

Neubau eines Offshore-Windkraftterminals in Bremerhaven – Auswirkung auf die Sicherheit der Schifffahrt

Prof. Dr.-Ing. Carlos Jahn

Dr. Svenja Töter

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Univ. Hans-Christoph Burmeister

Dipl.-Ing. Laura Walther, MTM

Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML

Schwarzenbergstraße 95 D

D - 21073 Hamburg

Tel. +49 (0) 40 42878 4450

Fax +49 (0) 40 42878 4452

Auftraggeber: bremenports GmbH & Co. KG

Projektleitung Ulrich Kraus, Beratung Prof. Jens Froese

29. November 2013 (Version 1.23)

Abkürzungsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	6
Executive Summary.....	7
1 Einleitung	9
2 Verkehrsraumanalyse	11
2.1 Beschreibung des heutigen Verkehrsraums	11
2.2 Beschreibung des zukünftigen Verkehrsraums.....	13
2.3 Lateralverteilungsanalyse	15
3 Gefährdungsanalyse	25
3.1 Identifikation von Gefahrensituationen und Gefährdungen.....	25
3.2 Generischer Kollisionsablauf	25
4 Frequenzanalyse.....	27
4.1 Methodik.....	27
4.2 Ist-Szenario 2008	34
4.3 Szenario Weser 2025 ohne OTB (Unterlassungsalternative)	49
4.4 Szenario Weser 2025 mit OTB	51
4.5 Vergleich der Inputgrößen	57
4.6 Auswertung und Vergleich der Szenarien	60
5 Konsequenzanalyse	65
5.1 Methodik.....	65
5.2 Ist-Szenario 2008	78
5.3 Szenario Weser 2025 ohne OTB (Unterlassungsalternative)	87
5.4 Szenario Weser 2025 mit OTB	88
5.5 Auswertung und Vergleich der Szenarien.....	94
6 Risikoanalyse	99
7 Sensitivitätsanalyse.....	101
7.1 Aufmerksamkeit des nautischen Offiziers im Blexen Bogen	101
7.2 Verursachungsfaktor Schiff-Ankerliegerkollision	101
7.3 Wahrscheinlichkeit eines Strandungsschadens.....	102
7.4 Wahrscheinlichkeit Blackout-bedingter Kollisionen mit OTB	102
7.5 Anzahl der Personen an Bord.....	103
Literaturverzeichnis	105
Annex 1: Seekartenausschnitt Blexen Bogen	110
Annex 2: Quellen Baukosten und Personenanzahl	111
Annex 3: Sensitivität Personenanzahl.....	112

Abkürzungsverzeichnis

AIS	Automatic Identification System (Automatisches Identifikationssystem)
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BSU	Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung
c.p.	ceteris paribus (unter sonst gleichen Annahmen)
DWD	Deutscher Wetterdienst
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
IMO	International Maritime Organization
ISL	Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik
kn	Knoten (Seemeilen pro Stunde)
KüG	Kurs über Grund
LAT	Lowest Astronomical Tide (Niedrigst möglicher Gezeitenwasserstand)
LüA	Länge über Alles
m	Meter
N.f.S.	Nachrichten für Seefahrer
OTB	Offshore Terminal Bremerhaven
sm	Seemeilen
SSU	Sehr schwerer Seeunfall (BSU-Kategorie)
SU	Schwerer Seeunfall (BSU-Kategorie)
VSL	value of a statistical life (Wert eines statistischen Lebens)
WSD	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest
WSU	Weniger schwerer Seeunfall (BSU-Kategorie)
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Seekartenausschnitt des untersuchten Verkehrsraums im <i>Blexen Bogen</i>	11
Abbildung 2: Lageplan des OTB	14
Abbildung 3: Vergleich Referenzlinien- und Flächenauswertung	16
Abbildung 4: Datenselektionsverfahren	18
Abbildung 5: AIS-Referenzgebiet Richtfeuer Fischereihafen	19
Abbildung 6: AIS-Referenzgebiet Richtfeuer Bremerhaven	20
Abbildung 7: AIS-Referenzgebiet Richtfeuer Geestemünde	20
Abbildung 8: QQ-Plot Leuchtfeuer Fischereihafen	21
Abbildung 9: QQ-Plot Leuchtfeuer Bremerhaven	21
Abbildung 10: QQ-Plot Leuchtfeuer Geestemünde	22
Abbildung 11: Radarplot Binnenschiff Nordgehend	23
Abbildung 12: Radarplot Binnenschiff Südgehend	24
Abbildung 13: Unfallszenarien für die Gefahr „Kollision“	26
Abbildung 14: Frontalkollision	28
Abbildung 15: Kreuzung	30
Abbildung 16: Schiff-Objekt-Kollisionen	31
Abbildung 17: IST01	35
Abbildung 18: Bahnverläufe für See- und Binnenschiffe auf R01-R04	37
Abbildung 19: Verteilung Vorhaltewinkel	38
Abbildung 20: IST02	39
Abbildung 21: Bahnverläufe für See- und Binnenschiffe auf R05-R06	40
Abbildung 22: Bahnverläufe für See- und Binnenschiffe auf R07-R08	40
Abbildung 23: IST03	41
Abbildung 24: IST04	42
Abbildung 25: IST05	43
Abbildung 26: IST06	44
Abbildung 27: Blexen Reede Ankerposition	45
Abbildung 28: IST07 – Reedelieger Blexen Nord	46
Abbildung 29: IST07 – Strandung Weserostufer R06-R04	47
Abbildung 30: IST07 – Strandung Weserostufer R03-R05	47
Abbildung 31: IST07 – Strandung Weserostufer R05-R07	48
Abbildung 32: IST07 – Strandung Weserostufer R08-R06	48
Abbildung 33: OTB05 - Kleine Blexen Reede	52
Abbildung 34: Ersatzreed	53
Abbildung 35: OTB07	55

Abbildung 36: OTB09	56
Abbildung 37: Ankerlieger, Dalbenreihe und nordgehende Fahrwasserverkehre im Vergleich	63
Abbildung 38: Darstellung einer Kreuzungskollision	68
Abbildung 39: Darstellung einer Frontalkollision	70
Abbildung 40 Darstellung einer Frontalkollision mit einer Pier	71
Abbildung 41: Darstellung einer Strandung	72
Abbildung 42: Schaden des Doppelbodens bei der Strandung eines Tankers	73
Abbildung 43: Schematische Lage der Querschotte	75
Abbildung 44: Empfohlener Blockkoeffizient c_B	78
Abbildung 45: Vorgehen bei Frontalbegegnung	81
Abbildung 46: Vorgehen bei Kreuzungsbegegnungen	82
Abbildung 47: Vorgehen bei Begegnung mit auf Blexen Reede liegenden Schiffen	84
Abbildung 48: Vorgehen bei verpasstem Kursänderungspunkt	85
Abbildung 49: Ergänzung von Typ I bei OTB06	90
Abbildung 50: Ergänzung von vertäuten Schiffen bei OTB07	92
Abbildung 51: Blackoutkonsequenzen bei OTB	93
Abbildung 51: Szenarienvergleich nach Kollisions- und Konsequenztyp	95
Abbildung 53: Risikoanteile bezogen auf IST inkl. Infrastrukturanteil	100
Abbildung 54: Verteilung der Windrichtungen	103
Abbildung 59: Seekartenausschnitt des untersuchten Verkehrsraums „Blexen Bogen“	110

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bestimmung der Referenzgebiete	19
Tabelle 2: Ergebnisse der Maximum-Likelihood-Schätzung	22
Tabelle 3: Ausgangssituation vor Kollision/Strandung.....	25
Tabelle 4: Standardverursachungsfaktoren	33
Tabelle 5: Schiffsklassen IST01	36
Tabelle 6: Schiffsklassen Blexen Reede.....	43
Tabelle 7: Weser 2025.....	50
Tabelle 8: Herleitung Dalbennutzung.....	54
Tabelle 9: Schiffsklassen Blexen Reede und Dalbenreihe 2025	54
Tabelle 10: Vergleich IST, UA und OTB – Submodelle 01-04	57
Tabelle 11: Vergleich IST, UA und OTB – Submodelle 05-06	58
Tabelle 12: Vergleich IST, UA und OTB – Submodelle 07-09	60
Tabelle 13: Verteilung nach Unfallkategorie.....	61
Tabelle 14: Prognostizierte Frequenzveränderung	62
Tabelle 15: Szenarienvergleich - Frequenz.....	64
Tabelle 16: Schiffstypenspezifische Koeffizienten.....	76
Tabelle 17: Verhältnis der Zuladung zur Verdrängung je Schiffstyp sowie die Koeffizienten zur Bestimmung der freigesetzten Ölmenge	79
Tabelle 18: Schiffsklassendaten für die Konsequenzanalyse IST-Szenario 2008	80
Tabelle 19: Schiffsklassendaten für die Konsequenzanalyse Szenario Weser 2025 ohne OTB ...	87
Tabelle 20: Prognostizierte Konsequenzveränderung	94
Tabelle 21: Szenarienvergleich – Konsequenz	96
Tabelle 22: Szenarienvergleich nach Konsequenztyp.....	97
Tabelle 23: Prognostizierte Risikoveränderung	99
Tabelle 24: Szenarienvergleich – Risiko	100
Tabelle 25: Sensitivität bezüglich der Aufmerksamkeit des nautischen Offiziers	101
Tabelle 26: Sensitivität bezüglich des Verursachungsfaktors Schiff-Ankerliegerkollision.....	101
Tabelle 27: Sensitivität bezüglich der Wahrscheinlichkeit eines Schadens durch Strandung....	102
Tabelle 28: Sensitivität bezüglich der Wahrscheinlichkeit einer Blackout-bedingten OTB-Kollision	102
Tabelle 29: Sensitivität bezüglich der Personenanzahl an Bord der betrachteten Schiffe.....	103
Tabelle 30: Maximale, mittlere und minimale Personenanzahl an Bord	112

Das vorliegende Gutachten bewertet die Auswirkung der Realisierung des Offshore Terminals Bremerhaven (OTB) auf die Sicherheit der Schifffahrt im Bereich des *Blexen Bogens*. Dazu wird eine relative Risikobewertung der Verkehre in 2025 bei Realisierung des OTB mit Verkehren 2008 sowie mit den prognostizierten Verkehren im Jahre 2025 ohne Bau des OTB vorgenommen. Ausgehend von einer Analyse des zu untersuchenden Verkehrsraums werden, in Anlehnung an die Richtlinien der *Internationalen Seeschifffahrts-Organisation (IMO)* zum *Formal Safety Assessment*, in einem ersten Schritt Gefährdungspotenziale identifiziert. Für den Verkehrsraum *Blexen Bogen* werden entsprechend die generellen Unfallszenarien „Kollision/Strandung durch menschliches Versagen“ und „Kollision/Strandung durch technisches Versagen“ abgeleitet und nach Art des Unfalls noch weiter untergliedert. Der Strandungsfall wird dabei für die Kurvenfahrt im *Blexen Bogen* sowie für technische Defekte betrachtet.

Basierend auf diesen Unfallszenarien wird im Rahmen der Risikoanalyse die Unfallhäufigkeit und die Unfallkonsequenz für die drei Verkehrsszenarien *Ist-Zustand 2008*, *Planfestgestellte Situation der Außenweser 2020 ohne OTB (Unterlassungsalternative)* und *Planfestgestellte Situation der Außenweser 2020 mit OTB* mit Hilfe von Frequenz- und Energiemodellen bestimmt. Die Frequenzmodelle orientieren sich dabei an der Methodik der von der *International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA)* empfohlenen Risikobewertungssoftware *iWrap MkII* ergänzt um ein Modell für die Kollision mit auf Reede liegenden Schiffen. Für die Lateralverteilung der Schiffsbahnen wird im Rahmen dieser Untersuchung auf AIS-Daten des Zeitraums 01.06.2012 bis 31.07.2012 zurückgegriffen. Die Ergebnisse dieser Analyse werden mit denen von Simulationsstudien, Radarplots und Interviews mit der Lotsenbrüderschaft Weser I verglichen. Die Energiemodelle basieren auf *Zhang* und *Minorsky*.

Unter den getätigten Annahmen wird bei Realisierung des OTB für 2025 ein Rückgang der Unfallwahrscheinlichkeit um 5,5% gegenüber der Unterlassungsalternative erwartet. Ein sehr positiver Effekt wird für die Kollisionsgefahr mit auf Reede liegenden Schiffen prognostiziert, allerdings wird dieser teils durch das neue Kollisionspotenzial mit der Dalbenreihe neutralisiert. Insgesamt wird jedoch eine Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeit der Reede/Dalben-Kollision von über 30% antizipiert.

Aufgrund der zusätzlichen Schiffsverkehre und Kajen steigt jedoch gleichzeitig der erwartete mittlere Schaden pro Unfallereignis um 28,0% an. Dies wird insbesondere getrieben durch starke Schadenserhöhungen bei versäumter Kursänderung und für Blackouts im Bereich des *Blexen Bogen*.

Zusammengefasst wird daher einer Risikoerhöhung beim Bau des OTB gegenüber der Unterlassungsalternative von 21,0% für den untersuchten Verkehrsraum prognostiziert. Etwas mehr als die Hälfte der Risikosteigerung entfällt dabei auf Schäden an der neuen Infrastruktur, sodass das reine Risiko für die Schifffahrt nur um 10,0% steigt.

Es ist hervorzuheben, dass die Ergebnisse zum Teil sensitiv auf bestimmte Eingangsannahmen reagieren. Aus Sicht der Autoren haben insbesondere die Parameter

- Mittlerer zeitlicher Abstand zwischen Positionskontrollen,
- Verhältnis der Verursachungsfaktoren,
- Bedingte Wahrscheinlichkeit eines Strandungsschadens,
- Bedingte Wahrscheinlichkeit Blackoutbedingter Kollisionen mit dem OTB sowie
- Personenanzahl an Bord

einen Einfluss auf die Modellergebnisse. Das Verhältnis der Verursachungsfaktoren bestimmt, inwieweit die Gefährdungsreduktion aufgrund der kleineren *Blexen-Reede* durch die neue Kollisionsgefahr mit den Dalben neutralisiert wird. Die Positionskontrollen haben hingegen einen Einfluss darauf, inwieweit die Abschaffung der *Blexen-Reede Nord* den Effekt der vorgelagerten OTB-Kaje auf das Gesamtrisiko dämpft. Die bedingten Wahrscheinlichkeiten sind bei der Konsequenzbetrachtung für die Verrechnung von Strandungs- zu OTB-Pier-Schäden entscheidend. Durch den relativen Vergleich wird jedoch ein Teil dieser systematischen Verzerrungen gegenüber einer Absolutwert-Betrachtung neutralisiert. Die Personenanzahl beeinflusst den Anteil der Personenschäden an der Gesamtkonsequenz der einzelnen Szenarien, durch die Relativbetrachtung ist der Einfluss auf die Risikoveränderung allerdings gering.

In Bremerhaven ist an der Weser im Bereich des *Blexen Bogens* die Errichtung eines Offshore-Terminals geplant. Einhergehend mit dem Betrieb dieses neuen Terminals sind eine Veränderung der Struktur am Fahrwasserrand und damit der Fahrwasser-geometrie sowie ein erhöhtes Verkehrsaufkommen zu erwarten, deren Auswirkungen es zu ermitteln gilt. Die Beurteilung des Risikos für die Schifffahrt durch die Realisierung und den Betrieb eines Terminals ist darauf angewiesen, dass belastbares und für statistische Auswertungen entsprechend umfangreiches Zahlenmaterial für den zu betrachtenden Verkehrsraum zur Verfügung steht. Unfallstatistiken bilden eine Grundlage für die Risikoberechnung, stellen jedoch immer nur eine Ausprägung in der Vergangenheit dar. Für eine zukünftige Situation und ein noch nicht existierendes Terminal sind zusätzliche Annahmen zu treffen, auf deren Basis erst eine Bewertung der Auswirkung auf die Schifffahrt möglich ist. Eine Interpretation der Aussagen ist dabei nur unter Berücksichtigung der getätigten Annahmen zulässig.

In der vorliegenden Studie wird das Ziel verfolgt, die Auswirkungen über die Veränderungen gegenüber dem heutigen Stand sowie gegenüber dem Stand 2025 ohne das OTB zu beschreiben, d.h. es wird basierend auf den bereits vorhandenen Unfallstatistiken, Verkehrsdaten sowie Annahmen zu dem erwarteten erhöhten Verkehrsaufkommen die Veränderung des Risikos durch den Betrieb des OTB ermittelt und bewertet.

Die Untersuchung der Auswirkungen des geplanten Offshore-Terminals Bremerhaven (OTB) auf das navigatorische Schifffahrtsrisiko folgt grundsätzlich den Prinzipien der "GUIDELINES FOR FORMAL SAFETY ASSESSMENT (FSA) FOR USE IN THE IMO RULE-MAKING PROCESS 5 April 2002" (IMO 2007), wobei sich diese Studie im Wesentlichen auf die Identifikation der Gefährdungen sowie die Risikoanalyse beschränkt.

Da über die reine Risikobetrachtung hinaus ein weiteres sinnvolles Ergebnis einer Risikobetrachtung die Ableitung von Maßnahmen zur Verminderung desselben sein sollte, ist in der vorliegenden Studie ein pragmatischer Ansatz gewählt worden, der auf das nachfolgend beschriebene Grundverständnis aus (IMO 2007, S. 6) aufbaut.

- **Gefahr** wird in diesem Gutachten als eine Situation verstanden, die zu einem Unfall, also als zu einem Ereignis, dass Todesopfer, Verletzungen, Schäden oder Verluste von Schiffen und anderen Eigentumswerten oder Umweltschäden zu Folge hat, führen kann.
- **Gefährdung** ist eine potenzielle Bedrohung für menschliches Leben, Gesundheit, Eigentumswerte oder die Umwelt.
- **Risiko** ist der Zahlenwert, der sich aus der Eintrittswahrscheinlichkeit und der mittleren Schadenshöhe ergibt.
- **Sicherheit** als Zahlenwert ist der reziproke Risikowert

Der Risikobegriff macht die Schwäche aller Risikountersuchungen, die nicht auf umfangreiche empirische Daten gestützt werden können, deutlich. Eintrittswahrscheinlichkeiten und mittlere Schadenshöhen können nur abgeschätzt werden und anzunehmende Schätzbereiche führen zu teilweise unterschiedlichen Risikowerten.

Die Autoren der vorliegenden Studie sind sich dieses Umstands bewusst und haben daher bei den Risikoberechnungen konservative Annahmen getroffen. Damit soll erreicht werden, dass unsicheres Zahlenmaterial oder korrelierende ungünstige Bedin-

gungen (Zusammentreffen mehrerer ungünstiger Bedingungen) in der Realität nicht zu geringerer Sicherheit führen als aus den Berechnungen anzunehmen ist. **Einleitung**

Für sich betrachtet mögen Risikobetrachtungen immer angreifbar sein, da sie lediglich im Rahmen ihrer Annahmen interpretierbar sind. Werden Risikobetrachtungen für unterschiedliche Bereiche aber nach den gleichen Konventionen durchgeführt, erlauben sie den relativen Vergleich dieser Bereiche. Entsprechend führt diese Studie eine relative Betrachtung der verschiedenen Szenarien durch, um die Angreifbarkeit bei der absoluten Risikobestimmung weitgehend zu kompensieren

Basierend auf der Verkehrsraumanalyse, welche die Beschreibung des zu betrachtenden Verkehrsraumes (System) sowie den Vergleich der gegenwärtigen mit der zukünftigen Verkehrssituation nach Errichtung des OTB beinhaltet, werden in der Gefährdungsanalyse Gefährdungspotenziale systematisch identifiziert. Hieraus werden Szenarien abgeleitet, die ablaufen und die mögliche Kollisionen zur Folge haben können.

Im Rahmen der anschließenden Risikoanalyse werden die Unterschiede zwischen den Referenzszenarien und dem OTB-Szenario ermittelt, die sich aus der Veränderung der Gefährdungssituation und deren Auswirkungen ergeben.

Im Rahmen der Verkehrsraumanalyse wird zunächst der Untersuchungsbereich abgegrenzt und der Ist-Zustand der Ausgangssituation verbal beschrieben. Anschließend werden die Veränderungen durch den Bau des OTB dargelegt, wobei der planfestgestellte Zustand unter Berücksichtigung der Weseranpassung zu Grunde gelegt wird. Abschließend wird die verkehrliche Verteilung auf Basis der AIS-Daten ermittelt, welche als Eingangsparameter für die weitere Risikoanalyse dient.

2.1 Beschreibung des heutigen Verkehrsraums

Nach aktuellem Planungsstand soll das OTB am Ostufer der Weser auf Höhe des Fischereihafens im sogenannten *Blexen Bogen* errichtet werden. Abbildung 1 (vergrößerter Ausschnitt siehe Abbildung 55 in Annex 2) zeigt den bis N.f.S. 30/2012 berichtigten Seekartenausschnitt des betreffenden Wesergebiets zwischen N 53° 30' und N 53° 33'. Unter Berücksichtigung der Zulauf- und Ablaufverkehre zum OTB sowie des geplanten Ersatzes für die Reede wurde der zu untersuchende Verkehrsraum von Tonne 58 bis Tonne 59 der aktuellen Weserbetonung definiert.

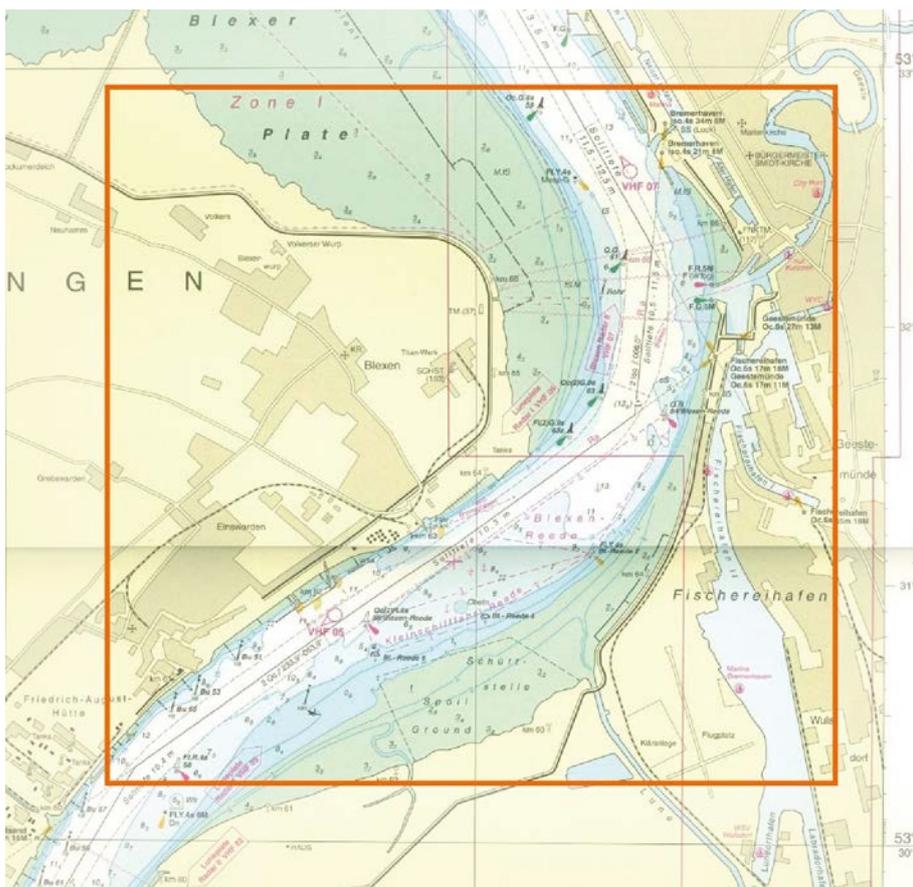


Abbildung 1: Seekartenausschnitt des untersuchten Verkehrsraums im *Blexen Bogen* (Quelle: BSH 2012)

2.1.1 Weserfahrwasser

Im Bereich des *Blexen Bogens* knickt das betonnte Fahrwasser scharf um über 70° ab, wobei sich die Kurve in drei Sektionen einteilen lässt. Gen Bremen einlaufende Schiffe folgen ab Tonne 59 zunächst dem Richtfeuer *Fischereihafen* auf Kurs 150,8°, ab Tonne 61 für 0,65sm dem Richtfeuer *Bremerhaven* auf Kurs 186,0°, bevor sie auf Höhe der Tonne 63 dem Richtfeuer *Geestemünde* auf Kurs 233,9° folgen. Die Solltiefe beträgt im 200m bis 300m breiten Fahrwasser 10,3m beim niedrigsten möglichen Gezeitenwasserstand LAT.

Für Schiffe ab 90m Länge, 13m Breite oder 8m Tiefgang besteht in diesem Bereich eine Lotsenannahmepflicht. Soll weiter weseraufwärts als bis zur *Blexen-Reede* gefahren werden, dann besteht bereits ab 6,5m Tiefgang Lotsenannahmepflicht (BSH 2011, S. 162).

Zudem besteht im Bereich zwischen dem Fähranleger Blexen auf Höhe des Weserkilometers 63 und der Kaiserschleuse zwischen den Tonnen 59 und 57 ein Überhol- und Begegnungsverbot für Wegerechtsschiffe, d.h. für Fahrzeuge mit mehr als 10m Frischwassertiefgang, untereinander (BSH 2011, S. 163).

2.1.2 Hafenzufahrten und Reeden

Zwischen den Tonnen 61 und 63 befindet sich auf der Backbordseite des Fahrwassers die Zufahrt zur Geeste und zum Fischereihafen. Ungefähr 0,5sm weiter nördlich befindet sich ebenfalls backbordseitig die Einfahrt zur Schleuse *Neuer Hafen*. Auf der Steuerbordseite des Fahrwassers befinden sich auf Höhe der Tonne 56/*Blexen-Reede* zwei parallel zum Fahrwasser verlaufende Kajen sowie bei Weserkilometer 63 der Fähranleger für die Weserfähre *Bremerhaven-Blexen*.

Südlich des Fahrwassers befindet sich zwischen den Tonnen 54/*Blexen-Reede* und 56/*Blexen-Reede* die *Blexen-Reede*. Die Reede ist dreigeteilt in einen Nordteil für Schiffe mit größerem Tiefgang, den Mittelteil für Tanker und Fahrzeuge mit Explosivstoffen und den Südteil für die Kleinschiffahrt (BSH 2011, S. 164).

2.1.3 Besonderheiten

Zwischen Bremerhaven-Geestemünde und Blexen verkehrt ganzjährig und regelmäßig eine das Fahrwasser kreuzende Auto- und Personenfährlinie als Teil der Bundesstraße 212. Vor Bremerhaven, zumeist zwischen den Tonnen 63 und 61, findet von der östlich gelegenen Lotsenstation mit Hilfe eines Lotsenversetzers der Wechsel der Seelotsen statt (BSH 2011, S. 162).

Darüber hinaus gibt es südlich der Tonnen *Blexen-Reede 6* und *Blexen-Reede 4* eine am Uferrand ausgewiesene Schüttstelle. Laut Auskunft der WSD Nordwest wird diese jedoch aktuell nicht genutzt und generiert daher keine besonderen Verkehre. Die Sportschiffahrt ist in diesem Bereich von untergeordneter Bedeutung.

2.1.4 Angaben zu Verkehren

In (ISL 2010) sind die Schiffsbewegungen im Weserfahrwasser zwischen Bremerhaven und Nordenham zahlenmäßig erfasst, welche durch den betrachteten Verkehrsraum führen. 2008 wurden insgesamt 9.444 Bewegungen von Seeschiffen registriert. Binnenschiffe (ohne Fahrgastschiffe und Fähren) von über 40m Länge, verursachten 2012 4.821 Bewegungen (WSD NW 2013). Unter Berücksichtigung des Rückgangs der Binnenschiffe zwischen Bremerhaven und Brake von 2008 auf 2012 um 15,8%, ergeben sich für 2008 insgesamt 5.688 Binnenschiffsbewegungen (WSV 2008, WSV 2012). Die

Nutzungen der *Blexen-Reede* sowie eine Analyse der An- und Abfahrtsrouten sind in (ISL 2011) verfügbar. Zahlen zur Häufigkeit der Querung der Weserfähre lassen sich auf Basis des Fahrplans von 2012 annähern (Weserfähre 2012). Für die Einsatzanzahl des Lotsenver-setzers im *Blexen Bogen* weist die Außenstelle Bremerhaven des Lotsbetriebsverein e.V. in 2011 5.972 Einsätze aus (Corcilus 2012). Alle Angaben sind Jahreswerte.

Keine Daten sind hingegen verfügbar für die Nutzung der Einfahrt zur *Geeste/Fischereihafen* abseits von Lotsenversetzer und Weserfähre sowie für die Verkehre durch die Schleuse *Neuer Hafen*.

2.2 Beschreibung des zukünftigen Verkehrsraums

Abbildung 2 zeigt den Lageplan des geplanten OTB im *Blexen Bogen* unter Berücksichtigung der notwendigen Zufahrtsbereiche. Grundlage ist dabei der Planungsstand der Weseranpassung.

2.2.1 Weserfahrwasser

Durch die planfestgestellte Weseranpassung wird das Fahrwasser gegenüber dem aktuellen Istzustand geringfügig um bis zu 60m gen Osten verlegt, wodurch die Richtfeuer entsprechend angepasst werden. Zurzeit wird von keiner Veränderung der Gebietsvorschriften ausgegangen. Die Weserlotsen erwarten nach Fertigstellung des OTB, eine zeitweilige Beeinflussung der gewählten Schiffsbahn durch die optische Präsenz des Terminals (Marcus 2012). Für den Vergleich von 2008 zu 2025 wird jedoch von keiner Verschiebung der Bahn relativ zur neuen Leuchfeuerlinie ausgegangen.

2.2.2 Hafenzufahrten und Reeden

Für den Bau des OTB ist ein entsprechender Zufahrtsbereich geplant, der sich östlich des Fahrwassers von Weserkilometer 64 bis kurz vor die Geestemündung erstreckt. Durch den Zufahrtsbereich wird der nördliche Teil der *Blexen-Reede* zwischen den Tonnen *54/Blexen-Reede* und *Blexen-Reede 2* abgeschnitten. In Zusammenhang mit der Fahrwasserverlagerung wird dadurch sowohl die maximal zulässige Länge von 120m auf 100m als auch der maximal zulässige Tiefgang von 8,0m auf 6,0m für die *Blexen-Reede* reduziert (ISL 2011, S. 1).

Als Alternative für die entfallenden Reedeflächen ist östlich des Fahrwassers auf Höhe des Weserkilometers 62 auf einer Länge von 300m eine Dalbenreihe mit 13 Dalben geplant, die mit einem entsprechenden Zufahrtsbereich versehen werden.

Zudem ist am nördlichen Weserufer eine Kaje für die Dillinger Hütte geplant, welche zurzeit realisiert wird. Der Bau ist zwar unabhängig vom OTB, jedoch sind die zu erwartenden Verkehre bei einer Bewertung im Jahre 2025 mit zu berücksichtigen.

2.2.3 Besonderheiten

Durch den Bau des OTB ist keine Veränderung der Fährverkehre oder der Lotsenversetzstelle angedacht.

2.2.4 Angaben zu Verkehren

In (ISL 2010) sind Verkehrszahlen im Untersuchungsraum für das Jahr 2025 gegeben. Es wird ein leichter Rückgang der Gesamtanzahl an Seeschiffsbewegungen auf 9.169

2.3 Lateralverteilungsanalyse

Zur späteren Frequenzanalyse ist die *Verteilung des senkrechten Abstands der Schiffsposition zur Routenmitte* (auch Lateralverteilung genannt) des untersuchten Verkehrsraums zu analysieren. Eine geeignete Methode zur Bestimmung der Lateralverteilung ist die Verwendung von AIS-Daten (Automated Identification System).

2.3.1 Methodik

Die Vorgehensweise bei der Lateralverteilungsanalyse lässt sich grob in vier Schritten beschreiben:

1. Aufbereitung der Eingangsdaten
2. Auswahl geeigneter AIS-Daten
3. Projektion auf Referenzgerade
4. Ermittlung von Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsverteilungen

Die Ausgangsdaten bilden die AIS-Nachrichten vom Typ 1-3, die sogenannten *Class A AIS Position Reports*, welche im untersuchten Verkehrsgebiet in einem bestimmten Zeitraum verschickt wurden. Ausrüstungspflicht für Klasse-A-Geräte besteht sowohl für alle Fahrzeuge über 300 BRZ auf internationaler Fahrt als auch für alle Fahrzeuge über 500 BRZ auf nationaler Fahrt. Die Positionsberichte werden von diesen Geräten alle zwei bis zehn Sekunden verschickt, abhängig von der Schiffsgeschwindigkeit und Kursänderungsrate. Neben weiteren Daten enthält jede AIS-Nachricht vom Typ 1-3 Angaben über (ITU-R M.1371-4):

- Die MMSI-Nummer des Schiffs,
- Die aktuelle Position in Länge und Breite und
- Ob die Position mit einer Genauigkeit von mehr oder weniger als 10m bestimmt wurde.

AIS-Nachrichten sind zeitpunktbezogene Daten und stellen selbst keinen Verlauf der Bahn dar. Durch eine zeitliche Sortierung der AIS-Nachrichten eines Schiffs ist es jedoch möglich, die Route nachzubilden. Die Genauigkeit, mit der die Bahn dargestellt werden kann, hängt von der Granularität der Zeitintervalle, mit welcher die AIS-Nachrichten verschickt wurden, sowie von der Positionsgenauigkeit des GNSS ab. Je größer die zeitliche Lücke zwischen zwei Positionsberichten ist, umso größer ist die Unsicherheit über den Bahnverlauf in diesem Zeitfenster.

Zur Bestimmung der Lateralverteilung kann man einerseits die Kreuzungspositionen der Bahnverläufe an einer bestimmten Referenzlinie analysieren oder alle Positionen innerhalb eines bestimmten Gebiets auf eine Referenzgerade projizieren.

Da die Lateralverteilung bei Risikoanalysen den gesamten Routenbereich repräsentiert, bietet sich die Analyse der Flächendaten an, da so mögliche lokale Abweichungen der Verteilungen an einzelnen Referenzlinien ausgeschlossen werden können. Allerdings führt die Betrachtung von Flächendaten gegebenenfalls zu einer leichten Verzerrung durch unterschiedliche Sendeintervalle der einzelnen Fahrzeuge.

Wie beispielhaft in Abbildung 3 gezeigt, sendet das obere, schnellere Fahrzeug deutlich weniger Positionsmeldungen im Vergleich zum unteren. Dies führt zu einer Verschiebung der Häufigkeitsverteilung hin zum unteren Schiff. Im Gegensatz dazu haben die Schiffe beim Referenzlinienverfahren zwar dasselbe Gewicht, jedoch ist die Position auf der Referenzlinie ggf. nicht repräsentativ für den gesamten Routenabschnitt. Würde beispielsweise Referenzlinie 2 gewählt werden, dann würde das obere Schiff mit einem seiner Extremwerte in die Verteilung einfließen. Darüber hinaus ermöglicht die

Flächenauswertung die Berücksichtigung von Bahnschwankungen bedingt durch Wind, Wetter oder zusätzliche Verkehre in der Verteilungsfunktion.

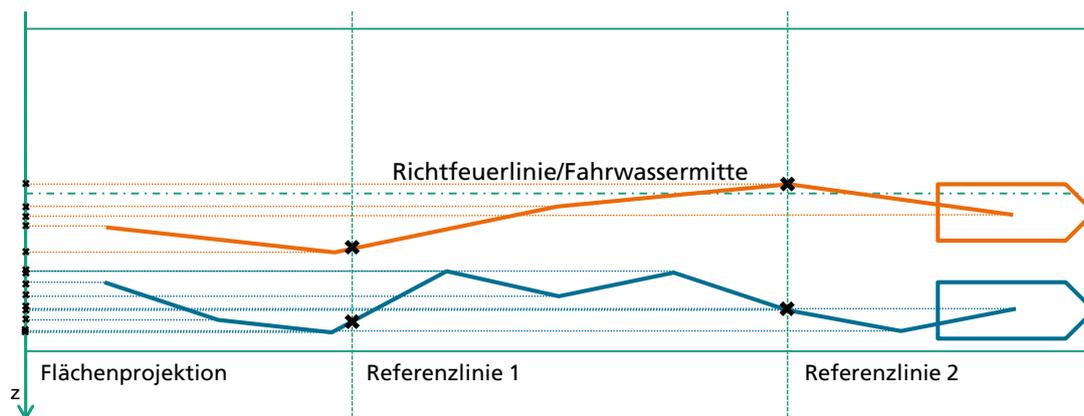


Abbildung 3: Vergleich Referenzlinien- und Flächenauswertung

Im Rahmen dieser Analyse wird die Lateralverteilung durch die Projektion aller in der Fläche verfügbaren Daten gewonnen, da keine grundlegend verschiedenen Bahnen für langsame und schnelle Schiffe im Verkehrsraum unterstellt werden.

Zur Analyse werden die Positionsberichte in ein kartesisches Koordinatensystem transformiert und entsprechend der Antennenposition auf die Schiffsmitte korrigiert. Die Vernachlässigung der Erdkrümmung ist dabei zulässig, solange das untersuchte Seegebiet gewisse Ausdehnungen nicht überschreitet. Als Projektionsgerade wird eine Linie senkrecht zur Fahrwassermitte genutzt, auf welche alle Positionsdaten projiziert werden, die innerhalb des untersuchten Routenabschnitts liegen.

Die Fahrwassermitte wird dabei durch die Position des Unterfeuers und die Richtfeuerlinie bestimmt. Es wird der kleinere der beiden Richtfeuerkurse gewählt. In Blickrichtung des kleineren Richtfeuerkurses wird der Abstand zur Richtfeuerlinie positiv nach rechts gemessen. Die Abstandsbestimmung erfolgt im Zweidimensionalen mit Hilfe der Hesse-Normal-Form der Richtfeuerlinie.

Die Einzelprojektionen werden je Route und Fahrtrichtung aggregiert und als Histogramm für eine definierte Klassenbreite zur grafischen Analyse dargestellt. Zudem werden QQ-Plots gegen Normalverteilungsquantile erzeugt, um daraus Informationen über die Wahrscheinlichkeitsfunktionen abzuleiten.

Die Dichtefunktion wird mit Hilfe der Maximum-Likelihood-Methode bestimmt. Basierend auf den Histogrammen wird angenommen, dass die Daten sich aus ein oder zwei Normalverteilungen sowie einer Gleichverteilung zusammensetzen lassen:

$$f(x) = (1 - \alpha - \beta) \cdot f_N(x; \mu_1, \sigma_1) + \beta \cdot f_N(x; \mu_2, \sigma_2) + \alpha \cdot f_{Uni}(x; a, b)$$

Die Anpassung dieser generellen Funktion an die vorliegenden Histogramme ist mit der Maximum-Likelihood-Methode möglich (Groß 2010). Diese basiert auf einem Optimierungsproblem, wobei Lösungen gesucht werden, bei denen die sogenannte Likelihood-Funktion ihr Maximum annimmt:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n, \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta)$$

Damit können bestimmte Parameter der Dichte dieser Verteilung aus den vorliegenden Daten geschätzt werden. Es werden mehrere Optimierungen der Maximum-Likelihood-

Funktion mit verschiedenen Startpunkten durchgeführt. Aufgrund dessen, dass es sich bei der Bahnführung nicht um einen rein stochastischen Prozess handelt, sind nicht dieselben Signifikanzniveaus wie bei reinen Zufallsexperimenten zu erwarten. Es ist jedoch auch für diese Fälle sichergestellt, dass Maximum-Likelihood die unterstellte Wahrscheinlichkeitsverteilung bestmöglich auf Basis der AIS-Daten parametrisiert, so dass eine Verwendung zur Risikomodellierung nach grafischer Inspektion gerechtfertigt erscheint.

2.3.2 Datengrundlage

Die Grundlage für die AIS-Analyse bilden die 8.805.958 AIS-Messages vom Typ 1-3 sowie die korrespondierenden AIS-Messages vom Typ 5. Es wird dabei der Zeitraum vom 01.06.2012 bis 31.07.2012 betrachtet. Um die Datenqualität sicherzustellen werden geeignete AIS-Daten aus dem Datensatz selektiert und die Datengrundlage so bereinigt. Die Datenselektion basiert dabei auf den Positionsberichten, welche anhand von elf Filtern bereinigt werden, um eine valide Datenbasis zu erhalten. Zunächst werden Dubletten aussortiert, d.h. Nachrichten, bei denen MMSI und Zeit gleich den Werten einer anderen Nachricht sind. Der zweite Filter sortiert Daten mit einer Positionsgenauigkeit über 10m aus, da es sich um ein kleines Untersuchungsgebiet mit engem Fahrwasser handelt und dies eine hohe Genauigkeit erfordert. Anschließend werden Daten ausgefiltert, bei denen die Geschwindigkeit über Grund zum Nachfolger unter 2kn liegt, da vermutlich der Navigationsstatus falsch ist und das Schiff keine ‚richtige‘ Fahrt über Grund macht. Mittels der nächsten beiden Filter werden Daten aussortiert, bei denen die Schiffsvorausrichtung nicht angegeben ist oder kein gültiger Reisebericht vorliegt. Beide Daten werden zur Bestimmung des Referenzpunktes benötigt. In Bezug auf die Reiseberichte wird außerdem zuvor ein weiterer Filter angewandt, um für die Selektion der Positionsberichte nur Nachrichten zu selektieren, bei denen der Inhalt zu IMO, Tiefgang, Referenzpunkt und Schiffstyp dem Inhalt der vorherigen Nachricht entspricht.

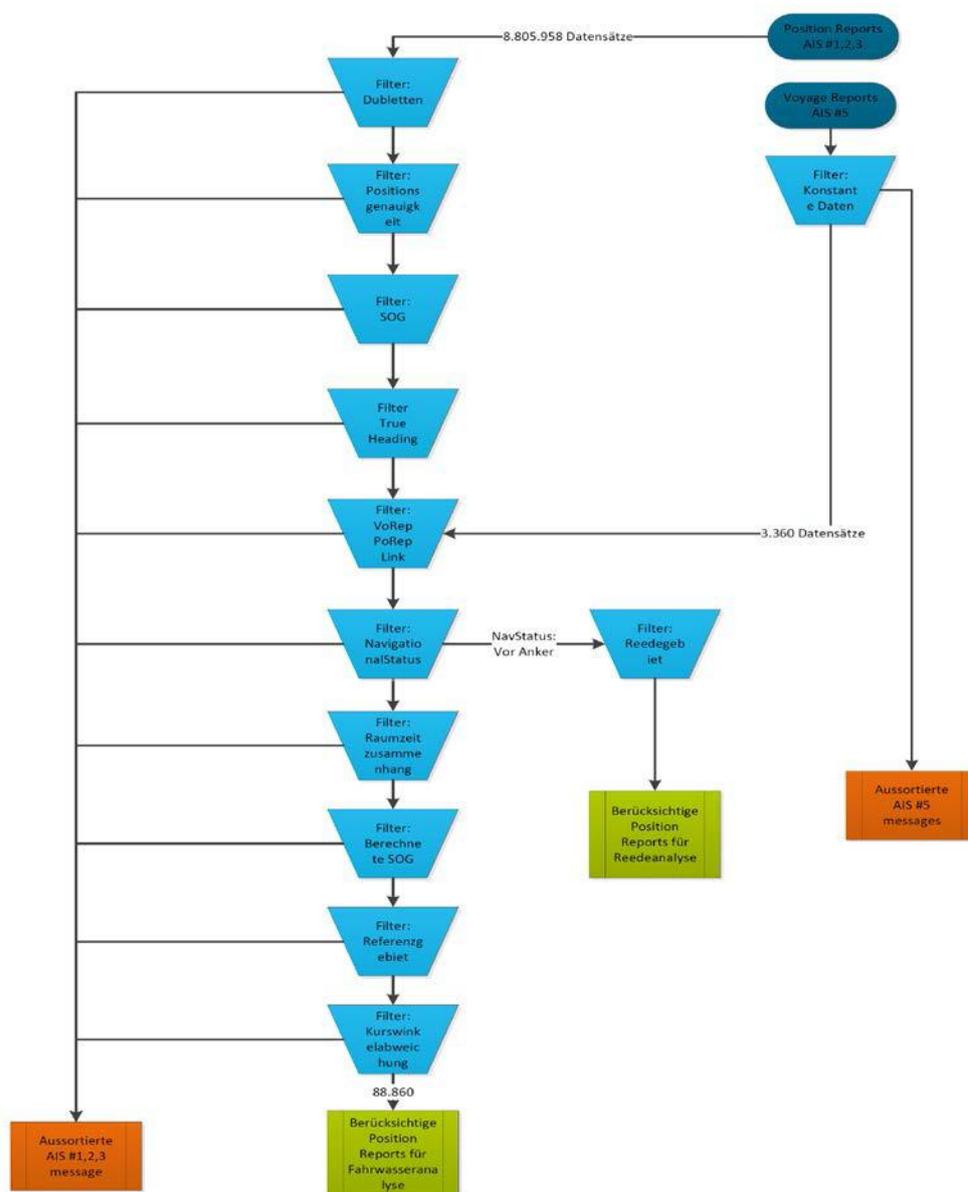


Abbildung 4 Datenselektionsverfahren

Der sechste Filter sortiert die Datensätze aus, die als Navigationsstatus „festgemacht“ oder „gestrandet“ gespeichert sind oder einen Status über 8 haben, da diese Schiffe nicht in Fahrt sind. Für die Selektion der Positionsberichte für die Reedeanalyse werden zusätzlich Daten mit dem Navigationsstatus „vor Anker“ aussortiert. Bei der Selektion für die Fahrwasseranalyse wird mit dem nächsten Filter eine ausreichende Genauigkeit der Projektion sichergestellt. Daher werden Datensätze ausgefiltert, bei denen der Nachfolger mehr als 150m entfernt ist oder mehr als 3min später gesendet wurde. Daten, bei denen auch die berechnete Geschwindigkeit über Grund unter 2kn liegt, werden anhand des folgenden Filters aussortiert. Das Schiff macht annähernd keine Fahrt über Grund. Es ist hier anzunehmen, dass der Navigationsstatus nicht korrekt angegeben ist. Des Weiteren werden keine Datensätze verwendet, bei denen sich der Anfang des Tracks nicht im Referenzgebiet befindet, da diese keinen Einfluss auf die entsprechende Lateralverteilung haben. Der letzte Filter bezieht sich auf eine Kurswinkelabweichung. Es werden Datensätze aussortiert, bei denen der Kurs mehr als 30° von der Richtfeuerlinie abweicht. Diese Daten repräsentieren nicht die dem Fahrwasserver-

lauf folgenden Schiffe. Nach Anwendung aller Filter ergibt sich die Anzahl der berücksichtigten Positionsberichte. **Verkehrsraumanalyse**

Zur Bestimmung der Fahrrinnenmittlen wurden die Daten aus INT1475 verwendet, welche in Tabelle 1 angegeben sind. Für die Projektion wurden anschließend diejenigen AIS-Daten verwendet, welche innerhalb der in Abbildung 5, Abbildung 6 und Abbildung 7 gekennzeichneten Gebiete waren.

