

Firma

**bremenports GmbH & Co. KG**

CC Projektmanagement

z. Hd. Herrn U. Kraus

Am Strom 2

**27568 Bremerhaven**

Bremen, den 10. März 2015

## **NAUTISCHES GUTACHTEN**

**Aspekt: Wasserstraßentransport  
liegender WKA-Sterne**

Projekt : **Offshore- Terminal  
Bremerhaven**

Auftrag : **Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Bundeswas-  
serstrasse Weser beim  
Transport vormontierter liegender Sterne von Wind-  
kraftanlagen, sowie deren Auswirkungen auf den  
Schiffsverkehr (Expertise & Simulation) einschließlich  
der Untersuchung der Leistungsfähigkeit von Wind-  
kraftanlagentransportfahrzeugen (Recherche)**

Auftraggeber : bremenports GmbH & Co. KG

Auftrag erteilt durch: Herr U. Kraus

Aufgestellt durch : Nautisches Büro Bremen

bearbeitet von : Kapt. Matthias Meyer (Nautischer Teil )  
Dipl. Ing. Frank Borsbach (Untersuchungen)

Gutachten Reg. : 4971814

Gutachtenumfang : Bericht, bestehend aus 58 Seiten  
Anlagen inkl. Computersimulationen extra

**PROBEFAHRTKOMMANDOS · ERPROBUNGSMESSUNGEN · INSPEKTION · GUTACHTEN**

TRIAL TRIP ORGANISATION · DOCK CAPTAINS · TEST & TRIALS' MEASUREMENTS · INSPECTION · EXPERTISE

BENQUESTRASSE 32 · D-28209 BREMEN · HRB 30090 HB · PHONE +49 421 349 81 50 · Fax +49 421 349 81 30

MOBILE +49 171 645 35 38 · EMAIL info@nautisches-buero.de · VAT ID

COMMERZBANK · Swift COBADEFFXXX · IBAN: DE88 2904 0090 0160 0279 00 BLZ 290 400 90 · Acc-N° 0160 0279 00

## Inhalt

1. Ergebniszusammenfassung .....	5
2. Einleitung und Aufbau des Gutachtens .....	6
3. Nautische Grundlagen .....	9
3.1. Anzahl der Transporte und Transportzeitraum .....	9
3.2. Verkehrsdurchführung und Verkehrsbeteiligte .....	9
3.2.1. Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven / Verkehrszentralen .....	10
3.2.2. Lotsen .....	12
3.2.3. Häfen / Hafenbetriebsbüro .....	13
3.2.4. Schifffahrtsagenturen .....	14
3.2.5. Freifahrer .....	15
3.2.6. Zeitvergleich .....	15
3.2.7. Wartefähigkeit von Errichterschiffen .....	16
4. Transportfahrzeuge .....	18
4.1 Transportfahrzeugtypen .....	18
4.2. Transportgeschwindigkeiten .....	19
4.3. Bereitschaftszeiten, Mobilisierungszeiten .....	19
4.4. Manövrierfähigkeit .....	20
4.5. Untersuchungsergebnisse .....	20
4.5.1. Transportdaten von passiven Hubinseln .....	20
4.5.2. Transportdaten von aktiven Hubinseln .....	20
4.5.3. Transportdaten von Errichterschiffen .....	21

---

5. Simulationslauf III – schnelle WKA Transporte unter Berücksichtigung von Hafenbereich und Umweltbedingungen .....	22
5.1 Zeitfenster .....	22
5.2. Messwertbeschreibung.....	23
5.2.1. Potentielle Interaktionskontakte .....	24
5.2.2. Potentielle Interaktionszeiten .....	24
5.2.3. WKA-Transport Wartezeiten .....	25
5.3. Umweltbedingungen.....	26
5.3.1. Tageszeit.....	26
5.3.2. Tide .....	27
5.4. WKA-Transport Routing .....	28
5.4.1. Ablegen WKA Transport.....	29
5.4.2. Fahrtgeschwindigkeit WKA Transport.....	29
5.4.3. Sicherheitsabstände .....	29
5.4.4. Hafenbereich .....	29
5.5. Weitere Implementationsdetails.....	30
5.5.1. Programmanpassung .....	30
5.5.2. Datensatzanpassungen .....	31
5.6. Ergebnisse der Simulation.....	32
5.6.1. Nullfenster .....	34
5.6.2. Fahrten mit üblichem Verkehrsabstimmungsbedarf .....	35
5.6.3. Verteilung der Begegnungshäufigkeit .....	36
5.7. Plausibilitätskontrolle der Simulationsergebnisse für „Nullfenster“ .....	36
5.7.1. Vorgehensweise der Plausibilitätskontrolle .....	37
5.7.2. Ergebnisse der Plausibilitätskontrolle .....	37

---

6. Simulationslauf IV - Bemessung der Verkehrsabstimmungsleistung bei existierenden Sonderverkehren .....	40
6.1 Einführung .....	40
6.2. Fragestellung.....	40
6.3. Vorgehen.....	40
6.4. Erkennen der Sonderverkehre.....	41
6.4.1. Sonderverkehre auf der Außenweser .....	41
6.4.2.    Sonderverkehre bis Nordenham.....	41
6.4.3. Sonderverkehre bis Brake .....	41
6.5. Erzeugen des Simulationsdatensatzes.....	42
6.6. Funktionsprinzip .....	42
6.7. Ergebnisse der Simulation existierender Sonderverkehre .....	42
6.7.1. Potentielle Interaktionskontakte existierender Sonderverkehre (SondEx) .....	44
6.7.2.    Potentielle Interaktionszeiten existierender Sonderverkehre (SondEx).....	44
6.7.3.    Wartezeiten der Sonderverkehre.....	45
6.8. Aussagen der Simulation existierender Sonderverkehre für die WKA-Transport Simulationen .....	45
6.8.1.    Null bis ein potentielle Interaktionskontakte.....	46
6.8.2.    Zwei bis vier potentielle Interaktionskontakte .....	46
7. Abschlussdiskussion .....	47
7.1. Bewertung der Durchführbarkeit der WKA-Transporte.....	47
7.1.1. Einfluss der Leistungsdaten von WKA-Transportfahrzeugen .....	47
7.1.2. Einfluss berücksichtigter existierender Verkehre.....	48
7.1.3. Einfluss der Simulationsvarianten .....	49
7.1.4. Übliche Verkehrsabstimmung .....	49
7.2. Diskussion der Ergebnisse der Simulation existierender Sonderverkehre .....	50
7.3. Diskussion der Ergebnisse der Plausibilitätskontrolle .....	51
7.3.1. Interpretation der Plausibilitätskontrolle .....	51
7.3.2. Gegenüberstellung Berechnungsergebnisse Fraunhofer-CML und Simulation ....	51
7.3.3 Gegenüberstellung Methodik Fraunhofer CML-Berechnung und Simulation.....	53
7.4. Kritik der Ergebnisqualitäten .....	53
7.4.1. Ergebnisqualität der nautischen Grundlagen (Kapitel 3).....	53
7.4.2. Ergebnisqualität der Recherche zu Errichterschiffen (Teil 2) .....	53
7.4.3. Ergebnisqualität von Simulation und Auswertung (Teile 3 und 4) .....	54
7.5. Sicherheiten des Untersuchungsprozesses .....	55

## 1. Ergebniszusammenfassung

Vom zu errichtenden Offshore Terminal Bremerhaven sollen jährlich 160 Windkraftanlagen verschifft werden. Bei einem Transport von jeweils 3 waagrecht übereinander geladenen Rotorsternen (liegender Sterntransport) wären somit ca. 53 Reisen für den Transport solcher Komponenten erforderlich. Die Wind-Kraft-Anlagen-Transporte (WKA-Transporte) sollen im Zeitraum vom 01. März, bis zum 31. Oktober an 8 Monaten, bzw. an 240 Tagen durchgeführt werden.

Basierend auf diesen Werten müsste in dem Zeitraum vom 01. März bis zum 31. Oktober eines Jahres alle 4,5 Tage ein Transport durchgeführt werden.

In diesem Kontext war zu prüfen, ob aus nautischer Sicht die Abfahrten im Rahmen des üblichen Verkehrsgeschehens planbar und sicher durchgeführt werden können. Hierzu war es nötig mit Hilfe der von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) zur Verfügung gestellten Datengrundlage die Verkehre in einer Vielzahl von Simulationen zu überprüfen um zielführende Aussagen über die Machbarkeit des WKA-Transportes innerhalb des übrigen Verkehrsgeschehens treffen zu können.

Durch die große Anzahl von Simulationsfahrten mit verschiedenen Geschwindigkeiten konnte der Nachweis erbracht werden, dass in dem betrachteten Zeitraum vom 01. März bis zum 31. Oktober eine Vielzahl von Zeitfenstern vorhanden ist, in denen WKA-Transporte in großer Anzahl möglich sind.

Ein unvorhergesehenes, ungeplantes Zusammentreffen von WKA-Transporten mit anderen Verkehren kann mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

## 2. Einleitung und Aufbau des Gutachtens

Im Bereich des Bremerhavener Fischereihafens hat sich in den letzten Jahren die gesamte Wertschöpfungskette der Forschung und Produktion von Windkraftanlagen (WKA) angesiedelt.

Zur Verschiffung vormontierter Windkraftanlagen oder anderer Großkomponenten der Windkraftindustrie soll das Offshore Terminal Bremerhaven (OTB) errichtet werden. Für den Betrieb des geplanten Terminals ist die Abwicklung von Transporten der Windkraftanlagen über die Bundeswasserstraße Weser erforderlich.

In der vorliegenden Untersuchung war zu klären, ob und in welcher Größenordnung entsprechende WKA-Transporte auf der Bundeswasserstraße Weser im Hinblick auf den Transport vormontierter liegender Sterne unter Berücksichtigung anderer Verkehre und der Einschränkungen durch Auflagen, Tide und Wetterverhältnisse durchführbar ist.

Im Weiteren wurden die selbstregulativen Potentiale der Verkehrsabstimmung durch die Verkehrsbeteiligten anhand der Beschreibung der Durchführung von WKA-Transporten unter besonderer Berücksichtigung der Ableseszenarien berücksichtigt. Diese sind in die Simulation als programmgesteuertes, verkehrsangepasstes Verhalten der Verkehre eingeflossen. Die Simulation wurde gegenüber den bereits im Vorfeld durchgeführten Untersuchungen stark erweitert. Die WKA-Transporte und existierende Verkehre aus den Verkehrsaufzeichnungen interagieren mit hoher Detailgenauigkeit entsprechend der erarbeiteten Üblichkeiten im Revier. Damit wurde ein realitätsnaher Verkehrsablauf der simulierten Verkehre eingeführt.

Die simulierten Fahrtgeschwindigkeiten der WKA-Transporte von 8 Knoten (kn) und 12 kn sind Ergebnis der Untersuchung der aktuellen und der zu erwartenden Leistungsdaten von Errichterschiffen und anderen Transporteinheiten. Grundlage dieser Untersuchung war eine Umfrage mit breiter Resonanz und geringer Streuung der Umfrageergebnisse.

Die simulationsbasierte Untersuchung der Kapazitäten der Bundeswasserstraße Weser für den Zeitraum der durch die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) zur Verfügung gestellten Daten aus dem Jahr 2008 hat ergeben, dass im zu betrachtenden Zeitraum von März bis Oktober eine große Anzahl von Zeitfenstern zu erwarten ist, in denen WKA-Transporte auf der Weser ohne, mit marginaler oder dem üblichen Maß der Verkehrsabstimmung entsprechenden, Verkehrsbeeinflussung stattfinden können.

Quantitative Vergleichswerte für das übliche Maß von Verkehrsabstimmungen wurden aus tatsächlich durchgeführten Sondertransporten gemessen, die in der Simulation nachgestellt wurden. Die Ergebnisse wurden als Maß der mindestens üblichen Verkehrsanpassung übernommen.

Als Plausibilitätskontrolle wurden die empirischen Ergebnisse der Simulationen mit analytisch berechneten ‚Nullfenstern‘ in den aufgezeichneten Verkehrsdaten verglichen. Diese Nullfenster wurden vom Fraunhofer Centrum für maritime Logistik (Fraunhofer CML) im Auftrag des Nautischen Büros Bremen berechnet und qualifizieren die entsprechenden Simulationsergebnisse als deutlich konservativ.

Das Gutachten umfasst 7 Kapitel nebst den Anlagen.

Die Beschreibung der nautischen Situation inklusive einer Zusammenfassung der Grundlagen entsprechend dem Gutachten aus 2011 sind Bestandteile von Kapitel 3 *Nautische Grundlagen*.

Die Untersuchung der Leistungsdaten von zeitgemäßen und zu erwartenden Schiffstypen ist das Thema von *Kapitel 4 Transportfahrzeuge*.

Die neu eingeführte Simulation zur Bemessung der Verkehrsabstimmungsleistung auf der Wasserstraße Weser wird im *Kapitel 6, Simulationslauf IV – Bemessung der Verkehrsabstimmungsleistung bei existierenden Sonderverkehren* beschrieben.

Die erweiterte Simulation zur genaueren Bemessung der Leistungsfähigkeit der Bundeswasserstraße Weser und die dabei gewonnenen Ergebnisse einschließlich der Untersuchung auf ‚Nullfenster‘, wird im *Kapitel 6– Simulationslauf – schnelle WKA Transporte unter Berücksichtigung von Hafengebieten und Umweltbedingungen* vorgestellt.

Eine Diskussion der Themenbereiche anhand der wichtigsten Ergebnisse, einschließlich Verweisen auf die entsprechenden Fundstellen im Gutachten, ist abschließender Inhalt von *Kapitel 7, Abschlussdiskussion*. In diesem Teil ist auch eine Kritik der Ergebnisqualitäten enthalten.

Die Anlagen sind zum besseren Zugriff extra gebunden und enthalten die umfangreichen Anlagen zu den Kapiteln 1 bis 5. Die umfangreichen Ergebnistabellen sind dort auch eingehend beschrieben.

Wie die einzelnen Teile des Gutachtens zusammenhängen und aufeinander aufbauen zeigt das Diagramm auf der folgenden Seite.

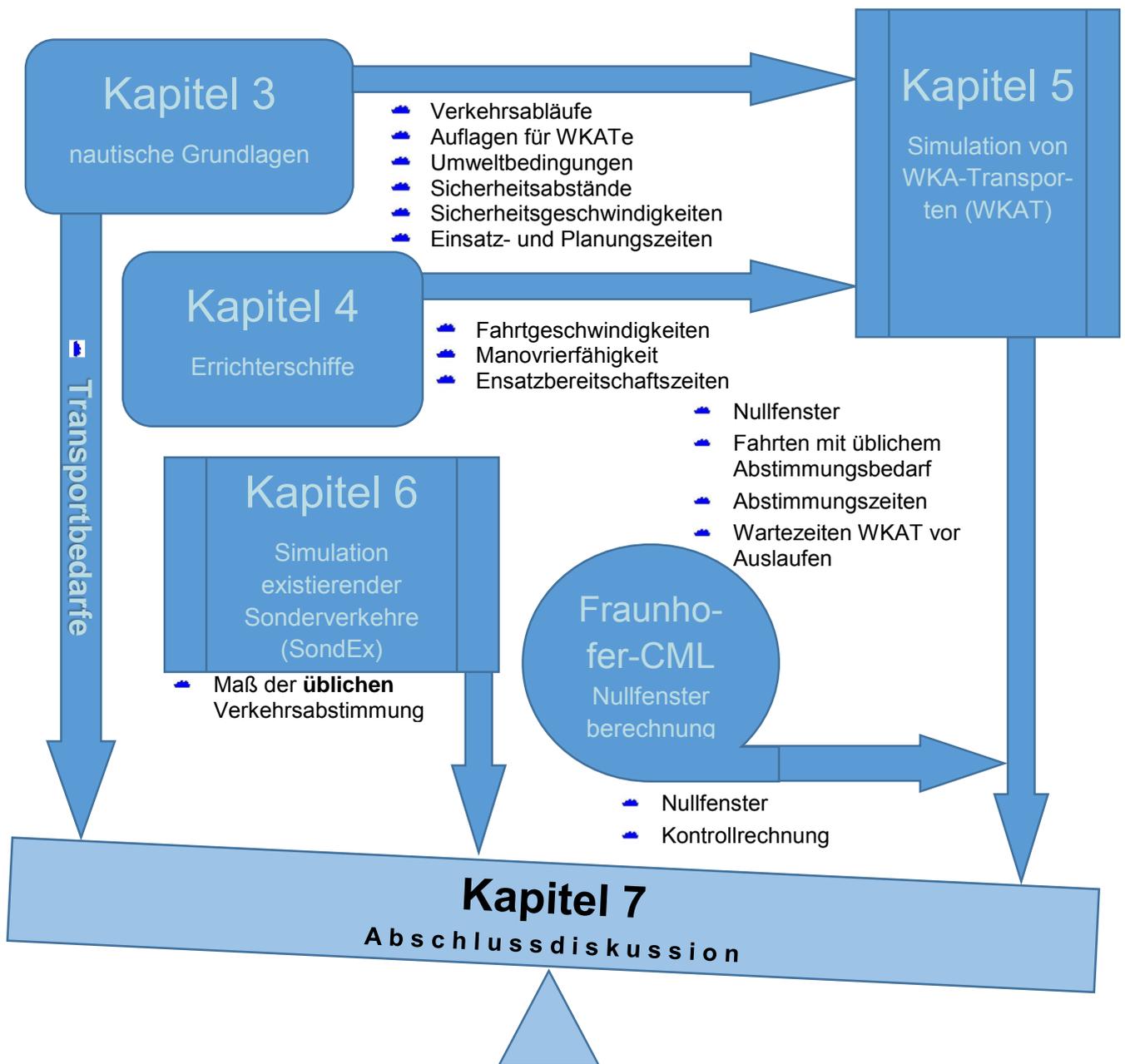


Abbildung 1: Zusammenhänge und Abhängigkeiten der Gutachtenkapitel

## 3. Nautische Grundlagen

Der folgende Teil des Gutachtens befasst sich mit dem nautischen Teil des Gutachtens. Hier werden Betriebsabläufe des Reviers und des Hafens beschrieben.

Grundlage für diesen Teil war die konstruktive Zusammenarbeit mit den beteiligten Praktikern der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, sowie allen beteiligten Lotsenbrüderschaften des Reviers.

### 3.1. Anzahl der Transporte und Transportzeitraum

Unverändert aus dem Gutachten des NBB von 2011 übernommen wurden die folgenden Grundannahmen:

- Vom zu errichtenden Offshore Terminal Bremerhaven sollen jährlich 160 Windkraftanlagen transportiert werden. Bei einem Transport von jeweils 3 waagrecht übereinander geladenen Rotorsternen (liegender Sterntransport) wären somit ca. 53 Reisen für den Transport solcher Komponenten erforderlich.
- Die WKA-Transporte sollen im Zeitraum vom 01. März, bis zum 31. Oktober an 8 Monaten, bzw. an 240 Tagen durchgeführt werden.

In Ergänzung zu diesen Annahmen handelt es sich nach aktuellem Entwicklungsstand der Installationstechnik (2014) hierbei um konservative Annahmen. In Zukunft ist von 5 oder mehr übereinander geladenen vormontierten Rotorsternen je Transport auszugehen. Das Installationsfenster wird mindestens auf die Monate Februar und November erweitert werden. Aktuell werden Transporte von der Stromkaje (RWE) auch im November und Dezember (2014) durchgeführt.

Damit verringert sich bei gleicher Anlagenanzahl die Zahl der notwendigen Transporte. Diese verringerte Transportanzahl verteilt sich gleichzeitig über einen größeren Jahreszeitraum.

### 3.2. Verkehrsdurchführung und Verkehrsbeteiligte

Auf der Bundeswasserstrasse Weser werden im Bereich von Unter- und Außenweser Verkehre jeglicher Art durchgeführt. Zu den Verkehren auf den Schifffahrtsstraßen zählt auch die Freizeitschifffahrt.

Verkehre sind in der Regel Teile in einer genau geplanten logistischen Kette an der eine Reihe von Personen und Institutionen beteiligt sind. Der Verkehr auf den Bundeswasserstraßen ist grundsätzlich frei, unregelt und unkoordiniert. Regelungsbedarf tritt erst dann ein, wenn es zur Verkehrsteilnahme eines Fahrzeugs einer schifffahrtspolizeilichen Genehmigung (SG) bedarf. Dies ist bei den WKA-Transporten der Fall.

An dieser Stelle des vorliegenden Gutachtens wird auf die für den Transport und die Interaktion wesentlichen Beteiligten im Weser-Revier eingegangen. Diese Beteiligten ermöglichen reibungslose Manöver beim An- und Ablegen von Schiffen aller Art und sichern eine reibungslose Passage durch das Weser Revier. Das Deutsche Lotswesen <sup>1</sup> hat im weltweiten Vergleich die

---

<sup>1</sup> Auskunft: Bundeslotsenkammer, Hamburg

niedrigsten Schadensfälle zu verzeichnen. Die Schadensrate an Jade und Weser ist seit Jahren auf niedrigstem Niveau. Das Weser Revier und der Hafen von Bremerhaven kann aus nautischer Sicht als besonders sicher angesehen werden.

Ziel dieser Beschreibung der Verkehrsdurchführung ist die Darstellung der Grundlagen für die Ermittlung von Zeitfenstern, in denen der Transport von WKA-Transporten unter Berücksichtigung der Abstimmungsleistung der Verkehrsbeteiligten möglich ist.

### 3.2.1. Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven / Verkehrszentralen

Der Verkehr auf der Wasserstraße Weser wird durch rechtliche Vorgaben (Gesetze und Verordnungen wie **Kollisionsverhütungsregeln (KVR)** und **See-Schifffahrtsstraßen-Ordnung (SeeSchStro)**) geregelt. Neben diesen grundsätzlich geltenden Vorschriften kann die zuständige Behörde (Wasser- und Schifffahrtsamt, Hafenbehörde) als Schifffahrtspolizeibehörde zur Sicherung und Leichtigkeit des Verkehrs besondere Anordnungen erlassen.

