

Femern Bælt A/S
Fehmarnbelt Fixed Link / Feste Fehmarnbeltquerung
Navigational Studies of Vessel Traffic Conditions in the Fehmarnbelt /
Zusammenfassung der Studien zur Seeschifffahrt des Fehmarnbelts

February, 2012 / Februar 2012

FEMERNBELT FIXED LINK
SUMMARY OF NAVIGATIONAL STUDIES
BRIDGE / ZUSAMMENFASSUNG DER
NAVIGATIONSSTUDIEN BRÜCKE



**SUMMARY OF NAVIGATIONAL STUDIES BRIDGE /
ZUSAMMENFASSUNG DER NAVIGATIONSTUDIEN
BRÜCKE**

Index **4**
Datum **23/02/2012**
Aufgestellt von **FMR/APE/LNA**
Geprüft von **TCO**
Genehmigt **Finn Mølsted Rasmussen**

gez. Finn Mølsted Rasmussen

01.10.2013

Ref R-6681020-019-4

Revision	Date	Made by	Checked by	Approved by	Description
1	28/01/11	FMR	SAT	FMR	Final draft
2	24/06/11	FMR	SAT	FMR	Final
3	10/02/12	FMR/ APE/LNA	TCO	FMR	German translation for validation
4	23/02/12	FMR/ APE/LNA	TCO	FMR	Final German/English

TABLE OF CONTENTS / INHALTSVERZEICHNIS

1. Introduction	1	1. Einleitung	1
2. List of terms	3	2. Begriffserklärungen	3
3. Organisation	4	3. Organisation	4
4. Project definition	6	4. Projektdefinition	6
5. Existing vessel traffic	9	5. Bestehender Schiffsverkehr	9
6. Traffic forecast	11	6. Verkehrsprognose	11
7. Formal safety assessment	13	7. Formal Safety Assessment	13
7.1 Hazard identification	14	7.1 Gefährdungsermittlung	14
7.2 Risk assessment	14	7.2 Risikobewertung	14
7.3 Risk control options	16	7.3 Optionen zur Risikoverminderung	16
7.4 Cost-benefit assessment	17	7.4 Kosten-Nutzen-Bewertung	17
8. Traffic flow assessment	18	8. Traffic Flow Assessment	18
8.1 Safety ellipse	18	8.1 Sicherheits-Ellipse	18
8.2 Free flow	19	8.2 Freier Verkehrsfluss	19
8.3 Behaviour of ships without free flow	21	8.3 Das Verhalten der Schiffe ohne freien Verkehrsfluss	21
9. Real-time simulations	22	9. Real-Time Simulationen	22
10. Decision basis	27	10. Entscheidungsgrundlage	27

1. INTRODUCTION

Rambøll Arup Dorsch Joint Venture is on behalf of Femern Bælt A/S carrying out navigational studies of the vessel traffic conditions in the Fehmarnbelt.

Femern Bælt A/S, a subsidiary of Sund & Bælt A/S, is responsible for the preparatory activities for the establishment of a Fehmarnbelt fixed link. Rambøll Arup Dorsch Joint Venture consists of Rambøll Danmark A/S, Ove Arup & Partners Ltd. and Dorsch Consult Verkehr und Infrastruktur GmbH with Force Technology and Rambøll Management A/S as sub consultants.

The objective of the navigational studies is to deliver the optimum decision basis for the authorities' evaluation of marine safety and navigational arrangements. The focus will be on documenting safety and efficiency for the vessel traffic when a fixed link is crossing the Fehmarnbelt.

The decision basis stands on three legs; the "Formal Safety Assessment", the "Traffic Flow Assessment" and the "Real-time Simulations". The common basis for all analyses is the "Project Definition", the "Analysis of Existing Vessel Traffic" and the "Traffic Forecast 2030".

1. EINLEITUNG

Im Auftrag der Femern A/S ist Rambøll Arup Dorsch Joint Venture mit der Aufgabe betraut, Navigationsstudien der Schiffsverkehrsverhältnisse des Fehmarnbelts durchzuführen.

