

MARINES VORRANGGEBIET FÜR WINDENERGIEANLAGEN VOR
WARNEMÜNDE

Risikoanalyse Warnemünde/Zufahrt Seehafen Rostock

Ministerium für Energie, Infrastruktur und
Landesentwicklung, Mecklenburg-Vorpommern

Bericht Nr.: M-W-ADER 2020.190, Rev. 1.0

Datum: 2020-12-03



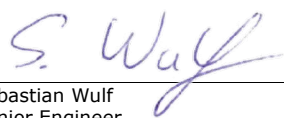
Projektname:	Marines Vorranggebiet für Windenergieanlagen vor Warnemünde	DNV GL SE – Maritime Postfach 11 16 06
Berichtstitel:	Risikoanalyse Warnemünde/Zufahrt Seehafen Rostock	20416 Hamburg Brooktorkai 18
Kunde:	Ministerium für Energie, Infrastruktur und Landesentwicklung, Mecklenburg-Vorpommern Schloßstraße 6-8, 19048 Schwerin	20457 Hamburg Tel.: +49 40 36149-0
Kontaktperson:	Iris Putz	Fax: +49 40 36149-200
Datum:	2020-12-03	HRB 115442
Projekt Nr.:	10252184	
Abteilungsname:	M-W-ADER	
Bericht Nr.:	M-W-ADER 2020.190, Rev. 1.0	

Inhalt:

In diesem Bericht sind die Ergebnisse der Überarbeitung der quantitativen Risikoanalyse zu dem geplanten marine Vorranggebiet vor Warnemünde aufgeführt. Berücksichtigt wurden hierbei eine Betrachtung der aktuellen Verkehrslage und Prognosen bezüglich der Einfahrt zum Seehafen Rostock. Zu Grunde liegt der LEP M-V vom Januar 2016 (Landesraumentwicklungsprogramm Mecklenburg-Vorpommern 2016 (LEP M-V 2016)), AIS-Datenauswertungen der Jahre 2019, 2018 und 2017, sowie verschiedene Verkehrsprognoseansätze.

Die Betrachtung des Gebietes vor Warnemünde unter Berücksichtigung von AIS-Geräten am Windpark, einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und vorhandene Notschleppkapazitäten hat eine durchschnittliche statistische Wiederholperiode zwischen zwei Kollisionen von 712 Jahren ergeben. Für den Prognosehorizont 2030 wurde eine durchschnittliche statistische Wiederholperiode zwischen zwei Kollisionen von 528 Jahren ermittelt. Eine Einstufung des berechneten Risikos in die Risikoprioritätszahl (RPZ) nach dem BSH-Standard „Konstruktive Ausführung von Offshore - Windenergieanlagen“ ergab für die Umwelt ein akzeptables Risiko mit einer RPZ von 2 bis 3.

Erstellt von:



Sebastian Wulf
Senior Engineer

Überprüft von:



Dr. Daniel Povel
Team Leader Risk Assessment

Genehmigt von:



Claas Rostock
Head Of Department

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

Schlüsselworte:

Kollisionsrisiko, Kollisionswahrscheinlichkeit, Windenergie, Ostsee

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
2	EINLEITUNG.....	2
3	BESCHREIBUNG DES SEEGBIETES	3
3.1	Allgemein	3
3.2	Beschreibung von Klima und Wetterlagen im Untersuchungsraum	3
3.3	Beschreibung des Verkehrs und Prognosedaten	8
4	KOLLISIONSRISIKEN UND KONSEQUENZEN.....	18
4.1	Berechnungsgrundlagen	18
4.2	Risikomindernde Maßnahmen	20
4.3	Kollisionsrisiko des mVRG Warnemünde aktueller Verkehr 2019	26
4.4	Kollisionsrisiko des mVRG Warnemünde Prognosehorizont 2030	28
5	EINSTUFUNG DES RISIKOS.....	30
5.1	Umweltauswirkungen	30
5.2	Kollisionskonsequenzen Schiff-Windenergieanlage	33
5.3	Personensicherheit	34
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	35
	ANHANG A METHODEN DER RISIKOBERECHNUNG	36
A.1	Risikoberechnungen für den Windpark	37
A.2	Verfahren zur Berechnung des Risikos für Kollisionen manövrierfähiger Schiffe mit Installationen des Windparks	40
A.3	Verfahren zur Berechnung von Risiken für die Kollisionen manövrierunfähiger Schiffe mit Installationen des Windparks	48
A.4	Literatur zum Anhang A	66

1 ZUSAMMENFASSUNG

Das Ministerium für Energie, Infrastruktur und Landesentwicklung Mecklenburg-Vorpommern beauftragte den DNV GL damit, eine aktualisierte und um eine Verkehrsprognose erweiterte Risikoanalyse für das marine Vorranggebiet vor Warnemünde (nach dem Landesraumentwicklungsprogramm Mecklenburg-Vorpommern 2016 (LEP M-V 2016)) hinsichtlich der quantitativ zu ermittelnden statistisch zu erwartenden Kollisionshäufigkeiten zwischen Schiffen und Anlagagen des Windparks.

Die Betrachtung des Gebietes mVRG Warnemünde unter Berücksichtigung von AIS-Geräten am Windpark, einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und vorhandener Notschleppkapazitäten hat eine durchschnittliche statistische Wiederholperiode zwischen zwei Kollisionen von 712 Jahren ergeben. Es wurden 0,4 t/Jahr an statistisch zu erwartenden austretenden Schadstoffmengen ermittelt. Für den Prognosehorizont 2030 wurde eine durchschnittliche statistische Wiederholperiode zwischen zwei Kollisionen von 528 Jahren sowie 0,6 t/Jahr an statistisch zu erwartenden austretenden Schadstoffmengen ermittelt.

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



2 EINLEITUNG

In dieser Risikoanalyse wurde das Risiko für die Leichtigkeit und Sicherheit des Schiffsverkehrs in Hinblick auf im Landesraumentwicklungsprogramm Mecklenburg-Vorpommern festgelegte marine Vorranggebiet für Windenergieanlagen vor Warnemünde bestimmt.

Dieser Bericht gliedert sich in fünf Kapitel. Ausgehend von der Zusammenfassung im Kapitel 1 und dieser Einleitung (Kapitel 2) folgt eine Beschreibung des untersuchten Seegebiets mit Untersuchung der Umweltbedingen und Analyse des aktuellen Schiffsverkehrs bzw. einer Schiffsverkehrsprognose für das Jahr 2030 (Kapitel 3). In Kapitel 0 werden die Kollisionshäufigkeiten und Konsequenzen unter Verwendung harmonisierter Annahmen für das mVRG Warnemünde angegeben. Die verwendeten Berechnungsgrundlagen zur Risikoberechnung sind in Kapitel 4.1, sowie eine Vorstellung der risikomindernden Maßnahmen und eine Erläuterung deren angesetzter Wirkung in Kapitel 4.2 dargestellt. In Kapitel 5 wird eine Einstufung der ermittelten Risiken anhand des Anhang 1 des BSH Standards „Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen“ vorgenommen.

Die Grundlagen zu den durchgeführten Berechnungen der Computersimulation sind in Kapitel 4.1 und 4.2 sowie im Anhang A zu finden.

3 BESCHREIBUNG DES SEEGEBIETES

Der hier betrachtete Untersuchungsraum umfasst das Küstenmeer Mecklenburg-Vorpommern, insbesondere die Mecklenburger Bucht nördlich Rostocks.

3.1 Allgemein

Im Bereich des betrachteten Seeraums verlaufen zwei von der International Maritime Organization (IMO) eingerichteten Verkehrstrennungsgebiete (VTG). Nördlich Rostock verläuft das VTG „South of Gedser“. Eingebettet in die VTGs verläuft durch die Kadetrinne westlich von Darss bis nördlich Zingst ein ca. 0,5 sm breiter Tiefwasserweg mit einer Solltiefe von 16,5 Metern.

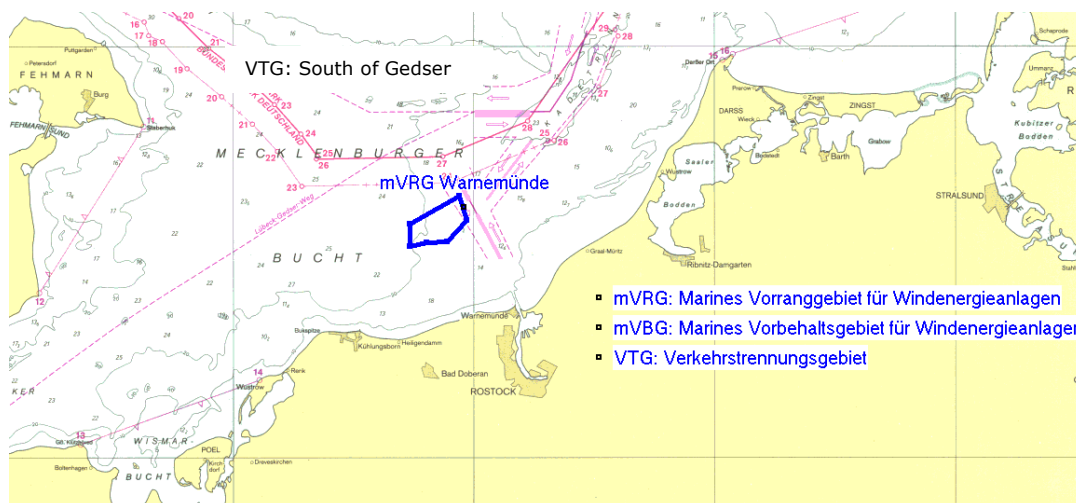


Abbildung 1: Untersuchungsraum

3.2 Beschreibung von Klima und Wetterlagen im Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum umfasst die Seegebiete Mecklenburger Bucht (C2) und die Gewässer um Rügen (C3), siehe /2/ und Abbildung 2

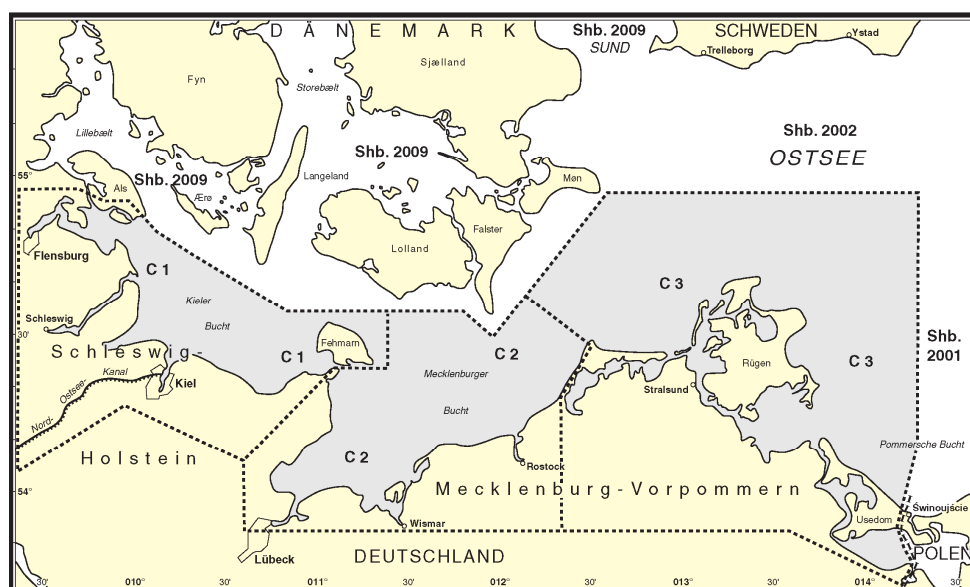


Abbildung 2: Seegebiete nach /2/

Während der Westen der Ostsee noch überwiegend maritim bestimmt ist, mit verhältnismäßig schwachem Jahresgang der Temperatur – milden Wintern und kühlen Sommern – nimmt der Festlandeinfluss nach Osten hin zu.

Dabei verschieben sich die Grenzen zwischen überwiegend maritim bzw. kontinental bestimmtem Bereich von Jahr zu Jahr. In Wintern mit kontinentalem Einfluss und ohnehin begünstigt durch die umgebenden Landmassen kann es vorkommen, dass die Ostsee fast vollständig vereist.

Die Ostseeküste Deutschlands befindet sich in der gemäßigten Klimazone. Bedingt durch die Lage im Einflussbereich der außertropischen Westwinddrift ist die Hauptwindrichtung über der Ostsee Südwest. Meist entwickeln sich die für den Ostseeraum klimatisch bedeutsamen Tiefdruckgebiete über dem Nordatlantik.

3.2.1 Wind

Richtung und Geschwindigkeit des Windes werden vor allem durch die Intensität und Lage der Hoch- und Tiefdruckgebiete zueinander bestimmt, wobei beide Parameter zusätzlich durch die Küstenformation beeinflusst werden. Die relativen monatlichen und jährlichen Häufigkeiten von Windstärkegruppen (in % der Beobachtungen) und die Hauptwindrichtungen sind für die Seegebiete nördlich Mecklenburg /2/ in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Maximalwerte für jede Windstärkengruppe sind jeweils fett dargestellt.

Nördlich Mecklenburg:

Tabelle 1: Relative monatliche und jährliche Häufigkeit von Windstärkegruppen in % /2/

Bft	m/s	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
8-12	17,2 - > 32,7	3,0	2,5	1,7	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	1,5	2,4	2,5	2,7	1,6
6-7	10,8 - 17,2	18,2	20,0	15,9	9,8	7,9	9,3	9,1	8,8	13,4	18,2	20,4	21,5	14,4
4-5	5,5 - 10,8	43,5	45,0	44,4	41,3	40,3	37,0	38,6	38,6	41,4	45,1	46,6	45,7	42,3
0-3	< 5,5	35,3	32,5	38,0	47,9	51,2	53,1	51,7	52,0	43,7	34,4	30,6	30,1	41,7
Richtung		S-W	SW-W	W+O	keine	O+W	W	W	SW-W	SW-W	S-W	S-W	S-W	SW-W

Für den Bereich treten Windstärken von 0-3 Bft vermehrt im Sommerhalbjahr von April bis September auf, wohingegen Windstärken über 6 Bft vermehrt in den Monaten Oktober bis Februar auftreten. Windstärken von 4 bis 5 Bft treten in den Monaten Oktober bis März zwar häufiger auf, allerdings ist der Unterschied zu den Sommermonaten gering (siehe hierzu auch Abbildung 3).

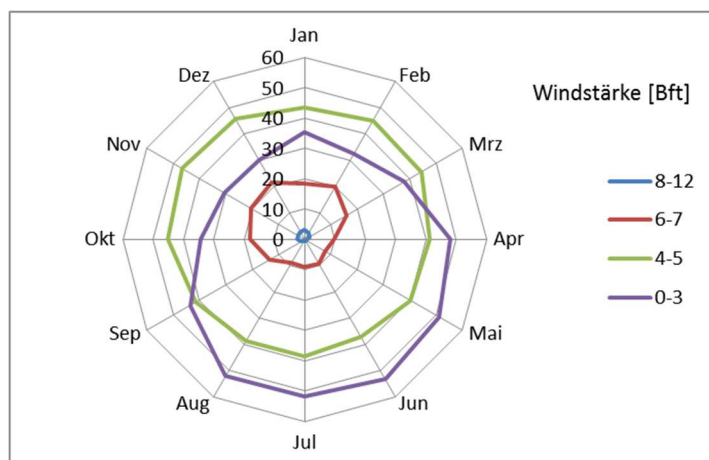


Abbildung 3: Relative Häufigkeit der Windstärken (in %) im Seegebiet nördlich Mecklenburg

3.2.2 Oberflächenströmung und Wasserstände

Die Oberflächenströmungen in der Ostsee werden primär durch das lokale Windfeld bestimmt, welches den sogenannten Driftstrom erzeugt. Der Wasseraustausch zwischen Nord- und Ostsee ist in den Seegebieten nördlich Mecklenburgs und nördlich Rügen von untergeordneter Bedeutung.

Die aktuellen Wasserstände in der Ostsee können erheblich vom mittleren Wasserstand abweichen. Als Anhaltswerte können hierfür die Werte für die Häfen Warnemünde und Saßnitz dienen (siehe Tabelle 2). Die Ursache hierfür ist hauptsächlich in der Wirkung des Windes zu suchen. Dabei wird der Wasserstand sowohl von örtlichen Windverhältnissen als auch vom Wind über zusammenhängenden größeren Teilgebieten der Ostsee beeinflusst. Von der großräumigen Windverteilung über Nord- und Ostsee hängen Durchströmung der Belte und des Sundes, Wasserinhalt der Ostsee und damit ebenfalls der örtliche Wasserstand ab.

