positionierter kleinerer Schlepper (70 t Pfahlzug) betrachtet.

Dieser zusätzliche Schlepper wurde mit folgenden Daten angenommen:

Tabelle 8: Daten eines lokal an den Windparks positionierten Schleppers

Geschwindigkeit:	11 kn
Pfahlzug:	70 t
Position:	Cluster 1: 6° 35.26' E; 54° 0.86' N Cluster 2: 6° 12.0' E; 54° 24.0' N Cluster 3: 7° 41.737' E; 54° 26.171' N
Alarmierungszeit t_{al}	0,5 h
Anfahrtszeit t_{ar}	Variabel ($v=11$ kn) ¹
Zeit zum Herstellen einer Leinenverbindung t_{co}	1 h (ab 8 bft 4,5 h) ¹
Stabilisierung und Anschleppen t_{st}	0,5 h (ab 8 bft 2,0 h) ¹
¹⁾ Die Zeiten für die Leinenverbindung, das Stabilisieren und Anschleppen wurden für Windstärken ab 8 bft relativ hoch angesetzt, um die geringere Seetüchtigkeit bei höheren Windgeschwindigkeiten des Betreiberschleppers gegenüber dem auf der Position nördlich Norderney eingesetzten Notschlepper zu berücksichtigen. Diese angesetzten erhöhten Zeiten decken auch die eventuell geringeren Geschwindigkeiten bei höheren Windgeschwindigkeiten ab, da eine Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Windstärke/Seegang im verwendeten mathematischen Model derzeit noch nicht umgesetzt ist.	

Für die betrachteten Windpark-Cluster ergeben sich unter zusätzlicher Berücksichtigung jeweils eines lokal stationierten, kleineren Schleppers folgende Reduktionsfaktoren für Kollisionen zwischen Driftern und Windenergieanlagen.

Tabelle 9: Wirksamkeitsfaktoren von Notschleppmanövern Cluster 1

Schlepper: Bereitschaftsposition nördlich Norderney Pfahlzug 200t + Bereitschaftsposition 6° 35.26' E; 54° 0.86' N Pfahlzug 70t	Cluster 1: Eignungsgebiete nördlich Borkum
Reduktion der Wahrscheinlichkeit einer Drifterkollision	4,1

Tabelle 10: Wirksamkeitsfaktoren von Notschleppmanövern Cluster 2

Schlepper: Bereitschaftsposition nördlich Norderney Pfahlzug 200t + Bereitschaftsposition 6° 12.0' E; 54° 24.0' N Pfahlzug 70t	Cluster 2: Windparks Bard Offshore 1, 'He dreiht', Nordsee und Global Tech 1
Reduktion der Wahrscheinlichkeit einer Drifterkollision	3,4

Tabelle 11: Wirksamkeitsfaktoren von Notschleppmanövern Cluster 3

Schlepper: Bereitschaftsposition nördlich Norderney Pfahlzug 200t + Bereitschaftsposition 7° 41.737' E; 54° 26.171' N Pfahlzug 70t	Cluster 3: Windparks Meerwind, Nordsee Ost, Amrumbank West und Testfeld Helgoland
Reduktion der Wahrscheinlichkeit einer Drifterkollision	3,4

Es ist zu erkennen, dass die zusätzliche Wirkung eines kleineren, lokal an den Windparks positionierten Schleppers für die hier betrachteten Gebiete zu einer weiteren Verringerung der Kollisionshäufigkeit führt. Dabei ist mit einer zunehmenden Wirksamkeit zu rechnen, je weiter die Windparkgebiete von der Bereitschaftsposition nördlich Norderney entfernt liegen. Für die Gebiete in der Nähe zur Bereitschaftsposition nördlich Norderney ergibt sich aufgrund der Nähe dieses Schleppers nur eine begrenzte zusätzliche Wirkung eines weiteren kleineren Schleppers, da der zusätzliche Schlepper dann in vielen Fällen nur eine gewisse Redundanz darstellt. Für Windparkgebiete, die entfernter vom Notschlepper auf der Bereitschaftsposition nördlich Norderney liegen, ist ein höherer Einfluss auf die Reduzierung der Kollisionshäufigkeiten durch den zusätzlichen Schlepper am betrachteten Windparkcluster festzustellen.

7.5 Wirksamkeit der Schlepper bei Berücksichtigung einer Radar- und AIS-Überwachung

In den vorangegangenen Abschnitten des Kapitels 7 wurde die Wirkung von Schleppern in Kombination mit einer Drifter-Identifikation durch eine Verkehrsüberwachung über AIS quantifiziert. In diesem Abschnitt wird die Wirkung der betrachteten Schlepper unter Berücksichtigung einer Drifteridentifikation über AIS und Radar entsprechend Kapitel 5 und 6 ermittelt. Anhand dieser Betrachtungen kann festgestellt werden, dass die Ausrüstung der Verkehrsüberwachung mit Radargeräten bei kontinuierlicher Verkehrsüberwachung einen nicht unerheblichen Anteil an der Reduzierung der möglichen Kollisionen von manövrierunfähigen Schiffen hat.

Tabelle 12: Wirksamkeitsfaktoren von Notschleppmanövern unter Berücksichtigung einer Drifteridentifikation über AIS und Radar

Wirksamkeitsfaktoren von Notschleppmanövern unter Berücksichtigung einer Drifteridentifikation über AIS und Radar	Cluster 1 Eignungsgebiete nördlich Borkum	Cluster 2 nördl. VTG German Bight Western Approach	Cluster 3 nördl. Helgoland
Berücksichtigte Schlepper: Bereitschaftsposition nördlich Norderney Pfahlzug 200t	5,2	3,1	3,2
Berücksichtigte Schlepper: Bereitschaftsposition nördlich Norderney Pfahlzug 200t + Bereitschaftsposition am Windparkcluster Pfahlzug 70t	6,0	4,6	4,5

8 Zusätzliche risikomindernde Maßnahmen

In diesem Abschnitt werden mögliche zusätzliche konstruktive und operative Maßnahmen aufgeführt, die zu einer weiteren Reduzierung der vorhandenen Risiken führen können. Da das Risiko aus dem Produkt von Häufigkeit und Konsequenzen besteht, kann eine Verringerung erreicht werden, wenn eine der beiden Komponenten verringert oder beide Komponenten gleichzeitig verringert werden.

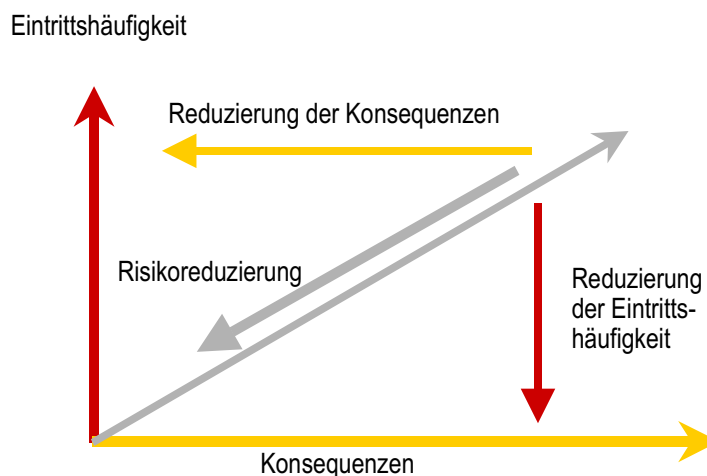


Abbildung 15: Darstellung der Wirkung von risikomindernden Maßnahmen

Im Folgenden werden mögliche zusätzliche risikomindernde Maßnahmen im Bereich der Windparks, am Schiff und für den Seeraum genannt und ggf. erläutert. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf Maßnahmen zur Reduzierung der Kollisionshäufigkeit (Prävention) gelegt.

8.1 Reduzierung der Kollisionshäufigkeit

Die Möglichkeiten für zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung der Kollisionshäufigkeit am Windpark selbst sind sehr gering, da identifizierte Maßnahmen wie optimierte Aufstellmuster oder optimale Bezeichnung der Windparks bereits Bestandteil der Forderungen der Genehmigungs- und Zustimmungsbehörden im Rahmen des Genehmigungsprozesses sind.

Zusätzliche Maßnahmen an Schiffen, die das Seegebiet befahren, werden nur dann für sinnvoll erachtet, wenn diese im internationalen Rahmen über die IMO vereinbart werden. Zu diesen Verbesserungen zählen zum Beispiel verbesserte Navigationseinrichtungen auf den Schiffen, die sich voraussichtlich durch eine ECDIS Ausrüstungspflicht in den nächsten Jahren ergeben wird. Bestrebungen verstärkt Notschleppleinrichtungen an

Bord von Schiffen vorzuhalten, konnten in den vergangenen Jahren international nicht durchgesetzt werden. Bisher gilt eine Ausrüstungspflicht für Tanker mit 20.000 tdw und größer.

Bewertung der Wirksamkeit von IMO-Notschleppereinrichtungen bei Tankern:

Bei Berechnungen unter Berücksichtigung einer reduzierten Zeit von ca. 15 Minuten zur Herstellung der Leinenverbindung zwischen Havaristen (Tanker ≥ 20.000 tdw) und Notschlepper konnten nur sehr begrenzte Reduzierungen der Gesamtkollisionswahrscheinlichkeiten für manövrierunfähige Schiffe berechnet werden (0,4% Reduzierung). Die Herstellung der Leinenverbindung ist ein kritischer Erfolgsfaktor für die Bergung eines Havaristen durch einen Schlepper. Für die zeitliche Betrachtung hat die Reduzierung der Zeit zur Herstellung der Leinenverbindung von 1 Stunde (bzw. 3,5 Stunden) auf 15 Minuten nicht den relevanten Einfluss, vor allem da diese Maßnahme nur einen Teil der Schiffe im Seegebiet betrifft. Aus operativer Sicht ist das Vorhalten eines Notschleppgeschirrs unabhängig der quantitativen Berechnung für sinnvoll erachtet.