Richtfeuername	Position des Unterfeuers		Richtfeuerlinie
Geestemünde	N 53° 32,670'	E 008° 34,185'	053,9°
Fischereihafen	N 53° 32,670'	E 008° 34,520'	150,8°
Bremerhaven	N 53° 32,670'	E 008° 34,520'	006,0°

Tabelle 1: Bestimmung der Referenzgebiete



Abbildung 5: AIS-Referenzgebiet Richtfeuer Fischereihafen

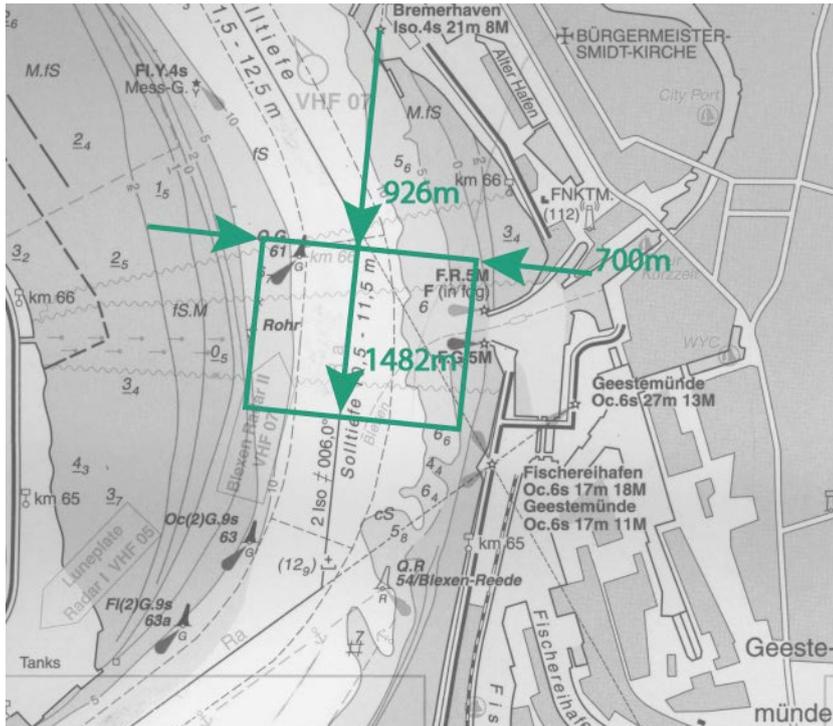


Abbildung 6: AIS-Referenzgebiet Richtfeuer Bremerhaven

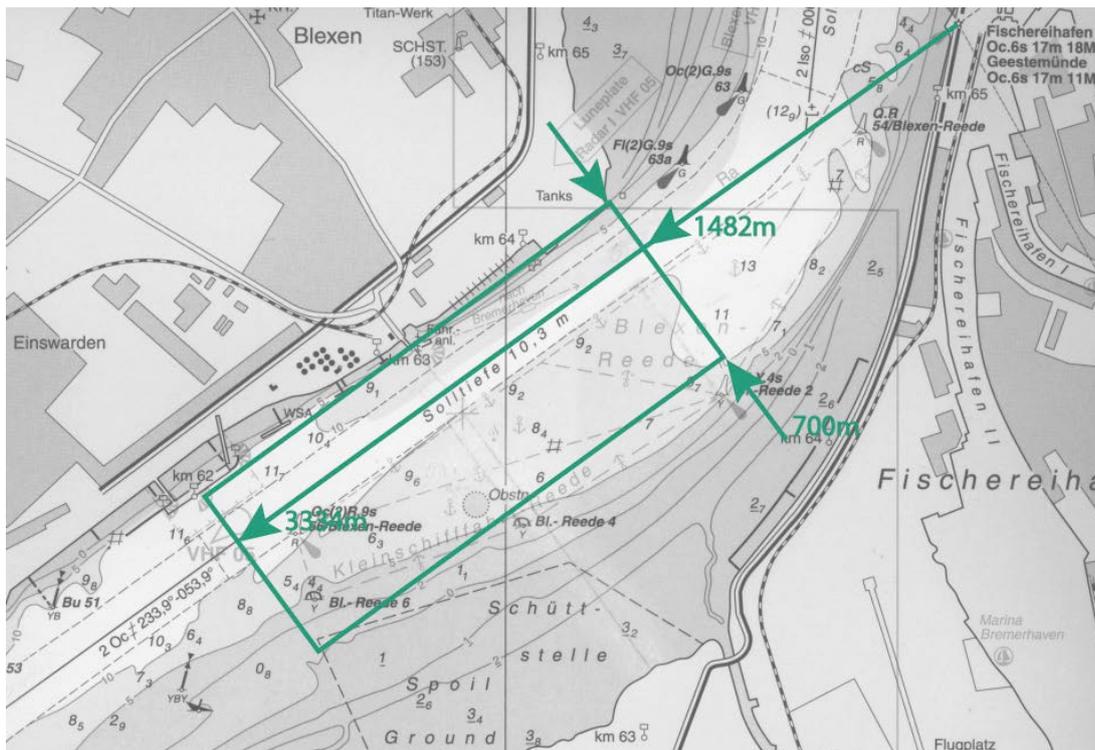


Abbildung 7: AIS-Referenzgebiet Richtfeuer Geestemünde

Eine grafische Analyse der Verteilungswerte mit Hilfe von QQ-Plots zeigt, dass eine reine Normalverteilung der Positionen als sehr unwahrscheinlich galt. Wie in Abbildung 8-10 für die verschiedenen Richtfeuer ersichtlich, gibt es starke Abweichungen der Realdaten von der theoretischen Normalverteilung vor allem in den Randbereichen der Verteilung.

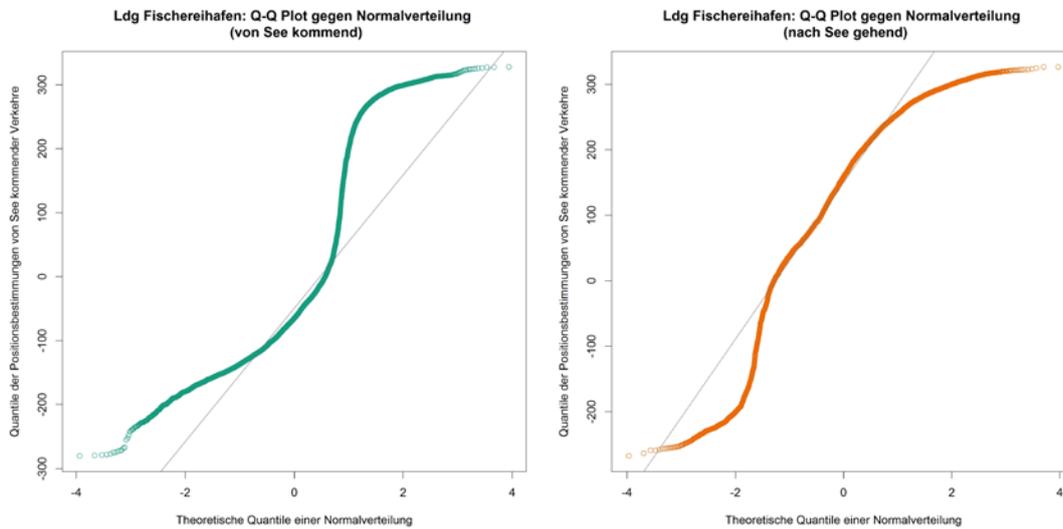


Abbildung 8: QQ-Plot Leuchfeuer Fischereihafen

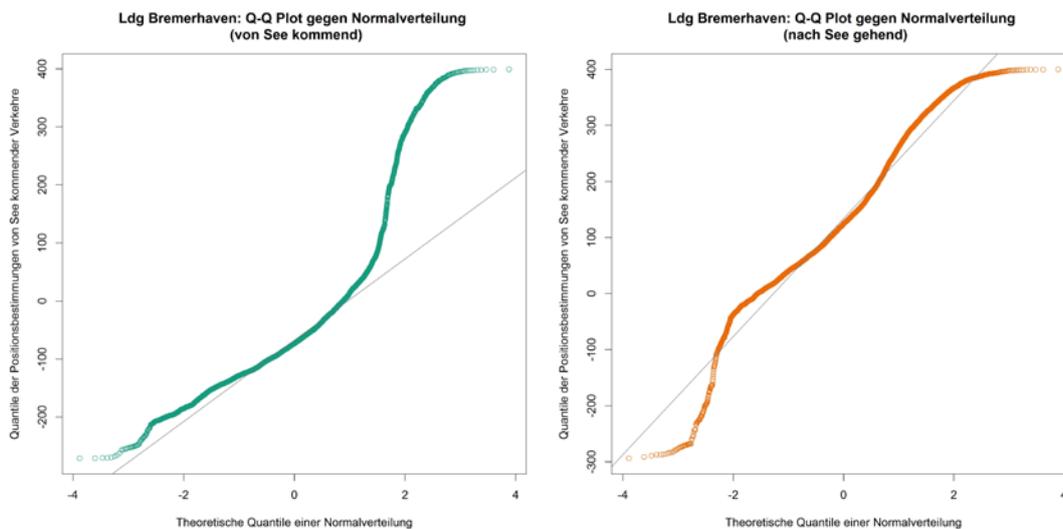


Abbildung 9: QQ-Plot Leuchfeuer Bremerhaven

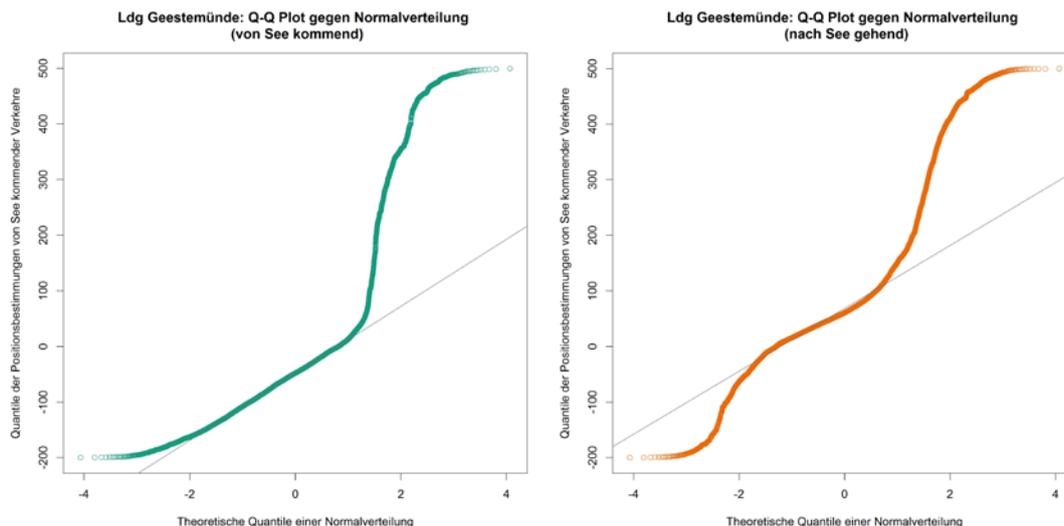


Abbildung 10: Q-Q-Plot Leuchfeuer Geestemünde

Für die Häufigkeitsverteilung wurde demzufolge eine Wahrscheinlichkeitsverteilung bestehend aus ein bis zwei Normalverteilungen und einer Gleichverteilung konstruiert und deren Parameter mit Hilfe der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Schätzung nach der Maximum-Likelihood-Methode.

	Blexen	Bremerhaven		Fischereihafen		Geestemünde	
	Reede	von See	nach See	von See	nach See	von See	nach See
#AIS	3.641	10.075	9.515	13.782	12.254	21.368	20.709
α	0,5032	0,1260	0,0342	0,2233	0,1721	0,1309	0,1816
μ	288,84	-74,63	139,30	-89,80	106,63	-55,63	55,88
σ	65,11	60,73	102,92	54,80	65,71	51,35	49,32
a	197,33	-297,96	-288,09	-168,71	-258,75	-199,11	-198,49
b	400,01	397,96	388,09	268,53	292,74	498,31	498,49
β	0,3912	-	-	0,1166	0,3573	-	-
μ	395,89	-	-	281,78	241,11	-	-
σ	35,05	-	-	19,52	39,65	-	-

Tabelle 2: Ergebnisse der Maximum-Likelihood-Schätzung

Wie später in Abbildung 21, Abbildung 22 und Abbildung 27 erkennbar, folgt die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Häufigkeitsverteilung sehr gut. Aus Tabelle 2 ist ebenfalls erkennbar, dass alle Verteilungen aus einer großen Stichprobe von jeweils um 10.000 bzw. im Falle der Reede über 3.500 AIS-Positionsmeldungen gewonnen wurden. Für nordgehende Schiffe beim Leuchfeuer Bremerhaven könnte die gewählte Funktion zu einer leichten Unterschätzung des Frontalkollisionsrisikos auf diesem Abschnitt führen, dafür würden Strandungen in der Kurve leicht überschätzt. Ähnliches gilt beim Richtfeuer Geestemünde. Da hier der kritische Part jedoch die Veränderung der Reede und der Bau der Dalbenreihe sind, ist zu erwarten, dass die gewählte Wahrscheinlichkeitsverteilung sehr konservativ das Unfallrisiko mit Objekten bestimmt. Der Richtfeuerabschnitt Fischereihafen weist hingegen optisch die beste Übereinstimmung auf. Insgesamt ist aufgrund der parametrisierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen daher keine systematische Verzerrung der Ergebnisse zu erwarten.

Ein optischer Vergleich von 15 Radarplots von Binnenschiffen, welche nicht im AIS erfasst sind, ließ keine Rückschlüsse darauf zu, dass für diese eine andere Bahnführung als für die AIS-Schiffe zu unterstellen ist. Sowohl das leichte Eintauchen in die Reede und die weit gewählte Kurve aus Abbildung 11 sind nach den gefundenen Lateralverteilungen möglich. Die enge Bahn des beispielhaft gezeigten südgehenden Schiffs ist in Abbildung 12 dargestellt.

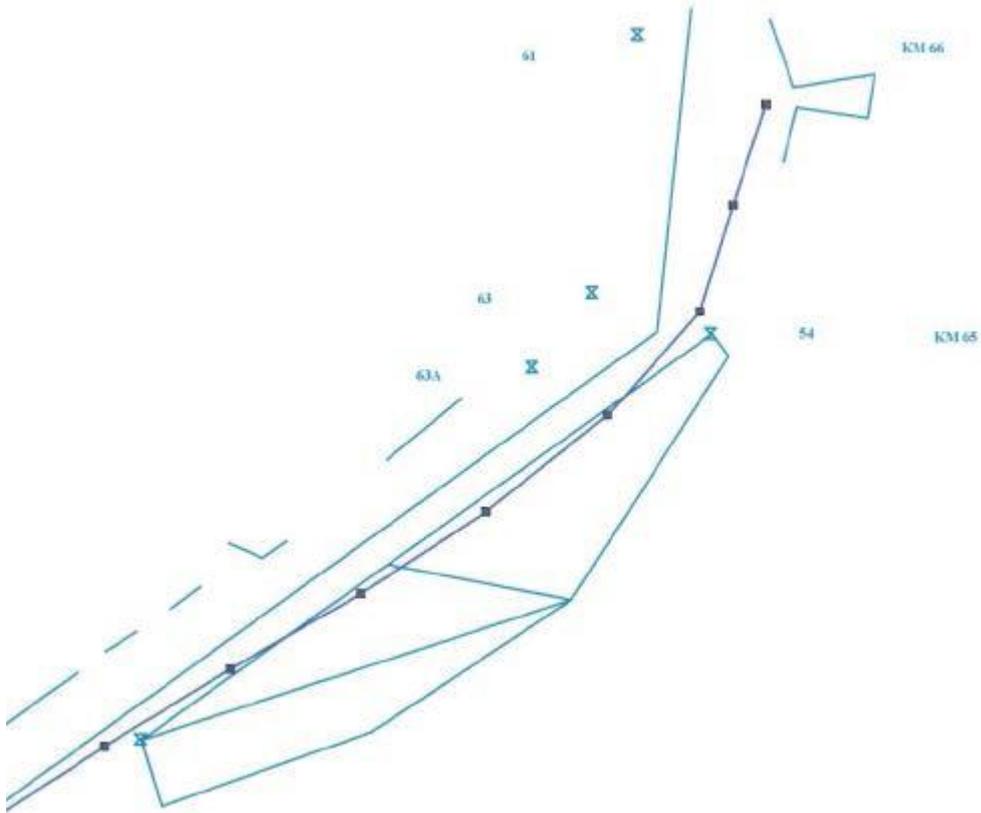


Abbildung 11: Radarplot Binnenschiff Nordgehend

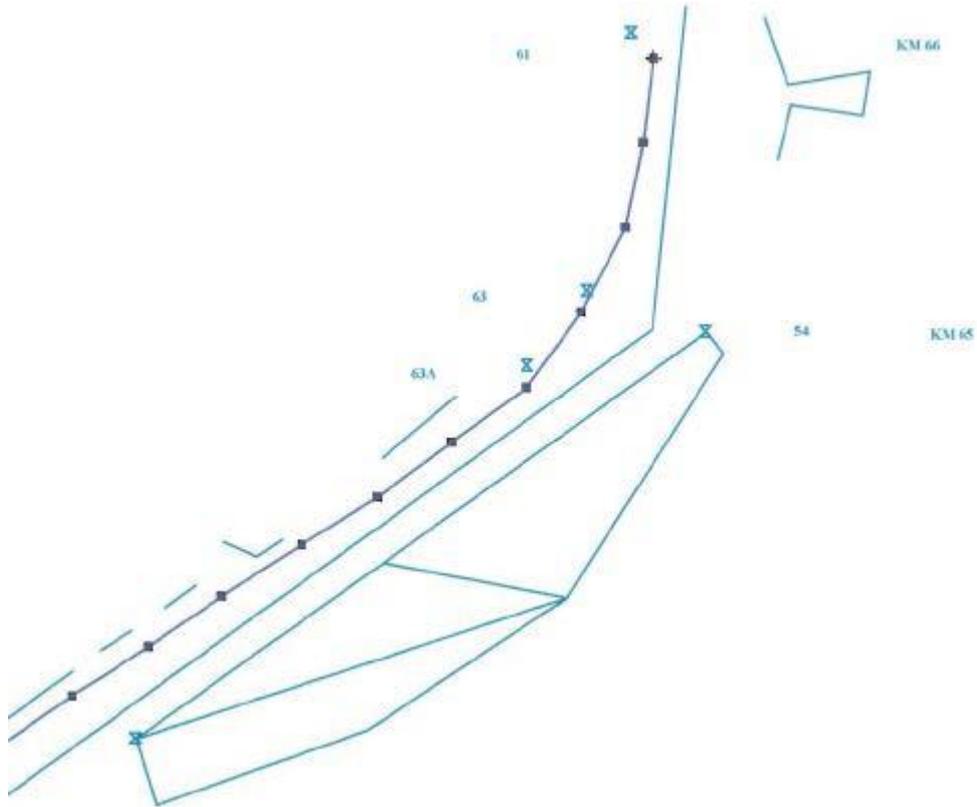


Abbildung 12: Radarplot Binnenschiff Südgehend

Im Rahmen der Gefährdungsanalyse sollen mögliche Gefährdungen im Untersuchungsgegenstand identifiziert werden. Dazu werden zunächst analytisch, auf Basis von Unfallstatistiken, die verschiedenen Gefahrensituationen ermittelt. Darauf aufbauend werden die ursprünglichen Schadensquellen analysiert, um die Gefährdungen zu identifizieren. Dies erlaubt anschließend neue Unfallszenarien abzuleiten, auch unter Berücksichtigung der neuen Gegebenheiten. Die Gefährdungsanalyse beschränkt sich dabei auf verkehrlich bedingte Unfallszenarien, d.h. auf Situationen, in denen die Gefährdung durch ein Schiff in Fahrt gegeben ist. Dementsprechend werden keine Unfallszenarien betrachtet, bei denen die Unfallursache von ankernden, vertäuten, den Anker ausbringenden bzw. hieviden oder an- bzw. ablegenden Schiffen ausgeht.

3.1 Identifikation von Gefahrensituationen und Gefährdungen

Nach (WSV 2010) gab es im Untersuchungsraum zwischen 1981 und 2009 89 gemeldete Vorfälle, davon 62 Unfälle mit Kollisionen oder Strandungen. Bezüglich der verschiedenen Situationen, lassen sich die Ereignisse folgenden Kategorien zuordnen:

- Kollision/Strandung während der Fahrt: 31 Ereignisse
- Kollision/Strandung während des auf Reede Liegens: 16 Ereignisse
- Kollision/Strandung während des Ankermanövers: 10 Ereignisse
- Kollision/Strandung während des An-/Ablegens: 5 Ereignisse

Die häufigsten Unfallursachen waren unsachgemäße Manöver oder Unachtsamkeit in einer Gefährdungssituation. Teilweise war auch technisches Versagen die Unfallursache. Für die 31 Unfallereignisse, welche während der Fahrt auftraten, gibt Tabelle 3 einen detaillierten Überblick über die Gefährdungssituation in der Ausgangslage. Lediglich sechs Fälle lassen sich dabei auf einen technischen Defekt zurückführen. Daneben gab es im betrachteten Zeitraum noch 13 weitere Gefährdungssituationen, die auf technische Defekte zurückzuführen waren. Elf Situationen konnten durch Notankerung und zwei durch Reparatur bzw. Redundanzsysteme unfallfrei entschärft werden.

	Begegnung	Überholen	Kreuzung	Objekt	Tech. Defekt
Anzahl	1	3	8	13	6
Verteilung	3,2%	9,7%	25,8%	41,9%	19,4%

Tabelle 3: Ausgangssituation vor Kollision/Strandung

3.2 Generischer Kollisionsablauf

Entsprechend der obigen Analyse gefährdet ein Schiff andere Schiffe oder Objekte durch eine inadäquate zeitliche bzw. örtliche Bahnführung. Als Ursache hierfür kann technisches bzw. menschliches Versagen angeführt werden, sodass erforderliche Ausweichmanöver nicht durchgeführt bzw. unterlassen oder nicht sachgerecht durchgeführt werden. Dadurch entsteht die Kollisionsgefährdung.

In der heutigen Situation können dabei Gefahrensituationen zwischen Schiffen in Fahrt im Weserfahrwasser entstehen, wobei zwischen durchgehendem bzw. kreuzendem/einfädelndem Verkehr unterschieden wird. Diese können zusätzlich zu Sekundär-

kollisionen mit maritimer Infrastruktur und auf Reede liegenden Schiffen führen. Zudem sind auch direkte Kollisionen zwischen Schiffen in Fahrt und maritimer Infrastruktur bzw. auf Reede liegenden Fahrzeugen möglich.

Zukünftig besteht noch die Gefahr, dass Schiffe in Fahrt mit dem OTB-Pier, dort vertäuten Schiffen oder der Dalbenreihe kollidieren. Natürlich können diese Fälle auch als Sekundärkollision auftreten. Zudem sind auch Kollisionen innerhalb des Ansteuerungsbereichs des OTB möglich. Eine Übersicht zu den verschiedenen Unfallszenarien bietet Abbildung 13.

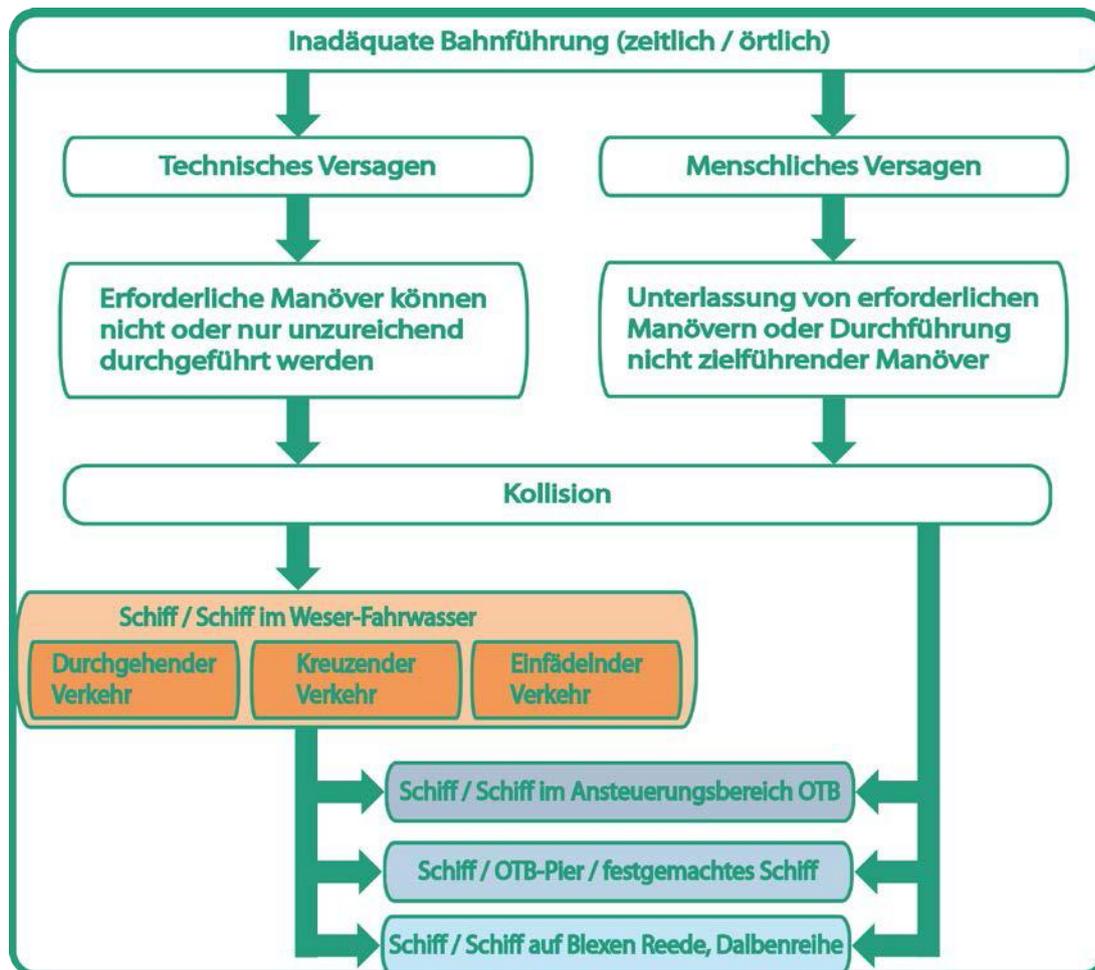


Abbildung 13: Unfallszenarien für die Gefahr „Kollision“

Daneben kann ein technisches oder menschliches Versagen auch ursächlich für eine Strandung oder Grundberührung im Verkehrsraum sein. Dieses Gutachten beschränkt sich auf die Gefahr von Strandungen/Grundberührungen, welche durch einen technischen Defekt oder das Versäumnen eines Kursänderungspunkts verursacht werden, da in diesen Fällen eine Erhöhung der Schadenskonsequenz durch das OTB zu erwarten ist.

Basierend auf den Ergebnissen der Gefährdungsanalyse wird im Rahmen dieses Kapitels die zu erwartende Unfallanzahl als erster Bestandteil des Risikos quantifiziert. Dies entspricht der Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit P_i (auch Frequenz genannt), das aus einer identifizierten Gefährdungen H_i die Konsequenz C_i resultiert. Für die Risikoanalyse wird diese dann mit der monetären Bewertung U_i der resultierenden Konsequenz verknüpft, welche in Kapitel 5 erarbeitet wird. Für das Risiko insgesamt gilt somit (Pedersen 2010, S. 245; International Maritime Organization 2007, S. 6):

$$Risk = \sum_i P_i(H_i, C_i) \cdot U(C_i)$$

Wie bereits dargelegt, wird im Rahmen dieser Analyse dabei nicht das absolute Risiko, sondern lediglich die Veränderung durch das OTB gegenüber den Referenzszenarien aufgezeigt.

4.1 Methodik

Die in Kapitel 3 identifizierten Gefährdungen lassen sich drei Typen zuordnen:

- Kollision zwischen manövrierfähigen Schiffen untereinander,
- Kollision zwischen manövrierfähigen Schiffen und Objekten und
- Kollision zwischen manövrierunfähigen Schiffen und Objekten.

Üblicherweise wird in obigen Fällen die sogenannte Unfallfrequenz N , also die Anzahl der Unfälle in einer bestimmten Zeitdauer, nach Modellen basierend auf (Pedersen 1995) und (Fujii 1983) ermittelt. Auf dieser Grundlage funktioniert auch das von der IALA empfohlene System *iWrap MkII* zur Bewertung von Kollisions- und Grundberührungsrissen (IALA 2009, IALA 2012).

Die Unfallfrequenz wird dabei bestimmt durch die Anzahl an möglichen Schiffsunfällen N_a , auch Kollisionskandidaten genannt, und der Verursachungswahrscheinlichkeit P_C , dass ein Kollisionskandidat auch in einer Kollision resultiert:

$$N = P_C \cdot N_a$$

Die Anzahl der Kollisionskandidaten wird dabei auf Basis der geometrischen Spezifika des Fahrtgebiets und der Schiffe, sowie deren Verteilung bestimmt. Dabei wird *Blinde Navigation* angenommen, d.h., dass bei der Bestimmung der Kollisionskandidaten unterstellt wird, dass die Fahrzeuge zunächst unabhängig von anderen Schiffen ihre Bahn wählen. Der Interaktion wird anschließend mit der Verursachungswahrscheinlichkeit Rechnung getragen, welche abhängig von den Nautikern, ihrer Ausstattung sowie von der Manövrierbarkeit der Fahrzeuge ist (Pedersen 2010, S. 247).

4.1.1 Bestimmung der Kollisionskandidaten Schiff-Schiff

Bei der Kollisionsanalyse wird generell zwischen Flächen- und Linienverkehren unterschieden. Aufgrund dessen, dass der Einfluss der Sportschiffahrt nach Rücksprache mit der WSD Nordwest als sehr gering angesehen wird und im Verkehrsraum ansonsten lediglich betonnte Fahrwasser vorherrschend sind, werden im Rahmen dieser Studie lediglich Linienverkehre betrachtet. Bei diesen bewegen sich die Fahrzeuge primär entlang eines Fahrwasserverlaufs oder einer spezifischen Route, während bei einem Flä-

chenverkehr die Bewegungsrichtungen zufällig verteilt sind. Kollisionen im Routenverkehr können dabei in die Subtypen unterschieden werden: Frequenzanalyse

- Kollision von Schiffen innerhalb einer Route,
- Kollision zwischen Schiffen entgegenkommender Routen und
- Kollision zwischen Schiffen sich kreuzender Routen.

Die ersten beiden umfasst dabei die Frontal- und Überholkollision, während letzteres Kollisionen beim Kreuzen sowie beim Ein- und Ausfädeln umfasst. Für die Frontalkollision lässt sich die Anzahl an Kollisionskandidaten bestimmen aus:

$$N_a^{front} = L_W \cdot \sum_{i,j} \frac{v_i^{(1)} + v_j^{(2)}}{v_i^{(1)} \cdot v_j^{(2)}} \cdot Q_i^{(1)} \cdot Q_j^{(2)} \cdot P_{a i,j}^{front}$$

$$P_{a i,j}^{front} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{z_i - \bar{B}}^{z_i + \bar{B}} f^{(1)}(z_i) \cdot f^{(2)}(z_j) dz_j dz_i \quad \text{mit } \bar{B} = \frac{B_i^{(1)} + B_j^{(2)}}{2}$$

Das Routensegment wird dabei durch seine Länge L_W beschrieben. Der Verkehr wird charakterisiert durch die Anzahl der Passagen $Q_i^{(1)}$ und $Q_j^{(2)}$ für eine bestimmte Zeiteinheit je Schiffstyp auf Route (1) bzw. (2) sowie deren Geschwindigkeiten über Grund $v_i^{(1)}$ und $v_j^{(2)}$. Daraus wird die Anzahl der Begegnungen für die jeweilige Zeiteinheit bestimmt.

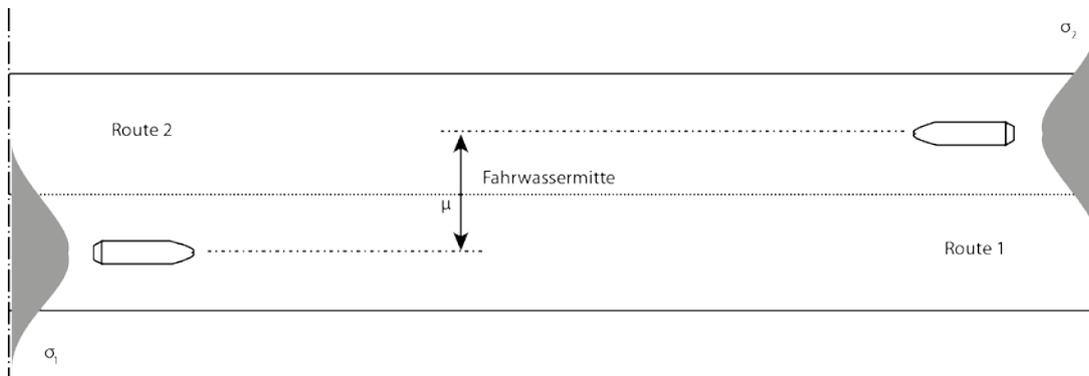


Abbildung 14: Frontalkollision (Eigene Abbildung nach IALA 2012)

$P_{a i,j}^{front}$ ist definiert als die Wahrscheinlichkeit, dass zwei sich begegnende Schiffe Kollisionskandidaten sind, d.h., dass es ohne Durchführung von Ausweichmanövern zu einer Kollision kommt. $P_{a i,j}^{front}$ basiert dabei auf der Lateralverteilung der Schiffe über die Breite der Route $f_i(z_i)$ sowie auf der mittleren Breite der Schiffe je Typ B_i (vgl. auch Abbildung 14). Für die Lateralverteilung wird dabei eine zusammengesetzte Verteilung aus einer bzw. zwei Normalverteilungen und einer Gleichverteilung angenommen, welche mit Hilfe der AIS-Analyse parametrisiert wird. Die prinzipielle Dichtefunktion lautet dabei wie folgt:

$$f^{(1)}(z_i) = (1 - \alpha^{(1)} - \beta^{(1)}) \cdot f_{N1}^{(1)}(z_i; \mu_1^{(1)}, \sigma_1^{(1)}) + \beta^{(1)} f_{N2}^{(1)}(z_i; \mu_2^{(1)}, \sigma_2^{(1)}) + \alpha^{(1)} f_{uni}^{(1)}(z_i; a^{(1)}, b^{(1)})$$

$$f^{(2)}(z_j) = (1 - \alpha^{(2)} - \beta^{(2)}) \cdot f_{N1}^{(2)}(z_j; \mu_1^{(2)}; \sigma_1^{(2)}) + \beta^{(2)} f_{N2}^{(2)}(z_j; \mu_2^{(2)}; \sigma_2^{(2)}) + \alpha^{(2)} f_{uni}^{(2)}(z_j; a^{(2)}, b^{(2)})$$

In Abhängigkeit der unterstellten Verteilungen ergibt sich somit für $P_{a i,j}^{front}$:

- Bei Begegnung zweier Normalverteilungen:

$$P_{a i,j,NN}^{front} = \Phi\left(\frac{\frac{B_i^{(1)} + B_j^{(2)}}{2} - \mu_i^{(1)} - \mu_j^{(2)}}{\sqrt{(\sigma_i^{(1)})^2 + (\sigma_j^{(2)})^2}}\right) - \Phi\left(-\frac{\frac{B_i^{(1)} + B_j^{(2)}}{2} + \mu_i^{(1)} + \mu_j^{(2)}}{\sqrt{(\sigma_i^{(1)})^2 + (\sigma_j^{(2)})^2}}\right)$$

- Bei Begegnung einer Normal- und einer Gleichverteilung:

$$P_{a i,j,NU}^{front} = \iint f_N(z_i) \cdot f_{uni}(z_j) dz_i dz_j \leq \frac{z\bar{B}}{b_j - a_j} \cdot \left[\Phi\left(\frac{b_j - \mu_i}{\sigma_i}\right) - \Phi\left(\frac{a_j - \mu_i}{\sigma_i}\right) \right]$$

- Bei Begegnung zweier Gleichverteilungen

$$P_{a i,j,UU}^{front} = \iint f_{uni}(z_i) \cdot f_{uni}(z_j) dz_i dz_j \leq \frac{\min(b_i, b_j) - \max(a_i, a_j)}{(b_i - a_i) \cdot (b_j - a_j)}$$

Die Anzahl der Kollisionskandidaten während des Überholens werden analog bestimmt, wobei es diesmal keine unterschiedlichen Fahrrichtungen gibt:

$$N_a^{über} = L_W \cdot \sum_{i,j} \frac{v_i - v_j}{v_i \cdot v_j} \cdot Q_i \cdot Q_j \cdot P_{a i,j}^{über} \quad \forall v_i > v_j$$

$P_{a i,j}^{über}$ wird dabei in Abhängigkeit der gewählten Verteilungen analog zum Fall der Frontalbegegnung berechnet, wobei die Mittelwertberechnung auf die gleichlaufende Abzissenrichtung angepasst werden muss.

Eine ähnliche Vorgehensweise ist möglich im Falle zweier sich kreuzender Routen (1) und (2) (vgl. Abbildung 15). Solange der Kreuzungswinkel θ größer als 10° und kleiner als 170° ist, kann die Anzahl der Kollisionskandidaten mithilfe von:

$$N_a^{kreuz} = \sum_{i,j} \frac{Q_i^{(1)} \cdot Q_j^{(2)}}{v_i^{(1)} \cdot v_j^{(2)}} \cdot D_{ij} \cdot v_{ij} \cdot \frac{1}{\sin \theta}$$

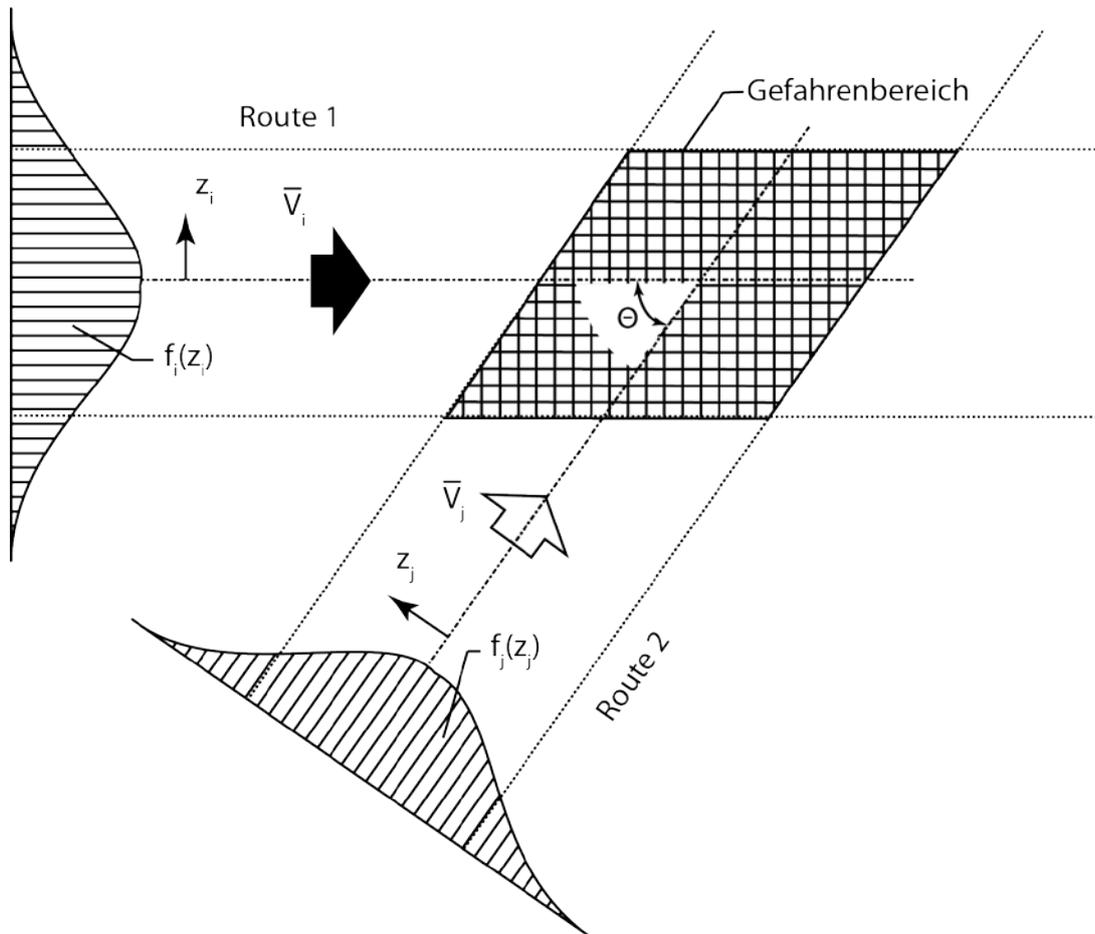


Abbildung 15: Kreuzung (Eigene Abbildung nach IALA 2012)

v_{ij} entspricht der relativen Annäherungsgeschwindigkeit des Schiffes j an das Schiff i und kann entsprechend der Trigonometrie bestimmt werden aus:

$$v_{ij} = \sqrt{(v_i^{(1)})^2 + (v_j^{(2)})^2 - 2 \cdot v_i^{(1)} \cdot v_j^{(2)} \cdot \cos \theta}$$

Der Kollisionsdurchmesser D_{ij} ergibt sich unter der Hypothese rechteckiger Fahrzeugtypen mit der Länge L_i und der Breite B_i als:

$$D_{ij} = \frac{L_i^{(1)} \cdot v_j^{(2)} + L_j^{(2)} \cdot v_i^{(1)}}{v_{ij}} \cdot \sin \theta + B_j^{(2)} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v_i^{(1)}}{v_{ij}} \cdot \sin \theta\right)^2} + B_i^{(2)} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v_j^{(2)}}{v_{ij}} \cdot \sin \theta\right)^2}$$

4.1.2 Bestimmung der Kollisionskandidaten Schiff-Objekt

Der zweite Kollisionstyp ist die Kollision zwischen Schiffen und festen Objekten, wie beispielsweise Brückenpfeilern oder Ölplattformen. Diese Modelle werden auch ange-

wendet, um die Anzahl von Strandungen und Grundberührungen zu bestimmen. In **Frequenzanalyse** der Literatur wird dabei zwischen zwei verschiedenen Unfalltypen unterschieden (s. Abbildung 16)

- Typ I: Schiffe folgen der geplanten Route. Eine Kollision resultiert meist aus menschlichem Versagen oder unerwarteten Problemen mit den technischen Schiffssystemen nahe maritimer Infrastrukturen oder Untiefen.
- Typ II: Ein Fahrzeug unterlässt eine notwendige Kursänderung an einem Wegpunkt und kollidiert daher mit einem Hindernis.

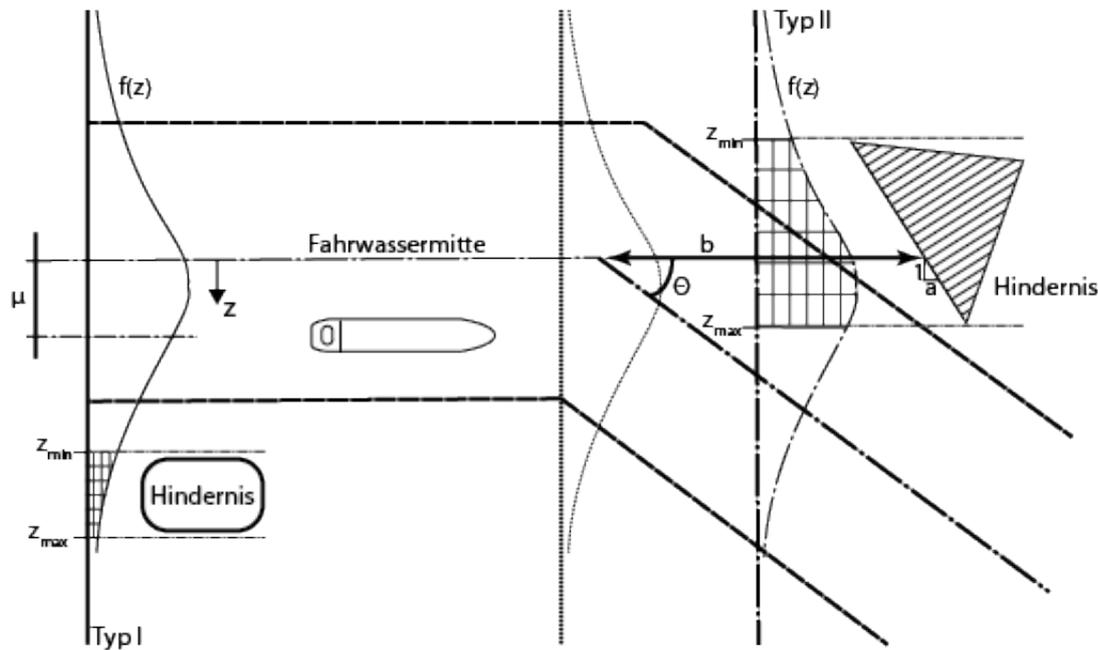


Abbildung 16: Schiff-Objekt-Kollisionen (Eigene Abbildung in Anlehnung an IALA 2012)

Wenn z_{min} und z_{max} den Abstand des Objekts vom Routenmittelpunkt bezeichnen, dann kann die Anzahl der Kollisionskandidaten des Typs I für alle Schiffsklassen i über die Integration der Verteilungsfunktion $f_i(z)$ bestimmt werden:

$$\begin{aligned}
 N_a^I &= \sum_i Q_i \int_{z_{min} - \frac{B_i}{2}}^{z_{max} + \frac{B_i}{2}} f_i(z) dz \\
 &\leq \sum_i Q_i \left\{ (1 - \alpha_1 - \beta_1) \left[\Phi \left(\frac{z_{max} + \frac{B_i}{2} - \mu_1}{\sigma_1} \right) - \Phi \left(\frac{z_{min} - \frac{B_i}{2} - \mu_1}{\sigma_1} \right) \right] \right. \\
 &\quad + \beta_1 \left[\Phi \left(\frac{z_{max} + \frac{B_i}{2} - \mu_2}{\sigma_2} \right) - \Phi \left(\frac{z_{min} - \frac{B_i}{2} - \mu_2}{\sigma_2} \right) \right] \\
 &\quad \left. + \alpha_1 \frac{\min \left(b_i, z_{max} + \frac{B_i}{2} \right) - \max \left(a_i, z_{min} - \frac{B_i}{2} \right)}{(b_i - a_i)} \right\}
 \end{aligned}$$

Für Typ II wird zusätzlich noch unterstellt, dass der wachhabende Offizier es versäumt, die Position zu überprüfen und deshalb an einem Wegpunkt ein notwendiges Manöver unterlassen wird. Es wird angenommen, dass dieser Tätigkeit ein Poissonprozess zugrunde gelegt werden kann, in welchem λ die mittlere Zeit zwischen zwei Positions-

checks kennzeichnet. Wenn sich das Hindernis in der Entfernung d vom Wendepunkt befindet, so kann die Anzahl der Kollisionskandidaten des Typs II bestimmt werden aus: Frequenzanalyse

$$N_a^{II} = \sum_i Q_i \cdot e^{-\frac{d}{\lambda \cdot v_i}} \cdot \int_{z_{min} - \frac{B_i}{2}}^{z_{max} + \frac{B_i}{2}} f_i(z) dz$$

Hierbei wird angenommen, dass die vordere Hinderniskante senkrecht zur ursprünglichen Fahrtrichtung steht. Ist die Kante, wie in Abbildung 16, nicht senkrecht zur ursprünglichen Fahrtrichtung, dann kann die Entfernung mithilfe einer linearen Funktion $d(z) = m \cdot z + t$ angenähert werden. So ergibt sich bei einer angenommenen Normalverteilung:

$$N_a^{II} = \sum_i Q_i \cdot e^{-\frac{m \cdot \sigma^2 - 2 \cdot \lambda \cdot v_i \cdot (m \cdot \mu + t)}{2 \cdot \lambda^2 \cdot v_i^2}} \cdot \left(\Phi \left(\frac{\lambda \cdot v_i \cdot \left(z_{max} + \frac{B_i}{2} - \mu \right) + m \cdot \sigma^2}{\sigma \cdot \lambda \cdot v_i} \right) - \Phi \left(\frac{\lambda \cdot v_i \cdot \left(z_{min} - \frac{B_i}{2} - \mu \right) + m \cdot \sigma^2}{\sigma \cdot \lambda \cdot v_i} \right) \right)$$

Bei Gleichverteilung gilt hingegen:

$$N_a^{II} = \sum_i -Q_i \cdot \frac{\lambda v_i}{a(b_1 - a_1)} \left(e^{-\frac{\min(z_{max} + \frac{B_i}{2}, b_1) + t}{\lambda v_i}} - e^{-\frac{\max(z_{min} - \frac{B_i}{2}, a_1) + t}{\lambda v_i}} \right)$$

Neben diesen beiden Typen tritt im Rahmen dieser Untersuchung noch der Sonderfall zeitweiliger Hindernisse H , wie auf Reede liegender Schiffe, auf (im folgenden Typ Ia genannt). Für diesen Fall wird eine Erweiterung der Frequenzmodelle aus (Pedersen 1995), (Fuji 1983) und (IALA 2012) vorgenommen, um den spezifischen Charakteristika einer Reede gerecht zu werden. Typ Ia stellt eine Mischung der Ansätze aus N_a^I und N_a^{front} dar und kann analog zu (Pedersen 1995) und (IALA 2012) hergeleitet werden.