Tabelle 2: Extremwerte des Wasserstandes, bezogen auf den mittleren Wasserstand /2/

	Warnemünde	Saßnitz
Maximum	2,7 m	2,12 m
Minimum	-1,68 m	-1,43 m

3.2.3 Seegang und Wellenhöhen

Statistische Daten für den Seegang sind in "Naturverhältnisse in der Ostsee" /3/ angegeben. Der Seegang im Bereich der südlichen Ostsee setzt sich aus Windsee und Dünung zusammen. Windsee ist die aus der Windbewegung erzeugte Wellenbewegung der Meeresoberfläche. Insofern ist die Windsee von den lokalen Windbedingungen abhängig. Ein weiterer Einfluss auf die Höhe der Windsee ist die Strecke, die der Wind auf die Wasseroberfläche wirkt. Diese Strecke wird als Fetch (Windwirkungsstrecke) bezeichnet und muss genügend lang sein, damit sich der Seegang voll ausprägen kann. Ein weiterer Einfluss ist die Dauer, mit der der Wind wirkt.

Dünung sind Wellenformationen, die in weiter entfernten Seegebieten als Windsee entstanden sind und in das betrachtete Seegebiet laufen. Im Gegensatz zur Windsee weist Dünungssee regelmäßige und gerundete Wellenformen auf. Der Anteil von Dünungssee beträgt ca. 4 %.

Da der Seegang von der Windsee dominiert wird, kann die signifikante Wellenhöhe aus der Windgeschwindigkeit abgeleitet werden. Für das betrachtete Seegebiet wird dieser Zusammenhang in "Naturverhältnisse in der Ostsee"/3/ beschrieben (siehe Abbildung 4).

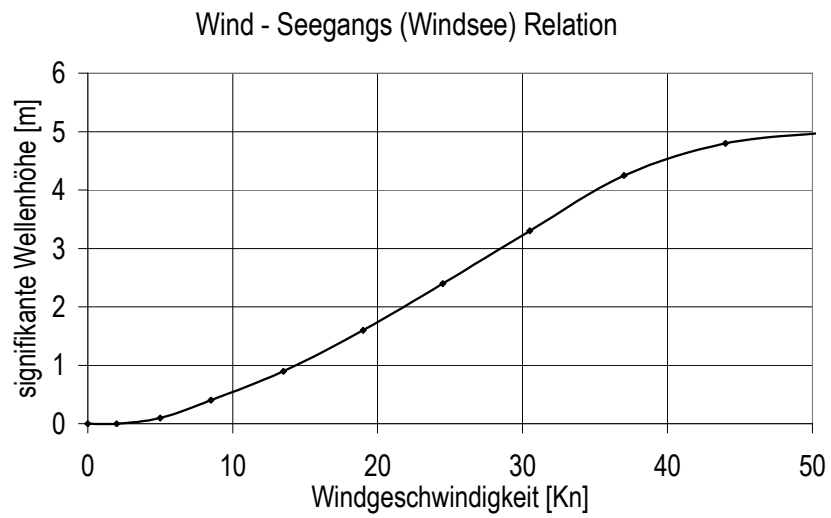


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Windgeschwindigkeiten und signifikanten Wellenhöhen, entsprechend /3/

3.2.4 Oberflächenströmung

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

Für das offene Seegebiet der südlichen Ostsee liegen Strömungsdaten des ehemaligen Feuerschiffes "Adlergrund" vor. Das Feuerschiff war im Zeitraum von 1924 bis 1938 zwischen Bornholm und dem Adlergrund stationiert. Die aufgezeichneten Daten besitzen auch heute noch Gültigkeit.

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

Die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten ergibt sich aus Messungen des ehemaligen Feuerschiffes "Adlergrund". Da die Strömungen in diesem Seegebiet von den herrschenden Windverhältnissen bestimmt werden, besteht ein Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Strömungsgeschwindigkeit. Die Messungen des Feuerschiffes zeigten, dass die Strömungsgeschwindigkeit linear mit der Windgeschwindigkeit zunimmt. Der lineare Zusammenhang ist in Abbildung 5 dargestellt.

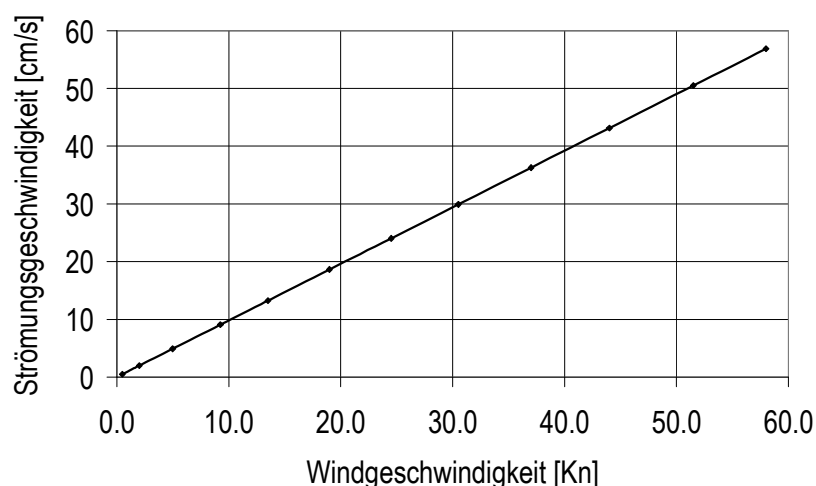


Abbildung 5: Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit im Seegebiet des Feuerschiffs Adlergrund nordöstlich von Rügen, entsprechend /3/

3.3 Beschreibung des Verkehrs und Prognosedaten

Als Datenbasis wurde der Schiffsverkehr im betrachteten Untersuchungsraum durch Auswertungen von AIS-Daten (Automatic Identification System) analysiert. AIS ist ein auf UKW-Funkübertragung basierendes System zur Verhütung von Kollisionen zwischen Schiffen. Die hierbei von den Schiffen gesendeten Informationen liegen in Form von aufgezeichneten Datensätzen für den betrachtete Untersuchungsraum vor. Die datenschutzrelevanten Informationen in den AIS-Daten sind lediglich in verschlüsselter Form (pseudonymisiert) in den Datensätzen enthalten. Die hier verwendeten AIS-Daten wurden von der GDWS-Außenstelle Nord zur Verfügung gestellt. Um die auszuwertende Datenmenge in einer vertretbaren Größe zu halten, wurde der Schiffsverkehr über die Monate Januar, April, Juli und Oktober des Jahres 2019 ausgewertet. Die Auswahl der betrachteten Monate stellt eine repräsentative Basis zur Hochrechnung auf die Zahl der jährlichen Schiffsbewegungen dar, da auf diese Art und Weise die saisonal unterschiedlichen Verkehrsaufkommen berücksichtigt werden.

Neben einer graphischen Darstellung der Positionsinformationen von Schiffen wurde an vier Positionen eine detaillierte Auswertung vorgenommen. Diese detailliert ausgewerteten Positionen sind als Durchfahrtskorridore definiert und werden als „Gate“ bezeichnet. Hierbei wurde an dem jeweiligen „Gate“ die Schiffsanzahl, die Verteilung auf verschiedene Schiffstypen sowie die Verteilung im Querschnitt des Gates ermittelt. Die Positionen und Längen der Gates sind so gewählt, dass der kreuzende Schiffsverkehr, aufgezeigt durch die AIS-Positionen, eine Zuordnung der Schiffe auf entsprechende Routen ermöglicht. Ebenfalls erfolgte die Zählung der Schiffe „richtungssensitiv“, das heißt, der Winkel der Durchfahrt eines Schiffes durch ein Gate entscheidet über dessen Zählung und Zuordnung zu einer Schiffsroute.

In Abbildung 6 sind die Positionsinformationen der Schiffe für das Jahr 2019 in Form von Tracks (rot – westgehende Schiffe, grün – ostgehende Schiffe) dargestellt. Die in dieser Analyse berücksichtigten Planungsgebiete (mVRG und mVBG) des Landes Mecklenburg-Vorpommern sind blau dargestellt. Die Gates 1-4 sind als schwarze Balken dargestellt.

In Abbildung 7 bzw. Abbildung 8 wird die AIS-Darstellung auf drei Monate bzw. auf einen Monat reduziert, um eine bessere optische Aufschlüsselung der Verkehrsdichten zu erhalten.

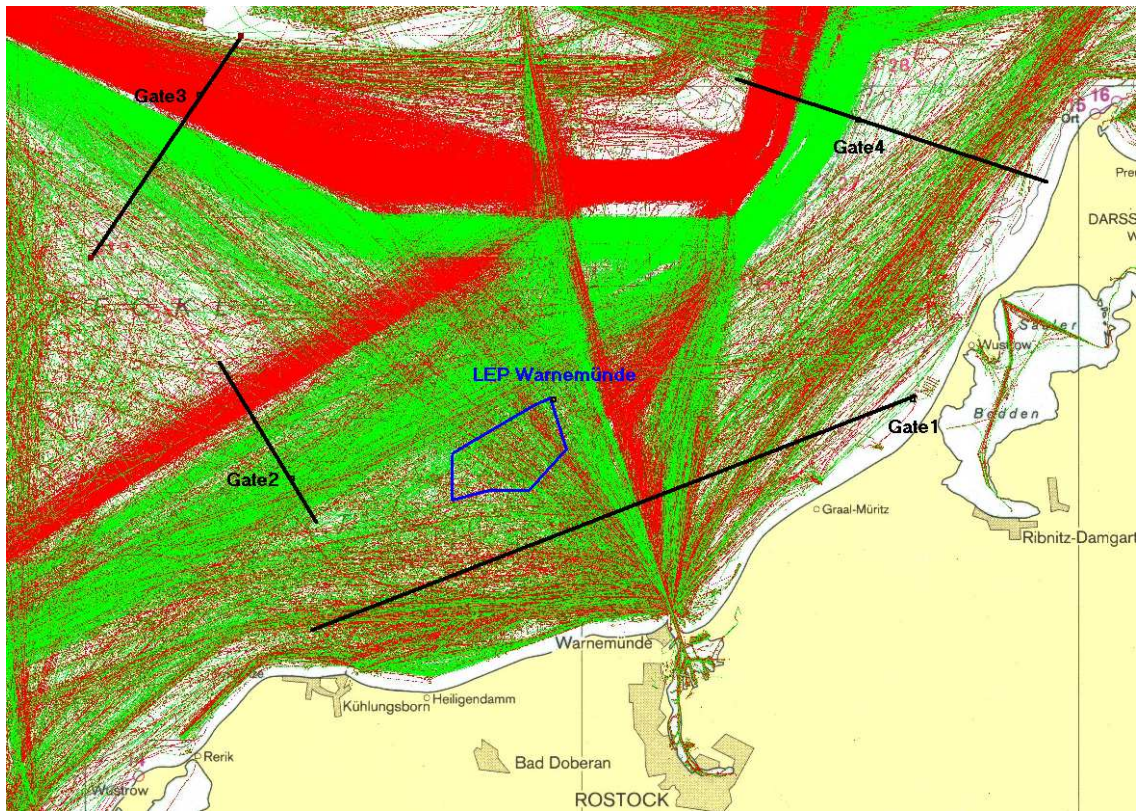


Abbildung 6: AIS Tracks Darstellung über das gesamte Jahr 2019 (grün: ostgehender Verkehr; rot: westgehender Verkehr) und Positionen der Gates

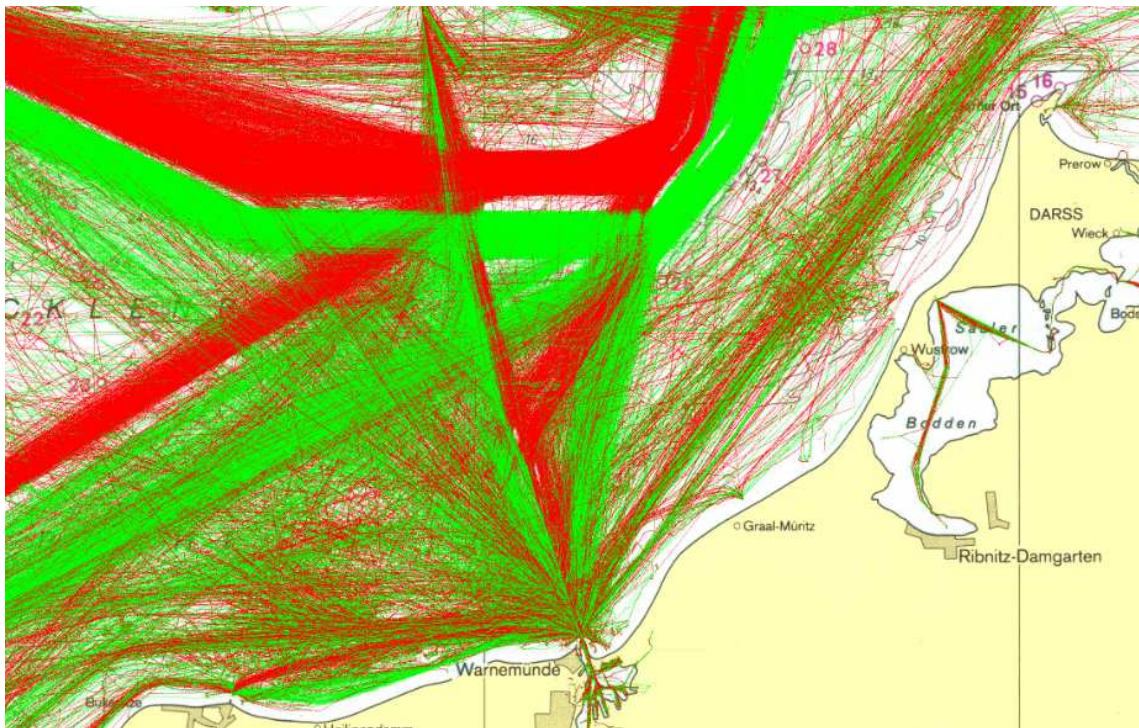


Abbildung 7: AIS Tracks Darstellung über die Monate Januar, Mai und September 2019, (grün: ostgehender Verkehr; rot: westgehender Verkehr)

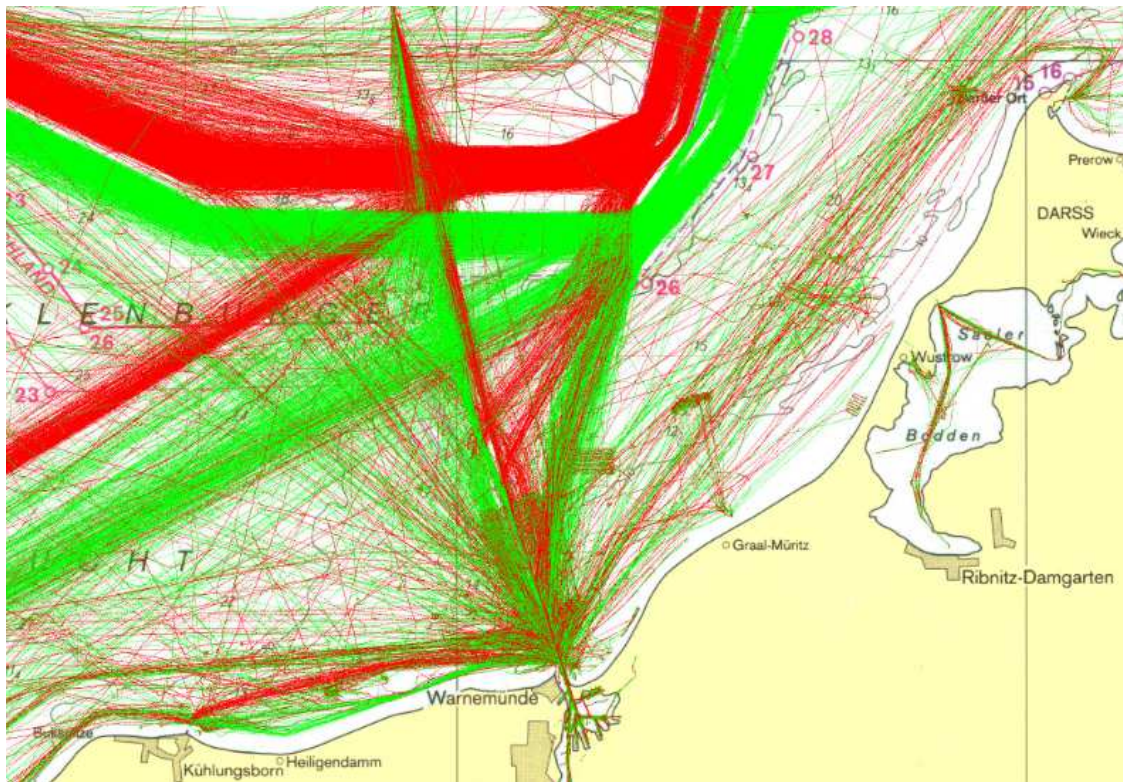


Abbildung 8: AIS Tracks Darstellung über den Monate Juli 2019, (grün: ostgehender Verkehr; rot: westgehender Verkehr)

In den folgenden Unterkapiteln werden für die vier Gates die Austertungstabellen inklusive der extrapolierten jährlichen Schiffszahlen, sowie die Diagramme der Verteilung über die Breite der Gates (Lateralverteilung) aufgezeigt.