Für Sondertransporte, wie den hier zu untersuchenden Sterntransport, muss das zuständige Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Bremerhaven aufgrund der Abmessungen des Transports im Rahmen einer schifffahrtspolizeilichen **Genehmigung (SG)** besondere Auflagen erfüllen, die einen sicheren Transport auf dem Revier gewährleisten.

Zu diesem Zweck wird für jeden einzelnen dieser Sondertransporte (liegender Stern) immer eine schifffahrtspolizeiliche Genehmigung erteilt.

Nach der Durchführung eines Transportes wird dieser dann analysiert. Ist der Transport ohne besondere Vorkommnisse durchgeführt worden, können die Auflagen ggf. reduziert, oder geändert werden. Die Erteilung einer Jahres- oder Dauergenehmigung ist denkbar.

Im vorliegenden Fall der WKA-Transporte (liegender Stern) sind die zu erwartenden und mittlerweile erwartungsgemäß erlassenen Auflagen dem Gutachten des NBB von 2011, dort im Kapitel 8.5 Transportauflagen auf Seite 32 nachzulesen.

Der für den allgemeinen Schiffsverkehr auf dem Weserrevier zuständige Teil des Sachbereichs Verkehrswesen des Wasser- und Schifffahrtsamtes Bremerhaven ist die Verkehrszentrale (VKZ). Die VKZ ist für die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zuständig und überwacht die Verkehrsvorschriften und die Einhaltung der bereits dargestellten behördlichen Auflagen (der schifffahrtspolizeiliche Genehmigung).

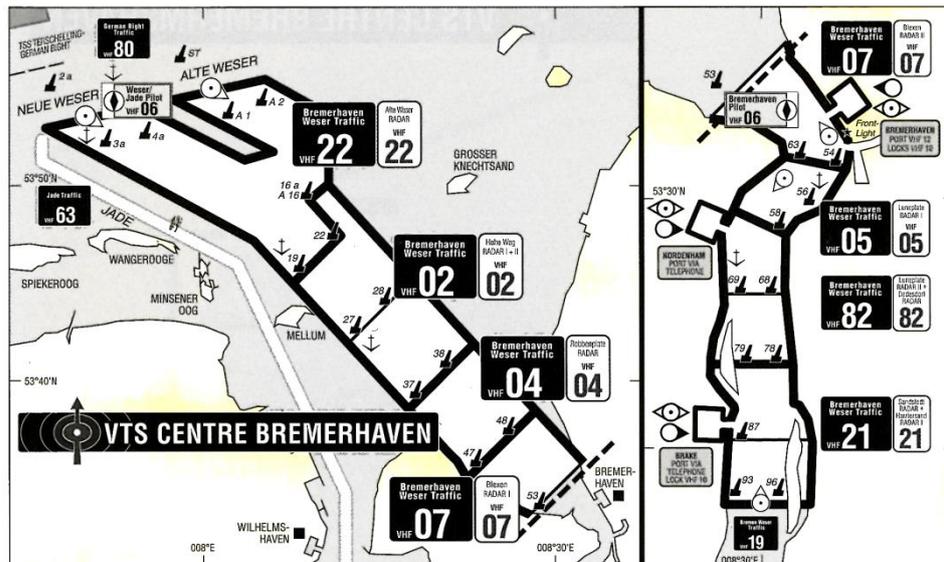
Nach der Abfahrtsmeldung der Seeschiffe vom Liegeplatz auf einem bestimmten UKW Arbeitskanal, arbeiten die verkehrsteilnehmenden Fahrzeuge auf den vorgegebenen UKW Kanälen (siehe Schaubild unten). Entsprechend der Einteilung des Reviers auf der Grafik, schalten die Verkehrsbeteiligten bei Erreichen der entsprechenden Positionen auf die bezeichneten Arbeitskanäle um.

32	VTS AREA <b>Weser</b>	VTS CENTRE <b>Bremerhaven</b>	EDITION No. <b>010</b>	REVISION DATE <b>15 - 08 - 14</b>
----	--------------------------	----------------------------------	---------------------------	--------------------------------------

**C 3.1 Bremerhaven Weser Traffic**

**Vessel Traffic Service**

Area  
see diagram



Station  
VTS Centre Bremerhaven

Contact Details  
 Call Bremerhaven Weser Traffic  
 Frequency see diagram  
 Telephone +49 (0) 4 71 4 83 53 33  
 Fax +49 (0) 4 71 4 83 52 00  
 E-mail vts-bremerhaven@wsv.bund.de

Continuous listening watch  
when entering on VHF working channels and VHF channel 16

Abbildung 2: Aufteilung des Reviers in UKW Sprechfunkbereiche

Die Verkehrszentrale unterstützt und regelt den Verkehr in verschiedenen Eingriffsstufen: **Information – Unterstützung – Regelung – Verfügung –**

Die **Informationen** werden durch den stündlichen Lagebericht über einen UKW-Revierfunkkanal ausgestrahlt.

Auf Nachfrage durch den Verkehrsteilnehmer beim Nautiker vom Dienst in der Revierzentrale kann mit weiteren Informationen **unterstützt** werden.

Der Nautiker kann zur Maßnahme der **Regelung** greifen, wenn z.B. über die Abfahrtsplanung zweier Schiffe Uneinigkeit besteht und sich die Beteiligten nicht einigen können.

Als letzte Maßnahme kann z.B. durch eine **Verfügung** das Auslaufen eines Schiffes verboten werden.

### 3.2.2. Lotsen

Das deutsche Lotswesen ist ein Teil des Systems der maritimen Verkehrssicherung.

Die Lotsen sind für die praktische Verkehrsdurchführung unverzichtbar und sorgen in enger Zusammenarbeit mit anderen direkten und indirekten Verkehrsteilnehmern für die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs.

Der Lotse berät den Kapitän bei den Manövern. Der Lotse koordiniert die Schlepper (Assistenzschlepper als Manöverhilfe) zum An- und Ablegen des Schiffes, berät bei der Passage im Weser Revier durch Empfehlung etwa von Kurs und Geschwindigkeit und spricht mit Lotsenkollegen im Revier oder den Nautikern der Verkehrszentrale besondere Verkehrssituationen ab. Die Aufgaben des Seelotsen und des Hafenslotsen sind gesetzlich geregelt<sup>2/3</sup>. Der Lotse kann sowohl an Bord als auch in der Verkehrszentrale als Radarlotse eingesetzt werden. Im engen Kontakt untereinander werden von den Lotsen in Abstimmung mit den anderen Verkehrsteilnehmern (z.B. Freifahrer) und der Verkehrszentrale Verkehrsabstimmungsleistungen erbracht, die Wartezeiten für alle Verkehrsbeteiligten minimieren. An den WKA Transporten sind folgende Lotsenbrüderschaften mittelbar oder unmittelbar beteiligt:

1. Lotsenbrüderschaft Weser I
  - (Lotsen von Bremen bis Bremerhaven = „Flusslotsen“)
  - Besonderheit: Die Lotsen der Brüderschaft Weser I sind sowohl Hafenslotsen in den Weserhäfen oberhalb Bremerhavens, als auch Seelotsen für das Weser Revier bis Bremerhaven.
2. Lotsenbrüderschaft Weser II / Jade
  - (Lotsen zwischen Bremerhaven und See, bzw. von Wilhelmshaven bis See = „Seelotsen“. Auch Hafenslotsen in Wilhelmshaven)
3. Hafenslotsengesellschaft Bremerhaven
  - (Lotsen für den Fischereihafen, die Stromkaje und der anderen Häfen in Bremerhaven)

Übergreifend gibt es im Revier feste Arbeitskanäle für die Lotsen und die Schleusenwärter. Seelotsen arbeiten auf dem UKW Kanal 6, Hafenslotsen am Strom auf dem UKW Kanal 8. Die Schleusenwärter in Bremerhaven arbeiten auf dem UKW Kanal 10.

Andere Arbeitskanäle können vereinbart werden.

---

<sup>2</sup> Seelotsgesetz SeeLG, siehe: „Seelotswesen, Das Regelwerk“ Heinrich, Steiecke, Seehafen Verlag, 3. Auflage

<sup>3</sup> Bremische Lotsenordnung (BremLotsO)

### 3.2.2.1. Bestellzeiten der Lotsen

Da sich ein Sondertransport entsprechend der Auflagen in den Verkehr einzuordnen hat, ist der Faktor Zeit von entscheidender Bedeutung für die Planung.

Für **auslaufende Schiffe** sind die Bestellzeiten für die beteiligten Seelotsen je nach Bruderschaft unterschiedlich. Die Bestellzeiten für die Seelotsen der Lotsenbruderschaft Weser I, sowie der Lotsenbruderschaft Weser II / Jade (auch Radarlotse –siehe folgenden Absatz) betragen 2 Stunden vor Abfahrt des Schiffes. Die Seelotsen werden bei den jeweiligen Bruderschaften direkt bestellt. Die Bestellung kann fermündlich ausgelöst werden und ist immer einfach und unbürokratisch durchführbar.

Für die Lotsung durch das Revier ist zusätzlich zum Seelotsen an Bord noch ein Kollege als Radarlotse in der Verkehrszentrale vorgesehen.

Die Hafenslotsen der Hafenslotsengesellschaft Bremerhaven sind 1,25 Stunden vor Abfahrt / Ankunft des Schiffes zu bestellen.

Der Hafenslotse wird über die Rufnummer des Hafensbetriebsbüros des Hansestadt Bremischen Hafenamtes bestellt. Auch hier erfolgt die Bestellung einfach und unbürokratisch fermündlich.

**Einkommende Schiffe** sind bereits im Abgangshafen für eine bestimmte Zeit „lose“ im nächsten Revier (hier Weser) angemeldet. Der Seelotse kann so entsprechend an Bord des Versetzers rechtzeitig vorgehalten werden. Diese Schiffe melden sich ca. 1 Stunde vor dem Erreichen der Lotsenversetzposition bei Flusskilometer 135 beim Lotsenversetzfahrzeug auf dem UKW Kanal 6 an. Auf dem Lotsenversetzfahrzeug wird dann der bereits an Bord befindliche Seelotse abgeteilt und bei Eintreffen des Schiffes versetzt. Die Distanz von der Lotsenversetzstation bis zum Robbennordsteert beträgt etwa 44 km, bzw. etwa 24 sm.

Ein einkommendes schnelles Schiff wird für diese Distanz unter Revierbedingungen etwa 1,5 Stunden bis zum Robbennordsteert brauchen.

Bis zum Erreichen des Robbennordsteerts ist das einkommende Fahrzeug somit bereits seit mindestens 2,5 Stunden durch die VKZ erfasst im Revier.

Ein Zusammentreffen im Bereich der Begegnungsverbote kann somit ausgeschlossen werden.

### 3.2.3. Häfen / Hafensbetriebsbüro

Schiffe aus Häfen südlich von Bremerhaven kommend, werden durch die Lotsen des Reviers Weser I vor der Abfahrt des Fahrzeugs bei der zuständigen Verkehrszentrale (VKZ Bremen bis Brake, dann VKZ Bremerhaven von Brake bis Bremerhaven) angemeldet.

Fahrzeuge die die Häfen von Bremerhaven verlassen wollen (Fischereihafen, Überseehafen, Stromkaje), werden durch den Hafenslotsen der Hafenslotsengesellschaft Bremerhaven oder den Lotsen der Lotsenbruderschaft Weser II / Jade bei der Verkehrszentrale Bremerhaven angemeldet.

Aufgenommene Daten werden vom Hafensbetriebsbüro im BrePOS III<sup>4</sup> Verkehrslenkungssystem für die bremischen Häfen, ins Internet gestellt und sind für den teilnehmenden Personenkreis zugänglich. Diese Daten können dann für die Planung eines Sondertransportes genutzt werden.

### 3.2.4. Schifffahrtsagenturen

Nach dem Abschluss des Lade- Löschbetriebs eines Schiffes wird das Schiff vom Agenten für die Abfahrt vorbereitet.

Eine der Aufgaben der Schifffahrtsagentur ist die Bestellung der für die Reise des Schiffes notwendigen Lotsen für den festgelegten Zeitpunkt der tatsächlichen Schiffsabfahrt.

In den Häfen an der Weser wird der Seelotse direkt bei der Lotsenbrüderschaft Weser I bestellt.

In den Bremerhavener Häfen, mit Ausnahme der Stromkaje und der Columbuskaje, die bereits an der Weser und somit vor den Schleusen Bremerhavens liegen, wird der zuständige Mitarbeiter der Schifffahrtsagentur (Agent) eines Schiffes zunächst einen Hafenslotsen bestellen, um das zu besetzende abfahrbereite Schiff vom Liegeplatz zur vorgesehenen Schleuse zu manövrieren. In der Schleuse angekommen und nach dem Ausgleich des Wasserstandes in der Schleuse und vor der Abfahrt, bzw. dem Einlaufen ins Weserrevier, wird das Schiff vom Bordlotsen der Verkehrszentrale als ins Revier einlaufendes Fahrzeug gemeldet.

In den Schleusen steigt der Seelotse zu. Somit ist das Einlaufen eines Fahrzeugs aus der Schleuse ins Weserrevier bereits mindestens 2 Stunden bekannt (Bestellung Hafenslotse, Bestellung Seelotse).

Agenturen nutzen ebenfalls das Verkehrslenkungssystem der bremischen Häfen BrePOS III.

Zusätzlich steht an der Weser der Bremer Schiffsmeldedienst (BSMD) zur Verfügung<sup>5</sup>. Der BSMD stellt Informationen über die Schifffahrt u.a. an der Weser zusammen. Diese Informationen werden für Abonnenten veröffentlicht.

Zu diesen Informationen gehören:

- Vorschau (erwartete ankommende und abfahrende Schiffe in den nächsten Tagen)
- Programm (Erwartete Schiffe in den nächsten 24 Stunden)
- Ankommer (Angekommene Schiffe in den letzten 24 Stunden)
- Hafenslieger
- Abfahrer (Abgefahrene Schiffe der letzten 24 Stunden)

---

<sup>4</sup> Bremen Port OS (BrePOS) III ist die Neuauflage des Verkehrslenkungssystems für bremische Häfen.

<sup>5</sup> BREMER SCHIFFSMELDEDIENST, Hafenkopf II, Überseetor 20, 28217 Bremen

### 3.2.5. Freifahrer

Als Freifahrer werden Schiffe (Kapitäne) bezeichnet, die aufgrund der Größe ihres Fahrzeuges von der Lotsenannahmepflicht ausgenommen sind (Fahrzeuge bis zu einer Länge von 70 m), oder die aufgrund eines Nachweises über die besondere Revierkenntnis von der Lotsenannahmepflicht befreit sind (Fahrzeuge bis zu einer Länge von 120 m).

Dieser Personenkreis nimmt an der Beratung durch die Verkehrszentrale teil und kommuniziert ebenfalls auf den genannten UKW Kanälen.

Aufgrund der oben erwähnten geringen Fahrzeuggröße und den damit verbundenen geringen Tiefgängen, ist diese Gruppe von Verkehrsteilnehmer nicht auf die Fahrrinne angewiesen und kann auch an den Rändern des Fahrwassers verkehren.

Bei geringeren Tiefgängen fahren Fahrzeuge dieser Größe durchaus auch außerhalb des Fahrwassers.

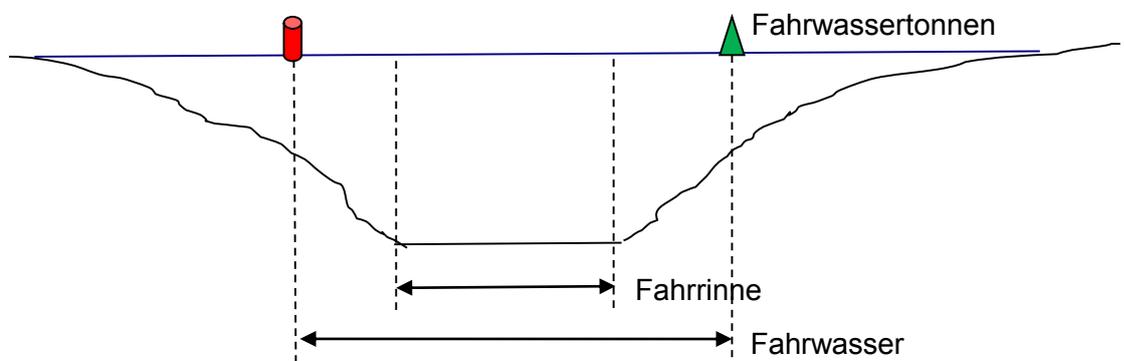


Abbildung 3: Darstellung eines durch Fahrwassertonnen markierten Gewässerabschnitts (Querschnitt)

### 3.2.6. Zeitvergleich

Stellt man die notwendigen Transferzeiten eines WKA-Transportes durch den begegnungsbeschränkten Bereich den Informationsvorlaufzeiten der Anmeldepflichten wie oben beschrieben gegenüber, ergibt sich die Aussage, dass die Verkehrssituation mindestens für die Dauer eines WKA-Transportes durch diesen Bereich vorzusehen ist.

Aufgrund der Informationsdichte die durch die an den Verkehren beteiligten Personen, Gruppen und Institutionen verfügbar ist, kann von einer Kenntnis des Verkehrs in folgender Genauigkeit und in folgendem Umfang ausgegangen werden.

- Von Bremen kommende meldepflichtige Verkehre<sup>6</sup> sind mindestens 2 Stunden vor Abfahrt des WKA Transportes bekannt.
- Von See kommende Verkehre sind mindestens 2,5 Stunden vor Abfahrt eines WKA Transportes bekannt.

<sup>6</sup> Verordnung über die Verwaltung und Ordnung der Seelotsreviere Weser I und Weser II/Jade (Weser/Jade Lotsverordnung / Weser/Jafe LV) vom 25. Februar 2003 zuletzt geändert durch die vierte Verordnung zur Änderung der Weser/Jade-Lotsverordnung vom 12.08.2010.

Vergleichend hierzu die Geschwindigkeitstabelle eines Errichterschiffes:

Abfahrtsort Passagepunkt	Strom- kilometer	Strecke [km]	Errichterfahrzeug	
			12kn = 22,4km/h	10kn = 18,5km/h
			Transitdauer WKA-Transport [hh:mm]	
Blexen – Robbennord- steert	65-91	26	01:10	01:24
Blexen – Bremer Kreuz	65-108	43	01:55	02:19

Tabelle 1: Darstellung für schnelle Errichterschiffe mit einer Geschwindigkeit zwischen 10 und 12 kn

Ein unvorhergesehenes, ungeplantes Zusammentreffen von WKA-Transporten mit anderen Fahrzeugen bis zum Bereich des Begegnungsverbots<sup>7</sup> (etwa Robbennordsteert) im Revier kann somit ausgeschlossen werden.

### 3.2.7. Wartefähigkeit von Errichterschiffen

Die Ausführungen bis hierher zeigen, dass nach Abschluss der Ladungsoperationen zum Zeitpunkt der Auslaufbereitschaft eines WKA-Transports hinlänglich bekannt ist, ob eine Revierpassage unmittelbar oder kurzfristig möglich ist.

Um mit einem schnellen Errichterfahrzeug auslaufen zu können, kann entsprechend der Tide und dem Beladungszustand direkt vom Liegeplatz aus die Reise aufgenommen werden.

Zusätzlich steht ein Liegeplatz stromabwärts (vom OTB in Richtung Geeste) zur Verfügung. Dieser Zusatzliegeplatz kann von Fahrzeugen genutzt werden, deren Abfahrtszeitpunkt aus verkehrlichen Gründen noch nicht erreicht ist. Ergibt sich ein Zeitfenster, so kann der Transport ohne Verzögerung abgehen.

Dieser Liegeplatz steht zusätzlich zur Verfügung und kann ggf. auch als Ausweichliegeplatz im Falle von technischen Störungen an Bord genutzt werden.

<sup>7</sup> Nautisches Gutachten von 2011, S. 32, 8.5.: "Begegnungs-/ Überholverbot mit von mindestens mit Fahrinnen abhängigen Fahrzeugen bis Ende der Leitdämme".  
 Das Erreichen der Leitdämme ist etwa bei Flusskilometer (KM) 91 (Robbennordsteert) erreicht.