Die Anzahl der Kollisionskandidaten N_a^{Ia} berechnet sich folglich aus der Wahrscheinlichkeit P_H , dass mindestens ein H existent ist, der durchschnittlichen Anzahl Q_H an H und der Wahrscheinlichkeit P_{koll} , dass das Schiff i auf Kollisionskurs mit H ist, wie folgt (Burmeister et al 2013):

$$N_a^{Ia} = \sum_i Q_i \cdot Q_H \cdot P_H \cdot P_{koll}$$

P_{koll} wird in Abhängigkeit der verwendeten Verteilungen wie beim Überholen bestimmt.

Tritt ein solches zeitweiliges Hindernis in einer Kurve auf, so liegt Typ IIa vor. Die Anzahl der Kollisionskandidaten N_a^{IIa} bestimmt sich in diesem Fall in Anlehnung an Typ Ia und Typ II wie folgt:

$$N_a^{IIa} = \sum_i Q_i \cdot Q_H \cdot e^{-\frac{d}{\lambda \cdot v_i}} \cdot P_H \cdot P_{koll}$$

Der dritte Kollisionstyp bestimmt Strandungen, die ausschließlich auf ein technisches Versagen zurückzuführen sind, welches zu einem Ausfall der Manövrierfähigkeit führt (sogenannter Blackout). Basierend auf der mittleren Anzahl an Blackouts $\lambda_i^{blackout}$ je Schiffstyp i je Jahr ergibt sich für eine definierte Route der Länge L_W eine Ausfallwahrscheinlichkeit von:

$$P_i^{blackout} = 1 - e^{-\lambda_i^{blackout} \cdot \frac{L_W}{v_i}}$$

Die Anzahl an driftenden Fahrzeugen wird entsprechend bestimmt durch:

$$N_a^{blackout} = \sum_i Q_i \cdot P_i^{blackout}$$

4.1.4 Bestimmung der Kollisionen

Um die Anzahl an Kollisionen zu bestimmen, müssen die jeweiligen ermittelten Kollisionskandidaten durch $N = P_C \cdot N_a$ bestimmt werden. P_C gibt dabei die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass aus einem Kollisionskandidaten eine Kollision resultiert, da Ausweichmanöver unterlassen werden, nicht durchgeführt werden können oder nicht erfolgreich sind.

Gefährdungstyp	Verursachungsfaktor
Frontalkollision	$0,5 \cdot 10^{-4}$
Überholkollision	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Kreuzungs-/Einfädelskollision	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Objektkollision	$1,6 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 4: Standardverursachungsfaktoren (Quelle: IALA 2012)

Die verwendeten Verursachungsfaktoren P_C variieren dabei je nach Seegebiet, Wetterbedingungen und vorhandenen Verkehrssicherheitsmaßnahmen (z.B. Verkehrstrennungsgebiet, VTS, Lotsen, etc.). Die Wahrscheinlichkeiten werden in Frequenzanalysen zumeist durch Fehlerbäume oder Bayessche Netze ermittelt. Basierend auf diesen Ergebnissen schlägt die IALA im Standardfall die Verursachungswahrscheinlichkeiten aus Tabelle 4 vor.

Verursachungsfaktoren sind aufgrund der geringen Datenlage kaum zu verifizieren und schwierig auf andere Gebiete und über lange Zeitabstände hinweg übertragbar. Im Rahmen einer relativen Risikobewertung, wie sie hier durchgeführt wird, ist der verwendete Verursachungsfaktor jedoch nicht entscheidend für die Risikoveränderung innerhalb eines Gefährdungstyps. Diese Veränderung wird lediglich durch die geometrischen Spezifika, die Schiffstypen und die Lateralverteilungen bestimmt. Der Verursachungsfaktor hingegen hat lediglich Einfluss auf die Verrechnung der Gefährdungstypen untereinander. Es reicht daher, wenn das Verhältnis der Faktoren untereinander stimmt, da sie bei relativen Risikoanalysen lediglich als „Gewichte“ der Kollisionskandidaten dienen.

Eine Abweichung von der generellen Kollisionsmodellierung stellt der Blackout dar. Hier wird die Kollisionsanzahl nicht über Verursachungsfaktoren modelliert, sondern

über die Reparatur- und Ankerwahrscheinlichkeit. (IALA 2012) schlägt hier erneut ein Vorgehen über die geometrischen Spezifikationen des Seeraumes vor, um das vorübergehende Driften von Fahrzeugen im freien Seeraum berücksichtigen zu können. Aufgrund des engen betrachteten Verkehrsraums sowie erwarteter kurzer Zeitabstände zwischen Blackout und Kollision, wird im Rahmen dieser Risikoanalyse ein vereinfachtes Vorgehen verwendet, da ein längerfristiges, kollisionsfreies Driften als sehr unwahrscheinlich angesehen wird (von Morgenstern 2012, S. 331–338). Es wird eine Modellierung auf Basis von Durchschnittszeiten verwendet, die sich jedoch an das Verfahren aus (IALA 2012) anlehnt.

Wenn \bar{t}_{koll} für die durchschnittliche Zeit zwischen einem Blackout und einer möglichen Kollisions- bzw. Strandungssituation steht und die Reparaturwahrscheinlichkeit als Weibullverteilung modelliert wird, so ergibt sich die Wahrscheinlichkeit für eine ge-
glückte Reparatur innerhalb dieser Zeit durch:

$$P_{Reparatur} = 1 - e^{-a \cdot \bar{t}_{koll}^b}$$

Unter Berücksichtigung, dass mit der Wahrscheinlichkeit von $P_{Notankerung}$ ein Anker-
manöver vor einer Kollision erfolgreich ist, ergibt sich die Anzahl an Blackout-
bedingten Kollisionen durch:

$$N^{blackout} = N_a^{blackout} \cdot (1 - P_{Reparatur}) \cdot (1 - P_{Notankerung})$$

(IALA 2012) unterstellt für die mittlere Reparaturdauer eine Stunde bei einer Stan-
dardabweichung von 1,13h. Daraus folgt für die Reparaturwahrscheinlichkeit innerhalb
der Zeit t :

$$P_{Reparatur}(t) = 1 - e^{-a \cdot t^b} = 1 - e^{-1,05 \cdot t^{0,9}}$$

4.2 Ist-Szenario 2008

Im Folgenden werden entsprechend der Gefährdungsanalyse aus Kapitel 3 die zuvor
beschriebenen Modelle für den Ist-Zustand ausgewählt und anhand der Ergebnisse der
Verkehrsraumanalyse aus Kapitel 2 parametrisiert. Basierend auf diesen Ergebnissen
kann das Ist-Szenario durch acht Submodelle beschrieben werden, wobei sich fünf
Modelle mit Schiff-Schiff-Kollisionen und drei Modelle mit Schiff-Objekt-
Kollisionen/Strandungen beschäftigen.

Die Gefahr, dass aus diesen Kollisionen Sekundärkollisionskandidaten resultieren, wird
nicht modelliert, da deren Anzahl auf Basis der unterstellten Verursachungswahrschein-
lichkeiten mindestens um den Faktor 10^{-4} geringer ist, als die Anzahl der Primärkollisi-
onskandidaten. Somit haben diese lediglich einen sehr geringen Einfluss auf die in Un-
fällen gemessene Eintrittswahrscheinlichkeit. Dies gilt ebenso für alle weiteren Szenari-
en.

4.2.1 IST01: Weserfahrwasser Tonne 58 – Fähranleger Blexen

In IST01 wird ein Teil des Risikos der Gefahr „Kollision Schiff/Schiff im Weser-
Fahrwasser – Durchgehender Verkehr“ aus Kapitel 3.2 bestimmt. Der Bereich des
Submodells IST01 erstreckt sich über das 1,3sm lange und 200m breite Weserfahrwas-
ser zwischen der Tonne 58 und dem Fähranleger Blexen (s. Abbildung 17). IST01 be-
stimmt dabei $N_a^{über}$ in diesem Bereich für die Routen R01 und R02 sowie N_a^{front} zwi-
schen R01 (KüG = 053,9°) und R02 (KüG = 233,9°) zwischen allen Schiffsklassen.

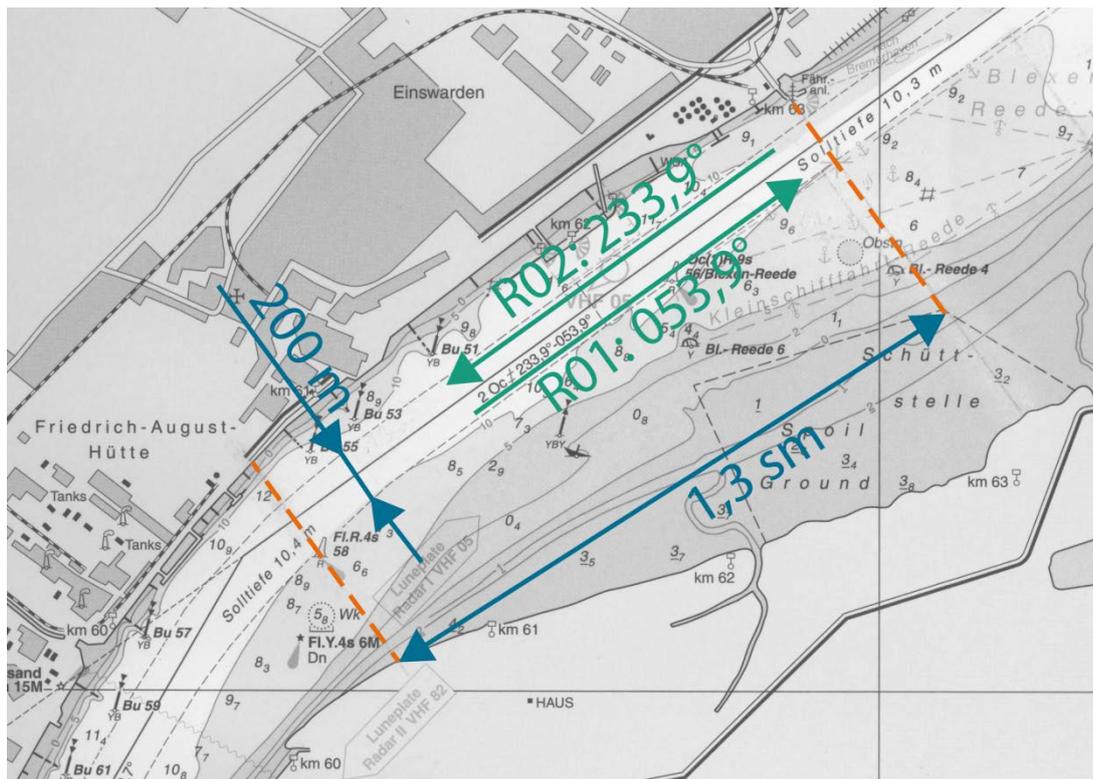


Abbildung 17: IST01

Es werden für Seeschiffe die Schiffsklassen aus (ISL 2010) sowie für die Binnenschiffe die Ergebnisse aus Kapitel 2.1.4 berücksichtigt. Für die Frequenzen werden die Schiffsbewegungen 2008 zwischen Bremerhaven und Nordenham zugrunde gelegt, wobei diese jeweils zur Hälfte auf beide Routen aufgeteilt werden. In 2008 sind die Gruppen *Chemiekalientanker* und *Öltanker* zur Gruppe *Tanker* aggregiert, da die Prognose für 2025 ebenfalls lediglich für Tanker gemacht wurde. Dabei wird für die Schiffsklassenbestimmung lediglich ein Intervall der Bruttoreaumzahl *BRZ* angegeben. Die *BRZ* bestimmt sich dabei aus dem Volumen *V* wie folgt:

$$BRZ = V \cdot (0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V)$$

(IALA 2012) weist basierend auf Llyods List die generellen Schiffscharakteristika Verhältnis Länge zu Breite ρ_{LBi} , Verhältnis Breite zu Seitenhöhe ρ_{BDi} , und der Geschwindigkeit v_i aus, aus welchen die Schiffsabmessungen der einzelnen Klassen abgeleitet werden können. Unter Berücksichtigung der mittleren Bruttoreumzahl \overline{BRZ}_i für jeden Schiffstyp *i* ergeben sich die Schiffsabmessungen mit Hilfe der Lambertschen W-Funktion *W()* wie folgt (s. Tabelle 5):

$$V_i = \frac{50 \cdot \overline{BRZ}_i \cdot \ln(10)}{W(5 \cdot 10^{11} \cdot \overline{BRZ}_i \cdot \ln(10))}$$

$$V_i = l_i \cdot b_i \cdot d_i$$

$$l_i = \sqrt[3]{V_i \cdot \rho_{BDi} \cdot \rho_{LBi}^2}$$

$$b_i = \frac{l_i}{\rho_{LBi}}$$

Schiffstyp	BRZ	Länge	Breite	Geschwindigkeit	Frequenz	Wegerecht	
Binnenschiff_1_Nord	0	500	50	5,9	7,0	122	
Binnenschiff_2_Nord	500	1500	67,5	7,9	7,5	392	
Binnenschiff_3_Nord	1500	3000	100	11,7	8,0	1858	
Binnenschiff_1_Süd	0	500	50	5,9	7,0	27	
Binnenschiff_2_Süd	500	1500	67,5	7,9	7,5	122	
Binnenschiff_3_Süd	1500	3000	100	11,7	8,0	392	
Autotransporter_1	0	500	40,0	9,7	9,5	0	
Autotransporter_3	10000	20000	150,2	27,1	16,5	2	X
Autotransporter_4	20000	30000	177,2	29,9	16,5	2	X
Autotransporter_6	40000	50000	214,4	32,0	16,5	15	X
Autotransporter_7	50000	100000	253,0	34,6	16,5	7	X
Bulk Carrier_1	0	1500	58,1	11,8	10,9	44	
Bulk Carrier_2	1500	3000	82,9	15,0	12,1	36	
Bulk Carrier_3	3000	10000	116,9	18,8	13,1	112	X
Bulk Carrier_4	10000	20000	153,2	24,6	14,3	82	X
Bulk Carrier_5	20000	30000	180,7	30,0	14,4	218	X
Bulk Carrier_6	30000	40000	201,6	30,1	14,5	68	X
Bulk Carrier_7	40000	50000	218,7	32,6	14,5	6	X
Bulk Carrier_8	50000	100000	258,0	42,9	14,2	1	X
Tanker_1	0	500	40,7	8,5	9,6	141	
Tanker_2	500	1500	63,6	11,1	11,2	167	
Tanker_3	1500	3000	82,7	13,9	12,7	108	
Tanker_4	3000	10000	116,6	18,7	13,1	107	X
Tanker_5	10000	20000	152,8	26,9	14,7	52	X
Tanker_6	20000	30000	180,3	30,2	14,9	10	X
Tanker_7	30000	50000	209,9	31,3	14,9	0	X
Containerschiffe_1	0	3000	75,0	13,8	12,5	10	
Containerschiffe_2	3000	10000	120,5	20,0	16,3	47	X
Containerschiffe_3	10000	20000	157,9	25,9	16,5	5	X
Containerschiffe_4	20000	30000	186,4	29,4	16,5	2	X
Fahrgastschiffe/Fähre_1	0	500	43,6	11,1	16,5	34	
Fahrgastschiffe/Fähre_2	500	1500	68,2	14,9	14,1	4	
Fahrgastschiffe/Fähre_5	10000	20000	163,8	26,2	16,5	2	X
Gastanker_1	0	10000	105,0	17,1	14,9	1	X
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_1	0	500	30,9	9,1	13,1	156	
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_2	500	1500	48,3	14,2	13,1	7	
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_3	1500	3000	62,8	14,5	13,0	3	
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_4	3000	10000	88,5	18,9	13,9	1	
RoRo-Schiffe_2	3000	10000	114,6	20,1	16,5	59	X
RoRo-Schiffe_3	10000	20000	150,2	27,1	16,5	58	X
RoRo-Schiffe_4	20000	30000	177,2	29,9	16,5	1	X
RoRo-Schiffe_7	50000	100000	253,0	34,6	16,5	1	X
Sonstige Seeschiffe_1	0	500	36,4	10,1	14,2	22	
Sonstige Seeschiffe_2	500	1500	57,0	13,6	13,3	4	
Sonstige Seeschiffe_3	1500	3000	74,0	17,7	13,3	6	
Sonstige Seeschiffe_4	3000	10000	104,4	24,0	16,2	0	X
Sonstige Seeschiffe_5	10000	25000	143,8	26,0	13,8	0	X
Spezialfahrzeuge_1	0	500	37,2	11,0	13,1	548	
Spezialfahrzeuge_2	500	1500	58,2	13,4	13,0	26	
Spezialfahrzeuge_3	1500	3000	75,6	16,2	13,9	17	
Spezialfahrzeuge_4	3000	10000	106,6	20,3	13,7	9	X
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_1	0	500	40,8	8,4	10,0	50	
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_2	500	1500	63,8	11,4	11,0	415	
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_3	1500	3000	82,9	13,9	12,3	1338	
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_4	3000	10000	116,8	21,0	13,3	564	X
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_5	10000	20000	153,1	24,1	15,6	55	X
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_6	20000	30000	180,7	29,1	15,7	64	X
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_7	30000	40000	201,5	30,9	15,8	31	X

Tabelle 5: Schiffsklassen IST01

Die Verteilung der Schiffspositionen des jetzigen Verkehrsraums ist bereits in Kapitel 2.3 analysiert worden. Abbildung 18 zeigt die gemessene Verteilung als Histogramm und die dazu geschätzten Verteilungsfunktionen als gestrichelte schwarze Linie. Aufgrund der Flächenauswertung berücksichtigt die Verteilungsfunktion variierende Schiffsbahnen durch Wind-, Strom- und hydrodynamische Effekte. Eine Korrektur der Antennenposition ist ebenfalls enthalten. Ein Abgleich mit mehreren Radarplots von Binnenschiffen wurde getätigt, sodass eine Übertragung dieser Verteilungen auch auf die Binnenschiffe Anwendung finden konnte.

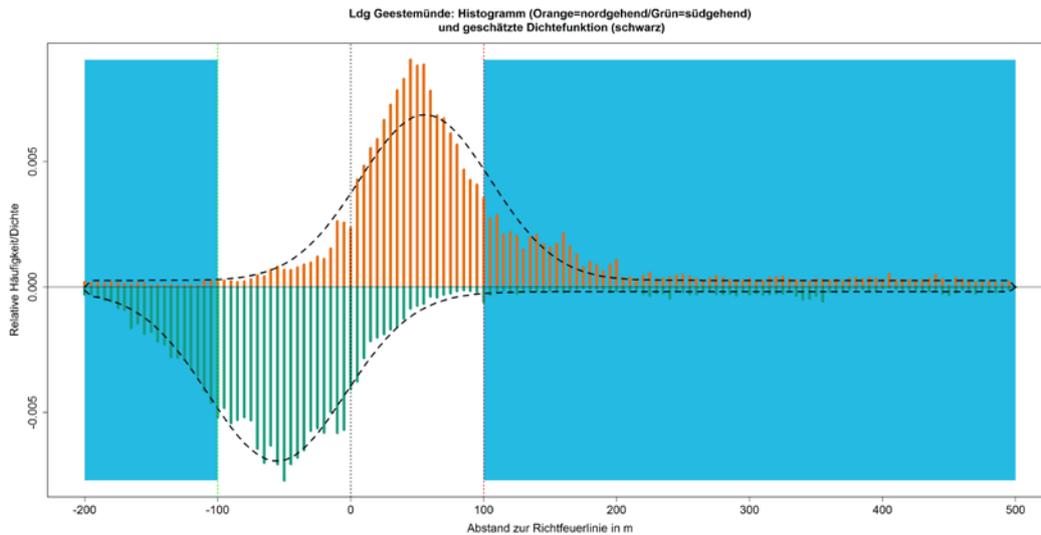


Abbildung 18: Bahnverläufe für See- und Binnenschiffe auf R01-R04

Die genauen Verteilungen lauten (s.Kapitel 2.3):

- Für die Route R01 (basierend auf 20.709 AIS-Messages):

$$f_{R01}(x) = 0,8184 \cdot f_N(x; \mu = 55,88, \sigma = 49,32) + 0,1816 \cdot f_{Uni}(x; a = -198,49, b = 498,49)$$
- Für die Route R02 (basierend auf 21.368 AIS-Messages):

$$f_{R02}(x) = 0,8691 \cdot f_N(x; \mu = 55,63, \sigma = 51,35) + 0,1309 \cdot f_{Uni}(x; a = -498,31, b = 199,11)$$

4.2.2 IST02: Weserfahrwasser Fähranleger Blexen – Tonne 59

IST02 bestimmt den zweiten Risikoanteil der Gefahr „Kollision Schiff/Schiff im Weser-Fahrwasser – Durchgehender Verkehr“ aus Kapitel 3.2. Der Bereich des Submodells IST02 erstreckt sich auf das 2,2sm lange und 200 bis 300m breite Weserfahrwasser zwischen dem Fähranleger *Blexen* und der Tonne 59 (s. Abbildung 17). Dieses kann unterteilt werden in drei Abschnitte, die Routenpaare R03-R04, R05-R06 und R07-R08, deren geometrische Abmessungen in Abbildung 20 gegeben sind.

IST02 bestimmt $N_a^{über}$ in diesem Bereich für alle Routen sowie N_a^{front} für alle Routenpaare. Begegnungen und Überholvorgänge zwischen Wegerechtsschiffen untereinander werden aufgrund des bestehenden Begegnungs- und Überholverbotes nicht modelliert. Dies betrifft die Klassen *Autotransporter 3-7*, *Bulk Carrier 4-8*, *Tanker 5-7*, *Containerschiffe 3-4*, *RoRo-Schiffe 3-7* und *Mehrzweckschiffe 5-7*.

Für die Schiffsklassen werden auf allen Routen die Klassen aus Modell IST01 verwendet (s. Tabelle 5). Für die Routen R03, R04, R05 und R06 wird zudem noch der Fährverkehr *Bremerhaven-Blexen* ergänzt. Basierend auf dem Fahrplan der Weserfähre ergeben sich 12259 Fahrten je Richtung und Jahr (Weserfähre 2012). Im Schnitt sind die Weserfähren 57,5m lang und 13,05m breit.

Für R03 und R04 werden dieselben Verteilungen wie in IST01 genutzt. Für die beiden anderen Abschnitte des Blexen Bogens lautet die in Kapitel 2.3 ermittelte Verteilung (s. Abbildung 21 und Abbildung 22):

- Für Route R05 (basierend auf 9.515 AIS-Messages):
 $f_{R05}(x) = 0,9658 \cdot f_N(x; \mu = 139,30, \sigma = 102,92) + 0,0342 \cdot f_{Uni}(x; a = -288,09, b = 388,09)$
- Für Route R06 (basierend auf 10.073 AIS-Messages):
 $f_{R06}(x) = 0,8740 \cdot f_N(x; \mu = -74,63, \sigma = 60,73) + 0,1260 \cdot f_{Uni}(x; a = -297,96, b = 397,96)$
- Für Route R07 (basierend auf 12.254 AIS-Messages):
 $f_{R07}(x) = 0,4706 \cdot f_N(x; \mu = 106,63, \sigma = 65,71) + 0,3573 \cdot f_N(x; \mu = 241,11, \sigma = 39,65) + 0,1721 \cdot f_{Uni}(x; a = -258,75, b = 292,74)$
- Für Route R08 (basierend auf 13.782 AIS-Messages):
 $f_{R08}(x) = 0,6601 \cdot f_N(x; \mu = 89,80, \sigma = 54,80) + 0,1166 \cdot f_N(x; \mu = -281,78, \sigma = 19,52) + 0,2233 \cdot f_{Uni}(x; a = -268,53, b = 168,71)$

Wie in Abbildung 22 ersichtlich, ist für die Bahnverläufe auf R07 und R08 eine dreiteilige Verteilung notwendig, um die südgehenden Abbieger gen Fischereihafen, sowie die nordgehenden Abbieger gen Kaiserschleuse zu modellieren.

Zusätzlich wird auf den Abschnitten R05 und R06 dem Umstand Rechnung getragen, dass die Fahrzeuge durch die Kurvenfahrt mit einem gewissen Vorhaltewinkel fahren und die effektive Kollisionsbreite in Fahrinnenrichtung somit erhöht ist. Eine Analyse der in Kapitel 2.3 verwendeten AIS-Daten zeigt für die beiden Routen größtenteils einen Vorhaltewinkel von bis zu 10° auf (s. Abbildung 19). Im Mittel verdoppelt sich bei 10° für die gegebenen Schiffstypen die effektive Kollisionsbreite, weshalb B_i und B_j bei R05 und R06 mit dem Faktor 2 skaliert werden.

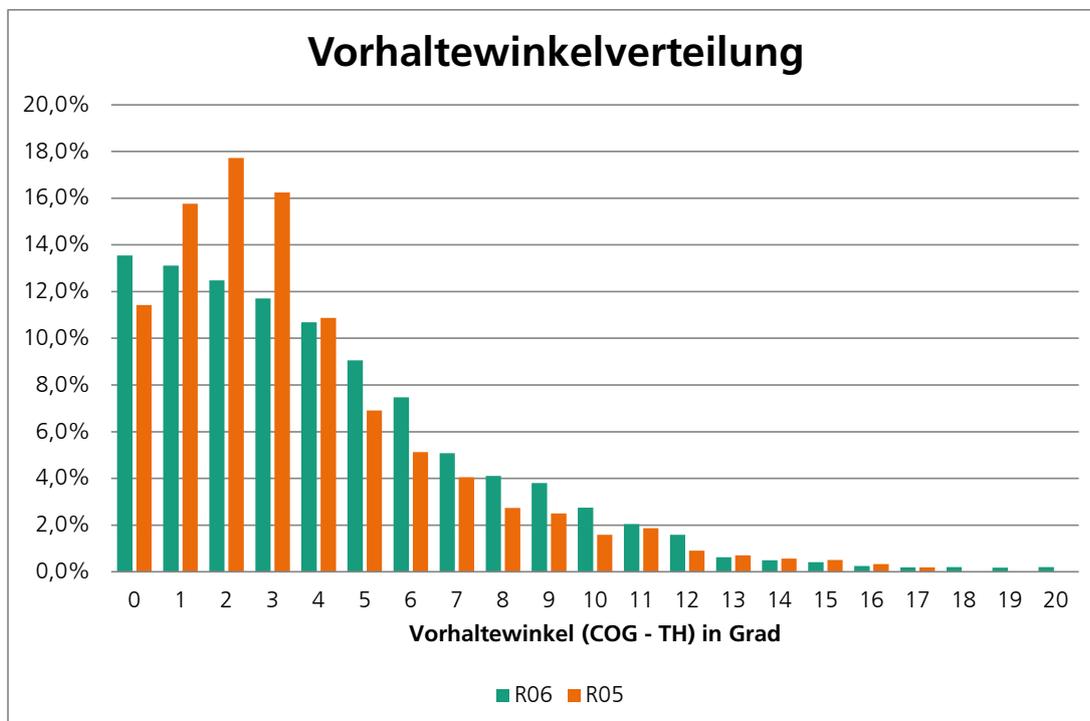


Abbildung 19: Verteilung Vorhaltewinkel

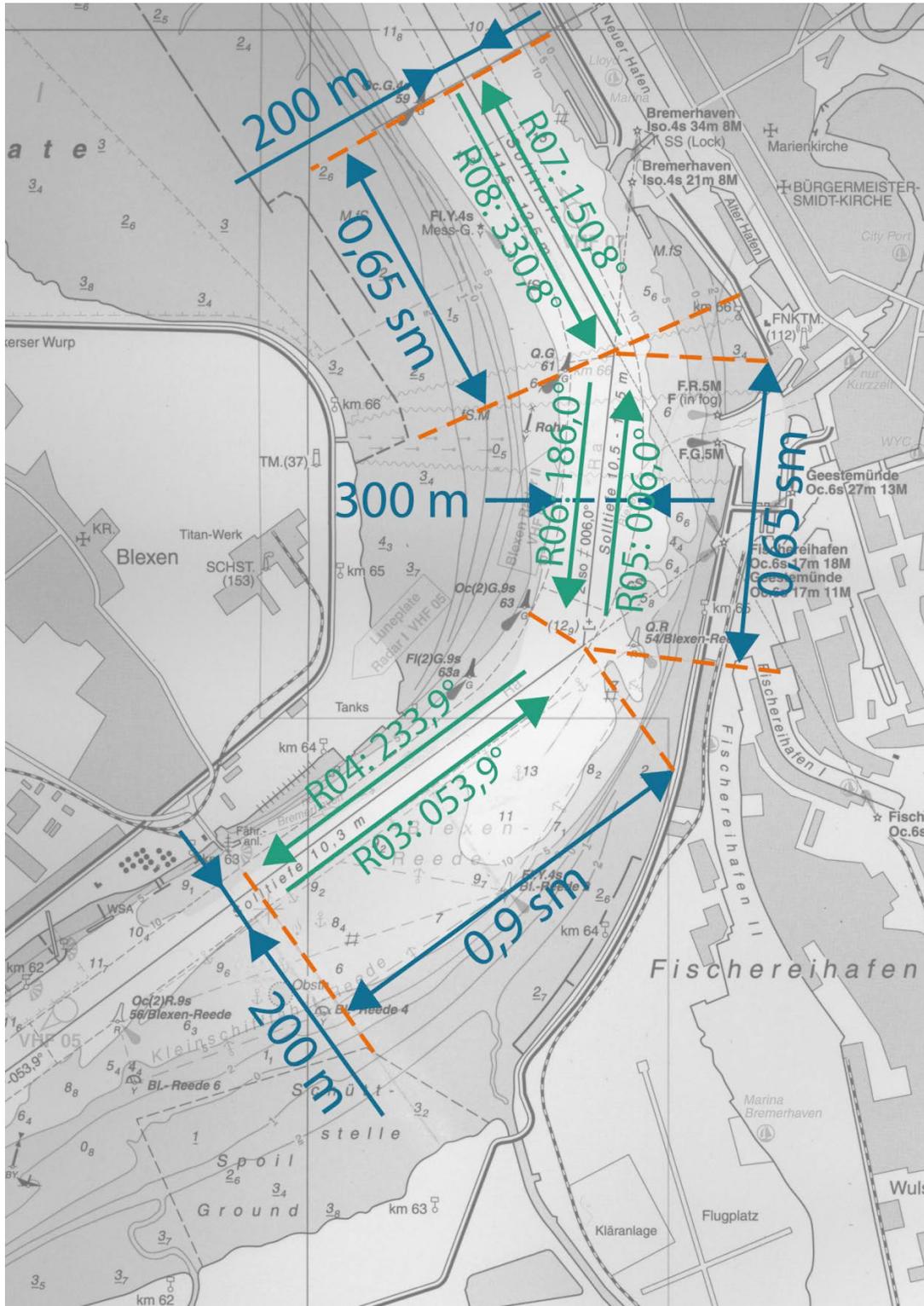


Abbildung 20: IST02

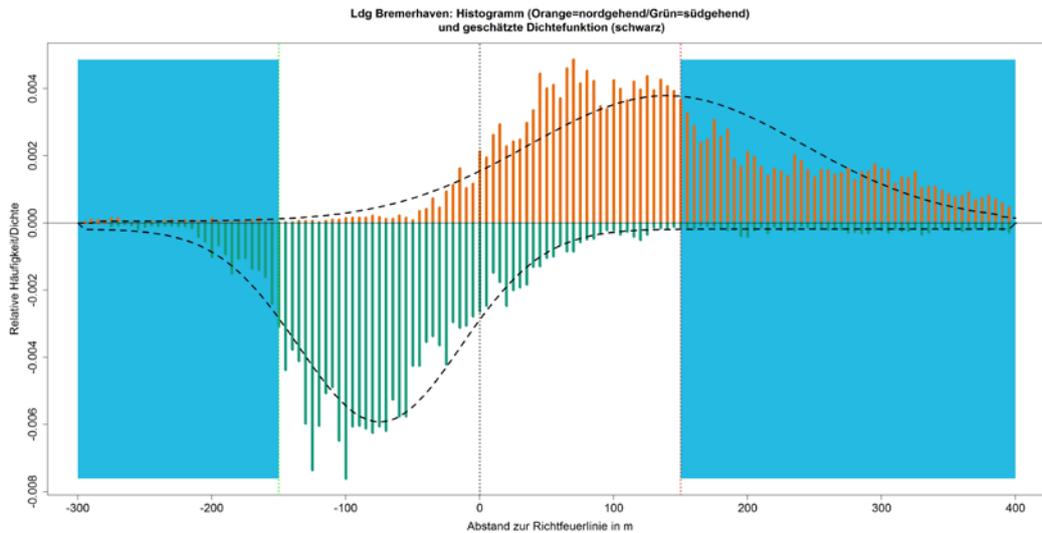


Abbildung 21: Bahnverläufe für See- und Binnenschiffe auf R05-R06

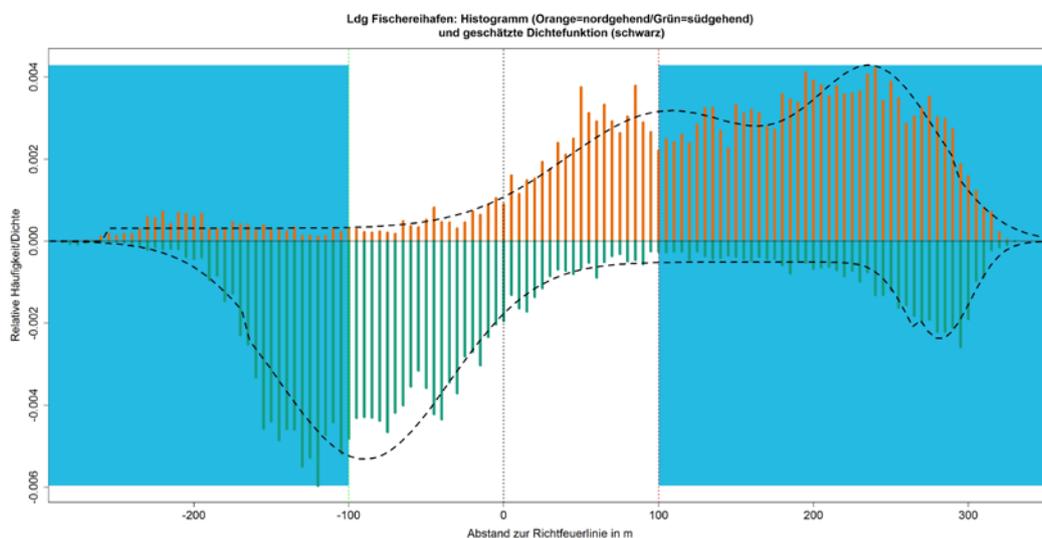


Abbildung 22: Bahnverläufe für See- und Binnenschiffe auf R07-R08

4.2.3 IST03: Einfädelung Fähranleger Blexen

IST03 bestimmt einen von drei Risikoanteilen der Gefahr „Kollision Schiff/Schiff im Weser-Fahrwasser – Kreuzender/Einfädelnder Verkehr“ aus Kapitel 3.2. IST03 modelliert das Ein- und Ausfädeln der Weserfähre am Fähranleger Blexen. Für die Zufahrt zum Anleger wird ein KüG von 270° unterstellt und für das Ablegen ein KüG von 090°. Für das Weserfahrwasser gelten die Spezifika von R03 und R04 aus IST02 (s. Abbildung 23).

Kollisionskandidaten beim Ein- und Ausfädeln werden mit Hilfe des Modells kreuzender Routen bestimmt. IST03 bestimmt N_a^{kreuz} zwischen R09 und R03 sowie R09 und R04. Für R10 wird unterstellt, dass es beim Ausfädeln zu keinen Kollisionskandidaten kommt, da man sich vorher schon im Fahrwasser befand und keine Fahrspur kreuzt. Es wird ebenfalls unterstellt, dass es zwischen R10 und R09 aufgrund der Kürze zu keinen Überhol- oder Begegnungssituationen kommt.

Auf R03 und R04 verkehrt jeweils der Verkehr aus IST01 (ohne die Verkehre der Weserfähre). R10 und R09 wird von der Weserfähre genutzt, wie in IST02 spezifiziert. Frequenzanalyse

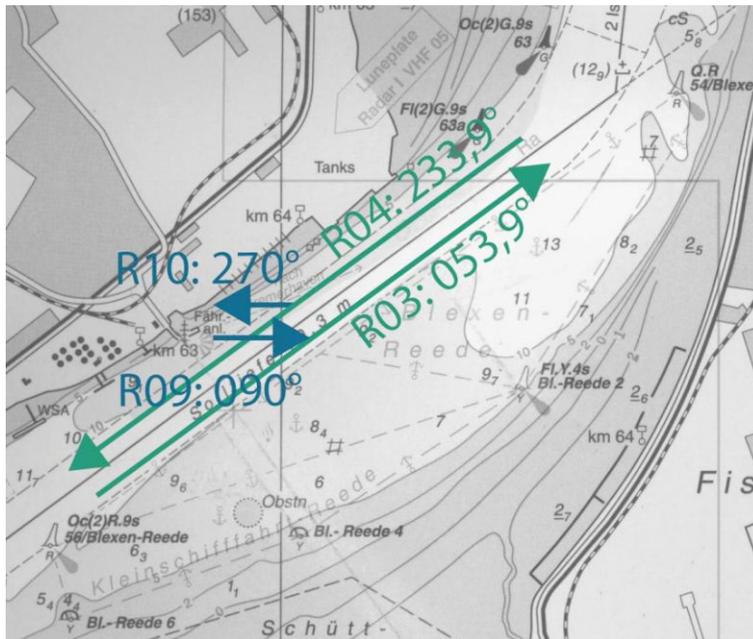


Abbildung 23: IST03

4.2.4 IST04: Einfädung Geestemünde

IST04 betrachtet ebenfalls die Gefahr „Kollision Schiff/Schiff im Weser-Fahrwasser – Kreuzender/Einfädler der Verkehr“ aus Kapitel 3.2. In IST04 werden die Kollisionskandidaten bestimmt, die aus dem Ein- und Ausfädeln zwischen Schiffen im Weserfahrwasser und der Zufahrt zur Geestemünde resultieren. Dies schließt die Verkehre der Weserfähre sowie des Lotsenversetzers mit ein. R11 kennzeichnet dabei die Route von der Geestemünde-Hafeneinfahrt zum nordgehenden Teil des Weserfahrwassers R05, R12 diejenige zum südgehenden Teil R06. R13 ist die Hafenzufahrt für von See kommende Schiffe und R14 die Hafenzufahrt für von Bremen kommende Fahrzeuge. Als Richtlinie für die Hafenzufahrten R11-R14 wird ein KüG von 090° bzw. 270° angenommen. R05 und R06 entsprechen der Spezifikation aus IST02. Begegnungen von Wegerechtschiffen werden ausgeschlossen.

IST04 bestimmt N_a^{kreuz} für auslaufende Schiffe zwischen R11 und R05, R11 und R06 sowie R12 und R05. Für einlaufende Schiffe wird N_a^{kreuz} lediglich zwischen R13 und R05 bestimmt, da hier der entgegenkommende Verkehr gekreuzt wird. Für die anderen einlaufenden Schiffe wird wie in IST03 unterstellt, dass es beim Ausfädeln zu keinen Kollisionen kommt. Ebenso werden erneut Begegnungs- und Überholkollisionen zwischen R11, R12, R13 und R14 aufgrund der kurzen Wegstrecke gleich Null gesetzt. Kollisionen zwischen Wegerechtsschiffen sind ausgeschlossen.

Auf R05 und R06 verkehren die Schiffe entsprechend IST01. Auf R11 und R14 verkehrt die Weserfähre. Der Lotsenversetzer verkehrt auf R11 und R13, da er stets einmal komplett das Fahrwasser kreuzt. Der zumeist verwendete Lotsenversetzer *Kapitän Stoewahse* hat eine Länge von 25,4m und eine Breite von 4,2m bei einer Geschwindigkeit von 10,5kn (Shipspotting.com). Nach Auskunft des Lotsenbetriebsvereins (Corcilus 2012) wurden 5972 Einsätze im Jahr 2011 unternommen. Da keine Zahlen für das Referenzjahr 2008 übermittelt wurden, wird von derselben Anzahl in 2008 ausgegangen.

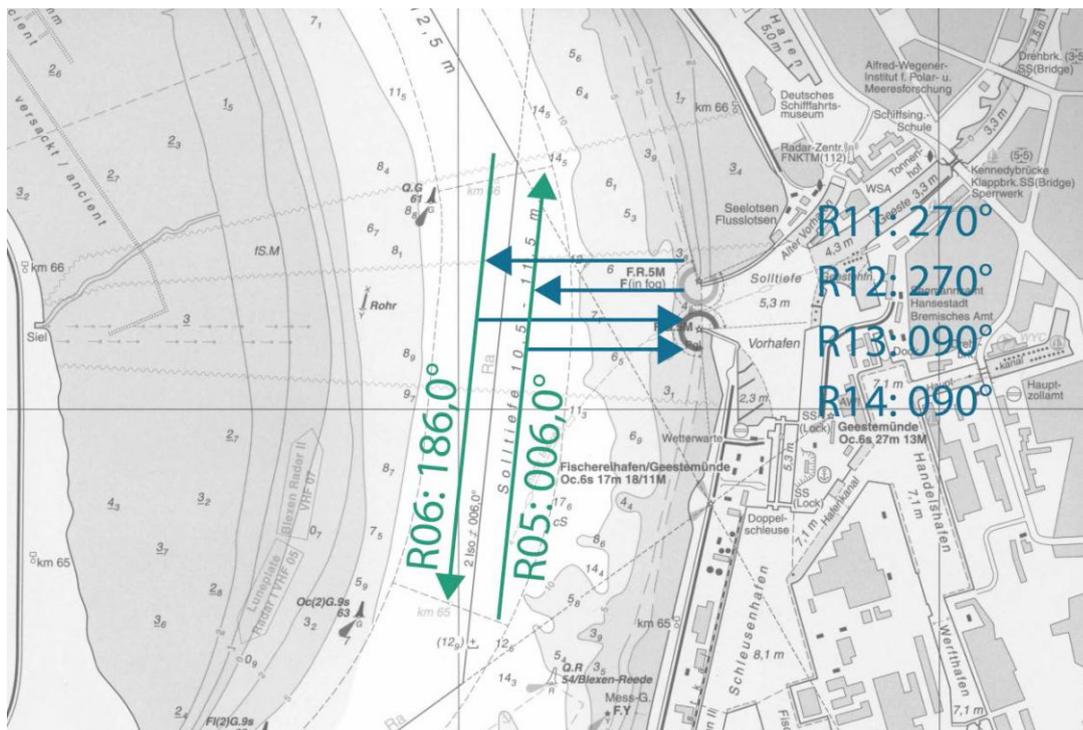


Abbildung 24: IST04

4.2.5 IST05: Einfädelung Blexen-Reede

IST05 ist das Submodell, das den letzten Anteil des Risikos der Gefahr „Kollision Schiff/Schiff im Weser-Fahrwasser – Kreuzender/Einfädelnder Verkehr“ aus Kapitel 3.2 bestimmt. In IST05 werden Kollisionen betrachtet, die durch Zu- und Abfahrt im Zusammenhang mit der bestehenden *Blexen-Reede* geschehen (s. Abbildung 25). Von See kommend wird eine Fahrt über R15/R16 (KüG 020°/200°) angenommen und von Bremen aus über R17/R18 (KüG 270°/090°). R03 und R04 entsprechen der Spezifikation aus IST02.

Für von See kommende bzw. nach See gehende Schiffe wird N_a^{kreuz} zwischen R16 und R03 sowie R15 und R03 bestimmt. Richtung Bremen wird N_a^{kreuz} für die Paarungen R17/R03 und R17/R04 bestimmt. Für die Ausfädelung über R18 wird analog zu vorher keine Kollisionsmöglichkeit unterstellt. Begegnungen zwischen Wegerechtschiffen sind nur bei der Westausfahrt möglich.

Auf R03 und R04 fahren wie zuvor die in IST02 spezifizierten Schiffe. Für die Kollisionskandidaten mit R17 und R18 verkehrt auf R03 und R04 allerdings nicht die Weserfähre. Für die Schiffsverkehre auf R15-R18 wird auf die Ergebnisse aus (ISL 2011) sowie (ISL 2012) zurückgegriffen. Im Schnitt wurde von 2002-2010 die Reede von 415 Schiffen pro Jahr genutzt, darunter 100-mal pro Jahr durch Schiffe mit über 100m Länge, welche den nördlichen Teil der Reede nutzen müssen. Für diesen Schiffstyp wurden die maximalen Schiffsabmessungen für den nördlichen Teil unterstellt. Für die restlichen 315 Schiffe gibt es keine spezifischeren Angaben. Um eine konservative Schätzung zu erreichen wird unterstellt, dass im ungünstigsten Fall alle Schiffe die Größe der maximalen Schiffsabmessungen des mittleren Reedeteils haben, welche über denen der Kleinschiffahrt liege. Zwecks der Zu- und Abfahrtsrouten wurden die Anläufe aufgrund der getätigten Untersuchung in (ISL 2011) entsprechend Tabelle 6 aufgeteilt.

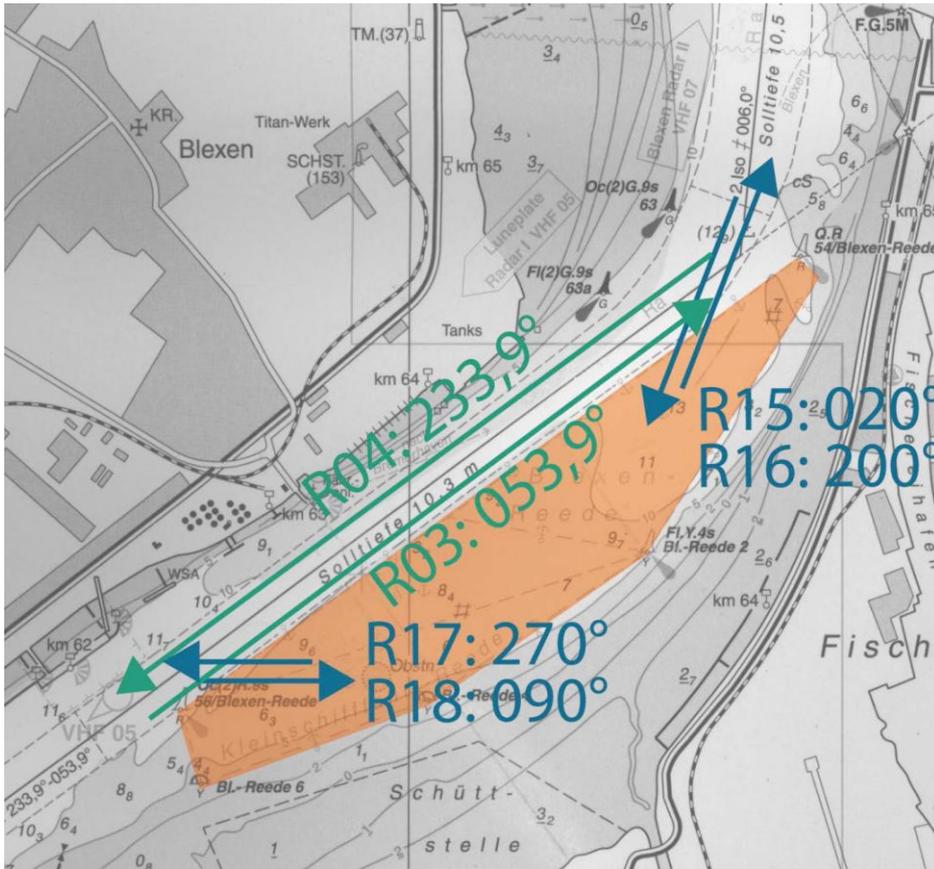


Abbildung 25: IST05

Typ	Länge	Breite	Tiefgang	Geschwind.
LüA>100m	120 m	20 m	8 m	8 kn
LüA<100m	80 m	16 m	6,5 m	8 kn

		Aktuelle Blexen-Reede			
		Anfahrt über		Abfahrt über	
Typ	Anzahl	R16 (von See)	R18 (von HB)	R15 (gen See)	R17 (gen HB)
		81%	19%	26%	74%
LüA>100m	100	81	19	26	74
LüA<100m	315	255	60	81	234

Tabelle 6: Schiffsklassen Blexen Reede

Bei IST06 handelt es sich um das erste Submodell zur Schiff-Objekt Kollision. Es betrachtet die Gefahr „Kollision Schiff/Schiff auf Blexen Reede“. Es werden Typ Ia Kollisionskandidaten N_a^{Ia} zwischen Schiffen, die im Weserfahrwasser fahren, und auf Reede liegenden Schiffen bestimmt. Die *Blexen-Reede* grenzt dabei direkt an das 200m breite Weserfahrwasser an, in welchem R03 und R04 verlaufen. Die Reede selbst ist 0,25sm breit.