Die Femern A/S ist Teil der staatlichen dänischen Sund & Bælt A/S und für die ersten Aktivitäten zur Errichtung einer festen Fehmarnbeltquerung verantwortlich. Rambøll Arup Dorsch Joint Venture besteht aus Rambøll Danmark A/S, Ove Arup & Partners Ltd. und Dorsch Consult Verkehr und Infrastruktur GmbH mit Force Technology und Rambøll Management A/S als Unterberater.

Ziel der Navigationsstudien ist es, den Behörden für die Bewertung der Seeverkehrssicherheit und der Navigationssysteme die optimale Entscheidungsgrundlage zu bieten. Im Fokus stehen die Dokumentation der Sicherheit und die Effektivität des Schiffsverkehrs bei einer festen Querung des Fehmarnbelts.

Die Entscheidungsgrundlage basiert auf drei Methoden: „*Formal Safety Assessment*“ (FSA), „*Traffic Flow Assessment*“ und „*Real-Time Simulationen*“. Die gemeinsame Grundlage aller Analysen ist die „Projektdefinition“, die „Analyse des bestehenden Schiffsverkehrs“ und die „Verkehrsprognose 2030“.

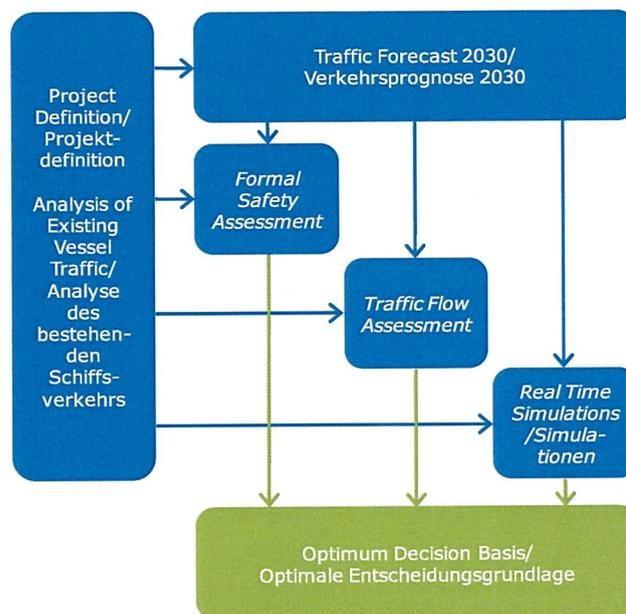


Figure 1-1 Elements in preparation of optimum decision basis.

Abbildung 1-1 Elemente zur Erstellung optimaler Entscheidungsgrundlage.

The results from the navigational studies form input to the decision basis. In case a bridge is crossing the Fehmarnbelt the input to the decision basis will relate to selection of fairway layout, bridge alignment, number and widths of navigation spans and the effect of introducing risk reduction measures (e.g. a ship reporting system). In case a tunnel is crossing the Fehmarnbelt the input to the decision basis will relate to selection of fairway layout, location of ventilation island and the effect of introducing risk reduction measures.

The present report summarises the results from the activities carried out in the navigational studies.

Die Ergebnisse der Navigationsstudien dienen als Input für die Entscheidungsgrundlage. Im Falle, dass eine Brücke den Fehmarnbelt quert, betrifft dies die Wahl von Auslegung des Fahrwassers, Brückentrasse, Anzahl und Breiten der Durchfahrtsbereiche und die Auswirkungen der Einführung risikomindernder Maßnahmen (z.B. eines Schiffsmeldesystems). Im Falle, dass ein Tunnel den Fehmarnbelt quert, betrifft dies die Wahl der Auslegung des Fahrwassers, Standort der Ventilationsinsel und die Auswirkungen der Einführung risikomindernder Maßnahmen.

Dieser Bericht fasst die Ergebnisse der Aktivitäten zusammen, die in Verbindung mit den Navigationsstudien durchgeführt wurden.