Für den Seeraum sind für den Windpark und die Schiffe Maßnahmen zur Reduzierung der Kollisionshäufigkeiten bereits vorhanden. In diesem Zusammenhang sind die Maßnahmen des „Sicherheitskonzeptes Deutsche Küste“ zu nennen, die u.a. das Ziel haben, die Eintrittshäufigkeit von Kollisionsunfällen zu reduzieren. Das Sicherheitskonzept Deutsche Küste bietet bereits einen hohen Standard, vor allem da dieses Sicherheitskonzept einer ständigen Überprüfung und Erweiterung unterliegt.

Neben den im Sicherheitskonzept Deutsche Küste beschriebenen und bereits praktizierten risikomindernden Maßnahmen sind weitere risikomindernde Maßnahmen denkbar, die im Folgenden kurz aufgelistet und zur Diskussion gestellt werden:

- Möglichkeit des hoheitlichen Handelns außerhalb des Hoheitsgebietes für Verkehrssicherungsmaßnahmen: Im Rahmen des Interventionsabkommens besteht die Möglichkeit in Gefahrensituationen für die Küste auch in der AWZ hoheitlich zu handeln. Diese Möglichkeiten im Zusammenhang mit möglichen Kollisionen mit Offshore Installationen sollten jedoch rechtlich näher geprüft werden.
- Erstellung von Verhaltensregeln im Havariefall in der Nähe von Windenergieparks, Veröffentlichung der Verhaltensregeln in Seekarten und nautischen Handbüchern (z.B. VTS Guide, German Bight Passage Planning Guide)
- Nautische Beratung für ortsunkundige Schiffsführungen, um die Navigation im Seegebiet zu unterstützen und im Falle einer Havarie Handlungsanweisungen geben zu können.

8.2 Reduzierung der Konsequenzen

Zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung der Konsequenzen können, wie bereits schon die Maßnahmen zur Reduzierung der Kollisionshäufigkeiten in Maßnahmen am Windpark, am Schiff und für das Seegebiet unterteilt werden.

Für Maßnahmen am Windpark oder an den Schiffen, die das Seegebiet befahren, gelten die Ausführungen des vorangegangenen Abschnitts in gleicher Weise. Bei den Anlagen der Windparks wird bereits ein hoher Standard im Rahmen des Genehmigungsprozesses gefordert (z.B. kollisionsfreundliche Fundamente) und für Maßnahmen am Schiff sind nur Maßnahmen umsetzbar, die international abgestimmt sind (z.B. die Einführung von Doppelhüllentankern).

Auch für das Seegebiet sind bereits Maßnahmen vorhanden, die die Konsequenzen reduzieren. Hierzu zählen an erster Stelle die Maßnahmen des Sicherheitskonzepts Deutsche Küste (Seenotrettung, Ölunfallbekämpfung). Die im vorangegangenen Abschnitt vorgeschlagenen zusätzlichen Maßnahmen beinhalten zum Teil auch Maßnahmen zu Reduzierung der Konsequenzen.

8.3 Abschließende Bewertung der zusätzlichen risikomindernden Maßnahmen

Die in den Abschnitten 8.1 und 8.2 angegebenen und vorgeschlagenen risikomindernden Maßnahmen bieten eine weitergehende Reduzierung des Kollisionsrisikos mit Anlagen der geplanten Offshore-Windparks, wenngleich festgestellt werden kann, dass bereits der Großteil an möglichen risikomindernden Maßnahmen im Rahmen des Genehmigungsverfahrens untersucht und somit zur Risikoreduzierung berücksichtigt wird.

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/ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie: Windparkplanungen in Nord und Ostsee; www.bsh.de; Oktober 2008
- /4/ Litmeyer, B., Mattausch, M.: Sicherheitskonzept Deutsche Küste; http://www.wsd-nordwest.de/schifffahrt/pdf/Sicherheitskonzept_Deutsche_Kueste.pdf; WSD Nordwest; 2006
- /5/ Wasser und Schifffahrtsverwaltung (WSV): Sicherheitskonzept Deutsche Küste; http://www.wsv.de/Schifffahrt/Seeschifffahrt/Sicherheitskonzept_Deutsche_Kueste/index.html; 2008
- /6/ Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest: Schifffahrtsstatistik 2006; Aurich, 2007
- /7/ Olsen, D., H.-H. Gotfredsen, Y. Jujii: Risk Reducing Effect of the Great Belt VTS System; Publ. no. 810, VTS 92 – 7th International VTS Symposium, Vancouver, Canada, 1992.
- /8/ Fujii, Y., N. Mizuki: Design of VTS systems for water with bridges; Proc. of the International Symposium on Advances in Ship Collision Analysis. Gluver & Olsen eds.; Copenhagen, Denmark; 1998.
- /9/ Foxwell, D.: AIS: The next big thing in navigation; Fairplay, Nov. 2003.
- /10/ Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik: Aufbereitung statistischer Daten zu Schiffsverkehren in Nord-Ostsee; FE-Nr. 40.347/2000; Bremen, 30.10.2000.
- /11/ SAFESHIP – Reduction of Ship Collision Risks for Offshore Wind Farms, Report, Germanischer Lloyd AG, MARIN, Technical University of Denmark, January 2005.
- /12/ 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.
- /13/ 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.
- /14/ Havariekommando: Anpassung der Leistungskriterien an Notschleppkapazitäten in Nord- und Ostsee unter besonderer Beachtung beabsichtigter Langzeitcharter; 2006
- /15/ Böcker, T., Tuschling, G.: Darstellung der Ergebnisse von Notschleppmanövern am Schiffsführungssimulator; Hochschule Wismar; Warnemünde; 2006
- /16/ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie: Nr. 2182 „Klima und Wetter in der Nordsee“; Hamburg, 1994.
- /17/ 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.

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

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

Vorteile statistischer Verfahren

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

Nachteile statistischer Verfahren

- Vertrauen statistischer Ergebnisse
Das Gesetz der großen Zahlen besagt, dass sich die relative Häufigkeit (Wahrscheinlichkeit) eines Zufallsergebnisses immer weiter an die theoretische Wahrscheinlichkeit für dieses Ergebnis (Erwartungswert) annähert, je häufiger das Zufallsexperiment durchgeführt wird. Das bedeutet, um eine "sichere" statistische Aussage über zufällige Ereignisse zu machen, müssen diese in ausreichender Menge vorhanden sein bzw. gemessen werden. Bei sehr selten auftretenden Ereignissen ist dies häufig nicht gegeben. Kollisionsereignisse von Schiffen mit Installationen von Windparks sind bisher nicht bekannt geworden. Eine Auswertung von Kollisionsereignissen aus statistischen Unfallzahlen für genau dieses Szenario ist daher nicht möglich.

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).

- 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. Das bedeutet, dass sich das System an sich geändert hat und statistische Aussagen auf der Basis früherer Ereignisse nicht mehr dem aktuellen Systemzustand entsprechen.

Vorteile analytischer Verfahren

- Unabhängigkeit von historischen Kollisionseignissen
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 Kollisionseignissen berücksichtigt werden können.

Nachteile analytischer Verfahren

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

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

A.2.1 Berechnung der Kollisionshäufigkeiten

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

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

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

Für beide Bedingungen muss die Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmt werden.

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

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

$$n_{coll,pow} = \sum_K n_{coll,pow,k} = \sum_K P_{fm,k} \cdot P_{fk,k} \cdot n_{s,k} \quad (A-1)$$

Befinden sich in einem Seegebiet mehrere Schifffahrtsrouten, so kann die Gesamtkollisionshäufigkeit $n_{coll,pow}$ aller Routen durch Addition der Kollisionshäufigkeiten $n_{coll,pow,k}$ 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).

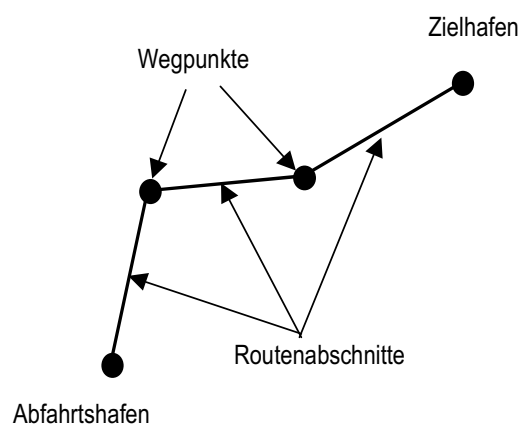


Abbildung A-1: Zusammenhang von Schiffsroute, Routenabschnitt und Wegpunkten

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 Betonung häufig als Orientierungspunkt genutzt wird und nach den Kollisionsverhütungsregeln ein Rechtsfahrgebot vorliegt.