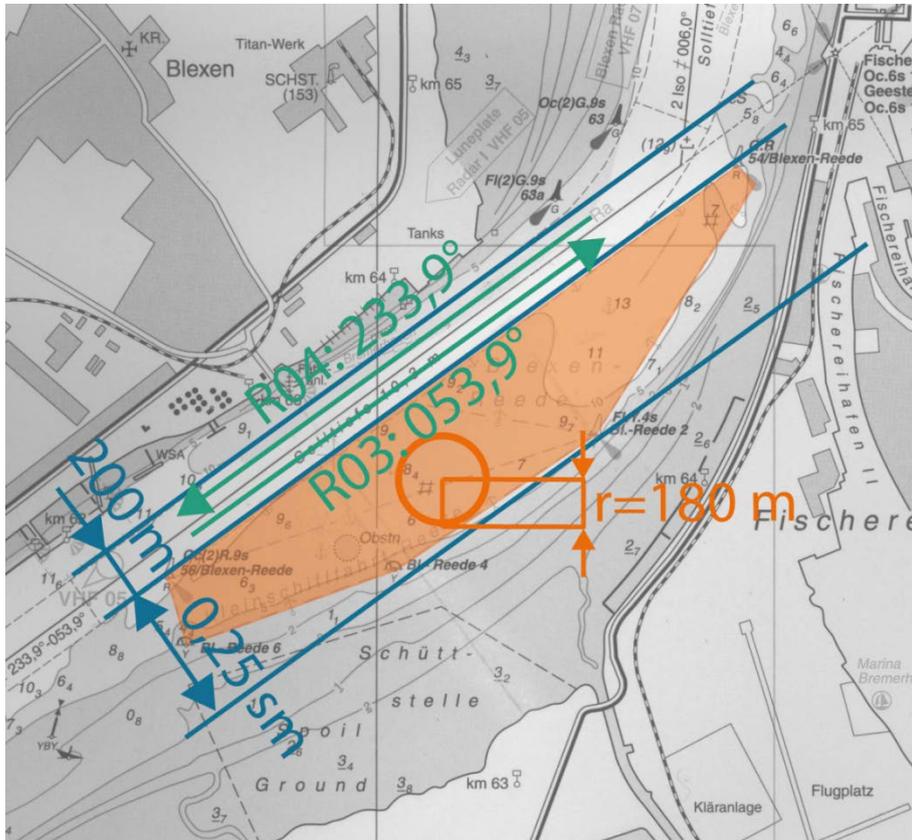


Abbildung 26: IST06

N_a^{Ia} wird jeweils zwischen R03 und Blexen-Reede sowie R04 und *Blexen-Reede* bestimmt. Basierend auf der empirischen Untersuchung in (ISL 2011, S. 13–14), welche auf Daten der WSA Bremerhaven aufbaut, wird ein Belegungsgrad von 53% angenommen. D.h., dass die Reede in 47% der Zeit nicht belegt ist und daher keine Kollisionen stattfinden. Wenn die Reede belegt ist, so liegen im Schnitt 1,57 Schiffe dort.

Die Hindernisgröße wird während der Tidekenterung aufgrund des in (ISL 2011, S. 18–19) genannten Schwjokreisradius auf 180m festgesetzt. Eine Analyse der AIS-Daten zeigt, dass die Schiffe zu über 75% der Zeit mit $\pm 30^\circ$ zur Stromrichtung schwöjen. Während der Tidekenterung schwöjen sie zumeist über Süden, bis sie erneut entlang der neuen Stromrichtung liegen. Abbildung 27 zeigt die AIS-Analyse der Ankerpositionsverteilungen. Die Ankerposition wird daher entsprechend folgender Funktion modelliert, basierend auf 3.641 AIS-Messages:

$$f_{BR}(x) = 0,1056 \cdot f_N(x; \mu = 288,84, \sigma = 65,11) + 0,3912 \cdot f_N(x; \mu = 395,89, \sigma = 35,05) + 0,5032 \cdot f_{Uni}(x; a = 197,33, b = 400,01)$$

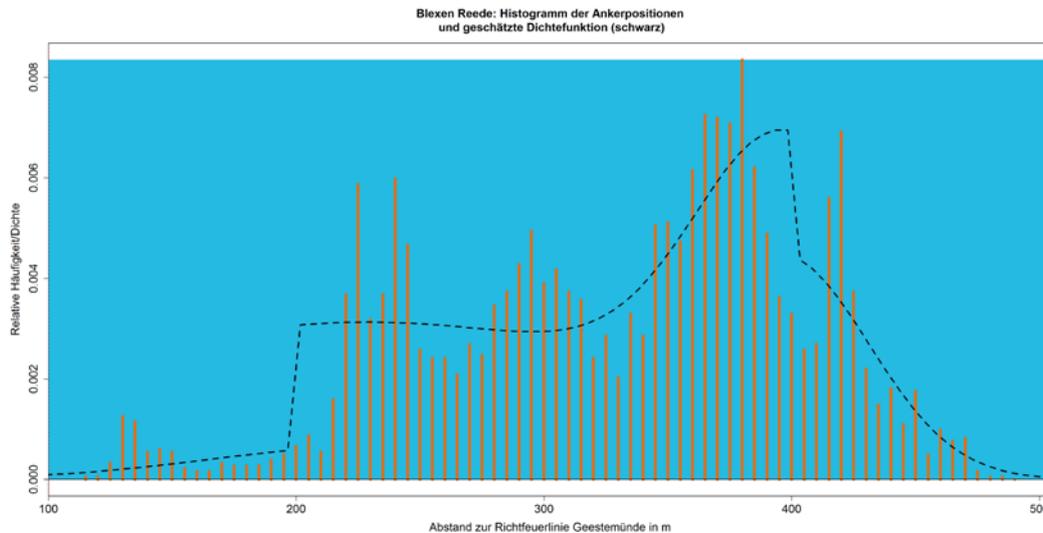


Abbildung 27: Blexen Reede Ankerposition

4.2.7 IST07: Kursänderungspunkte Blexen Bogen¹

Im Rahmen dieses Submodells werden die Kollisionen abgeschätzt, welche durch eine versäumte Kursänderung in der Kurve des *Blexen Bogens* zu einer Kollision mit auf dem Nordteil der *Blexen Reede* liegenden Schiffen oder zu einer Strandung am Westufer führen. Dieses Submodell betrachtet die Gefahr „Kollision Schiff/Schiff auf Blexen Reede“, aber auch die Gefahr einer Strandung am Weserostufer, welche aus einem zu späten Abbiegen resultiert.

Am Wendepunkt zwischen den Tonnen 63 und 54/*Blexen Reede* wird N_a^{IIa} zwischen R06 und dem Nordteil der *Blexen-Reede* sowie N_a^{II} zwischen R06 und dem Uferbereich bestimmt, sowie für R03 und den Uferbereich. N_a^{IIa} wird nicht zwischen R03 und *Blexen-Reede* bestimmt, da diese Kollisionskandidaten vor dem Abbiegen entstehen und bereits in IST06 erfasst sind. Zudem wird am Wendepunkt auf Höhe der Tonne 61 N_a^{II} für R05 und R08 mit dem Weserostufer bestimmt.

Für den Nordteil der *Blexen-Reede* wird unterstellt, dass die Schiffe dort 600m vom Wendepunkt entfernt liegen und analog zu IST07 eine Ausdehnung auf Basis ihres Schwójkreises von 127m besitzen. Ihre Position wird durch die Normalverteilung $N(120; 45)$ angenähert. Der Belegungsgrad des Nordteils entspricht mit 53% dem der gesamten *Blexen Reede*, da unterstellt wird, dass Fahrzeuge vorzugsweise im Tiefwasserbereich anker. Es wird zudem angenommen, dass immer nur ein Schiff dort vor Anker liegt (s. Abbildung 28).

¹ Alle geometrischen Beziehungen für die Submodelle IST07, UA07 und OTB07 wurden anhand der zur Verfügung gestellten ENC bestimmt, welche bereits den planfestgestellten Zustand nach Weseranpassung berücksichtigt. Wie später noch erläutert wird, hat die geringe Verschwenkung des Fahrwassers lediglich einen geringen Einfluss auf die geometrischen Beziehungen. Aufgrund dieses geringen Einflusses und der Tatsache, dass die Hinderniskanten ohnehin nur näherungsweise bestimmt werden können, wird die geringe Veränderung durch die Weseranpassung nicht speziell modelliert.



Abbildung 28: IST07 – Reedeliege Blexen Nord

47% der Kollisionskandidaten durchfahren eine unbelegte Reede, sodass deren erstes Hindernis das Ostufer darstellt. Die Hindernisgrenze wird im Westen auf $z_{max} = 250$ begrenzt, da weiter an Backbord fahrende Schiffe bereits zuvor auf Höhe der Tonne 61 auf der *Blexer Plate* gestrandet wären (s. Abbildung 29). Zudem wird aufgrund der Revierfahrt und der besonderen nautischen Verhältnissen im Gegensatz zu (IALA 2012) angenommen, dass eine Positionskontrolle im Mittel alle 15s und nicht alle 180s erfolgt. Auf R06 verkehren dabei die in IST02 beschriebenen Schiffsklassen. Auf Basis dieser Annahmen kann das Hindernis beschrieben werden von $z_{min} = -295$ bis $z_{max} = 250$ durch:

$$d_{OU}^{R06}(z) = \begin{cases} 2,07 \cdot z + 705 & \forall z \leq 0 \\ 1,28 \cdot z + 705 & \forall z > 0 \end{cases}$$

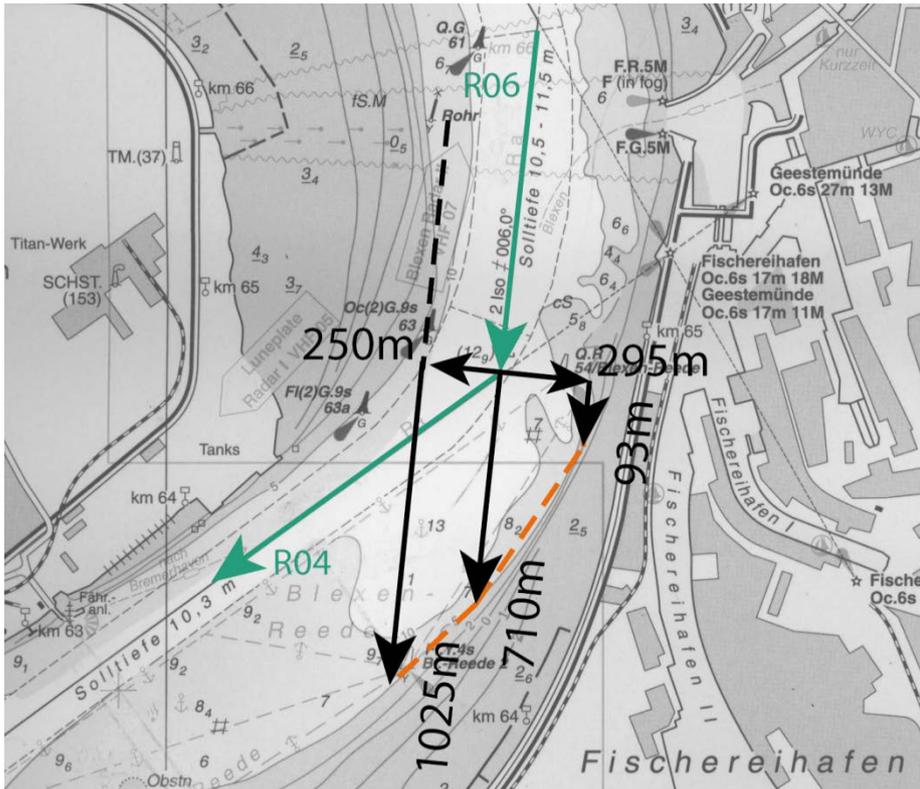


Abbildung 29: IST07 – Strandung Weserostufer R06-R04

Das Uferstück, welches für R03 eine Gefahr darstellt, wird auf seiner gesamten Breite von $z_{min} = -235$ bis $z_{max} = 330$ durch $d_{OU}^{R03}(z) = -1,22 \cdot z + 403$ beschrieben (s. Abbildung 30).

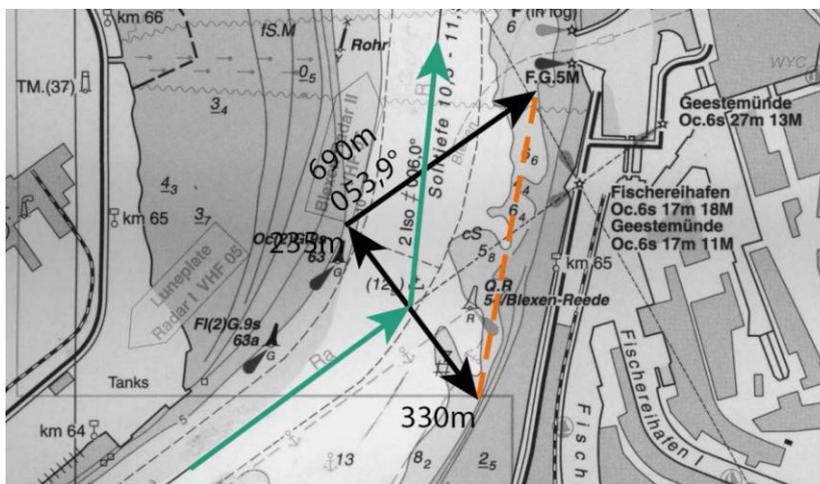


Abbildung 30: IST07 – Strandung Weserostufer R03-R05

Für R05 gilt hingegen von $z_{min} = -250$ bis $z_{max} = 320$ (s. Abbildung 31):

$$d_{OU}^{R05}(z) = \begin{cases} -1,30 \cdot z + 575 & \forall z \leq 0 \\ -1,80 \cdot z + 575 & \forall z > 0 \end{cases}$$

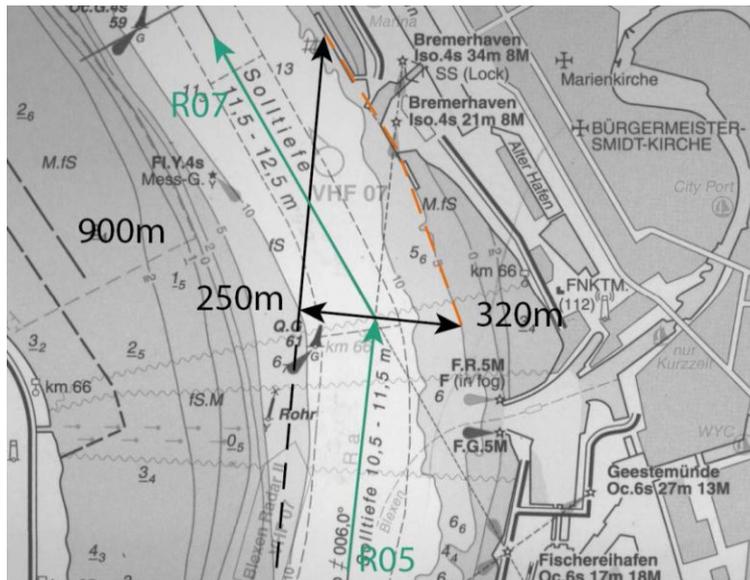


Abbildung 31: IST07 – Strandung Weserostufer R05-R07

Bei R08 gilt zwischen $z_{min} = -295$ und $z_{max} = 270$ (s. Abbildung 32):

$$d_{OU}^{R08}(z) = \begin{cases} 4,07 \cdot z + 1120 & \forall z \leq -275 \\ 0,50 \cdot z + 620 & \forall -275 < z \leq 0 \\ 1,33 \cdot z + 620 & \forall z > 0 \end{cases}$$

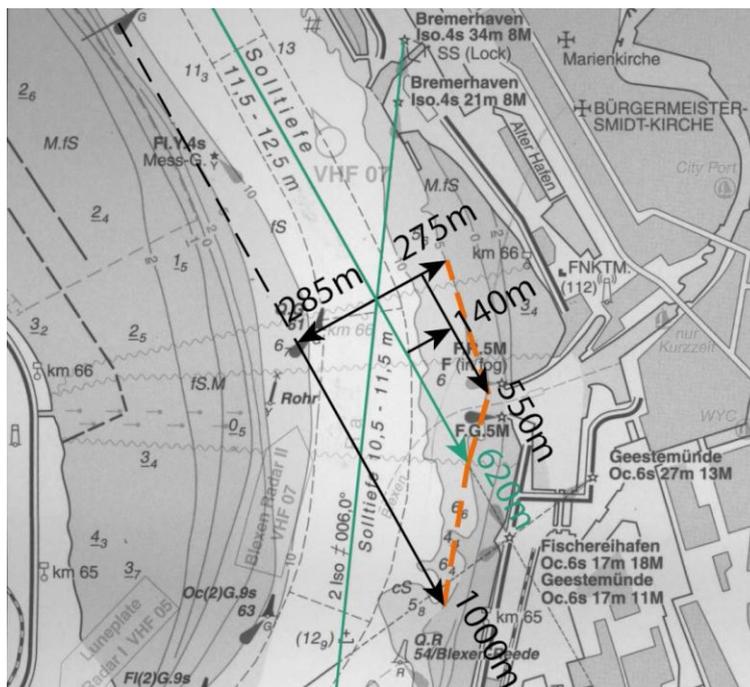


Abbildung 32: IST07 – Strandung Weserostufer R08-R06

IST08 modelliert den Blackout der Schiffe aus IST01 und IST02, die auf den Routen R01-R08 unterwegs sind. Es werden speziell die Grundberührungen/Strandungen bestimmt, die auf die Gefahr eines technischen Versagens zurückzuführen sind. Es ist nicht auszuschließen, dass die Modelle IST01 bis IST07 keine Kollisionen enthalten, in denen ein technisches Versagen schlussendlich zum Unfall geführt hat. In diesem Submodell wird allerdings unterstellt, dass die Kollisionssituation erst durch einen technischen Defekt zustande kam, beispielsweise durch Driften nach einem Blackout, und nicht durch die zuvor gewählte Bahnführung.

Die Frequenz eines Blackout, wird dabei entsprechend (IALA 2012) mit 0,1 Blackoutereignissen pro Jahr und Schiff für die Fähren und den Lotsenversetzer angesetzt. Für die restlichen Schiffe wird eine Frequenz von 0,75 Blackouts pro Schiff und Jahr angenommen.

Für die durchschnittliche Zeit zwischen Blackout und Kollision wird auf die Ergebnisse von (von Morgenstern 2012, S. 331–338) zurückgegriffen, welche dort 8,5 Minuten beträgt. Der Bau des OTB verändert zwar die Uferlinie und die Stromverhältnisse, jedoch ist dies nach (BAW 2011) so gering, dass diese Veränderung kaum Auswirkung auf die beschriebene Durchschnittszeit haben wird. Entsprechend der Reparaturzeitverteilung aus (IALA 2012) ergibt sich eine Reparaturwahrscheinlichkeit von 16,5%. Basierend auf einer Analyse der Unfallberichte in (WSV 2010) wird unterstellt, dass in 63% der Fälle eine Notankerung erfolgreich ist und eine Kollision verhindern kann.

4.3 Szenario Weser 2025 ohne OTB (Unterlassungsalternative)

Dieses Szenario betrachtet das Risiko im Jahre 2025 unter der Prämisse, dass das OTB nicht realisiert wird. Es wird angenommen, dass bis dahin die planfestgestellte Weseranpassung realisiert worden ist, wodurch sich die geometrischen Beziehungen jedoch lediglich geringfügig verändern. Die geringe Verschwenkung wird in den meisten Fällen keinen oder nur einen geringen Einfluss auf die Bestimmung der Kollisionskandidaten haben, sodass dieses Detail nicht separat modelliert wird. Für die laterale Schiffsverteilung wird somit angenommen, dass diese sich parallel zur Fahrwasserverschwenkung verschiebt.

4.3.1 UA01: Weserfahrwasser Tonne 58 – Fähranleger Blexen

Das Submodell UA01 entspricht geometrisch IST01. Für die Schiffsklassen wird eine Frequenz entsprechend der Prognose von (ISL 2010) unterstellt (s. Tabelle 7).

Aufgrund der geplanten Kaje an der Dillinger Hütte werden basierend auf den Angaben von (Kraus 2012) zusätzlich noch 78 Verkehre des Typs „Binnenschiff_2“ auf R01 und R02 ergänzt, wobei diese auf R01 die Bahn der Seeschiffe nutzen.

Schiffstyp	BRZ	Länge	Breite	Geschwindigkeit	Frequenz	Wegerecht	
Binnenschiff_1_Nord	0	500	50,0	5,9	7,0	122	
Binnenschiff_2_Nord	500	1500	67,5	7,9	7,5	392	
Binnenschiff_3_Nord	1500	3000	100,0	11,7	8,0	1858	
Binnenschiff_1_Süd	0	500	50	5,9	7,0	122	
Binnenschiff_2_Süd	500	1500	67,5	7,9	7,5	392	
Binnenschiff_3_Süd	1500	3000	100	11,7	8,0	1858	
Autotransporter_6	40000	50000	214,4	32,0	16,5	11	X
Autotransporter_7	50000	100000	253,0	34,6	16,5	11	X
Bulk Carrier_1	0	1500	58,1	11,8	10,9	25	
Bulk Carrier_2	1500	3000	82,9	15,0	12,1	30	
Bulk Carrier_3	3000	10000	116,9	18,8	13,1	65	X
Bulk Carrier_4	10000	20000	153,2	24,6	14,3	135	X
Bulk Carrier_5	20000	30000	180,7	30,0	14,4	242,5	X
Bulk Carrier_6	30000	40000	201,6	30,1	14,5	80	X
Bulk Carrier_7	40000	50000	218,7	32,6	14,5	20	X
Bulk Carrier_8	50000	100000	258,0	42,9	14,2	5	X
Tanker_1	0	500	40,7	8,5	9,6	125	
Tanker_2	500	1500	63,6	11,1	11,2	150	
Tanker_3	1500	3000	82,7	13,9	12,7	110	
Tanker_4	3000	10000	116,6	18,7	13,1	140	X
Tanker_5	10000	20000	152,8	26,9	14,7	65	X
Tanker_6	20000	30000	180,3	30,2	14,9	11	X
Tanker_7	30000	50000	209,9	31,3	14,9	1	X
Containerschiffe_1	0	3000	75,0	13,8	12,5	5	
Containerschiffe_2	3000	10000	120,5	20,0	16,3	45	X
Containerschiffe_3	10000	20000	157,9	25,9	16,5	20	X
Containerschiffe_4	20000	30000	186,4	29,4	16,5	5	X
Fahrgastschiffe/Fähre_1	0	500	43,6	11,1	16,5	60	
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_1	0	500	30,9	9,1	13,1	175	
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_2	500	1500	48,3	14,2	13,1	10	
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_3	1500	3000	62,8	14,5	13,0	3	
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_4	3000	10000	88,5	18,9	13,9	3	
RoRo-Schiffe_1	0	3000	71,3	15,8	9,9	60	
RoRo-Schiffe_2	3000	10000	114,6	20,1	16,5	30	X
RoRo-Schiffe_3	10000	20000	150,2	27,1	16,5	30	X
RoRo-Schiffe_4	20000	30000	177,2	29,9	16,5	60	X
Sonstige Seeschiffe_1	0	500	36,4	10,1	14,2	30	
Sonstige Seeschiffe_2	500	1500	57,0	13,6	13,3	3	
Sonstige Seeschiffe_3	1500	3000	74,0	17,7	13,3	5	
Sonstige Seeschiffe_4	3000	10000	104,4	24,0	16,2	3	X
Sonstige Seeschiffe_5	10000	25000	143,8	26,0	13,8	1	X
Spezialfahrzeuge_1	0	500	37,2	11,0	13,1	650	
Spezialfahrzeuge_2	500	1500	58,2	13,4	13,0	20	
Spezialfahrzeuge_3	1500	3000	75,6	16,2	13,9	10	
Spezialfahrzeuge_4	3000	10000	106,6	20,3	13,7	25	X
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_2	500	1500	63,8	11,4	11,0	250	
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_3	1500	3000	82,9	13,9	12,3	1150	
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_4	3000	10000	116,8	21,0	13,3	550	X
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_5	10000	20000	153,1	24,1	15,6	65	X
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_6	20000	30000	180,7	29,1	15,7	50	X
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_7	30000	40000	201,5	30,9	15,8	40	X

Tabelle 7: Weser 2025

4.3.2 UA02: Weserfahrwasser Fähranleger Blexen – Tonne 59

Es gilt IST02 mit den Verkehrszahlen aus UA01. Für die Weserfähre werden konstante Werte gegenüber IST02 angenommen. Aufgrund der geplanten Kaje an der Dillinger Hütte werden basierend auf den Angaben von (Kraus 2012) zusätzlich noch 60 Verkehre des Typs „Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_4“ ergänzt.

4.3.3 UA03: Einfädelung Fähranleger Blexen

UA03 entspricht IST03 mit den Verkehrszahlen aus UA01 und UA02.

4.3.4 UA04: Einfädelung Geestemünde

UA04 entspricht IST04 mit den Verkehrszahlen aus UA01 und UA02. Für den Lotsenversetzer wird das geordnete Schiff der Baureihe *ORC 190* mit 19,6m Länge und 6,3m Breite anstatt der *Kapitän Stoewahse* verwendet (Bernard Shipyards). Es wird eine mittlere Geschwindigkeit von 15kn angenommen.

4.3.5 UA05: Einfädelung Blexen-Reede

UA05 entspricht IST05 mit den Verkehrszahlen aus UA01 und UA02. Für die Verkehre von/zu Blexen Reede werden konstante Werte angenommen. Es wird zunächst weiterhin unterstellt, dass auch Schiffe über 100m die Reede nutzen können, um Vergleichbarkeit mit dem IST-Szenario zu gewährleisten.

4.3.6 UA06: Kollision mit auf Blexen Reede liegenden Schiffen

UA05 entspricht IST05 mit den Verkehrszahlen aus UA01 ergänzt um die Binnenschiffsverkehre der Dillinger Hütte.

4.3.7 UA07: Kursänderungspunkte Blexen Bogen

UA06 entspricht IST06 mit den Verkehrszahlen aus UA02 ergänzt um die Seeverkehre der Dillinger Hütte.

4.3.8 UA08: Kollisionen durch Ausfall der Schiffsmaschine

UA08 entspricht IST08 mit den Verkehrszahlen aus UA01 und UA02 ergänzt um die Verkehre der Dillinger Hütte.

4.4 Szenario Weser 2025 mit OTB

Im dritten Szenario wird davon ausgegangen, dass das OTB entsprechend dem in Kapitel 2.2 beschriebenen Planungsstandes realisiert wird.

4.4.1 OTB01: Weserfahrwasser Tonne 58 – Fähranleger Blexen

Das Submodell entspricht UA01, da (Froese 2012) keine zusätzlichen Schiffsverkehre des OTB- von/nach Bremen ausweist.

4.4.2 OTB02: Weserfahrwasser Fähranleger Blexen – Tonne 59

OTB02 entspricht im Prinzip UA02. Für R05 bis R08 werden jedoch noch die Schiffsverkehre des OTB von/nach See ergänzt. Nach (Froese 2012, S. 1) sind 53 Abfahrten pro Jahr von Jack-up-Schiffen und 53 Abfahrten pro Jahr von Gründungskörperschleppverbänden (Barge+Schlepper) geplant.

(von Morgenstern 2012, S. 405) unterstellt für die Offshore-Bargen eine Länge von 100m und 44m Breite. Für den betrachteten Verkehrsraum wird angenommen, dass die Barge in diesem Bereich bereits mit zwei Schleppern verbunden ist: Einer am Bug und einer am Heck (vgl. auch Deutsche Offshore-Testfeld und Infrastruktur GmbH & Co. KG 2008). Unterstellt man jeweils einen Schlepper von 40m Länge und 10m Breite sowie aufgrund der notwendigen Manövrierbarkeit in diesem Bereich eine kurze Schleppleinlänge von 50m (Hensen 2003, S. 107–109), so ergibt sich ein Schleppverband mit 280m Länge und 44m Breite. Es wird eine Geschwindigkeit über Grund von 6kn angenommen.

Das untersuchte Jack-up-Schiff ist 147,5m lang und 42m breit (Froese 2012, S. 1; HGO 2012). Für den Offshorebereich wird in Zukunft ein Rotordurchmesser von mindestens 150m erwartet (EWEA 2011, S. 9). Dies entspricht liegend einer effektiven Breite von 112,5m bei Vollsterntansporten. Es ist allerdings davon auszugehen, dass diese Transporte in Bremerhaven die Ausnahme darstellen werden. Für diese Untersuchung wird daher unterstellt, dass die Rotorblätter innerhalb der maximalen Schiffsabmessungen transportiert werden. Im Bereich des Blexen Bogens wird für die Jack-up-Schiffe eine Geschwindigkeit über Grund von 9kn unterstellt.

4.4.3 OTB03: Einfädelung Fähranleger Blexen

Das Submodell entspricht UA03, da (Froese 2012) keine zusätzlichen Schiffsverkehre des OTB- von/nach Bremen ausweist.

4.4.4 OTB04: Einfädelung Geestemünde

Das Submodell entspricht UA04, ergänzt um die Schiffsverkehre des OTB- von/nach See (siehe OTB02).

4.4.5 OTB05: Einfädelung Blexen-Reede

Durch den ausgewiesenen Ansteuerungsbereich des OTB fällt der nördliche Teil der Reede weg. Zudem sorgt er für eine spätere Zufahrtsmöglichkeit zur Blexen-Reede für von See kommende Fahrzeuge, was ein späteres Abbiegen erfordert. Es wird daher unterstellt, dass R19 und R20 nun einen KüG von 000° bzw. 020° haben (s. Abbildung 33). Es müssen dementsprechend nun N_a^{kreuz} für R20 und R03 sowie R19 und R03 bestimmt werden (ohne Wegerechtsschiffkollisionen). Die Paarungen R17/R04 und R17/R03 bleiben bestehen.

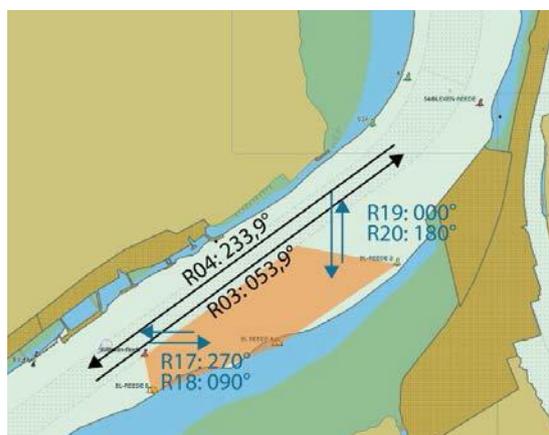


Abbildung 33: OTB05 - Kleine Blexen Reede

Als Ersatz ist eine Dalbenreihe 85m neben dem Fahrwasser weseraufwärts geplant (s. Abbildung 34). Es wird unterstellt, dass die Schiffe stets mit dem Bug in Richtung Bremerhaven festmachen. Dementsprechend müssen die Schiffe von/nach R01 im Fahrwasser wenden. N_a^{kreuz} wird bestimmt für R01/R22, R01/R23, R01/R24 sowie R02/R23. Auf R01-R04 verkehren dabei die Schiffstypen aus UA5.

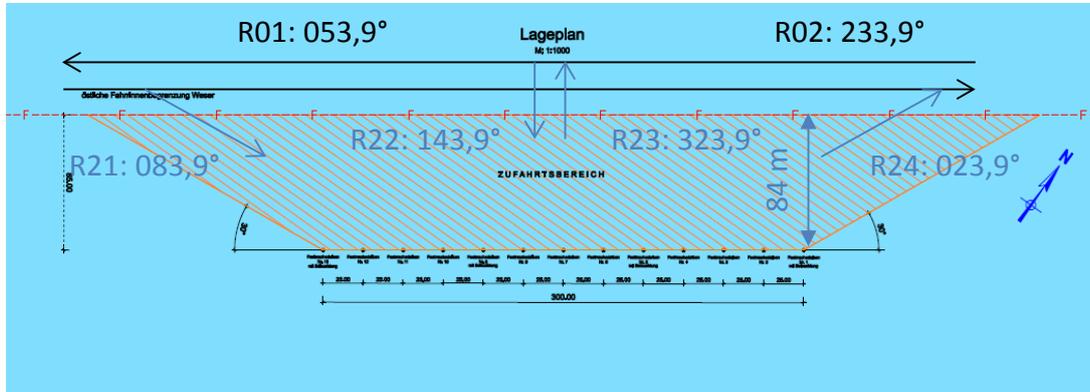


Abbildung 34: Ersatzreedefläche

Es wird unterstellt, dass insgesamt dieselbe Anzahl an Schiffen wie in IST05 die Reede bzw. die Dalbenreihe aufsuchen wird. Alle Schiffe von über 100m Länge müssen aufgrund der kleineren Reedefläche die Dalben nutzen. Für die kleineren Schiffe wird unterstellt, dass diese aufgrund des einfacheren Manövers die Reede bevorzugen. Lediglich im Falle, dass zwei Schiffe auf Reede liegen, werden diese neuen Schiffe auf die Dalben ausweichen. Geht man davon aus, dass der Bedarf derselben Verteilung wie von 2002-2010 entspricht und lediglich ein Schiff von über 100m Länge gleichzeitig vorhanden ist, so ergibt sich entsprechend Tabelle 8 eine Nutzung der kleineren Reede in 40,9% der Zeit mit durchschnittlich 1,38 Schiffen. Die Dalben sind hingegen zu 24,6% der Zeit durch mindestens ein Schiff belegt.

Aufgrund der Ergebnisse aus Tabelle 8 und der durchschnittlichen Liegezeit von 17,7h Stunden pro Schiff sind neben den 100 großen Schiffen noch 36 Schiffe mit einer Länge unter 100m an den Dalben zu erwarten. Dies sind 11,4% aller Schiffe mit einer Gesamtlänge von unter 100m. Bei einer konstanten Verteilung der Schiffsherkünfte und -ziele gegenüber IST05 ergeben sich die Verkehre für OTB05 entsprechend Tabelle 9.

Reedeleger/a	415
Großschiffe 2002-2010 / a	100
Kleinschiffe 2002-2010 / a	315

Situation 2002-2010									
Anzahl Reedeleger	0	1	2	3	4	5	6	7	
Zeitanteil	46,7%	32,9%	13,5%	4,8%	1,6%	0,5%	0,1%	0,0%	100%
Zeit [h]	4089,9	2882,8	1181,5	420,9	136,6	40,1	12,4	1,1	8765,3
Zeit[h]/Reedeleger									17,7
#Reedeleger/Jahr	0,0	163,0	133,6	71,4	30,9	11,3	4,2	0,4	415
Durchschnittliche #Schiffe/Reede									1,57

Situation OTB									
Anzahl Schiffe LüA<100m auf Reede/Dalben	0	1	2	3	4	5	6	7	
Zeit [h] mit festgemachtem Schiff LüA>100	1090,2	446,8	159,2	51,6	15,2	4,7	0,4	0,0	1768,1
Dalben fahrwasserseitig belegt	1	1	1	0	0	0	0	0	19,4%
Dalben beidseitig belegt	0	0	0	1	1	1	1	1	0,8%
Zeit [h] ohne festgemachtes Schiff LüA>100	4089,9	1792,6	734,7	261,7	84,9	25,0	7,7	0,7	6997,2
Dalben fahrwasserseitig belegt	0	0	0	1	1	0	0	0	4,0%
Dalben beidseitig belegt	0	0	0	0	0	1	1	1	0,4%
Reede belegt	0	1	1	1	1	1	1	1	40,9%
Durchschnittliche #Schiffe/Reede									1,38

Tabelle 8: Herleitung Dalbennutzung²

Verkleinerte Blexen-Reede					
Typ	Anzahl	Anfahrt über		Abfahrt über	
		R20 (von See)	R18 (von HB)	R19 (gen See)	R17 (gen HB)
		81%	19%	26%	74%
LüA>100m	0	0	0	0	0
LüA<100m	279	226	53	71	208

Dalbenreihe					
Typ	Anzahl	Anfahrt über		Abfahrt über	
		R22 (von See)	R21 (von HB)	R24 (gen See)	R23 (gen HB)
		81%	19%	26%	74%
LüA>100m	100	81	19	26	74
LüA<100m	36	29	7	9	27

Tabelle 9: Schiffsklassen Blexen Reede und Dalbenreihe 2025

² Anmerkung: 8765,3 Stunden pro Jahr entspricht der Durchschnittsstundenzahl pro Jahr unter Berücksichtigung von zwei Schaltjahren

4.4.6 OTB06: Kollision mit auf Blexen Reede liegenden Schiffen

Die Dalben der Ersatzreedee stellen ein Hindernis des Typ I dar, welches entsprechend der Abmessungen aus Abbildung 34 zusätzlich modelliert werden muss. Aus Tabelle 8 ist ersichtlich, dass die Dalben zu 19,6% der Zeit mit mindestens einem Schiff von 20m Breite auf der dem Fahrwasser zugewandten Seite belegt sind. In 0,8% der Fälle liegt gleichzeitig auch noch mindestens ein kleines Schiff mit 16m Breite auf der dem Fahrwasser abgewandten Seite. Zu 4,0% liegt mindestens ein kleines Schiff fahrwasserseitig sowie zu 0,4% der Zeit mindestens ein kleines Schiff auf beiden Seiten der Dalbenreihe.

OTB06 berechnet dementsprechend N_a^I zwischen R01 und R02 mit der Dalbenreihe sowie einem etwaigen dort liegenden Schiff. Dieses Submodell bildet daher das Risiko der neuen Gefahr „Schiff / Schiff, Dalbenreihe“ aus Kapitel 3.2 ab.

Für die verkleinerte Blexen-Reede gilt, dass sich die unterstellte Hindernisgröße eines Schiffs auf 145m bzw. 39,2m reduziert und ein Belegungsgrad von lediglich 40,9% angenommen wird. Bei Belegung sind im Schnitt 1,38 Schiffe auf der Reede.

4.4.7 OTB07: Kursänderungspunkte Blexen Bogen

Durch das OTB fällt der Nordteil der Blexen Reede weg. Da der nun genutzte Teil der Reede westlich der Tonne *Blexen-Reede 2* und damit nicht innerhalb der Kurve liegt, wird kein N_a^{IIa} bei OTB07 bestimmt. Statt am Ufer zu stranden, erfolgt nun in den meisten Fällen eine Kollision mit der OTB-Pier. Die Hinderniskante der OTB-Pier kann entsprechend der Dimensionen in Abbildung 35 von $z_{min} = -295$ bis $z_{max} = 250$ beschrieben werden durch:

$$d_{OTB}^{R06}(z) = \begin{cases} 1,53 \cdot z + 545 & \forall z \leq 55 \\ 1,28 \cdot z + 705 & \forall z > 55 \end{cases}$$

Für den Fall, dass am OTB Schiffe festgemacht sind, verschiebt sich die Hinderniskante auf $d_{OTB-LP}(z) = 1,53 \cdot z + 473$. In OTB07 wird N_a^{II} für die Kollisionen von R06 mit diesen Hindernissen unterstellt. Es wird dabei von einem Belegungsgrad des OTB-Piers von 25% ausgegangen. Die Verkehre auf R06 sind entsprechend UA07. Dieses Submodell bildet das Risiko der neuen Gefahr „Schiff / OTB-Pier / festgemachtes Schiff“ aus Kapitel 3.2 ab.

Für die N_a^{II} von R03, R05 und R08 gelten die Angaben aus UA07.



Abbildung 35: OTB07

4.4.8 OTB08: Kollisionen durch Ausfall der Schiffsmaschine

Das Submodell entspricht UA08, ergänzt um die Schiffsverkehre des OTB. Für das Jack-up-Schiff wird eine Black-out-Frequenz von 0,1 und für die Schlepper der Barge von 0,75 pro Jahr unterstellt.

4.4.9 OTB09: Einfädeln der OTB-Verkehre

Zusätzlich zu den beschriebenen Veränderungen wird durch den OTB noch ein- und ausfädelnder Verkehr im Bereich des *Blexen Bogens* generiert. Dieses Submodell bestimmt daher das Risiko der neuen Kollisionsgefahr „Schiff/Schiff im Ansteuerungsbereich OTB“, welches einen Spezialfall der ursprünglichen Kollisionsgefahr „Schiff/Schiff im Weser-Fahrwasser - Einfädelnden Verkehr“ darstellt. Entsprechend der Planung des Zufahrtbereichs interagiert der originäre OTB-Verkehr dabei mit Verkehren der Routen 03/04 (s. Abbildung 36). Für die Schiffe von/nach Bremen wird eine Ost-Ansteuerung, für die Fahrzeuge von/nach See eine Süd-Ansteuerung unterstellt.

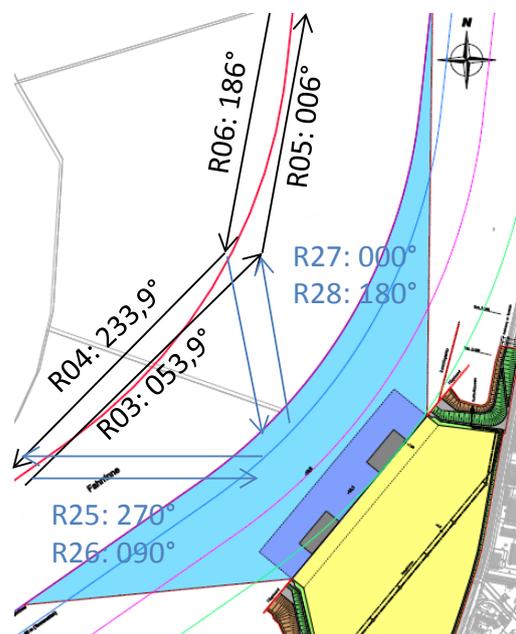


Abbildung 36: OTB09

OTB09 bestimmt N_{α}^{kreuz} für die Kreuzungen R25/R03, R25/R04, R27/R03 und R28/R03. Kollisionen mit Wegerechtschiffen sind ausgeschlossen. Die Verkehre auf R03/R04 entsprechen denen aus OTB02. Auf R27/R28 verkehren die ebenfalls in OTB02 spezifizierten Schiffstypen Gründungskörperschleppverbände und Jack-up-Schiff. Auf R25/R26 würden die Schiffsverkehre des OTB- von/nach Bremen verkehren, jedoch weist das aktuelle Gutachten (Froese 2012) keine zusätzlichen Schiffsverkehre des OTB- von/nach Bremen aus.

4.5 Vergleich der Inputgrößen

Tabelle 10 bis Tabelle 12 geben einen zusammenfassenden Überblick über die variierenden Inputgrößen für die drei beschriebenen Szenarien der Kapitel 4.2 - 4.4.

Submodell	Kollisionstyp	Objekt	Eigenschaft	IST	UA	OTB	
01	N_über N_front	R01/R02	Länge [sm]	1,3			
			Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2005		
			Überhol-/Begegnungsverbot	Nein			
02	N_über N_front	R03/R04	Länge [sm]	0,9			
			Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2005		
				Weserfähre			
		R05/R06	Länge [sm]	0,65			
			Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2025		
				Weserfähre (nur 0,5 sm)		OTB-See	
		R07/R08	Länge [sm]	0,65			
			Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2025		
				Weserfähre			
					OTB-See		
				Überhol-/Begegnungsverbot	Ja		
		03	N_kreuz	R03/R04	KüG	053,0° / 233,9°	
Schiffstypen	ISL 2008				ISL 2025		
R09/R10	KüG			090,0° / 270,0°			
	Schiffstypen			Weserfähre			
	Überhol-/Begegnungsverbot			Ja			
04	N_kreuz	R05/R06	KüG	006,0° / 186,0°			
			Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2025		
		R11	KüG	270,0°			
			Schiffstypen	Weserfähre			
				LVS KS	LVS ORC		
		R13	KüG	090,0°			
			Schiffstypen	LVS KS	LVS ORC		
		R14	KüG	090,0°			
			Schiffstypen	Weserfähre			
			Überhol-/Begegnungsverbot	Ja			

Tabelle 10: Vergleich IST, UA und OTB – Submodelle 01-04

Submodell	Kollisionstyp	Objekt	Eigenschaft	IST	UA	OTB	
05	N_kreuz	R01/R02	KüG			053,9°/233,9°	
			Schiffstypen			ISL 2025	
			Überhol-/Begegnungsverbot			Nein	
		R03/R04	KüG	053,9° / 233,9°			
			Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2025		
				Weserfähre			
			Überhol-/Begegnungsverbot	Ja			
		R15/R19	KüG	020,0°	000,0°		
			Schiffstypen	Blexen groß	88,6% Blexen		
				Blexen klein			
		R16/R20	KüG	200,0°	180,0°		
			Schiffstypen	Blexen groß	88,6% Blexen		
				Blexen klein			
		R17	KüG	270,0°			
			Schiffstypen	Blexen groß	88,6% Blexen		
				Blexen klein			
		R18	KüG	090,0°			
			Schiffstypen	Blexen groß	88,6% Blexen		
				Blexen klein			
		R21	KüG				083,9°
			Schiffstypen				Blexen groß
							Blexen klein
		R22	KüG				143,9°
			Schiffstypen				Blexen groß
Blexen klein	11,4% Blexen						
R23	KüG				323,9°		
	Schiffstypen				Blexen groß		
					Blexen klein	11,4% Blexen	
R24	KüG				023,9°		
	Schiffstypen				Blexen groß		
					Blexen klein	11,4% Blexen	
06	N_la	R03/R04	KüG	053,9° / 233,9°			
			Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2025		
				Weserfähre			
		Blexen Reede	Durchmesser Hindernis [m]	180 / 107	145 / 39,2		
			Hindernis vorhanden	5,3% / 47,8%	4,1%/36,8%		
			Durschn. Anzahl Hindernisse	1,57	1,38		
	N_l	R01/R02	KüG				053,9°/233,9°
			Schiffstypen				ISL 2025
		Dalbenreihe	Abstand Hindernis [m]		184		
			Ausdehnung Hindernis [m]		2		
		Vertäutes Schiff	Abstand Hindernis [m]		164		
Ausdehnung Hindernis [m]			20				

Tabelle 11: Vergleich IST, UA und OTB – Submodelle 05-06

Submodell	Kollisionstyp	Objekt	Eigenschaft	IST	UA	OTB	
07	N_Ila	R06	KüG	233,9°			
			Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2025		
				Weserfähre			
		Blexen Reede	Hindernisverteilung	N(120, 45)			
			Durchmesser Hindernis [m]	127			
			Hindernis vorhanden	53%			
			Durschn. Anzahl Hindernisse	1,1			
			Hindernisabstand	600			
		N_II	R06	KüG	186,0°		
				Schiffstypen	ISL 2008		ISL 2025
				Weserfähre			
	Ufer / OTB		Hindernisbeginn [m]	-295 / 0			
			Ausdehnung Hindernis [m]	295 / 55			
			Hindernisabstand bei z0	705 / 705	545 / 545		
			Steigung Hindernis	2,07 / 1,28	1,35 / 1,35		
	Ufer		Hindernisbeginn [m]	55			
			Ausdehnung Hindernis [m]	195			
			Hindernisabstand bei z0	705			
			Steigung Hindernis	1,28			
	N_II		R03	KüG	053,9°		
				Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2025	
					Weserfähre		
		Ufer	Hindernisbeginn [m]	-235			
			Ausdehnung Hindernis [m]	565			
			Hindernisabstand bei z0	403			
			Steigung Hindernis	-1,22			
	N_II	R05	KüG	006,0°			
			Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2025		
			Weserfähre				
Ufer		Hindernisbeginn [m]	-250 / 0				
		Ausdehnung Hindernis [m]	250 / 320				
		Hindernisabstand bei z0	575 / 575				
		Steigung Hindernis	-1,30 / -1,80				
N_II	R08	KüG	006,0°				
		Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2025			
	Ufer	Hindernisbeginn [m]	-295 / -275 / 0				
		Ausdehnung Hindernis [m]	20 / 275 / 270				
		Hindernisabstand bei z0	1120 / 620 / 620				
		Steigung Hindernis	4,07 / 0,50 / 1,33				
	Positionskontrollabstand [s]	15					
08	N_blackout	R01/R02	Länge [sm]	1,3			
			Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2025		
		R03/R04	Länge [sm]	0,9			
	Schiffstypen		ISL 2008	ISL 2025			
			Weserfähre				
	R05/R06	Länge [sm]	0,65				

			Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2025	
				Weserfähre (nur 0,5sm)		
					OTB- See	
		R07/R08	Länge [sm]	0,65		
			Schiffstypen	ISL 2008	ISL 2025	
				Weserfähre		
					OTB-See	
			Zeitdifferenz Blackout-Kollision [s]	510		
			Reparaturwahrscheinlichkeit	Weibull (1h; 1,13h)		
			Notankerung	63%		
09	N_kreuz	R03/R04	KüG		053,9°/233,9°	
			Schiffstypen		ISL 2025	
					Weserfähre	
		R27/R28	KüG		000,0°/180,0°	
			Schiffstypen		OTB-See	
			Überhol-/Begegnungsverbot		Ja	

Tabelle 12: Vergleich IST, UA und OTB – Submodelle 07-09

4.6 Auswertung und Vergleich der Szenarien

4.6.1 Auswertung IST: Modellvalidierung

Aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren bei Schiffsunfällen und der geringen Zahl an Unfallereignissen ist eine Prognose von maritimen Unfallzahlen komplex und mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Im Gegensatz zu Unfallstatistiken, welche eine spezifische Ausprägung darstellen, sind die Ergebnisse von Frequenzmodellen Erwartungswerte für die Anzahl an Unfällen. Ist der betrachtete Zeitraum groß genug, so soll die Unfallstatistik den Modellwerten entsprechen. Für kleinere Stichproben bedingt dies jedoch, dass das berechnete Risiko und die eingetretenen Schadensfälle durchaus voneinander abweichen können. Dieser Umstand birgt allerdings die Gefahr, dass Modelle angepasst werden, um den Unfallstatistiken einer zu kleinen Stichprobe zu entsprechen (Pedersen 2010, S. 259).