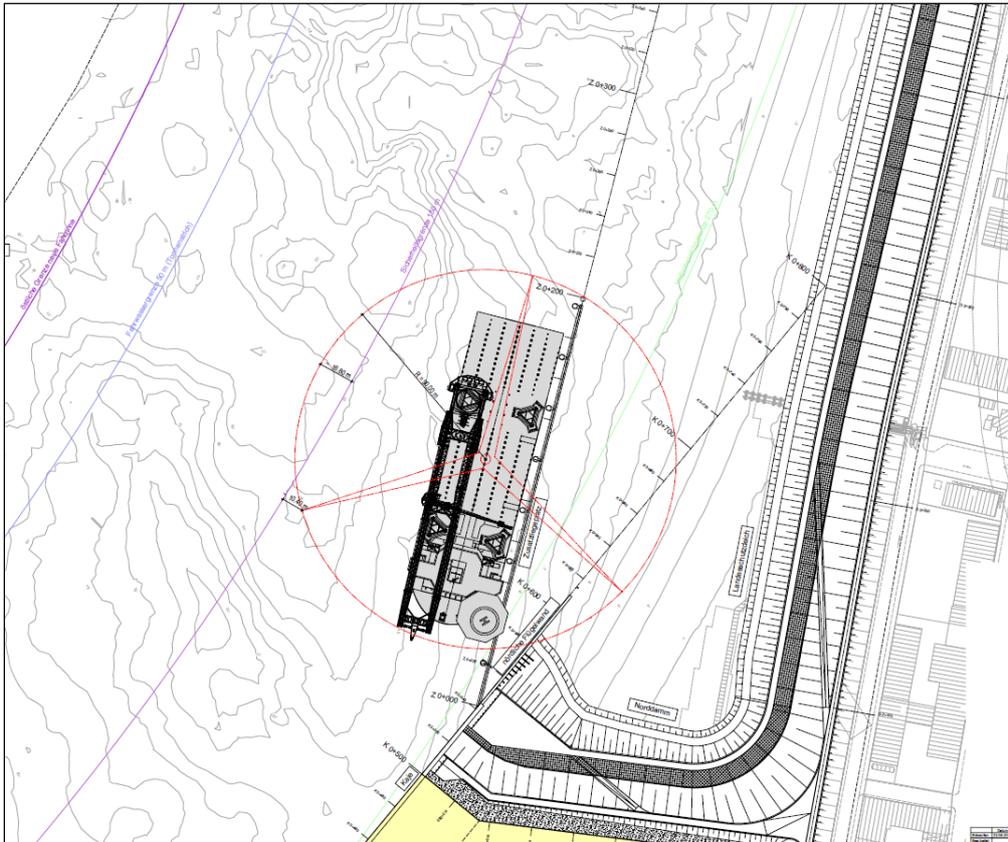


Abbildung 4: Beispiel eines Errichterfahrzeugs, das auslaufbereit an der Zusatzpier stromabwärts des OTB liegt.

Aus dem bisher gesagten und den Ergebnissen der Untersuchungen zu den Leistungsdaten der Errichterschiffe ergibt sich, dass die Lotsenbestellzeiten den Zeiten für die Mobilisierung eines Errichterfahrzeugs entsprechen.

Zudem ist bei Beginn des Absenkens des Errichterschiffs aus dem aufgejackten (aufgestellten) Zustand ein Hafenslotse an Bord, der den Verkehr anhand der geschilderten Informationsquellen dann bereits von Bord aus zusammen mit der Schiffsleitung beobachten und einschätzen kann.

Ist ein Zeitfenster für eine Abfahrt gegeben, kann die Reise begonnen. Ist kein unmittelbares Zeitfenster realistisch darstellbar, kann der WKA-Transport vorübergehend auf die Warteposition verholten. Es gibt keine nautisch-technische Begrenzung der Wartefähigkeit eines WKA-Transports auf der Warteposition.

Nach einer Diskussion mit allen Älterleuten der Lotsen (Weser I, Weser II / Jade, Hafenslotsgesellschaft Bremerhaven) konnte eine einheitliche Abstandsbemessung erarbeitet werden, die für die Sicherheit der Verkehre eingehalten werden soll.

Vor dem Auslaufen vom OTB:

- Der Abstand zu Fahrzeugen, die von Häfen südlich des OTB (also von den Häfen der Unterweser) kommen soll nicht weniger als 3 sm betragen.
- Der Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen soll 1,5 sm betragen.

Während der Reise

- Der Abstand zwischen WKA-Transport und anderen Verkehren soll 1,5 sm betragen.

## 4. Transportfahrzeuge

Zur Untersuchung der Durchführbarkeit von WKA-Transporten mit liegenden Sternen müssen die technischen Eigenschaften der Transportfahrzeuge bekannt sein. In der Simulation muss insbesondere die Fahrtgeschwindigkeit vorgegeben werden. Andere Parameter, beispielsweise Sicherheitsabstände und Begegnungsfähigkeit, hängen unter anderem von der Manövrierfähigkeit, der Einsatzbereitschaftszeiten und möglicherweise von den jeweiligen Jackinggeschwindigkeiten ab.

Um realistische Leistungsdaten von Wassertransportfahrzeugen für die seeseitige Anbindung des OTB zu ermitteln wurde eine Marktanalyse der Leistungsfähigkeit durchgeführt. Der Schwerpunkt der Analyse liegt auf Fahrzeugen, die für den Transport vormontierter liegender Sterne geeignet sind. Zusätzlich wurden andere große Wasserfahrzeuge betrachtet, die potentiell ein Offshore Terminal anlaufen könnten.

Die Daten stammen aus internen Datenbeständen des Nautischen Büro Bremen (NBB), und einer Umfrage unter Eignern, Betreibern, Anwendern, Herstellern und Maklern der infrage kommenden Fahrzeugtypen. Die Umfrage wurde vom NBB durchgeführt und vom Fraunhofer Centrum für Maritime Logistic (CML) unterstützt. Teilweise wurden Daten aus der Onlinedatenbank 4C-offshore ergänzt.

Die infrage kommenden Fahrzeugtypen wurden marktüblich in drei Gruppen aufgeteilt.

### 4.1 Transportfahrzeugtypen

#### **Passive Hubinseln**

Diese auch als Hubbargen oder -pontons bezeichnete Gruppe ist in der Lage liegende Sterne zu übernehmen und sich im Baufeld mit eigenen Beinen aufzustelzen.

Diese Fahrzeuge verfügen über keinen eigenen Fahrantrieb und müssen zur Bewegung immer geschleppt werden. Die kastenförmige Pontonrumpfform ermöglicht nur geringe Schleppgeschwindigkeiten.

#### **Aktive Hubinseln**

Aktive Hubinseln, -bargen oder -pontons verfügen über einen hauptsächlich kastenförmigen (pontonartigen) Rumpf und über Fahrantriebe, mit denen sie sich selbstständig bewegen und positionieren können.

Mittlerweile verfügt eine wachsende Anzahl von Hubinseln über **dynamische Positioniersysteme (DP)**. Dieser Fahrzeuge lassen sich per Joystick auf dem Wasser bewegen (sogenanntes ‚dynamisches Positionieren‘) und sind extrem manövrierfähig.

#### **Errichterschiffe**

Ein Hauptmerkmal dieser Fahrzeugtypkategorie für die vorliegende Untersuchung ist die Rumpfform, die als Schiffsform ausgeführt ist. Daraus folgt die hydrodynamische Möglichkeit höhere Fahrtgeschwindigkeiten und Kursstabilität zu erreichen. Diese Möglichkeit wird durch hohe Antriebsleistungen, trotz der großen Völligkeit der Unterwasserschiffe, in zunehmendem Maße umgesetzt.

Die Rumpfform und die Art der Propulsionsanlagen sind außerdem auf maximale Manövrierfähigkeit ausgelegt. Bedingt durch die Anzahl der Antriebe und Manövrierhilfen sind diese Fahrzeuge deutlich besser zu manövrieren als andere Seeschiffe.

Die Schiffe lassen sich per Joystick auf dem Wasser bewegen (sogenanntes ‚dynamisches Positionieren‘ (DP)) und sind extrem manövrierfähig.

Für die vorliegende Untersuchung bedeutet das, dass die Errichterschiffe als Verkehrsteilnehmer den genauen Gegensatz zu den geschleppten Pontons darstellen. Während sich letztere im Verkehr sehr sperrig verhalten, können sich die Errichterschiffe aus nautisch-technischen Aspekten dem Verkehr optimal anpassen.

## 4.2. Transportgeschwindigkeiten

Die Angaben zur technisch erreichbaren Fahrtgeschwindigkeit wurden bei der Industrie angefragt.

Örtliche Restriktionen bezüglich der Schiffsgeschwindigkeit, wie z.B. Sog- und Wellenschlag durch schnelles passieren einer Gefahrenstelle, wurden in der Anfrage durch Hinweis auf das Fahrtgebiet berücksichtigt.

Bei der Anfrage wurde von dem Ladefall ‚liegender Stern‘ ausgegangen. Der Entwurfstiefgang der Errichterschiffe wird nicht erreicht, weil nur die von den liegenden Sternen frei bleibenden Decksflächen mit schwerer Ladung (Gründungskörper, Gondeln etc.) beladen werden können.

## 4.3. Bereitschaftszeiten, Mobilisierungszeiten

Bei der vorliegenden Betrachtung sollen Zeitfenster für Windkraftanlagentransporte (WKA-Transporte) tidenunabhängig berücksichtigen werden. Dazu muss die Möglichkeit bestehen, bei verschiedenen Wasserständen auslaufen zu können.

Es besteht die Möglichkeit, dass Beladungssituationen, wie über die Pierkante überhängende Flügel der geladenen Rotorsterne, eine Einschränkung der Liegefähigkeit oder der Möglichkeit des Absenkens aus dem aufgestellten Zustand bei niedrigen Wasserständen, mit sich bringen.

Insofern solche Beladungssituationen vorliegen können, die ein Ablegen vom OTB Pier nur bei Hochwasser ermöglichen, muss geprüft werden, wie das Auslaufen in solchen Fällen sichergestellt werden kann.

Wenn ein WKA-Transport also einen Zeitraum zwischen dem Ablegen von der Ladepier und dem Auslaufen zur Baustelle auf See überbrücken muss, hat er die technischen Möglichkeiten des Ankerns, die ortsfeste Positionserhaltung mittels dynamischer Positionierung sowie das sogenannte ‚Pinnen‘. Beim Pinnen werden die Stelzen oder Beine soweit ausgefahren, dass das Fahrzeug ähnlich wie beim Ankern, auf Position bleibt. Hierbei entfällt aber das Schwojen (Bewegung des Schiffes-) um den Anker.

Die Zeitdauern, die die Fahrzeuge aus diesen Wartesituationen bis zum Auslaufen benötigen, wurden untersucht. Im Falle des Pinnens sind sie im Wesentlichen eine Funktion der Geschwindigkeit für die lastfreie Aufwärtsbewegung der Stelzen (sogenanntes Leghandling) und der Zeit für ggf. notwendiges Verriegeln der Stelzen oder Beine.

Die Geschwindigkeiten des leg-handlings oder der höchsten Stelzengeschwindigkeit ist der Ergebnistabelle der Untersuchungsergebnisse und den einzelnen Datenblättern und Stellungnahmen zu entnehmen. Die Stellungnahmen enthalten teilweise über die reinen Abjackzeiten hinausgehende Erfahrungsberichte zu diesem Thema.

## 4.4. Manövrierfähigkeit

Zur Einschätzung des Verhaltens der WKA-Transportfahrzeuge im Revier soll eine Bewertungsmöglichkeit der Manövrierfähigkeit gegeben werden. Als Messgröße wurde hierbei der Einfachheit halber die Einteilung in die Klassen der dynamischen Positionierung verwendet.

## 4.5. Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse sind in der Anlage 2 tabellarisch ausgewertet. Die schriftlichen Aussagen der Befragung sind der tabellarischen Auswertung beigelegt und durchnummeriert. Die Nummerierung ist auch in der Gesamttabelle zu finden.

### 4.5.1. Transportdaten von passiven Hubinseln

Die passiven Hubinseln können im Schleppverband mit Transportgeschwindigkeiten von 4 kn bis 6 kn angenommen werden.

In diesem Fall ist die erreichbare Fahrtgeschwindigkeit eine Funktion aus Schlepperleistung und Kursstabilität. Hubinseln mit Finnen ("Unterwasserflügeln zur Kursstabilisierung"), angeschrägten 'Ecken' etc. sind wesentlich handhabbarer und besser zu schleppen. Ggf. kann ein zusätzlicher Steuerschlepper oder das Schleppen als fest vertäuter Verband die Schleppfähigkeit verbessern.

Diese Fahrzeuge wurden im Verlauf der Untersuchung nicht eingehender berücksichtigt. Es wurden keine Simulationen mit diesen Schiffsdaten durchgeführt. Angesichts der fortschreitenden Industrialisierung der Offshore Windkraft Installationstechniken und der extremen Spezialisierung der entstehenden Technologien inklusive Errichterschiffe bei gleichzeitig besonders hohen Ansprüchen an den Transport und die Übernahme vormontierter Rotorsterne bei der Installation auf See ist davon auszugehen, dass diese Transportsysteme zumindest nicht für den Transport von liegenden Rotorsternen eingesetzt werden. Andere Bauteile, z.B. für die Wertindustrie, werden wahrscheinlich auch in Zukunft mit solchen Fahrzeugen transportiert.

### 4.5.2. Transportdaten von aktiven Hubinseln

Die aktiven Hubinseln können allein oder im Schleppverband mit Transportgeschwindigkeiten bis 8 kn angenommen werden. Das Ergebnis der Befragung von Betreibern, etc. wird in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

Assistenzschlepper können aus nautisch-technischen Gründen entfallen (Einzelfallprüfung).

Die Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse für diesen Typ ergibt:

<b>Hubinsel aktiv</b>	<b>Anzahl Einheiten</b>
<b>8 kn bis 10 kn</b>	<b>1</b>
<b>6 kn bis 7,9 kn</b>	<b>1</b>
<b>keine Angabe</b>	<b>4</b>

### 4.5.3. Transportdaten von Errichterschiffen

Die Errichterschiffe, die sich im Betrieb und im Bau befinden, erreichen größtenteils Fahrtgeschwindigkeiten bis zu 13 kn. Das Ergebnis der Befragung von Betreibern, etc. wird in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

Auch hier die Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse:

<u>Errichterschiff</u>	<u>Anzahl Einheiten</u>
12 kn bis 14 kn	13
10 kn bis 11,9 kn	4
8 kn bis 10 kn	4
6 kn bis 7,9 kn	2
keine Angabe	1

Der Vollständigkeit halber für die gesamt Palette von möglichen Offshoreeinheiten sollen hier auch noch die Halbtaucher Plattformen erwähnt sein. Besonders an diesen Schiffen ist die Schiffsbreite von 80 m.

Die Fahrgeschwindigkeitsverteilung ist hier

<u>Halbtaucher Plattform</u>	<u>Anzahl Einheiten</u>
8 kn bis 10 kn	2
6 kn bis 7,9 kn	3

## 5. Simulationslauf III – schnelle WKA Transporte unter Berücksichtigung von Hafengebieten und Umweltbedingungen

Für das Gutachten des Nautischen Büros Bremen aus 2011 wurde die erste Simulation durchgeführt. Für die Stellungnahme des Nautischen Büros aus 2013 wurde eine zweite Simulation mit schnelleren Errichterschiffen durchgeführt. Insofern ist die vorliegende Simulation der WKA-Transporte die dritte Simulation.

### 5.1 Zeitfenster

Um die Frage nach Existenz und Anzahl so bezeichneter ‚Nullfenster‘ mit einer aussagekräftigen Genauigkeit bei gleichzeitig vertretbarem Aufwand beantworten zu können, wurden WKA-Transporte von März bis Oktober Tide- und Tageszeitunabhängig im zeitlichen Abstand von 10 Minuten in die von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung zur Verfügung gestellten Verkehrsaufzeichnungen hineinsimuliert.

Mit ‚Nullfenster‘ wurde ein Zeitfenster bezeichnet, in dem der WKA-Transport ohne oder mit marginalen potentiellen Interaktionskontakten (Definition s. 5.2.) mit den aufgezeichneten Verkehren aus 2008 durch das Revier hätte fahren können.

Die Interaktion der Verkehrsteilnehmer im Revier ist ein regelmäßig und üblicher Weise stattfindender Selbstregelungsmechanismus (siehe auch Kapitel 3.2. – *Verkehrsdurchführung und Verkehrsbeteiligte* und ab Kapitel 6 *Simulationslauf– Bemessung der Verkehrsabstimmungsleistung bei existierenden Sonderverkehren*). Es ist also davon auszugehen, dass eine Anzahl potentieller Interaktionskontakte (s.u.) mit den Verkehren der Simulation kein Ausschlusskriterium für die Durchführbarkeit eines WKA-Transportes ist. Bis zu welcher Anzahl das gilt, wurde in Kapitel 6 ermittelt.

Aus dieser Überlegung heraus wurden aus den Simulationsergebnissen zusätzlich zu den Nullfenstern die Verteilung der Anzahl der potentiellen Interaktionskontakte aller Simulationen ausgewertet. Es wurden die absoluten Zahlen potentieller Interaktionskontakte und die dabei auftretenden potentiellen Interaktionszeiten (s.u.) der betroffenen Verkehre gemessen. Dadurch konnte die Relevanz eines potentiellen Interaktionskontakts bestimmt werden, um die tatsächliche Anforderung an die Selbstregulierungsmechanismen der Verkehrsteilnehmer beschreiben zu können.

Veranschaulicht beschrieben hat ein potentieller Interaktionskontakt, bei dem ein ungedrosselt einlaufendes Schiff eine Minute potentielle Interaktionszeit erfahren würde, ein anderes Gewicht als ein solcher, bei dem ein ungedrosselt einlaufendes Schiff zwei Stunden potentielle Interaktionszeit erfahren würde. Für diese Differenzierung werden also auch die unten erklärten potentiellen Interaktionszeiten gemessen.

Ausgehend von der Anzahl der Nullfenster wird die Anzahl von Zeitfenstern mit ein, zwei usw. Kontakten insgesamt ermittelt.

Zur vergleichenden Bewertbarkeit der Bedeutung so ausgewerteter Versuchsergebnisse siehe Kapitel 6 *Simulationslauf IV– Bemessung der Verkehrsabstimmungsleistung bei existierenden Sonderverkehren* und die *Diskussion*.

## 5.2. Messwertbeschreibung

Die Messwerte ‚potentielle Interaktionskontakte‘ und ‚potentielle Interaktionszeiten‘ beschreiben einen Verkehrsanpassungsbedarf, der in der Simulation durch quasi Wartezeiten ‚unbemannter‘ Fahrzeuge an Streckenabschnittsgrenzen gemessen wird.

Diese im Anschluss einzeln definierten Messwerte stellen keineswegs tatsächlich in der Wirklichkeit auftretende Schiffskontakte oder Wartezeiten existierender Verkehre dar, sondern eine möglichst einfach und nachvollziehbar gehaltene Quantifizierung der Abstimmungsbedarfe. Daher werden sie als ‚potentiell‘ bezeichnet.

Alle aufgezeichneten Messwerte sind unterscheidbar nach den betroffenen Fahrzeugen und den bei Auftreten vorliegenden Umweltbedingungen. Im Einzelnen sind das (inkl. Beschreibung der Darstellung in der Simulation):

- **einlaufende Verkehre**  
am östlichen Fahrwasserrand (roter Tonnenstrich) dargestellt
- **auslaufende Verkehre**  
am westlichen Fahrwasserrand (grüner Tonnenstrich) dargestellt
- **Fahrwasserabhängige Verkehre**  
(Tiefgang ab 6 m oder größer ; Breite ab 18 m oder größer) auf den zweiten Fahrstreifen von außen dargestellt
- **Fahrrinnenabhängige Verkehre**  
(Tiefgang ab 10 m oder größer; Breite ab 25 m oder größer) auf den innersten Fahrstreifen dargestellt
- **Gezeitenphase**  
(Hochwasser, Niedrigwasser, Ebbe, Flut) durch Wellenbewegungen und Wasserfarbe dargestellt
- **Sonnenphase**  
(Tag, Nacht) durch helle oder dunkle Szene dargestellt

In den Ergebnistabellen haben die Messwerte diese Farbkodierung:

<p><b>grün</b></p> <p>einlaufende, südgehende Fahrzeuge am grünen Tonnenstreifen in der Simulation <i>links</i> im Bild</p> <p><b>hellgrün</b> "...FW" Anzahl der potentiellen Interaktions<b>kontakte</b> mit fahrwasserabhängigen Fahrzeugen</p> <p><b>hellgrün</b> "...FR" Anzahl der potentiellen Interaktions<b>kontakte</b> mit fahrwasserabhängigen Fahrzeugen</p> <p><b>dunkelgrün</b> mm:ss potentielle Interaktions<b>zeiten</b> mit fahrwasser- und fahrrinnenabhängigen Fahrzeugen</p> <p>1.234 Zeilenhinterlegung für Messwerte bei Nacht</p>	<p><b>rot</b></p> <p>auslaufende, nordgehende Fahrzeuge am roten Tonnenstreifen in der Simulation <i>rechts</i> im Bild</p> <p><b>hellrot</b> "...FW" Anzahl der potentiellen Interaktions<b>kontakte</b> mit fahrwasserabhängigen Fahrzeugen</p> <p><b>hellrot</b> "...FR" Anzahl der potentiellen Interaktions<b>kontakte</b> mit fahrwasserabhängigen Fahrzeugen</p> <p><b>dunkelrot</b> mm:ss potentielle Interaktions<b>zeiten</b> mit fahrwasser- und fahrrinnenabhängigen Fahrzeugen</p> <p>1.234 Zeilenhinterlegung für Messwerte bei Tag</p>	<p><b>purple</b> mm:ss <b>WKA-Transport</b> Wartezeit zwischen Anmeldung und Auslaufen</p>
<p>Hochwasser ~ ~    ablaufende Ebbe ↘    Niedrigwasser ~ ~ ~ ~    auflaufende Flut ↗</p> <p>Rahmen und Hinterlegungen für Zuordnungen zu Gezeiten</p>		

Abbildung 5: Farbkodierung der Simulationsmesswerte in Ergebnistabellen

### 5.2.1. Potentielle Interaktionskontakte

#### a) Zählung einlaufender Verkehrskontakte

Ein potentieller Interaktionskontakt wird gezählt wenn ein einlaufender Verkehr sich in der Simulation innerhalb des begegnungsbeschränkten Bereichs befindet während ein WKA-Transport fährt. Dies trifft u.a. auch zu, wenn ein Verkehr von Norden in diesen Bereich einfährt bzw. einfahren würde (und dann dort auf die WKA-Transport Passage wartet).

Die Simulation ist so programmiert, dass sie nicht die in der Realität stattfindenden Verkehrsabstimmungen durchführt. Nur so kann es zu einem – in diesen Sinne ‚potentiellen‘ – Kontakt, und damit zu einem Messwert führen. Durch das Reduzieren der Geschwindigkeit würde kein Kontakt gemessen werden können.