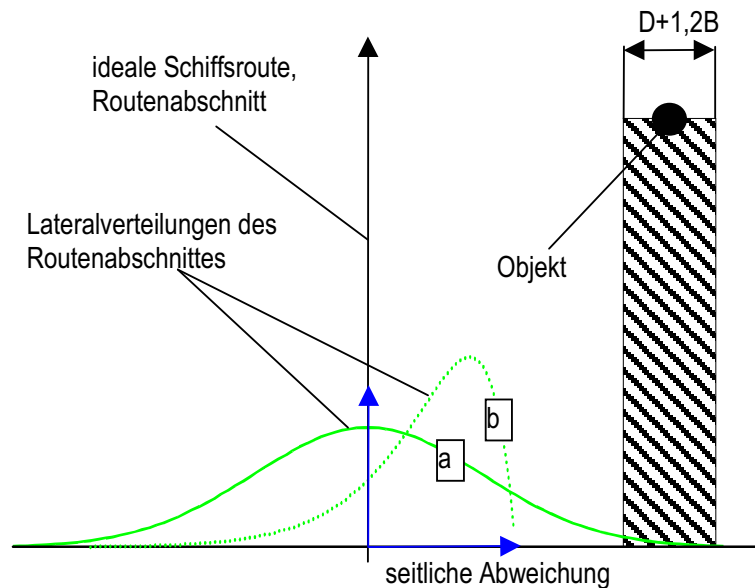


Abbildung A-2: Lateralverteilungen für den Schiffsverkehr

Die Wahrscheinlichkeit $P_{fk,k}$, dass sich ein Schiff auf Kollisionskurs mit einer Windenergieanlage oder der Umspannstation befindet, ergibt sich aus der Fläche unter der jeweiligen Lateralverteilung $h_i = f(x)$ des Routenabschnittes k , die von der Schattenfläche der WEA/Umspannwerk (UW) plus 1,2 mal der Schiffsbreite B überdeckt wird. Für die i -te Installation mit dem Durchmesser D_i wird diese Wahrscheinlichkeit mit Gleichung (A-2) berechnet.

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

Durch Annahme der 1,2-fachen Schiffsbreite wird die Möglichkeit einer seitlichen Kollision berücksichtigt. Dies kann auftreten, wenn ein Schiff sich mit einem kleinen Schiebewinkel relativ zur Kurslinie fortbewegt (z. B. durch Windeinfluss).

Neben den Kollisionen der Kategorie I durch eine laterale Verteilung der Schiffe werden auch Kollisionen der Kategorie II durch einen Verpassen des 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 ein Bereich für die Wahrscheinlichkeit von $8,12E-05 < P_{fM,k} < 5,26E-04$ an. Das angegebene Intervall für die Wahrscheinlichkeit $P_{fM,k}$ wurde auf der Grundlage von Radarbeobachtungen erhoben und enthält alle möglichen Ursachen für Kollisionsunfälle einschließlich aller Aspekte menschlichen Versagens. Der entsprechend der Harmonisierung /A-6/ in den vorliegenden Berechnungen verwendete Wert für die Wahrscheinlichkeit $P_{fM,k} = 3,0E-04$ entspricht dem Mittelwert des angegebenen Wahrscheinlichkeitsintervalls.

A.2.2 Berechnung der Kollisionskonsequenzen

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

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

Trifft das Schiff nicht zentrisch, sondern streift seitlich am Bug des Schiffes entlang, so ist ebenfalls mit dem Versagen des Turmes zu rechnen. Das relative steife konische Vorschiff kann einen großen Teil der Kollisionsenergie umwandeln, in dem das Schiff beim seitlichen Entlangschleifen vom Turm weggedrückt wird. Schäden am Vorschiff sind zu erwarten. Inwieweit ein seitliches Streifen des Schiffes am Turm zu einem Aufreißen der Schiffsaußenhaut im Bereich möglicher Ladetanks oder Brennstofftanks führen kann, ist derzeit nicht abschließend geklärt. Bei Einhüllenschiffen ist ein lokal begrenztes Aufreißen der Außenhaut denkbar. Bei Doppelhüllenschiffen ist ein Aufreißen der inneren Wand nur schwer vorstellbar, kann jedoch bisher nicht vollständig ausgeschlossen werden. Eine detaillierte Quantifizierung dieser Szenarien für manövrierfähige Schiffe erfolgte bisher nicht in einem vergleichbaren Rahmen wie die Quantifizierung der möglichen Szenarien für manövrierunfähige driftende Schiffe. Die Kollisionskonsequenzen durch Kollisionen manövrierunfähiger Schiffe mit Windenergieanlagen wurden intensiv in Forschungsvorhaben der TU Harburg (F. Biehl) und im europäischen SAFESHIP-Vorhaben /A-7/ betrachtet.

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

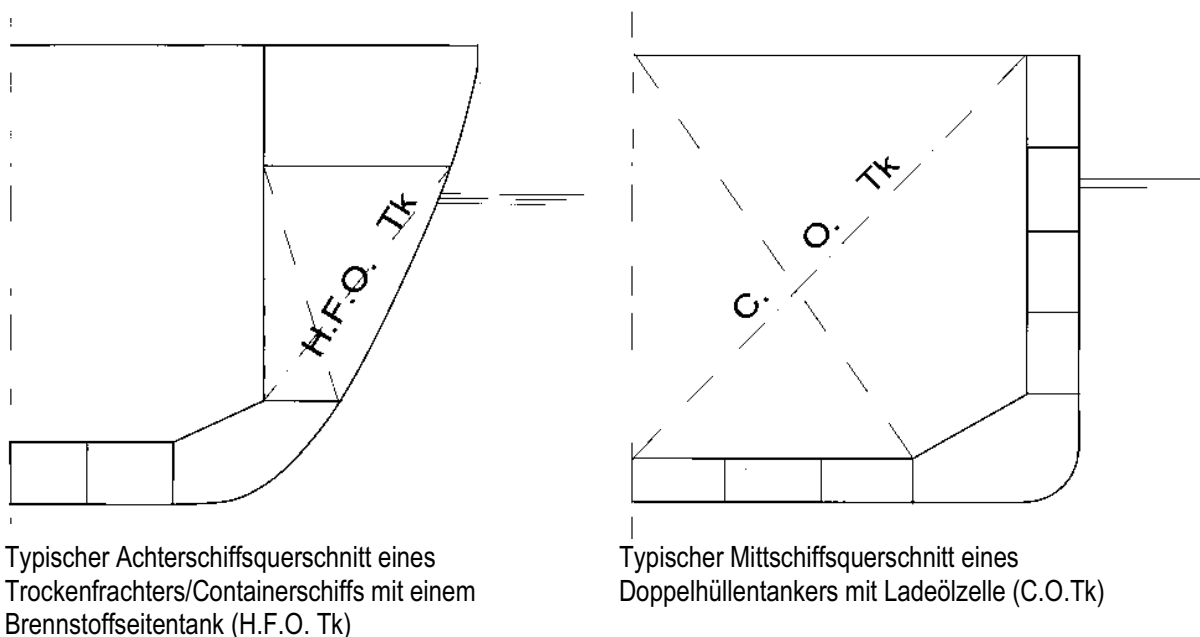


Abbildung A-3: Typische Schiffsquerschnitte

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.

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

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

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

Eine Bedingung, dass bei der Kollision ein Brennstofftank getroffen wird, ist dass die Kollisionsstelle im Bereich eines an der Außenhaut des Schiffes liegenden Brennstofftanks liegt. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist 0,15, da die Länge der Tanks im Verhältnis zur Schiffslänge nur 15 % ausmacht.

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

Berücksichtigt man beide Bedingungen so ergibt sich ein Faktor $P_{\text{SE,Br}} = 0,0375$.

$$P_{\text{SE,Br}} = P_{\text{tt}} \cdot P_{\text{ta}} = 0,25 \cdot 0,15 = 0,0375 \quad (\text{A-4})$$

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

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

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) und Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden., **Brennstoff**

Schiffstyp k	Obere Tonnagebegrenzungen [tdw]	Koeffizienten		
		a_k	b_k	c_k
Stückgut & Containerschiffe	100 000	1,886E+01	8,560E-02	4,000E-07
Massengut	300 000	5,480E+01	4,940E-02	0,000E+00
RoRo-Schiffe	50 000	1,89E+01	8,560E-02	4,000E-07
Gastanker	70 000	1,750E+02	7,09E-02	-1,69E-07
Chemikalien-tanker	200 000	4,761E+01	2,760E-02	0,000E+00
Öltanker	200 000	7,12E+02	2,98E-02	0,000E+00
Fähren- und Passagierschiffe	50 000	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00

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

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

Die freigesetzte Ladeölmenge $M_{La,pow,s,Tanker}$ für einen manövrierfähigen Tanker der Größenklasse s 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.

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

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

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

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

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

" Ein manövrierunfähiges Schiff muss führen:

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

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

Eine häufige Ursache für Manövrierunfähigkeit sind Ausfälle der Antriebs- oder Ruderanlage. Solche Ausfälle bewirken, dass Schiffe aufgrund von Seegangs-, Wind- und Strömungskräften anfangen zu drifteten. 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 wird 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.