3.3.1 Gate 1 2019

Tabelle 3: Schiffsbewegungen Gate 1, 4 Monate 2019

Schiffstyp	Nordgehend	Südgehend	Gesamt über Tage:	Gesamt:
			123	(extrapoliert Jahr)
High Speed Craft	73	76	149	442
Special Craft	465	410	875	2597
Passenger	1752	2345	4097	12158
Cargo	350	870	1220	3620
Tanker	144	179	323	958
andere	338	380	718	2131
Schiffe, gesamt	3122	4260	7382	21906

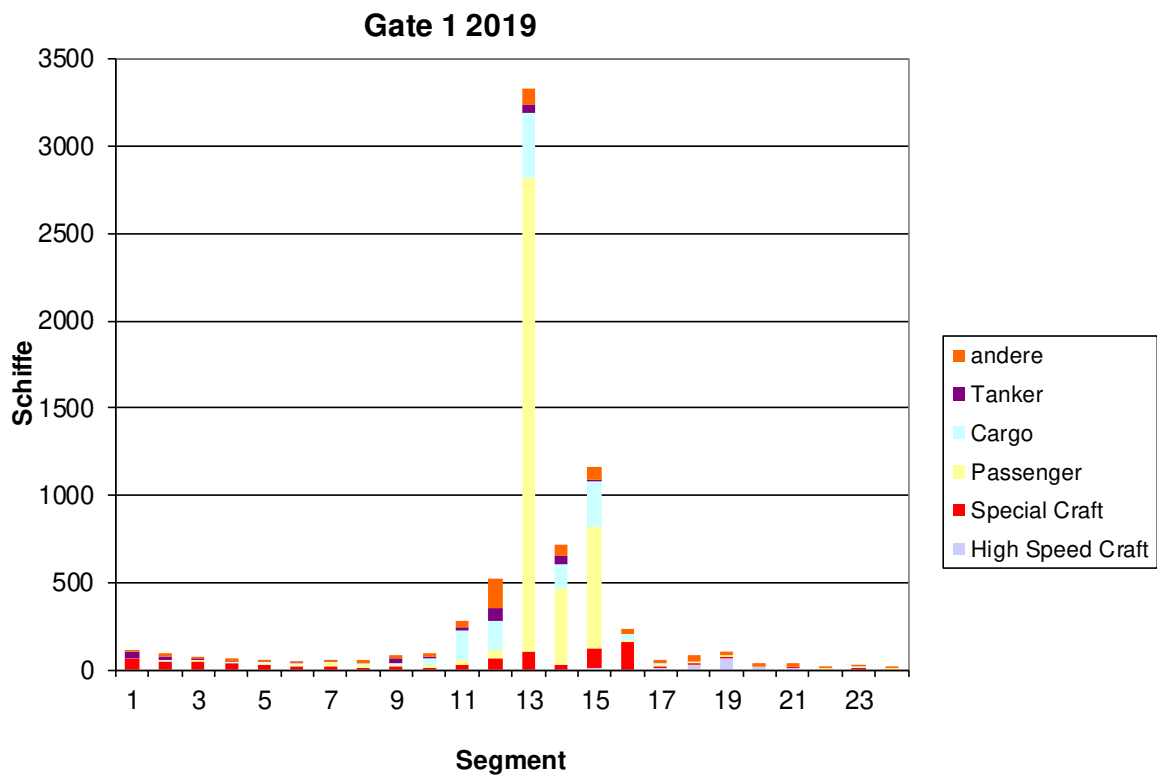


Abbildung 9: Gate 1 Lateralverteilung des Schiffsverkehrs 4 Monate 2019

3.3.2 Gate 2 2019

Tabelle 4: Schiffsbewegungen Gate 2, 4 Monate 2019

Schiffstyp	Westgehend	Ostgehend	Gesamt über Tage:	Gesamt:
			123	(extrapoliert Jahr)
High Speed Craft	0	0	0	0
Special Craft	37	29	66	196
Passenger	800	787	1587	4709
Cargo	483	462	945	2804
Tanker	33	39	72	214
andere	54	56	110	326
Schiffe, gesamt	1407	1373	2780	8250

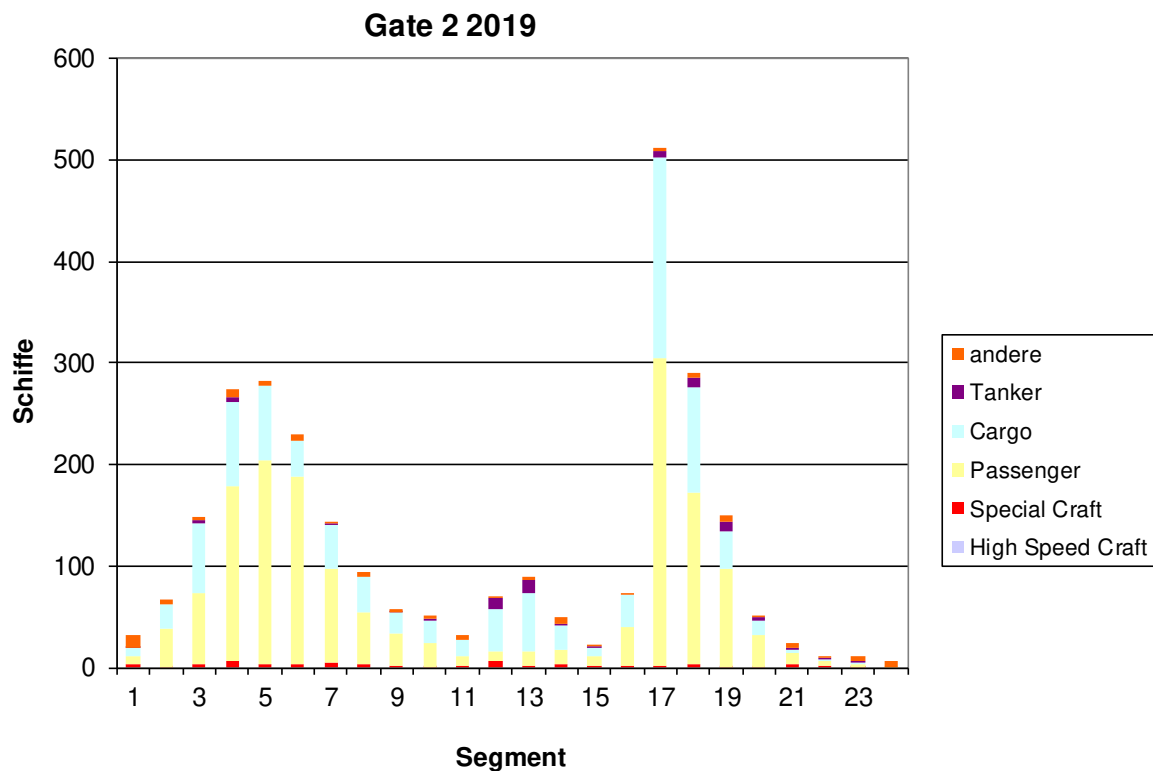


Abbildung 10: Gate 2 Lateralverteilung des Schiffsverkehrs 4 Monate 2019

3.3.3 Gate 3 2019

Tabelle 5: Schiffsbewegungen Gate 3, 4 Monate 2019

Schiffstyp	Westgehend	Ostgehend	Gesamt über Tage:	Gesamt:
			123	(extrapoliert Jahr)
High Speed Craft	5	5	10	30
Special Craft	95	99	194	576
Passenger	203	190	393	1166
Cargo	3908	3135	7043	20900
Tanker	1543	990	2533	7517
andere	274	250	524	1555
Schiffe, gesamt	6028	4669	10697	31743

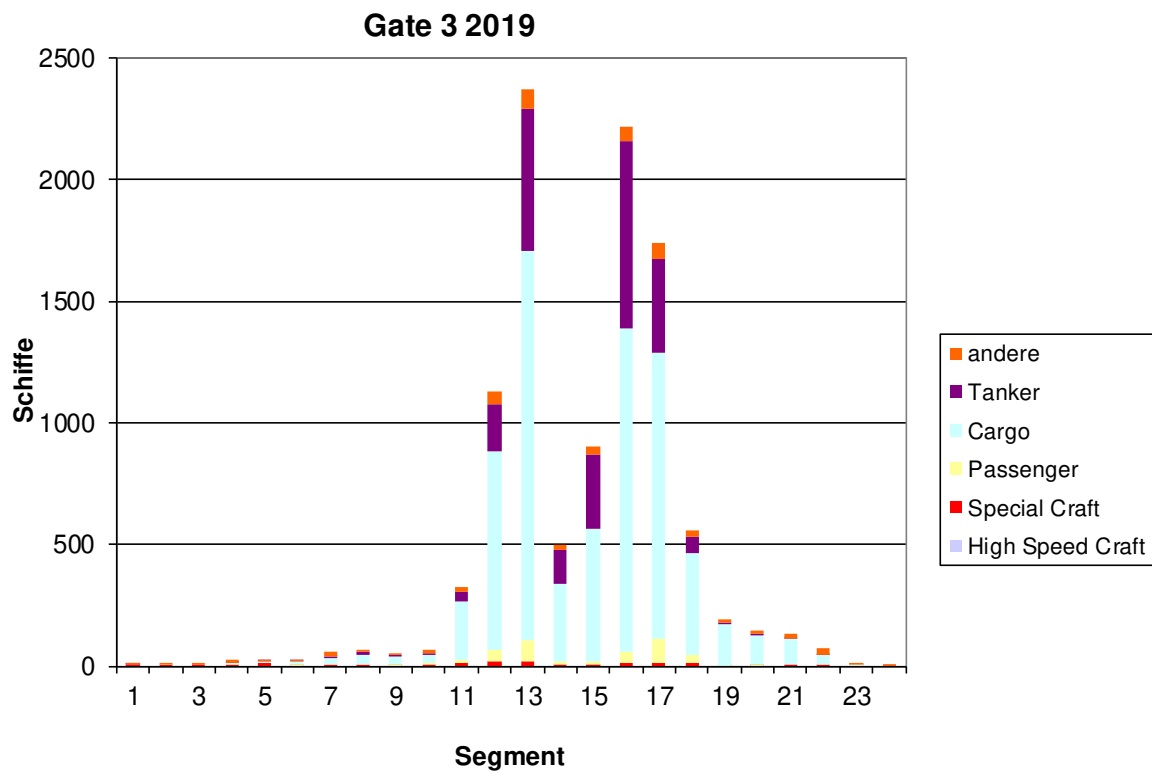


Abbildung 11: Gate 3 Lateralverteilung des Schiffsverkehrs 4 Monate 2019

3.3.4 Gate 4 2019

Tabelle 6: Schiffsbewegungen Gate 4, 4 Monate 2019

Schiffstyp	Nordgehend	Südgehend	Gesamt über Tage:	Gesamt:
			123	(extrapoliert Jahr)
High Speed Craft	78	80	158	469
Special Craft	221	187	408	1211
Passenger	1738	1781	3519	10443
Cargo	3795	4473	8268	24535
Tanker	986	1542	2528	7502
andere	281	311	592	1757
Schiffe, gesamt	7099	8374	15473	45916

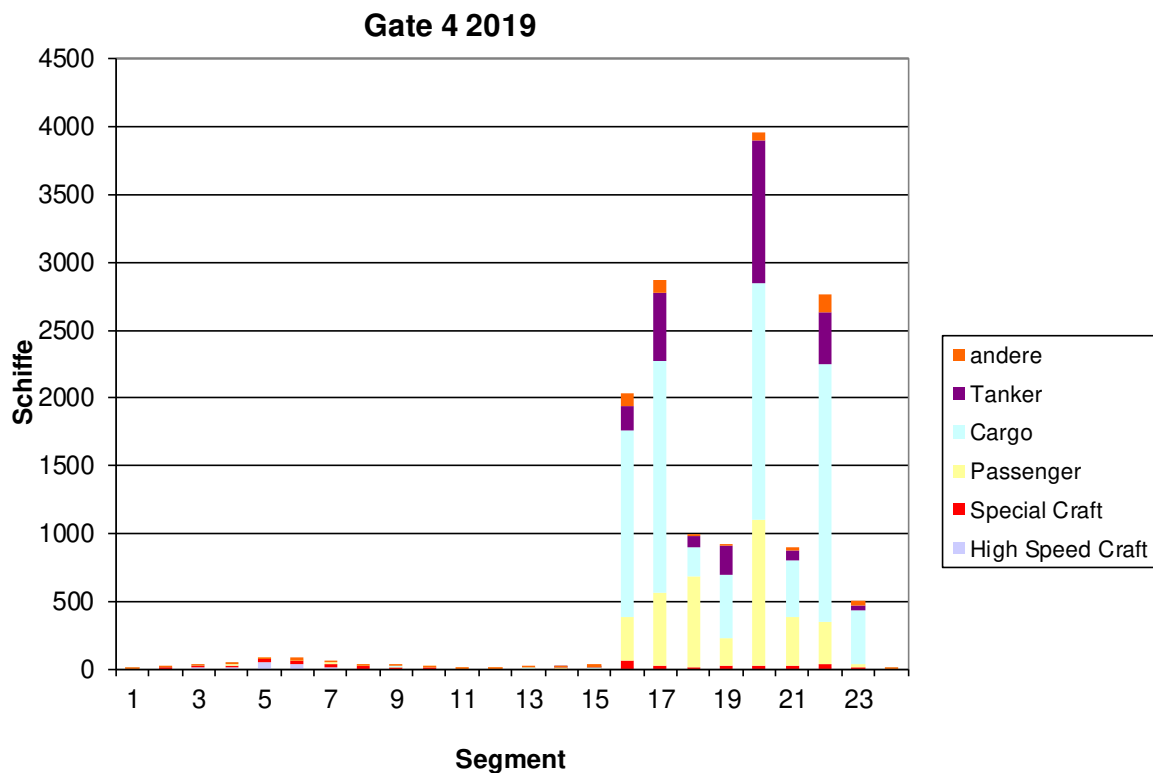


Abbildung 12: Gate 4 Lateralverteilung des Schiffsverkehrs 4 Monate 2019

3.3.5 Schiffrouten 2019

Die auf Basis der AIS-Auswertung identifizierten Schiffsbewegungen im Untersuchungsraum wurden als idealisierte Schiffrouten zusammengefasst (s. A.2.1) und in Abbildung 13 rot dargestellt. Dabei sind die Routenführungen mit den jährlichen Schiffsbewegungen unter Berücksichtigung der Windparkfläche eingezeichnet. Eine unmittelbare Berücksichtigung der Verkehre aus den AIS-Datenauswertungen in einer Kollisions-Häufigkeitsberechnung ist technisch nicht möglich. Die idealisierten Routen auf Basis der oben dargestellten AIS-Daten bieten dem Kollisions-Simulationsprogramm realitätsnahe Abbildungen der Schiffsverkehre, gleichzeitig wird eine arithmetische Berücksichtigung der Verkehre seitlich abweichend von den hier dargestellten idealisierten Mittellinien der Routen durch Verteilungsfunktionen (Gaußsche Glockenkurven) durchgeführt.