Für eine vollständige Betrachtung des Risikos werden im Folgenden zwar die Modellergebnisse mit der Unfallstatistik der (WSV 2010) verglichen, jedoch mit dem Ziel, die prinzipiellen Tendenzen der Modellergebnisse zu stützen und nicht um das Modell an die Stichprobe anzugleichen. Im Rahmen dieses Gutachtens werden keine absoluten Risikowerte ausgewiesen, sondern lediglich deren Veränderung und Verhältnisse zueinander betrachtet.

Zur Modellvalidierung wird daher ausschließlich die Verteilung der Kollisionen des Modells mit denen der realen Unfälle aus Tabelle 3 verglichen. Dabei ist zu beachten, dass sich Tabelle 3 auf den Zeitraum von 1981 bis 2009 bezieht, während IST nur 2008 beinhaltet. Sich verändernde Sicherheitsausrüstung (z.B. die Einführung des AIS) sowie unterschiedliche Verhältnisse von durchgehendem zu kreuzendem Verkehr in diesem Bereich sorgen für weitere Verzerrungen und eingeschränkte Vergleichbarkeit. Die Wahl eines kleineren Vergleichszeitraums ist in diesem Bereich allerdings sehr schwierig, da beispielsweise in 2008 nur zwei Unfallereignisse registriert wurden und die Stichprobenvarianz damit so groß wird, dass sie die zugrundeliegende Verteilung überlagert.

Bezüglich der Verteilung der Risiken hat die Schiff-Schiff-Kollision im IST-Szenario einen Anteil von gut 12% an allen Unfällen, wobei mehrheitlich Kreuzungs- und Einfädelfälle erwartet werden (s. Tabelle 13). In gut 70% der Unfälle wird hingegen erwartet, dass eine Kollision mit einem Objekt verursacht wird. Unfälle bedingt durch technische Defekte stellen im Modell knapp ein Sechstel der zu erwartenden Kollisionen dar.

Verteilung	Frontal	Überholen	Kreuzung	Objekt	Tech. Defekt
IST-Modell (08)	3,3%	1,8%	7,2%	71,5%	16,1%
Real (81-09)	3,2%	9,7%	25,8%	41,9%	19,4%

Tabelle 13: Verteilung nach Unfallkategorie

Unter der gegebenen eingeschränkten Vergleichbarkeit ist erkennbar, dass der prognostizierte Anteil an Objektkollisionen im Modell den der Realsituation übersteigt. Diese Unfallkategorie, auf die der Bau des OTB rein physisch den größten Einfluss hat, wird in der Auswertung also etwas stärker gewichtet. Der im Modell geschätzte Anteil an Blackout-bedingten Unfällen ist hingegen leicht geringer als die Ausprägung von 1981-2009. Allerdings muss an dieser Stelle auf die schlechte Vergleichbarkeit von technischen Anlagen über drei Jahrzehnte hinweg hingewiesen werden. Auch wenn hier trotzdem eine gewisse Übereinstimmung vorliegt, validiert dies auch nicht die Annahme, dass die unterstellte mittlere Zeit bis zur Kollision bzw. die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Notankerung als korrekt anzusehen ist.

Die Reihenfolge der verschiedenen Schiff-Schiff-Kollisionen im Modell ist etwas verschoben zur Realität. Zunächst sei darauf hingewiesen, dass das Modell Kollisionen zwischen Wegerechtsschiffen ausschließt und damit unterstellt, dass die örtlichen Begegnungs- und Überholverbote von allen Schiffen befolgt werden. Dies muss in der Realität natürlich nicht gegeben sein. Beim Vergleich der Realsituation mit der Reihenfolge im IST-Modell fällt auf, dass in der Realität die Ordnung zwischen Frontal- und Überholunfällen umgekehrt ist. Dies kann als ein erster Indikator dafür gedeutet werden, dass die Relation zwischen den Verursachungswahrscheinlichkeiten dieser beiden Unfallkategorien etwas verzerrt ist, da es bei Überholmanövern häufiger zu Kollisionen zu kommen scheint, als auf Basis des Verkehrsraums prognostiziert wird. Um eine Anpassung der Verursachungswahrscheinlichkeiten zu begründen, ist diese Indikation alleine allerdings nicht ausreichend.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch den gewählten relativen Bewertungsansatz zu erwarten ist, dass sich das Gros etwaiger systematischer Abweichungen innerhalb der einzelnen Submodelle durch den prozentualen Vergleich neutralisiert. Diese Neutralisierung gilt nicht für die Verrechnung der Risikokategorien untereinander, welche aus dem relativen Verhältnis der Verursachungswahrscheinlichkeiten untereinander resultiert. Eine Anpassung der verwendeten Verursachungsfaktoren, welche bisher in weniger restriktiven Verkehrsräumen angewendet wurden, ist auf Basis der hier getätigten Unfallanalyse jedoch nicht hinreichend begründbar. Bei Vergleich der einzelnen Submodelle untereinander tritt jedoch keine Verzerrung durch Verursachungsfaktoren auf, wie bei der Gesamtbewertung. Es sei allerdings erneut darauf hingewiesen, dass ein Vergleich der Ergebnisse des IST-Modells für 2008 mit den realen Unfallzahlen von 1981-2009 nur sehr eingeschränkt möglich ist.

4.6.2 Auswertung UA/OTB: Frequenzprognose

Auf Basis der unterstellten Annahmen wird die Unfallfrequenz im Fall der Unterlassungsalternative gegenüber der IST-Situation 2008 leicht ansteigen. Es werden zwar 1,8% weniger Schiffsbewegungen der durchgehenden Schifffahrt auf der Weser erfol-

gen, dies schlägt aber aufgrund der Tendenz zu größeren und schnelleren Schiffen nicht auf die Kollisionskandidaten durch. Die Frequenz sinkt lediglich bei den Objektkollisionen leicht um 0,3%, insgesamt wird jedoch eine Zunahme der Unfallwahrscheinlichkeit um 4,0% erwartet (s. Tabelle 14).

Frequenzveränderung							
Vergleich	Frontal	Überholen	Kreuzung	Objekt (Gerade)	Objekt (Kurve)	Blackout	Gesamt
UA zu IST	4,7%	13,6%	9,4%	-0,3%	4,5%	4,9%	4,0%
OTB zu IST	6,1%	18,1%	13,5%	-35,4%	8,7%	5,4%	-1,8%
OTB zu UA	1,3%	3,9%	3,7%	-35,3%	4,0%	0,5%	-5,5%

Tabelle 14: Prognostizierte Frequenzveränderung

Im Falle des OTB bleibt die Anzahl an Blackout-bedingten Kollisionen nahezu unverändert, da durch den Bau lediglich eine geringe Zunahme an Schiffsbewegungen erwartet wird. Jedoch führt der Bau des OTB zu einer Erhöhung der Kreuzungskollisionen um 3,7% gegenüber UA, da die OTB-Verkehre sich in das Weserfahrwasser einfädeln und ihm nordwärts folgen.

Die langsamen OTB-Verkehre lassen zudem eine Zunahme von Begegnungssituationen erwarten, was die Wahrscheinlichkeit von Frontalkollisionen im Bereich Blexen Bogen um 1,3% steigen lässt. Insbesondere wird eine Steigerung der Begegnungen zwischen OTB und der Geestemündung erwartet. Zudem wird bedingt durch die breiten Jack-up-Schiffe und Barge auch eine um 4,7% erhöhte Eintrittswahrscheinlichkeit für Überholkollisionen zwischen OTB und dem nördlichen Ende des untersuchten Verkehrsraums prognostiziert (s. Tabelle 15). Es wird darauf hingewiesen, dass Schiff-Schiff-Kollisionen und insbesondere Frontal- und Überholkollisionen im untersuchten Verkehrsraum den geringeren Teil der Kollisionskandidaten ausmachen und deren Beitrag zur Gesamtveränderung somit gering ist. Es muss bei der Interpretation jedoch beachtet werden, dass das Fahrwasser ab Tonne 59 bis zur freien See im Rahmen dieser Untersuchung nicht betrachtet wird. Aufgrund der zusätzlichen Verkehre zwischen der Nordsee und Bremerhaven werden in diesem Bereich ebenfalls eine stärkere Erhöhung der Unfallwahrscheinlichkeit und ein höherer Anteil dieses Unfalltyps erwartet.

Bezüglich der größten Gefahr im untersuchten Verkehrsraum, der Kollision mit Objekten, wie auf Reede liegenden Schiffen, Dalben oder Kajen, ist ein deutlicher Effekt des OTB zu erwarten. Zum einen wird bedingt durch die verkleinerte Blexen Reede die Gefahr einer Kollision zwischen durchgehendem Verkehr und auf *Blexen Reede* ankern den Schiffen um 45% reduziert. Durch die Verlagerung der Zu- und Abfahrtsbereiche wird ebenfalls ein Rückgang der Unfallzahlen um etwas über 20% erwartet, allerdings ist eine etwaige stärkere Gefährdung durch eine häufiger notwendige Drehung im Fahrwasser innerhalb dieser Methodik nicht abbildbar.

Dem gegenüber steht das neue Kollisionspotential zwischen durchgehender Schifffahrt und den neuen Ersatzreedeliegeplätzen, welches jedoch deutlich unter der Gefährdung durch die auf Reede liegenden Schiffe liegt. Unter den gegebenen Annahmen wird für die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Kollision mit auf Reede bzw. an den Dalben liegenden Schiffen eine deutliche Reduktion um 35,3% prognostiziert (s. Tabelle 15). Es sei dabei darauf hingewiesen, dass diese Maßnahme beim Bau des OTB aufgrund der entfallenen Reedeplätze zwingend notwendig ist, jedoch auch unabhängig vom Bau des OTB als Maßnahme zur Reduktion der Unfallwahrscheinlichkeit realisiert werden kann. Die Reduktion der Unfallwahrscheinlichkeit ist größtenteils darauf zu-

rückzuführen, dass für die hochfrequente Weserfähre eine Kollisionswahrscheinlichkeit mit auf Blexen-Reede liegenden Schiffen besteht, die Dalbenreihe jedoch außerhalb des Operationsbereichs liegt. Die Weserfähre kann daher vollständig von einer um ca. 45% reduzierten Kollisionswahrscheinlichkeit profitieren, ohne dass eine neue Gefährdung durch die Dalbenreihe zu erwarten ist. Jedoch reduziert sich die Kollisionswahrscheinlichkeit mit Reede- bzw. Dalbenliegern auch für den sonstigen durchgehenden Verkehr um insgesamt gut 18% gegenüber der jetzigen Reede. Vereinzelt tritt für größere Schiffstypen jedoch eine Frequenzerhöhung um 5-10% ein. Diese Schiffstypen machen jedoch unter 2% der Kollisionskandidaten aus. Zudem ist nicht abzuschätzen, inwieweit diese erhöhte Gefährdung für diese Risikogruppe beim Bau eintritt, da für den Bau der Dalbenreihe in diesem Bereich mit einer Veränderung der Lateralverteilung zu rechnen ist, welche nicht prognostiziert werden kann. Als konservative Annahme ist im Bereich der Dalben hervorzuheben, dass aufgrund der verwendeten Lateralverteilung die Kollisionswahrscheinlichkeit hier eher überschätzt wird, da zu erwarten ist, dass die Häufigkeit von Fahrten innerhalb des Dalbenbereichs zurückgehen wird (s. Abbildung 37). Wie genau und wohin diese Verschiebung resultieren wird ist jedoch spekulativ, sodass daraus resultierende Effekte auf die Gefährdung bei Überhol- und Frontalbegegnungssituation nicht bewertet werden können. Eine Entflechtung der Weserfährverkehre von einem Teil der ehemaligen Reedeliegern ist aufgrund der räumlichen Trennung jedoch zu erwarten.

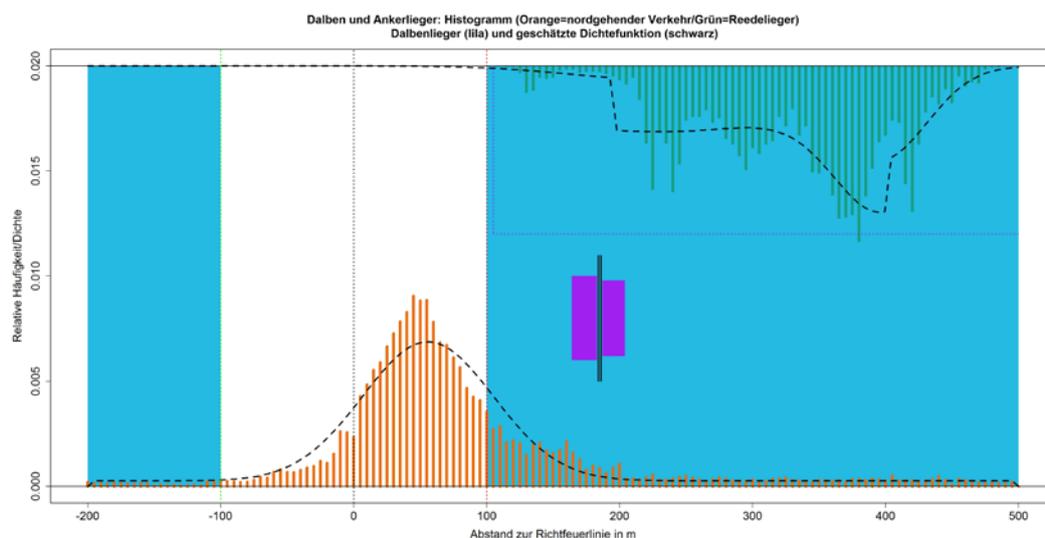


Abbildung 37: Ankerlieger, Dalbenreihe und nordgehende Fahrwasserverkehre im Vergleich

Der letzte Effekt des OTB auf die Sicherheit der Schifffahrt ist die Verkleinerung des äußeren Kurvenraums im *Blexen Bogen*, vor allem durch am OTB festgemachte Fahrzeuge. Dieser Typ stellt dabei mit einem Anteil von über 50% an allen Kollisionen die größte Einzelgefahr im untersuchten Verkehrsraum dar. Durch die Aufgabe des Nordteils der Reede wird zwar die Anzahl der Kollisionskandidaten aus IST07 bzw. UA07 um gut 10% reduziert, allerdings verursacht die vorgelagerte Kaje eine deutliche Steigerung der Kollisionskandidatenanzahl gegenüber der Anzahl an Gefahrensituationen beim ursprünglichen Uferverlauf. Dies kompensiert den Effekt der verkleinerten Reede vollständig. Da die erwartete Unfallanzahl auf der Route R06 gegenüber den anderen Kursänderungspunkten im *Blexen Bogen* allerdings eher gering ist, führt diese Veränderung insgesamt nur zu einer Erhöhung der Frequenz um 4,0% für diesen Typ.

Unter den gegebenen Annahmen würde der Bau des OTB bei Berücksichtigung einer zuvor veränderten Blexen Reede zu einer leichten Erhöhung der Unfallwahrscheinlich-

keit von 2,6% führen. Da die Reedeverlagerung allerdings Teil des OTB-Szenario ist, **Frequenzanalyse** wird dieser Effekt durch die Reede überkompensiert, sodass insgesamt eine Reduktion der Unfallwahrscheinlichkeit in Höhe von 5,5% prognostiziert wird.

Subm.	Kollisionstyp	Kollisionskandidatenanteil			Veränderungen		
		IST	UA	OTB	IST->UA	IST->OTB	UA->OTB
01	N_über	0,3%	0,3%	0,4%	3,8%	3,8%	0,0%
	N_front	0,4%	0,4%	0,4%	0,5%	0,5%	0,0%
02	N_über	1,5%	1,6%	1,8%	15,8%	21,3%	4,7%
	N_front	2,9%	3,0%	3,2%	5,2%	6,8%	1,5%
03	N_kreuz	3,2%	3,1%	3,2%	0,0%	0,0%	0,0%
04	N_kreuz	3,6%	4,2%	4,6%	18,6%	23,6%	4,2%
05	N_kreuz	0,3%	0,3%	0,3%	-0,1%	-23,5%	-23,4%
06	N_I(a)	23,5%	22,5%	15,4%	-0,3%	-35,4%	-35,3%
07	N_II(a)	48,0%	48,3%	53,2%	4,5%	8,7%	4,0%
08	N_blackout	16,1%	16,3%	17,3%	4,9%	5,4%	0,5%
09	N_kreuz	-	-	0,2%		neu	neu
Gesamt	Kollisionen				4,0%	-1,8%	-5,5%

Tabelle 15: Szenarienvergleich - Frequenz

Im Rahmen der Konsequenzanalyse werden die zu erwartenden Schäden für die in der Frequenzanalyse betrachteten drei Szenarien und in deren Submodellen beinhalteten Kollisionstypen modelliert. Berücksichtigt werden dabei die resultierenden

- Materialschäden an Schiffen und Hafен-/Wasserweginfrastruktur,
- Umweltschäden sowie
- Personenschäden.

Diese Einzelschäden werden aggregiert und der gesamte, zu erwartende Schaden als monetärer Wert bestimmt (auch Konsequenz genannt). Für die einzelnen Submodelle sind dies im Detail Konsequenzen durch:

- Überhol- und Begegnungskollisionen:
 1. Weserfahrwasser Tonne 58 – Fähranleger Blexen
 2. Weserfahrwasser Fähranleger Blexen – Tonne 59
- Kreuzungskollisionen:
 3. Einfädelung Fähranleger Blexen
 4. Einfädelung Geestemünde
 5. Einfädelung Blexen-Reede
- Objektkollisionen/Strandung (menschliches Versagen):
 6. Kollision mit auf Blexen Reede liegenden Schiffen
 7. Kursänderungspunkte Blexen Bogen
- Objektkollisionen/Strandung (technisches Versagen):
 8. Kollisionen durch Ausfall der Schiffsmaschine
- Kreuzungskollisionen im OTB 2025 Szenario:
 9. Einfädeln der OTB-Verkehre

5.1 Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik zur Berechnung der oben genannten Einzelschäden erläutert. In Bezug auf die Materialschäden wird entsprechend der Submodelle unterschieden zwischen den auftretenden Schäden bei Kreuzungs-, Frontal- und Objektkollisionen sowie Strandungen. Bei den Umweltschäden werden hingegen aufgrund unterschiedlicher Geschwindigkeiten von Schiffen in Fahrt und bei Maschinenausfall Konsequenzen von Kollisionen mit Beteiligung von manövrierfähigen und manövrierunfähigen Schiffen betrachtet. Die Personenschäden werden bei allen Kollisionstypen mittels eines einheitlichen Ansatzes bestimmt. Für die Methodik ergeben sich damit unterschiedliche Berechnungsansätze für:

- Materialschäden resultierend aus
 1. Kreuzungskollisionen
 2. Frontalkollisionen
 3. Objektkollisionen
 4. Strandungen
- Umweltschäden bei
 1. Manövrierfähigen Schiffen
 2. Manövrierunfähigen Schiffen
- Personenschäden

Bei Kollisionsproblemen kann generell zwischen Betrachtungen der externen Dynamik sowie der internen Mechanik von Kollisionen unterschieden werden. Dabei bezieht sich die externe Dynamik auf die globalen Bewegungen des Schiffes und die Interaktion mit dem umgebenden Wasser, während die interne Mechanik die Reaktion der Schiffsstruktur betrachtet (Lützen 2001, S. 3).

Die Methoden zur Untersuchung der externen Dynamik von Kollisionen reichen von empirischen oder analytischen Lösungen in geschlossener Form bis hin zu Simulationen im Zeitbereich. Im Rahmen von Risikoanalyse wird eine Vielzahl von Kollisionsszenarien betrachtet, sodass eine Simulation aufgrund des hohen Aufwands, der Vielzahl an notwendigen Annahmen und der erheblichen Berechnungszeit als ungeeignet erscheint. Daher wird auf empirische Ansätze oder analytische Lösungen zurückgegriffen.

Für die Untersuchung der internen Mechanik eignen sich ebenfalls zwei Klassen von theoretischen Methoden für die Vorhersage auftretender Schäden: Finite-Elemente-Methoden sowie analytische Methoden (Lützen 2001, S. 25). Die Anwendung von Finite-Elemente-Methoden erlaubt eine Berechnung der internen Mechanik mittels einer detaillierten Modellierung der Bug- sowie seitlichen Schiffsaußenhautstrukturen insbesondere in Bezug auf Plattendicken, die Anordnung von Versteifungen oder Materialeigenschaften (Zhang 1999, S. 193). Dies erfordert auch die Berücksichtigung einer komplexen Zusammenwirkung von Knicken, Fließen, Spannungen, Bruch und Sprödbruch des Materials (Lützen 2001, S. 25). Entsprechend ist für die Verwendung einer Finite-Elemente-Methode eine detaillierte Modellierung der Schiffsstrukturen notwendig, die in eine Kollision involviert werden. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Schiffstypen in der Risikoanalyse, der damit einhergehenden stark inhomogenen Verteilung der Bugformen und Stahlstrukturen sowie in Anbetracht der Vielzahl zu treffender Annahmen, ist ein Ansatz auf Basis von Finite-Elemente-Methoden im Rahmen dieser Analyse ebenfalls nicht praktikabel. Somit werden auch in Bezug auf die interne Mechanik in den meisten Kollisionsuntersuchungen analytische Methoden angewandt.

Der analytische Ansatz zur Bestimmung von Materialschäden unter Berücksichtigung sowohl der externen Dynamik als auch der internen Mechanik basiert im Allgemeinen auf folgendem Vorgehen (z.B. Pedersen 2010, S. 250), das in drei Schritte untergliedert werden kann:

1. Berechnung des Energieeintrags in den/die Schiffsrümpf(e) bei der Kollision,
2. Ableitung des Schadensvolumens beider Schiffe über die Relation zur absorbierten Energie und
3. Ableitung der monetären Schadenshöhe.

Für den Energieeintrag in die Schiffsrümpfe bzw. die absorbierte Energie durch eine Deformation der Schiffsrümpfe wird in der Literatur in Bezug auf die externe Dynamik die Annahme getroffen, dass die Kollisionen vollplastisch sind (Brown 2002, S. 347; Minorsky 1959, S. 1; Zhang 1999, S. 193). Zwar ist ein realer Stoß meistens weder vollplastisch noch vollelastisch, jedoch sind für die Bestimmung des plastischen sowie elastischen Anteils wiederum die Materialeigenschaften sowie die Schiffsstrukturen und ihre Verformungen zu berücksichtigen. Dies wird, wie oben bereits erwähnt, im Rahmen dieser Analyse als nicht praktikabel erachtet. Ein plastischer Ansatz liefert des Weiteren den höchsten Anteil an absorbierter Energie, was einer konservativen Modellierung entspricht, da höhere Schadensvolumina ausgegeben werden.

Bei einem plastischen Stoß wird ein Teil der kinetischen Energie der beiden Schiffe vor dem Stoß bzw. der Kollision absorbiert, d.h. dieser Anteil wird im Allgemeinen durch eine plastische Deformation der beteiligten Schiffskörper in innere Energie umgewandelt. Es wird bei einem rein plastischen Stoß davon ausgegangen, dass der maximal mögliche Teil absorbiert wird und sich die Schiffskörper nach der Kollision mit einer gemeinsamen Geschwindigkeit bewegen. Die absorbierte Energie ergibt sich damit aus der Differenz zwischen der kinetischen Energie vor bzw. zu Beginn der Kollision sowie der kinetischen Energie im System nach der Kollision. Die Energien vor sowie nach der Kollision können über den Energieerhaltungs- sowie den Impulssatz bestimmt werden. Dabei werden Rotationsenergien nicht berücksichtigt.

Mit den Verdrängungen der kollidierenden Schiffe, den Geschwindigkeiten sowie den hydrodynamischen Zusatzmassen, die das Wasser berücksichtigen, welches durch ein Schiff in Fahrt mitbewegt wird, ergibt sich die absorbierte Energie zu:

$$E = \frac{1}{2} \cdot (1 + m_{ax}) \cdot (\Delta_i v_i^2 + \Delta_j v_j^2) - \frac{1}{2} \cdot m_{ax}^2 \cdot \frac{\Delta_i^2 v_i^2 + \Delta_j^2 v_j^2 + 2\Delta_i v_i \Delta_j v_j \cos \theta}{(1 + m_{ax}) \cdot \Delta_i + (1 + m_{ay}) \cdot \Delta_j}$$

mit:

- Δ_i, v_i Verdrängung, Geschwindigkeit des treffenden Schiffes
- Δ_j, v_j Verdrängung, Geschwindigkeit des getroffenen Schiffes
- θ Kollisionswinkel der kollidierenden Schiffe.

Für die hydrodynamische Zusatzmasse wird vor der Kollision angenommen, dass sich beide Schiffe in Längsbewegung mit einer Vorausgeschwindigkeit ohne Bewegungsanteil senkrecht zur Schiffslängsachse befinden. Der Koeffizient der hydrodynamischen Zusatzmasse für Schiffslängsbewegung beträgt im Allgemeinen $m_{ax} = 0,05$ bzw. die hydrodynamische Zusatzmasse $dm = 0,05 \cdot \Delta$ (Pedersen und Zhang 1998, S. 432). Unter Berücksichtigung der Schiffsverdrängung ergibt sich insgesamt $1,05 \cdot \Delta$.

Nach einer rechtwinkligen Kollision hingegen bewegt sich nur noch ein Schiff annähernd in Schiffslängsrichtung während sich das getroffene Schiff eher quer zu seiner Längsachse bewegt. Daher muss hier die hydrodynamische Zusatzmasse entsprechend für eine Quer- und nicht für eine Längsbewegung des Schiffes angenommen werden. Für ein quer zur Schiffslängsachse vibrierendes Schiff in tiefem Wasser haben Modellversuche und hydrodynamische Analysen des Koeffizienten der hydrodynamischen Zusatzmasse für Schiffsquerbewegung, d.h. des getroffenen Schiffes, in 1978 gezeigt, dass der Koeffizient während der Kollision variiert (Pedersen und Zhang 1998, S. 432). Die Werte schwanken von $m_{ay} = 0,4 - 1,3$. Je länger die Kollisionsdauer ist, desto größer sind die Werte des Koeffizienten. Für die Berechnungen wird daher ein Mittelwert des Koeffizienten von $m_{ay} = 0,85$ bzw. $dm = 0,85 \cdot \Delta$ angenommen. Somit ergibt sich $1,85 \cdot \Delta$.

Aus der absorbierten Energie kann anschließend im zweiten Schritt das Schadensvolumen abgeleitet werden. Der verbreitetste empirische Ansatz zur Berechnung von Materialschäden unter Berücksichtigung sowohl der externen Dynamik als auch der internen Mechanik wurde von Minorsky (1959) entwickelt (Brown 2002, S. 347; Zhang 1999, S. 193). Minorsky untersuchte Daten von 26 Schiffskollisionen im Originalmaßstab, bei denen die Schiffsgeschwindigkeiten, Kollisionswinkel und Ausmaße der Schäden bekannt waren. Zur breiteren Anwendbarkeit sowie größeren Genauigkeit wurde dieser lineare Ansatz zu späteren Zeiten immer wieder modifiziert und weiterentwickelt. Die

Konsequenzanalyse wird basierend auf folgender Weiterentwicklung der Formel von **Konsequenzanalyse** Minorsky durch Pedersen und Zhang (2000, S. 1171) durchgeführt:

$$E = 0,77 \cdot \varepsilon_C \cdot \sigma_0 \cdot R_j + 3,5 \cdot \left(\frac{t}{d}\right)^{0,67} \cdot \sigma_0 \cdot R_i$$

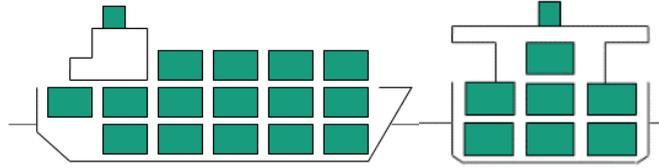


Abbildung 38: Darstellung einer Kreuzungskollision

Die Formel gilt für Kreuzungskollisionen, wie in Abbildung 38 veranschaulicht. Der erste Term der Formel beschreibt dabei den Schaden der Außenhaut an der Schiffsseite, d.h. das Schadensvolumen R_j des getroffenen Schiffes. Da es sich um eine plastische Deformation aufgrund von Spannung handelt, geht neben der Zugfestigkeit des verbauten Stahls σ_0 die kritische Verformung der Außenhaut ε_C in die Formel ein. Der im heutigen Schiffbau üblicherweise verwendete normalfeste Stahl hat eine Streckgrenze von $R_{eH} = 235 \frac{N}{mm^2}$ und eine Zugfestigkeit von $R_m = 400 - 520 \frac{N}{mm^2}$. Es wird daher ein Mittelwert von $\sigma_0 = 460 \frac{N}{mm^2}$ für die Berechnungen verwendet (GL I-1-1 Abschnitt 2B 1.1). Für die kritische Verformung der Außenhaut ε_C wird ein Mittelwert für Platten mit und ohne versteifende Bauteile von 7 % angenommen (Paik und Pedersen 1996, S. 116; Zhang 1999, S. 211). Der erste Term und damit das Schadensvolumen des getroffenen Schiffes ergibt sich zu:

$$E_j[MJ] = 0,77 \cdot 0,07 \cdot 460 \cdot R_j[m^3]$$

Der zweite Term der Formel bezieht sich hingegen auf den Schaden am Bug eines Schiffes, d.h. das Schadensvolumen R_i des treffenden Schiffes. Dieser Ansatz basiert auf der Annahme einer Schadensart, bei der das Material bricht oder aufgefaltet wird, aber nicht wie bei einer Strandung aufreißt. Dabei werden neben dem Schadensvolumen R_i die durchschnittliche Plattendicke der beschädigten Platten t , die durchschnittliche Breite der Platten in der beschädigten Schnittebene d sowie die Zugfestigkeit des verbauten Stahls σ_0 berücksichtigt (Zhang 1999, S. 196).

Für die in der Frequenzanalyse berücksichtigten Schiffe müssten für die Werte der durchschnittlichen Dicke der beschädigten Platten t sowie der durchschnittlichen Breite der Platten in der beschädigten Schnittebene d Annahmen getroffen werden. Zhang verwendet eine Zugfestigkeit von $\sigma_0 = 260 \frac{N}{mm^2}$ und ein Verhältnis von $\frac{t}{d} = \frac{1}{83}$, sodass sich die Formel $E = 47,13 \cdot R_T$ ergibt (Zhang 1999, S. 196). Für diese Analyse ist anzumerken, dass die Formel an heute im Schiffbau üblicherweise verwendeten normalfesten Stahl mit einer Streckgrenze $R_{eH} = 235 \frac{N}{mm^2}$ und einer Zugfestigkeit von $R_m = 400 - 520 \frac{N}{mm^2}$ und damit im Mittel von $\sigma_0 = 460 \frac{N}{mm^2}$ statt $260 \frac{N}{mm^2}$ angepasst wird (GL I-1-1 Abschnitt 2B 1.1). Somit ergibt sich für den zweiten Term entsprechend:

$$E_i[MJ] = 47,13 \cdot R_i[m^3] \cdot \frac{460}{260}$$

Für die Berechnung der Schadensvolumina der kollidierenden Schiffe wird angenommen, dass sich die vom jeweiligen Schiff absorbierte Energie entsprechend ihrer Verdrängungen aufteilt. Daraus folgen für die Volumina die folgenden Formeln:

Treffendes Schiff:

$$R_i[m^3] = \frac{E[MJ] \cdot \Delta_j}{83,384 \cdot (\Delta_i + \Delta_j)}$$

Getroffenes Schiff:

$$R_j[m^3] = \frac{E[MJ] \cdot \Delta_i}{247,94 \cdot (\Delta_i + \Delta_j)}$$

Im letzten Schritt wird abschließend über das Schadensvolumen die monetäre Schadenshöhe für den Materialschaden abgeleitet. Die Reparaturkosten hängen neben der Größe des Schadens, d.h. dem Schadensvolumen, unter anderem auch von der Lage des Schadens oder der Reparaturwerft ab. In Abhängigkeit des Stahlgewichtes, welches zu reparieren ist, werden für eine typische Reparatur Kosten von $C_{Reparatur} = 6000 \left(\frac{\text{€}}{\text{t}}\right)$ angenommen (Otto et al. 2002, S. 468). Dieser Preis beinhaltet den vollständigen Reparatur-Prozess, d.h. das Schneiden, das Fertigen und die Montage im beschädigten Bereich. Dabei wird neben dem Schadensvolumen R_T die Dichte von Stahl mit $\rho = 7,85 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$ zugrunde gelegt.

Neben den Kosten für die Reparatur des beschädigten Stahls müssen bei einem Werftaufenthalt die Kosten für die Fahrt zur Werft addiert werden. Diese Kosten können laut (Otto et al. 2002, S. 468) mit $C_{Werft} = 50\,000 \frac{\text{€}}{\text{Reparatur}}$ angenommen werden. Dieser Wert beinhaltet den Kraftstoffverbrauch, die Kosten durch die Crew sowie ggf. notwendige Unterstützung durch Schlepper. Für Kollisionen mit niedriger Energie wird angenommen, dass die Zertifizierung durch die Klassifikationsgesellschaft erhalten bleibt und kein Werftaufenthalt notwendig ist und somit die Fahrtkosten von 50 000 € pro Reparatur bis zur Werft entfallen. Bei Kollisionen mit niedriger Energie entsteht kein Riss in der Außenhaut, sondern lediglich eine Deformation. Die kritische Grenzenergie kann über die kinetische Energie und damit über die Schiffsverdrängung und eine kritische Schiffsgeschwindigkeit bestimmt werden. Da die kritische Geschwindigkeit jeweils von der Schiffsgröße und den am Schiff angreifenden Kräften abhängt (Dausendschön et al. 2008, S. 52), die Unterschiede der in der Analyse verwendeten Schiffsklassen allerdings erheblich sind, wird ein Intervall der kritischen Geschwindigkeit von 2kn bis 5kn angenommen. Unterhalb der Grenzenergie E_{krit1} bei 2kn wird $C_{Werft} = 0 \frac{\text{€}}{\text{Reparatur}}$ angenommen, während über einer Grenzenergie E_{krit2} bei 5kn $C_{Werft} = 50\,000 \frac{\text{€}}{\text{Reparatur}}$ angenommen wird. Dazwischen werden die Kosten linear interpoliert, um die Wahrscheinlichkeit zu berücksichtigen, mit der ein Riss bzw. nur eine Deformation auftritt. Die gesamten Reparaturkosten ergeben sich damit zu:

$$C_{Material} = (R_i + R_j)[m^3] \cdot \rho \left[\frac{\text{t}}{\text{m}^3}\right] \cdot C_{Reparatur} \left[\frac{\text{€}}{\text{t}}\right] + C_{Werft} \cdot P_{Werft}$$

$$P_{Werft} = \begin{cases} 0 & \text{für } E \leq E_{krit1} \\ \frac{E - E_{krit1}}{E_{krit2} - E_{krit1}} & \text{für } E_{krit1} < E < E_{krit2} \\ 1 & \text{für } E \geq E_{krit2} \end{cases}$$

Abgesehen von einem Reparaturschaden kann auch ein Totalschaden eines Schiffes auftreten. Ein Totalschaden tritt auf, wenn die Reparaturkosten eines Schiffes die Baukosten dieses Schiffes übersteigen. Ist dieses der Fall wird als Kollisionskonsequenz statt des Reparaturschadens der Totalschaden des Schiffes angenommen.

5.1.2 Bestimmung der Materialschäden bei Frontalkollisionen

Neben den Kreuzungskollisionen werden Frontalkollisionen von zwei Schiffen in der Frequenzanalyse betrachtet. Frontalkollisionen unterscheiden sich von Kreuzungskollisionen durch den Kollisionswinkel. In Bezug auf Schadenberechnungen wird von Kreuzungskollisionen bei Kollisionswinkeln zwischen 30° und 150° ausgegangen (Søfartsstyrelsen 2008, S. 68).

Die absorbierte Energie ergibt sich ähnlich wie bei Kreuzungskollisionen über die kinetische Energie beider Schiffe. Da wie oben bereits erwähnt die Annahme eines unelastischen Stoßes bei der Kollision getroffen wird, wird auch hier ein Teil der kinetischen Energie in innere Energie umgewandelt, d.h. durch die Deformation des Materials absorbiert. Diese absorbierte Energie ergibt sich somit über den Energie- und Impulserhaltungssatz, den Verdrängungen Δ_i und Δ_j , den hydrodynamischen Zusatzmassen dm_i und dm_j sowie den Geschwindigkeiten v_i und v_j beider Schiffe zu:

$$E = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\Delta_i + dm_i)(\Delta_j + dm_j)}{(\Delta_i + dm_i) + (\Delta_j + dm_j)} \cdot (v_i - v_j)^2 = \frac{1}{2} \cdot (1 + m_{ax}) \cdot \frac{\Delta_i \cdot \Delta_j}{\Delta_i + \Delta_j} \cdot (v_i - v_j)^2$$

Da sich bei dieser Kollision beide Schiffe in Längsbewegung mit einer Vorausgeschwindigkeit befinden, wird die hydrodynamische Zusatzmasse entsprechend für die Längsbewegung berücksichtigt. Der Koeffizient beträgt somit $m_{ax} = 0,05$ bzw. die hydrodynamische Zusatzmasse $dm = 0,05 \cdot \Delta$ (Pedersen und Zhang 1998, S. 432).

Für die Berechnung des Schadensvolumens aus der absorbierten Energie bei Frontalkollisionen kann der zweite Term der Formel für Kreuzungskollisionen aus dem vorhergehenden Abschnitt verwendet werden, da dieser sich auf Beschädigungen des Schiffes bezieht (Zhang 1999, S. viii).

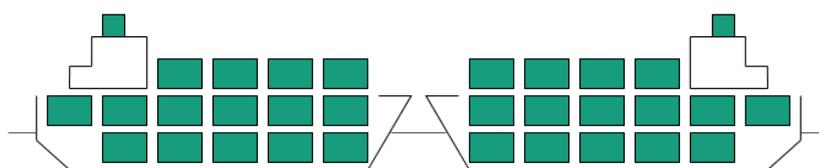


Abbildung 39: Darstellung einer Frontalkollision

Das Schadensvolumen R an beiden Schiffen folgt unter denselben Annahmen wie bei Kreuzungskollisionen zu:

$$R[m^3] = \frac{E[MJ]}{83,384}$$

Dieses Volumen kann ebenfalls entsprechend der Verdrängung des jeweiligen Schiffes auf beide Schiffe aufgeteilt werden, um einen Vergleich der Reparaturkosten mit einem Totalschaden zu ermöglichen.

Die Reparaturkosten können nun auf Basis der absorbierten Energie über das Schadensvolumen analog zu den Kreuzungskollisionen bestimmt werden. Es wird hierbei

ebenfalls ein Intervall von einer kritischen, zum Riss in der Außenhaut führenden Schiffsgeschwindigkeit zwischen 2kn und 5kn angenommen. Somit wird auch hier zwischen Kollisionen mit niedriger Energie ohne notwendigen Werftaufenthalt sowie mit hoher Kollisionsenergie mit notwendigem Werftaufenthalt zur Reparatur unterschieden.

Im Vergleich zu den Frontalkollisionen unterscheidet sich bei den in der Frequenzanalyse betrachteten Überholkollisionen nur die Relativgeschwindigkeit beider Schiffe $v_i - v_j$, während das weitere Vorgehen zur Berechnung der monetären Kollisionskonsequenz in Bezug auf Materialschäden identisch ist.

5.1.3 Bestimmung der Materialschäden bei Objektkollisionen

Die Objektkollisionen beziehen sich auf Kollisionen von Schiffen mit einer Pier, u.a. der OTB-Pier sowie mit Dalben. Eine reine Beschädigung seitlicher Schiffstrukturen wird hierbei als unwahrscheinlich angenommen, da diese nur auftritt, wenn das Schiff seitlich fährt. In diesem Fall würde das Schiff im wahrscheinlichsten Fall nur gegen die Pier oder die Dalben driften. Dies würde allenfalls Deformationen, aber keine schweren Materialschaden verursachen. Eine Frontalkollision des Schiffes mit den betrachteten Objekten hingegen wird als deutlich wahrscheinlicher angesehen. Auch die hierbei auftretenden Schäden werden aufgrund höherer möglicher Voraus- als Quergeschwindigkeiten des Schiffes als schwerwiegender eingestuft. Daher wird bei den Objektkollisionen der Ansatz einer Frontalkollision zugrunde gelegt. Der Ansatz basiert auf der Annahme einer Schadensart, bei der das Material bricht oder aufgefaltet wird, wie Abbildung 40 veranschaulicht.

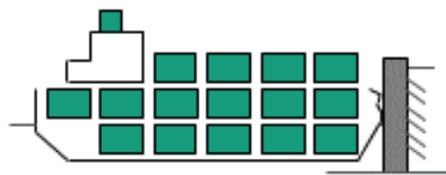


Abbildung 40 Darstellung einer Frontalkollision mit einer Pier

Im Vergleich zur Berechnung des Schadens bei einer Frontalkollision ergibt sich die zu berücksichtigende Energie nicht aus der kinetischen Energie beider kollidierender Schiffe, sondern nur aus der kinetischen Energie des mit dem Objekt kollidierenden Schiffes. Unter Berücksichtigung der hydrodynamischen Zusatzmasse des Schiffes bei Voraufahrt ergibt sich die absorbierte Energie zu:

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot (\Delta_i + dm_i) \cdot v_i^2$$

Dabei werden die Schiffsverdrängung Δ_i , die hydrodynamische Zusatzmasse für eine Voraufbewegung entlang der Schiffslängsachse entsprechend (Pedersen und Zhang 1998, S. 432) mit $m_{ax} = 0,05$ bzw. $dm_i = 0,05 \cdot \Delta$ sowie die Schiffsgeschwindigkeit v_i berücksichtigt. Die Berechnung des Schadensvolumens sowie der monetären Konsequenzen erfolgt analog zur Berechnung der Materialschäden bei Frontalkollisionen.

Zusätzlich zum Schaden am Schiff muss allerdings der Schaden am Objekt berücksichtigt werden. Für einen Dalben wird dabei für den Einzelfall ein feststehender Wert von 200 000 € angenommen. Für eine Pier hingegen wird die Annahme getroffen, dass bei einer Frontalkollision die Pier auf einer Länge der halben Schiffsbreite B beschädigt ist. Bei Kosten einer Reparatur der Pier von $80.000 \frac{\text{€}}{\text{m}}$ ergibt sich der Materialschaden zu:

$$C_{\text{Pier}} = 0,5 \cdot B \cdot 80.000 \frac{\text{€}}{\text{m}}$$

Analog zu den Schäden am Schiff wird auch beim Objektschaden das Intervall von einer kritischen, zum Riss in der Außenhaut führenden Schiffsgeschwindigkeit zwischen 2kn und 5kn angenommen. Tritt ein Riss in der Außenhaut des Schiffes auf, wird auch am Objekt ein Schaden angenommen. Wird jedoch das Schiff nur leicht deformiert, so wird auch am Objekt von keiner einer Reparatur bedürftigen Beschädigung ausgegangen. Damit wird auch hier zwischen Kollisionen mit niedriger Energie sowie mit hoher Kollisionsenergie unterschieden.

5.1.4 Bestimmung der Materialschäden bei Strandung

Materialschäden können abgesehen von Kollisionen auch durch Strandungen verursacht werden. Der Schaden tritt hierbei hauptsächlich am Schiffsboden und nicht an Bug-, Heck- oder Seitenstrukturen auf. Es wird dabei von einer Schadensart ausgegangen, bei der das Material aufreißt, wie in Abbildung 41 dargestellt.

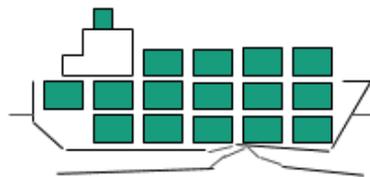


Abbildung 41: Darstellung einer Strandung

In Bezug auf die absorbierte Energie wird wie bei Objektkollisionen die Annahme getroffen, dass die gesamte kinetische Energie des Schiffes durch eine Deformation oder ein Aufreißen des Schiffsbodens absorbiert wird (Pedersen 2000, S. 1164). Des Weiteren wird für die Strandungsgeschwindigkeit die Voraussgeschwindigkeit des Schiffes angenommen, auf Basis einer Zeit zwischen Maschinenausfall und Strandung von 8,5 Minuten (von Morgenstern 2012, S. 331–338). Unter Berücksichtigung der hydrodynamischen Zusatzmasse des Schiffes bei Voraussfahrt ergibt sich die absorbierte Energie analog zur Objektkollision zu:

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot (\Delta_i + dm_i) \cdot v_i^2$$

Dabei werden wie bei der Objektkollision die Schiffsverdrängung Δ_i , die hydrodynamische Zusatzmasse für eine Voraussbewegung entlang der Schiffslängsachse entsprechend (Pedersen und Zhang 1998, S. 432) mit $m_{ax} = 0,05$ bzw. $dm_i = 0,05 \cdot \Delta$ sowie die Schiffsgeschwindigkeit v_i berücksichtigt.