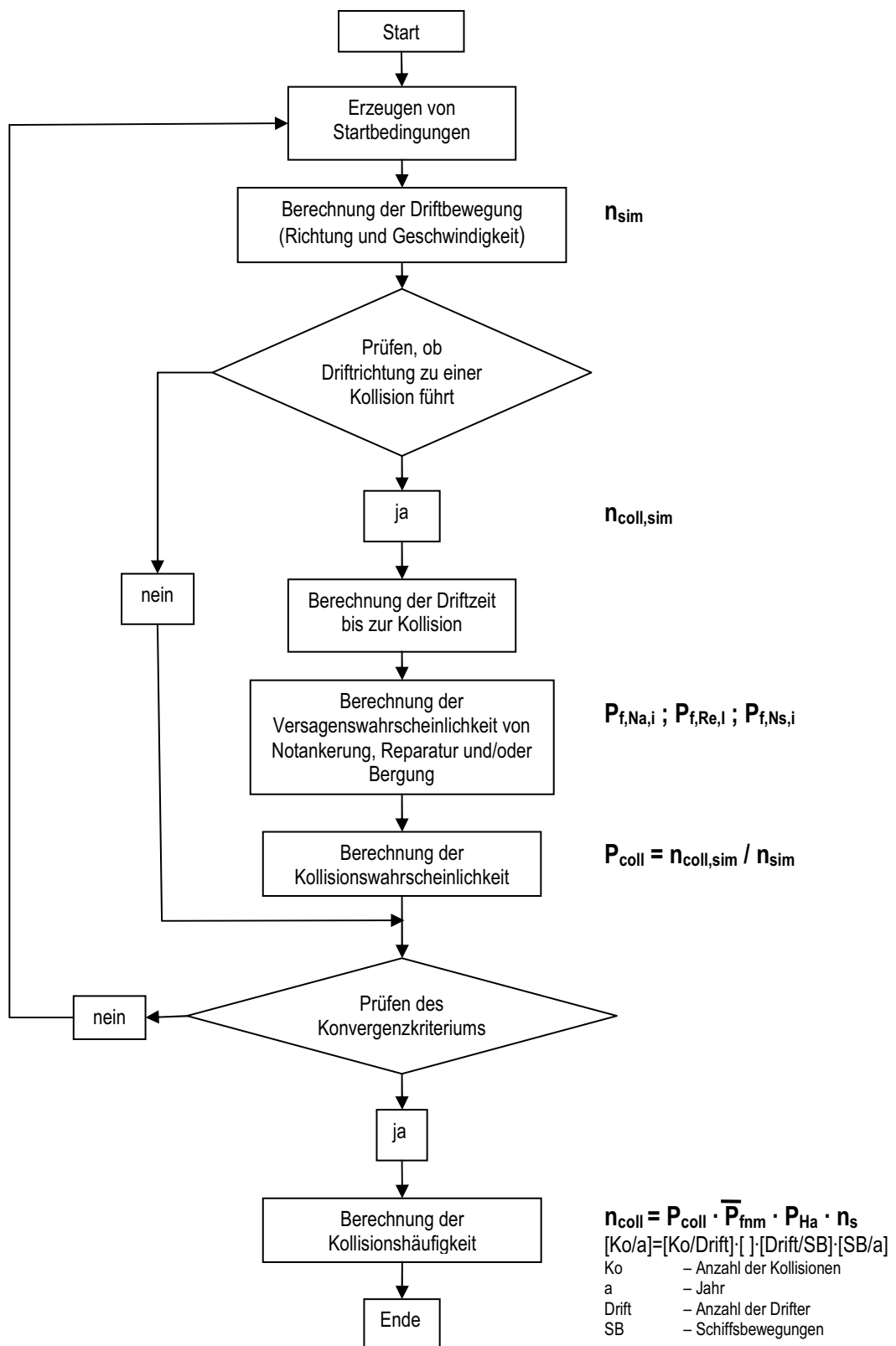


Abbildung A-4: Schematische Darstellung des Ablaufs der Monte-Carlo Simulation

- *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°.

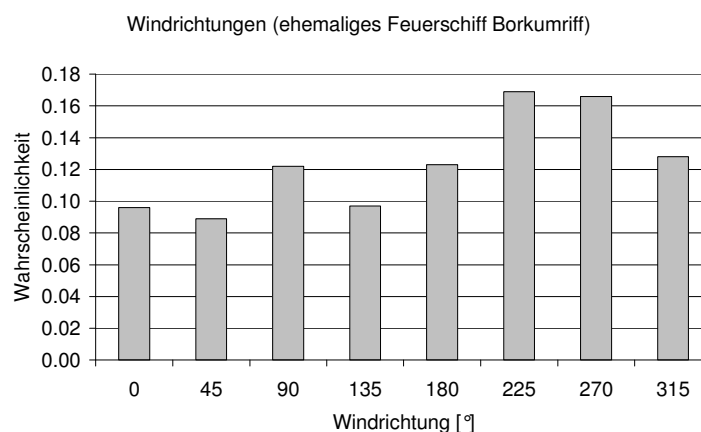


Abbildung A-5: Beispiel einer Zufallsvariable (Windrichtung)

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:

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

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.

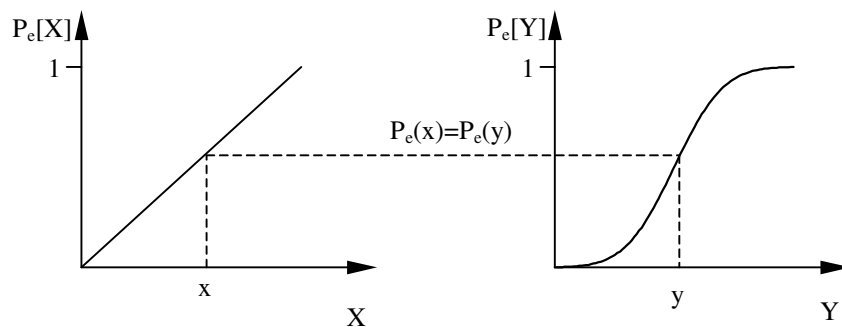


Abbildung A-6: Transformation gleichverteilter Zufallszahlen

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.

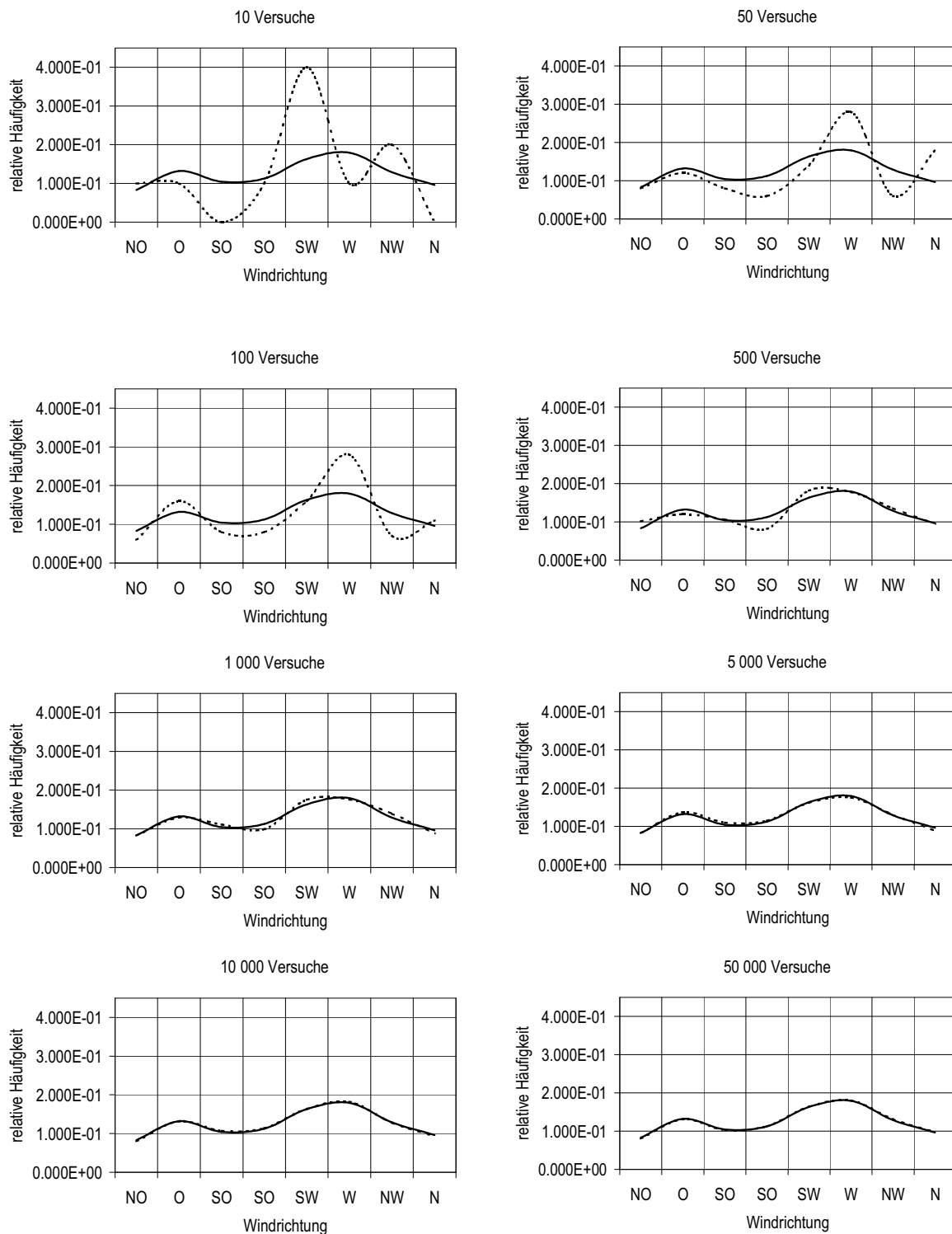


Abbildung A-7: Konvergenz der simulierten Windrichtungen mit steigender Zahl von Versuchen

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.