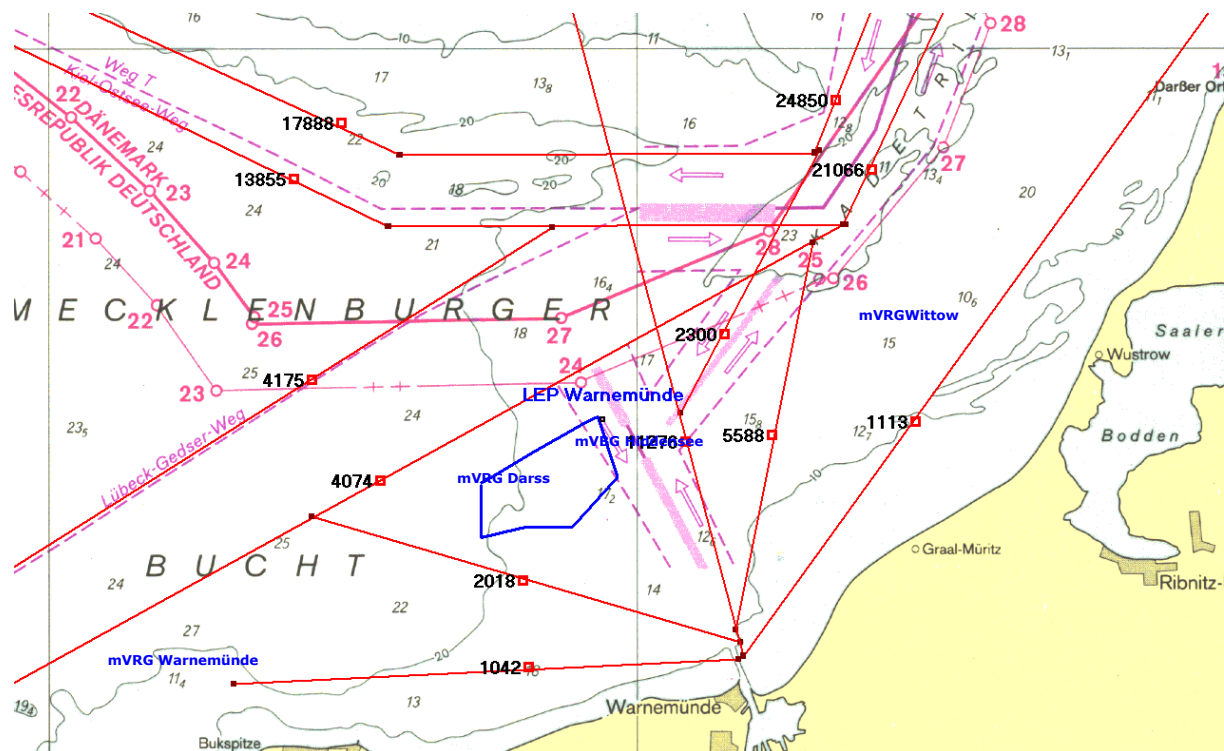


Abbildung 13: Schiffrouten mit jährlichen Schiffszahlen unter Berücksichtigung des geplanten mVRG Warnemünde, Datenbasis 2019

3.3.6 Prognosedaten für den Prognosehorizont 2030

Im Rahmen dieses Projektes wurden für die in den vorangegangenen Kapiteln betrachteten Gates auch für die Jahre 2017 und 2018 ausgewertet und gegenübergestellt. Hierbei zeigte sich in Bezug auf die einzelnen Schiffsrouten, wie auch auf die zeitliche Reifolgen ein inhomogener Trend hervor, der eine Prognose anhand dieser lokalen Auswertungen und der eingeschränkten Untersuchungszeitraumes ausschliesst.

Für eine grundsätzliche Prognose bieten sich daher Auswertungen des BMVI /13/ an, auf denen der DNV GL seine allgemeinen Verkehrsprognosen stützt. Hieraus ergibt sich ein jährliches Wachstum der Umschlagsvolumen von 2,0% in der Ostsee. Eine mögliche Schiffsgrößenveränderung wird konservativ in Hinsicht auf die möglichen Kollisionshäufigkeiten nicht berücksichtigt.

Für die Route der Ansteuerung des Seehafen Rostocks wurden dem DNV GL seitens des Auftraggebers Informationen von Prognoseerstellung seitens dritter Gutachter zur Verfügung gestellt:

PLANCO /10/:

Umschlagsprognose 2025 Seehafen Rostock (ohne Vertiefung): 3,9%/a.

Flottenstruktur 2025 im Planfall (Vertiefung): größere Schiffsklassen bzw. bessere Auslastung für geringen Teil der Gesamtumschlagsmenge. 18 Schiffsanläufe mehr.

ISL /11/:

Umschlags Prognose SHR 2030 bei Vertiefung: 3,7%/a

HPC /12/ für 2030

Fähren, RoRO und Kreuzfahrer: ca 9500 Anläufe (entspricht ca +56% seit 2019 oder +4,1%/a).

Massengut- und Stückgutfrachter: ca 2000 Anläufe (entspricht ca + 10% seit 2019 oder +0,9%/a).

Tanker: Ca 1000 Anläufe (entspricht ca +100% seit 2019 oder +6,9%/a).

Dies entspricht im Mittel 3,7%/a

3.3.7 Prognostizierte Schiffsrouten 2030

Auf Basis der oben genannten Prognosezahlen wird für die Ansteuerung des Seehafen Rostocks ein jährlich um 4% wachsende Verkehrszahl angesetzt. Das entspricht einen Zuwachs von 48% bis 2030.

Aufgrund der zwischen den einzelnen Routen sehr unterschiedlichen Auswertungen der Gates aus den AIS-Daten 2017, 2018 und 2019 wird für den restlichen Verkehr ein jährlicher Anstieg von 2% berücksichtigt. Dies entspricht einen Zuwachs von 22% bis 2030.

Das in diesem Bericht ermittelte quantitative Kollisionsrisiko wird maßgeblich durch die Anzahl an Schiffsbewegungen in dem Seegebiet bestimmt (Häufigkeit einer möglichen Kollision) und weniger durch die Konsequenzen bei einer Kollision (Indikator der jährlich zu erwartenden austretenden Ölmengen). Bei der Prognoseerstellung ist demnach die Veränderung der Schiffszahlen wesentlich relevanter als die Veränderung der Schiffsgrößen bis 2030.

Folgende Abbildung zeigt die idealisierten Routen auf Basis der Prognose-Auswertungen.

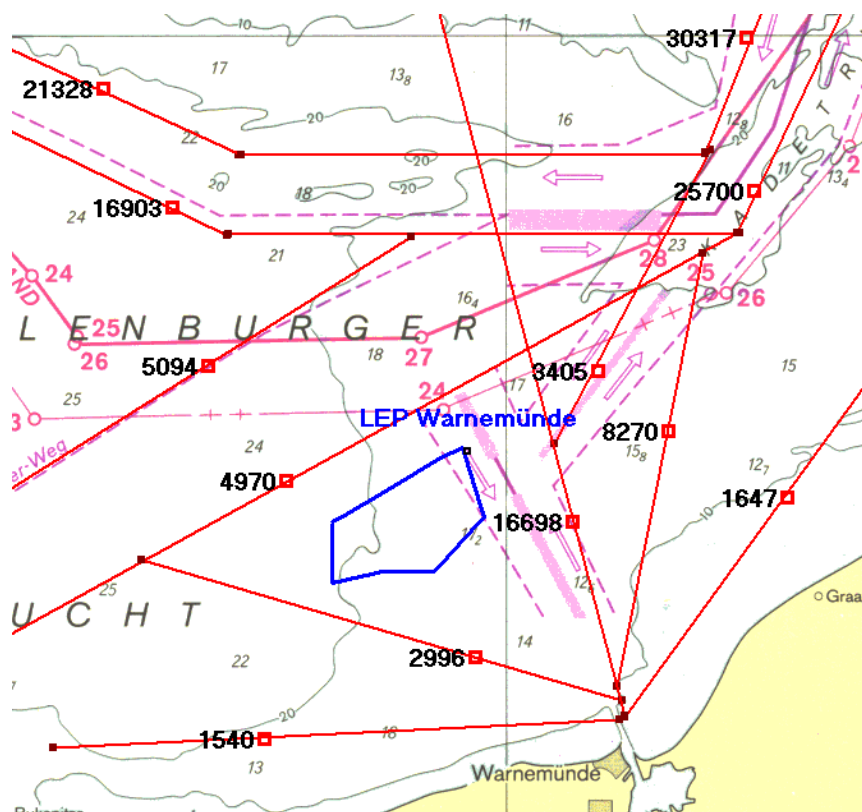


Abbildung 14: Prognostizierte Schiffsrouten für 2030 mit jährlichen Schiffszahlen unter Berücksichtigung des geplanten mVRG Warnemünde

4 KOLLISIONSRISIKEN UND KONSEQUENZEN

Kollisionen zwischen Schiffen (insbesondere Handelsschiffe) mit Windenergieanlagen stellen das größte Risiko für die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs bei der Installation von Offshore-Windparks dar. Die in Kapitel 3 aufgeführten Beschreibungen des Untersuchungsraumes, insbesondere die Analyse des Schiffsverkehrs mittels AIS, bieten eine Datenbasis zur Berechnung der Kollisionshäufigkeiten zwischen den identifizierten Handelsschiffen und dem Vorranggebiet für Windenergie vor Warnemünde. Unter einer Kollision wird im Folgenden ein Aufeinandertreffen von manövrierfähigen (also aus der Fahrt heraus), sowie auch manövrierunfähig gewordenen (driftenden) Handelsschiffen mit den angenommenen Anlagen der mVRG und des mVBG des LEP M-V 2016 verstanden. Eine Kollision wird unabhängig ihrer Geschwindigkeit grundsätzlich als solche in der Berechnungsmethodik gewertet und gezählt. Sollte eine Kollision unter einer Anprallgeschwindigkeit von 2,0 m/s stattfinden, so wird bei der Berechnung der Kollisionskonsequenzen allerdings nicht von austretenden Schadstoffen (Treibstoffe und Ladung) ausgegangen, da von einer generellen schiffskörpererhaltenden Struktur der Offshore-Bauwerke bis 2,0 m/s ausgegangen wird.

4.1 Berechnungsgrundlagen

Für die Risikoberechnungen wurden die im Anhang A genannten Grundlagen und Methoden verwendet. Neben den im Jahr 2004 zwischen unterschiedlichen Gutachtern harmonisierten Annahmen (Kapitel 4.1.1) werden weitergehende Annahmen für die Wirkung risikomindernder Maßnahmen von Kollisionen zwischen Schiffen und Windenergieanlagen entsprechend der im Jahr 2008 in einer BMVBS-Arbeitsgruppe abgestimmten Wirkung berücksichtigt /4/. Diese werden im Kapitel 4.2 näher beschrieben.

Für die Berechnung der Kollisionen von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen von Windparks wurde in der Berechnungssoftware ein realitätsnahes Driftmodell verwendet, das die Strömung in der Ostsee in Abhängigkeit des Windes berücksichtigt. Zusätzlich wird die Bergung durch Notschleppkapazitäten innerhalb der Windparkfläche lediglich bis zu einer Windstärke von 4 Bft berücksichtigt, da eine erfolgreiche Bergung innerhalb der Windparkfläche bei höheren Windgeschwindigkeiten für unwahrscheinlich angesehen wird. In diesem Fall ist der Notschleppeinsatz erfolglos und es kann weiterhin zu Kollisionen zwischen dem driftenden Fahrzeug und Einrichtungen des Windparks kommen.

4.1.1 Harmonisierte Annahmen

Im Auftrag vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBS) wurde vom BSH eine Harmonisierung von Annahmen für die Erstellung von Kollisionsrisikoanalysen zwischen den unterschiedlichen Gutachtern des Germanischen Lloyd, DNV und MARIN Ende 2004 vorgenommen. Im Einzelnen wurden gemeinsame Grundannahmen für die Szenarien mit manövrierfähigen und manövrierunfähigen Schiffen vereinbart, die eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der unterschiedlichen Gutachter gewährleisten sollen. Detaillierte Angaben hierzu sind im Bericht zur Harmonisierung /5/ zu finden.

Durch die harmonisierten Annahmen wurden hauptsächlich folgende Parameter vereinheitlicht:

Allgemeine Daten:

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

Szenario mit manövrierfähigen Schiffen

- Ein Causation Factor (Wahrscheinlichkeit $P_{fm,k}$ von nicht erfolgten Maßnahmen zur Kursänderung) von $3,0 \cdot 10^{-4}$ wurde gemeinsam vereinbart (vgl. Anhang A Abs. A.2.1).
- Die effektive Kollisionsbreite wurde mit dem 1,2-fachen der Schiffsbreite zzgl. des Durchmessers des Hindernisses festgelegt.

Szenario mit manövrierunfähigen Schiffen

- Die Ausfallrate der Antriebs- und Ruderanlage wurde mit $2,5 \cdot 10^{-4}$ pro Stunde festgelegt.
- Des Weiteren wurden Anpassungen an den Versagenswahrscheinlichkeiten von einer Notankerung und von Reparaturmaßnahmen vorgenommen.

4.1.2 Aufstellmuster und Anlagenanzahl der betrachteten Planungsflächen

Das in dieser Analyse betrachtete Aufstellmuster des geplanten marine Vorranggebietes für Windenergieanlagen vor Warnemünde ist mit einem Abstand von etwa 800 m zwischen den einzelnen Windenergieanlagen (WEA) berücksichtigt worden. Dieser Abstand entspricht in etwa den momentan üblichen Distanzen bei aktuellen Planungen. Die Tendenz, in Zukunft größere und leistungsfähigere Windturbinen zu installieren, würde zu einer Verringerung der Anlagenanzahl und einer Vergrößerung der Abstände auf einer gegebenen Fläche führen. Hiermit ginge tendenziell eine Verringerung der Kollisionshäufigkeiten zwischen Schiffen und Windturbinen einher. Als Außendurchmesser der in dieser Studie betrachteten Windenergieanlagen-Fundamente wurden 25,0 m angesetzt, was einem relativ großen Durchmesser entspricht, z. B. eines Jacket-Fundamentes, und damit eine konservative Berücksichtigung darstellt.

Für sämtliche Anlagen wird aufgrund der Forderungen des BSH eine kollisionsfreundliche Konstruktion der Fundamente angenommen. Unter einer kollisionsfreundlichen Konstruktion ist dabei eine Ausführung des Fundamentes gemeint, die bei Kollisionsgeschwindigkeiten von Schiffen bis zu 2 m/s schiffskörpererhaltene Eigenschaften aufweist, d. h. dass ein Aufreißen der inneren Schiffshülle bei diesen Kollisionsgeschwindigkeit nicht auftritt. Eine Sicherheitszone von 500 m um die betrachteten Gebiete wurde in den Berechnungen berücksichtigt. Kabelkorridore innerhalb der Flächen wurden vereinfachend bei der Verteilung der Windenergieanlagen nicht berücksichtigt. Für die untersuchten drei



Gebiete ergeben sich mit den oben genannten Parametern 34 WEAs für das mVRG Warnemünde, die in dieser Studie Berücksichtigung finden.

4.2 Risikomindernde Maßnahmen

Als risikomindernde Maßnahmen werden die Installation von AIS-Geräten an den Installationen der Windparks, eine Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und die Wirksamkeit von Schleppern betrachtet. Die Ausrüstung des Windparks mit AIS-Geräten und das Notschleppkonzept Deutsche Küste mit Notschleppkapazitäten auf Bereitschaftspositionen in Rostock, Stralsund und Saßnitz sind als vorhandene Maßnahmen anzusehen /6/. Als zusätzliche Maßnahme kann eine Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung vorgesehen werden, durch die auf Kollisionskurs fahrende Schiffe erkannt, identifiziert und gewarnt werden können und gegebenenfalls Unterstützung gegeben oder veranlasst werden kann.

4.2.1 Automatic Identification System (AIS)

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

Solange keine Erkenntnisse durch empirische Daten oder detaillierte analytische Modelle vorliegen, wird ein konservativer Wert als Faktor der Wirksamkeit von 1,25 angenommen /1/. Ermittelte Kollisionshäufigkeiten von manövrierfähigen Schiffen mit Offshore-Anlagen verringern sich somit um 25 %.

Tabelle 7: Risikoreduzierungen aufgrund der Wirkung von AIS Geräten am Windpark

Szenario	angesetzte Wirkung
Kollision manövrierfähiger Schiffe mit Installationen der Windparks	Faktor
ohne AIS	1,00
mit AIS	1,25

4.2.2 Verkehrsüberwachung und Seeraumbeobachtung

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

4.2.2.1 Wirkung auf manövrierunfähige Schiffe

Durch eine Verkehrsüberwachung können in Richtung Windpark driftende manövrierunfähige Schiffe erkannt, identifiziert und gezielt angesprochen, sowie gegebenenfalls Rettungsmaßnahmen eingeleitet werden. Ein solcher Vorgang wird durch die technischen Mittel AIS und Radar unterstützt. Dabei hat der Aufwand bei der Realisierung dieser Mittel einen entscheidenden Einfluss auf die Wirksamkeit. Weiterhin sind der Schulungsgrad des nautischen Personals und die personelle Ausstattung für die Verkehrsüberwachung von zentraler Wichtigkeit.

Durch eine AIS-Überwachung können mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit Schiffe erkannt werden, die durch einen Ausfall der Maschinenanlage oder andere Ereignisse manövrierunfähig werden. Dabei werden Schiffe erfasst, die mit einem AIS-Gerät ausgerüstet sind und AIS-Daten senden. Aufgrund der Ausrüstungspflicht seit Anfang 2005 ist die Mehrzahl der im Seegebiet des OWP fahrenden Schiffe mit AIS-Geräten ausgerüstet. In dem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben SAFESHIP /7/ wurde pessimistisch eine Ausrüstung und die Sendung der AIS-Daten bei 90 % aller Schiffe angenommen. Inzwischen ist mit einem deutlich über diesem Wert liegenden Anteil zu rechnen.

Sofern das manövrierunfähige Schiff sein Driften nicht selbst meldet, kann über verschiedene AIS- und Radar-Auswertemethoden eine Identifikation erfolgen und die Schiffsführung angesprochen werden. Dabei bietet AIS gegenüber Radar den Vorteil, dass neben GPS gestützten Positions-, Lage- und Geschwindigkeitsdaten auch schiffsspezifische Daten und Statusmeldungen übertragen werden. Aufgrund der inzwischen verbindlichen Nutzung von AIS von Handelsschiffen, wird eine Erkennung von manövrierunfähigen Schiffen in 98% aller Fälle in dem betrachteten Seegebiet der südlichen Ostsee angenommen.