Für die Berechnung des Schadensvolumens aus der absorbierten Energie kann ähnlich wie bei den zuvor betrachteten Kollisionen auch bei Strandungen ein weiterentwickelter Ansatz basierend auf dem von Minorsky verwendet werden. So wird der folgende Zusammenhang zwischen absorbierte Energie und Schadensvolumen ähnlich dem Ansatz bei Frontalkollisionen nach Pedersen und Zhang verwendet (Pedersen et al. 2000, S. 1165):

$$E_i = 3,21 \left(\frac{t}{B_{dam}} \right)^{0,6} \cdot \sigma_0 \cdot R_i$$

Dabei werden die äquivalente Plattendicke des Schiffsbodens t inklusive längs- und querlaufender versteifender Bauteile, die Schadensbreite B_{dam} , die Zugfestigkeit des

verbauten Stahls σ_0 sowie das Schadensvolumen R_T berücksichtigt. Für die Zugfestigkeit des verbauten Stahls σ_0 wird wie bei Frontalkollisionen der Wert von heute im Schiffbau üblicherweise verwendetem normalfesten Stahl mit einer Streckgrenze $R_{eH} = 235 \frac{N}{mm^2}$ und einer mittleren Zugfestigkeit von $\sigma_0 = 460 \frac{N}{mm^2}$ verwendet (GL 2012, I-1-1 Abschnitt 2B 1.1). Die äquivalente Plattendicke des Schiffsbodens t wird über die Dicke der Bodenbeplattung t_{min} nach den Regeln des Germanischen Lloyds (GL 2012, I-1-1 Abschnitt 6B 3.1) wie folgt angenähert:

$$t_{min} = (1,5 - 0,01 \cdot L)\sqrt{L \cdot k} \text{ [mm]}, \quad \text{falls } L < 50 \text{ m}$$

$$t_{min} = \sqrt{L \cdot k} \text{ [mm]}, \quad \text{falls } L \geq 50 \text{ m}$$

$$t_{max} = 16 \text{ mm}$$

Dabei ist L die Schiffslänge während sich der Faktor k für normalfesten Schiffbaustahl mit einer Streckgrenze $R_{eH} = 235 \frac{N}{mm^2}$ zu $k = \frac{235}{R_{eH}} = 1$ ergibt. Da jedoch nicht nur die reine Dicke der Bodenbeplattung sondern auch versteifende Bauteile berücksichtigt werden müssen, kann die äquivalente Plattendicke auf Basis von Zhang (1999, S. 204-206) in guter Näherung als die doppelte Plattendicke angenommen werden:

$$t = t_{eq} = 2 \cdot t_{min} \text{ bzw. } t_{max}$$

Für die Schadensbreite B_{dam} wird üblicherweise angenommen, dass die Schadensbreite der Eindringtiefe eines Felsens entspricht (Pedersen und Zhang 2000, S. 1165). Als Wert wird die Doppelbodenhöhe angenommen (Zhang 1999, S. 207; Otto et al. 2002, S. 472). Abbildung 42 veranschaulicht beispielhaft den Schaden im Doppelboden eines Tankers bei einer Strandung anhand eines Schnittes in etwa am Hauptspant des Schiffes, d.h. bei der halben Schiffslänge.

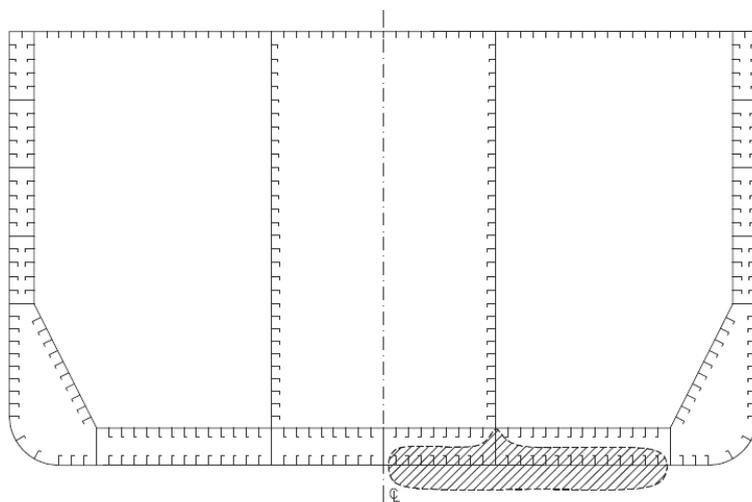


Abbildung 42: Schaden des Doppelbodens bei der Strandung eines Tankers (Quelle: Pedersen 2010, S. 258)

Die Höhe des Doppelbodens kann wie die Dicke der Bodenbeplattung über die Formeln des GL berechnet werden (GL 2012, I-1-1 Abschnitt 8B 2.2.1):

$$B_{dam} = h = 350 + 45 \cdot l = 350 + 45 \cdot B \quad \text{[mm]}$$

$$h_{min} = 600 \quad \text{[mm]}$$

Dabei bezeichnet l die ununterstützte Länge der Bodenwrangen in Metern, welche nach Abbildung 42 für Tanker gleich der Länge zwischen den Bodenseitentanks ist,

aber im Allgemeinen für alle Schiffsklassen gleich der Schiffsbreite B gesetzt werden kann. Mit der sich ergebenden Schadensbreite B_{dam} , der äquivalenten Plattendicke t und der Zugfestigkeit σ_0 sowie der absorbierten Energie E_i kann das Schadensvolumen berechnet werden:

$$R_i[m^3] = \frac{E_i[MJ]}{1476,6 \cdot \left(\frac{t}{B_{dam}}\right)^{0,6}}$$

Der monetäre Schaden kann nun analog zu den Kollisionen auf Basis der absorbierten Energie über das Schadensvolumen bestimmt werden. Es wird hierbei ebenfalls ein Intervall von einer kritischen, zum Riss im Schiffsboden führenden Schiffsgeschwindigkeit zwischen 2kn und 5kn angenommen. Somit wird auch hier zwischen Kollisionen mit niedriger Energie ohne notwendigen Werftaufenthalt sowie mit hoher Kollisionsenergie mit notwendigem Werftaufenthalt zur Reparatur unterschieden.

In Bezug auf den Totalschaden wird bei Strandungen jedoch nicht nur überprüft, ob die resultierenden Reparaturkosten die Baukosten des Schiffes übersteigen, sondern zusätzlich ob das Schadensvolumen ein bei Beschädigungen des Schiffsbodens kritisches Volumen überschreitet. Wenn das tatsächliche Volumen ein bestimmtes Volumen überschreitet, kann es zu Stabilitätsverlust und Kentern des Schiffes kommen (Otto et al. 2002, S. 470). Für RoRo-Schiffe und auch die meisten anderen Schiffstypen existieren jedoch keine Regeln diesbezüglich für Strandungen. Daher werden Limits für Tanker, definiert durch MARPOL, mit der Schiffslänge L , der Schiffsbreite B und der Doppelbodenhöhe h verwendet:

$$D_{L,MARPOL} = 0,4L [m]$$

$$D_{D,MARPOL} = \frac{B}{3} [m]$$

$$D_{H,MARPOL} = h [m]$$

$$R_{MARPOL} = D_{L,MARPOL} \cdot D_{D,MARPOL} \cdot D_{H,MARPOL}$$

Wird bei einer Strandung somit das kritische Schadensvolumen R_{MARPOL} von R_i überschritten, wird ein Totalschaden des Schiffes angenommen, selbst wenn die Reparaturkosten noch nicht die Kosten eines Totalschadens übersteigen.

5.1.5 Bestimmung der Umweltschäden

Als zweite Schadensart werden Umweltschäden durch die auftretenden Kollisionen untersucht. Im Allgemeinen beziehen sich Umweltschäden dabei auf Schäden durch den Austritt von Öl, insbesondere Brennstoff und bei Tankern auch Ladeöl oder Chemikalien. Bei den Berechnungen wird angenommen, dass Umweltschäden hauptsächlich bei Kreuzungskollisionen und Kollisionen der Schiffseite mit Objekten sowie Strandungen auftreten. Da für Ladeöl und Chemikalien der gleiche Berechnungsansatz benutzt wird, wird im Folgenden nur noch der Begriff Ladeöl verwendet.

Bei Frontal- und Überholkollisionen wird angenommen, dass kein Öl austritt, da sich vor dem Kollisionsschott, dem ersten wasserdichten Querschott (QS) vom Bug des Schiffes aus (siehe Abbildung 43), laut den Regeln der Klassifikationsgesellschaften keine Tanks weder für Brennstoff noch für Ladeöl befinden dürfen. Auch hinter dem Stopfbuchenschott sind im Allgemeinen keine Tanks angeordnet. Laut dem GL (GL 2012, I-1-1 Abschnitt 11) sind auf allen Schiffen ein Kollisionsschott, ein Stopfbuchenschott an der Abdichtung der Propellerwelle sowie an jedem Ende des Maschinenraumes ein wasserdichtes Querschott anzuordnen. Bei Schiffen mit hinten liegender Ma-

schinenanlage kann das Stopfbuchenschott das hintere Maschinenraumschott ersetzen, wie Abbildung 43 zeigt.

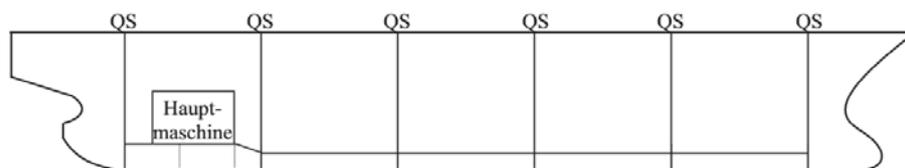


Abbildung 43: Schematische Lage der Querschotte (Quelle: GL 2012, I-1-1 Abschnitt 8E Abb. 8.3)

Des Weiteren wird angenommen, dass bei einer Kollision mit niedriger Energie, d.h. unter einer Geschwindigkeit von 2kn , bei der kein Riss in der Schiffsaußenhaut verursacht wird, wie bei den Materialschäden auch kein Umweltschaden durch austretendes Öl auftritt (siehe Abschnitt 5.1.1). Bei Kollisionen mit hoher Energie, d.h. oberhalb der oberen Intervallgrenze von 5kn , wird angenommen, dass Öl freigesetzt wird. Dazwischen werden die austretende Ölmenge bzw. die Kosten linear interpoliert.

Für die Berechnung der Umweltschäden wird der Ansatz aus einem Bericht des Germanischen Lloyd (Dausendschön et al. 2008, S. 49ff) zur Wirksamkeit kollisionsverhindernder Maßnahmen in Offshore Windparks zugrunde gelegt. Es wird angenommen, dass die Ansätze zur Berechnung der freigesetzten Ölmenge sowie der Wahrscheinlichkeit, dass ein Tank getroffen wird, analog verwendet werden können, da es bei den Ansätzen von geringerer Bedeutung ist, ob ein Ölaustritt durch eine Kollision eines Schiffes mit einem anderen Schiff oder einer Windenergieanlage verursacht wird. Unterschieden wird bei dem Ansatz allerdings zwischen manövrierfähigen sowie manövrierunfähigen Schiffen, da dies aufgrund unterschiedlicher Voraus- bzw. Driftgeschwindigkeiten zu unterschiedlichen freigesetzten Ölmengen führen kann. Im Allgemeinen kann die Bestimmung der Umweltschäden sowohl für manövrierfähige als auch manövrierunfähige Schiffe wie folgt gegliedert werden:

1. Bestimmung der freigesetzten Brennstoffmenge und der Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung dieser Menge,
2. Bestimmung der freigesetzten Ladeölmenge (bzw. Chemikalienmenge) bei Tankern und der Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung dieser Menge,
3. Berechnung der gesamten freigesetzten Ölmenge und
4. Ableitung der monetären Schadenshöhe.

Für manövrierfähige Schiffe berechnet sich die freigesetzte Ölmenge $M_{\text{Öl}}$ über die Wahrscheinlichkeit $P_{SE,Br}$, dass bei der Kollision ein Brennstofftank getroffen wird, die freigesetzte Brennstoffmenge $M_{Br,s,t}$ eines Schiffes des Typs t und der Größenklasse s , die Wahrscheinlichkeit $P_{SE,La}$, dass bei der Kollision ein Ladetank getroffen wird sowie die freigesetzte Ladeölmenge $M_{La,s,Tanker}$ eines Tankers der Größenklasse s zu:

$$M_{\text{Öl}} = P_{SE,Br} \cdot M_{Br,s,t} + P_{SE,La} \cdot M_{La,s,Tanker}$$

Bei der Bestimmung der Wahrscheinlichkeit, dass bei der Kollision ein Brennstofftank getroffen wird, müssen zwei Bedingungen berücksichtigt werden. Die erste Bedingung besagt, dass die Kollisionsstelle im Bereich eines an der Außenhaut des Schiffes angeordneten Brennstofftanks liegen muss. Da die Länge der Tanks im Verhältnis zur Schiffslänge nur 15% ausmacht, gilt $P_{ta} = 0.15$. Die zweite Bedingung bezieht sich auf die Tatsache, dass bei dem betrachteten Schiff überhaupt ein Brennstofftank an der Außenhaut angeordnet ist. Diese Anordnung ist bei ca. 25% der Schiffe zu finden (Dausendschön et al. 2008, S. 49). Damit gilt $P_{tt} = 0.25$ und es ergibt sich:

$$P_{SE,Br} = P_{tt} \cdot P_{ta} = 0,25 \cdot 0,15 = 0,0375$$

Die freigesetzte Brennstoffmenge $M_{Br,s,t}$ ergibt sich entsprechend des Schiffstyps und der Schiffsgröße aus den Koeffizienten a_k, b_k, c_k aus Tabelle 16 und der Zuladung bzw. Tonnage T [tdw] des Schiffes:

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

Schiffstyp	Obere Tonnagebegrenzungen [tdw]	Koeffizienten		
		a_k, B_r	b_k, B_r	c_k, B_r
Stückgut- und Containerschiff	100 000	18,86	0,0856	0,0000004
Massengut	300 000	54,80	0,0494	0
RoRo-Schiff	50 000	18,90	0,0856	0,0000004
Gastanker	70 000	175,00	0,0709	-0,000000169
Chemikaliertanker	200 000	47,61	0,02760	0
Öltanker	200 000	712,00	0,0298	0
Fähren und Passagierschiff	50 000	0	0	0
		a_k, L_a	b_k, L_a	c_k, L_a
Öltanker		0	0,0802	0,00000004

Tabelle 16: Schiffstypenspezifische Koeffizienten (Quelle: Dausendschön et al. 2008, S. 50, 51)

Bei Öltankern muss neben der freigesetzten Brennstoffmenge auch die freigesetzte Ladeölmenge berücksichtigt werden. Als Wahrscheinlichkeit, dass bei der Kollision ein Ladetank getroffen wird, wird für einen Öltanker ein Wert von $P_{SE,La} = 0,75$ angenommen. Dieser entspricht dem Verhältnis der Länge der Ladeöltanks zur Schiffslänge. Zur Berechnung der freigesetzten Ladeölmenge $M_{La,s,Tanker}$ wird die Annahme getroffen, dass der Inhalt von zwei Ladetanks vollständig freigesetzt wird sowie dass 50% aller Tanker voll beladen sind:

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

Bei manövrierunfähigen Schiffen wird im Vergleich zu manövrierfähigen Schiffen eine kleinere Drift- als Fahrtgeschwindigkeit und damit eine kleinere Kollisionsenergie zugrunde gelegt. Damit wird ein Aufreißen der Schiffsaußenhaut als unwahrscheinlicher aber nicht ausgeschlossen angesehen (Dausendschön et al. 2008, S. 71). Daher berechnet sich die bei einer Kollision freigesetzte mittlere Ölmenge analog zu dem Fall manövrierfähiger Schiffe:

$$M_{\text{Öl}} = P_{SE,Br} \cdot M_{Br,s,t} + P_{SE,La} \cdot M_{La,s,Tanker}$$

Deshalb wird in diesem Fall davon ausgegangen, dass lediglich der Inhalt eines und nicht zweier Ladeöltanks freigesetzt wird:

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

Nach Bestimmung der freigesetzten Ölmenge können über diese die Kosten für eine Beseitigung des Öls bestimmt werden, welche die monetäre Konsequenz einer Kollision in Bezug auf die Umwelt darstellen. Es wird ein Wert von $12\,700 \frac{\text{USD}}{\text{t}}$ für die durch-

schnittlichen Beseitigungskosten für eine Tonne ausgetretenes Öl angenommen. Dieser Wert wurde in der Safedor Studie von Det Norske Veritas (DNV 2005, S. 56) für Europa ermittelt und bereits bei einer Schadensberechnung für den Øresund (DMA 2006, S. 130) sowie einer Risikoanalyse im Raum Bornholm (Søfartsstyrelsen 2008, S. 70) verwendet. Da es sich um einen Wert in USD aus dem Jahr 2005 handelt, ergibt sich mit einem Kurs von $1 \text{ USD} = 0,8409 \text{ €}$ ein Umweltgesamtschaden bei Kreuzungskollisionen und Strandungen sowohl für manövrierfähige als auch manövrierunfähige Schiffe unter Berücksichtigung unterschiedlicher freigesetzter mittlerer Ölmengen $M_{\text{Öl}}$ von:

$$C_{\text{Umwelt}} = M_{\text{Öl}} \cdot 12700 \frac{\text{USD}}{t} \cdot 0,8409 \frac{\text{€}}{\text{USD}}$$

5.1.6 Bestimmung der Personenschäden

Generell wird als Personenschäden die Anzahl an Todesopfern angesehen. Im Rahmen dieser Analyse wie bei den Umweltschäden angenommen, dass bei einer Kollision mit niedriger Energie, d.h. unter einer Geschwindigkeit von 2kn (vgl. Abschnitt 5.1.1), bei der kein Riss in der Schiffsaußenhaut verursacht wird, weder ein Umweltschaden durch austretendes Öl noch ein Personenschaden auftritt. Bei Kollisionen mit hoher Energie, d.h. oberhalb der oberen Intervallgrenze von 5kn, wird angenommen, dass der Unfall definitiv zu Personenschäden entsprechend des folgenden Modells führt. Dazwischen werden die Anzahl an Todesopfern bzw. die Kosten linear interpoliert.

Ein Ansatz zur Bestimmung der Anzahl an Todesopfern sowohl für Kollisionen als auch Strandungen wird in der Risikoanalyse im Raum Bornholm genannt (Søfartsstyrelsen 2008, S. 68). Dieser gliedert sich wie folgt:

1. Bestimmung der durchschnittlichen Personenanzahl an Bord des Schiffstyps,
2. Bestimmung der erwarteten Anzahl an Personen an Bord für den untersuchten Schiffstyp und die untersuchte Schiffsgröße,
3. Berechnung der Anzahl an Todesopfern und
4. Ableitung der monetären Schadenshöhe.

Für Kollisionen als auch Strandungen weist (Søfartsstyrelsen 2008, S. 68) einen Erwartungswert von 0,01 Todesopfern pro Unfall aus. Bei der Analyse von Søfartsstyrelsen sind im Mittel 20 Personen an Bord. Nimmt man einen Bernoulliprozess an, so beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmtes Crewmitglied bei einem Unfall stirbt 0,0005. Die erwartete Gesamtanzahl an Todesopfern auf einem Schiff ergibt sich in Abhängigkeit der erwarteten Anzahl Personen an Bord eines Schiffes folglich zu:

$$F_i = 0,0005 \cdot \text{Erwartete Anzahl Personen an Bord von Schiff } f_i$$

Die erwartete Anzahl an Personen an Bord wird für die unterschiedlichen betrachteten Schiffsklassen entsprechend des Schiffstyps und der Schiffsklasse einzeln ermittelt.

Die resultierenden Todesfälle werden mittels des sogenannten Wertes eines statistischen Lebens (VSL, engl.: value of a statistical life) in einen monetären Schaden umgerechnet. Dieser Wert basiert auf der Annahme, dass jeder Mensch eine begrenzte Bereitschaft hat, für eine mögliche Verlängerung seines eigenen Lebens oder des eines anderen Mitglieds der Gesellschaft um eine kleine Zeitspanne zu zahlen. Rechnet man die Bereitschaft ausgehend von dieser Zeitspanne auf die Dauer eines durchschnittlichen Lebens um, erhält man den VSL (Søfartsstyrelsen 2008, S. 69). Dieser beträgt laut der Safedor Studie von Det Norske Veritas (DNV 2005, S. 22) 3 Mio. USD und wird sowohl in der Schadensberechnung für den Øresund (DMA 2006, S. 128) als auch in

der Risikoanalyse im Raum Bornholm (Søfartsstyrelsen 2008, S. 69) verwendet. Da es sich auch hierbei um einen Wert in USD aus dem Jahr 2005 handelt, wird ein Umrechnungskurs von 1 USD = 0,8409 € berücksichtigt, womit sich der gesamte Personenschaden ergibt zu:

$$C_{\text{Personen}} = F \cdot 3 \text{ Mio.} \cdot \frac{\text{USD}}{\text{Person}} \cdot 0,8409 \frac{\text{€}}{\text{USD}}$$

5.2 Ist-Szenario 2008

Analog zur Frequenzanalyse wird basierend auf der Gefährdungsanalyse aus Kapitel 3 für die zuvor beschriebenen Modelle für den Ist-Zustand die Ermittlung der Konsequenzen erläutert. Insgesamt wird das Ist-Szenario durch acht Submodelle beschrieben, wie bei der Risikoanalyse in Kapitel 4. Davon beschäftigen sich fünf Modelle mit Schiff-Schiff-Kollisionen und drei Modelle mit Schiff-Objekt-Kollisionen/ Strandungen. Entsprechend werden die Kollisionskonsequenzen und monetären Schäden ermittelt.

Zur Berechnung der Kollisionskonsequenz über die absorbierte Energie durch den Schiffsrumpf, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, wird jedoch für die verwendeten Schiffsklassen (siehe Tabelle 5) die Schiffsmasse bzw. die Verdrängung des Schiffes benötigt. Da diese bei den vorhergehenden Berechnungen zur Bestimmung der Kollisionskandidaten bzw. der Anzahl an Kollisionen nicht benötigt wurde, wird sie an dieser Stelle für die verwendeten Schiffsklassen über die gegebenen Parameter angenähert.

Bei der Bestimmung der Schiffsklassen wurden über ein gegebenes Intervall der Brutto-raumzahl, das Schiffsvolumen und damit über die in (IALA 2012) gegebenen Schiffscharakteristika die Schiffsabmessungen bestimmt. Auf Basis der gegebenen Schiffscharakteristika bietet sich die Berechnung der Verdrängung über den optimalen Blockkoeffizienten c_B in Abhängigkeit der Froudezahl F_n nach einem Ansatz von Jensen an (siehe Abbildung 44).

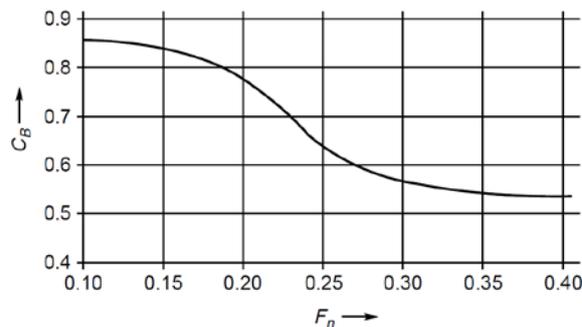


Abbildung 44: Empfohlener Blockkoeffizient c_B (Quelle: Schneekluth et al. 1998, S. 26)

Die Kurve des Blockkoeffizienten c_B in Abhängigkeit der Froudezahl F_n in Abbildung 44 kann nach (Schneekluth et al. 1998, S. 26) beschrieben werden durch:

$$c_B = -4,22 + 27,8 \cdot \sqrt{F_n} - 39,1 \cdot F_n + 46,6 \cdot F_n^3, \quad 0,15 < F_n < 0,32$$

Dabei ist die Froudezahl F_n über die Schiffsentwurfsgeschwindigkeit v , die Schiffslänge L , und die Erdbeschleunigung g wie folgt definiert:

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}}$$

Die Verdrängung des Schiffes ergibt sich über die Schiffsabmessungen Länge L , Breite B und Tiefgang T , den Blockkoeffizienten c_B sowie die Seewasserdichte ρ zu:

$$\Delta = \rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot c_B$$

Die Verdrängungen der in der Frequenzanalyse im IST-Szenario 2008 berücksichtigten Schiffe sind in Tabelle 18 aufgelistet. Für die Bestimmung der Materialschäden ist außer der Verdrängung eine Angabe zu den Baukosten zur Berücksichtigung eines Totschadens notwendig. In Tabelle 18 sind somit auf Grundlage der gegebenen Schiffsabmessungen und verschiedener Quellen die Baukosten der in der Analyse berücksichtigten Schiffe aufgelistet (s. Annex 2: Quellen Baukosten und Personenanzahl). Bei Schiffen gleichen Typs aber unterschiedlicher Größe werden die Baukosten über die Schiffslänge skaliert.

Zur Berechnung der Umweltschäden ist für die berücksichtigten Schiffe neben der Verdrängung auch die Zuladung der Schiffe erforderlich, um die Koeffizienten zur Berechnung der freigesetzten Ölmenge abzuleiten. Diese wird daher über das Verhältnis der Zuladung dw zur Verdrängung Δ des Schiffes, gegeben für bestimmte Schiffstypen in (Schneekluth et al. 1998, S. 150), und den entsprechenden Annahmen in Bezug auf die Schiffstypen in Tabelle 17 bestimmt. Auf Basis der Schiffstypen und der Zuladung werden somit die in Tabelle 17 folgenden Koeffizienten zur Berechnung der freigesetzten Brennstoffmenge basierend auf Schneekluth ermittelt.

Schiffstyp	$\frac{dw}{\Delta}$ [%]	Schiffstyp	Koeffizienten					
			a_k, B_r	b_k, B_r	c_k, B_r	a_k, L_a	b_k, L_a	c_k, L_a
Weserfähre	25	Fähre	0	0	0	0	0	0
Lotsenversetzer Käpt Stoewahse	20	Fähre	0	0	0	0	0	0
Binnenschiff	70	Küstenfrachtschiff	54,48	0,0494	0	0	0	0
Autotransporter	55	RoRo-Schiff	18,90	0,0856	0,0000004	0	0	0
Bulk Carrier	80	Massengutfrachter	54,48	0,0494	0	0	0	0
Tanker	70	Tanker	712,00	0,0298	0	0	0,0802	0,00000004
Containerschiffe	65	Containerschiff	18,86	0,0856	0,0000004	0	0	0
Fahrgastschiffe/Fähre	25	Fähre	0	0	0	0	0	0
Gastanker	70	Tanker	175,00	0,0709	0	0	0	0
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge	20	Fähre	0	0	0	0	0	0
RoRo-Schiffe	55	RoRo-Schiff	18,90	0,0856	0,0000004	0	0	0
Sonstige Seeschiffe	65	Containerschiff	18,90	0,0856	0,0000004	0	0	0
Spezialfahrzeuge	65	RoRo-Schiff	18,90	0,0856	0,0000004	0	0	0
Trockenfrachter/Mehrweckschiff	80	Massengutfrachter	54,48	0,0494	0	0	0	0
Lotsenversetzer ORC 190.P	20	Fähre	0	0	0	0	0	0

Tabelle 17: Verhältnis der Zuladung zur Verdrängung je Schiffstyp sowie die Koeffizienten zur Bestimmung der freigesetzten Ölmenge

Als letztes sind in Tabelle 18 für die einzelnen Schiffsklassen die durchschnittliche Anzahl an Personen an Bord angegeben sowie die erwartete Anzahl an Personen an Bord auf Basis von ähnlichen Vergleichsschiffen abgeschätzt (s. Annex 2: Quellen Baukosten und Personenanzahl), um daraus die Personenschäden bei den auftretenden Kollisionen entsprechend Abschnitt Bestimmung der Personenschäden zu berechnen.

Schiffstyp	BRZ		Verdrängung [t]	Zuladung [t]	Baukosten [Mio €]	Personenzahl an Bord
Binnenschiff_1_Nord	0	500	505,60	353,92	6,99	5
Binnenschiff_2_Nord	500	1500	1.253,69	877,58	9,44	5
Binnenschiff_3_Nord	1500	3000	4.008,76	2.806,13	13,99	6
Binnenschiff_1_Süd	0	500	505,60	353,92	6,99	5
Binnenschiff_2_Süd	500	1500	1.253,69	877,58	9,44	5
Binnenschiff_3_Süd	1500	3000	4.008,76	2.806,13	13,99	6
Autotransporter_3	1500	3000	17.608,69	9.684,78	20,97	22
Autotransporter_4	3000	10000	28.073,89	15.440,64	24,74	22
Autotransporter_6	40000	50000	43.627,81	23.995,29	29,93	32
Autotransporter_7	50000	100000	83.329,16	45.831,04	35,32	32
Bulk Carrier_1	0	1500	1.853,72	1.482,98	6,10	6
Bulk Carrier_2	1500	3000	4.626,89	3.701,51	8,71	10
Bulk Carrier_3	3000	10000	11.967,19	9.573,75	12,27	18
Bulk Carrier_4	10000	20000	28.344,67	22.675,73	16,08	21
Bulk Carrier_5	20000	30000	51.148,63	40.918,90	18,98	21
Bulk Carrier_6	30000	40000	64.225,74	51.380,59	21,16	21
Bulk Carrier_7	40000	50000	82.687,05	66.149,64	22,96	21
Bulk Carrier_8	50000	100000	159.613,96	127.691,17	27,09	22
Tanker_1	0	500	678,06	474,64	9,36	6
Tanker_2	500	1500	2.037,45	1.426,21	14,65	8
Tanker_3	1500	3000	4.412,60	3.088,82	19,04	11
Tanker_4	3000	10000	12.021,18	8.414,82	26,83	18
Tanker_5	10000	20000	33.105,96	23.174,17	35,17	22
Tanker_6	20000	30000	52.073,94	36.451,76	41,49	23
Tanker_7	30000	50000	73.738,49	51.616,94	48,32	23
Containerschiffe_1	0	3000	3.197,38	2.078,30	17,04	9
Containerschiffe_2	3000	10000	12.183,95	7.919,57	27,38	10
Containerschiffe_3	10000	20000	25.503,68	16.577,39	35,89	21
Containerschiffe_4	20000	30000	38.657,02	25.127,06	42,35	23
Fahrgastschiffe/Fähre_1	0	500	861,28	215,32	17,20	120
Fahrgastschiffe/Fähre_2	500	1500	1.774,59	443,65	26,91	150
Fahrgastschiffe/Fähre_5	10000	20000	14.654,67	3.663,67	64,60	600
Gastanker_1	0	500	8.151,97	5.706,38	25,36	18
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_1	0	500	557,87	111,57	39,38	5
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_2	500	1500	1.742,87	348,57	61,60	6
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_3	1500	3000	2.517,04	503,41	80,06	7
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_4	3000	10000	6.539,94	1.307,99	112,82	10
RoRo-Schiffe_1	0	3000	2.725,53	1.499,04	9,96	10
RoRo-Schiffe_2	3000	10000	7.985,79	4.392,19	16,00	15
RoRo-Schiffe_3	10000	20000	17.608,69	9.684,78	20,97	22
RoRo-Schiffe_4	20000	30000	28.073,89	15.440,64	24,74	22
RoRo-Schiffe_7	30000	40000	83.329,16	45.831,04	35,32	22
Sonstige Seeschiffe_1	0	500	519,61	337,75	7,15	4
Sonstige Seeschiffe_2	500	1500	1.377,25	895,21	11,18	6
Sonstige Seeschiffe_3	1500	3000	3.430,72	2.229,97	14,54	9
Sonstige Seeschiffe_4	3000	10000	6.576,15	4.274,50	20,48	12
Sonstige Seeschiffe_5	10000	20000	15.937,55	10.359,40	26,85	19
Spezialfahrzeuge_1	0	500	824,30	535,80	11,46	4
Spezialfahrzeuge_2	500	1500	1.935,12	1.257,83	17,93	6
Spezialfahrzeuge_3	1500	3000	3.777,72	2.455,52	23,30	9
Spezialfahrzeuge_4	3000	10000	9.204,49	5.982,92	32,84	12
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_1	0	500	593,90	475,12	3,85	4
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_2	500	1500	1.989,83	1.591,86	6,02	8
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_3	1500	3000	4.327,60	3.462,08	7,83	10
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_4	3000	10000	14.017,63	11.214,10	11,03	16
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_5	10000	20000	26.895,17	21.516,14	14,46	21
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_6	20000	30000	48.537,66	38.830,13	17,07	21
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_7	30000	40000	59.761,27	47.809,02	19,03	21
Weserfähre	-	-	1441,79	360,45	6,87	300
Lotsenversetzer Käpt Stoewahse	-	-	127,43	25,49	3,50	12

Tabelle 18: Schiffsklassendaten für die Konsequenzanalyse IST-Szenario 2008

In IST01 werden Schiff-Schiff-Kollisionen und somit Schäden durch Kollisionen bei Frontal- und Überholbegegnungen betrachtet. Frontalkollisionen treten insbesondere dann auf, wenn die beiden sich auf Kollisionskurs befindenden Schiffe kein Ausweichmanöver durchführen. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass die Schiffe aneinander vorbeigleiten (Søfartsstyrelsen 2008, S. 68). Im Fall, dass zwar ein Ausweichmanöver von mindestens einem Schiff gestartet wird, dieses aber nicht erfolgreich ist, öffnet ein Schiff seinen Kurs, sodass statt einer Frontalkollision eine Kreuzungskollision zu erwarten ist. Im Rahmen dieser Analyse wird für diese Öffnung ein Kollisionswinkel von 150° bei Frontal- bzw. 30° bei Überholsituationen unterstellt. Es wird angenommen, dass dies bei ca. 10% der Schiffe auf frontalem Kollisionskurs der Fall ist. Für die überwiegenden 90% wird der Materialschaden als Schaden verursacht durch eine Frontalkollision bestimmt, wie Abbildung 45 zeigt. Ein überwiegend schadenfreies Vorbeigleiten der Schiffe wird nicht berücksichtigt, sodass dieser Ansatz konservative Ergebnisse liefert. Analog wird bei den Überholbegegnungen verfahren. Hierbei ergeben sich noch etwas konservativere Ergebnisse, da schon die Annahme eines 10%igen Anteils an Kreuzungskollisionen von Experten als konservativ angesehen wird (Søfartsstyrelsen 2008, S. 68).

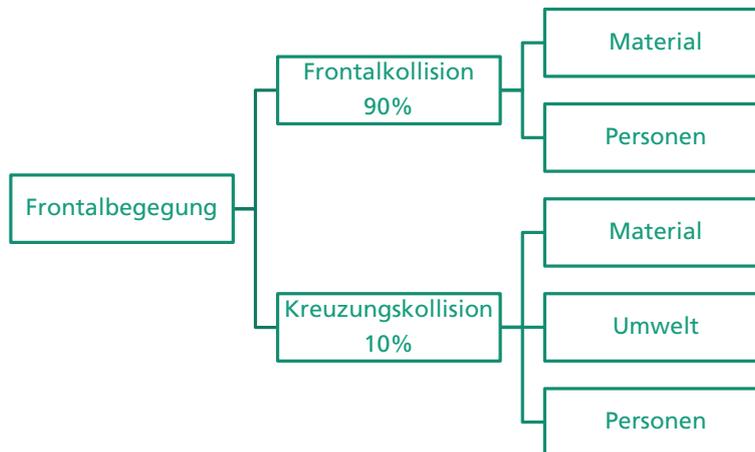


Abbildung 45: Vorgehen bei Frontalbegegnung

In Bezug auf Umweltschäden wird, wie in Kapitel 5.1.5 beschrieben, bei Frontalkollisionen unter Annahme eines wasserdichten Kollisionsschottes im Bugbereich des Schiffes sowie bei Überholkollisionen unter Annahme eines wasserdichten Stopfbuchsen- bzw. Maschinenraumschottes von keinem Umweltschaden ausgegangen. Bei einer aus einer Frontal- bzw. Überholbegegnung resultierenden Kreuzungskollision wird hingegen von einem Umweltschaden durch austretendes Öl ausgegangen. Dieser wird entsprechend der Methodik in Kapitel 5.1.5 berechnet.

Die Personenschäden ergeben sich für Frontal- sowie Überholkollisionen aus der gesamten Anzahl an Todesopfern auf beiden Schiffen. Die gesamte Kollisionskonsequenz setzte sich zusammen aus den Anteilen von Frontal- und Kreuzungskollisionen und hierbei aus der jeweiligen Summe von Material-, Umwelt- und Personenschäden.

5.2.2 IST02: Weserfahrwasser Fähranleger Blexen – Tonne 59

IST02 bestimmt ebenfalls Schiff-Schiff-Kollisionen. Die Schäden ergeben sich somit aus Frontal- und Überholkollisionen. Die Berechnungsgrundlagen und Annahmen für die

monetären Kollisionskonsequenzen entsprechen IST01. Für Begegnungsverbote werden keine Frequenzen und daher analog auch keine Konsequenzen berechnet. Konsequenzanalyse

5.2.3 IST03: Einfädeler Fähranleger Blexen

In IST03 werden Schiff-Schiff-Kollisionen betrachtet für das Ein- und Ausfädeln der Weserfähre am Fähranleger Blexen. Kollisionskandidaten beim Ein- und Ausfädeln werden mit Hilfe des Modells kreuzender Routen bestimmt. So werden auch die Kollisionskonsequenzen für dieses Submodell nach der Methodik für Kreuzungskollisionen bestimmt.

Bei der Berechnung des Kollisionsschadens wird unterschieden zwischen dem getroffenen sowie dem treffenden Schiff (siehe Kapitel 5.1.1). Da jedoch keine Informationen darüber vorliegen, welches der beiden beteiligten Schiffe getroffen wird, wird angenommen, dass in jeweils 50% der Kollisionen Schiff i bzw. Schiff j getroffen wird. Da die resultierenden Schäden sich insbesondere bei sehr unterschiedlich großen Schiffen stark unterscheiden können, setzt sich der Materialschaden jeweils zur Hälfte aus beiden Fällen zusammen, wie Abbildung 46 zeigt.

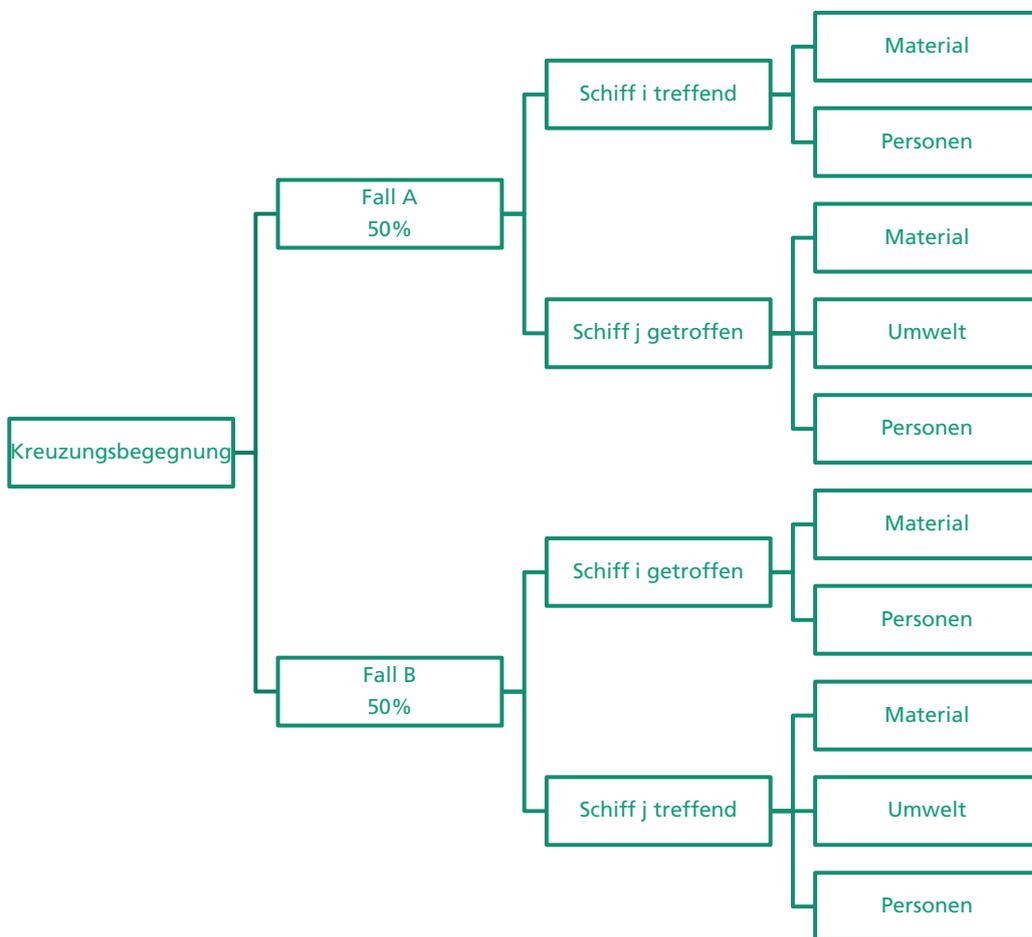


Abbildung 46: Vorgehen bei Kreuzungsbegegnungen

Die Umweltschäden werden ebenfalls für beide Fälle berechnet. Hierbei wird jedoch angenommen, dass nur durch das getroffene Schiff ein Umweltschaden hervorgerufen wird. Beim treffenden Schiff wird angenommen, dass der Schaden wie bei Frontalkollisionen vor dem wasserdichten Kollisionsschott auftritt, so dass kein Öl austritt. Der resultierende Schaden wird entsprechend der Methodik in Kapitel 5.1.5 bestimmt.

Bei den Personenschäden hingegen wird jeweils die Anzahl zu erwartender Todesopfer auf beiden Schiffen berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass nicht nur ein Loch im Schiffsrumpf und möglicher Wassereintritt sondern insbesondere auch bei der Kollision auftretende Kräfte und Beschleunigungen Todesopfer fordern können. Der gesamte Personenschaden ergibt sich analog zu den Material- und Umweltschäden aus den einzelnen Personenschäden für beide Kombinationen von treffendem und getroffenem Schiff. Die gesamte Kollisionskonsequenz ergibt sich aus der Summe der drei Schadenstypen.

5.2.4 IST04: Einfädelung Geestemünde

In IST04 werden die Kollisionskandidaten bei Schiff-Schiff-Kollisionen bestimmt, die aus dem Ein- und Ausfädeln zwischen Schiffen im Weserfahrwasser und der Zufahrt zur Geestemünde resultieren. Dies schließt die Verkehre der Weserfähre sowie des Lotsenversetzers mit ein. Wie in IST03 werden somit dieselben Berechnungsgrundlagen und Annahmen getroffen.

5.2.5 IST05: Einfädelung Blexen-Reede

IST05 ist das Submodell, das den letzten Anteil der Schiff-Schiff-Kollisionen beschreibt. Es werden Kollisionen betrachtet, die durch Zu- und Abfahrt im Zusammenhang mit der bestehenden *Blexen-Reede* geschehen. Es werden auch in diesem Submodell dieselben Annahmen und Berechnungsgrundlagen wie in IST03 und IST04 basierend auf den Kollisionskonsequenzen für Kreuzungskollisionen unterstellt.

5.2.6 IST06: Kollision mit auf Blexen Reede liegenden Schiffen

IST06 betrachtet die Gefahr „*Kollision Schiff/Schiff auf Blexen Reede*“. Bei der Frequenzanalyse werden Typ Ia Kollisionskandidaten zwischen Schiffen, die im Weserfahrwasser fahren, und auf Reede liegenden Schiffen bestimmt. Dabei wird wie schon bei der Bestimmung der Kollisionskandidaten beachtet, dass die auf der Reede liegenden Schiffe mit $\pm 30^\circ$ zur Stromrichtung schwojen. Entsprechend werden sowohl die Konsequenzen aus Frontal- als auch Kreuzungskollisionen zwischen Schiffen im Weserfahrwasser und auf Reede liegenden Schiffen bestimmt. Das Vorgehen richtet sich damit je nach betrachtetem Fall nach dem Ansatz für Frontal- bzw. Kreuzungskollisionen, wie Abbildung 47 veranschaulicht.

Neben diesen so entstehenden Materialschäden werden Umweltschäden bei Kreuzungskollisionen nicht aber bei Frontalkollisionen aufgrund der Annahme von wasserdichten Querschotten, wie in Kapitel 5.1.5 beschrieben, berechnet. Bei den Kreuzungskollisionen wird jedoch, wie in IST03 angedeutet, angenommen, dass nur durch das getroffene Schiff ein Umweltschaden hervorgerufen wird. Beim treffenden Schiff wird angenommen, dass der Schaden wie bei Frontalkollisionen vor dem wasserdichten Kollisionsschott auftritt, so dass kein Öl austritt. Der resultierende Schaden wird entsprechend der Methodik in Kapitel 5.1.5 bestimmt.

In Bezug auf die Personenschäden wird hingegen, ebenfalls wie in IST03, jeweils die Anzahl zu erwartender Todesopfer auf beiden Schiffen berücksichtigt. Dies gilt sowohl für eine Frontal- als auch eine Kreuzungskollision. Es wird davon ausgegangen, dass nicht nur ein Loch im Schiffsrumpf und möglicher Wassereintritt, sondern insbesondere auch bei der Kollision auftretende Kräfte und Beschleunigungen Todesopfer fordern können.

Aus den entstehenden Schäden und der Anteile für beide Kollisionsarten ergibt sich der Gesamtschaden für dieses Submodell.

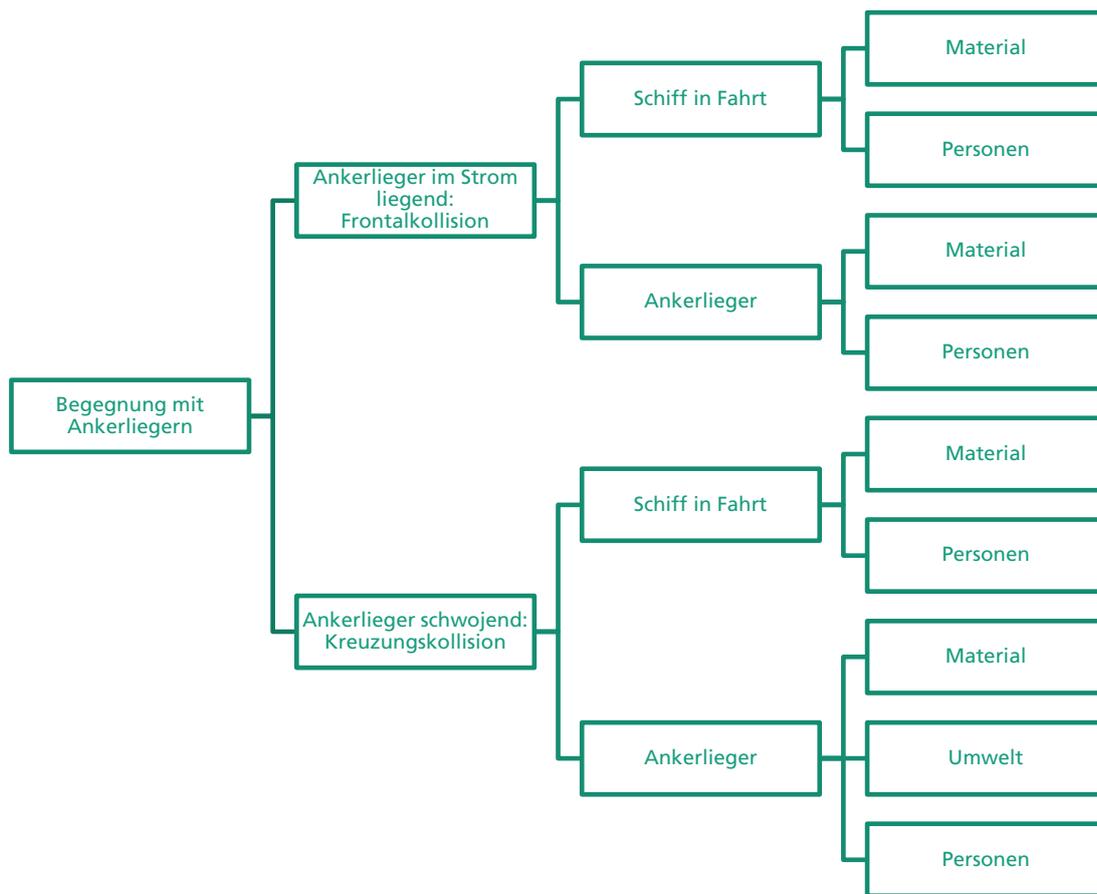


Abbildung 47: Vorgehen bei Begegnung mit auf Blexen Reede liegenden Schiffen

5.2.7 IST07: Kursänderungspunkte Blexen Bogen

Im Rahmen dieses Submodells werden die Kollisionen abgeschätzt, welche durch ver-säumtes Abbiegen in der Kurve des *Blexen Bogens* zu einer Kollision mit auf dem Nord-teil der *Blexen Reede* liegenden Schiffen oder zu einer Strandung am Westufer führen. Dieses Submodell betrachtet ebenfalls die Gefahr „*Kollision Schiff/Schiff auf Blexen Reede*“, aber auch die Gefahr einer Strandung am Weserostufer, welche aus einem zu späten Abbiegen resultiert. Es werden in diesem Modell somit die Konsequenzen von Schiff-Objekt-Kollisionen des Typs II sowie IIa, d.h. Kollisionen mit auf der Reede lie-genden Schiffen, mit einem Pier, Schiff-Schiff-Kollisionen sowie Strandungen ermittelt, wie in Abbildung 48 dargestellt.