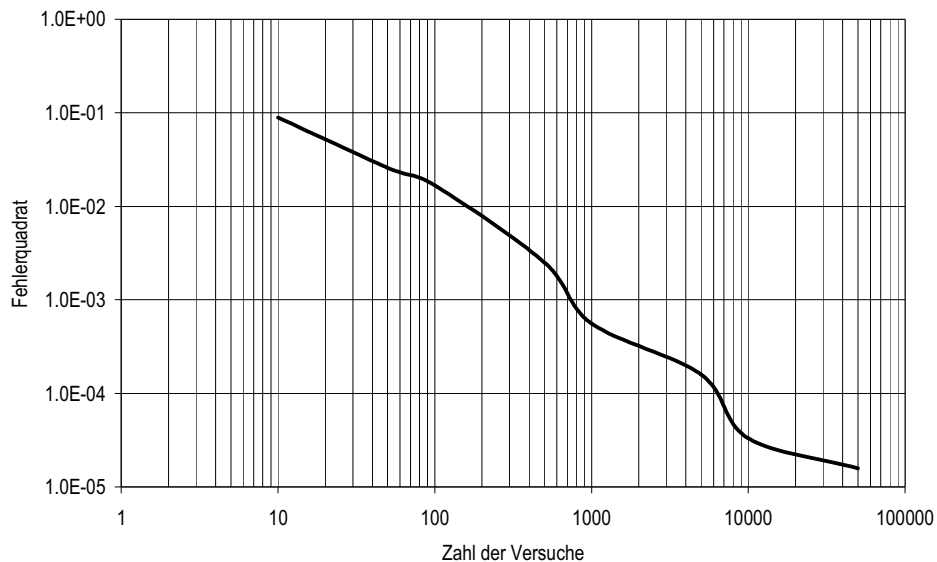


Abbildung A-8: Quantitative Beschreibung des Konvergenzverhaltens der berechneten Startbedingungen

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

- Windkräfte

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

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

In Gleichung (A-9) ist $c_{d,Wi,90} = 0,855$ - der Widerstandsbeiwert des Überwasserschiffes, $\rho_{Air} = 1,3 \text{ kg/m}^3$ - die Dichte von Luft, v_{Wi} - die Windgeschwindigkeit, $A_{l,Wi}$ - die Lateralfäche des Überwasserschiffes und v_s - die Geschwindigkeit des Schiffes über Grund. Die Lateralfäche $A_{l,Wi}$ des Überwasserschiffes ergibt sich aus der Länge multipliziert mit dem Freibord des Schiffes. Dazu wird die Fläche addiert, die sich aus dem Produkt der Länge und Höhe der Decksaufbauten ergibt. Die laterale Fläche der Decksaufbauten schließt bei Frachtschiffen die Flächen der möglichen Ladung ein, dies gilt insbesondere für Containerschiffe.

- Wellendriftkräfte

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

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

In Gleichung (A-10) ist $c_{d,We,90} = 0,5$ - der Beiwert der Wellendriftkraft, $\rho_w = 1.024 \text{ kg/m}^3$ - 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).

- *Prüfen ob Driftrichtung zu einer Kollision führt*

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

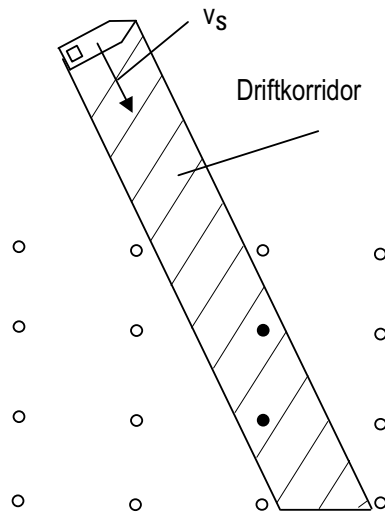


Abbildung A-9: Driftkorridor eines manövrierunfähigen Schiffes (nicht maßstäblich)

- *Berechnung der Driftzeit bis zur Kollision*

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

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

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

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

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

- Notankerung

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

Um die mögliche risikoreduzierende Wirkung einer Notankerung in die Berechnung einfließen zu lassen, wird eine Funktion (Abbildung A-10) eingeführt, welche die Versagenswahrscheinlichkeit von Notankermanövern in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit beschreibt. Diese Funktion entspricht den harmonisierten Grundannahmen /A-6/.

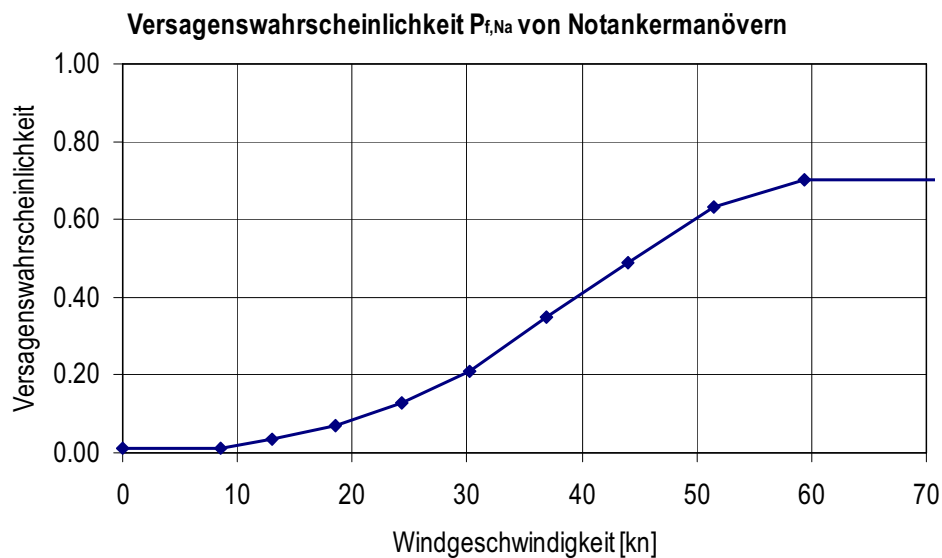


Abbildung A-10: Risikomindernde Wirkung von Notankerung

- Reparaturmaßnahmen

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.

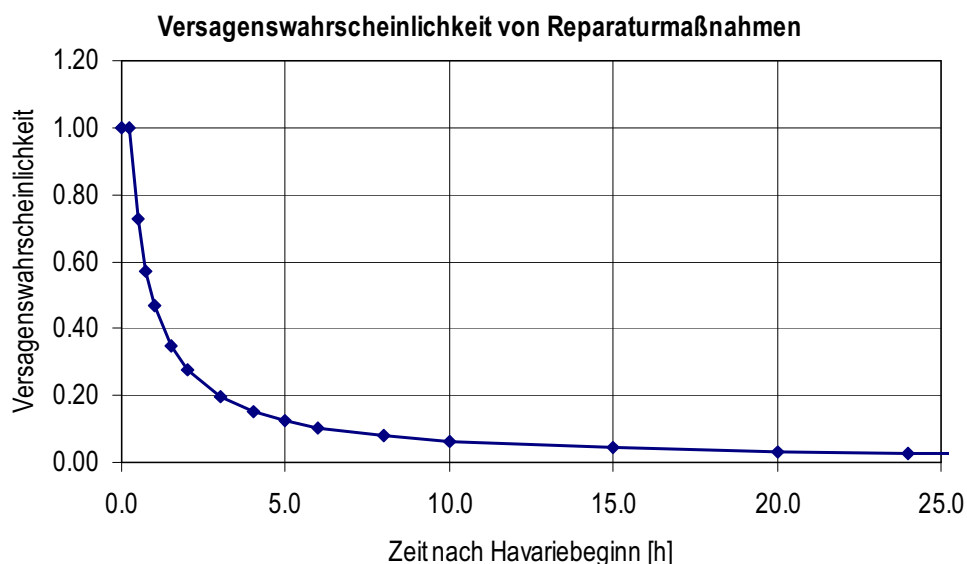


Abbildung A-11: Berücksichtigung von Reparaturmaßnahmen in der Monte-Carlo Simulation

- Bergung mit Schlepperunterstützung

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

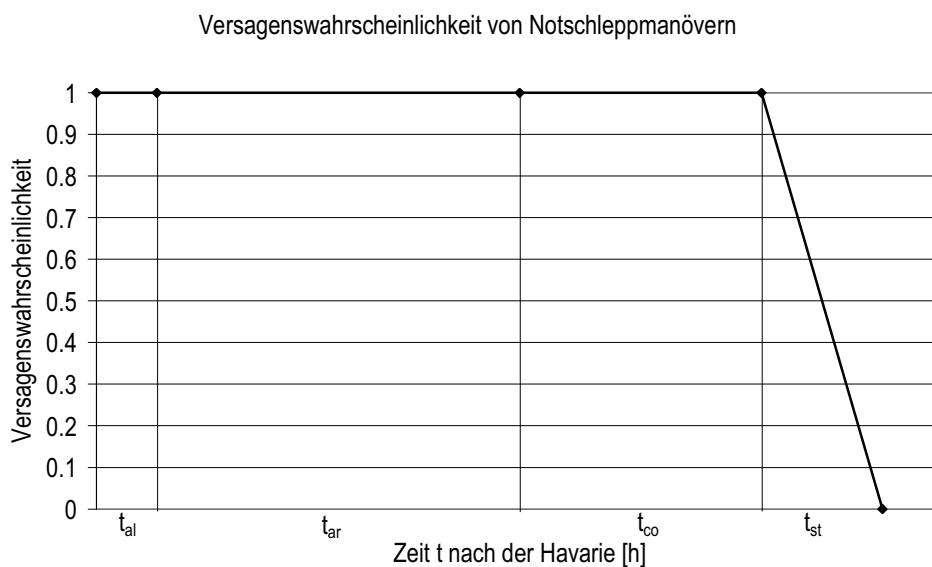


Abbildung A-12: Berücksichtigung von Bergungseinsätzen in der Monte-Carlo Simulation

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. ihr Nachfolger stehen permanent für Notschleppeinsätze zur Verfügung und benötigt somit nur eine geringe Zeitspanne, um zu beginnen, in Richtung Einsatzgebiet zu fahren. Die "Neuwerk" und die "Mellum" benötigen gegebenenfalls längere Zeit, um sich zum Havaristen in Marsch zu setzen, sofern sie gerade mit anderen Aufgaben (Tonnenlegen, Messungen, etc.) beauftragt sind. Im Mittel kann von einer Zeit für die Alarmierung von 0,5 h ausgegangen werden, da die Erkennung über AIS und Radar innerhalb weniger Minuten möglich ist.

t_{ar} - Zeit für den Anfahrtsweg

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

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

Ist der Schlepper beim Havaristen eingetroffen, so wird eine gewisse Zeit benötigt, um eine Schleppverbindung mit dem Havaristen herzustellen. Die benötigte Zeit schwankt zwischen 0,5 h unter normalen Bedingungen und evtl. mehreren Stunden bei schwerer See. Sie ist sowohl von der Ausrüstung des Schleppers (Leinenschussgeräte etc.) und des Havaristen (Notschleppgeschirre), von den Witterungsbedingungen (Seegang, Wind) als auch von Erfahrungen bzw. Fähigkeiten der Besatzungen an Bord beider Schiffe abhängig. In den Berechnungen wird diese Zeitspanne pessimistisch mit 1,0 h bei Windgeschwindigkeiten bis 8 bft angenommen. Bei Windverhältnissen ab 8 bft wird eine längere Zeitspanne für die Leinenverbindung von 3,5 h angenommen.