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

Kommunikative Unterstützung durch nautisch geschultes Personal kann zu einer Verminderung des Kollisionsrisikos führen. Dabei ist die Bereitstellung von Hinweisen zum gezielten Einsetzen von eventuell noch vorhandenen Bordmitteln, wie beispielsweise Bugstrahlruder, Ruderstellung oder Anker zur Beeinflussung der Drift zu nennen; hinzu kommt der psychologische Effekt der Beratung, der zu einer positiven Veränderung der Lage des Havaristen beitragen kann. Da dieser Effekt schwer zu quantifizieren ist, wird hier zunächst pessimistisch von einem Faktor 1,1 ausgegangen. Das heißt, in etwa 10 % aller identifizierten Fälle kann eine Kollision zwischen manövrierunfähigen Schiffen und Windenergieanlagen durch kommunikative Mittel verhindert werden.

Tabelle 8: Risikoreduzierungen aufgrund der Wirkung einer Verkehrsüberwachung/ Seeraumbeobachtung und anschließender kommunikativen nautischen Unterstützung auf manövrierunfähige Schiffe

Kollision manövrierunfähiger Schiffe mit Installationen des Windparks	Wirkungsfaktor
ohne kommunikative Unterstützung durch nautisch geschultes Personal	1,0
mit kommunikativer Unterstützung durch nautisch geschultes Personal	1,1

4.2.2.2 Wirkung auf manövrierfähige Schiffe

Für die Betrachtung und Quantifizierung der Maßnahmen der Verkehrsüberwachung/ Seeraumbeobachtung auf manövrierfähige Schiffe wird im Folgenden eine Variante mit vollständiger Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung für den betrachteten Untersuchungsraum berücksichtigt. Im Rahmen der Harmonisierung der Annahmen unterschiedlicher Gutachter wurde ein Faktor von 4,0 für die Berücksichtigung der Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung auf die statistisch zu erwartenden Kollisionshäufigkeiten vereinbart /5/.

Die Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung stellte ursprünglich bei der Entwicklung der ansetzbaren Wirksamkeiten zur Risikominderung eine kombinierte und ununterbrochene manuelle Überwachung des Seeraums mittels RADAR und AIS dar. Inzwischen ist die Verfügbarkeit auf Schiffen, sowie die Ausstattung der Windparkflächen zwecks ihrer Kennzeichnung und Überwachungen mit AIS derart fortgeschritten, dass die Wirksamkeit von Faktor 4,0 ebenfalls auf Seegebiete angewandt werden kann, in denen keine lückenlose RADAR-, sondern AIS-Überwachungen zu tragen kommen.

Tabelle 9: Risikoreduzierungen aufgrund der Wirkung einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung auf manövrierfähige Schiffe

Kollision manövrierfähiger Schiffe mit Installationen des Windparks	Wirkungsfaktor
ohne Überwachung/Beobachtung und Warnmeldungen	1,0
mit Überwachung/Beobachtung	4,0

4.2.3 Berücksichtigte Notfallschleppkapazitäten

Notschlepper werden zum Bergen von manövrierunfähigen Havaristen eingesetzt. Ihr risikomindernder Einfluss kommt daher nur beim Szenario der Kollision von manövrierunfähigen Schiffen mit Installationen von Windparks zur Wirkung. Die Möglichkeit der Bergung eines Havaristen durch einen oder mehrere Schlepper setzt neben der Erkennung und Identifikation des Schiffes die Einsatzbereitschaft der Schlepper voraus. Dafür werden ebenfalls Annahmen getroffen.

Die Schlepper sind in der Regel innerhalb von 0,5 h einsatzklar (siehe Kapitel A.3.1). Bei den in dieser Analyse berücksichtigten Schleppern „Baltic“ und „Fairplay“ kann von einer hohen Wahrscheinlichkeit der Bereitschaft von etwa 96 % ausgegangen werden, da sie ausschließlich für Schleppmanöver und vorwiegend für das Verkehrssicherungskonzept „Deutsche Küste“, vorgehalten werden. Für den Fall des technischen Ausfalls, des Besatzungswechsels und Bunkerns von Treibstoff werden die Schlepper adäquat durch andere Schiffe ersetzt. Die Anfahrzeiten zu den Einsatzorten hängen stark von den Positionen der manövrierunfähig gewordenen Schiffe und der Geschwindigkeit des Schleppers ab. Die Bereitschaftsposition der in dieser Analyse berücksichtigten Schlepper kann man der unten dargestellten Karte entnehmen. Für diese Schlepper ergeben sich folgende Leistungsdaten:

Tabelle 10: Daten für die angesetzten Schlepper

Name:	Bereitschaftsposition:	Geschwindigkeit:	Pfahlzug:
Baltic	Warnemünde	17 kn	127 t
Fairplay 25	Saßnitz	12 kn	65 t

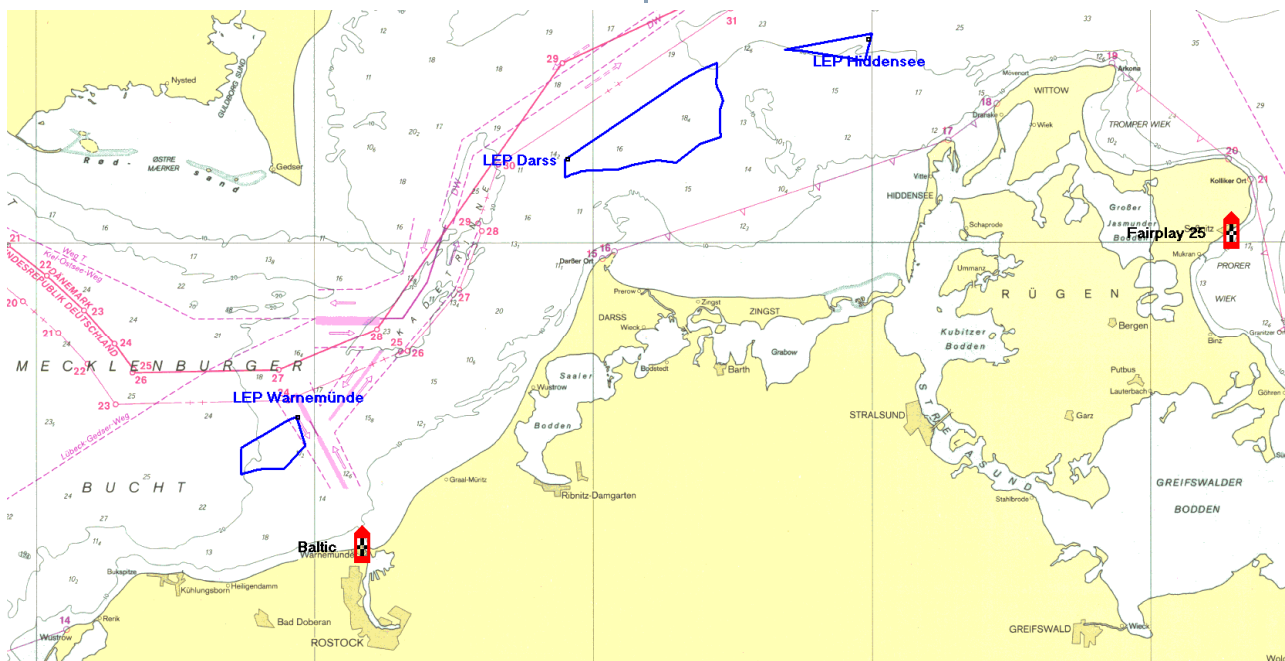


Abbildung 15: Bereitschaftspositionen der berücksichtigten Notschlepper

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

Bei Annahme einer Wahrscheinlichkeit für die Identifikation eines manövrierunfähigen Schiffes von 98 % mittels AIS und einer Schlepperbereitschaft von 96 % ergibt sich somit eine Gesamtwahrscheinlichkeit für die Initiierung eines Bergungsversuches von:

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

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

4.3 Kollisionsrisiko des mVRG Warnemünde aktueller Verkehr 2019

Die Ergebnisse der Einzelbetrachtung des mVRG Warnemünde mit und ohne Berücksichtigung der Wirkung risikomindernder Maßnahmen sind entsprechend der im Anhang aufgezeigten Berechnungsmethoden berechnet und in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die Berücksichtigung des zugrundeliegenden Verkehrs entsprechen der Darstellung aus 3.3.5. Die Kollisionshäufigkeit für die Aufstellung von manövrierfähigen und manövrierunfähigen Schiffen ergibt unter Berücksichtigung von AIS, einer Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung (s. Kapitel 4.2.2) und der Notschleppkapazitäten (s. Kapitel 4.2.3), eine Wiederholffrequenz von 712 Jahren.

Tabelle 11: Analyseergebnisse des mVRG Warnemünde ohne und unter Berücksichtigung der risikomindernden Maßnahmen

Szenario mVRG Warnemünde	Kollisionshäufigkeit			
	Einzelergebnisse		Gesamtergebnisse	
	für manövrierfähige Schiffe [1/Jahr]	für manövrierunfähige Schiffe [1/Jahr]	für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe [1/Jahr]	stat. zu erwartende Zeit zwischen zwei Kollisionen [Jahre]
ohne risikomindernde Maßnahmen (Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung, AIS, Schleppkapazitäten)	0.00424	0.00213	0.00637	157
mit AIS, ohne Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und ohne Schleppkapazitäten	0.00339	0.00213	0.00552	181
mit AIS, mit Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und ohne Schleppkapazitäten	0.00085	0.00194	0.00278	359
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und Schleppkapazitäten	0.00085	0.00056	0.00140	712

In Tabelle 12 sind die durchschnittlich austretenden Schadstoffmengen ohne und mit Berücksichtigung risikomindernder Maßnahmen für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe angegeben.

Tabelle 12: Risikowerte des mVRG Warnemünde ohne und mit Berücksichtigung der risikomindernden Maßnahmen

Szenario	Austretende Schadstoffmengen [t/Jahr]
ohne risikomindernde Maßnahmen	0,17
mit AIS, ohne Verkehrsüberwachung/ Seeraumbeobachtung und ohne Schleppkapazitäten	0,14
mit AIS, mit Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und ohne Schleppkapazitäten	0,05
mit AIS, mit Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und mit Schleppkapazitäten	0,04

4.4 Kollisionsrisiko des mVRG Warnemünde Prognosehorizont 2030

Die Ergebnisse der Einzelbetrachtung des mVRG Warnemünde mit und ohne Berücksichtigung der Wirkung risikomindernder Maßnahmen sind entsprechend der Berechnungsmethoden aus Kapitel 4.3 berechnet und in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die Berücksichtigung des zugrundeliegenden Verkehrs entsprechen der Darstellung aus 3.3.7.

Tabelle 13: Prognosehorizont 2030, Analyseergebnisse des mVRG Warnemünde ohne und unter Berücksichtigung der risikomindernden Maßnahmen

Szenario mVRG Warnemünde	Kollisionshäufigkeit			
	Einzelergebnisse		Gesamtergebnisse	
	für manövrierfähige Schiffe [1/Jahr]	für manövrierunfähige Schiffe [1/Jahr]	für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe [1/Jahr]	stat. zu erwartende Zeit zwischen zwei Kollisionen [Jahre]
ohne risikomindernde Maßnahmen (Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung, AIS, Schleppkapazitäten)	0.00608	0.00268	0.00876	114
mit AIS, ohne Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und ohne Schleppkapazitäten	0.00486	0.00268	0.00754	133
mit AIS, mit Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und ohne Schleppkapazitäten	0.00122	0.00244	0.00365	274
mit AIS, Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und Schleppkapazitäten	0.00122	0.00068	0.00189	528

In Tabelle 12 sind die durchschnittlich austretenden Schadstoffmengen ohne und mit Berücksichtigung risikomindernder Maßnahmen für manövrierfähige und manövrierunfähige Schiffe angegeben.

Tabelle 14: Prognosehorizont 2030 Risikowerte des mVRG Warnemünde ohne und mit Berücksichtigung der risikomindernden Maßnahmen

Szenario	Austretende Schadstoffmengen [t/Jahr]
ohne risikomindernde Maßnahmen	0,28
mit AIS, ohne Verkehrsüberwachung/ Seeraumbeobachtung und ohne Schleppkapazitäten	0,23
mit AIS, mit Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und ohne Schleppkapazitäten	0,07
mit AIS, mit Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung und mit Schleppkapazitäten	0,06

5 EINSTUFUNG DES RISIKOS

Die International Maritime Organization (IMO) stellt zur Erstellung von Sicherheitsanalysen und Risiko-Einstufungen (FSA Formal Safety Assessment) ein grundlegendes Regelwerk zur Verfügung (IMO 2013 MSC-MEPC.2/Circ.12) /9/. Hierin werden die Kollisionseintrittswahrscheinlichkeiten und Kollisionskonsequenzen miteinander verknüpft, um anhand des daraus resultierenden Risikoindex (oder Risikoprioritätszahl) eine Einstufung vornehmen zu können.

Eine aus dieser IMO-Vorgabe abgeleitete Risikoabschätzung stellt die Einstufung der Risiken für Offshore-Windenergieanlagen nach dem BSH-Standard „Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen“ /8/ dar. In diesem Kapitel wird die Einstufung des Risikos für Umwelt, Kollisionskonsequenzen Schiff-WEA und Personensicherheit anhand der Risikomatrix des Anhang 1 des oben genannten BSH-Standards berechnet und vorgenommen (s. auch Abbildung 16). Das Risiko errechnet sich aus der Verknüpfung der Kollisionshäufigkeiten mit den Mengen der statistisch zu erwartenden auslaufenden Ölmengen.

Katastrophal	4	5	6	7
Schwerwiegend	3	4	5	6
Beträchtlich	2	3	4	5
Unbedeutend	1	2	3	4
Konsequenz Eintrittshäufigkeit	äußerst selten	selten	gelegentlich	häufig

Abbildung 16: Risikomatrix mit Risikoprioritätszahlen, nach /8/

Die Häufigkeitsklassen sind ebenfalls in /8/ definiert.

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

Abbildung 17: Eintrittshäufigkeit: Anzahl der Fälle pro Jahr, nach /8/

Die Einstufung des Risikos wird in den folgenden Kapiteln 5.1, 5.2 und 5.3 für die Betrachtung des Gebietes mVRG Warnemünde für die Ergebnisse auf Basis der aktuellen Verkehrszahlen, wie auch unter Berücksichtigung der prognostizierten Verkehrszahlen durchgeführt.

5.1 Umweltauswirkungen

Das Ergebnis der Kollisionshäufigkeit aus 4.3 bzw. beträgt 712 Jahre bzw. 528 Jahre zwischen zwei Kollisionen für alle in der Simulation berechneten Kollisionen. Bei Kollisionen mit driftenden Schiffen ist entsprechend der Annahme eines geforderten kollisionsfreundlichen Fundamentes, das bis zu einer Anprallgeschwindigkeit von 2 m/s schiffskörpererhaltende Eigenschaften aufweisen muss, kein Aufreißen

der Schiffshülle bis zu dieser Driftgeschwindigkeit zu erwarten /8/. Höhere Driftgeschwindigkeiten treten äußerst selten auf. Nur bei äußerst ungünstigen Verhältnissen muss eventuell mit höheren Driftgeschwindigkeiten und somit mit der Möglichkeit des Aufreißens der Schiffshülle gerechnet werden. Hinzu kommen Kollisionen manövrierfähiger Schiffe mit wesentlich höheren möglichen Geschwindigkeiten als 2 m/s, bei denen ebenfalls in ungünstigen Konstellationen mit einem Aufreißen der Schiffshülle im Tankbereich gerechnet werden muss. Insgesamt kann die Einstufung der Häufigkeit eines Ölaustritts aus einem Schiff bei Berücksichtigung der in der Risikoanalyse angegebenen risikomindernden Maßnahmen in die Häufigkeitsklasse „äußerst selten“ ($2 \cdot 10^{-3} \geq H$) vorgenommen werden. Die beschriebenen Szenarien mit einem Ölaustritt aus dem Schiff können in die Konsequenzklassen „beträchtlich“ bis „schwerwiegend“ und somit in der Risikomatrix mit einer akzeptablen Risikoprioritätszahl (RPZ) von 2 bis 3 für die prognostizierte Betrachtung des Gebietes mVRG Warnemünde für 2030 eingestuft werden.