#### b) Zählung auslaufender Verkehrskontakte

Analog gilt das für auslaufende Fahrzeuge, die den WKA-Transport überholen würden. Sie fahren mit ursprünglicher Geschwindigkeit bis an die Sicherheitsgrenze von 1,5 sm an den vorausfahrenden WKA-Transport heran, um dann einen Kontakt auszulösen und dem WKA-Transport hinterher zu fahren.

#### c) Interpretation potentieller Interaktionskontakt

Die betroffenen Fahrzeuge, bzw. die Schiffsführung oder der Lotse, etc., würde also – potentiell – mit anderen Verkehrsbeteiligten in Interaktion treten.

Für den Messwert ist es also einerlei, ob das Fahrzeug in der Simulation unrealistischer Weise bereits im begegnungsbeschränkten Bereich auf einen WKA-Transport trifft, oder mittels Interaktion diese Begegnung vermeidet. In beiden Fällen wird der Verkehr als ein betroffenes Fahrzeug gezählt.

### 5.2.2. Potentielle Interaktionszeiten

#### a) Messung einlaufender Interaktionszeiten

Befindet sich ein einlaufender Verkehr im begegnungsbeschränkten Bereich oder ist er im Begriff in diesen oder in die Hafenzonen einzulaufen während ein simulierter WKA-Transport ablegt oder fährt, so verharrt der Einläufer auf seiner Position bis der auslaufende WKA-Transport ihn passiert hat. Die Zeit des Verharrens wird aufgezeichnet.

#### b) Messung auslaufende Interaktionszeiten

Analog gilt das für auslaufende Fahrzeuge, die den WKA-Transport überholen würden. Sobald sie auf den Sicherheitsabstand von 1,5 sm an den WKA-Transport herangefahren sind, fahren sie diesem bis zum Ende des begegnungsbeschränkten Bereichs hinterher. Hier wird die Zeit gemessen, die der Differenz der Fahrtgeschwindigkeiten zwischen der ursprünglichen Fahrtgeschwindigkeit des Verkehrs und der Fahrtgeschwindigkeit des langsamer vorausfahrenden WKA-Transports entspricht. Die gemessenen Zeitwerte sind dementsprechend gering.

c) Interpretation potentieller Interaktionszeiten

Ob ein Verkehr nur eine kurze Zeit seine Geschwindigkeit geringfügig anpassen muss um einen begegnungsbeschränkten Revierabschnitt erst nach passieren eines WKA-Transport zu befahren oder bereits sehr früh die Geschwindigkeit deutlich reduzieren muss, macht einen Unterschied in der Signifikanz der potentiellen Verkehrsbeeinflussung in Form von Verkehrsanpassungen durch die beschriebenen Selbstregulierungsmechanismen.

Um die weiter oben beschriebenen potentiellen Interaktionskontakte weiter nach dieser Signifikanz zu bewerten, werden diese Zeiten in der Simulation auch gemessen. Wie bei den potentiellen Interaktionskontakten ist es vom Wert her unerheblich, ob ein betroffenes Schiff ‚rechtzeitig‘ einlegt und die Geschwindigkeitsdifferenz zur ungedrosselten Fahrt und die Dauer der Fahrtreduzierung aufgenommen wird, oder ob das Schiff mit ungedrosselter Fahrt bis zu einer Situation mit potentiell Interaktionskontakt fährt, dort stehen bleibt bzw. hinterherfährt und auf die Passage des WKA-Transports wartet und diese ‚Warte‘ Zeit aufgenommen wird. Die bildliche Darstellung in der Simulation ist ungewohnt und unrealistisch und impliziert fälschlicherweise tatsächliche ‚Wartezeiten‘.

Der Ergebniswert ist korrekt und entspricht der notwendigen Geschwindigkeitsdifferenz um Situationen zu vermeiden, die dem unrealistischen aber anschaulichen Bild ‚wartender‘ Verkehre in der Simulation entsprechen. Darüber verständigen sich die Schiffsführer. Es kommt also potentiell zu eine Interaktion über die gegenseitige Rücksichtnahme und es wird abgesprochen welches Schiff sich wie verhält. Zum Beispiel wird die Geschwindigkeit über eine bestimmte Zeit reduziert. Daher stammt die Bezeichnung des Messwertes als ‚potentielle Interaktionszeit‘.

### 5.2.3. WKA-Transport Wartezeiten

In dem unter **5.1. Zeitfenster** beschriebenen Simulationsmodus zur Ermittlung der Nullfenster, werden WKA-Transporte im 10-Miuten Takt simuliert. Bezogen auf die Verkehrsabläufe in der Wirklichkeit gemäß Kapitel 3 – *Verkehrsdurchführung und Verkehrsbeteiligte*, nautische Grundlagen dieses Gutachtens, bedeuten die solchermaßen getakteten Simulationszeiten die ‚Anmeldung‘ eines WKA-Transportes.

Ein WKA-Transport darf in der Simulation erst ablegen und sich in den Verkehr einordnen, wenn dies sicher und ohne andere Verkehre zu behindern durchgeführt werden kann. Ist das nicht unmittelbar gewährleistet, wartet der WKA-Transport bis dies die Verkehrslage erlaubt (5.4-WKA-Transport Routing).

a) Messung Wartezeiten WKA-Transport

Die Zeit, die ein WKA-Transport von seiner Anmeldung bis zu seiner simulierten Abfahrt warten muss, wird gemessen. Sie kommt zustande, wenn sich innerhalb des Sicherheitsbereichs von drei Seemeilen achteraus oder innerhalb des erweiterten Hafenbereichs relevante Verkehre befinden (s.ds.).

b) Interpretation WKA-Transport Wartezeit

Entsprechend den Hintergründen für das Zustandekommen der WKA-Transport Wartezeiten, beschreiben sie die sicherheitsrelevante Verkehrssituation in einem großzügigen Bereich um den geplanten Abfahrtsort, dem OTB.

### 5.3. Umweltbedingungen

#### 5.3.1. Tageszeit

Anhand der astronomisch vorbestimmbaren Sonnenlaufzeiten sind die Sonnenaufgänge und die Sonnenuntergänge errechenbar. Die beiden sich für 2008 daraus ergebenden Kurven aus Jahreszeit und Uhrzeit wurden mathematisch approximiert (siehe folgende Abbildung). Die Ergebnisformel wurde in die Simulation übernommen.

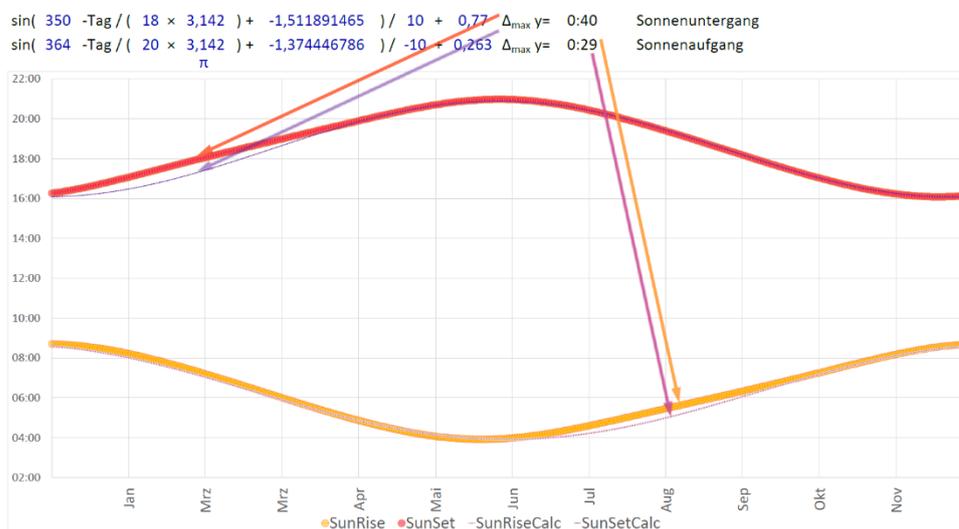


Abbildung 6: Sonnenkurven für Bremerhaven und Approximation

Tag und Nacht sind in der Simulation visuell umgesetzt indem der Flussabschnitt leuchtend oder abgedunkelt dargestellt wird. Die Durchführung der Transporte muss nach der Auflage des WSA bei Tageslicht durchgeführt werden. Die Dämmerung zählt zum Tageslicht und erweitert den genannten Zeitbereich entsprechend. In der Simulation wird diese zusätzliche Tageslichtzeit nicht berücksichtigt und stellt eine Sicherheit der Untersuchung dar.

Im Ergebnisdatensatz jedes Simulationsdurchlaufs wird mit ausgegeben ob der Versuchsdurchlauf bei Tage (nach Sonnenaufgang) oder bei Nacht (Ablegen nach Sonnenuntergang) durchgeführt wurde.

### 5.3.2. Tide

Die Gezeiten- oder Tidephasen sind für die Simulationsergebnisse aus vier Gründen von Bedeutung:

1. Sie sind Teil der Genehmigungsaufgaben des WSA (Auslaufen bei mitlaufendem Gezeitenstrom),
2. Sie beeinflussen die Transportgeschwindigkeit der WKA-Transporte um bis zu 25 %,
3. Richtige Interpretation der Interaktionen der WKA-Transporte mit den aufgezeichneten Verkehren, besonders den großen fahrrinnenabhängigen Verkehren und Sonderverkehren,
4. Wirklichkeitsgetreue Verteilung der Versuchsergebnisse der Simulation über die Tidephasen.

Daher wurde bei der Untersuchung der Verteilung der Verkehrsbeeinflussung nach 4 Tidenfenstern differenziert.

Durch die sehr engmaschigen Abfahrtversuche der WKA-Transporte in der für dieses Gutachten erweiterten Simulation, ist eine genaue Korrelation mit den tatsächlichen Hoch- und Niedrigwasserzeiten und den dazwischen liegenden Gezeitenströmungen Ebbe und Flut von Bedeutung um die korrekte Transfargeschwindigkeit bestimmen und die Ergebnisdatensätze sicher den Gezeitenphasen zuordnen zu können.

Insgesamt werden vier Gezeitenphasen betrachtet: Hochwasser und Niedrigwasser als maximaler und minimaler Wasserstand und Ebbe und Flut als ab-, bzw. auflaufende Gezeitenströmung.

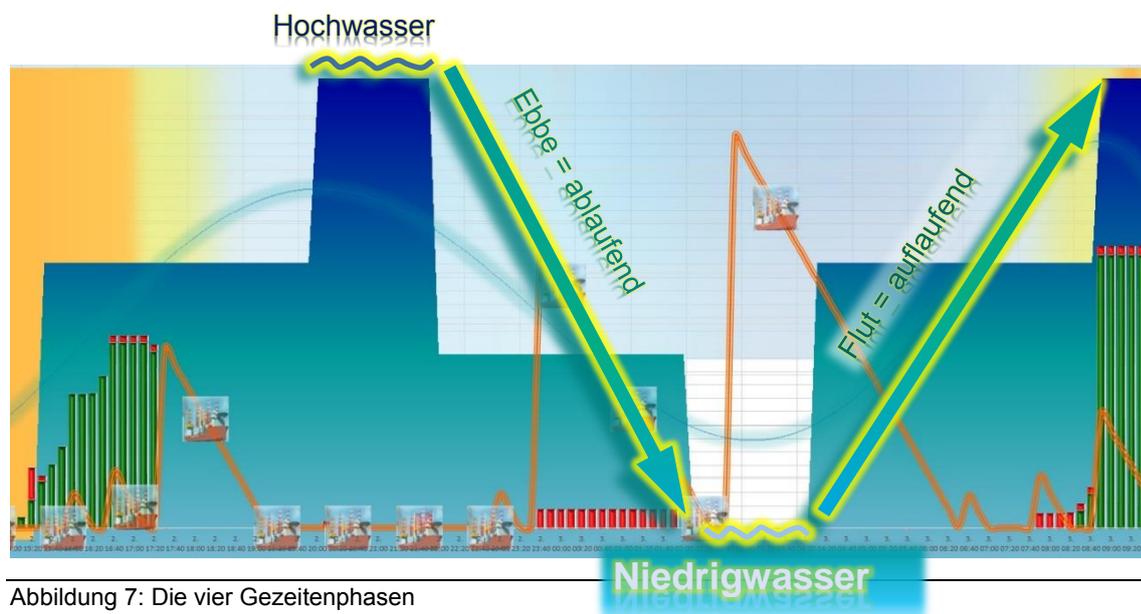


Abbildung 7: Die vier Gezeitenphasen

Auch die Gezeiten sind in der Simulation visuell dargestellt. Ebbe und Flut werden durch ein- oder auslaufende Wellen symbolisiert, Hochwasser durch eine dunkle (tiefe) Wasserfärbung und Niedrigwasser durch eine helle (flache) Wasserfärbung. Dies ermöglicht eine visuelle Kontrolle und Veranschaulichung des Tideinflusses auf die Verkehrsabläufe und der korrekten Tidenverteilung.

Die Zeiten für Hochwasser und Niedrigwasser aus der harmonischen Gezeitenkurve für das Jahr 2008 am Leuchtturm Bremerhaven, wurde mit dem Programm wxtide tabellarisch erzeugt und in die Simulation übernommen.

Die Tide wird für den Einfluss des Gezeitenstroms auf den WKA-Transport, die Zuordnung der Ergebnisdatensätze zu den Tidephasen sowie die visuelle Darstellung in der Simulation wie folgt berücksichtigt:

Flut wird der Zeit ab 1,5 Stunden nach Niedrigwasser bis 0,5 Stunde vor Hochwasser zugeordnet und der WKA-Transport mit 2 kn Tidenstrom verzögert. Die Zeit von 1,5 Stunden nach Hochwasser bis 0,5 Stunde vor Niedrigwasser wird der Ebbe zugerechnet und der WKA-Transport mit 3 kn Tidestrom beschleunigt. Während der Hoch- und Niedrigwasserzeiträume wird die Geschwindigkeit des WKA-Transports nicht beeinflusst.

## 5.4. WKA-Transport Routing

Zwei besonders augenfällige Diskrepanzen der ersten Simulation zur Wirklichkeit waren die starren Fahrprofile. Entsprechend der Wasser- und Schifffahrtsrichtung (WSD) Radardaten hatten die aufgezeichneten Verkehre eine Start- und eine Endposition und eine konstante Geschwindigkeit und die hineinsimulierten WKA-Transporte ebenso.

Für die Fragestellung des Gutachten aus 2011 und dem damit verbundenen Genauigkeitsanspruch, nämlich in welcher Größenordnung Begegnungen von WKA-Transporten und existierendem Verkehr übers Jahr überhaupt zu erwarten sind, war dieser Ansatz dem auch hierfür schon umfangreichen Aufwand angemessen.

Der Auftrag, wie er dem vorliegenden Gutachten zugrunde liegt, beinhaltet nochmals detailliertere Fragestellungen, deren Beantwortung größerer Abbildungsgenauigkeit bedarf.

Zusätzlich zu den ermittelten ‚Nullfenstern‘ sollen Versuchsmessungen zur Höhe der zu erwartenden Verkehrsabstimmungsbedarfe durchgeführt werden. Dazu muss der WKA-Transport in der Simulation also auch zu anderen als den begegnungsfreien Zeiten fahren. Die unten beschriebenen Ablegebedingungen sorgen für eine realistische und sichere Ablegesituation.

Bei den bisherigen Simulationen fuhr ein WKA-Transport zu der vorgegeben Simulationszeit durch das Revier. Als Teil der Überlegungen zur Abbildungsgenauigkeit, auch in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-CML, wurden der Hafbereich und die Verkehrseinordnungssituation als wichtige Bereiche für die Aussagefähigkeit der Simulation in Bezug auf die Realitätsabbildung identifiziert.

Aus dem Erfahrungswissen der verschiedenen Beteiligten und der Arbeitsgruppen wurden Fahrregeln definiert, nach denen ein Verkehr mit vertretbarem Aufwand automatisiert interaktiv nachgebildet wurde. Diese Fahrregeln werden im Folgenden beschrieben.

### 5.4.1. Ablegen WKA Transport

Sobald sich ein WKA-Transport 'anmeldet', also seine Abfahrtsimulationszeit erreicht ist, wird ein WKA-Transportfahrzeug in der Simulation aktiv.

Nun überwacht die Simulation einen Bereich von drei Seemeilen südlich des ablegebereiten WKA-Transports auf auslaufende Verkehre. Visuell wird dieser Überwachungsbereich in der Simulation währenddessen dunkel hinterlegt. Außerdem überwacht die Simulation den weiter unten beschriebenen erweiterten Hafenbereich. Erst wenn diese beiden Bereiche ohne relevante Verkehre sind, legt der WKA-Transport ab, fährt in das Fahrwasser ein und beginnt seine Simulationsfahrt.

Der WKA-Transport wurde in der Simulation also um eine eigene Wartefähigkeit erweitert. In der Realität wird der WKA-Transport immer erst ablegen, wenn die Reversituation dies erlaubt.

### 5.4.2. Fahrtgeschwindigkeit WKA Transport

In Kapitel 4 *Transporteinheiten* wurde festgestellt, dass zwei Haupttypen von Transportfahrzeugen für den Transport von WKA-Komponenten auf See in Frage kommen. Hubinseln und Errichterschiffe mit typischen Transfargeschwindigkeiten von 8 und 12 kn. Dem folgend wurden die Transporteinheiten mit 8 kn und 12 kn Fahrt durchs Wasser simuliert.

Je nach Geschwindigkeit des Tidenstroms (s. 5.3-*Umweltbedingungen*) ergibt sich eine Transportgeschwindigkeit zwischen 6 und 11 kn bzw. zwischen 10 und 15 kn über Grund.

### 5.4.3. Sicherheitsabstände

Schnellere Aufkommer, also potentielle Überholer, müssen einen Abstand von 1,5 sm zum WKA-Transport einhalten. Sie fahren also in mindestens diesem Abstand hinter dem WKA-Transport her.

### 5.4.4. Hafenbereich

Implementiert wurde eine Hafenzone von der Kaiserschleuse bei Weser-km 67,5 bis zum Nordende der Stromkaje und der Wendestelle bei Weser-km 74.

Ein erweiterter Hafenbereich erstreckt sich acht Seemeilen weiter nördlich, also bis Weserkilometer 82 (Tonne 25/26).

- a) Sicherheitsgeschwindigkeit  
Alle durchgehenden Verkehre werden im Hafenbereich auf 8 kn verlangsamt.
- b) anlegende Verkehre

Bei der Radardatenerfassung werden Verkehre eindimensional entlang der Weserkilometer erfasst und bei Erreichen des Zielkilometers aus der Erfassung abgemeldet. In der Realität erfolgt um den Zeitpunkt der Abmeldung eines einlaufenden Schiffes dann das Anlege- und, meist vorher, ein Drehmanöver.

Das Drehen und Anlegen wurde für jedes Fahrzeug, das im Hafengebiet seine Endposition hat, eingeführt und entsprechend der Schiffslänge gestaltet.

Also verbleiben alle einlaufenden Verkehre, die in diesem Hafengebiet ihren Zielort haben, dort für eine Zeitdauer, die der schiffsgrößentypischen Zeit für das Drehen und Anlegen entspricht.

c) Erweiterte Hafengebiet

Alle einlaufenden Verkehre, die bei der Anmeldung eines WKA-Transports bereits den erweiterten Hafengebiet erreicht haben, also bereits Weserkilometer 82 südgehend passiert haben, führen ihre Reise fort. Das heißt, sie legen entweder im Hafengebiet an oder passieren den wartenden WKA-Transport südwärts oder laufen in eine der beiden Schleusen oder die Geeste ein.

Zusätzlich zu den Auslaufbedingungen für den WKA-Transport gemäß 5.4.1, läuft der WKA-Transport also erst aus, wenn alle Schiffe, die im Anlauf auf oder im Einlaufen in den Hafen begriffen sind, ihre Durchfahrt oder ihr Dreh- und Anlegemanöver beendet haben.

## 5.5. Weitere Implementationsdetails

Die sonstigen Erweiterungen der Simulation betreffen hauptsächlich die Visualisierung.

Damit konnten anschauliche Plausibilitätskontrollen der simulierten Verkehrsabläufe und der Verteilung der Verkehre auf Tiden und Tageszeiten durch verschiedene Personenkreise erfolgen.

Außerdem wurde die tatsächliche Verkehrssituation inkl. der Größen- und Platzverhältnisse durch die 3D Ansicht allgemeinverständlich gestaltet. Diese maßstäbliche Ansicht ergänzt die übersichtliche aber stark verzerrte schematische Gesamtansicht um realistische Abstände zwischen den Verkehren und zu den Grenzen der Wasserstraße.

Ansichten und Videos der Simulation sind als Anlage 7 beigefügt.

### 5.5.1. Programmanpassung

Eingeführt wurden

a) Tageslichtunterscheidung

In der Visualisierung sind Tag und Nacht entsprechend der Sonnenauf- und untergangszeiten durch helle und dunkle Darstellung der Bildinhalte deutlich unterscheidbar.

b) Sichtbare Gezeiten

Auf- und ablaufendes Wasser ist durch entsprechende flussauf- oder flussabwärts laufende Wellenbewegungen symbolisiert. Die Stillwasserzeiten dazwischen sind dann jeweils Hoch- oder Niedrigwasser, durch die Farbgebung der Wasserfläche für das tiefe Hochwasser dunkel und für das flache Niedrigwasser hell kenntlich gemacht.

c) Sicherheitsbereiche

Der Prüfbereich, der drei Seemeilen südlich eines angemeldeten WKA-Transports vor dem Auslaufen auf nordgehende, auslaufende Verkehre überwacht wird, wird für die Dauer der Überwachung, also bis zum Auslaufen des WKA-Transports, dunkel hinterlegt.