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

Nachdem eine Schleppverbindung hergestellt wurde, kann damit begonnen werden, die Driftgeschwindigkeit des Havaristen zu verringern und ihn aus der Gefahrenzone zu schleppen. Die Zeit, die dafür benötigt wird, hängt wiederum von einer Reihe von Faktoren ab. Zunächst ist sie von der Leistung der Schlepper und von den vorhandenen Umweltbedingungen abhängig. Aber auch die Erfahrungen der Besatzung und die angewendete Schleppstrategie beeinflussen diesen Zeitraum. In Moore et al. /12/ wird eine mittlere Zeit von 15 min für Tanker bei 30 Kn Windgeschwindigkeit angegeben. Bei Schleppsimulationen am "Institut für Schiffsbetrieb, Seeverkehr und Simulation" (ISSUS) zeigte sich, dass diese Zeiträume auch bis zu einer Stunde lang sein können. Daher wird dieser Zeitraum t_{st} mit 0,5 h angenommen. Im Zeitraum t_{st} sinkt die Versagenswahrscheinlichkeit linear auf Null herab. Bei Windverhältnissen ab 8 bft wird eine längere Zeitspanne bis zur Stabilisierung der Lage des Havaristen (Aufstoppen der Drift) von 1,0 h angenommen.

- Berechnung der notwendigen Schleppkraft

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

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

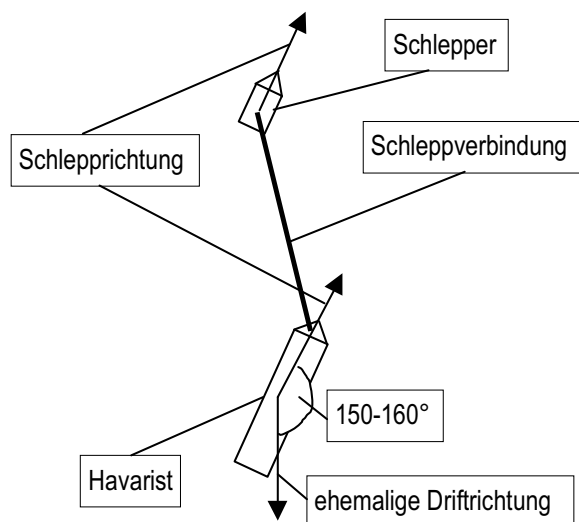


Abbildung A-13: Annahme zur Lage von Havarist und Schlepper bei Schleppmanövern

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

Nur wenn die Pfahlzugleistung des Schleppers größer als der erforderliche Pfahlzug $\bar{F}_p$ ist, wird die Wahrscheinlichkeitsfunktion, Abbildung A-12, angewendet. Ansonsten wird der Schlepper als wirkungslos

betrachtet. Als wirkende Kraft wird in den Berechnungen eine Trossenzugkraft der Schlepper in Höhe von 60% der angegebenen Pfahlzugkraft angenommen.

- *Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit*

Ist ein Simulationslauf abgeschlossen, so kann die Kollisionswahrscheinlichkeit pro Schiff P_{coll} berechnet werden. Diese ergibt sich aus der Zahl der durchgeführten Simulationsläufe mit erfolgter Kollision $n_{\text{coll, sim}}$ 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 $\sigma_{P_{\text{coll}}}$ 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.

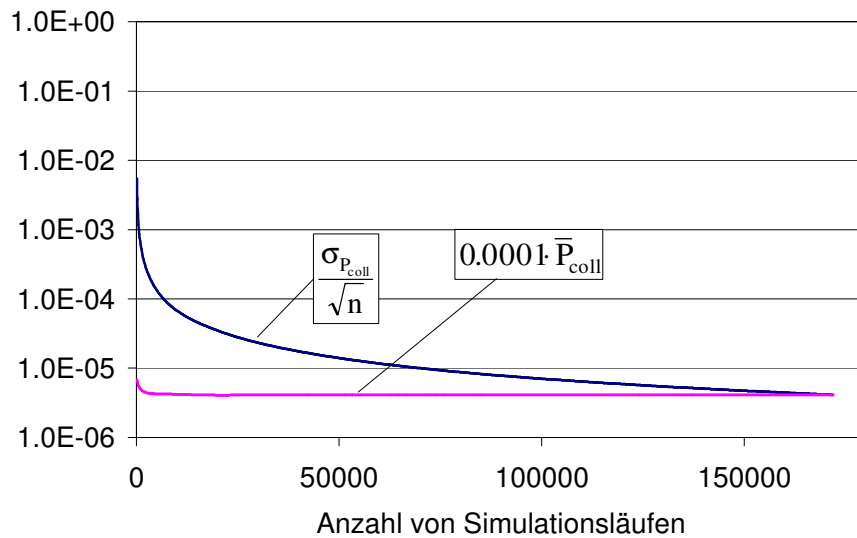


Abbildung A-14: Konvergenz der Kollisionswahrscheinlichkeit innerhalb der Monte-Carlo Simulation

- *Berechnung der Kollisionshäufigkeit*

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

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

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

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

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

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.

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

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

Tabelle A-4: Tabelle der typspezifischen Schiffsgeschwindigkeiten

Schiffstyp	durchschnittliche Schiffsgeschwindigkeit v_s [Kn]
Stückgutschiffe	20.0
Containerschiffe	20.0 ^{*)}
Ro-Ro Schiffe	20.0
Bulker	14.0
Fähren und Passagierschiffe	20.0
Öltanker	14.0
Gastanker	15.0
Chemikalien-tanker	15.0
^{*)} Die durchschnittliche Schiffsgeschwindigkeit für Containerschiffe wurde gegenüber den harmonisierten Annahmen konservativ mit einer Geschwindigkeit von 20,0 kn angenommen.	

A.3.2 Berechnung der Kollisionskonsequenzen

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

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

Wie bereits erwähnt ist die Schiffstruktur in der Lage, begrenzt Kollisionsenergie zu absorbieren. Somit kann bei geringen Driftgeschwindigkeiten davon ausgegangen werden, dass die Schiffsaußenhaut sich verformt aber nicht aufreißt. Letztendlich kann bisher jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass es auch bei seitlichen Kollisionen zum Aufreißen der Schiffsaußenhaut kommt. Grundlage der Berechnungen zur Konsequenzanalyse (austretende Schadstoffmengen) ist ein Kollisionsgutachten, 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. Zusätzlich werden 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 $\bar{M}_{\text{Öl,dis}}$ 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.

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

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

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

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

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

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

A.3.3 Berechnung des Kollisionsrisikos

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

$$R_{\ddot{O}l,dis,k} = n_{coll,dis,k} \cdot \bar{M}_{\ddot{O}l,dis,k} \quad (A-22)$$

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

A.4 Literatur zum Anhang A

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

Anhang B

Darstellung berechneter Driftpfade

Zur Veranschaulichung der Simulationen sind in den folgenden Tabellen und Abbildungen beispielhafte Driftpfade jeweils eines Tankers und eines Containerschiffs unter typischen Umweltbedingungen dargestellt. Die Bedingungen wurden bis auf die Tidenströmung als konstant angenommen. Diese oder ähnliche Fälle werden, neben vielen anderen, in einem Monte-Carlo Simulationslauf betrachtet.