Ein ähnliches Bild (RPZ = 2 bis 3) liefert die Auswertung der F-N-Diagramme (Frequency and Fatality Number). Die F-N-Diagramme stellen den Zusammenhang zwischen Schadstoffaustrittsmengen (Fatality) und Häufigkeiten (Frequency) her und liefern somit die notwendigen Informationen für eine Einstufung des Risikos in die Risikoprioritätszahlen (RPZ). In Abbildung 17 ist das F-N-Diagramm mit der zugehörigen RPZ dargestellt (logarithmische Darstellung). Die im F-N-Diagramm hinterlegten Felder bilden die Bereiche, entsprechend der zuordenbaren Risikoprioritätszahlen nach Anlage 1 des BSH-Standards, ab. Die grünlich hinterlegten Felder entsprechen einer RPZ von 1 - 3 und Werte innerhalb dieser Felder gelten als akzeptabel. Die rötlichen Felder decken nicht mehr akzeptable Bereiche (RPZ 4 - 7) ab. Als risikomindernde Maßnahmen sind in dem Diagramm die Ausrüstung mit AIS-Geräten an den Windparkinstallationen, eine Verkehrsüberwachung/Seeraumbeobachtung sowie die zwei Notschlepper auf den Bereitschaftspositionen berücksichtigt. Für die Abgrenzung der einzelnen Konsequenzklassen der Anlage 1 des BSH-Standards wurden folgende Einstufungen anhand der austretenden Schadstoffe vorgenommen.

Tabelle 15: Definition der Schadstoffmengen der Konsequenzklassen

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

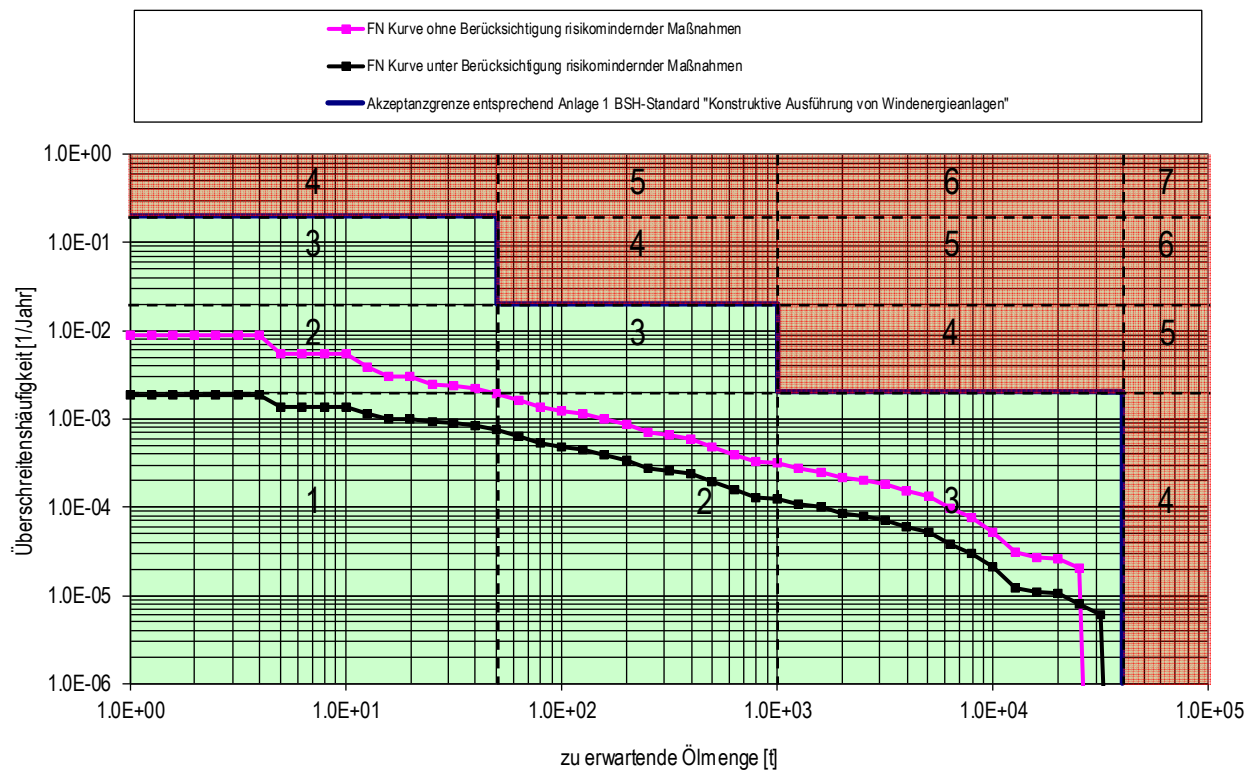


Abbildung 18: Basis Verkehrsprognosehorizont 2030, Einstufung des Risikos anhand des F-N-Diagramms für die Betrachtung mVRG Warnemünde, grüne Felder: akzeptabler Bereich, rötliche Felder: inakzeptabler Bereich.

Eine Auswertung der im F-N-Diagramm dargestellten Kurven liefert für die Betrachtung des mVRG Warnemünde folgende Kollisionshäufigkeiten für den Prognosehorizont 2030, bei denen die Grenzwerte der definierten Konsequenzklassen überschritten werden (Tabelle 16).

Tabelle 16: Einstufungen der Konsequenzen anhand der austretenden Schadstoffe für die Betrachtung mVRG Warnemünde, Prognosehorizont 2030

Konsequenz- klasse Umwelt	Ölmenge [t]	Überschreitenshäufigkeit [1/Jahr] (Wiederholperiode in Jahren)	
		ohne Berücksichtigung risikomindernde Maßnahmen	mit Berücksichtigung risikomindernder Maßnahmen
unbedeutend	≥ 1 t	0,0088 (114 Jahre)	0,0019 (528 Jahre)
beträchtlich	≥ 50 t	0,0019 (525 Jahre)	0,0007 (1338 Jahre)
schwerwiegend	≥ 1000 t	0,0003 (3160 Jahre)	0,00001 (8024 Jahre)

5.2 Kollisionskonsequenzen Schiff-Windenergieanlage

Die berechneten Kollisionshäufigkeiten für die Kollision eines Schiffes mit Installationen eines betrachteten Gebiets beziehen sich auf alle möglichen Kollisionenfälle, auch unterhalb einer Kollisionsgeschwindigkeit von 2 m/s. Die Ergebnisse unter Berücksichtigung der risikomindernden Maßnahmen sind in die Kategorie „selten“ ($10^{-2} \geq H > 10^{-3}$) einzustufen. Bei einer Kollision eines Seeschiffes mit einer Windenergieanlage (WEA) wird diese wahrscheinlich beschädigt oder zerstört, so dass diese nicht weiter betrieben werden kann. Eine derartige Beschädigung kann bereits bei Kollisionen mit Driftgeschwindigkeiten kleiner 2 m/s auftreten. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass eine Zerstörung der WEA nicht in allen berechneten Kollisionenfällen eintritt und somit für die Zerstörung eine Häufigkeit der Kategorie „äußerst selten“ gilt. Die zu erwartenden Konsequenzen sind in die Konsequenzklassen „beträchtlich“ bis „schwerwiegend“ einzustufen (Offshore-WEA defekt/zerstört, s. Anhang 1 in /8/). Somit kann eine akzeptable RPZ für die Risiken im Bereich der einzelnen Gebiete entsprechend des BSH Standards „Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen“ mit 3 bis 4 berechnet werden.



5.3 Personensicherheit

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

6 LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Ostsee-Handbuch Südwestlicher Teil, Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie, Nov. 2013
- /2/ Ostsee-Handbuch, Naturverhältnisse Ostsee Teil B, Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie, Nr. 20032
- /3/ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie: Nr. 20032 „Naturverhältnisse in der Ostsee“; Hamburg, 1996
- /4/ Germanischer Lloyd: Offshore Windparks – Wirksamkeit kollisionsverhindernder Maßnahmen – Abschlußbericht, Bericht Nr. NB-ER 2008.178, Version 1.8, Abteilung Risk Assessment and Mechanical Engineering/NB-ER, 2008-11-24
- /5/ MARIN, DNV und Germanischer Lloyd: Harmonisierung der Grundannahmen für Kollisionsrisikoanalysen zwischen MARIN, DNV und GL; Hamburg, Dezember 2004
- /6/ BMVBW: Genehmigungrelevante Richtwerte für Offshore-Windparks - Bericht einer Arbeitsgruppe; Referat LS 23, Bonn, März 2005
- /7/ SAFESHIP – Reduction of Ship Collision Risks for Offshore Wind Farms, Report, Germanischer Lloyd AG, MARIN, Technical University of Denmark, January 2005
- /8/ Standard „Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen“, BSH, 2007
- /9/ MSC-MEPC.2/Circ.12; Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process, International Maritime Organization, London, July 2013.
- /10/ PLANCO Consulting GmbH: „Nutzen-Kosten-Analyse einer Anpassung der seeseitigen Zufahrt zum Seehafen Rostock“, Essen, März 2009
- /11/ Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik / ISL: „Prognose des Umschlagpotenzials des Hafen Rostock“, Bremen, Dezember 2014
- /12/ Hamburg Port Consulting GmbH / HPC: „STUDIE ZUR LEISTUNGSFÄHIGKEIT DES SEEKANALS ROSTOCK“, 02.03.2018
- /13/ MWP GmbH, IHS, Uniconsult, Fraunhofer CML. Seeverkehrsprognose 2030 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Forschungsbericht FE-Nr. 96.980-2011. Hamburg & Frankfurt am Main; 9. Mai 2014



ANHANG A

METHODEN DER

RISIKOBERECHNUNG

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

A.1 Risikoberechnungen für den Windpark

Verfahren zur Berechnung von Risiken können in statistische¹ und analytische² Verfahren eingeteilt werden. Statistische Verfahren basieren auf der Erfassung ("Zählung") von Sachverhalten. Bezogen auf Kollisionsereignisse sind das z. B. die Zahl von Schiff-Schiff Kollisionen in einem bestimmten Seegebiet. Sofern sich die Randbedingungen der Statistik nicht ändern, können aus den statistisch ermittelten Werten Prognosen abgeleitet werden. Bei analytischen Verfahren wird versucht, die Einflussgrößen des Sachverhaltes (z. B. Windeinfluss, Zusammensetzung des Schiffsverkehrs) und das Zusammenspiel der Einflussfaktoren zu ermitteln. Bei der Beschreibung der Einflussgrößen werden dann wiederum statistische Methoden verwendet. Diese Einflussgrößen und ihr Zusammenspiel waren Gegenstand der Arbeitsgruppe genehmigungsrelevante Richtwerte für Offshore-Windparks /6/.

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

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).



Windparks sind bisher nicht bekannt geworden. Eine Auswertung von Kollisionsereignissen aus statistischen Unfallzahlen für genau dieses Szenario ist daher nicht möglich.

Übertragung statistischer Ergebnisse

Die Übertragung statistischer Werte von einem System auf ein anderes System ist nur begrenzt möglich. Mit Bezug auf Kollisionen von Schiffen mit Installationen eines Windparks bedeutet das, dass bei statistisch ermittelten Kollisionshäufigkeiten eine Übertragung von einem Windpark zu einem anderen Windpark nur zulässig ist, sofern die Randbedingungen (nautische Gegebenheiten, Umwelteinflüsse, etc.) bei beiden Windparks die gleichen sind. In der Regel unterscheiden sich diese.

Entwicklung des Systems

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

Vorteile analytischer Verfahren

Unabhängigkeit von historischen Kollisionsereignissen

Ein Vorteil analytischer Verfahren ist, dass sie auch zur Prognose seltener Ereignisse geeignet sind, weil für sie keine historischen Daten des Ereignisses selbst notwendig sind. Bei analytischen Verfahren werden die elementaren Bestandteile und deren Zusammenspiel betrachtet. Mit Bezug auf Kollisionsszenarien bedeutet das, dass einzelne Einflussgrößen (z. B. auftretende Windrichtungen) separat untersucht werden können und nicht nur im Zusammenhang mit Kollisionen von Schiffen zu betrachten sind. Das Erfassen der elementaren Bestandteile wiederum kann auf statistischem Wege erfolgen.

Berücksichtigung der Entwicklung des Systems

Durch die Kenntnis des Zusammenwirkens der einzelnen Einflussfaktoren können auch neue Einflussgrößen in das System eingearbeitet werden. Das bedeutet, dass neue Entwicklungen (z. B. die Wirkung von AIS) in der Schiffstechnik bei der Prognose von Kollisionsereignissen berücksichtigt werden können.

Nachteile analytischer Verfahren

Komplexes mathematisches Modell

Je mehr Einflussfaktoren vorhanden sind und je komplexer deren Zusammenspiel ist, umso schwieriger ist es, ein mathematisches Modell für deren Beschreibung zu finden. Um die



Komplexität des mathematischen Modells in Grenzen zu halten, werden wesentliche und unwesentliche Einflüsse voneinander getrennt. Die Vernachlässigung von unbedeutenden Einflüssen führt zu Ungenauigkeiten in den Ergebnissen.

Prüfung des analytischen Verfahrens

Um die Qualität des analytischen Verfahrens zu überprüfen, ist eine Überprüfung des Verfahrens notwendig. Sofern vorhanden, werden dafür statistische Daten historischer Ereignisse herangezogen. Exemplarisch wird dann ein Vergleich der Ergebnisse des analytischen Verfahrens mit den statistisch ermittelten Werten vorgenommen.

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

A.2.1 Berechnung der Kollisionshäufigkeiten

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

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

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

Für beide Bedingungen muss die Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmt werden.

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

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

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

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

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

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

Für die Berechnung dieser Wahrscheinlichkeit wird modellhaft davon ausgegangen, dass Schiffe auf idealisierten Routen fahren, die typischerweise aus dem kürzesten Weg zwischen Abfahrts- und Zielhafen bestehen. Aufgrund nautischer Restriktionen wie Tiefgang, markierten Wasserwegen, Zwangswegen etc. muss der Kurs im Allgemeinen an so genannten Wegpunkten geändert werden. Eine Route besteht somit

aus mindestens einem Routenabschnitt. Ein Routenabschnitt wird durch Abfahrts-, Zielhafen oder durch Wegpunkte begrenzt (siehe Abbildung A-1).

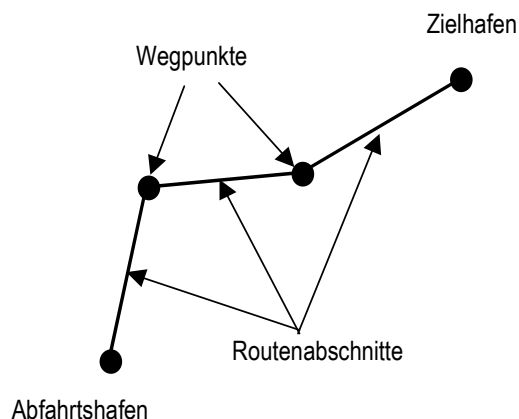


Abbildung A-1: Zusammenhang von Schiffsroute, Routenabschnitt und Wegpunkten

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

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

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

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

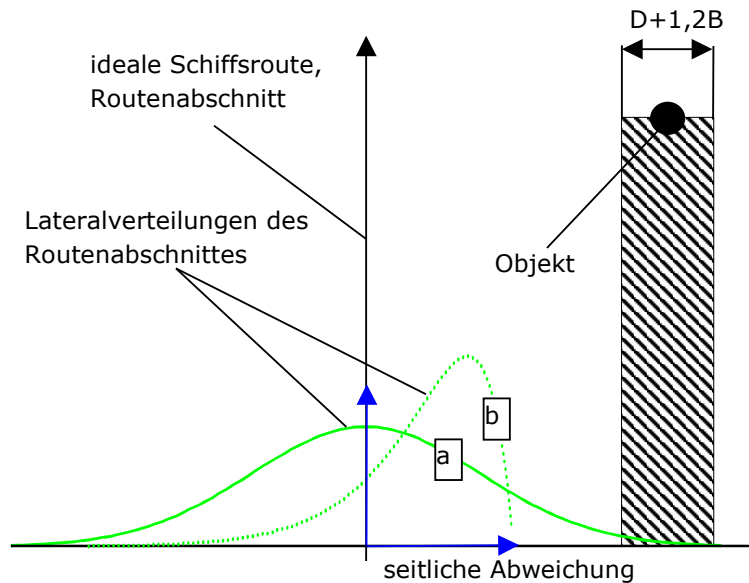


Abbildung A-2: Lateralverteilungen für den Schiffsverkehr

Die Wahrscheinlichkeit $P_{fK,k}$, dass sich ein Schiff auf Kollisionskurs mit einer Windenergieanlage befindet, ergibt sich aus der Fläche unter der jeweiligen Lateralverteilung $h_i = f(x)$ des Routenabschnittes k , die von der Schattenfläche der WEA 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 von driftenden Schiffen durch eine laterale Verteilung der Schiffe werden auch Kollisionen von manövrierfähigen Schiffen durch einen Verpassen des Wegpunktes entsprechend den Angaben in /A-4/ berücksichtigt.