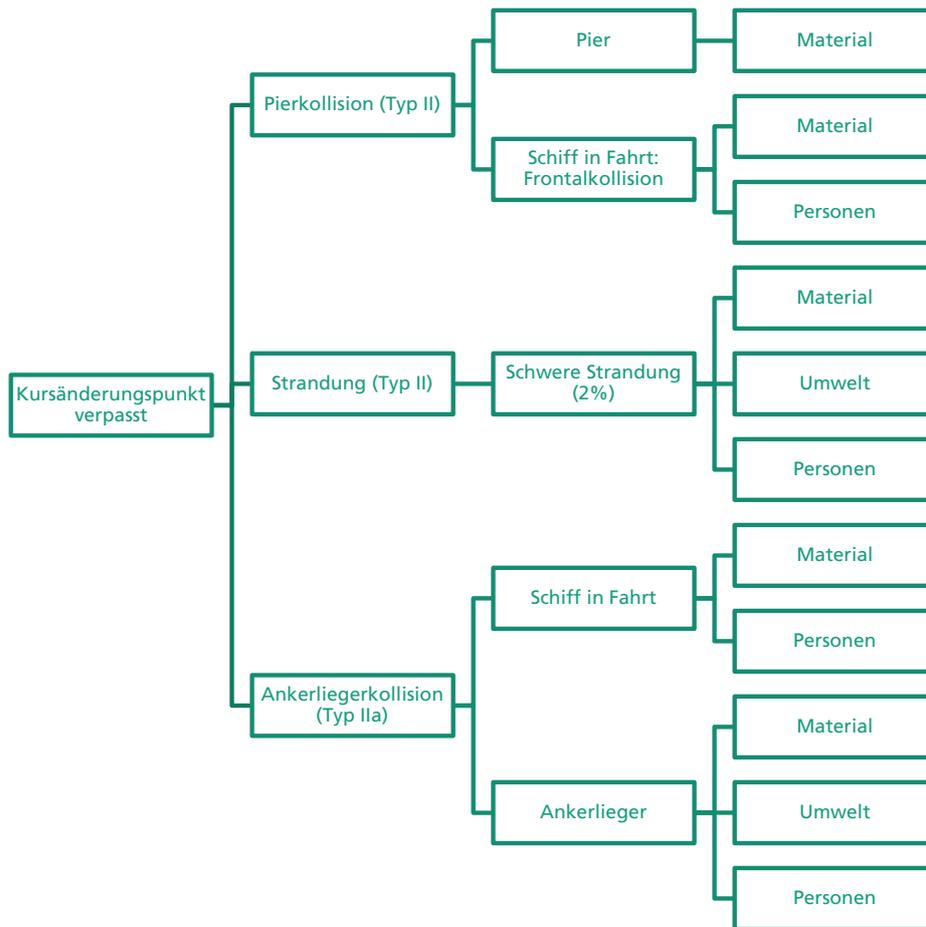


Abbildung 48: Vorgehen bei verpasstem Kursänderungspunkt

Bei Typ II Kollisionen berechnen sich Kollisionskonsequenzen in Bezug auf Materialschäden in IST07 entsprechend des Kollisionstyps nach der Methodik für Strandungen oder Objektkollisionen. So kann neben Strandungen insbesondere bei R05, wie in Kapitel 4.2.7 erläutert und in Abbildung 31 durch den oberen Teil der orangefarbenen Linie veranschaulicht, eine Objektkollision mit der Pier auftreten. Im Fall einer Strandung werden die Materialschäden mittels der entsprechenden Methodik für Strandungen bestimmt, während bei einer Kollision mit der Pier die Methodik für Objektkollisionen basierend auf Frontalkollisionen verwendet wird. Dabei werden neben den auf Seiten des Schiffes entstehenden Kosten ebenfalls Kosten für eine Reparatur der Pier berücksichtigt. Diese ergeben sich, wie bei der Methodik zu Objektkollisionen beschrieben, unter Annahme eines Schadens der Pier von etwa der halben Schiffsbreite sowie von Reparaturkosten der Pier von 80.000€/m.

Da bei den Objektkollisionen von Frontalkollisionen ausgegangen wird, wird wie auch bei IST01 die Anordnung von Querschotten im Vorschiffsbereich angenommen, so dass kein Ölaustritt zu erwarten ist und damit auch kein Umweltschaden berücksichtigt wird. Da sich an der Pier kein Öl befindet, werden auch hierfür keine Kosten berücksichtigt. Die Berechnung der Umweltschäden für die Strandungen dagegen basiert auf dem in Kapitel 5.1.5 erläuterten Ansatz. Da es sich bei diesem Submodell um im Fahrwasser fahrende Schiffe handelt, werden die Schäden entsprechend für manövrierfähige Schiffe bestimmt. Die Bestimmung der Personenschäden sowohl für Strandungen als auch Pier-Kollisionen erfolgt basierend auf der Anzahl an Todesopfern nach Kapitel 5.1.6. Die Personenschäden für eine Kollision mit dem OTB-Pier ergeben sich aus-

schließlich aus den Personenschäden des Schiffes. Auf Basis von (Maritime Safety Authority 2004, A8) wird angenommen, dass auf der Pier keine Personen gefährdet sind, da die Personenschäden eines solchen Unfalls in der Konsequenzmatrix lediglich mit einer Schwere von C0 oder C1 von C4 eingestuft sind, was sich auf eine einzelne leichte Verletzung bezieht. Der gesamte Schaden ergibt sich aus der Summe von Material-, Umwelt- sowie Personenschäden für das Schiff bei Strandungen sowie für Schiff und Pier bei den betrachteten Objektkollisionen.

Für den gesamten sich so ergebenden Schaden muss allerdings bei Strandungen berücksichtigt werden, in wie vielen Fällen einer Strandung im analysierten Gebiet überhaupt ein Schaden auftritt. Eine Seekartenanalyse zeigt, dass es sich in der Weser vorwiegend um sandigen Meeresboden ohne Felsen handelt. In (Søfartsstyrelsen 2008, S. 77) wird angegeben, dass im Raum um Bornholm 98% der Strandungen nur zu einem geringen Schaden führen, während es bei 2% zu einem schwerwiegenden Schaden kommt. Da sich die Formeln in Kapitel 5.1.4 u.a. aufgrund der Berücksichtigung der gesamten Doppelbodenhöhe als Schadenstiefe auf schwerwiegende Schäden beziehen und zudem auf Basis der Seekarten davon auszugehen ist, dass der Meeresboden in der Weser sandiger als um Bornholm ist, wird in dieser Analyse ebenfalls angenommen, dass nur 2% der Strandungen zu dem berechneten Schaden führen. Entsprechend ergibt sich eine reduzierte zu erwartende Schadenshöhe.

Bei Typ IIa Kollisionen werden die Kollisionskonsequenzen entsprechend der in der Frequenzanalyse in IST07 in Kapitel 4.2.7 beschriebenen Situation als Konsequenzen aus Kreuzungskollisionen zwischen Schiffen im Fahrwasser und auf Reede liegenden Schiffen bestimmt. Die Umweltschäden und Personenschäden ergeben sich analog zu den Konsequenzen durch Kreuzungskollisionen erläutert in IST03.

5.2.8 IST08: Kollisionen durch Ausfall der Schiffsmaschine

IST08 modelliert den Blackout der Schiffe aus IST01 und IST02. In diesem Submodell wird in der Risikoanalyse die Anzahl an Strandungen aufgrund von technischem Versagen bestimmt. Dabei wird unterstellt, dass die Kollisionssituation erst durch einen technischen Defekt zustande kommt, beispielsweise durch Driften nach einem Blackout, und nicht durch die zuvor gewählte Bahnführung. Entsprechend werden die Kollisionskonsequenzen für Strandungen berechnet.

Ein Maschinenausfall hat in der betrachteten Analyse im Submodell IST08 eine Strandung zur Folge. Die Materialschäden werden somit entsprechend des Ansatzes für eine Strandung bestimmt. Da es sich bei Schiffen mit einem Maschinenausfall um manövrierunfähige Schiffe handelt, ergeben sich die Umweltschäden über den Ansatz für manövrierunfähige Schiffe, wie im Kapitel zur Methodik beschrieben. Die Personenschäden werden entsprechend der oben beschriebenen Methodik berechnet. Der Gesamtschaden ergibt sich analog zu IST07 aufgrund des sandigen Bodens und der Annahme eines nur geringen Anteils schwerwiegender Schäden durch Strandungen als Anteil von 2% der Summe aus Material-, Umwelt- und Personenschäden. Aufgrund der kurzen prognostizierten Zeiten zwischen Blackout und Strandung wird keine signifikante Reduktion der Schiffsgeschwindigkeit unterstellt.

5.3 Szenario Weser 2025 ohne OTB (Unterlassungsalternative)

Dieses Szenario betrachtet das Risiko im Jahre 2025 unter der Prämisse, dass das OTB nicht realisiert wird, wie bereits bei der Frequenzanalyse erläutert. Die geometrischen Beziehungen verändern sich lediglich geringfügig durch die bis dahin realisierte planfestgestellte Weseranpassung. Da sich damit die Bestimmung der Kollisionskandidaten gar nicht oder nur gering ändert, ändert sich auch die Bestimmung der Kollisionskonsequenzen nur in diesem Rahmen.

Für die bereits in der Frequenzanalyse für dieses Szenario verwendeten Schiffsklassen werden hier analog zum Ist-Szenario 2008 in Tabelle 19 die für die Konsequenzanalyse darüber hinaus benötigten Daten aufgelistet. Diese beziehen sich auf die Verdrängung, die Zuladung und die Baukosten der Schiffstypen sowie auf die Personenanzahl an Bord der untersuchten Schiffe.

Schiffstyp	BRZ	Verdrängung [t]	Zuladung [t]	Baukosten [Mio. €]	Personenanzahl an Bord	
Binnenschiff_1_Nord	0	500	505,60	353,92	6,99	5
Binnenschiff_2_Nord	500	1500	1.253,69	877,58	9,44	5
Binnenschiff_3_Nord	1500	3000	4.008,76	2.806,13	13,99	6
Binnenschiff_1_Süd	0	500	505,60	353,92	6,99	5
Binnenschiff_2_Süd	500	1500	1.253,69	877,58	9,44	5
Binnenschiff_3_Süd	1500	3000	4.008,76	2.806,13	13,99	6
Autotransporter_6	40000	50000	43.627,81	23.995,29	29,93	32
Autotransporter_7	50000	100000	83.329,16	45.831,04	35,32	32
Bulk Carrier_1	0	1500	1.853,72	1.482,98	6,10	6
Bulk Carrier_2	1500	3000	4.626,89	3.701,51	8,71	10
Bulk Carrier_3	3000	10000	11.967,19	9.573,75	12,27	18
Bulk Carrier_4	10000	20000	28.344,67	22.675,73	16,08	21
Bulk Carrier_5	20000	30000	51.148,63	40.918,90	18,98	21
Bulk Carrier_6	30000	40000	64.225,74	51.380,59	21,16	21
Bulk Carrier_7	40000	50000	82.687,05	66.149,64	22,96	21
Bulk Carrier_8	50000	100000	159.613,96	127.691,17	27,09	22
Tanker_1	0	500	678,06	474,64	9,36	6
Tanker_2	500	1500	2.037,45	1.426,21	14,65	8
Tanker_3	1500	3000	4.412,60	3.088,82	19,04	11
Tanker_4	3000	10000	12.021,18	8.414,82	26,83	18
Tanker_5	10000	20000	33.105,96	23.174,17	35,17	22
Tanker_6	20000	30000	52.073,94	36.451,76	41,49	23
Tanker_7	30000	50000	73.738,49	51.616,94	48,32	23
Containerschiffe_1	0	3000	3.197,38	2.078,30	13,63	9
Containerschiffe_2	3000	10000	12.183,95	7.919,57	21,89	10
Containerschiffe_3	10000	20000	25.503,68	16.577,39	28,70	21
Containerschiffe_4	20000	30000	38.657,02	25.127,06	33,86	23
Fahrgastschiffe/Fähre_1	0	500	861,28	215,32	17,20	120
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_1	0	500	557,87	111,57	16,01	5
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_2	500	1500	1.742,87	348,57	61,60	6
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_3	1500	3000	2.517,04	503,41	80,06	7
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_4	3000	10000	6.539,94	1.307,99	112,82	10
RoRo-Schiffe_1	0	3000	2.725,53	1.499,04	9,96	10
RoRo-Schiffe_2	3000	10000	7.985,79	4.392,19	16,00	15
RoRo-Schiffe_3	10000	20000	17.608,69	9.684,78	20,97	22
RoRo-Schiffe_4	20000	30000	28.073,89	15.440,64	24,74	22
Sonstige Seeschiffe_1	0	500	519,61	337,75	7,15	4
Sonstige Seeschiffe_2	500	1500	1.377,25	895,21	11,18	6
Sonstige Seeschiffe_3	1500	3000	3.430,72	2.229,97	14,54	9
Sonstige Seeschiffe_4	3000	10000	6.576,15	4.274,50	20,48	12
Sonstige Seeschiffe_5	10000	20000	15.937,55	10.359,40	26,85	19
Spezialfahrzeuge_1	0	500	824,30	535,80	11,46	4
Spezialfahrzeuge_2	500	1500	1.935,12	1.257,83	17,93	6
Spezialfahrzeuge_3	1500	3000	3.777,72	2.455,52	23,30	9
Spezialfahrzeuge_4	3000	10000	9.204,49	5.982,92	32,84	12
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_2	500	1500	1.989,83	1.591,86	6,20	8
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_3	1500	3000	4.327,60	3.462,08	7,83	10
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_4	3000	10000	14.017,63	11.214,10	11,03	16
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_5	10000	20000	26.895,17	21.516,14	14,46	21
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_6	20000	30000	48.537,66	38.830,13	17,07	21
Trockenfrachter/Mehrweckschiff_7	30000	40000	59.761,27	47.809,02	19,03	21
Weserfähre	-	-	1441,79	360,45	6,87	300
Lotsenversetzer ORC 190.P	-	-	618,10	123,62	3,50	11

Tabelle 19: Schiffsklassendaten für die Konsequenzanalyse Szenario Weser 2025 ohne OTB

5.3.1 UA01: Weserfahrwasser Tonne 58 – Fähranleger Blexen

Das Vorgehen der Konsequenzberechnung entspricht dem von Submodell UA01, da lediglich 78 Verkehre des Typs „Binnenschiff_2“ ergänzt werden.

5.3.2 UA02: Weserfahrwasser Fähranleger Blexen – Tonne 59

Es gilt IST02 mit den Verkehrszahlen aus UA01. Die Annahme konstanter Werte für die Weserfähre gegenüber IST02 sowie die Ergänzung von 60 Verkehren des Typs „Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_4“ haben auf den Ansatz zur Berechnung der Konsequenzen keinen Einfluss. Dieser entspricht somit wie bei IST02 dem von Kreuzungskollisionen.

5.3.3 UA03: Einfädelung Fähranleger Blexen

UA03 entspricht ebenfalls bezüglich der Konsequenzen IST03.

5.3.4 UA04: Einfädelung Geestemünde

UA04 entspricht IST04 mit den Verkehrszahlen aus UA01 und UA02. Für Kollisionen zwischen Schiffen und dem Lotsenversetzer werden nun die Kennwerte des ORC 190 statt derer des Lotsenversetzers Kapitän Stoewahse verwendet. Da dies keine Auswirkung auf das Vorgehen der Kollisionskonsequenzberechnung hat, wird hier analog zu IST04 verfahren.

5.3.5 UA05: Einfädelung Blexen-Reede

UA05 entspricht IST05 mit den Verkehrszahlen aus UA01 und UA02. Für die Verkehre von/zu Blexen Reede werden konstante Werte angenommen. Es wird zunächst weiterhin unterstellt, dass auch Schiffe über 100m die Reede nutzen können, um Vergleichbarkeit mit dem IST-Szenario zu gewährleisten.

5.3.6 UA06: Kollision mit auf Blexen Reede liegenden Schiffen

UA05 entspricht in Bezug auf die Risikobestimmung IST05 mit den Verkehrszahlen aus UA01 ergänzt um die Binnenschiffsverkehre der Dillinger Hütte und somit auch in Bezug auf die Konsequenzberechnung.

5.3.7 UA07: Kursänderungspunkte Blexen Bogen

UA06 entspricht IST06 in Bezug auf das Risiko, sodass auch hier die Konsequenzen analog zu IST06 bestimmt werden.

5.3.8 UA08: Kollisionen durch Ausfall der Schiffsmaschine

Das Risiko sowie die Konsequenzen von UA08 werden entsprechend IST08 berechnet.

5.4 Szenario Weser 2025 mit OTB

In diesem dritten Szenario wird wie bei der Frequenzanalyse davon ausgegangen, dass das OTB entsprechend dem in Kapitel 2.2 beschriebenen Planungsstand realisiert wird.

5.4.1 OTB01: Weserfahrwasser Tonne 58 – Fähranleger Blexen

Das Submodell entspricht UA01 in Bezug auf die Bestimmung der Frequenzen und somit auch der Konsequenzen.

Prinzipiell entspricht OTB02 UA02. Ein Unterschied in Bezug auf das Risiko liegt bei der Ergänzung der Schiffsverkehre des OTB von/nach See. Diese beziehen sich auf Jack-up-Schiffe sowie Gründungskörperschleppverbände (Barge + Schlepper), deren Charakteristika bereits bei OTB02 der Frequenzanalyse erläutert wurden.

Darüber hinaus wird für das Jack-up-Schiff eine Verdrängung von 42.100 t, eine Zuladung von 18.705 t (HGO 2012), Baukosten von 150 Mio. € (Derrick Offshore 2011, S. 5) sowie eine erwartete Personenanzahl von 180 an Bord des Schiffes angenommen (HGO 2012).

Für die Barge wird von einer Verdrängung von 19.392 t, einer Zuladung von 11.635 t, Baukosten von 50 Mio. € (Derrick Offshore 2011, S. 42) sowie einer Personenanzahl von 0 an Bord der Barge ausgegangen, da diese lediglich Komponenten transportiert, sich aber kein Personal zur Installation dieser an Bord befindet.

Neben diesen Daten werden Koeffizienten für die freigesetzte Brennstoffmenge für das Jack-up-Schiff in diesem Szenario berücksichtigt. Diese ergeben sich auf Basis der Annahme eines RoRo-Schiffes zu $a_k = 18,90$, $b_k = 0,0956$ und $c_k = 0,0000004$. Da beide Schiffe keine Tanker sind, müssen keine Koeffizienten für Ladeöl berücksichtigt werden. Für die Barge wird ebenfalls keine freigesetzte Brennstoffmenge angenommen, da die Barge nicht mit eigenem Antrieb ausgestattet ist, sondern mittels Schleppern im Schleppverband fortbewegt wird.

Auf das Vorgehen bei der Berechnung der Kollisionskonsequenzen haben diese Charakteristika allerdings keinen Einfluss, so dass wie bei UA02 bzw. IST02 verfahren wird.

5.4.3 OTB03: Einfädung Fähranleger Blexen

Das Submodell entspricht auch für die Konsequenzberechnung UA03.

5.4.4 OTB04: Einfädung Geestemünde

Das Submodell entspricht auch für die Konsequenzberechnung UA04.

5.4.5 OTB05: Einfädung Blexen-Reede

In der Beschreibung zu OTB05 bei der Frequenzanalyse wurden bereits die Änderungen der Verkehre aufgrund des OTB, die im Submodell OTB05 berücksichtigt werden, erläutert. Die entsprechenden Objekte und Eigenschaften sind dort zusammengefasst. Auch wenn diese Änderungen Einfluss auf die Kollisionskandidaten haben, bleiben alle in diesem Submodell betrachteten Kollisionen Kreuzungskollisionen von zwei Schiffen. Somit entspricht der Berechnungsansatz für die Kollisionskonsequenzen dem in UA05.

5.4.6 OTB06: Kollision mit auf Blexen Reede liegenden Schiffen

Neben den in UA06 berücksichtigten Typ Ia Kollisionskandidaten zwischen Schiffen, die im Weserfahrwasser fahren, und auf Reede liegenden Schiffen werden im Submodell OTB06 auch Kollisionskandidaten und Konsequenzen von Typ I betrachtet. Abbildung 49 veranschaulicht das Vorgehen und die berücksichtigten Kollisionstypen, die im Folgenden für dieses Submodell spezifisch erläutert werden.

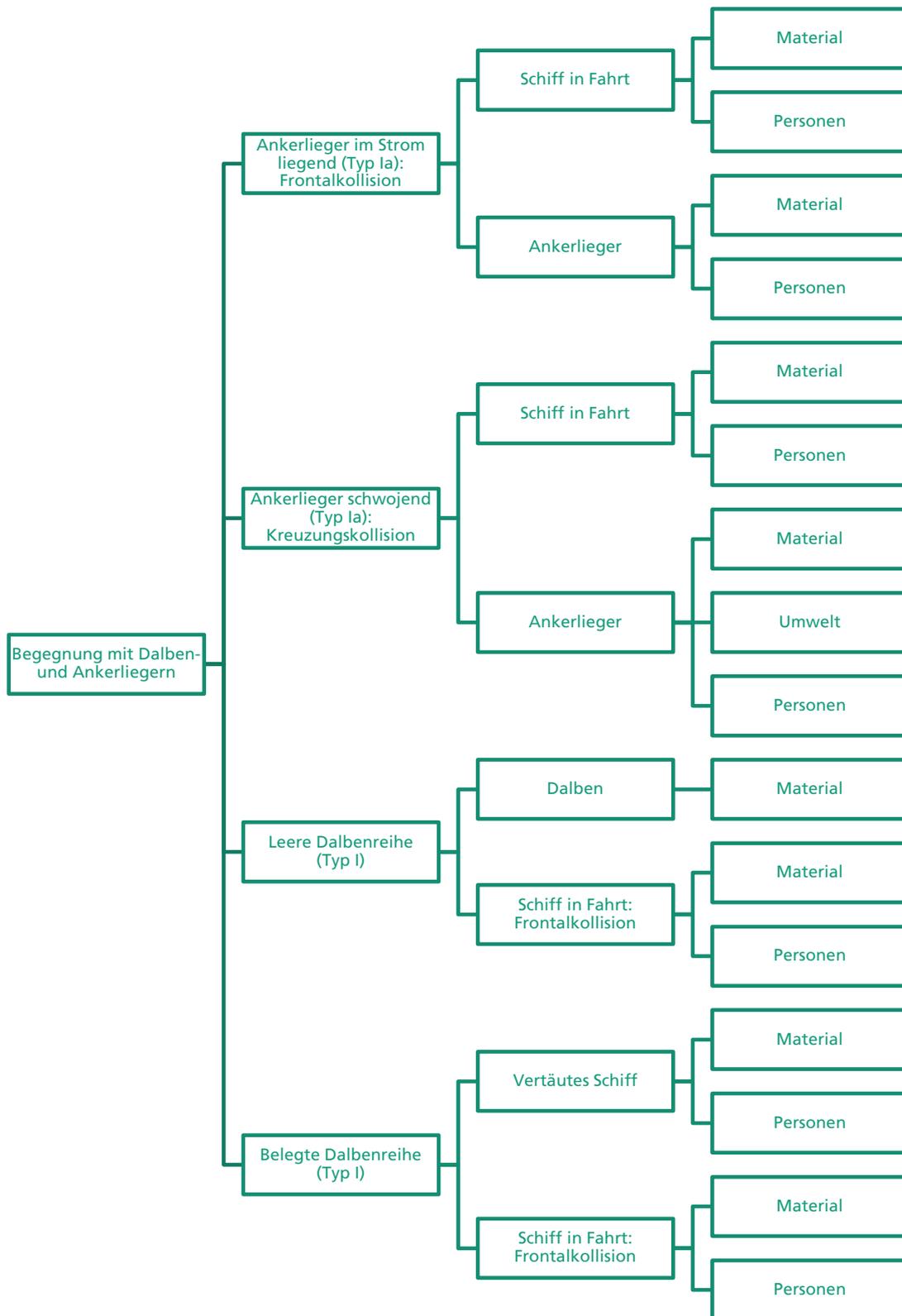


Abbildung 49: Ergänzung von Typ I bei OTB06

In Bezug auf Typ Ia ändert sich durch die verkleinerte Blexen-Reede das Vorgehen für die Bestimmung der Kollisionskonsequenzen nicht, sondern entspricht dem von UA06.

Die Dalben der Ersatzreedere stellen jedoch ein Hindernis des Typ I dar. Für die Kollisionskonsequenz ist dabei entscheidend, durch welche Schiffe die Dalben belegt sind. Dabei werden die Fälle unterschieden, bei dem ein Schiff von 20m Breite auf der dem Fahrwasser zugewandten Seite liegt, bei dem gleichzeitig auch noch mindestens ein kleines Schiff mit 16m Breite auf der dem Fahrwasser abgewandten Seite liegt, bei dem mindestens ein kleines Schiff fahrwasserseitig liegt sowie der Fall, dass mindestens ein kleines Schiff auf beiden Seiten der Dalbenreihe liegt. OTB06 berechnet dementsprechend zusätzlich zu Typ Ia die Kollisionskonsequenzen aus Kollisionen mit der Dalbenreihe sowie einem etwaigen dort liegenden Schiff.

Hierbei wird aufgrund der Richtung des Fahrwassers eine Frontalkollision des fahrenden Schiffes mit einem an den Dalben liegenden Schiff angenommen. Somit findet der Ansatz in Kapitel 5.1.2 Anwendung. Dabei ist anzumerken, dass nun die Relativgeschwindigkeit der Geschwindigkeit des fahrenden Schiffes entspricht. Der resultierende Schaden setzt sich anteilig entsprechend den Wahrscheinlichkeiten einer Kollision mit dem Schiff an der einen Seite, dem Dalben selbst sowie dem Schiff auf der anderen Seite der Dalben zusammen. Die Beschädigungen an den Schiffen werden entsprechend Kapitel 5.1.2 für Frontalkollisionen berechnet, während eine Kollision mit dem Dalben eine Objektkollision darstellt (siehe Kapitel 5.1.3). Dabei wird neben den am Schiff verursachten Kosten, von einem Schaden am Dalben ausgegangen. Hierfür wird ein Wert von 200.000€ für die Reparatur des Dalbens angesetzt.

Die Gesamtkosten für OTB06 setzen sich neben diesen Materialschäden an Schiff und Pier aus den Personenschäden zusammen. Bei diesem Submodell werden keine Umweltschäden angenommen, da es sich um Kollisionen handelt, bei denen Bug bzw. Heck der Schiffe involviert sind. Es werden folglich wasserdichte Querschotte im Bug- sowie Heckbereich angenommen, die einen Umweltschaden verhindern. Der Personenschaden ergibt sich hingegen aus der Anzahl an Todesopfern auf beiden kollidierenden Schiffen bzw. auf dem kollidierenden Schiff bei einer Kollision mit dem Dalben entsprechend der Methodik in Kapitel 5.1.6.

5.4.7 OTB07: Kursänderungspunkte Blexen Bogen

Im Vergleich zu UA07, wobei die Konsequenzen von Schiff-Objekt-Kollisionen des Typs II sowie IIa, d.h. Kollisionen mit auf der Reede liegenden Schiffen, mit einer Pier, Schiff-Schiff-Kollisionen sowie Strandungen ermittelt wurden, fallen bei OTB07 die Konsequenzen durch Typ IIa Kollisionen aufgrund des wegfallenden Nordteils der Blexen Reede weg. Allerdings erfolgt nun statt einer Strandung am Ufer in den meisten Fällen eine Kollision mit der OTB-Pier. Hierbei wird auch bei den Kollisionskonsequenzen zwischen einer reinen Kollision mit der OTB-Pier bzw. mit am OTB festgemachten Schiffen unterschieden. Die Konsequenzen werden somit aufgrund von Strandungen sowie über reine Objektkollisionen mit der OTB-Pier analog zum Vorgehen beschrieben in IST07 sowie über Schiff-Schiff-Kollisionen unter Berücksichtigung nur eines sich in Fahrt befindenden Schiffes bestimmt (s. Abbildung 50). Hierbei wird aufgrund der Richtung des Fahrwasser und der Lage der Schiffe am OTB-Pier eine Kreuzungskollision zugrunde gelegt. Aufgrund der Analogie dieser Kollisionen mit Kollisionen zwischen Schiffen im Fahrwasser und auf der Blexen Reede liegenden Schiffen, wird derselbe Ansatz verwendet, wie für die Kollisionen vom Typ IIa beschrieben in IST07. Für das Jack-up-Schiff bzw. die Barge werden dafür keine weiteren Daten als die unter OTB02 aufgeführten Werte verwendet, womit sich für die Barge keine Umwelt- und Personenschäden ergeben.

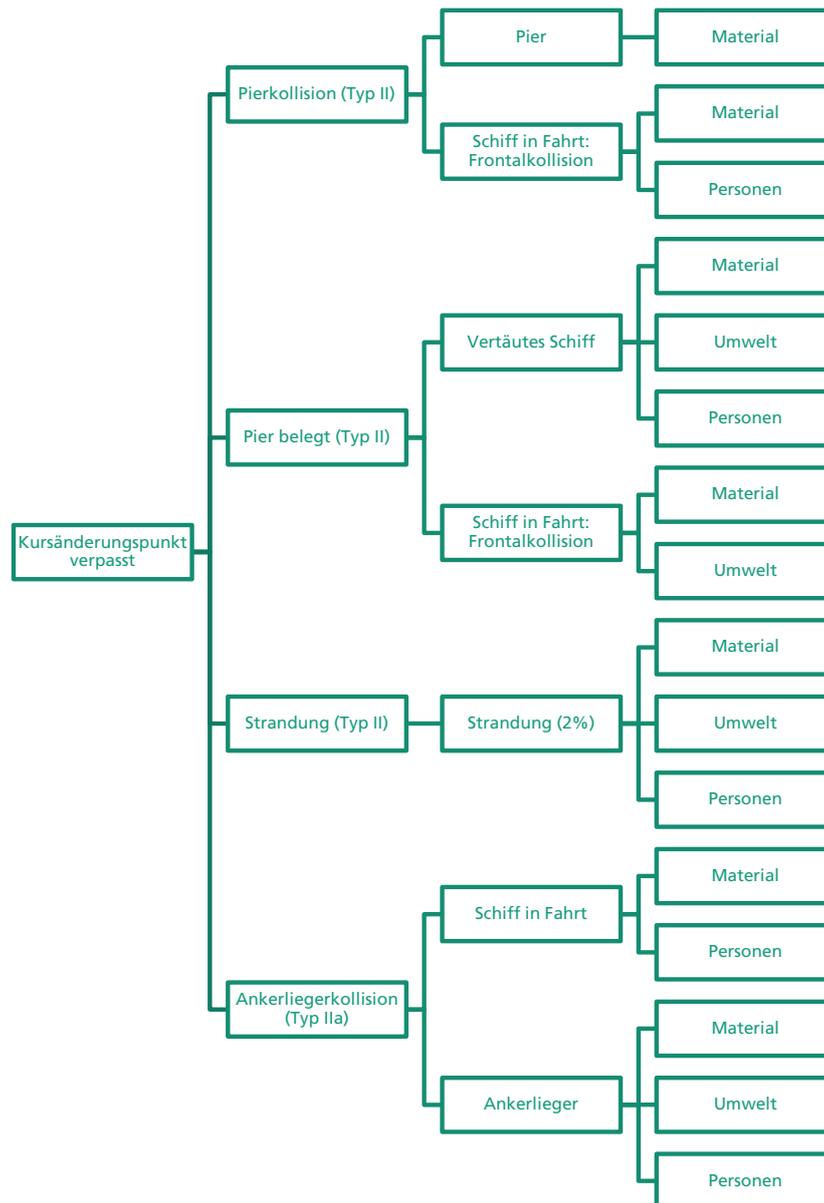


Abbildung 50: Ergänzung von vertäuten Schiffen bei OTB07

5.4.8 OTB08: Kollisionen durch Ausfall der Schiffsmaschine

Das Submodell entspricht im Hinblick auf die Strandungen sowohl in Bezug auf die Kollisionskandidaten als auch die Kollisionskonsequenzen UA08 unter Berücksichtigung der Schiffsverkehre des OTB, d.h. des Jack-up-Schiffes und der Schlepper der Barge.

Im Submodell OTB08 wird neben den unter IST08 beschriebenen Konsequenzberechnungen einer Strandung allerdings auch die Kollision mit der OTB-Pier betrachtet. Um die Gegebenheiten und die Wahrscheinlichkeit einer Strandung bzw. einer Kollision mit der OTB-Pier zu berücksichtigen, wird angenommen, dass in 95% der Fälle eine Strandung auftritt bevor ein Schiff in 5% der Fälle mit der OTB-Pier kollidiert (s. Abbildung 51).

Für die Kollision mit der OTB-Pier wird konservativerweise von einer Frontalkollision des Schiffes mit der Pier ausgegangen. Da es sich allerdings um eine Objektkollision handelt, welche basierend auf einer Frontalkollision zuvor beschrieben wurde, wird dieser

Ansatz zur Bestimmung der Materialschäden bei Objektkollisionen verwendet. Dabei werden neben den am Schiff entstehenden Kosten ebenfalls Kosten für eine Reparatur der Pier berücksichtigt. Diese ergeben sich unter Annahme eines Schadens der Pier von etwa der halben Schiffsbreite sowie von Reparaturkosten der Pier von 80.000€/m.

Die Umweltschäden werden wie bei IST08 und UA08 für manövrierunfähige Schiffe berechnet. Da sich am Pier kein Öl befindet, werden hierfür keine Kosten berücksichtigt. Die Personenschäden für eine Kollision mit der OTB-Pier ergeben sich ausschließlich aus den Personenschäden des Schiffes. Auf Basis von (Maritime Safety Authority 2004, A8) wird angenommen, dass auf der Pier keine Personen gefährdet sind, da die Personenschäden eines solchen Unfalls in der Konsequenzmatrix lediglich mit einer Schwere von C0 oder C1 von C4 eingestuft sind, was sich auf einzelne leichte Verletzungen bezieht.

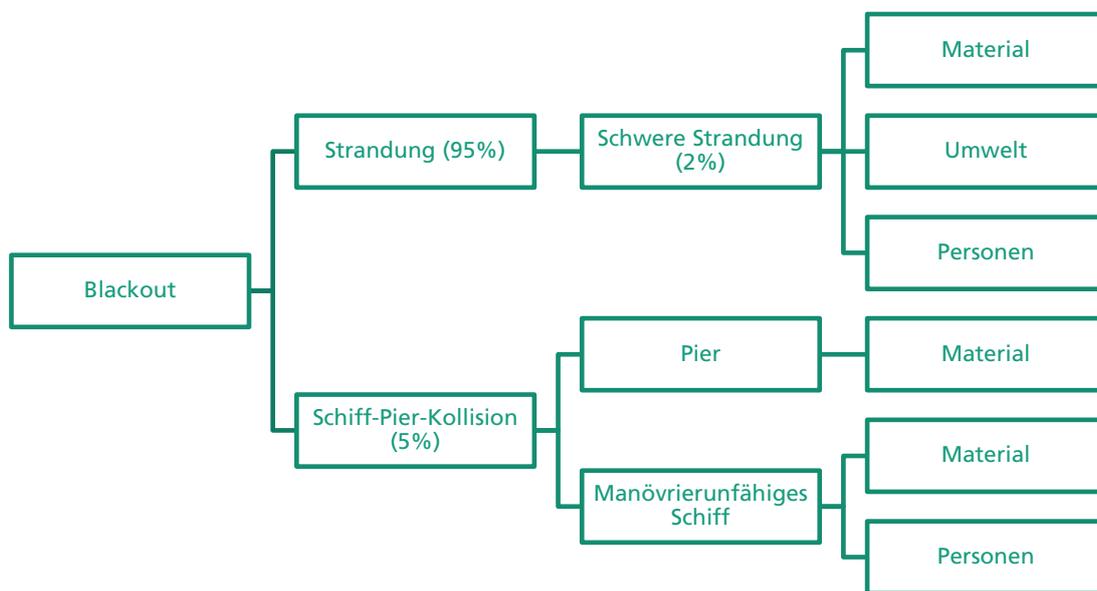


Abbildung 51: Blackoutkonsequenzen bei OTB

5.4.9 OTB09: Einfädeln der OTB-Verkehre

Wie bereits unter OTB09 bei der Frequenzanalyse wird zusätzlich zu den beschriebenen Veränderungen durch den OTB noch ein- und ausfädelnder Verkehr im Bereich des *Blexen Bogens* generiert. Da dieses Submodell zwar in Bezug auf die Risikobestimmung eine neue Gefahr berücksichtigen muss, aber die bestimmten Kollisionskandidaten lediglich Kreuzungskollisionen sind, unterscheidet sich das Vorgehen zur Berechnung der Kollisionskonsequenzen nicht von dem in den Submodellen OTB03, OTB04 und OTB05. Es wird auch hier die Methodik zur Bestimmung von Schäden bei Kreuzungskollisionen angewandt.

5.5 Auswertung und Vergleich der Szenarien

Für die in der Auswertung der Frequenzanalyse herangezogenen Unfallstatistiken sind keine Daten bezüglich Konsequenzen verfügbar, sodass diese nicht für eine Modellvalidierung genutzt werden können. Zur Einordnung der Ergebnisse können jedoch die Konsequenzen mit den Daten zur Verteilung nach Unfallarten der Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung (BSU) verglichen werden. In den Jahresstatistiken der BSU werden die Unfälle in die drei Kategorien SSU, SU und WSU eingeteilt. SSU beschreibt einen sehr schweren Seeunfall mit Todesfolge, Totalverlust des Schiffes oder mit erheblicher Umweltverschmutzung. Ein Unfall ist hingegen ein schwerer Seeunfall (SU), wenn er kein SSU ist, es aber zum Ausfall der Hauptmaschine, einer erheblichen Beschädigung der Unterkunftsräume oder schiffbaulichen Verbände, einem Leck im Unterwasserbereich mit Folge der Fahruntüchtigkeit, einer Umweltverschmutzung oder einer Havarie mit nötigem Abschleppen kommt. Alle anderen Seeunfälle werden als weniger schwerer Seeunfall (WSU) eingeordnet.

Für eine Validierung werden aus der Statistik die Daten zu Kollisionen herangezogen, um eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus Frontal-, Überhol- und Kreuzungskollisionen zu ermöglichen. Im Zeitraum von 2004 bis 2011 treten dabei in 4% der Fälle SSU, in 20% SU und in 76% WSU auf (BSU 2013). In Bezug auf diese Analyse ergibt sich eine Einordnung als leichter, mittlerer oder schwerer Seeunfall über die kritische Energie, d.h. aus einem Unfall mit niedriger oder hoher Kollisionsenergie, wie bei der Methodik beschrieben. Auf Basis der Konsequenzberechnung folgen damit schwere Unfälle in über 80% der Fälle bei Kreuzungs- und Frontalkollisionen. Bei Überholkollisionen ergibt sich ein Anteil von schweren Unfällen in ca. 7% der Fälle, sodass insgesamt für drei Viertel der Schiff-Schiff-Kollisionen die vollständigen Konsequenzen erwartet werden. Die konservativen Ergebnisse in dieser Konsequenzanalyse liegen in der gewählten Methodik begründet, bei der z.B. keine Geschwindigkeitsreduktion kurz vor der Kollision antizipiert wird. Zudem ist anzumerken, dass eine Bewertung der Unfälle zum einen auf Basis einer kritischen Energie und zum anderen auf Basis der Kategorien der BSU zu einer unterschiedlichen Einordnung führen kann.

Die Auswertung konzentriert sich somit auf den Vergleich der Konsequenzveränderung und -verhältnisse der drei untersuchten Szenarien zueinander sowie die Angabe absoluter monetärer Schadenshöhen zur Veranschaulichung der Anteile der Kollisionstypen an den Konsequenzen.

Vergleich	Konsequenzveränderung						
	Frontal	Überholen	Kreuzung	Objekt (Gerade)	Objekt (Kurve)	Blackout	Gesamt
UA zu IST	-0,3%	10,6%	5,8%	2,5%	12,7%	11,7%	7,7%
OTB zu IST	-0,9%	9,3%	3,4%	103,2%	152,3%	237,2%	37,9%
OTB zu UA	-0,6%	-1,2%	-2,3%	98,2%	123,9%	201,8%	28,0%

Tabelle 20: Prognostizierte Konsequenzveränderung

Tabelle 20 fasst die prognostizierte Konsequenzveränderung für die drei Fälle Unterlassungsalternative gegenüber der Ist-Situation 2008, OTB gegenüber der Ist-Situation 2008 sowie OTB gegenüber der Unterlassungsalternative zusammen. In Abbildung 52 sind die absoluten monetären Schadenshöhen der Konsequenztypen Material-, Umwelt- und Personenschäden für die untersuchten Kollisionstypen in den drei analysierten Szenarien zudem graphisch veranschaulicht.

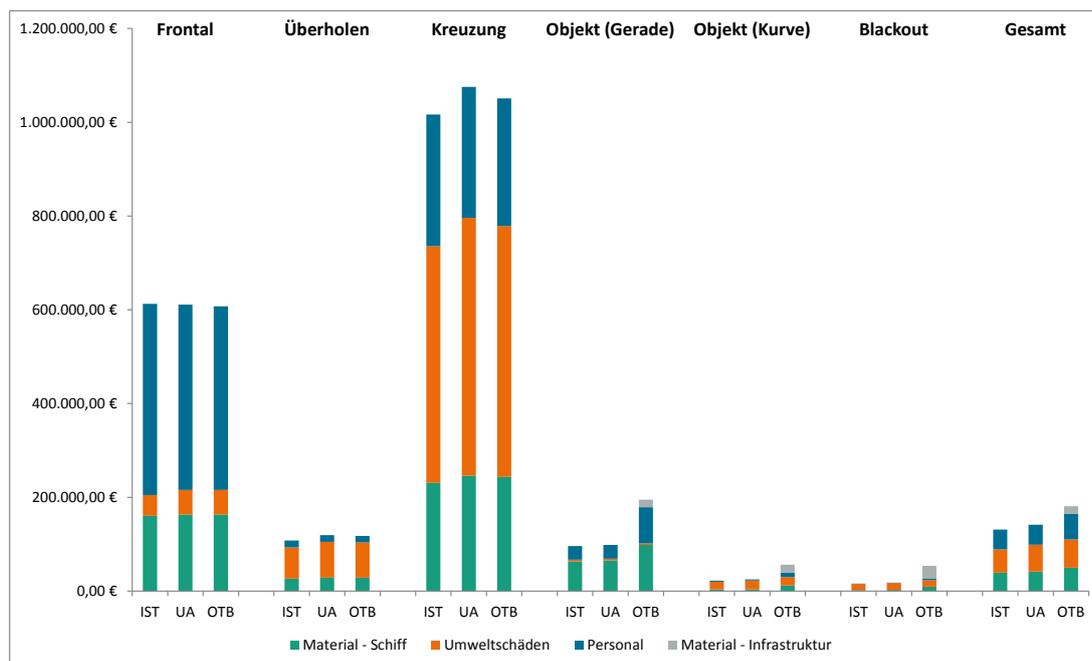


Abbildung 52: Szenarienvergleich nach Kollisions- und Konsequenztyp

Die Abbildung verdeutlicht, dass der Anstieg der Schadenshöhen im Fall von OTB im Vergleich zu UA hauptsächlich auf eine Erhöhung der Materialkosten, insbesondere Schäden an der Infrastruktur, zurückzuführen ist. Die Konsequenzveränderung in Tabelle 20 zeigt, dass die Konsequenzen im Fall der Unterlassungsalternative gegenüber der Ist-Situation 2008 um gut 7% ansteigen. Dies ist insbesondere dem Anstieg bei den Kollisionstypen Objekt (Kurve) von 12,7% sowie Blackout und Überholen von 11,7% bzw. 10,6% geschuldet, da hier schnellere sowie größere Schiffe fahren. Dies entspricht daher der verkehrlich bedingten Konsequenzveränderung bis 2025.

Im Vergleich dazu sind die OTB-bedingten Konsequenzveränderungen deutlich stärker ausgeprägt. Der ausgeprägte Anstieg in Bezug auf die Konsequenzen bei den Kollisionstypen Objekt (Kurve) von 123,9% sowie Blackout von 201,8% bei der Gegenüberstellung von OTB und UA ist auf das Verhältnis der Schadenshöhen von Strandungen zu Kollisionen mit der OTB-Pier bzw. an der OTB-Pier liegenden Schiffen zurückzuführen. Wie schon bei der Frequenzanalyse angemerkt, führt die Verkleinerung des äußeren Kurvenraums im *Blexen Bogen* durch den OTB sowie daran festgemachte Fahrzeuge zu einem Effekt auf die Sicherheit der Schifffahrt. So führt eine erhöhte Anzahl Kollisionskandidaten nicht wie zuvor zu Strandungen, sondern zu Kollisionen mit der OTB-Pier bzw. den festgemachten Schiffen, insbesondere den teuren Schiffen für die Offshore-Windenergie. Aufgrund des sandigen Bodens und der Annahme, dass in der UA nur 2% der Strandungen tatsächlich zu dem berechneten schwerwiegenden Schaden führen, ist eine deutliche Erhöhung des Schadens im Falle des OTB gegenüber der Unterlassungsalternative zu erwarten. Hierbei ist ein Großteil der neuen Schäden, wie Abbildung 52 veranschaulicht, auf Schäden der Infrastruktur, d.h. am OTB-Pier oder der Dalbenreihe, zurückzuführen. Die mittlere Konsequenz pro Kollision ergibt sich für dieses Submodell nach Tabelle 21 zu 25.132,64 € für die Unterlassungsalternative sowie zu 56.261,43 € für das OTB-Szenario. Letzteres prognostiziert dabei für die ver-

bleibenden Strandungsschäden eine mittlere Schadenshöhe von knapp 25.000 €, während für die OTB-Kollisionen knapp 700.000 € erwartet wird. Konsequenzanalyse

Bei der Beschreibung der Konsequenzberechnung im Submodell OTB08 wurde bereits angemerkt, dass neben den Strandungen in UA08 auch die Kollision mit der OTB-Pier betrachtet wird. Da die gleichen Annahmen, wie zuvor für UA07 und OTB07 beschrieben, unterstellt werden, ist auch hier eine deutliche Erhöhung des mittleren Schadens zu erwarten. Aus diesem Grund ergeben sich eine Konsequenzveränderung von 201,8% gegenüber der Unterlassungsalternative sowie eine mittleren Konsequenz von 17.849,29 € für die Unterlassungsalternative und von 53.863,71 € für den Bau des OTB.