Fall 1: Simulierte Drift eines Tankers im Bereich des VTG German Bight Western Approach

Schiffstyp:	Tanker
Schiffsgröße:	200000 tdw
Auftreten der Manövrierunfähigkeit (Startpunkt):	54° 9' N; 6° 49,8' E
Windrichtung:	315° (NW)
Windgeschwindigkeit:	13,5 kn
Strömungsrichtung:	Variabel (Tidenzyklus + windinduzierte Strömung)
Strömungsgeschwindigkeit:	Variabel (Tidenzyklus + windinduzierte Strömung)
Driftzeit:	12 h
Endpunkt der Drift:	54° 1,8' N; 7° 4,2' E
Maximal auftretende Driftgeschwindigkeit:	1,65 m/s

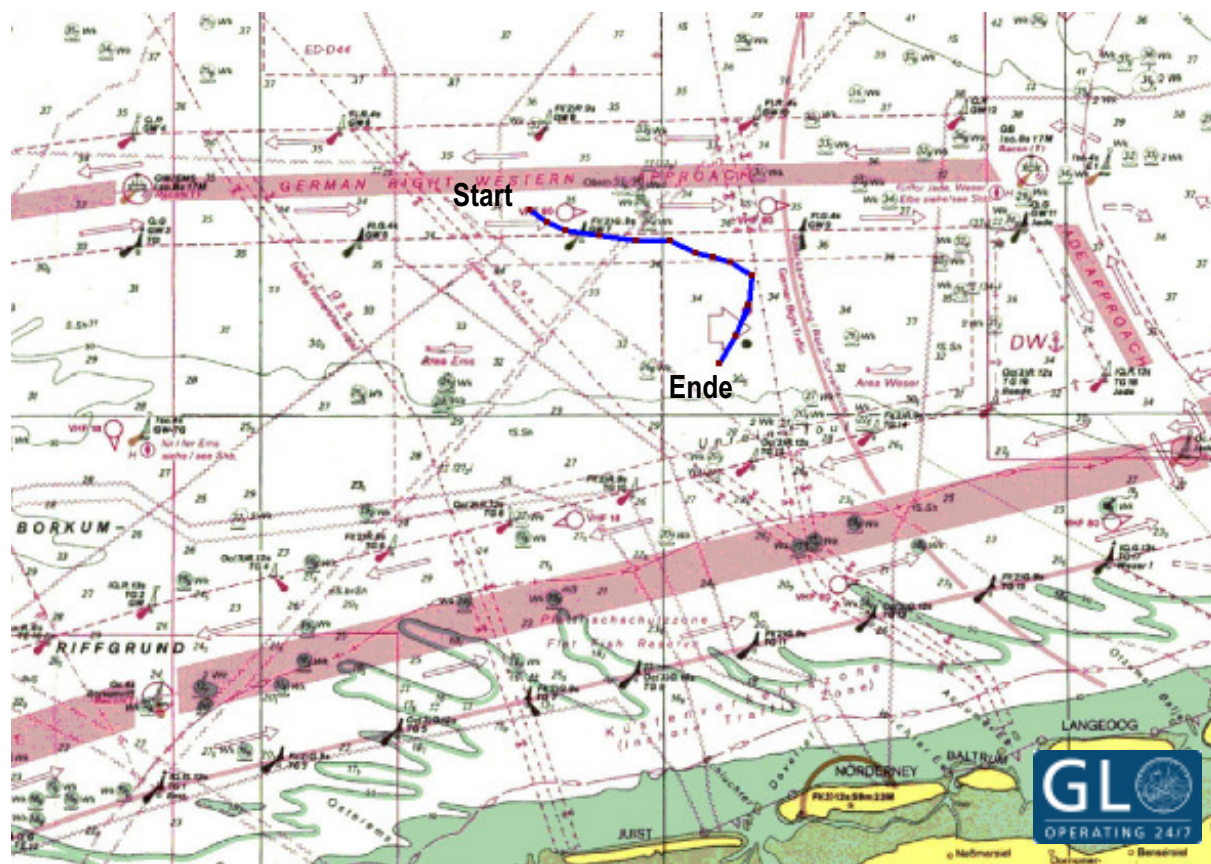


Abbildung B-1: Simulierter Driftpfad eines Tankers

Fall 2: Simulierte Drift eines Containerschiffes aus dem VTG Terschelling German Bight

Schiffstyp:	Containerschiff
Schiffsgröße:	40000 tdw
Auftreten der Manövrierunfähigkeit (Startpunkt):	53° 53,4' N; 6° 46,8' E
Windrichtung:	225° (SW)
Windgeschwindigkeit:	13,5 kn
Strömungsrichtung:	Variabel (Tidenzyklus + windinduzierte Strömung)
Strömungsgeschwindigkeit:	Variabel (Tidenzyklus + windinduzierte Strömung)
Driftzeit:	12 h
Endpunkt der Drift:	54° 7,2' N; 6° 55,8' E
Maximal auftretende Driftgeschwindigkeit:	1,81 kn

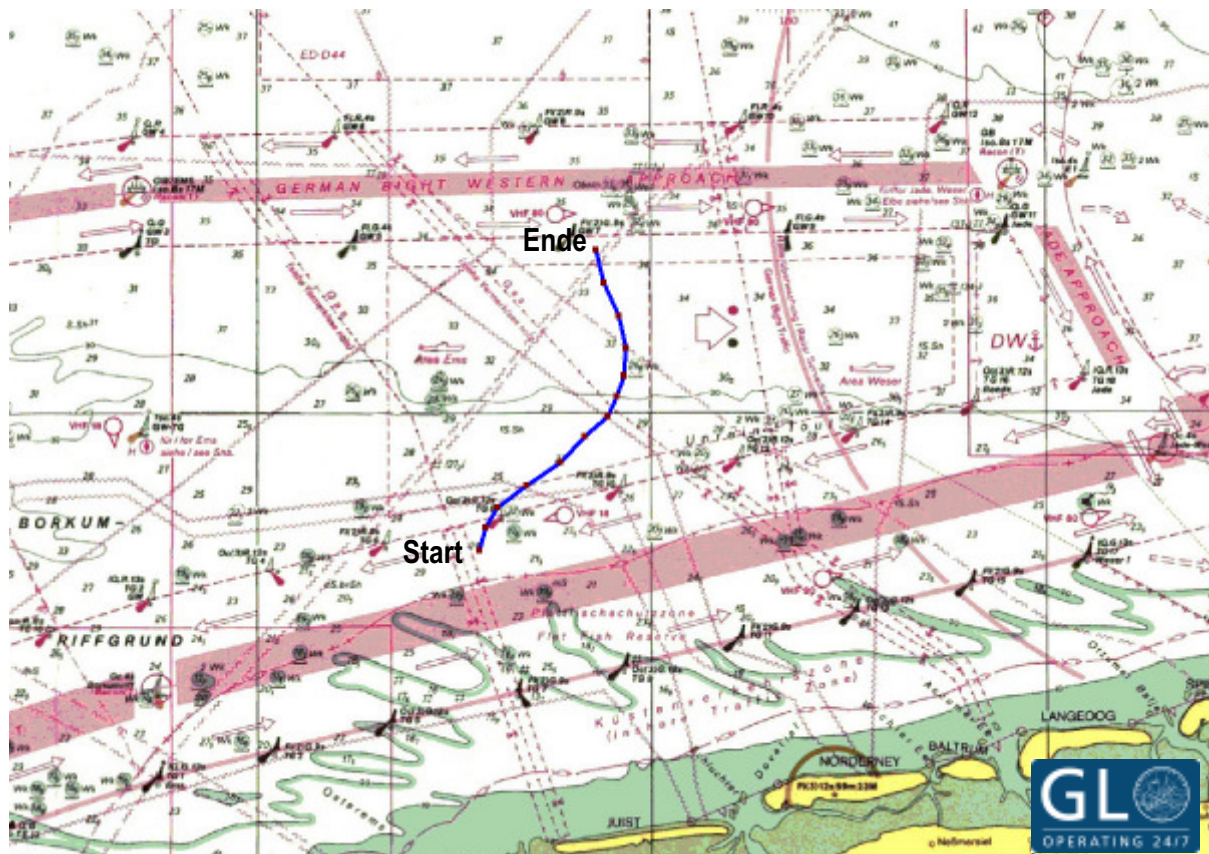


Abbildung B-2: Simulierter Driftpfad eines Containerschiffs

Anhang C

Beispiel einer AIS-Auswertung

In diesem Anhang ist ein Beispiel einer detaillierten AIS-Verkehrsauswertung dargestellt, die im Rahmen eines Windparkprojektes durchgeführt wurde. Hierbei wurde an zwei „Gates“ jeweils die Schiffsanzahl, die Verteilung auf verschiedene Schiffstypen sowie die Verteilung entlang des Gates ermittelt. Um die Zuordnung der Schiffe auf entsprechende Routen zu ermöglichen, erfolgte die Zählung der Schiffe „richtungssensitiv“, das heißt, der Winkel der Durchfahrt eines Schiffes durch ein Gate entscheidet über dessen Zählung.

In Abbildung C-1 sind die Positionsinformationen der Schiffe im Zeitraum August bis Oktober in Form von Tracks (rot – westgehende Schiffe, grün – ostgehende Schiffe) im Bereich geplanter Windparkflächen (blau) dargestellt. Zusätzlich abgebildet sind die Positionen der Gates mit Hilfe derer eine Analyse des Schiffsverkehrs vorgenommen wurde (schwarz). Die genaue Lage der Gates ist Tabelle C-1 zu entnehmen.