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

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

Statistische Daten von Schiffsunfällen mit Offshore-Windparks liegen z. Z. nicht vor. Somit kann derzeit die Wahrscheinlichkeit $P_{fM,k}$ nicht aus statistischen Daten abgeleitet werden. Eine Orientierung der

Größenordnung dieser Wahrscheinlichkeit liefern jedoch Unfallszenarien mit Brücken, Schiffsstrandungen oder Schiff-Schiff-Kollisionen aus unterschiedlichen Seegebieten. In Tabelle A-1 sind Minimal- und Maximalwerte für die Wahrscheinlichkeit $P_{fM,k}$ aus unterschiedlichen Unfallszenarien der Schifffahrt gemäß /A-4/ dargestellt.

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

Szenario	Minimaler Wert	Maximaler Wert
Schiff - Schiff Kollisionen (frontale Kollisionen)	4,9E-05	5,18E-04
Schiff - Schiff Kollisionen (seitliche Kollision)	9,5E-05	1,11E-04
Schiffsstrandungen	8,0E-05	6,3E-04
Schiff - Brücke Kollisionen	4,0E-05	5,4E-04

Fujii und Mizuki geben in /A-5/ wird 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

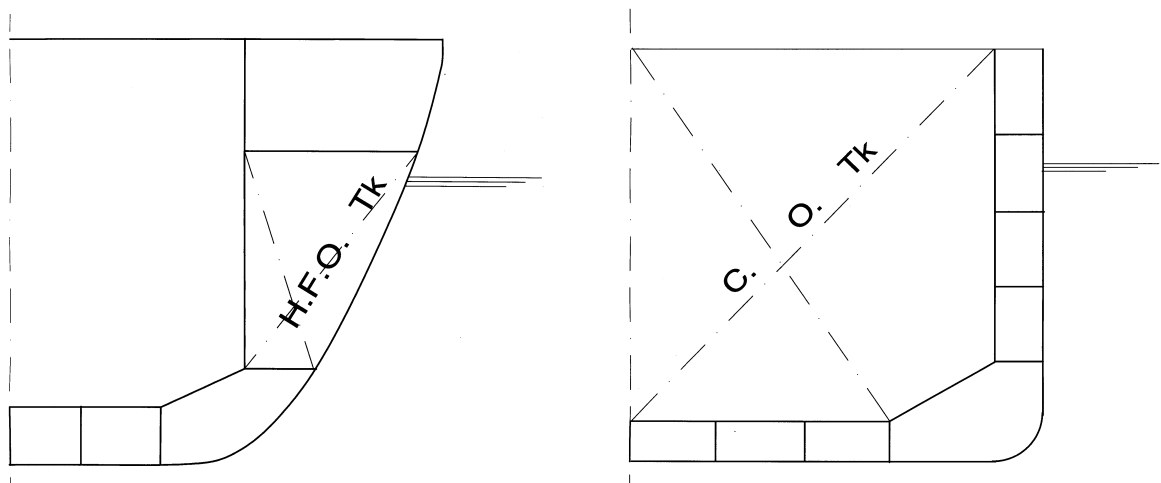
Je nach Ablauf einer Kollision eines Schiffes mit einer Installation eines Windparks sind unterschiedliche Konsequenzen zu erwarten.

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 des Schiffes 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 /A-15/ und im europäischen SAFESHIP-Vorhaben /A-7/ betrachtet.

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



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

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

Abbildung A-3: Typische Schiffsquerschnitte

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Für Öltanker wird ebenfalls der Austritt von Ladeöl im Berechnungsverfahren berücksichtigt. Bedingung für den Austritt von Ladeöl ist, dass die Kollision im Bereich eines Ladeöltanks erfolgt. Dieser Faktor wird $P_{SE,La} = 0,75$ angenommen, was dem Verhältnis der Länge der Ladöltanks zur Schiffslänge 75 % entspricht.

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

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

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

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

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

Schiffstyp k	Obere 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.

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

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

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

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

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

Ein manövrierunfähiges Schiff muss führen:

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

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

Eine häufige Ursache für Manövrierunfähigkeit sind Ausfälle der Antriebs- oder Ruderanlage. Solche Ausfälle bewirken, dass Schiffe aufgrund von Seegangs-, Wind- und Strömungskräften anfangen zu drift. 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 dafür ist vom Havarieort, den Wetter - / Stömungsbedingungen und dem Abstand zum Windpark abhängig.

A.3.1 Berechnung der Kollisionshäufigkeit

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



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

Als Grundannahme für die Manövrierunfähigkeit wird die Ausfallrate des Propulsionssystems (Antriebs- und Rudersystem) verwendet. Entsprechend der Harmonisierung der Grundannahmen für Kollisionsrisikoanalysen /A-6/ wird für diese Ausfallrate ein Wert von $2,5 \cdot 10^{-4}$ pro Stunde angesetzt. Dies entspricht einem durchschnittlichen statistischen Ausfallintervall von 4,000 Stunden.

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

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

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

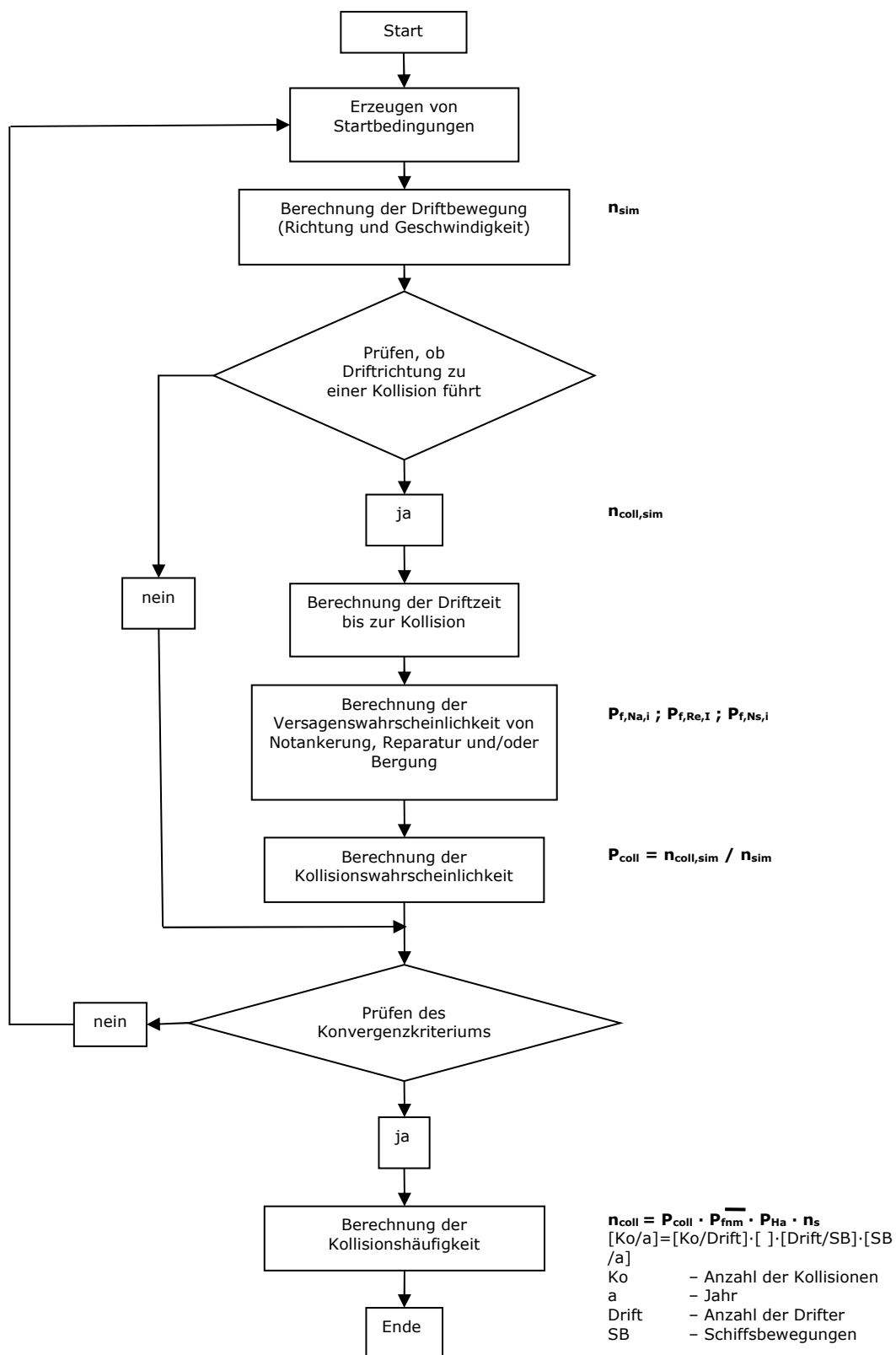


Abbildung A-4: Schematische Darstellung des Ablaufs der Monte-Carlo Simulation

- *Generierung von zufälligen Startbedingungen*

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

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

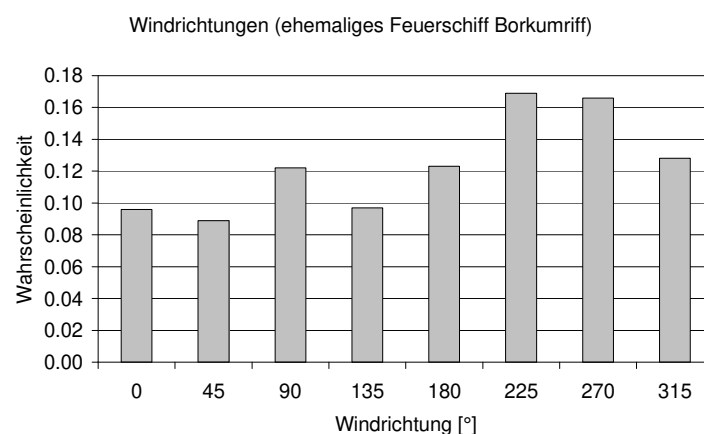


Abbildung A-5: Beispiel einer Zufallsvariable (Windrichtung)

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

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

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

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

Diese Forderung an das Berechnungsverfahren wird umgesetzt, 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 der Verteilungsfunktionen der Zufallsvariablen erfolgt über eine mathematische Transformation.

Die Transformationsvorschrift lautet:

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

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

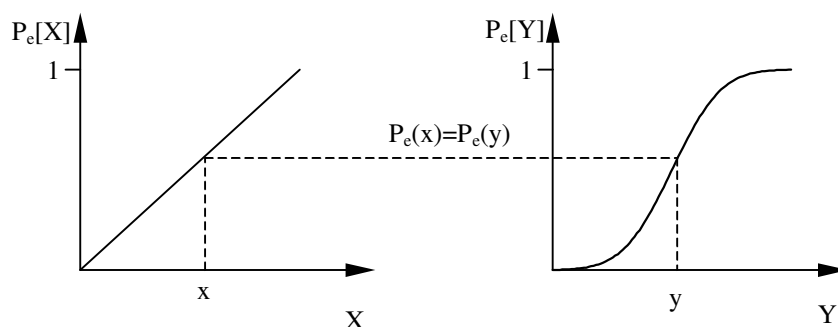


Abbildung A-6: Transformation gleichverteilter Zufallszahlen

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

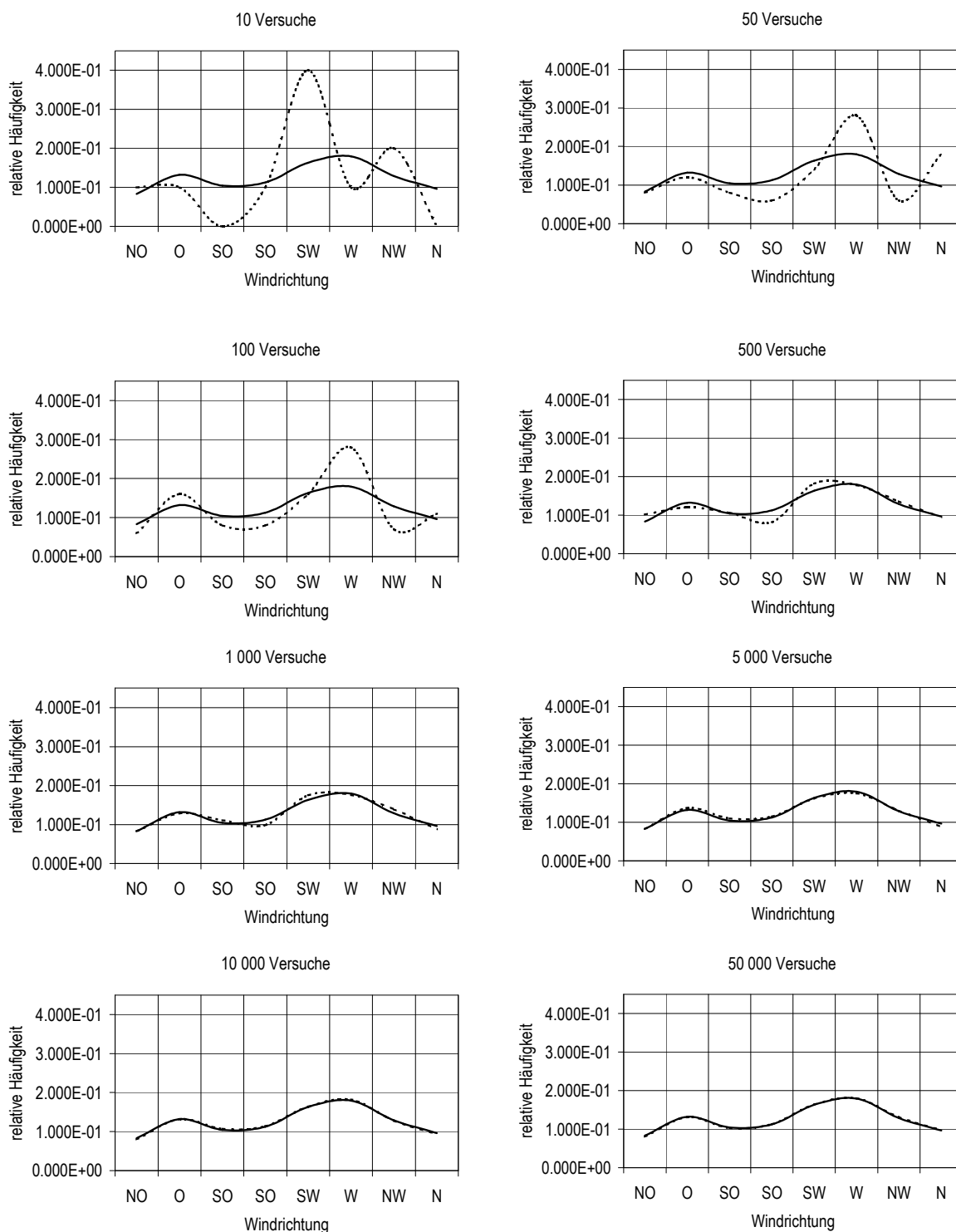


Abbildung A-7: Konvergenz der simulierten Windrichtungen mit steigender Zahl von Versuchen

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

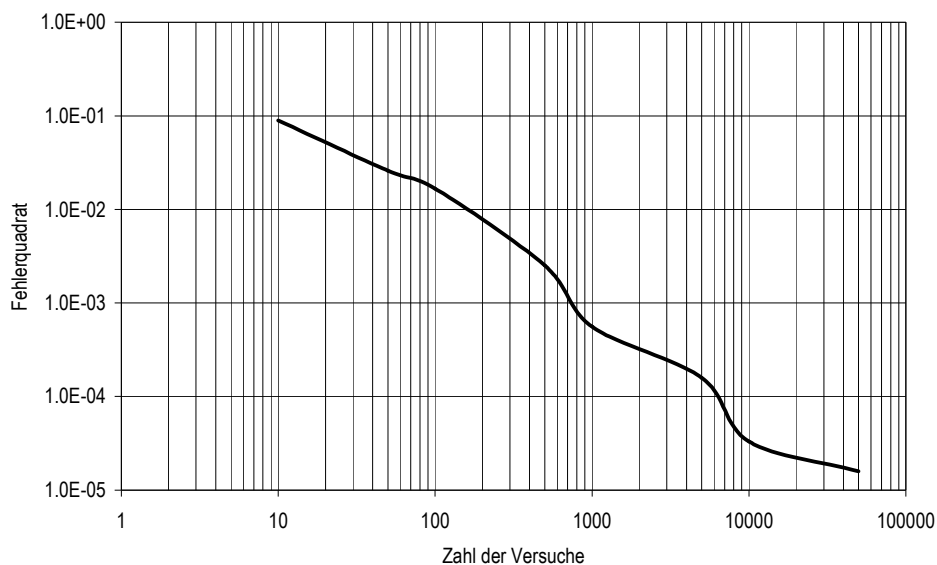


Abbildung A-8: Quantitative Beschreibung des Konvergenzverhaltens der berechneten Startbedingungen

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

- *Berechnung der Driftbewegung*

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

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

- Windkräfte

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

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

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

- Wellendriftkräfte

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

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

In Gleichung (A-10) ist $c_{d,We,90} = 0,5$ - der Beiwert der Wellendriftkraft, $\rho_W = 1024 \text{ kg/m}^3$ - die Dichte von Seewasser, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ - die Erdbeschleunigung, ∇ - die Verdrängung des Havaristen und ξ_a - die signifikante Wellenamplitude ($H_s/2$).