Der Hafenbereich, in dem Schiffe anlegen und langsamer fahren und der erweiterte Hafenbereich, der Schiffe identifiziert, die vor dem Auslaufen des WKA-Transport ihre Fahrt beenden sollen, sind ebenfalls farblich hinterlegt.

d) 3D Ansicht

In der schematischen Ansicht der Simulation sind zur Darstellung des Gesamtreviers und der relativen Eigenschaften der simulierten Verkehre insbesondere die Eindrücke von Länge und Breite umgekehrt zur Realität. Der relative Maßstab der Verkehre zur tatsächlichen Geographie und Hydrographie und besonders die Abstands- und Platzverhältnisse der Verkehre untereinander ist noch stärker verzerrt.

In der 3D Ansicht sind die tatsächlichen Größenverhältnisse der Verkehre untereinander, Abstände und Platzverhältnisse insgesamt realistisch abgebildet und machen die Verkehrssituation unmittelbar verständlich.

Die ‚Kameraposition‘ der 3D Ansicht lässt sich interaktiv verändern, so dass verschiedene große Bereiche oder Details aus wahlfreier Blickrichtung untersucht werden können.

## 5.5.2. Datensatzanpassungen

Datengrundlage sind, wie in den vorangegangenen Gutachten, von der WSD zur Verfügung gestellte, aufbereitete Verkehrsdaten der Radarerfassung aus dem Jahr 2008.

Die Datensätze der aufgezeichneten Schiffsverkehre wurden auf verschiedene Arten variiert. Beispielsweise wurden die Schiffsgeschwindigkeiten einmal nach Froudezahl optimiert, einmal für große Schiffe auf eine Mindestgeschwindigkeit angehoben und für die Fraunhofer-CML Plausibilitätsrechnung linear aus den optimierten Ein- und Austragspositionen und Austragszeiten bestimmt.

Die Fahrtgeschwindigkeit größerer Schiffe wurde im zweiten Fall auf mindestens 4 kn angehoben. Realistischer Weise müssen diese Schiffe um manövrierfähig zu bleiben eine Mindestgeschwindigkeit laufen, die je nach Schiffsgröße eher über als unter dieser Geschwindigkeit von 4 kn liegt. Es kann also davon ausgegangen werden, dass niedrigere Fahrtgeschwindigkeiten in den Radardaten nicht die tatsächliche Fahrtgeschwindigkeit wiedergeben.

## 5.6. Ergebnisse der Simulation

Die Simulation wurde durch die eingeführte automatische Interaktion und Dynamik der Verkehre sehr lebendig. Veränderungen in der ersten Abfahrts- bzw. Anmeldezeit der zehninütigen getakteten WKA-Transporte erzeugen in der Folge unterschiedliche Verkehrsszenarien mit deutlichen Abweichungen in den Ergebnissen.

Auch z.B. die Anpassung der Geschwindigkeiten großer Schiffe auf eine realistische Mindestgeschwindigkeit von 4 kn hat eine spürbare Veränderung der Ergebnisse bewirkt.

Es werden insofern in der folgenden Ergebniszusammenfassung Ergebnisräume aus den jeweils höchsten und niedrigsten Ergebniswerten angegeben. Die einzelnen Ergebnisse sowie umfangreichere Ergebnisauswahlen sind den Anlagen zu entnehmen.

Alle hier wiedergegebenen Ergebniszahlen wurden, den Untersuchungsergebnissen im ersten nautischen Gutachten des Nautischen Büros Bremen zum Thema entsprechend, um 10 % für schlechte Sichtverhältnisse reduziert.

Die folgenden Abbildungen zeigen Nullfenster, deren Begrenzungen, den Einfluss von Schiffsgeschwindigkeiten (Steigung der Fahrlinien), potentielle Interaktionskontakte und verschiedene potentielle Interaktionszeiten schematisch im Weg-Zeit Diagramm.

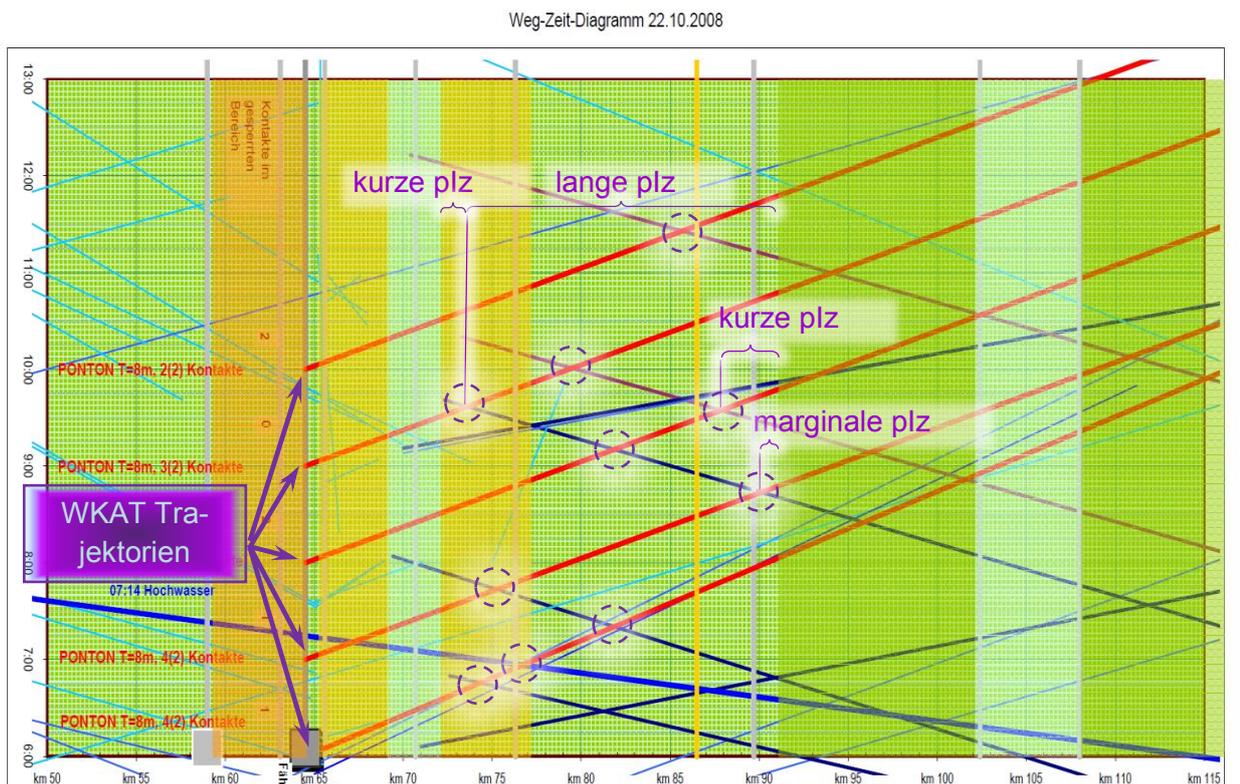


Abbildung 8: Fahrlinien von stündlichen WKA Transporten Mit Schnittpunkten mit anderen Verkehren (gesucht sind solche ohne Schnittpunkt) und Beispiele für potentielle Interaktionszeiten

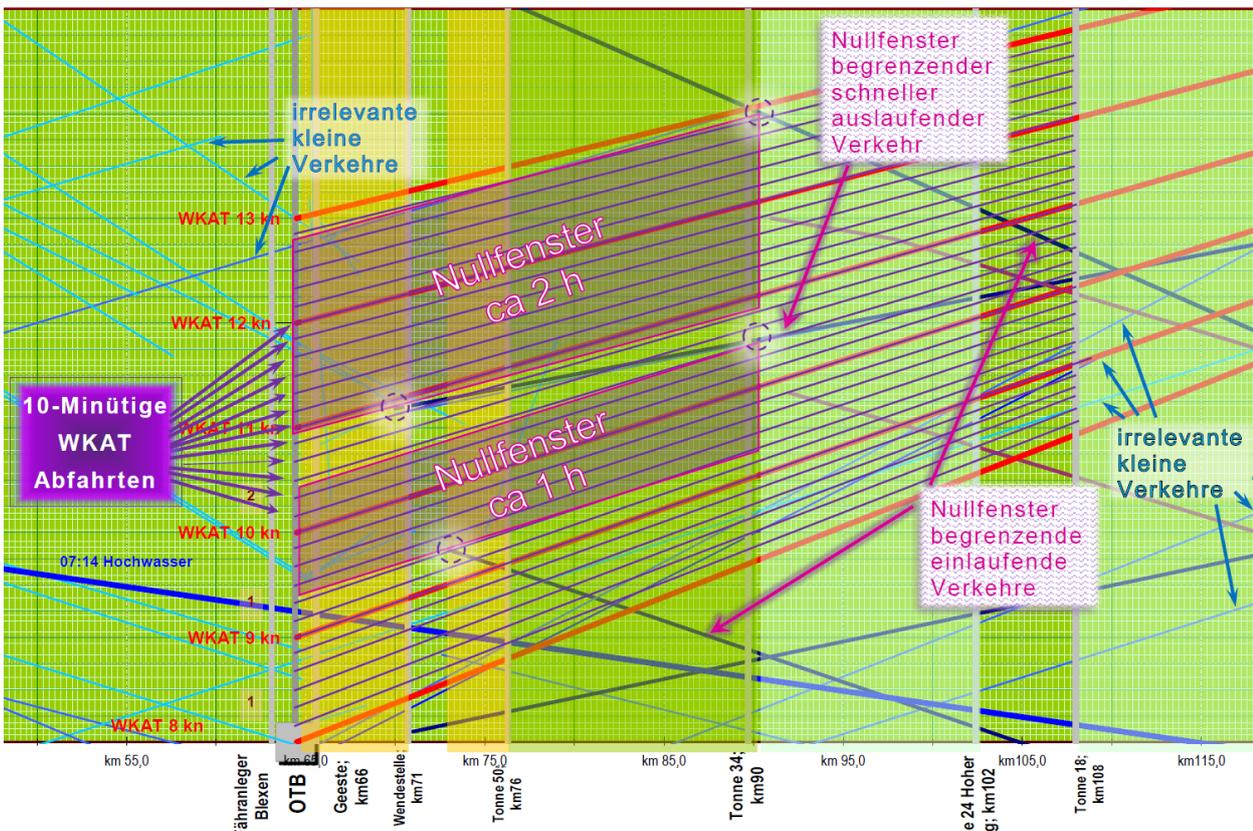


Abbildung 9: Beispiel für Nullfenster mit Schnittpunkten begrenzter Verkehrslinien und 10-minütiger Fahrlinien (Trajektorien) von WKA-Transporten mit steigender Geschwindigkeit nach Hochwasser

### 5.6.1. Nullfenster

Entsprechend den Erläuterungen in Kapitel 2 Erweiterte Fragestellung für die Simulation und 3.1 Zeitfenster, wurde untersucht, wie viele WKA-Transporte bei zehninütigem Abfahrtstakt im Zeitraum von März bis Oktober bei der Fahrt durchs Revier keine Begegnungen und Überholer gehabt hätten.

Tabellarisch sind die Nullfenster vollständig in den Anlagen aufgeführt.

Eine Gegenüberstellung mit der durchgeführten mathematischen Plausibilitätskontrolle erfolgt in Abschnitt 7.3.2. *Gegenüberstellung Berechnungsergebnisse Fraunhofer-CML und Simulation* auf Seite 51.

Für die Auswertung wird realistischer Weise ein erweiterter Nullfensterbegriff eingeführt. Als Nullfenster werden alle WKA-Transport Simulationen gezählt, die insgesamt mit null oder einem potentiellen Interaktionskontakt durchgeführt wurden oder für die insgesamt eine potentielle Interaktionszeit von unter zehn Minuten gemessen wurde.

Die Ergebnistabellen der Anlage werden durch die folgende Tabelle zusammengefasst und die Zusammenfassung darauf in Textform wiedergegeben.

Tide alle		WKAT 8 kn				WKAT 12 kn						
Tageslicht Tag + Nacht		Abzug für Nebel: 10%										
Verkehrs- abstimmungs- bedarf	Anzahl WKA- Transporte		Anteil relativ zu allen Abfahrten	mittlere Wartezeiten WKAT vor auslaufen		Anzahl WKA- Transporte	Anteil relativ zu allen Abfahrten	mittlere Wartezeiten WKAT vor auslaufen				
	Min	Max		Min	Max			Min	Max	Min	Max	
marginal	2.759	4.784		0:17	0:33	5.411	7.938		0:19	0:32		
üblich	15.647	17.699		0:21	0:40	17.995	18.520		0:26	0:44		
<b>Gesamt</b>	<b>18.406</b>	<b>22.483</b>		<b>0:19</b>	<b>0:36</b>	<b>23.405</b>	<b>26.458</b>		<b>0:23</b>	<b>0:38</b>		
Tide Hochwasser ~ ~ ~ und Ebbe ↘						Tide Hochwasser ~ ~ ~ und Ebbe ↘						
Tageslicht Tag	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max		
marginal	893	1.535	2%	3%	0:14	0:30	1.816	2.881	5%	7%	0:17	0:29
üblich	4.715	5.234	13%	15%	0:20	0:35	5.173	5.547	15%	16%	0:24	0:38
<b>Gesamt</b>	<b>5.608</b>	<b>6.769</b>	<b>16%</b>	<b>19%</b>	<b>0:18</b>	<b>0:34</b>	<b>7.363</b>	<b>8.115</b>	<b>20%</b>	<b>22%</b>	<b>0:22</b>	<b>0:36</b>
<b>nur mit FAHRINNEN - abhängigen Verkehren</b>												
Tide Hochwasser ~ ~ ~ und Ebbe ↘						Tide Hochwasser ~ ~ ~ und Ebbe ↘						
Tageslicht Tag	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max		
marginal	4.907	5.841	14%	16%	0:18	0:36	6.120	6.942	17%	20%	0:22	0:36
üblich	3.080	3.866	9%	11%	0:25	0:42	2.008	2.785	6%	8%	0:33	0:47
<b>Gesamt</b>	<b>8.772</b>	<b>8.921</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>0:21</b>	<b>0:38</b>	<b>8.905</b>	<b>8.967</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>0:25</b>	<b>0:39</b>

Tabelle 2: Ergebniszusammenfassung für Nullfenster der WKAT-simulation

### 5.6.1.1. Nullfenster gesamt

Von den 35.100 bis 35.400 simulierten Fahrten von Errichterschiffen pro Simulationslauf wurden bei 12 kn Fahrtgeschwindigkeit der WKA-Transporte insgesamt zwischen 5.411 und 7.938 als Nullfenster gezählt<sup>8</sup>. Bei den Errichterschiffen mit 8 kn Fahrtgeschwindigkeit waren dies 2.759 bis 4.784 Fahrten.

Die Wartezeit vor Auslaufen für die WKA-Transporte wurde mit 19 bis 32 Minuten gemessen.

### 5.6.1.2. Nullfenster bei Tageslicht und Hochwasser bzw. ablaufendem Wasser

Auf die Fahrten, die die relevanten Auflagen von Tageslicht und Hochwasser bzw. ablaufendem Wasser erfüllen, entfielen dabei 1.816 bis 2.881 Fahrten mit einem 12 kn WKA-Transport und 893 bis 1.535 Fahrten mit einem 8 kn fahrenden WKA-Transport.

Also sind von den 12 kn laufenden WKA-Transporten zwischen 5 % und 7 % der Versuche ohne oder mit marginalen Verkehrsabstimmungsbedarfen verlaufen und von den 8 kn Transporten 2 % bis 3 %.

Werden nur fahrinnenabhängige Fahrzeuge berücksichtigt, sind für einen 12 kn WKA-Transport bis zu 10.365 Nullfensterfahrten und mindestens 8.646 Nullfensterfahrten unter Auflagenbedingungen zu zählen. Dies entspricht einem Versuchserfolg von bis zu 29 % und mindestens 24 %.

Die WKA-Transporte haben dabei, unabhängig von der Geschwindigkeit des WKA-Transports, Wartezeiten im Mittel zwischen 14 und 30 Minuten gewartet bevor sie zu den sehr komfortabel definierten Sicherheitsbedingungen auslaufen konnten.

## 5.6.2. Fahrten mit üblichem Verkehrsabstimmungsbedarf

In Kapitel 6 Simulationslauf IV – Bemessung der Verkehrsabstimmungsleistung bei existierenden Sonderverkehren ist beschrieben, dass als übliche Leistungsfähigkeit von Verkehrsabstimmung mindestens eine potentielle Verkehrsbeeinflussung von bis zu vier potentiellen Interaktionskontakten angenommen werden muss.

Die Ergebnisse ergänzen die ermittelten Nullfenster um solche Zeitfenster, bei denen ein WKA-Transport in der Simulation machbar durchgeführt wurde.

### 5.6.2.1. Gesamtzahl von Fahrten mit üblichem Abstimmungsbedarf

Von den 35.100 bis 35.400 simulierten Fahrten von Errichterschiffen wurden bei 12 kn Fahrtgeschwindigkeit insgesamt zwischen 23.405 und 26.458 Fahrten mit null bis vier potentiellen Interaktionskontakten gezählt. Bei Errichterschiffen mit 8 kn Fahrtgeschwindigkeit waren dies 18.406 bis 22.483 Fahrten.

Dabei warteten die WKA-Transporte, unabhängig von der Geschwindigkeit des WKA-Transports, im Mittel zwischen 19 und 38 Minuten mit dem Auslaufen.

---

<sup>8</sup> Zahlen bereits um pauschal 10% reduziert für Ausfälle wg. schlechter Sicht (Nebel)

### 5.6.2.2. Fahrten mit üblichem Abstimmungsbedarf bei Tageslicht und Hochwasser bzw. ablaufendem Wasser

Auf die Fahrten, die die relevanten Auflagen von Tageslicht und Hochwasser bzw. ablaufendem Wasser erfüllen, entfielen dabei 7.363 bis 8.115 Fahrten mit einem 12 kn WKA-Transport und 5.608 bis 6.769 Fahrten mit einem 8 kn fahrenden WKA-Transport.

Also sind von den 12 kn laufenden WKA-Transporten zwischen 20 % und 22 % der Versuche ohne oder mit marginalen oder mit üblichen Verkehrsabstimmungsbedarfen verlaufen und von den 8 kn Transporten 16% bis 19%.

Die Messwerte für die mittleren potentiellen Interaktionszeiten je Simulationsfahrt betragen dabei zwischen zwei und drei Stunden für einlaufende Verkehre und wenige Minuten für auslaufende Verkehre. Statistisch entfällt dabei auf das einzelne betroffene einlaufende Schiff umgerechnet ungefähr eine Stunde. Dieser Wert ist über alle Variationen und Sortierungen der Ergebnisse mit einer geringen Abweichung von höchstens ca. 20 Minuten konstant.

Die WKA-Transporte verbrachten dabei, unabhängig von der Geschwindigkeit des WKA-Transports, im Mittel zwischen 18 und 36 Minuten zwischen ‚Anmeldung‘ in der Simulation und Abfahrt.

Werden nur fahrinnenabhängige Fahrzeuge berücksichtigt, waren für einen 12 kn WKA-Transport bis zu 8.967, und damit ein Viertel aller Simulationsversuche, und mindestens 8.905 solcher Fahrten unter Auflagenbedingungen zu zählen.

### 5.6.3. Verteilung der Begegnungshäufigkeit

Die Verteilung der Begegnungshäufigkeit sind den Diagrammen der Anlagen 3 und 6 zu entnehmen.

## 5.7. Plausibilitätskontrolle der Simulationsergebnisse für „Nullfenster“

Die ersten Tagessimulationen für das erste Gutachten des NBB aus 2011 waren durch die vorhergegangene manuelle Auswertung der potentiellen Interaktionskontakte der ausgewählten Tage überprüfbar.

Die erweiterte Simulation für das vorliegende Gutachten entspricht einer Versuchsechtzeit von 34 Jahren und einer Simulationslaufzeit (mit 60-facher Geschwindigkeit) von ca. sieben Monaten und ist insofern nur stichprobenartig visuell zu überprüfen. Durch engmaschige Untersuchung des aufgezeichneten Verkehrsaufkommens aufgrund der hohen (10-minütigen) Abfahrtfrequenz der WKA-Transporte wirken sich auch solche Datenfehler in den 46.115 Datensätze umfassenden Verkehrsdaten aus 2008 mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit aus, die im bisherigen, punktuellen Einsatz ohne Auswirkung blieben.

Um die erzielten Ergebnisse dennoch auf Plausibilität prüfen zu können, wurde das Fraunhofer Centrum für maritime Logistik (CML) damit beauftragt.

Aufgabe war eine Kurvendiskussion linearer Kurvenscharen mit den Trajektorien der aufgezeichneten Verkehre überlagert mit möglichen Trajektorien der WKA-Transporte durchzuführen.

Bildlich ausgedrückt werden auf mathematischem Wege die Fahrlinien der aufgezeichneten Verkehre in einem Weg-Zeit-Diagramm abgetragen und nacheinander auch die Fahrlinien der WKA-Transporte. Für das erste Gutachten des Nautischen Büros Bremen zum Thema geschah dies manuell für einzelne Tage der Jahre 2005 bis 2010. Damals wurden die Anzahl der Kontakte mit existierenden Verkehren bereichsweise ausgezählt. Im hier behandelten Kontrollansatz werden solche Fahrlinien der WKA-Transporte erkannt, die sich mit keiner der relevanten aufgezeichneten Verkehre schneiden, und diese gezählt.

### 5.7.1. Vorgehensweise der Plausibilitätskontrolle

Für die genaue Beschreibung der Analytik sei auf den Bericht des Fraunhofer-CML in Anlage 1 verwiesen.