2. LIST OF TERMS

Formal Safety Assessment (FSA)

Real-time simulations

Traffic Flow Assessment

Traffic Separation Scheme (TSS)

Vessel Traffic Service (VTS)

2. BEGRIFFSERKLÄRUNGEN

Formal Safety Assessment (FSA) (formalisierte Sicherheitsbewertung)

Real-Time Simulationen (Echtzeit-Simulationen)

Traffic Flow Assessment (Verkehrsfluss-Bewertung)

TSS (Verkehrstrennungssystem)

VTS (Schiffsverkehrsdienste)

3. ORGANISATION

The organisation in the project is shown in the figure below.

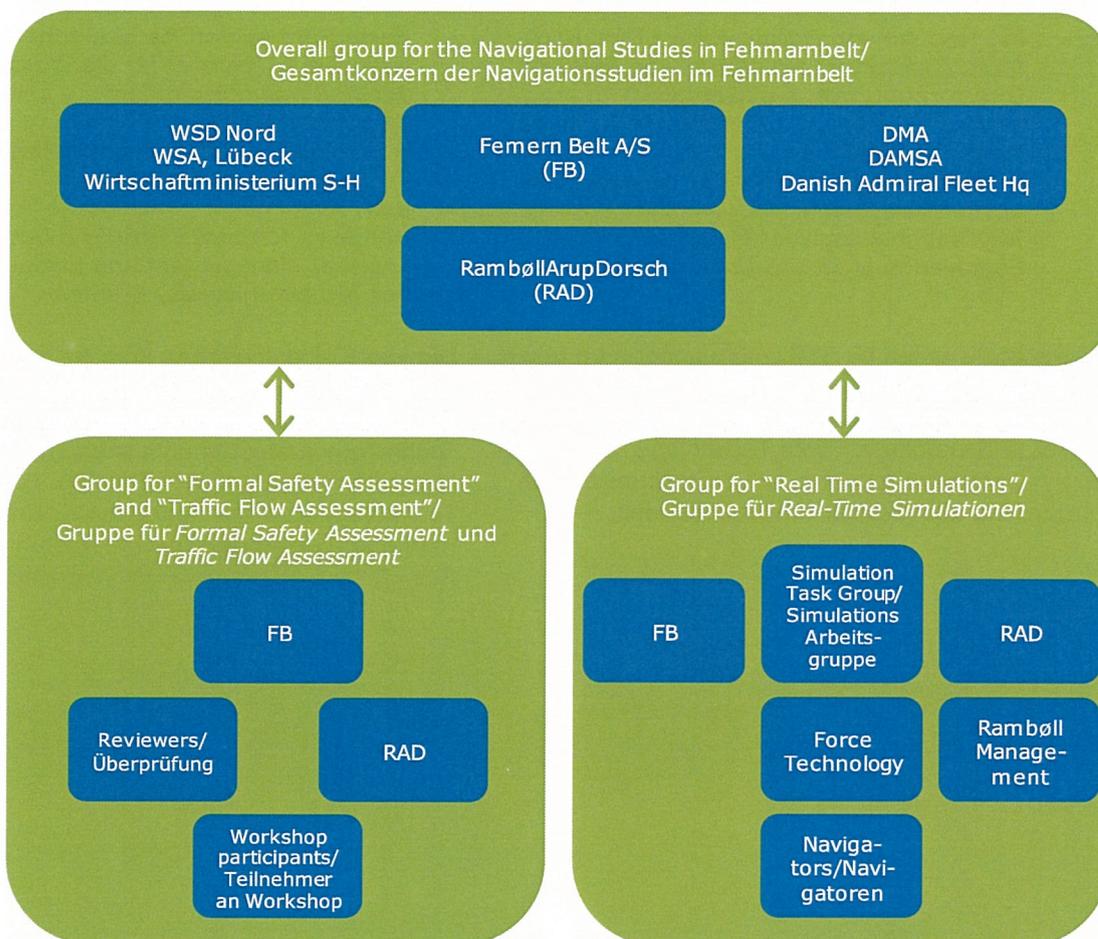


Figure 3-1 Organisation of navigational studies.