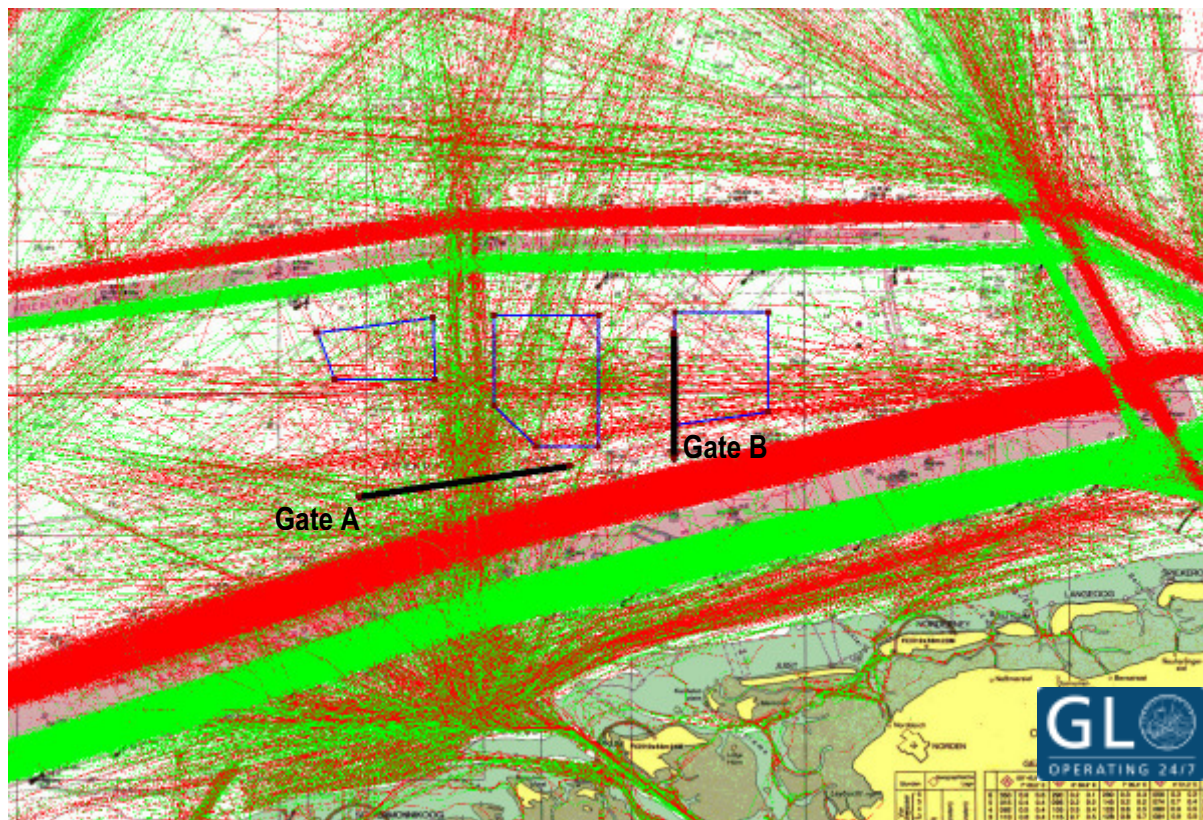


Abbildung C-1: AIS Tracks im Zeitraum August bis Oktober 2006 (grün: ostgehender Verkehr; rot: westgehender Verkehr), Flächen geplanter Windparks (blau) und Auswertegates (schwarz)

Tabelle C-1: Gatedaten

Gate	Startpunkt	Endpunkt	Gatelänge	Richtungssensitivität
A	06°09,1'E, 53°53,0'N	06°33,1'E, 53°55,1'N	14,4 [sm]	90° +/-20°
B	06°45,1'E, 54°04,1'N	06°45,1'E, 53°55,6'N	08,5 [sm]	90° +/-20°

Die Auswertung an Gate A dient der Quantifizierung der zwischen den Verkehrstrennungsgebieten in Nord-Süd-Richtung (und umgekehrt) auftretenden Schiffsbewegungen bei ca. 6°20'E. Detaillierte Ergebnisse der Auswertung an Gate A sind Tabelle C-2 und Abbildung C-2 zu entnehmen.

Tabelle C-2: Schiffsverteilung am Gate A

Schiffstyp	Ostgehend	Westgehend	Gesamt (92 Tage)
High Speed Craft	0	0	0
Special Craft	9	9	18
Passenger	0	0	0
Cargo	85	80	165
Tanker	18	18	36
Sonstige	39	38	77
Schiffe, gesamt	151	145	296

**Schiffszusammensetzung Gate A (24 Segmente)
August bis Oktober 2006 (92 Tage)**

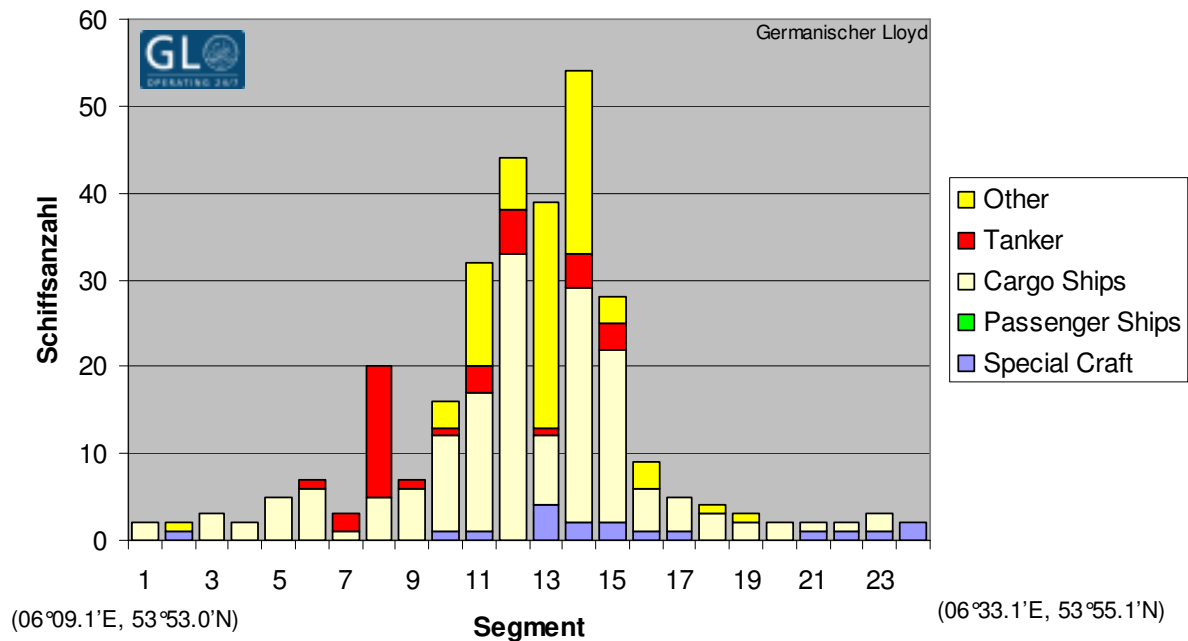


Abbildung C-2: Schiffszusammensetzung Gate A

Weiterhin wurde mit Hilfe der AIS-Positionsdarstellungen ein westgehender Schiffsverkehr zwischen den Verkehrstrennungsgebieten „German Bight Western Approach“ und „Terschelling German Bight“ identifiziert.

Die Ergebnisse dieser Auswertung für Gate B sind in Tabelle C-3 und Abbildung C-3 dargestellt.

Tabelle C-3: Schiffsverteilung am Gate B

Schiffstyp	Ostgehend	Westgehend	Gesamt (92 Tage)
High Speed Craft	0	0	0
Special Craft	2	6	8
Passenger	0	0	0
Cargo	3	76	79
Tanker	0	5	5
Sonstige	7	16	23
Schiffe, gesamt	12	103	115

**Schiffszusammensetzung Gate B (24 Segmente)
August bis Oktober 2006 (92 Tage)**

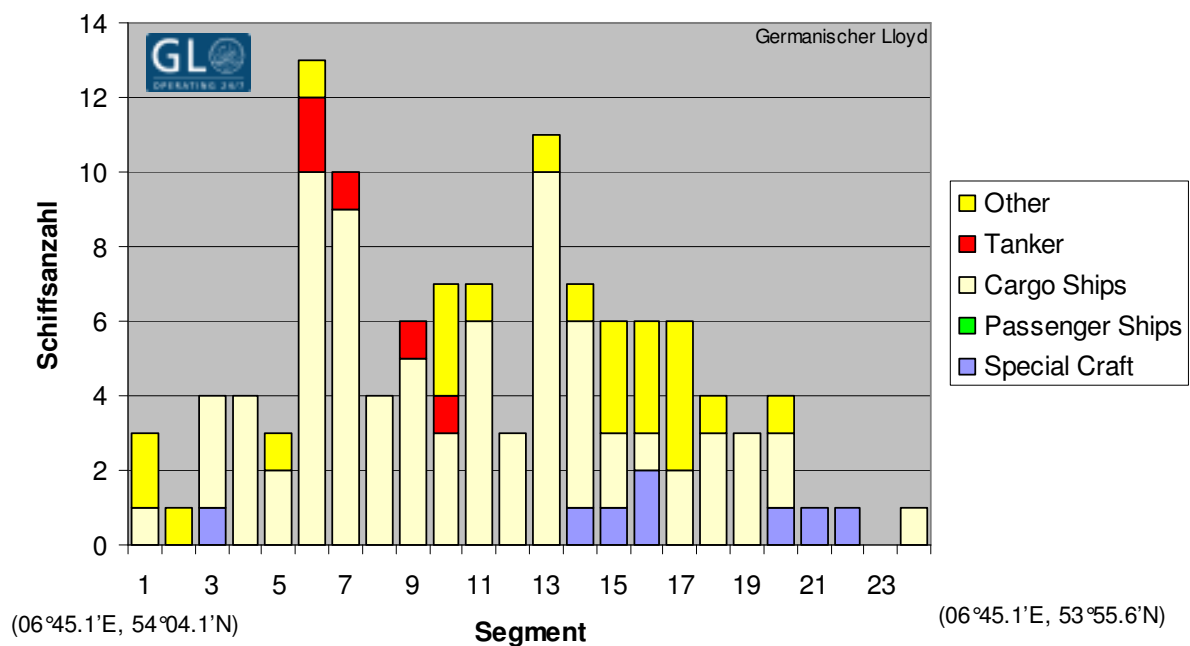


Abbildung C-3: Schiffszusammensetzung Gate B