Zusammengefasst beschrieben werden in einem Weg-Zeit-Diagramm wie in den Abbildungen auf Seite 31 f durch die Anfangs- und Endpunkte der Trajektorien aller relevanter Verkehre, Trajektorien von WKA-Transporten mit einer Fahrtgeschwindigkeit entsprechend des Gezeitenstroms gelegt. Die freien Bereiche zwischen diesen WKA-Transport-Fahrlinien (Trajektorien) werden als Nullfenster gezählt und ihre zeitliche Ausdehnung bestimmt.

Zur Gegenkontrolle des Ansatzes und zum Nachweis der Kompatibilität von Rechnung und Simulation wurden die Ergebnisse der Fraunhofer-CML-Berechnung, also die sich ergebenden Nullfensterzeiträume so aufbereitet, dass in diese Nullfensterzeiträume WKA-Transport Abfahrtszeiten gelegt wurden. Daraus wurde ein Simulationsdatensatz erstellt und mit einem angepassten Simulationsmodul simuliert. Bei gegebener Kompatibilität der Ansätze müssen also signifikant weniger Kontakte auftreten. Die Messwerte (also potentielle Interaktionskontakte und potentielle Interaktionszeiten), die dennoch auftreten, sind gleichzeitig ein Maß des Einflusses der dynamischen Fahrprofile gegenüber den statischen Radardaten.

### 5.7.2. Ergebnisse der Plausibilitätskontrolle

Entsprechend den Aufstellungen im Fraunhofer-CML-Bericht der Anlage 1 wären in ca. 17 % der gesamten Zeit zwischen März und Oktober WKA-Transporte begegnungsfrei durchgeführt worden.

Die berechneten Nullfenster entsprechen, je nach Verteilung der zehnmütigen WKA-Transport Abfahrten, zwischen 5.700 und 5.900 WKA-Transport Nullfenstern (s. Zuordnung in Anlage 5.1-Vergleichende Darstellung Fraunhofer-CML-Nullfenster und WKAT Abfahrten).

Ca. 62 % dieser Nullfensterzeiten entfallen aufsummiert auf die Gezeiten Hochwasser und ablaufende Ebbe, was einem Anteil von fast 11 % der Gesamtzeit zwischen März und Oktober entspricht.

Eine Verteilung der errechneten Nullfenster auf Tageslichtzeiten erfolgte nicht.

Der Hauptanteil der Zeitfensterlängen bewegt sich im Bereich von eineinhalb Stunden. Das heißt, dass der WKA-Transport diese Nullfenster mit einer Toleranz in der Abfahrtszeit von eineinhalb Stunden hätte wahrnehmen können um das Revier frei von relevanten Verkehren zu durchfahren. Die Bedeutung der Zeitfensterlängen ist in den oben genannten Abbildungen sichtbar.

In der ersten Simulation des Fraunhofer-CML-Nullfenster-Datensatzes waren die Ergebnisse wie in folgender Tabelle indiziert.

Tide (Mehrere Elemente)		Hochwasser und Ebbe						
Tageslicht	Tag	①		②	①		②	③
Gesamtanzahl Kontakte	Häufigkeit	mittlere Kontakte FW Ein FR		mittlere Zeiten Einlaufend	mittlere Kontakte FW Aus FR		mittlere Zeiten Auslaufend	mittlere Zeit WKAT
		<b>0 und 1 pIK</b>	<b>397</b>	0,4	0,3	<b>0:47</b>	0,0	0,0
0	94	0,0	0,0	0:00	0,0	0,0	0:00	0:24
1	303	0,6	0,3	1:02	0,0	0,0	0:00	0:30
<b>2 bis 4 pIK</b>	<b>1.288</b>	<b>1,6</b>	<b>0,9</b>	<b>2:50</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0:02</b>	<b>0:41</b>
2	482	1,1	0,6	2:07	0,2	0,1	0:01	0:33
3	461	1,6	1,0	3:00	0,3	0,1	0:02	0:42
4	345	2,1	1,2	3:37	0,5	0,2	0:03	0:50
<b>Gesamt ergebnis</b>	<b>1.685</b>	<b>1,3</b>	<b>0,7</b>	<b>2:21</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0:01</b>	<b>0:38</b>

berechnete Mittelwerte pro betroffenem Schiff							
Gesamtanzahl Abfahrten:	Anteil relativ zu allen Abfahrten	Anzahl betr. Schiffe FW+FR		Zeit pro ganzem Schiff	Anzahl betr. Schiffe FW+FR		Zeit pro ganzem Schiff
		<b>5716</b>					
<b>0 und 1 pIK</b>	<b>7%</b>		0,7	<b>1:07</b>		0,1	<b>0:06</b>
0	2%		0,0	#DIV/0!		0,0	#DIV/0!
1	5%		0,9	1:07		0,1	0:06
0 - 10 Min	0,2%	<b>14</b>	5,8	0:03		5,2	0:04
<b>2 bis 4 pIK</b>	<b>23%</b>		2,5	<b>1:09</b>		0,4	<b>0:05</b>
2	8%		1,7	1:12		0,3	0:04
3	8%		2,6	1:09		0,4	0:05
4	6%		3,3	1:05		0,7	0:04
0 - 30 Min	0,0%	-	-	-		-	-
<b>Gesamt</b>	<b>29%</b>		2,0	<b>1:09</b>		0,3	<b>0:05</b>

Tabelle 3: Ergebnisverteilung der Simulation der Fraunhofer-CML-Nullfenster in die üblichen Verkehrsdaten

Nach Übersendung des Verkehrsdatensatzes der Fraunhofer-CML-Berechnung stellte sich heraus, dass die vom Nautischen Büro Bremen mittels Prüfrechnungen angepassten Schiffsgeschwindigkeiten der übermittelten Verkehrsdaten keinen Eingang in die Simulationsrechnung gefunden hatten.

Die Simulation eines Datensatzes, der mit den Fraunhofer-CML Verkehrsdaten in Bezug auf Schiffsgeschwindigkeiten rekombiniert wurde, ergab Nullwerte für alle Simulationen. Potentielle Interaktionskontakte wurden nur mit auslaufenden Verkehren und in marginaler Größenordnung von potentiellen Interaktionszeiten gemessen.

Tide (Alle)		①		②		①		②		③	
Tageslicht (Alle)											
Gesamt anzahl Kontakte	Häufigkeit	mittlere Kontakte		mittlere Zeiten Einlaufend	mittlere Kontakte		mittlere Zeiten Auslaufend	mittlere Zeit			
		FW	Ein FR		FW	Aus FR		WKAT			
0 und 1 plk	5.551	0,0	0,0	0:00	0,1	0,1	0:01	0:00			
0	4.532	0,0	0,0	0:00	0,0	0,0	0:00	0:00			
1	1.019	0,0	0,0	0:00	0,5	0,5	0:07	0:00			
> 1 plk	165	0,0	0,0	0:00	1,1	1,0	0:16	0:00			
<b>Gesamt</b>	<b>5.716</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0:00</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0:01</b>	<b>0:00</b>			

Tide (Mehrere Elemente)		Hochwasser		und Ebbe		①		②		③	
Tageslicht Tag											
Gesamt anzahl Kontakte	Häufigkeit	mittlere Kontakte		mittlere Zeiten Einlaufend	mittlere Kontakte		mittlere Zeiten Auslaufend	mittlere Zeit			
		FW	Ein FR		FW	Aus FR		WKAT			
0 und 1 plk	2.039	0,0	0,0	0:00	0,1	0,1	0:01	0:00			
0	1.680	0,0	0,0	0:00	0,0	0,0	0:00	0:00			
1	359	0,0	0,0	0:00	0,5	0,5	0:06	0:00			
> 1 plk	57	0,0	0,0	0:00	1,2	1,0	0:13	0:00			
<b>Gesamt</b>	<b>2.096</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0:00</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0:01</b>	<b>0:00</b>			

Tabelle 4: Ergebnisverteilung der Simulation der Fraunhofer-CML Nullfenster in die Verkehrsdaten mit Geschwindigkeit aus Positionen und Zeiten

## 6. Simulationslauf IV - Bemessung der Verkehrsabstimmungsleistung bei existierenden Sonderverkehren

### 6.1 Einführung

Es wurden Messwerte als Vergleichsgrößen für den Grad der ‚Üblichkeit‘ der Abstimmungsleistungen im Revier gemessen. Mit Abstimmungsleistung sind die verkehrsbeeinflussenden Absprachen der weiter oben beschriebenen Verkehrsteilnehmer (Lotsen, Schiffsführer, Zentrale, Agenten etc.) untereinander gemeint, die der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs im Revier dienen.

Die gemessenen Größen sind dieselben, wie die Ergebniswerte der WKA-Transport Simulationen. Die Werte können direkt miteinander verglichen werden.

Dadurch lässt sich quantifizieren, in welcher Größenordnung die potentiellen Interaktionskontakte und potentiellen Interaktionszeiten als ‚üblich‘ anzusehen sind.

### 6.2. Fragestellung

Die Frage nach der Kapazität und der Auslastung der Wasserstraße Weser bedeutet, dass die in der Simulation gemessenen Werte qualitativ bewertet werden müssen.

Für die simulierten WKA-Transporte die in der Simulation nicht während der sogenannten ‚Nullfenster‘ begegnungsfrei durchgeführt werden konnten, ist die Frage, ab welcher Größenordnung die Messwerte als starke Belastung des Revierverkehrs zu verstehen sind und bis zu welcher Größenordnung als geringe Belastung.

Es werden also Grenzwerte für die bei den WKA-Transportversuchen gemessenen potentiellen Interaktionskontakte und potentiellen Interaktionszeiten benötigt. Messwerte innerhalb dieser Grenzwerte sind ‚übliche‘ Verkehrsabstimmungsbedarfe.

### 6.3. Vorgehen

Das Nautische Büro Bremen hat im Rahmen des vorliegenden Gutachtens ein Verfahren entwickelt, mit dem die Größenordnung der Werte für potentielle Interaktionskontakte und potentielle Interaktionszeiten annäherungsweise ermittelt werden können, die der Abstimmungsleistung bereits auf der Weser durchgeführter Verkehre entsprechen.

Als Vergleichsverkehre wurden die in 2008 durchgeführten Sondertransporte ausgewählt und wie in diesem Abschnitt beschrieben simuliert.

## 6.4. Erkennen der Sonderverkehre

Nach Angabe des WSA und gemäß Veröffentlichung in den Bekanntmachungen für Seefahrer entsprechen die Grenzwerte der Hauptabmessungen für Sondergenehmigungspflichtige Verkehre nicht den Hauptabmessungen des Bemessungsschiffs des jeweiligen Bundeswasserstraßenabschnitts (hier Unterweser und Außenweser). Verkehre sind sondergenehmigungspflichtig, wenn eines der folgenden Schiffsmaße überschritten wird.

### 6.4.1. Sonderverkehre auf der Außenweser

Fahrzeuge die folgende Abmessungen überschreiten sind gemäß See-Schiffahrtsstraßenordnung (SeeSchStrO) § 2 Abs. 1 Nr. 10 genehmigungspflichtig:

Länge	350 m
Breite	46 m
Tiefgang	14,5 m (in Frischwasser)

### 6.4.2. Sonderverkehre bis Nordenham

Fahrzeuge die folgende Abmessungen überschreiten sind gemäß See-Schiffahrtsstraßenordnung (SeeSchStrO) § 2 Abs. 1 Nr. 10 genehmigungspflichtig:

Länge	270 m
Tiefgang	13 m (Frischwasser)

ohne Breitenbeschränkung.

### 6.4.3. Sonderverkehre bis Brake

Fahrzeuge die folgende Abmessungen überschreiten sind gemäß See-Schiffahrtsstraßenordnung (SeeSchStrO) § 2 Abs. 1 Nr. 10 genehmigungspflichtig:

Länge	270 m
Tiefgang	11,9 m (Frischwasser)
Tiefgang	11,6 m (Frischwasser)

ohne Breitenbeschränkung.

Anhand dieser Kriterien wurden aus dem Verkehrsdatensatz des Jahres 2008 Verkehrsaufzeichnungen 106 auslaufender Sonderverkehre durch das Erkennungsmodul des Simulationsprogramms identifiziert. Im vorliegenden Gutachten werden nur auslaufende WKA-Transporte betrachtet. Dementsprechend wurden zum Vergleich auch nur auslaufende Sonderverkehre betrachtet.

## 6.5. Erzeugen des Simulationsdatensatzes

Die Verkehrsaufzeichnungen der identifizierten Sonderverkehre wurden aus dem Verkehrsdatensatz entfernt.

Die Sonderverkehre wurden nun in Ihrer Abfahrt um eine Stunde versetzt wieder in den aufgezeichneten Verkehr hineinsimuliert. Und zwar jeweils in einem getrennten Simulationsdurchlauf; so wie auch die WKA-Transporte simuliert wurden.

## 6.6. Funktionsprinzip

Entsprechend der Ausführungen in Kapitel 3, *Nautische Grundlagen*, erfolgen beim normalen täglichen Verkehrsbetrieb Abstimmungen der Verkehrsbeteiligten. Dies gilt insbesondere für Sondergenehmigungspflichtige Verkehre. Diese Abstimmungsleistung hat auch bei den aufgezeichneten Verkehren aus 2008 zu einem reibungslosen Verkehrsablauf geführt. Anders ausgedrückt, kam es zu keinen Kontaktzeiten oder Wartezeiten während der Fahrt, weil alle sich potentiell behindernden Verkehre sich ‚umeinander herum‘ geordnet haben.

Durch den Zeitversatz der Abfahrtszeit der identifizierten Sonderverkehre in der Simulation ist diese Ordnung für diese Verkehre nicht mehr gegeben. Der solchermaßen nicht mehr in den Verkehr eingepasste Sonderverkehr fährt nun in der Simulation durch den Verkehr, mit dem er ursprünglich abgestimmt war. Da er durch den Zeitversatz nun nicht mehr mit dem Verkehr abgestimmt ist, kommt es zu potentiellen Interaktionskontakten und potentiellen Interaktionszeiten.

Diese Simulationen ergeben also dieselben Messgrößen wie die Simulationen der WKA-Transporte.

Die Messwerte sind dann größenordnungsmäßig vergleichbar mit den Ergebnissen der WKA-Transport-Simulationen.

## 6.7. Ergebnisse der Simulation existierender Sonderverkehre

Eine umfangreiche Auswahl von Ergebniszusammenstellungen ist in den Anlagen als Anlagen 4 und 6 zu finden. Format und Lesart sind dortselbst im gleichnamigen Abschnitt beschrieben.

Es wurden 106 den Hauptabmessungen nach sondergenehmigungspflichtige auslaufende Verkehre in den aufgezeichneten Verkehrsdaten aus 2008 identifiziert. Eine Ergebniszusammenfassung gibt die folgende Tabelle. Darunter sind ausgewählte Ergebnisse textlich beschrieben.

Tide (Alle)		①		②		①		②		③
Tageslicht (Alle)		mittlere Kontakte		mittlere Zeiten		mittlere Kontakte		mittlere Zeiten		mittlere Zeit
Gesamt	Häufigkeit	FW	Ein FR	Einlaufend	FW	Aus FR	Auslaufend	Auslaufend	Sonderverkehr	
<b>0 und 1 plK</b>	<b>47</b>	0,1	0,4	<b>0:37</b>	0,0	0,1	<b>0:00</b>		<b>1:01</b>	
0	17	0,0	0,0	0:01	0,0	0,0	0:00		0:27	
1	30	0,2	0,7	0:57	0,0	0,1	0:00		1:20	
<b>2 bis 4 plK</b>	<b>51</b>	<b>0,6</b>	<b>1,8</b>	<b>2:46</b>	<b>0,0</b>	<b>0,4</b>	<b>0:03</b>		<b>2:14</b>	
2	20	0,4	1,3	1:41	0,0	0,4	0:04		1:48	
3	21	0,6	2,0	3:40	0,0	0,4	0:02		2:37	
4	10	1,2	2,4	3:05	0,0	0,4	0:07		2:14	
<b>&gt;4 plK</b>	<b>8</b>	<b>1,4</b>	<b>3,3</b>	<b>7:01</b>	<b>0,0</b>	<b>0,4</b>	<b>0:07</b>		<b>2:36</b>	
5	8	1,4	3,3	7:01	0,0	0,4	0:07		2:36	
<b>Gesamt</b>	<b>106</b>	<b>0,5</b>	<b>1,3</b>	<b>2:08</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0:02</b>		<b>1:43</b>	

Tabelle 5: Verteilung der potentiellen Interaktionskontakte- und zeiten der existierenden Sonderverkehre

- ① mittlere Anteile auf fahrwasser- und fahrinnenabhängige Verkehre entfallende potentielle Interaktionskontakte jeweils für ein- und auslaufende betroffene Verkehre
- ② mittlere aufsummierte potenzielle Interaktionszeiten aller betroffener Verkehre eines Simulationslaufes, jeweils für ein- und auslaufende betroffene Verkehre
- ③ mittlere Wartezeiten der Sonderverkehre vor dem Ablegen nach den Sicherheitskriterien wie ein WKA-Transport und mit dem ursprünglichen Abfahrtsort aus den Verkehrsdaten

Tide (Mehrere Elemente)		①		②		①		②		③
Tageslicht Tag		mittlere Kontakte		mittlere Zeiten		mittlere Kontakte		mittlere Zeiten		mittlere Zeit
Gesamt	Häufigkeit	FW	Ein FR	Einlaufend	FW	Aus FR	Auslaufend	Auslaufend	Sonderverkehr	
<b>0 und 1 plK</b>	<b>12</b>	0,1	0,4	<b>0:39</b>	0,0	0,0	<b>0:00</b>		<b>1:00</b>	
0	6	0,0	0,0	0:01	0,0	0,0	0:00		0:34	
1	6	0,2	0,8	1:17	0,0	0,0	0:00		1:26	
<b>2 bis 4 plK</b>	<b>16</b>	<b>0,6</b>	<b>1,6</b>	<b>2:06</b>	<b>0,0</b>	<b>0,4</b>	<b>0:03</b>		<b>2:03</b>	
2	7	0,3	1,4	1:27	0,0	0,3	0:03		1:21	
3	7	0,7	1,7	3:04	0,0	0,6	0:03		2:52	
4	2	1,5	2,0	0:58	0,0	0,5	0:03		1:41	
<b>Gesamt</b>	<b>28</b>	<b>0,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1:29</b>	<b>0,0</b>	<b>0,3</b>	<b>0:01</b>		<b>1:36</b>	

Tabelle 6: Verteilung der potenziellen Interaktionskontakte- und zeiten der existierenden Sonderverkehre unter Auflagenbedingungen für Tageslicht und Tide

## 6.7.1. Potentielle Interaktionskontakte existierender Sonderverkehre (SondEx)

### 6.7.1.1. Alle potentiellen Interaktionskontakte

Im Mittel wurden je SondEx 2 potentielle Interaktionskontakte gemessen, wovon 0,2 potentielle Interaktionskontakte auf auslaufende fahrrinnengebundene Verkehre entfielen und 0,5 bzw. 1,3 potentielle Interaktionskontakte auf einlaufende Fahrwasser- bzw. Fahrrinnengebundene Verkehre.

Bei Tageslicht und Hochwasser oder ablaufendem Ebbstrom führen in der Simulation zwölf Sonderverkehre mit null oder einem Kontakt durchs Revier. Das sind 11 % aller SondEx-Simulationen.

Auf die Gruppe von zwei bis vier potentiellen Interaktionskontakten entfielen 16 SondEx Simulationen oder 15 %.

Damit haben 25 % der SondEx Simulation bei Licht- und Tidenbedingungen gemäß den Auflagen für WKA-Transporte, höchstens vier potentielle Interaktionskontakte erfahren.

Insgesamt wurden bei allen SondEx Simulationen höchstens 5 potentielle Interaktionskontakte gemessen.

### 6.7.1.2. Potentielle Interaktionskontakte unter Auflagenbedingungen für WKA-Transporte

Bei Tageslicht und Hochwasser bzw. ablaufendem Wasser wurden maximal 4 Kontakte gezählt. Auf den erweiterten Nullfensterbereich entfielen 12 der insgesamt 28 SondExe dieses Zeitraums. Für diese Simulationen waren alle potentiellen Interaktionskontakte mit einlaufenden Verkehren und keine mit auslaufenden.

Die Kontaktzahlen mit fahrrinnenabhängigen Verkehren liegen um ein Vielfaches über denen mit fahrrinnenunabhängigen Verkehren.

Diese absoluten Kontaktzahlen werden durch potentielle Interaktionszeiten weiter differenziert.

## 6.7.2. Potentielle Interaktionszeiten existierender Sonderverkehre (SondEx)

### 6.7.2.1. Potentielle Interaktionszeiten aller SondEx Simulationen

Die potentiellen Interaktionszeiten bewegen sich zwischen einer und rund 3,5 Stunden für einlaufende Verkehre im Bereich bis 4 Kontakte. Bei den Simulationen mit 5 potentiellen Interaktionskontakten sind es 7 Stunden.

Pro betroffenes Schiff hochgerechnet ergibt sich eine potentielle Interaktionszeit von ca. 1 Stunde.

Bei den auslaufenden Verkehren wurden keine oder maximal 7 Minuten potentielle Interaktionszeit gemessen.

### 6.7.2.2. Potentielle Interaktionszeiten unter Auflagenbedingungen für WKA-Transporte

Unter den genannten Auflagen wurden in der Ergebnisgruppe bis 4 potentielle Interaktionskontakte, aufsummiert über alle betroffenen Verkehre einer Simulation, potentielle Interaktionszeiten mit einlaufenden Verkehren zwischen 1 und 3 Stunden gemessen. Die genauso aufsummierten potentiellen Interaktionszeiten mit auslaufenden Verkehren betragen maximal 3 Minuten.