Subm.	Kollisions- typ	Mittlere Konsequenz [€]			Veränderungen		
		IST	UA	OTB	IST->UA	IST->OTB	UA->OTB
01	C_über	130.501,97	151.464,70	151.464,70	16,1%	16,1%	0,0%
	C_front	356.036,11	391.145,30	391.145,30	9,9%	9,9%	0,0%
02	C_über	102.407,95	112.509,18	111.026,47	9,9%	8,4%	-1,3%
	C_front	647.675,81	639.808,14	635.059,03	-1,2%	-1,9%	-0,7%
03	C_kreuz	1.022.179,99	1.135.109,12	1.135.109,12	11,0%	11,0%	0,0%
04	C_kreuz	1.042.700,77	1.056.126,23	1.025.372,82	1,3%	-1,7%	-2,9%
05	C_kreuz	688.098,98	761.051,25	792.694,45	10,6%	15,2%	4,2%
06	C_I(a)	95.992,10	98.382,93	195.011,73	2,5%	103,2%	98,2%
07	C_II(a)	22.301,06	25.132,64	56.261,43	12,7%	152,3%	123,9%
08	C_blackout	15.974,25	17.849,29	53.863,71	11,7%	237,2%	201,8%
09	C_kreuz	-	-	597.017,45		neu	neu
Gesamt	Konsequenz	131.213,43	141.372,67	180.983,14	7,7%	37,9%	28,0%

Tabelle 21: Szenarienvergleich – Konsequenz

Die Kollisionstypen, bei denen Kollisionen mit dem OTB-Pier oder hier festgemachten Schiffen berücksichtigt werden, bedingen vergleichsweise die größten Veränderungen der Konsequenzen. Absolut gesehen sind allerdings die Konsequenzen der Kreuzungskollisionen mit einer mittleren Schadenshöhe von ca. 1.000.000 € am höchsten. Dies ist zum einen auf hohe Materialschäden bei Kreuzungskollision von etwa 250.000 € zurückzuführen (s. Abbildung 52 und Tabelle 21), da die Außenhaut an der Schiffsseite bei einer Kollision im Allgemeinen schneller und schwerwiegender beschädigt wird als der Bug bei Frontal- (etwa 160.000€) oder auch das Heck bei Überholkollisionen (etwa 30.000€). Bei Überholkollisionen ist außerdem die deutlich niedrigere Relativgeschwindigkeit der kollidierenden Schiffe für geringere Schadenshöhen entscheidend.

Zum anderen sind für die hohen Konsequenzen bei Kreuzungskollisionen die auftretenden Umweltschäden von etwa 530.000€ ausschlaggebend. Kreuzungskollisionen sind diejenigen Kollisionen, bei denen Umweltschäden am häufigsten sowie am schwerwiegendsten prognostiziert werden. Bei einem Aufreißen der Außenhaut an der Schiffsseite ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Brennstofftank insbesondere aber ein Ladeöltank bei Tankern getroffen wird, höher als bei einer Frontal- oder Überholkollision. Hier wird aufgrund der Annahme eines Kollisionsschottes im Vorschiffsbereich so-

wie eines Stopfbuchsen- bzw. Maschinenraumendschottes, wie bei der Methodik zu Frontalkollisionen beschrieben, von keinem Umweltschaden ausgegangen. Die Umweltschäden bei diesen Kollisionstypen resultieren aus der Annahme, dass nicht alle Frontal- bzw. Überholbegegnungen in einer direkten Frontal- bzw. Heckkollision resultieren, sondern in 10% der Fälle durch ein bereits eingeleitetes aber nicht erfolgreiches Ausweichmanöver zu einer Kreuzungskollisionen führen. Bei Strandungen können die Umweltschäden durchaus erheblich ausfallen. Da hier jedoch nur in 2% der Fälle von einem Aufreißen des Schiffsbodens ausgegangen wird, sind die Umweltschäden insbesondere beim Kollisionstyp Objekt/Kurve hauptsächlich den Kreuzungskollisionen mit Schiffen am OTB-Pier geschuldet. Auf den Einfluss des Anteils von 2% wird in der folgenden Sensitivitätsanalyse nochmals eingegangen.

In Bezug auf die auftretenden Personenschäden in Abbildung 52 und Tabelle 21 sind höhere Anteile von Personenschäden insbesondere bei Frontal- und Kreuzbegegnungen zu erwarten, da hier die größten Energien auftreten und die meisten schweren Unfälle erwartet werden. Auch bei einer Kollision mit der Dalbenreihe und dort vertäuten Schiffen werden nun mehr schwere Unfälle erwartet, da die absorbierende Wirkung der schwappenden Schiffe bei der Kollision entfällt.

Konsequenzanteile								
Ver- gleich	Typ	Frontal	Überholen	Kreuzung	Objekt (Gerade)	Objekt (Kurve)	Blackout	Gesamt
IST	Material - Schiff	26,2%	24,7%	22,7%	65,9%	15,2%	13,4%	29,9%
	Material - Infrastruktur	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,8%	0,0%	0,1%
	Umwelt	7,3%	61,8%	49,7%	3,8%	72,9%	81,3%	37,9%
	Personen	66,6%	13,6%	27,6%	30,3%	10,1%	5,3%	32,1%
UA	Material - Schiff	26,6%	23,8%	22,9%	66,5%	14,4%	12,6%	29,3%
	Material - Infrastruktur	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,7%	0,0%	0,1%
	Umwelt	8,6%	64,2%	51,2%	3,7%	75,2%	82,8%	40,5%
	Personen	64,7%	12,0%	25,9%	29,7%	8,6%	4,6%	30,0%
OTB	Material - Schiff	26,9%	24,4%	23,2%	50,5%	20,6%	17,5%	27,5%
	Material - Infrastruktur	0,0%	0,0%	0,0%	8,2%	30,5%	51,4%	9,1%
	Umwelt	8,6%	63,6%	50,9%	1,6%	32,4%	26,0%	33,4%
	Personen	64,5%	11,9%	25,9%	39,7%	16,5%	5,2%	30,0%

Tabelle 22: Szenarienvergleich nach Konsequenztyp

Insgesamt ist anzumerken, dass sich die Höhen der mittleren Konsequenzen aus wenigen sehr hohen Schadenshöhen, z.B. bei Kollisionen unter Beteiligung von großen Tankern und damit höheren Schiffsverdrängungen, Geschwindigkeiten und erheblichen Umweltschäden, sowie vielen niedrigen Schadenshöhen aufgrund kleinerer beteiligter Schiffe wie dem Lotsenversetzer, niedrigerer Geschwindigkeiten oder keinem

freigesetztem Öl ergeben. Anzumerken ist dabei jedoch, dass trotz der teilweise hohen Schäden zumeist keine Totalschäden auftreten. **Konsequenzanalyse**

Für den Fall des OTB gilt, dass die hohe mittlere Schadenshöhe hauptsächlich durch zwei Effekte bedingt ist. Ein Großteil der Schadenserhöhung liegt in den zusätzlichen Schäden am OTB-Pier sowie den Dalben begründet, weshalb die Materialschäden hier teilweise sprunghaft ansteigen. Parallel dazu steigt jedoch auch die Energie, die von den verunfallten Schiffen absorbiert werden muss, da der Anteil an Frontalkollisionen mit festen Objekten zunimmt. Für diese wird eine höhere Rate an Todesopfern und somit Personenschäden prognostiziert, was die mittlere Schadenshöhe ebenfalls steigen lässt. Die Höhe der zu erwartenden Umweltschäden bleibt hingegen auf ähnlichem Niveau wie zuvor und fällt in der relativen Betrachtung der Schadensanteile durch den Anstieg der beiden anderen Kategorien auf unter 35%.

Das Risiko ergibt sich entsprechend aus den berechneten Kollisionskandidaten und Konsequenzen (Pedersen 2010, S. 245; International Maritime Organization 2007, S. 6):

$$Risk = \sum_i P_i(H_i, C_i) \cdot U(C_i)$$

Wie bereits dargelegt, wird im Rahmen dieser Analyse dabei nicht das absolute Risiko, sondern lediglich die Veränderung durch das OTB gegenüber den Referenzszenarien aufgezeigt.

Die Verrechnung der Konsequenzen und Eintrittswahrscheinlichkeiten ergibt damit für die Unterlassungsalternative, dass allein durch die prognostizierten größeren und schnelleren Schiffe eine verkehrlich bedingte Erhöhung des Risikos von 12,0% für 2025 erwartet wird (s. Tabelle 23). Der Bau des OTB führt gegenüber der Unterlassungsalternative zu einer weiteren Erhöhung des Risikos um 21,0%. Ausschlaggebend hierfür ist vor allem die zunehmende mittlere Schadenshöhe um 28,0% und weniger eine Veränderung der Unfalleintrittswahrscheinlichkeiten.

Risikoveränderung							
Vergleich	Frontal	Überholen	Kreuzung	Objekt (Gerade)	Objekt (Kurve)	Blackout	Gesamt
UA zu IST	4,4%	25,7%	15,8%	2,2%	17,7%	17,2%	12,0%
OTB zu IST	5,1%	29,0%	17,3%	31,2%	174,2%	255,3%	35,5%
OTB zu UA	0,7%	2,6%	1,4%	28,3%	132,9%	203,3%	21,0%

Tabelle 23: Prognostizierte Risikoveränderung

Die größten Einzelrisikoänderungen gibt es bei den Submodellen 07 und 08 mit +132,9% und +203,3% (s. Tabelle 24 und Abbildung 53). Diese lassen sich vordergründig auf die zusätzlichen Materialschäden zurückführen, welche direkt am OTB-Pier entstehen. Für die Kollisionen mit Reede- und Dalbenliegern kann das Risiko von einer Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeiten profitieren, jedoch steigt die mittlere Konsequenz aufgrund der notwendigen Dalbenreparaturen und höherer Kollisionsenergien, sodass auch hier eine Risikoerhöhung um 30% erwartet wird. Nahezu unverändert bleiben die Risikoniveaus der Schiff-Schiff-Kollisionen. Insbesondere die Kreuzungskollision, welche 50-60% des Gesamtrisikos ausmacht, wirkt daher dämpfend auf das Endergebnis.

Unter den Schiff-Schiff-Kollisionen ist insbesondere die 3,3%ige Erhöhung des Risikos bei Überholsituationen im Submodell 02 hervorzuheben, welche aus den langsamen OTB-Verkehren resultiert. Diese führen zu mehr Überholsituationen auf diesem Abschnitt bei konstanten Schäden. Im Gegensatz dazu resultiert die Verlagerung der kreuzenden Reede- und Dalbenverkehre in einer Reduktion des Kreuzungsrisikos um 20,2%, dafür muss jedoch der neue Risikoanteil der OTB-Anfahrten berücksichtigt werden, welcher für ein halbes Prozent des Gesamtrisikos verantwortlich ist.

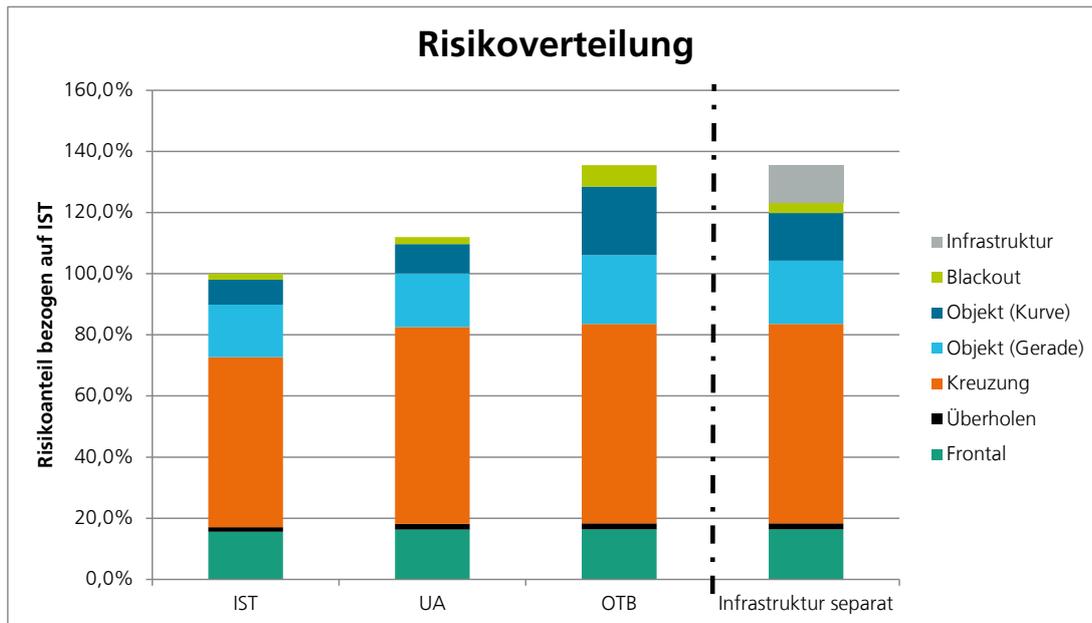


Abbildung 53: Risikoanteile bezogen auf IST inkl. Infrastrukturanteil

Eine Detailanalyse der Risikoerhöhung zeigt dabei, dass über die Hälfte der Risikoerhöhung durch erwartete Materialschäden an der neuen Infrastruktur (Pier und Dalbenreihe) verursacht wird. Wird die bei der Bewertung des Risikos das Risiko für die Schifffahrt und Infrastruktur isoliert ausgewertet, so ist hier für die Schifffahrt lediglich eine Erhöhung um 10% zu erwarten (s. Abbildung 53 „Infrastruktur separat“). Ein Teil dieser Erhöhung entfällt dabei auch auf die um 1,5% wachsende Anzahl an Schiffsbewegungen und ist daher vornehmlich verkehrlich bedingt.

Subm.	Kollisionstyp	Risikoanteil			Veränderungen		
		IST	UA	OTB	IST->UA	IST->OTB	UA->OTB
01	R_über	0,3%	0,4%	0,3%	20,5%	20,5%	0,0%
	R_front	1,1%	1,1%	0,9%	10,4%	10,4%	0,0%
02	R_über	1,2%	1,3%	1,1%	27,3%	31,5%	3,3%
	R_front	14,5%	13,5%	11,2%	4,0%	4,7%	0,7%
03	R_kreuz	24,9%	24,6%	20,4%	11,0%	11,0%	0,0%
04	R_kreuz	28,9%	31,1%	26,0%	20,1%	21,6%	1,2%
05	R_kreuz	1,8%	1,8%	1,2%	10,4%	-11,8%	-20,2%
06	R_I(a)	17,2%	15,7%	16,6%	2,2%	31,2%	28,3%
07	R_II(a)	8,2%	8,6%	16,5%	17,7%	174,2%	132,9%
08	R_blackout	2,0%	2,1%	5,2%	17,2%	255,3%	203,3%
09	R_kreuz	-	-	0,6%		neu	neu
Gesamt	Risiko				12,0%	35,5%	21,0%

Tabelle 24: Szenarienvergleich – Risiko

7.1 Aufmerksamkeit des nautischen Offiziers im Blexen Bogen

Im Bereich des *Blexen Bogen* selbst ist mit einer Frequenzerhöhung durch die exponierte Lage des OTB zu rechnen, welche die geringe Reduktion durch die Aufgabe des Nordteils der *Blexen-Reede* überkompensiert.

Jedoch besteht hier ein starker Zusammenhang zwischen der unterstellten mittleren Zeit zwischen zwei Positionsbeobachtungen. Werden z.B. 10 statt 15 Sekunden unterstellt, so reduziert sich die Gesamtrisikoerhöhung weiter auf c.p. 14,4%, da Pierkollisionen und Strandungen im *Blexen Bogen* dadurch noch seltener erwartet werden und sich somit das Einzelrisiko dieses Kollisionstypus um 50% reduziert (s. Tabelle 25). Im Gegenzug erhöht sich die prognostizierte Risikoerhöhung bei einem mittleren Abstand von 30 Sekunden bereits auf 55,9%. Bereits im heutigen Gebiet kann fast von einer permanenten Positionskontrolle ausgegangen werden und aufgrund der Bauwerksgröße und Lage ist im Fall des OTB eigentlich auch eine noch höhere Aufmerksamkeit als in der IST-Situation zu erwarten. 15 Sekunden können daher bereits als konservative Annahme eingestuft werden. In jedem Fall hat der Aufmerksamkeitsgrad einen starken Effekt auf das zu erwartende Risiko.

Aufmerksamkeit des nautischen Offiziers				
Mittlerer Abstand Positionskontrolle	10s	15s	20s	30s
Risikoänderung OTB zu UA	+14,4%	+21,0%	+30,7%	+55,9%

Tabelle 25: Sensitivität bezüglich der Aufmerksamkeit des nautischen Offiziers

7.2 Verursachungsfaktor Schiff-Ankerliegerkollision

Die stärkste Frequenzverrechnung geschieht innerhalb des Submodells 06, in welchem die erhöhten Risiken der Dalbenreihe mit denen der Reede verglichen werden. Entsprechend (IALA 2012) wird für Objektkollisionen bei anliegendem Kollisionskurs eine Kollision in 0,016% aller Fälle angenommen. Aufgrund dessen, dass bei einem Ankerlieger auf dem „Objekt“ eine Ankerwache gehalten wird, wäre bei Schiff-Ankerlieger-Begegnung ein geringerer Verursachungsfaktor zu erwarten. Da zu dieser konkreten Gefährdung jedoch keine detaillierten Informationen zu den Verursachungsfaktoren vorliegen, wird derselbe Faktor wie bei den Objekten unterstellt.

Um die Ergebnisse abzusichern, wird eine Sensitivitätsanalyse des Verursachungsfaktors „Kollision Schiff-Ankerlieger“ durchgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 26 dargestellt sind. Selbst bei einer Verschiebung von mehr als 50%, bleibt die Auswirkung innerhalb eines 3%-Punkte Fensters um die erwartete Risikosteigerung von 21%. Geringere Verursachungswahrscheinlichkeiten bei Kollisionskandidaten mit Ankerliegern führen daher zu einer Erhöhung des Gesamtrisikos, da Ankerliegerkollisionskandidaten mit Dalbenkollisionskandidaten substituiert werden.

$P_c^{Objekt} = P_c^{Anker} = 0,016\%$					
Veränderung von P_c^{Anker}	-50%	-25%	0%	+25%	+50%
Risikoänderung OTB zu UA	+23,7%	+22,3%	+21,0%	+19,7%	+18,6%

Tabelle 26: Sensitivität bezüglich des Verursachungsfaktors Schiff-Ankerliegerkollision

7.3 Wahrscheinlichkeit eines Strandungsschadens

Ein Faktor, der Einfluss auf die Konsequenzverrechnung innerhalb eines Submodells hat, ist die unterstellte Wahrscheinlichkeit, dass eine Strandung in einer Konsequenz endet. Aufgrund des sandigen Meeresbodens wird bei dieser Analyse angenommen, dass nur 2% aller Strandung zu einem Schaden führen. Durch den Bau des OTB führt nun jedoch für einen Teil der ehemaligen Strandungskollisionskandidaten 100% der Kollisionen zu Schäden am Schiff und am Objekt. Wird hier ein höherer Anteil an schweren Strandungsunfällen angenommen, so wirkt sich dies erheblich auf die Konsequenzerhöhung aus, da somit die Höhe des Gesamtrisikos im Vergleichsfall bereits erhöht wird (Basiseffekt). Durch die Annahme einer 20%-Wahrscheinlichkeit, dass eine Strandung zu einem Schaden führt, reduziert sich der Risikozuwachs durch den OTB bereits auf knapp 10% c.p. Das Risikoniveau der Unterlassungsalternative ist in diesem Fall fast doppelt so hoch, wie im 2%-Fall. Eine bedingte Schadenswahrscheinlichkeit von 2% stellt für die Betrachtung des OTB daher eine äußerst konservative Annahme dar, soll der Risikozuwachs nicht unterschätzt werden.

Schaden durch Strandung				
Bedingte Wahrscheinlichkeit	2%	5%	10%	20%
Risikoänderung OTB zu UA	+21,0%	+17,9%	+14,3%	+9,9%

Tabelle 27: Sensitivität bezüglich der Wahrscheinlichkeit eines Schadens durch Strandung

7.4 Wahrscheinlichkeit Blackout-bedingter Kollisionen mit OTB

Ebenfalls entscheidend für die Konsequenzverrechnung innerhalb eines Submodells ist der Anteil an Schiffen mit Blackout, welche daraufhin mit dem OTB kollidieren. Da für diese Kollisionskandidaten zur Konsequenzbestimmung das Schadensmodell *Schiff-Pier* statt *Strandung* unterstellt wird, sind hier höhere Konsequenzen zu beobachten (s. a. Kapitel 7.3).

Eine Sensitivitätsanalyse zeigt, dass für den Fall, dass 20% der Blackouts mit dem OTB kollidieren, die prognostizierte Gesamtrisikoerhöhung gegenüber der Unterlassungsalternative nur auf gut 33% c.p. steigt. Da eine Gefährdung des OTB hauptsächlich bei den eher seltenen starken nordwestlichen Winden und starker Tide gegeben sein sollte (s. Abbildung 54), scheint die Annahme von 5% akzeptabel.

Blackout-bedingte Kollision mit OTB				
Bedingte Wahrscheinlichkeit	5%	10%	15%	20%
Risikoänderung OTB zu UA	+21,0%	+25,1%	+29,3%	+33,5%

Tabelle 28: Sensitivität bezüglich der Wahrscheinlichkeit einer Blackout-bedingten OTB-Kollision

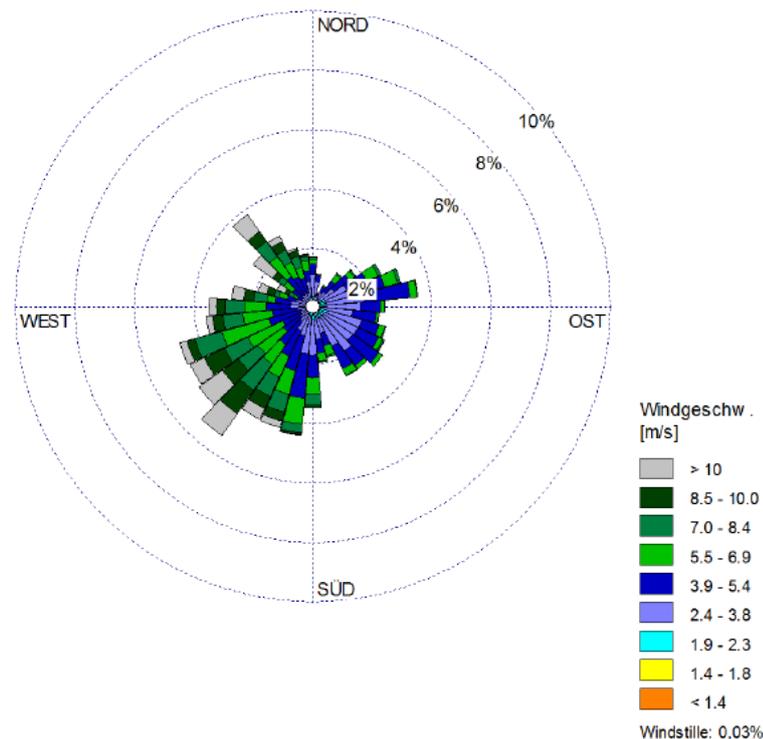


Abbildung 54: Verteilung der Windrichtungen (Quelle: DWD Wetterstation Bremerhaven)

7.5 Anzahl der Personen an Bord

Entscheidend für die Höhe der Personenschäden und somit auch für die Anteile der Schadenstypen in Bezug auf Material, Umwelt und Personen ist die Anzahl der Personen an Bord der in der Analyse verwendeten Schiffstypen. Für die Personenanzahl an Bord wird im Rahmen dieser Untersuchung die maximal mögliche Anzahl an Personen an Bord angenommen. Da in der Realität zumeist weniger und insbesondere bei den Fährschiffen sogar deutlich weniger Personen an Bord sein werden, müsste formalerweise die erwartete Anzahl an Personen angenommen werden, diese ist im Gegensatz zur maximalen Anzahl allerdings nur mit größerer Unsicherheit prognostizierbar. Daher wird im Rahmen dieser Analyse der obere Grenzwert zur Bestimmung des Maximalschadens herangezogen. Aufgrund dieser konservativen Annahme und ihres Einflusses auf die Schadenshöhen, wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um diesen Einfluss aufzuzeigen.

Für die folgenden Ergebnisse in Tabelle 29 werden somit neben der maximalen Personenanzahl an Bord eine minimale Personenanzahl auf Basis der *Minimum Safe Manning Guidelines for Certification* (SKANReg 2013) sowie im Allgemeinen der Mittelwert aus beiden Zahlen unterstellt (s. Annex 3).

Personen an Bord			
Personenanzahl an Bord	Maximal	Mittel	Minimal
Risikoänderung OTB zu UA	+21,0%	+20,7%	+20,5%

Tabelle 29: Sensitivität bezüglich der Personenanzahl an Bord der betrachteten Schiffe

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass sich das Risiko von 21,0% auf 20,7% für die mittlere und 20,5% für die minimale Personenanzahl nur geringfügig reduziert. Da sich nur die Konsequenzen aufgrund der variierten Personenanzahl ändern, die Kollisionskandidaten aber unverändert bleiben, ist eine Reduktion in gleicher Größenordnung bei der Konsequenz von 28,0% auf 27,8% für die mittlere und 27,6% für die minimale Personenanzahl zu beobachten. Der Anteil der Personenschäden ist in den beiden Fällen mit niedrigerer Personenanzahl zwar deutlich geringer, dadurch dass die Annahme jedoch alle drei Szenarien gleich beeinflusst, ist der Einfluss auf die Risikoveränderung nur sehr gering. Als konservative Annahme wird daher die maximale Personenanzahl an Bord beibehalten, um das Risiko nicht zu unterschätzen.

Atlantic Offshore (2013): Special purpose vessel heads straight to work after delivery. Online verfügbar unter <http://www.atlantic-offshore.no/?p=1911>, zuletzt geprüft am 04.09.2013.

BAW (2011): Wasserbauliche Systemanalyse für das Offshore Terminal Bremerhaven - Erste Einschätzung der Wirkungen auf die Tidekennwerte des Weserästuars. ---- ENT-WURF ----. Unter Mitarbeit von R. Schubert, U. Vierfuß und H. Brand. Hamburg.

Bernard Shipyards: ORC 190.P. Monohull Lotsentender. Online verfügbar unter http://www.bernard-naval.com/wa_files/FICHE_20PLAN_20ORC190G-PL01-A_20_28EN_29_20FINAL2.pdf, zuletzt geprüft am 07.11.2012.

bremenports GmbH & Co. KG (2012): Offshore Terminal Bremerhaven - Lageplan. Zeichnungs-Nr. 5.2. Unter Mitarbeit von Kukoika und Welppert.

Brown, Alan J. (2002): Collision scenarios and probabilistic collision damage. In: Marine Structures, Jg. 15, Nr. 4-5, S. 335-364.

BSH (Hg.) (2011): Nordsee-Handbuch - Südöstlicher Teil. 2. Ausg., berichtigt bis N.f.S.-Ausg. 17/2012. Hamburg, Rostock.

BSH (Hg.) (2012): Nr. 4. INT 1457. Nordsee. Deutsche Küste. Die Weser von Robben-nordsteert bis Bremerhaven und Nordenham. Deutschland. 21. Ausg., kleine Berichtigungen: 2012,17.2., berichtigt bis N.f.S.-Ausg. 30/2012, WGS 84. Hamburg, Rostock (Internationale Kartenserie).

BSU (2013): Jahresstatistik. Online verfügbar unter http://www.bsu-bund.de/DE/Publikationen/Jahresstatistik/jahresstatistik_node.html, zuletzt geprüft am 23.09.2013.

Bodenseeschiffahrt (2013): MF Tábor. Online verfügbar unter <http://www.bodenseeschiffahrt.de/KN-Fahren/tabor.html>, zuletzt geprüft am 04.09.2013.

Burmeister, Hans-Christoph; Jahn, Carlos; Töter, Svenja; Froese, Jens (2013): Maritime Risk Assessment: Modeling Collisions with Vessels lying at an anchorage. In: Weintritt, A. (Hg.): Advances in Marine Navigation. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. A Balkema Book, CrC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton – London – New York – Leiden, 2013

Chen, Donghui (2000): Simplified Ship Collision Model. Virginia Polytechnic Institute and State University.

Corcilus, Hannelore (2012): Anfrage bezüglich der Anzahl der Einsätze der Lotsversetzer im Bereich Bremerhaven/Blexen, 06.11.2012. E-Mail an Hans-Christoph Burmeister.

Croatian Shipbuilding (2013): Ferries & Ro-Ro, Yachts, High Speed Boats. Online verfügbar unter <http://www.hb.hr/LinkClick.aspx?fileticket=uvh8yHXtMSE=>, zuletzt geprüft am 12.07.2013.

Dausendschön, Kay; Povel, Daniel (2008): Offshore Windparks – Wirksamkeit kollisionsverhindernder Maßnahmen. Abschlußbericht. Germanischer Lloyd (Hrsg.).

Derrick Offshore Ltd. (2011): Offshore Renewable Energy Installation Market Report.

Deutsche Marine (Hg.) (2011): Leinen los! – Magazin des größten deutschen maritimen Interessenverbandes. Heft 4-2011, Juli/August. Online verfügbar unter http://www.deutscher-marinebund.de/pdf/ll_onlineausgabe_04-2011.pdf, zuletzt geprüft am 04.09.2013.

Deutsche Offshore-Testfeld und Infrastruktur GmbH & Co. KG (2008): Bauflotte in Wilhelmshaven versammelt. Startsignal gibt das Wetter. Online verfügbar unter <http://www.alpha-ventus.de/index.php?id=22>, zuletzt geprüft am 07.11.2012.

DMA The Royal Danish Administration of Navigation and Hydrography (2006): Navigational safety in the Sound between Denmark and Sweden (Øresund), Denmark: Ramboll.

DNV (2005): SAFEDOR: Risk Evaluation Criteria. Online verfügbar unter: http://www.transport-research.info/Upload/Documents/201301/20130130_135847_22756_SAFEDOR-D-04.05.02-2005-10-21-DNV-RiskEvaluationCriteria-rev-3.pdf, zuletzt geprüft am 05.09.2013.

EWEA (2011): Wind in our sails. The coming of Europe's offshore wind energy industry. Online verfügbar unter http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/23420_Offshore_report_web.pdf, zuletzt geprüft am 06.11.2012.

Forum-Schiff (2013): Lotsenfahrzeuge. Online verfügbar unter <http://forum-schiff.de/phpBB3/viewtopic.php?p=4468%20-%20p3911>, zuletzt geprüft am 12.07.2013.

Froese, Jens (2012): Offshore Terminal Bremerhaven: Blexen Reede – Bedarf Liegeplätze, die sich aus dem zusätzlichen Verkehr durch den OTB ergeben.

Fujii, Yahei (1983): Integrated Study on Marine Traffic Accidents. In: *IABSE Reports* 42, S. 91–98. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.5169/seals-32407>, zuletzt geprüft am 11.10.2012.

GL Germanischer Lloyd (2012): Klassifikations- und Bauvorschriften. I Schiffstechnik. 1 Seeschiffe. 1 Schiffskörper. Online verfügbar unter www.gl-group.com/infoServices/rules/pdfs/gl_i-1-1_d.pdf, zuletzt geprüft am 05.09.2013.

Groß, Jürgen (2010): Grundlegende Statistik in R. Eine anwendungsorientierte Einführung in die Verwendung der Statistik Software R. Vieweg+Teubner Verlag.

Hafenrundfahrt Bremerhaven (2013): Unsere Schiffe. Online verfügbar unter <http://hafenrundfahrt-bremerhaven.de/unsere-schiffe.php>, zuletzt geprüft am 12.07.2013.

Hensen, Henk (2003): Tug use in port. A practical guide. 2. Aufl. London, England: Nautical Institute.

HGO (2012): Schwerlast-Kranhubschiff INNOVATION - Power of Performance. Online verfügbar unter <http://www.hgo-infrasea-solutions.de/assets/pdf/Datenblatt.pdf>, zuletzt geprüft am 07.11.2012.

IALA (2009): IALA Recommendation O-134 on the IALA Risk Management Tool for Ports and Restricted Waterways. International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities. Online verfügbar unter http://www.iala-aism.org/iala/publications/documentspdf/doc_180_eng.pdf, zuletzt geprüft am 11.10.2012.

- IALA (2012): IWRAP Mk2 Wiki. International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities. Online verfügbar unter http://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/index.php?title=Main_Page, zuletzt aktualisiert am 03.09.2012, zuletzt geprüft am 11.10.2012.
- IMO (2007): Formal Safety Assessment. Consolidated text of the Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (MSC/Circ.1023–MEPC/Circ.392).
- ISL (2010): Einschätzung der Verkehrsentwicklung auf der Weser bis 2025. Unter Mitarbeit von Burkhard Lemper und Arnulf Hader. Bremen.
- ISL (2011): Auswirkung einer Einschränkung der Reede Blexen durch den Bau des Offshore-Terminals Bremerhaven. Endbericht. Bremen.
- ISL (2012): Auswirkung einer Einschränkung der Reede Blexen durch den Bau des Offshore-Terminals Bremerhaven. Addendum. Bremen.
- ITU-R M.1371-4 (2010): Technical characteristics for an automatic identification system using time-division multiple access in the VHF maritime mobile band
- Jacobsen, Stephan (2013): Gespräch über Fred Olsen, Bayard 1 von 20,9m Länge, 06.06.2013. Persönliches Gespräch mit Laura Walther.
- Kraus, Ulrich (2012): OTB - Schiffsbewegung Dillinger Hütte, 14.09.2012. E-Mail an Svenja Töter.
- Lützen, Marie (2001): Ship Collision Damage. PhD Thesis. Technical University of Denmark.
- Marcus, Peter (2012): Offshore Terminal Bremerhaven - Verkehrsverteilungen Blexen Bogen, 01.11.2012. Telefon an Hans-Christoph Burmeister.
- Maritime Safety Authority of New Zealand (2004): Final Guidelines for Port & Harbour Risk Assessment and Safety Management Systems in New Zealand.
- Minorsky V.U. (1959): An Analysis of ship collisions with reference to protection of nuclear power plants. In: Journal of Ship Research.
- Morgenstern, Hermann von (2012): Offshore Terminal Bremerhaven - Abschlussbericht. Simulations-Studie.
- Otto, Sven; Pedersen, Preben Terndrup; Samuelides, Manolis; Sames, Pierre C. (2002): Elements of risk analysis for collision and grounding of a RoRo passenger ferry. In: Marine Structures, Jg. 15, Nr. 4-5, S. 461-474.
- Paik, Jeom Kee; Pedersen, Preben Terndrup (1996): Modelling of the Internal Mechanics in Ship Collisions. In Ocean Engineering, Jg. 23, Nr. 2, S. 107-142
- Pedersen, Preben Terndrup (1995): Probability of Grounding and Collision Events. In: Technical University of Denmark (Hg.): Accidental Loadings on Marine Structures: Risk and Response. 22nd WEGEMT Graduate School. London.
- Pedersen, Preben Terndrup; Zhang, Shengming (1998): On impact mechanics in ship collision. In: Marine Structures, Jg. 11, Nr. 10, S. 429-449.
- Pedersen, Preben Terndrup; Zhang, Shengming (2000): Effect of ship structure and size on grounding and collision damage distributions. In: Ocean Engineering, Jg. 27, Nr. 11, S. 1161-1179.

Pedersen, Preben Terndrup (2010): Review and application of ship collision and grounding analysis procedures. In: *Marine Structures* 23, S. 241–262. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1016/j.marstruc.2010.05.001>, zuletzt geprüft am 11.10.2012.

Port of Hamburg Marketing (2010). New intermodal solutions combining containers and RO/RO, Report on StratMoS WP C-4d. Online verfügbar unter http://www.stratmos.com/downloadArtFile?FILE_ID=1285580003277, zuletzt geprüft am 04.09.2013.

Schiff&Hafen (2002): Fünf Capesize-Bulker bei Hyundai bestellt, 13.03.2002. Online verfügbar unter http://www.schiffundhafen.de/news/schiffahrt/single-view/view/fuenf_capesize_bulker_bei_hyundai_bestellt.html, zuletzt geprüft am 04.09.2013.

Schneekluth, H.; Bertram, V. (1998): *Ship Design for Efficiency and Economy*, 2. Aufl., Oxford: Butterworth Heinemann.

Shipspotting.com: Kapitän Stoewahse. Online verfügbar unter <http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1336597>, zuletzt geprüft am 02.11.2012.

Sietz, Henning (2006): „Emma Maersk“ – Heimat für elftausend Container, 15.11.2006. Online verfügbar unter <http://www.faz.net/aktuell/technik-motor/umwelt-technik/containerschiffe-emma-maersk-heimat-fuer-elftausend-container-1382464.html>, zuletzt geprüft am 04.09.2013.

Søfartsstyrelsen (2008): *Risk Analysis of Sea. Traffic in the Area around Bornholm, Denmark*: Cowi.

St. Kitts and Nevis International Ship Registry (SKANReg) (2013): *Minimum Safe Manning Guidelines for Certification as prescribed under the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers - STCW 95*.

U.S. Department of Transportation Maritime Administration (2006): *Foreign-Flag Crewing Practices. A Review of Crewing Practices in U.S. – Foreign Ocean Cargo Shipping*. Online verfügbar unter http://www.marad.dot.gov/documents/Crewing_Report_Internet_Version_in_Word-update-Jan_final.pdf, zuletzt geprüft am 12.07.2013.

WSD NW (2013): *Verkehrszahlen Risikostudie OTB*.

WSV (2008): *Verkehrsstatistik der Weser im Bereich des WSA Bremerhaven im Jahr 2008*.

WSV (2010): *Datenbank der Schiffsunfälle*.

WSV (2012): *Verkehrsstatistik der Weser im Bereich des WSA Bremerhaven im Jahr 2008*.

WSV (2013): *Unsere Schiffe*. Online verfügbar unter http://www.wsa-bremerhaven.de/wir/Unsere_Schiffe/index.html, zuletzt geprüft am 12.07.2013.

Weserfähre (2012): *Fahrplan*. Online verfügbar unter [http://www.weserfaehre.de/de/wf_fahrplan?sv\[starthafen\]=950](http://www.weserfaehre.de/de/wf_fahrplan?sv[starthafen]=950), zuletzt geprüft am 23.10.2012.

Weserfähre (2013a): Weserfähre "Bremerhaven". Online verfügbar unter [http://www.weserfaehre.de/de/wf_schiffe?sv\[menu\]=bremerhaven](http://www.weserfaehre.de/de/wf_schiffe?sv[menu]=bremerhaven), zuletzt geprüft am 12.07.2013.

Weserfähre (2013b): Geestemünde. Online verfügbar unter [http://www.weserfaehre.de/de/wf_schiffe?sv\[menu\]=geestemuende](http://www.weserfaehre.de/de/wf_schiffe?sv[menu]=geestemuende), zuletzt geprüft am 12.07.2013.

Wikipedia (2013): Hellespont-Alhambra-Klasse. Online verfügbar unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Hellespont-Alhambra-Klasse>, zuletzt geprüft am 04.09.2013.

Winchester, N., Sampson, H., Shelly, T. (2006): An Analysis of Crewing Levels: Findings from the SIRC Global Labour Market Survey. Online verfügbar unter <http://www.sirc.cf.ac.uk/uploads/publications/Analysis%20of%20crewing%20levels.pdf>, zuletzt geprüft am 12.07.2013.

Zhang, Shengming (1999): The Mechanics of Ship Collision, Technical University of Denmark.

Zhang, Shengming (2002): Plate tearing and bottom damage in ship grounding. In: Marine Structures, Jg. 15, Nr. 2, S. 101-117.

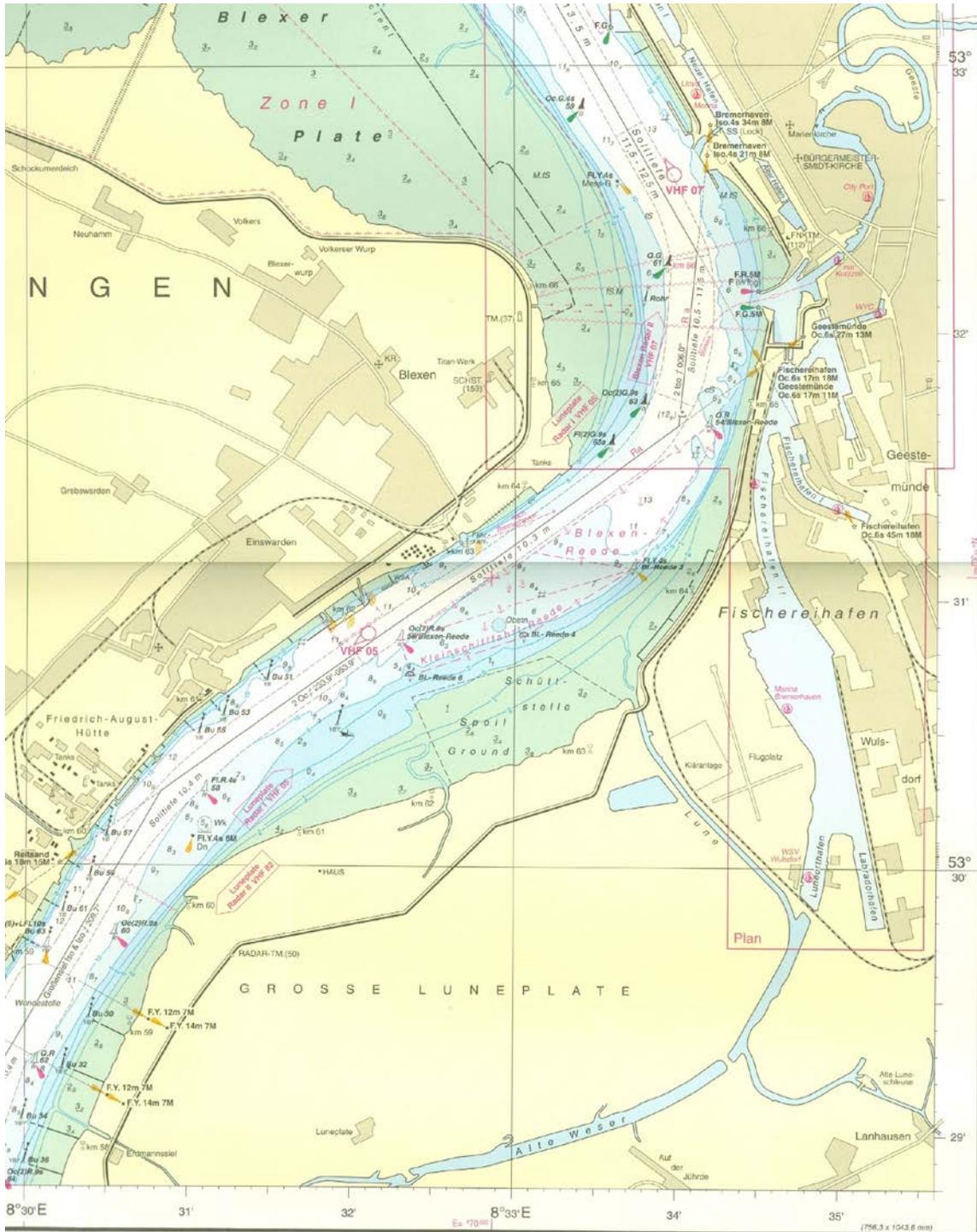


Abbildung 55: Seekartenausschnitt des untersuchten Verkehrsraums „Blexen Bogen“ (Quelle: BSH 2012)

Annex 2: Quellen Baukosten und Personenanzahl

Annex 2: Quellen Baukosten und Personenanzahl

Schiffstyp	Quelle: Baukosten	Quelle: Erwartete Personenanzahl an Bord
Jack-up-Schiff	Derrick Offshore (2011)	HGO (2012)
Barge	Derrick Offshore (2011)	-
Weserfähre	Bodenseeschifffahrt (2013)	Weserfähre (2013a)
Lotsenversetzer Käpt Stoewahse	Fred Olsen (2013)	Forum-Schiff (2013)
Binnenschiff	Schiff&Hafen (2002)	SKANReg (2013)
Autotransporter	Port of Hamburg Marketing (2010)	SKANReg (2013), Croatian Shipbuilding (2013), U.S. Dep. (2006)
Bulk Carrier	Schiff&Hafen (2002)	Winchester et al. (2006)
Tanker	Wikipedia (2013)	Winchester et al. (2006)
Containerschiffe	Sietz (2006)	U.S. Dep. (2006)
Fahrgastschiffe/Fähre	Otto et al. (2002)	Hafenrundfahrt Bremerhaven (2013), Weserfähre (2013b), Croatian Shipbuilding (2013)
Gastanker	Wikipedia (2013)	Winchester et al. (2006)
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge	Deutsche Marine (2011)	WSV (2013)
RoRo-Schiffe	Port of Hamburg Marketing (2010)	SKANReg (2013), U.S. Dep. (2006)
Sonstige Seeschiffe	Sietz (2006)	SKANReg (2013)
Spezialfahrzeuge	Atlantic Offshoe (2013)	SKANReg (2013)
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff	Schiff&Hafen (2002)	SKANReg (2013), Winchester et al. (2006)
Lotsenversetzer ORC 190.P	Fred Olsen (2013)	Bernard Shipyards

Annex 3: Sensitivität Personenanzahl

Annex 3: Sensitivität Personenanzahl

Schiffstyp	BRZ	Maximale Personenanzahl an Bord	Mittlere Personenanzahl an Bord	Minimale Personenanzahl an Bord
Binnenschiff_1_Nord	0	500	5	5
Binnenschiff_2_Nord	500	1500	5	5
Binnenschiff_3_Nord	1500	3000	6	6
Binnenschiff_1_Süd	0	500	5	5
Binnenschiff_2_Süd	500	1500	5	5
Binnenschiff_3_Süd	1500	3000	6	6
Autotransporter_3	1500	3000	22	10
Autotransporter_4	3000	10000	22	17
Autotransporter_6	40000	50000	32	23
Autotransporter_7	50000	100000	32	23
Bulk Carrier_1	0	1500	6	6
Bulk Carrier_2	1500	3000	10	9
Bulk Carrier_3	3000	10000	18	14
Bulk Carrier_4	10000	20000	21	16
Bulk Carrier_5	20000	30000	21	16
Bulk Carrier_6	30000	40000	21	17
Bulk Carrier_7	40000	50000	21	18
Bulk Carrier_8	50000	100000	22	19
Tanker_1	0	500	6	5
Tanker_2	500	1500	8	8
Tanker_3	1500	3000	11	9
Tanker_4	3000	10000	18	14
Tanker_5	10000	20000	22	17
Tanker_6	20000	30000	23	18
Tanker_7	30000	50000	23	19
Containerschiffe_1	0	3000	9	8
Containerschiffe_2	3000	10000	10	10
Containerschiffe_3	10000	20000	21	17
Containerschiffe_4	20000	30000	23	18
Fahrgastschiffe/Fähre_1	0	500	120	60
Fahrgastschiffe/Fähre_2	500	1500	150	75
Fahrgastschiffe/Fähre_5	10000	20000	600	300
Gastanker_1	0	500	18	14
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_1	0	500	5	5
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_2	500	1500	6	6
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_3	1500	3000	7	7
Marineschiffe/Behördenfahrzeuge_4	3000	10000	10	10
RoRo-Schiffe_1	0	3000	10	8
RoRo-Schiffe_2	3000	10000	15	12
RoRo-Schiffe_3	10000	20000	22	16
RoRo-Schiffe_4	20000	30000	22	18
RoRo-Schiffe_7	30000	40000	22	19
Sonstige Seeschiffe_1	0	500	4	4
Sonstige Seeschiffe_2	500	1500	6	6
Sonstige Seeschiffe_3	1500	3000	9	8
Sonstige Seeschiffe_4	3000	10000	12	11
Sonstige Seeschiffe_5	10000	20000	19	15
Spezialfahrzeuge_1	0	500	4	4
Spezialfahrzeuge_2	500	1500	6	6
Spezialfahrzeuge_3	1500	3000	9	9
Spezialfahrzeuge_4	3000	10000	12	11
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_1	0	500	4	4
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_2	500	1500	8	8
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_3	1500	3000	10	9
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_4	3000	10000	16	13
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_5	10000	20000	21	16
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_6	20000	30000	21	17
Trockenfrachter/Mehrzweckschiff_7	30000	40000	21	18
Weserfähre	-	-	300	150
Lotsenversetzer Käpt Stoewahse	-	-	12	8
Lotsenversetzer ORC 190	-	-	11	7
OTB Jack-up	-	-	180	50
OTB Barge	-	-	6	6

Tabelle 30: Maximale, mittlere und minimale Personenanzahl an Bord