- Strömungskräfte

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

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

In Gleichung (A-11) ist $c_{d,St,90} = 0,6$ - der Beiwert der Strömungskraft, $\vec{v}_S$ - die Geschwindigkeit des Schiffes über Grund, $\vec{v}_{T,Wd}$ - die Geschwindigkeit der Strömung von Gezeiten und Winddrift und $A_{l,St}$ - die Lateralfläche des Unterwasserschiffes. Die Lateralfläche des Unterwasserschiffes ergibt sich aus dem Produkt der Schiffslänge zwischen den Loten und dem Schiffstiefgang.

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

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

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

Vergleichsberechnungen mit realen Driftbewegungen von manövrierfähigen Schiffen haben gezeigt, dass unter Einbeziehung der Windkräfte und der Kräfte aus Wind- und Tidenströmung eine realistische Driftbewegung berechnet werden kann. Somit bleibt die Wellenkraft für die Berechnung der

Driftbewegung unberücksichtigt. Unabhängig davon wird diese Kraftkomponente bei der Ermittlung der erforderlichen Schleppleistung eines Notschleppers berücksichtigt.

- *Prüfen ob Driftrichtung zu einer Kollision führt*

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

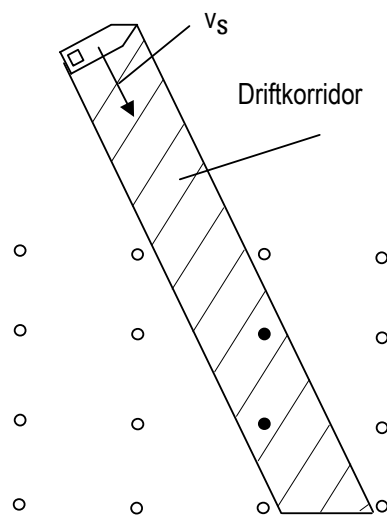


Abbildung A-9: Driftkorridor eines manövrierunfähigen Schiffes (nicht maßstäblich)

- *Berechnung der Driftzeit bis zur Kollision*

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

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

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

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

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

- Notankerung

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

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

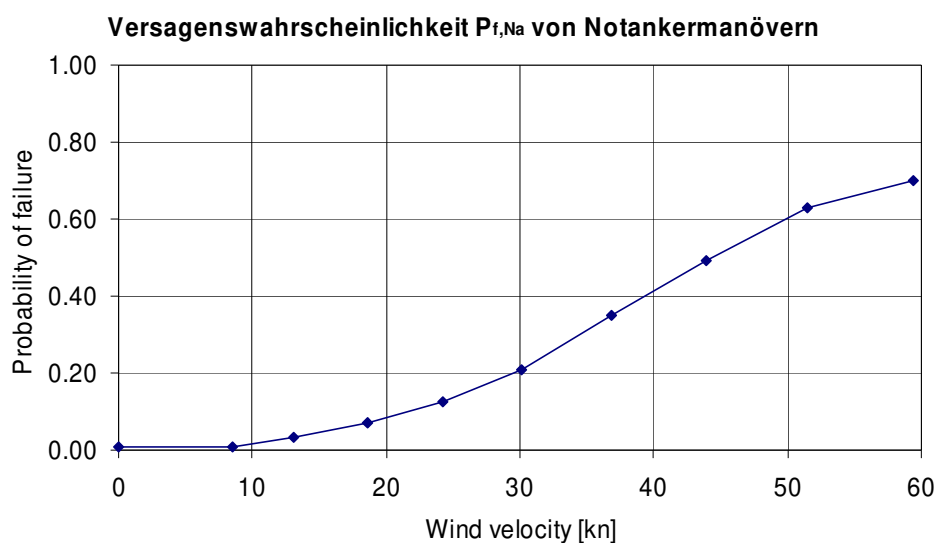


Abbildung A-10: Risikomindernde Wirkung von Notankerung

- Reparaturmaßnahmen

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.

Versagenswahrscheinlichkeit von Reparaturmaßnahmen

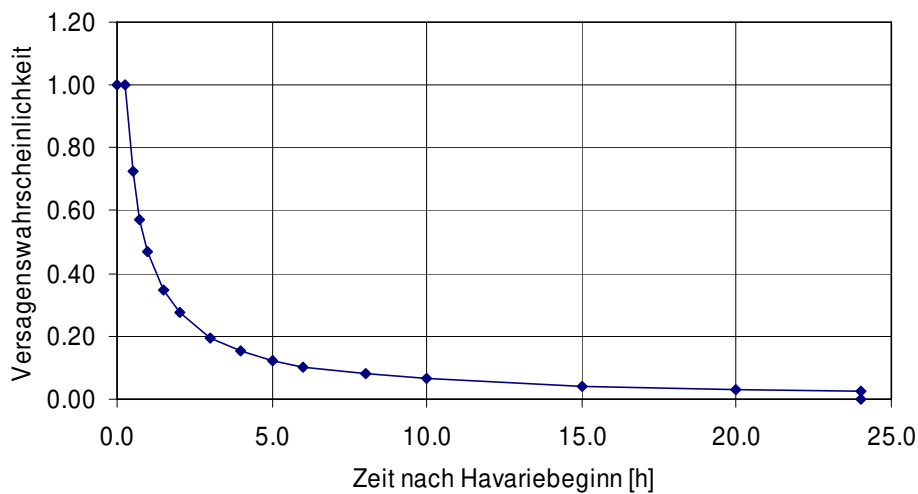


Abbildung A-11: Berücksichtigung von Reparaturmaßnahmen in der Monte-Carlo Simulation

- 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.

Versagenswahrscheinlichkeit von Notschleppmanövern

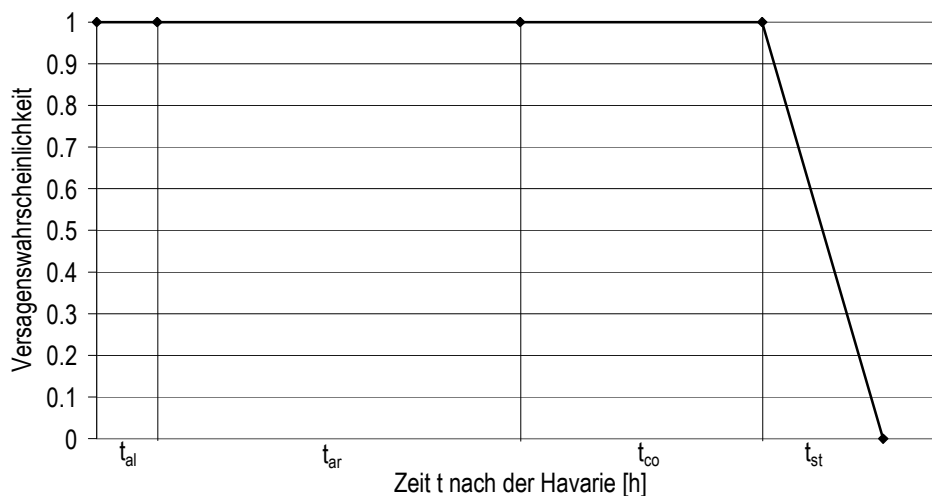


Abbildung A-12: Berücksichtigung von Bergungseinsätzen in der Monte-Carlo Simulation



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

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

t_{al} - Zeit für die Alarmierung und Aktivierung

Die Zeit t_{al} umfasst den Zeitraum von der Havarie bis zum Auslaufen des Bergungsschleppers von seinem Stationierungsort. Diese Zeitspanne enthält die Zeit zur Feststellung der Havarie bei, die Zeit bis zur Entscheidung, ob Bergungsschlepper eingesetzt werden sollen und die Mobilisierung der Schlepper und deren Besatzung. Diese Zeitspanne variiert für die einzelnen Notschlepper. Die Schlepper die im Rahmen des deutschen Notschleppkonzeptes vorgehalten werden („Baltic“ und „Fairplay 25“), stehen permanent für Notschleppeinsätze zur Verfügung und benötigen somit nur eine geringe Zeitspanne, um zu beginnen, in Richtung Einsatzgebiet zu fahren. Die „Arkona“ benötigt gegebenenfalls längere Zeit, um sich zum Havaristen in Marsch zu setzen, sofern sie gerade mit anderen Aufgaben (Tonnenlegen, Messungen etc.) beauftragt sind. Im Mittel kann von einer Zeit für die Alarmierung von 0,5 h ausgegangen werden, da die Erkennung über AIS und Radar innerhalb weniger Minuten möglich ist.

t_{ar} - Zeit für den Anfahrtsweg

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

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

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

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

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

- Berechnung der notwendigen Schleppkraft

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

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

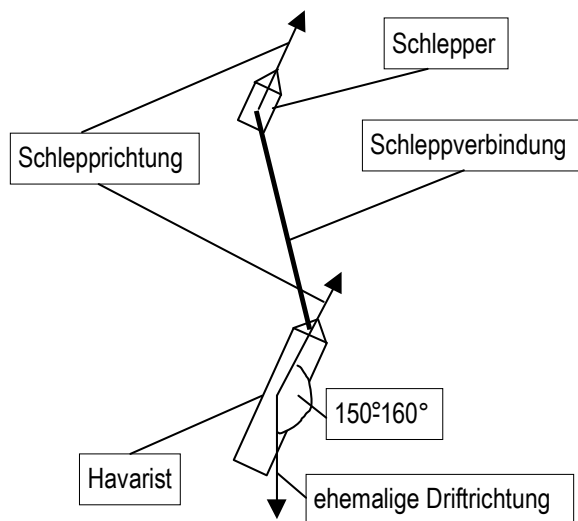


Abbildung A-13: Annahme zur Lage von Havarist und Schlepper bei Schleppmanövern

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

Nur wenn die Pfahlzugleistung des Schleppers größer als der erforderliche Pfahlzug $\bar{F}_p$ 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.

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

Ein gängiges Maß für die Konvergenz der Simulation ist wenn der SEM Wert kleiner als 1% des Mittelwertes der Kollisionswahrscheinlichkeit P_{coll} ist. In den Berechnungen des GL wird ein genaueres Konvergenzkriterium 0,01 % des Mittelwertes angewendet.

Daraus ergibt sich als Konvergenzkriterium der Simulation:

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

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

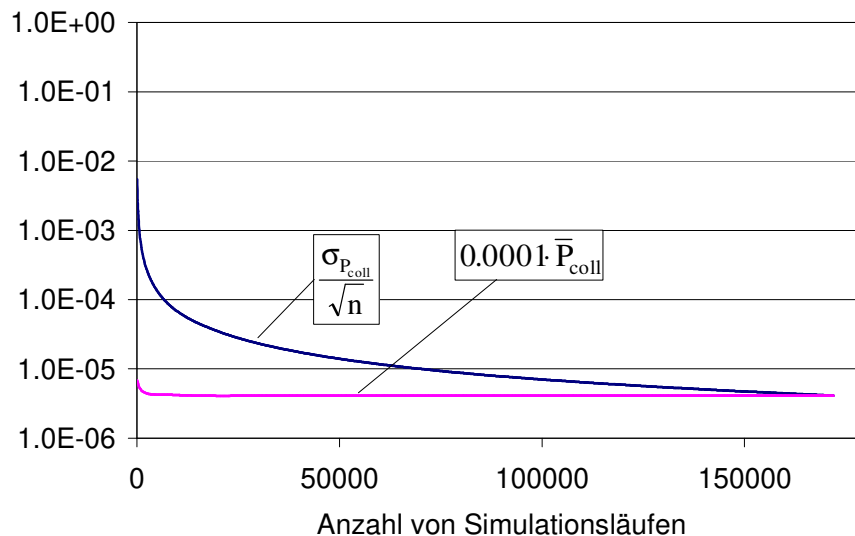


Abbildung A-14: Konvergenz der Kollisionswahrscheinlichkeit innerhalb der Monte-Carlo Simulation

- *Berechnung der Kollisionshäufigkeit*

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

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

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.

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

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

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

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

Tabelle A-4: Tabelle der typspezifischen Schiffsgeschwindigkeiten

Schiffstyp	durchschnittliche Schiffsgeschwindigkeit v_s [Kn]
Stückgutschiffe	20,0
Containerschiffe	20,0*)
Ro-Ro Schiffe	20,0
Bulker	14,0
Fähren und Passagierschiffe	20,0
Öltanker	14,0
Gastanker	15,0
Chemikalientanker	15,0
*) Die durchschnittliche Schiffsgeschwindigkeit für Containerschiffe wurde gegenüber den harmonisierten Annahmen konservativ mit einer Geschwindigkeit von 20,0 kn angenommen.	

A.3.2 Berechnung der Kollisionskonsequenzen

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

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

Wie bereits erwähnt ist die Schiffstruktur in der Lage, begrenzt Kollisionsenergie zu absorbieren. Somit kann bei geringen Driftgeschwindigkeiten davon ausgegangen werden, dass die Schiffsaußenhaut sich verformt aber nicht aufreißt. Letztendlich kann bisher jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass es auch bei seitlichen Kollisionen zum Aufreißen der Schiffsaußenhaut kommt. Grundlage der Berechnungen zur Konsequenzanalyse (austretende Schadstoffmengen) ist ein Kollisionsgutachten, das eine Aussage gibt, dass das Windanlagenfundament bei einer Kollision mit einer Geschwindigkeit bis 2 m/s kollisionsfreundliche Stahlstrukturen (kein Aufreißen der Schiffshülle) aufweist. Ein Kollaps der Windenergieanlage wird pessimistisch für jede, auch unter 2 m/s liegende Driftgeschwindigkeit angenommen.

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

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

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

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

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

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

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

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

A.3.3 Berechnung des Kollisionsrisikos

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

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

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

A.4 Literatur zum Anhang A

- /A-1/ Fujii, Y., Yamanouchi, H., Mizuki, N.: "Some Factors Affecting the Frequency of Accidents in Marine Traffic". Section II – The Probability of Stranding and Section III – The Effect of Darkness on the Probability of Collision and Stranding, Journal of Navigation, Vol. 27, pp. 235-247, 1974.
- /A-2/ MacDuff, J.: "The Probability of Vessel Collision", Ocean Industry, September 1974.
- /A-3/ Pedersen, P. T.; „Collision and Grounding Mechanics"; Department of Ocean Engineering; Technical University of Lyngby; in WEMT 95, Denmark, 1995.
- /A-4/ ISES0 Project 7 and 8: Grounding and Collision: Basic Modelling Principles and Validation of Software for Prediction of Frequencies, 2000-05-30.
- /A-5/ Fujii, Y., Mizuki, N., "Design of VTS systems for water with bridges", Gluwer & Olsen (eds) Ship Collision Analysis, Balkema ISBN 90 54 10 962 9, Rotterdam 1998.
- /A-6/ MARIN, DNV und Germanischer Lloyd: Harmonisierung der Grundannahmen für Kollisionsrisikoanalysen zwischen MARIN, DNV und GL; Hamburg, Dezember 2004.
- /A-7/ Dalhoff, P., J. Stein: Development of a Simplified Method for the Calculation of Consequences for the Windturbine / HV Station; SAFESHIP deliverable 7-1, confidential, Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH, Januar 2005.
- /A-8/ Verordnung zu den Internationalen Regeln von 1972 zur Verhütung von Zusammenstößen auf See vom 13. Juni 1977 (BGBl. I S. 813), zuletzt geändert durch die Verordnung seeverkehrsrechtlicher Vorschriften (Ausführungsverordnung zum Seerechtsübereinkommen), Kollisionsverhütungsregeln (KVR).
- /A-9/ VDI-Richtlinie 4008; Blatt 6; „Monte-Carlo-Simulation"; Beuth-Verlag; Berlin; 1999.
- /A-10/ Van der Tak, C.: Harmonization of assumptions; MARIN Memo, Netherlands, Dec. 2004.
- /A-11/ OCIMF; Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs; published by Oil Companies International Marine Forum; London.
- /A-12/ Moore, C. et al.; "An Application of Collision and Grounding Simulation to Regulatory Assessment"; Proceedings of the International Conference of Collision and Grounding of Ships; Copenhagen; 2001.
- /A-13/ Otto, S.; Østergaard, C.; "Berechnung notwendiger Trossenzüge für Notschleppeinsätze in Nord- und Ostsee"; intern; Germanischer Lloyd; Hamburg; 2001.
- /A-14/ BMVBW: Genehmigungrelevante Richtwerte für Offshore-Windparks - Bericht einer Arbeitsgruppe; Referat LS 23, Bonn, März 2005.
- /A-15/ Florian Biehl: „Rechnerische Bewertung von Fundamenten von Offshore Windenergieanlagen bei Kollisionen mit Schiffen", Technische Universität Hamburg-Harburg, 22. Oktober 2004.



ABOUT DNV GL SE

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