Auf ein einzelnes betroffenes Schiff statistisch hochgerechnet ergibt das potentielle Interaktionszeiten um 1 Stunde für einlaufende und um 10 Minuten für auslaufende Verkehre.

### 6.7.2.3. Zum Vergleich: potentielle Interaktionszeiten bei auflaufender Flut

Während auflaufender Flut waren die mittleren potentiellen Interaktionszeiten entsprechend der gegenstromgebremsten Fahrgeschwindigkeit jeweils ungefähr verdoppelt. Nämlich um ca. 1 Stunde auf 2 Stunden in der Gruppe von 0 und 1 Kontakt und um mehr als 3 auf fast 7 Stunden in der Gruppe von 2 bis 4 Kontakten.

### 6.7.3. Wartezeiten der Sonderverkehre

Die Sonderverkehre unterlagen in der Simulation denselben Auslaufbedingungen wie die WKA-Transporte (*WKA-Transport-Wartezeiten* in Kapitel 5). Der Abfahrtsort lag allerdings nicht beim OTB, sondern beim ursprünglichen Abfahrtsort aus den Verkehrsdaten.

Interessant ist, dass bei Betrachtung des gesamten Untersuchungszeitraums die Sonderverkehre im Mittel mindestens 0,5 Stunden auf eine sichere Ablegesituation zu warten hatten und der Großteil im Mittel 2 bis 2,5 Stunden auf eine sichere Ablegesituation warten musste.

Für die Simulationen bei Tag und Hochwasser bzw. ablaufender Ebbe wurden notwendige Wartezeiten der Sonderverkehre vor dem Auslaufen von 0,5 bis 1,5 Stunden im erweiterten Nullfensterbereich gemessen und von 1,5 bis knapp 3 Stunden für den Bereich von 2 bis 4 potentiellen Interaktionskontakten.

Bei auflaufender Flut und Niedrigwasser traten auch mittlere Wartezeiten zwischen 1 und 4 Stunden und bei der Höchstzahl von 5 potentiellen Interaktionskontakten bis zu 12 Stunden auf.

## 6.8. Aussagen der Simulation existierender Sonderverkehre für die WKA-Transport Simulationen

Die höchste Anzahl gemessener potentieller Interaktionskontakte waren 5 Kontakte. Diese 5 Kontakte kamen selten vor und beinhalten auch Ausreißer mit Interaktionszeiten von bis zu 12 Stunden.

Um mit Sicherheit im Hauptfeld der Häufigkeiten und der relativ regelmäßigen Verteilung der potentiellen Interaktionszeiten zu arbeiten, wird von einer Anzahl üblicherweise auftretender potentieller Interaktionskontakte von bis zu 4 Kontakten ausgegangen.

Dieser Bereich wird in 2 Gruppen aufgeteilt.

### 6.8.1. Null bis ein potentielle Interaktionskontakte

Bei der Sortierung wird die Gesamtanzahl aller potentiellen Interaktionskontakte ausgewertet. Ein potentieller Interaktionskontakt setzt sich also aus Bruchteilen von Zählkontakten der Auswertung von vier Teilzählungen (jeweils Fahrwasser- und Fahrinnenabhängige Ein- und Auslaufende Fahrzeuge) zusammen. Die dementsprechende notwendige Verkehrsabstimmungsleistung ist als marginal zu bezeichnen.

Gesamtanzahl Kontakte FW + FR	Häufigkeit	mittlere Kontakte FW Ein FR		mittlere Zeiten Einlaufend	mittlere Kontakte FW Aus FR		mittlere Zeiten Auslaufend	mittlere Zeit WKAT
		FW	Ein FR		FW	Aus FR		
<b>1</b>	8	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	0:24	<b>0,0</b>	<b>0,3</b>	0:01	0:41
Nacht	2	0,5	0,5	0:46	0,0	0,0	0:00	0:51
Tag	6	0,2	0,5	0:17	0,0	0,3	0:01	0:38

1, plk in der Summe

Teilhäufigkeiten Ein, Aus, Tag, Nacht etc.

Diese Gruppe von numerisch als ‚Null und 1 plk‘ auftretenden Messwerte bezeichnet in der WKA-Transport-Simulation die ‚Nullfenster‘.

### 6.8.2. Zwei bis vier potentielle Interaktionskontakte

Dies sind die verbleibenden Werte der offensichtlich üblichen Verkehrsabstimmung.

Diese Gruppe wird als zweite relevante Gruppe der Ergebnisse der WKA-Transport-Simulationen verwendet und als Messwerte mit ‚üblichen Verkehrsabstimmungsleistungen‘ bezeichnet.

## 7. Abschlussdiskussion

### 7.1. Bewertung der Durchführbarkeit der WKA-Transporte

Die nautischen Grundlagen für liegende Sterntransporte wurden ausführlich untersucht, mit verschiedenen Verkehrsbeteiligten diskutiert und umfangreich beschrieben.

Die Simulation wurde diesen Grundlagen entsprechend gestaltet.

Den 53 geplanten WKA-Transporten stehen mit 12 kn Schiffen zwischen 1.816 und 2.881 in der Simulation durchgeführte Transporte ohne oder mit marginalen Verkehrsabstimmungsbedarfen und bis zu 8.115 Transporte mit üblicher Verkehrsabstimmung gegenüber. Die WKA-Transporte warten bei ungeplanter Anmeldung im Mittel zwischen 14 und 38 Minuten auf eine sichere Abfahrtssituation.

Auch bei Transporten mit den mittlerweile weniger üblichen 8 kn fahrenden Fahrzeugen stehen den 53 geplanten Transporten noch zwischen 5.608 und 6.769 Simulationen unter üblichen Anforderungen an die standardmäßig stattfindende Verkehrsabstimmungsleistung gegenüber.

Wie weiter unten beschrieben, stiegen im Fall einer ausschließlichen Berücksichtigung von fahrinnenabhängigen Fahrzeugen die Nullfenster auf bis zu 6.942 und die Simulationsfahrten mit üblichem Abstimmungsbedarf auf bis zu 8.967 an.

Dabei sind jeweils die Auflagen Tageslicht kombiniert mit Hochwasser oder ablaufendem Gezeitenstrom bei der Zählung berücksichtigt und ein pauschaler Abzug für Nebel in Höhe von 10% erfolgt.

Die Transporte werden nach dieser Bewertung der Verkehrssituation auf der Weser in ausreichender Zahl durchführbar sein.

Weitere gewonnene Erkenntnisse und die im Untersuchungsprozess vorgesehenen und umgesetzten Sicherheiten und Gegenproben werden im Weiteren miteinander in Zusammenhang gebracht.

#### 7.1.1. Einfluss der Leistungsdaten von WKA-Transportfahrzeugen

Allgemein ist zum Einfluss der Geschwindigkeiten der Errichterschiffe festzustellen, dass auslaufende Verkehre von WKA-Transporten mit Geschwindigkeiten ab 12 kn kaum noch betroffen sind, weil sie nur geringfügige Geschwindigkeitsanpassungen vornehmen müssen und dies auch nur, wenn ein Überholen des beispielsweise an den Fahrbahnrand auf Warteposition gehenden WKA-Transportes nicht stattfinden wird.

Die Simulation der Fraunhofer-CML-Nullfenster zeigt andererseits, dass die Sicherheitsfunktionen und Fahrzeugsteuerungen der Simulation gerade bei den berechneten Nullfenstern auslaufende potentielle Interaktionskontakte erzeugt.

Auch die Anpassungsbedarfe entgegenkommender, einlaufender Verkehre sinken, wenn der WKA-Transport schneller den begegnungsbeschränkten Bereich durchfährt.

Der Geschwindigkeitseinfluss ist bei niedrigen Geschwindigkeiten generell deutlicher als bei höheren. Das Untersuchungsergebnis aus Kapitel 4, *Transportfahrzeuge*, dass sich die Errichterschiffgeschwindigkeiten voraussichtlich in absehbarer Zeit nicht deutlich über die derzeit erreichten 14 kn hinaus entwickeln werden, verliert damit an Bedeutung für die Revierpassage.

Die Recherche zu Errichterschiffen hat ergeben, dass die Errichterschiffe zunehmend im Geschwindigkeitsbereich von 12 kn liegen und über besonders gute Manövrierfähigkeit verfügen. Schiffe in der Größe der Errichterschiffe können üblicherweise überhaupt erst ab einer Fahrtgeschwindigkeit von 4 kn oder deutlich darüber steuern. Die Manövrierfähigkeit der Errichterschiffe mit DP (**D**ynamic **P**ositioning) ist mit der eines Helikopters in der Horizontalen vergleichbar.

Dies unterscheidet die zeitgemäßen Errichterschiffe deutlich von den üblichen genehmigungspflichtigen Sonderverkehren wie z.B. den sehr großen und schwerfälligen Bulkcarriern (Schüttgutfrachtern), die Nordenham, Brake und Bremen anlaufen.

Diese Eigenschaft kann sich einerseits stark auf die Verkehrsfähigkeit auswirken (s. Folgeabsatz) und andererseits zu neuartigen Verladeformen und damit zu hochdynamischen Bereitschaftszeiten und Unabhängigkeit von Wasserständen und ähnlichem führen. Beispielsweise sei das Beladen im schwimmenden Zustand, gehalten durch dynamisches Positionieren, wie es im Statement von DOC als bereits erfolgreich durchgeführt beschrieben ist, angeführt.

### 7.1.2. Einfluss berücksichtigter existierender Verkehre

Warte- und Überholsituationen sind mittels der Manövriereigenschaften dieser Schiffe technisch immer möglich. Sollte sich herausstellen, dass sich die Errichterschiffe leicht in den Verkehr einordnen können und tatsächlich in der Hauptsache die Begegnung mit fahrinnenabhängigen Verkehren relevant ist, ergibt die Simulation dafür noch deutlich vorteilhaftere Werte.

Werden nur fahrinnenabhängige Verkehre berücksichtigt, sind an WKA-Transport Simulationsfahrten mit marginaler Verkehrsabstimmung bis zu 6.942 und mit üblicher Verkehrsabstimmung bis zu 8.967 gemessen worden.

Die Abweichung zu den Zahlen die auch die fahrwasserabhängigen Fahrzeuge berücksichtigt, ist für die übliche Verkehrsabstimmung gering (ca. 10 %). Das dürfte daher rühren, dass in dem betrachteten Gezeitenfenster der Großteil dieser meist tiefgangbehinderten Fahrzeuge verkehrt. Sobald über eine Ausweitung des Tidenfensters nachgedacht wird, können die Ergebnisse für diese Zeiten entsprechend nachgeliefert werden.

Der Anteil der Nullfenster unter Auflagenbedingungen steigt bei reiner Berücksichtigung fahrinnenabhängiger Verkehre dagegen stark an. Hier werden aus 2.881 Nullfenstern für fahrwasserabhängige Verkehre 6.942 Nullfenster für nur fahrinnenabhängige Verkehre.

### 7.1.3. Einfluss der Simulationsvarianten

Die mögliche Varianz von nicht genau erfassten oder abgebildeten Bedingungen oder Zuständen wurde abgesteckt, indem Versuchsserien (d.h. jeweils mit 8 kn und 12 kn und unterschiedlichen Abfahrtszeiten) mit entsprechenden Anpassungen, also z.B. unterschiedlichen Geschwindigkeitsansätzen der existierenden Verkehren, Abfahrtszeiten- und Orten der WKA-Transporte, und ähnliches, durchgeführt wurden.

Es haben sich dadurch beträchtliche Korridore der einzelnen, sehr eng gesteckten Ergebnisräume ergeben. Gleichzeitig wurde dabei sichtbar, dass keine einzelne Varianz große Ausschläge verursachte und der Gesamtergebnisraum, beispielsweise alle Zeitfenster mit 0 bis 5 potentiellen Interaktionskontakten, konstant blieb.

Die Variationen machten also nur Verschiebungen innerhalb der Klassen, z.B. von 0 zu einem potentiellen Interaktionskontakt aus.

### 7.1.4. Übliche Verkehrsabstimmung

Das Maß der Üblichkeit der Verkehrsabstimmung der Verkehrsbeteiligten wurde in der Simulation der tatsächlich in den Verkehrsdaten enthaltenen Sonderverkehre gemessen und in Kapitel 6, *Simulationslauf– Bemessung der Verkehrsabstimmungsleistung bei existierenden Sonderverkehren* beschrieben.

Die Diskussionsergebnisse mit kundigen Verkehrsbeteiligten, insbesondere den Lotsen, bestätigten, dass solche potentiellen Interaktionszeiten in der Realität infolge von Absprachen durch Geschwindigkeitsanpassungen oder Passierreihenfolgen oder geplanten Begegnungen bzw. Überholungen kompensiert werden.

Wie im Kapitel 3.2. - *Verkehrsdurchführung* beschrieben, handelt es sich dabei um die originäre Tätigkeit der an den Verkehren und der Kommunikation über die Verkehre beteiligten Personen und Institutionen.

## 7.2. Diskussion der Ergebnisse der Simulation existierender Sonderverkehre

Die beschriebene Untersuchung ist eine größenordnungsmäßige Annäherung.

Es können einerseits nur potentielle Interaktionskontakte und potentielle Interaktionszeiten mit Verkehren gezählt werden, die sich zeitlich dem simulierten Sonderverkehr nachgeordnet haben, weil der Sonderverkehr zeitlich nach hinten verschoben wurde. Verkehre, die vorgezogen wurden oder denen sich der Sonderverkehr in den Verkehrsdaten nachgeordnet hatte, werden nicht ‚getroffen‘.

Andererseits gibt es potentielle Interaktionskontakte mit Verkehren, die möglicherweise gar nicht angepasst werden mussten, weil sie zeitlich ausreichend Abstand zum simulierten Sonderverkehr hatten. Um eine noch genauere Aussage der wahrscheinlichen Verteilung von potentiellen Interaktionskontakten und potentiellen Interaktionszeiten zu bekommen, können die SondExe z.B. im Halbstundenraster in beide Richtungen zeitlich verschoben werden. Das wurde im vorliegenden Fall zur Aufwandsbegrenzung für nicht notwendig erachtet.

In der Summe der 106 Simulationen wird es zwischen diesen gegenläufigen Ungenauigkeiten einen Ausgleich geben. Interessant ist aber in jedem Fall nur die Größenordnung, in der Messwerte auftreten. Sie sind, anders ausgedrückt, auch als Verkehrsdichtenindikator zu verstehen.

Diese Verkehrsdichte wird, durch das gewählte Verfahren mit Sonderverkehren, jedenfalls im oberen Bereich des Revierüblichen liegen. Die Sonderverkehre sind im allgemeinen tiefgangbehindert, das heißt sie haben meist große Tiefgänge und müssen zu den Hochwasserzeiten fahren, die aus genau diesem Grund allgemein eine hohe Verkehrsdichte aufweisen.

Die Ergebniswerte sind sehr gleichmäßig verteilt und entsprechen größenordnungsmäßig den Schätzungen der befragten Revierexperten.

Es wurde ein aussagekräftiges Instrument gefunden um die übliche Verkehrsabstimmungsleistung zumindest für große – und in diesem Fall der Sonderverkehre schlecht manövrierende – Fahrzeuge quantitativ zu bemessen. Dadurch, dass die Bemessung im gleichen Simulationsprogramm mit identischen Messwerten erfolgte, ist eine direkte Vergleichbarkeit mit den Simulationsergebnissen der WKA-Transporte axiomatisch gegeben und mithin deren Bewertbarkeit.

Die von dem SondEx-Simulationsmodul anhand der genehmigungspflichtigen Schiffsabmessungen erkannten 106 auslaufenden genehmigungspflichtigen Verkehre entsprechen nur einem Viertel der Anzahl Sonderverkehre, die im Gutachten des Nautisches Büros Bremen aus 2011 anhand von erteilten Sondergenehmigungen und einem Abgleich der Hauptdaten dieser Genehmigungen mit denselben Verkehrsdaten ermittelt wurden (siehe dortselbst, Seite 14).

Die Differenz ist teilweise darauf zurückzuführen, dass im vorliegenden Fall nur auslaufende Sonderverkehre berücksichtigt werden. Nur diese sind im Fahrverhalten und dem Einfluss auf das Revier mit den WKA-Transporten vergleichbar. Weitere Unterschiede in der Erkennung liegen in einer etwas großzügigeren Auslegung der Grenzwerte für die Genehmigungspflicht und einer genaueren Erfassung der dieser Grenzwerte nach Ziel- und Abgangshafen in dem Simulationsmodul.

## 7.3. Diskussion der Ergebnisse der Plausibilitätskontrolle

### 7.3.1. Interpretation der Plausibilitätskontrolle

Die Zeitfenster beziehen sich auf mögliche Abfahrtszeiträume für WKA-Transporte vom OTB für eine freie Revierpassage. Die notwendige Dauer der Revierpassage berücksichtigt auch die Tidengeschwindigkeit.

Die Zeitfenster bedeuten nicht, dass der WKA-Transport innerhalb der Länge der Zeitfenster das Revier passiert haben muss. Sie bedeuten auch nicht, dass das Revier für die Länge der Zeitfenster komplett frei von relevanten Verkehren ist. Anschaulich beschrieben, gibt es in den aufgezeichneten Verkehrsdaten für jede WKA-Transport Abfahrt innerhalb der Zeitfenster keine schnelleren auslaufenden Schiffe hinter dem WKA-Transport (Überholer) und für die errechnete Dauer der Passage durch den begegnungsbeschränkten Bereich bis ca. Weser-km 90 keine entgegenkommenden Schiffe

### 7.3.2. Gegenüberstellung Berechnungsergebnisse Fraunhofer-CML und Simulation

Das Ergebnis der analytischen Berechnung der Nullfenster sind die Zeitangaben dieser Fenster nach zeitlicher Länge und Häufigkeit.

Die analytische Untersuchung der Verkehrsdatensätze aus 2008, die das Fraunhofer-CML im Auftrag des NBB durchführte, ergab 1.364 Nullfenster zwischen 10 Minuten und 5 Stunden Länge, davon über die Hälfte zu relevanten Gezeiten.

Das Ergebnis der Simulation ist, in Bezug auf die Nullfensterfragestellung, die Anzahl kontaktfrei verlaufener WKA-Transportsimulationen. Die Simulationsläufe sind im Zehnminutentakt durchgeführt und folgerichtig entspricht je ein zehnminütiges Nullfenster einem begegnungsfrei simulierten WKA-Transport.

Mit der zehnminütigen Abfahrtsfrequenz der WKA-Transporte in der Simulation entsprechen die gesamten errechneten Zeitfenster einem Vergleichswert von mehr als fünfeinhalb Tausend begegnungsfrei durchgeführten WKA-Transport-Simulationen. Zur Erläuterung dieses Zusammenhangs ist unten das Diagramm der Anlage in reduzierter Größe wiedergegeben:

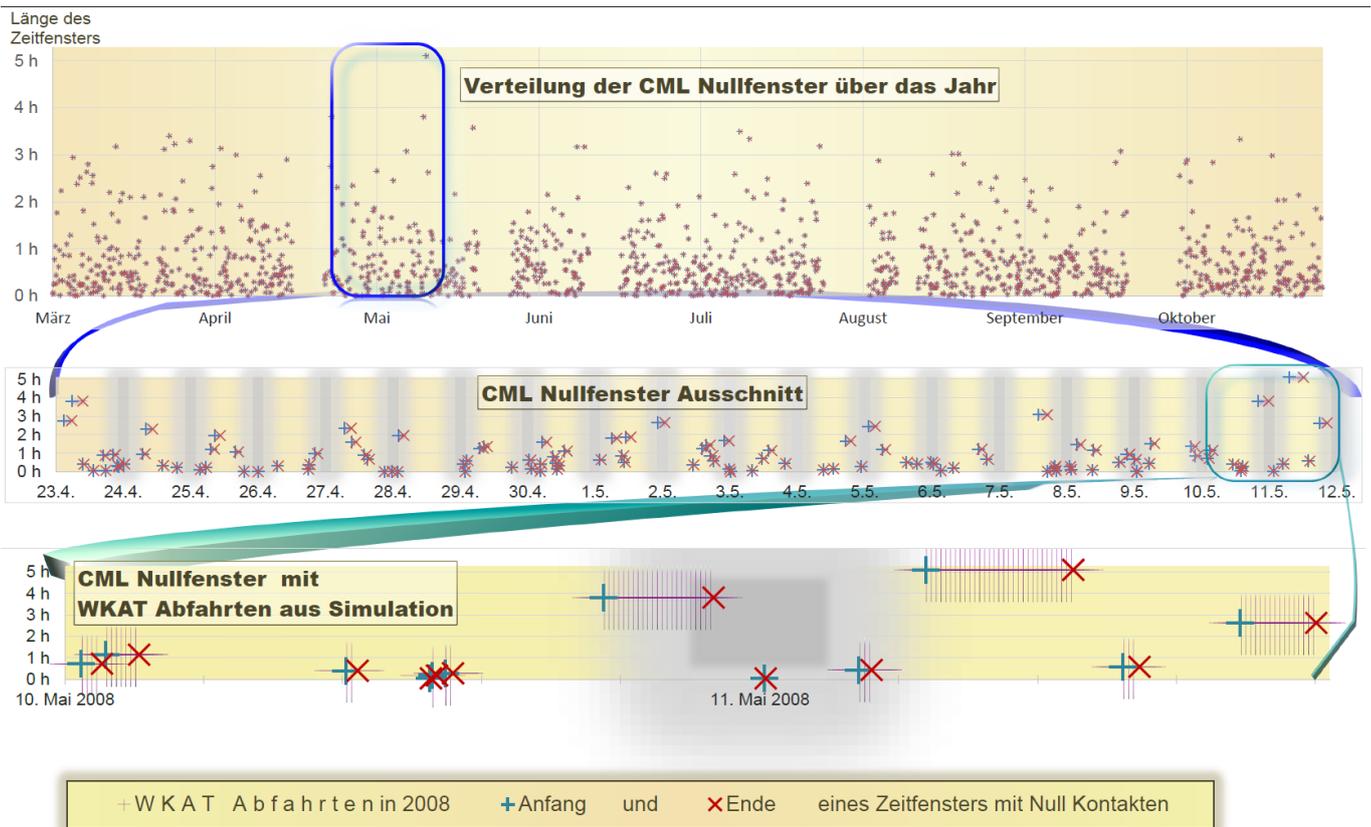


Abbildung 10: Fraunhofer-CML Nullfenster und WKAT Abfahrten gemäß Anlage 6.1

Bei der Fraunhofer CML-Berechnung wurden keine Sonnenzeiten berücksichtigt. Unter gleichen Voraussetzungen, das heißt ohne Berücksichtigung des Tageslichtkriteriums, beträgt die Anzahl der zu auflagenrelevanten Gezeiten durchgeführten Simulationen 3.537. Das entspricht genau den 62 % der Fraunhofer CML-Nullfenster bei diesen Gezeiten.

Dies gilt für die Simulation mit Verkehrsdaten, wie sie durch das Fraunhofer CML in Bezug auf die Schiffsgeschwindigkeiten der existierenden Verkehre interpretiert wurden.

Bei der Simulation der Fraunhofer CML-Nullfensterzeiten in die Verkehrsdaten mit angepassten Geschwindigkeitsprofilen, ergibt sich die Verteilung der Aufstellung in Teil 3, Absatz 5.2, die mit 29 % Versuchserfolg bei üblicher Verkehrsabstimmungsleistung nur knapp 10 % über den 12 kn WKA-Transport Simulationen liegt.

Hieran ist erkennbar, wie groß die Einflüsse von Veränderungen in den Ausgangsparametern auf das Ergebnis, durch die Sicherheitsfunktionen, Fahrprofilautomationen usw. des Simulationsalgorithmus sind.

### 7.3.3 Gegenüberstellung Methodik Fraunhofer CML-Berechnung und Simulation

Bei der Simulation geht der Ansatz von den WKA-Transporten aus. Diese werden in einem Serienversuch durch die aufgezeichneten Verkehre simuliert und die in ‚Echtzeit‘ entstehenden Werte gemessen. Es sind demnach empirisch ermittelte Ergebnisse.

Durch die Aufgabenstellung des Fraunhofer CML wurde in einem umgekehrten Ansatz einerseits von den aufgezeichneten Verkehren ausgegangen, und diese demnach vollständig berücksichtigt, und zum anderen eine analytische Berechnung als Methode angewandt. Damit ist die empirische Simulation mit einer analytischen Berechnung abgesichert.

Der erzielte Prüfwert ist die Anzahl und Länge von Nullfenstern, also von Zeitfenstern ohne Begegnungen des WKA-Transport mit relevanten Verkehren. Wichtigstes Unterscheidungsmerkmal der Nullfensterzählung zur Simulation ist die sehr vereinfachte Annahme der geraden Fahrlinien aus den Radardaten gegenüber der mittlerweile komplexen Fahrprofile aller Verkehre in der Simulation. Hier sind es besonders die Hafenmanöver und die interaktiven Geschwindigkeitsanpassungen aller Verkehre, die in der Simulation mit den dynamischen Verkehrsdaten zu einer geringeren Anzahl von Nullfenstern führen.

Diese führen also qualitativ zu einer erwartungsgemäß geringeren Anzahl von Nullfenstern. Die Aussagen sind also konservativer und sicherer.

Damit ist deutlich, dass der Simulationsansatz die in der Wirklichkeit im schlechtesten Fall von der Verkehrslage her mindestens zu erzielenden WKA-Transporte ergeben hat.

## 7.4. Kritik der Ergebnisqualitäten

### 7.4.1. Ergebnisqualität der nautischen Grundlagen (Kapitel 3)

Als erfahrener Nautiker und ehemaliger Hafenlotse sind die Revierkenntnis und insbesondere die tägliche Routine der Verkehrsabläufe jeglicher Art den Unterzeichnern vertraut. Zur Absicherung der gutachterlichen Aussagen und im Sinne einer möglichst breiten Basis für das vorliegende Gutachten, wurden die behandelten Fragen in Arbeitsgruppen mit anderen aktiven Verkehrsbeteiligten und sonstigen nautischen Experten diskutiert.

### 7.4.2. Ergebnisqualität der Recherche zu Errichterschiffen (Teil 2)

Der Ansatz Erfahrungsberichte und Leistungsdaten von allen Marktbeteiligten zu erfragen, konnte durch die sehr gute Resonanz der angefragten Kontakte aktiv und maßgeblich beteiligter Akteure der mit Herstellung und Transport von Offshore Windkraft Anlagen, -Parks, und Schiffseinheiten befassten Wirtschaftszweige zufriedenstellend umgesetzt werden.

Die zusammengestellten Daten sind kongruent. Zwischen Herstellern, Anbietern und Nutzern der Transporteinheiten gab es keine signifikanten Abweichungen der Angaben. Insgesamt war eine eher zurückhaltende Stimmung bei der Angabe von Leistungsdaten zu verzeichnen um sicher zu gehen, die Angaben auch unter allen Umständen (auch administrativen Restriktionen) erfüllen zu können.

Beispielsweise führt bei den großen Völligkeiten dieser untersuchten Schiffstypen (Errichterschiffe) weniger Tiefgang zu einem deutlich geringeren Wasserwiderstand, so dass davon auszugehen ist, dass bei der Teilbeladung durch die relativ leichten liegenden Sterne hydrodynamisch höhere Geschwindigkeiten als die Entwurfsgeschwindigkeiten bei Entwurfstiefgang erreicht werden können. Es wurden von den Befragten durchweg die letztgenannten, niedrigen Entwurfsgeschwindigkeiten als anzunehmende Fahrtgeschwindigkeit angegeben.

Nach dieser Einschätzung besteht an der sicheren Erreichbarkeit der erfragten Fahrgeschwindigkeiten, Jacking- und Manövriereigenschaften von gutachterlicher Seite kein Zweifel.

### 7.4.3. Ergebnisqualität von Simulation und Auswertung (Teile 3 und 4)

Für die Bewertung der Ergebnisqualität der Simulation ist von übergeordneter Bedeutung, dass es sich hier nicht um eine statistische Untersuchung handelt. Das heißt, es wird nicht aus einer üblichen oder exemplarischen Anzahl Schiffsverkehre im Untersuchungszeitraum und deren Verweildauer im Revier auf z.B. eine Verkehrsdichte geschlossen und damit eine Ergebnismwahrscheinlichkeit ermittelt oder diese aus anderen ähnlichen, bekannten Fällen abgeleitet.

Im Gegensatz zu solch statistischem Vorgehen handelt es sich bei der Simulation um einen virtuellen Serienversuch. Mit den jeweils 35.161 bis 35.400 Versuchsdurchläufen pro Simulation liegt dabei eine deutlich repräsentative Anzahl von Versuchswiederholungen vor.

Daraus folgt, dass die Versuchsergebnisse als Messwerte zu behandeln sind und sich entsprechend hinsichtlich ihrer Aussagequalität deutlich positiv von statistischen Näherungen und Ableitungen absetzen.

Als einfaches Beispiel sei die Auswertung der Umweltbedingungen angeführt. Bei einem statistischen Vorgehen würde beispielsweise anhand der Verkehrsverteilungen bei Tag und bei Nacht und anhand der fahrrinnenabhängigen Tiefgänger bei Hochwasser ein der Verkehrsverteilung entsprechender Anteil von Nullfenstern auf die Tages- und Hochwasserzeit angerechnet werden. Tatsächlich werden aber von der Simulation die wirklich vorliegenden Tages- und Tidenzeiten für jeden Datensatz aufgenommen, so dass die echte Verteilung der Nullfenster auf diese Zeiten Teil der Messwerte ist.

Zu diesem empirischen Ansatz aus Versuchen gewonnener Messwerte ist die ideale Ergänzung ein analytischer Ansatz der Prüfgrenzwerte errechnet. Eine solche Berechnung wurde durchgeführt und die Übereinstimmung mit der empirischen Simulation mit als Deckungsgleichheit zu bezeichnender Genauigkeit.

Die hier durchgeführten und ausgewerteten Simulationen setzen sich in Bezug auf Repräsentativität auch von den Stichprobenversuchen der bisherigen Simulationen des Nautischen Büros Bremen ab, wie sie für das Gutachten aus 2011 durchgeführt wurden.

Über die Repräsentativität hinaus zeichnet sich die erweiterte Simulation vor allem in der erreichten Abbildungsgenauigkeit der Verkehrsabläufe aus.

In der vorliegenden Ausführung wurde der Simulationsversuch einem physikalischen Versuch mit der Großausführung, sprich der Fahrt mit dem Errichterschiffen durch den Revierverkehr, stark angeglichen.

Damit wurden alle Ergebnisse der vom Nautischen Büro Bremen initiierten kritischen Diskussionen mit verschiedenen Verkehrsexperten so umgesetzt, dass auch hier eine allgemeine Sachstandsbasis Grundlage der Simulation ist. Zu den Experten zählte auch das Fraunhofer Centrum für maritime Logistik und eingeflossen sind die Diskussionsergebnisse in die Detaillierung der Hafenzonen, der An- und Ablegesituationen, der Modellierung der existierenden und der WKA-Transport Verkehre, der Sicherheitsabstände usw. für die Umsetzung in der Simulation.

Die umgesetzten quasi-intelligenten Fahrprofilautomationen und die astronomische Datengrundlage für Gezeiten und Tageslicht haben aus dem zur Verfügung gestellten Datenmaterial eine realitätsnahe Verkehrssituation erzeugt. Verbleibende Ungenauigkeiten gleichen sich durch die hohe Versuchsanzahl aus.

Die Untersuchung der Auswirkungen möglicher Varianzen der Simulationsbedingungen ergab, dass keine einzelne Varianz einen besonderen Ausschlag bei den Ergebnissen ergab. Entsprechend besteht einerseits kein Anlass eine Annahme in Frage zu stellen, und andererseits mit den aufgespannten Ergebnisräumen eine besonders hohe Abbildungswahrscheinlichkeit.

Die umfangreich erweiterte visuelle Darstellung schließlich ermöglicht die visuelle Kontrolle der simulierten Abläufe und birgt weiteres Potential für das Verständnis der Abläufe im Revierverkehr und auch für die allgemeine Transportplanung.

Die vorgestellten Ergebniszahlen sind Summen, Zählungen und teilweise statistische Rechengrößen wie Minimalwerte, Maximalwerte, und Mittelwerte. Hierbei handelt es sich um eine deskriptive Statistik also eine rechnerische Zusammenfassung der Messwerte der Versuchsergebnisse.

Programmtechnisch begründete Fehlerquellen wie Resonanzeffekte sich gegenseitig behindernder Fahrzeuge, die unrealistisch hohe oder unendliche Interaktionszeiten erzeugt haben, konnten programmieretechnisch bis zu einem Maß reduziert werden, das die ‚Lebendigkeit‘ der interaktiven Verkehrsabläufe nicht einschränkt. Versuchsdurchläufe mit unrealistisch hohen Interaktionszeiten kommen in Ermangelung tatsächlicher menschlicher Abstimmungsinteraktion weiterhin vor.

## 7.5. Sicherheiten des Untersuchungsprozesses

Die an mehreren relevanten Stellen des Gutachtens beschriebenen konservativen Ansätze sind hier zusammengefasst aufgeführt.

Es wurde von einem Transportzeitraum von März bis Oktober ausgegangen. Tatsächlich sind WKA-Transporte auch in anderen Monaten bereits geplant und werden auch durchgeführt. Eine Ausweitung des Untersuchungszeitraums würde eine höhere Anzahl von möglichen Zeitfenstern ergeben.

Es wurde von 53 Transporten bei drei montierten Rotorsternen je Transport ausgegangen. Bei einer höheren Anzahl von Rotorsternen pro Transport reduziert sich die Anzahl der notwendigen Transporte und Relation zu den zur Verfügung stehenden Zeitfenstern wird günstiger.

Die Ablegebedingungen der WKA-Transporte in der Simulation, so komfortabel sie gestaltet sind, sind nicht die Bedingungen, in denen ein WKA-Transport in der Realität ablegt. In der Realität legt der WKA-Transport erst ab, wenn die Revierverkehre, unter anderem infolge der unterschiedlichen Abstimmungsleistungen der Verkehrsbeteiligten, eine ungehinderte Fahrt des WKA-Transport durch den begegnungsbeschränkten Revierbereich erlauben. Dem geht, wie im ersten Teil beschrieben, eine lange Phase von intensiven Vorbereitungen, Planungen, Informations- und Abspracheaktivitäten voraus. In der Simulation dagegen ‚meldet‘ sich der WKA-Transport ‚spontan an‘ und beginnt dann bei sicheren Bedingungen seine Simulationsfahrt. In der Realität kommt also noch ein großer Planungsvorlauf hinzu, der in der Simulation nicht abgebildet werden kann und als deutliche zusätzliche Sicherheit zu werten ist.

Die Bandbreite der aufgespannten Ergebnisräume durch die simulierten Varianten hat die Ergebnissicherheit weiter erhöht. Auch Zahlenmäßig ergaben sich hier teilweise überraschende zusätzliche Sicherheiten. Beispielsweise wurden nach Einführung einer Mindestgeschwindigkeit für große Schiffe von 4 kn weniger Nullfenster gemessen obwohl die von dieser Anpassung betroffenen Schiffe dadurch kürzer im Revier sind und sich besser den WKA-Transport Geschwindigkeiten anpassen.

In der großen Anzahl von Messwerten sind mangels menschlicher Abstimmungsleistung immer noch Ausreißerwerte enthalten. Die als Ergebnisse verwendeten Mittelwerte und Anteilswerte sind nicht von diesen Ausreißern bereinigt. Entsprechend erhöhen diese Ausreißerwerte die Mittelwerte etwas in eine unrealistisch ungünstige Richtung. Diese ist mithin eine Sicherheit in den Ergebniswerten.

Bei der Auswertung der Simulation der Fraunhofer CML-Nullfenster in den Fraunhofer CML-Verkehrsparametern sind alle auslaufenden Verkehre ohne potentielle Interaktionskontakte und potentielle Interaktionszeiten. Das entspricht der Berechnungssystematik der Zeitfenster ohne einlaufende Verkehre im Begegnungsbeschränkten Bereich. Potentielle Interaktionskontakte und potentielle Interaktionszeiten werden aber mit auslaufenden Verkehren gemessen wo bei der Fraunhofer CML-Berechnung mit konstanten Geschwindigkeiten keine sind. Die Erstgenannten Messwerte sind also ein Maß für die Sicherheiten der dynamischen Fahrprofile auslaufender Verkehre (z.B. der Hafenzone mit Sicherheitsgeschwindigkeit und der Sicherheitsabstände).

Noch deutlicher ist der Einfluss der interaktiven dynamischen Fahrprofile beim Vergleich mit der Simulation der Fraunhofer-CML-Nullfenster im üblichen Verkehrsdatensatz. Hier werden nur noch knapp 30 % Nullfenster gemessen.

Entsprechend der bisher benannten Vorschriftenlage, bzw. Auflagen wurde der gesamte Bereich bis Robbennordsteert als Begegnungsverbotsbereich behandelt. Hinzu kommen die Sicherheitsbedingungen des von allen relevanten Verkehren freien erweiterten Hafenbereichs. Hierin liegt ein Konservatismus, der mit zunehmender Erfahrung mit den WKA-Transporten z.B. anlässlich der besonderen Manövrierfähigkeiten der Errichterschiffe genauso wie die Gezeiten- und Tageslichtauflagen möglicherweise gelockert werden kann und zur Erweiterung der Abfahrtmöglichkeiten führen kann. Wie sich dies zahlenmäßig für den Fall der Beschränkung der Begegnungsverbote auf fahrinnenabhängige Verkehre oder die Ausweitung von Gezeiten- und Tageslichtphasen auswirkt ist bereits in den Ergebnisdarstellungen aufgeführt.

Die tatsächlichen Tageslichtzeiten sind – inklusive der Dämmerung – länger als in der Simulation betrachtet. Tatsächlich liegt also ein größerer Teil von Zeitfenstern im Tageslichtzeitraum als hier berücksichtigt.

Das Diagramm nennt jeweils gerundete relevante Werte.

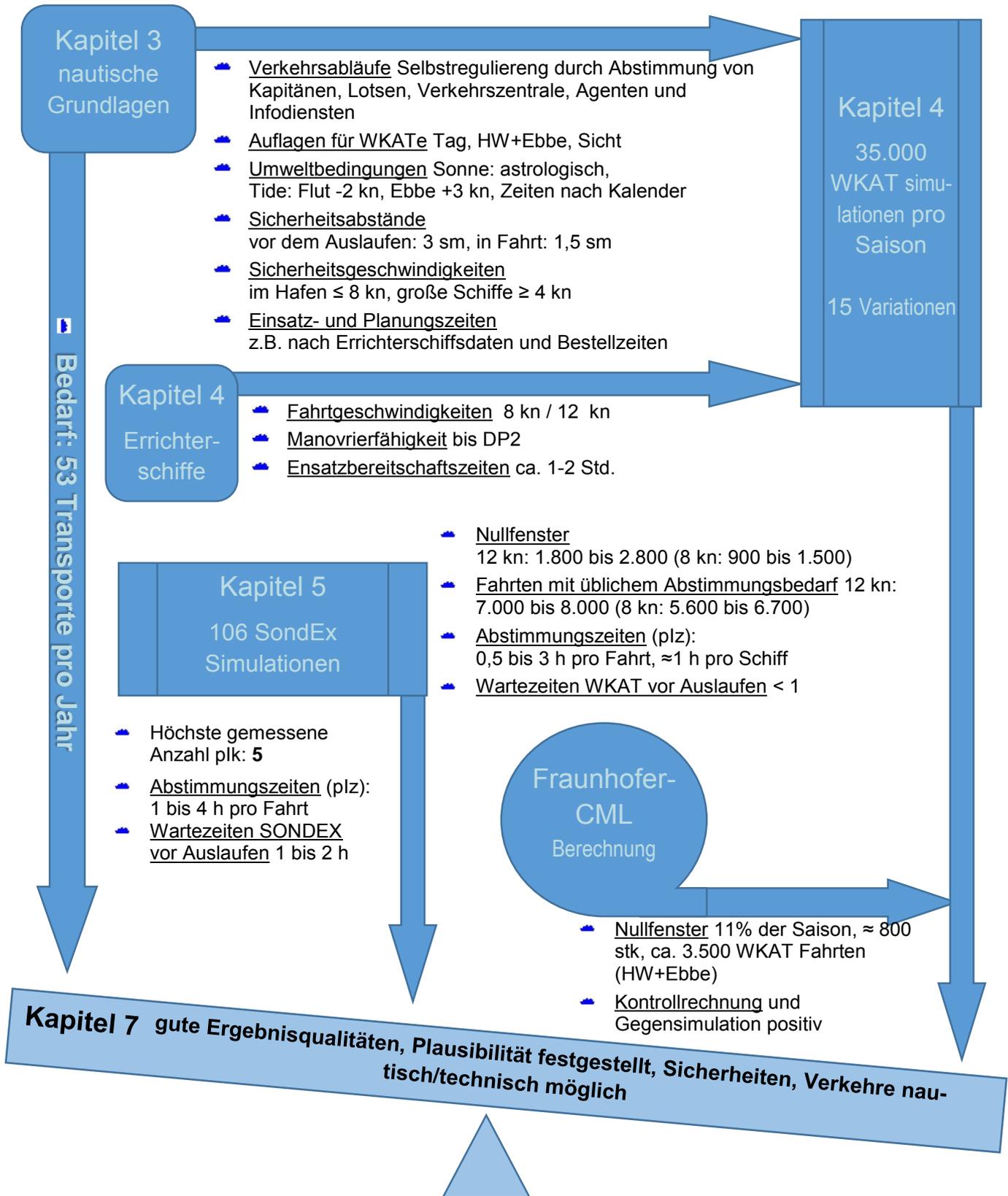


Abbildung 11:Ergebnisdiagramm

Dieses Gutachten wurde im Auftrag von Fa. bremenports GmbH & Co KG erstellt. Es basiert auf vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Informationen und allgemeinen nautischen Kenntnissen.

Der Unterzeichner zeichnet sich frei von verdeckten Mängeln, Fehlern, Übermittlungsfehlern und Übersehenem und sonstigen Schäden durch Vorgenanntes. Haftungen oder juristische Verantwortung beschränken sich auf eine schriftliche Korrektur der ggf. fehlerhaften Passagen dieses Gutachtens.

Dipl. Ing. Frank Borsbach  
Bremen, den 10.03.2015

Kapt. Matthias Meyer

## ANLAGEN

- 0 Beschreibung der Anlagen zum Gutachten
- 1 Fraunhofer CML Bericht
- 2 Umfrageergebnisse zu Transportfahrzeugen für WKA-Transporte
- 3 Ergebnistabellen und Diagramme der WKA-Transport Simulationen
- 4 Ergebnistabellen und Diagramme der Simulationen existierender Sonderverkehre
- 5 Ergebnistabellen und Diagramme der Simulationen von WKA-Transporten zu berechneten Nullfenstern
- 5.1 Vergleichende Darstellung Fraunhofer-CML-Nullfenster und WKAT Abfahrten
- 6 Vergleichende Tabellen und Diagramme aller Simulationen
- 7 Screenshots und Videosequenzen der Simulationen
- 7.1 Screenshots und Videosequenzen der Simulation von WKA-Transporten
- 7.2 Screenshots und Videosequenzen der Simulation von existierenden Sonderverkehren
- 7.3 Screenshots und Videosequenzen der Simulation von WKA-Transporten zu berechneten Nullfensterzeiten