The group for "Formal Safety Assessment" and "Traffic Flow Assessment" is also responsible for the "Analysis of Existing Vessel Traffic" and the "Traffic Forecast". All studies are being carried out by RAD. These studies are continuously reviewed by:

- Prof. Jens Froese - Maritime Logistics/ISSUS at Hamburg Technical University (TUHH); International Logistics Management and Engineering at Jacobs University Bremen
- Prof. Preben Terndrup Pedersen - Department of Mechanical Engineering at Technical University of Denmark
- Prof. Peter Friis-Hansen - Department of Mechanical Engineering at Technical University of Denmark

3. ORGANISATION

Die Organisation des Projektes ist in der Abbildung unten illustriert.

Abbildung 3-1 Organisation der Navigationsstudien.

Die Gruppe für das „Formal Safety Assessment“ und das „Traffic Flow Assessment“ ist auch für die „Analyse des bestehenden Schiffsverkehrs“ und die „Verkehrsprognose“ verantwortlich. Alle Studien werden von RAD durchgeführt. Diese Studien werden ständig von den folgenden Personen überprüft:

- Prof. Jens Froese - Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH); International Logistics Management and Engineering an der Jacobs University Bremen
- Prof. Preben Terndrup Pedersen - Department of Mechanical Engineering an der Technischen Universität Dänemarks
- Prof. Peter Friis-Hansen - Department of Mechanical Engineering an der Technischen Universität Dänemarks

The group for "Real-time Simulations" has been formed with a dedicated Simulation Task Group (STG) – a group that is appointed by and communicates directly with the German (WSD Nord) and Danish authorities (DMA/DAMSA). STG consists of:

- Mr. Herman von Morgenstern - Dipl. Naut. Capt. (Consultant for Water- and Shipping Directorate North, Kiel/Germany)
- Mr Aron Sørensen - Chief Marine Technical Officer at BIMCO
- Prof. Jens Froese - Maritime Logistics/ISSUS at Hamburg Technical University (TUHH); International Logistics Management and Engineering at Jacobs University Bremen

Decisions taken by STG will in general be taken at meetings based on supporting material provided by FB, RAD, Rambøll Management and Force Technology. Force Technology supported by captains, pilots, etc. will be responsible for carrying out the real-time simulations.

Die Gruppe für die „*Real-Time Simulationen*“ umfasst eine Simulations-Arbeitsgruppe (STG) – eine von den deutschen (WSD Nord) und den dänischen (DMA/DAMSA) Behörden ausgewählte Gruppe mit direktem Kontakt hierzu. Die STG besteht aus:

- Herrn Herman von Morgenstern - Dipl. Naut. Capt. (Berater für die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord, Kiel/Deutschland)
- Herrn Aron Sørensen - Chief Marine Technical Officer an BIMCO
- Prof. Jens Froese - Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH); International Logistics Management and Engineering an der Jacobs University Bremen

Die von STG getroffenen Entscheidungen werden normalerweise auf der Basis des von FB, RAD, Rambøll Management und Force Technology erstellten unterstützenden Materials auf Sitzungen getroffen. Force Technology wird mit der Unterstützung der Kapitäne, Lotsen usw. für die Ausführung der *Real-Time Simulationen* verantwortlich sein.

4. PROJECT DEFINITION

The navigational studies comprise analysis of traffic behaviour and ship accidents in the Fehmarnbelt area. Focus is on the sailing routes close to the alignment of the fixed link: Route "T", "Rødby-Puttgarden" route (ferry), route "H", route "T-DW" (deep water route between Fehmarnbelt and Great Belt) and "Kiel-Ostsee" route. Limits for the investigated area are indicated in Figure 4.1.

4. PROJEKTDEFINITION

Die Navigationsstudien umfassen Analyse des Verkehrsverhaltens und der Schiffsunfälle im Fehmarnbeltgebiet. Im Fokus stehen die Fahrtrouten nahe an der Trassenführung der festen Querung: T-Weg, "Rødby-Puttgarden"-Weg (Fähre), H-Weg, T-DW-Weg (Tiefwasserweg zwischen Fehmarn und dem Großen Belt) und "Kiel Ostsee"-Weg. Die Grenzen des untersuchten Gebietes sind in der Abbildung 4-1 illustriert.

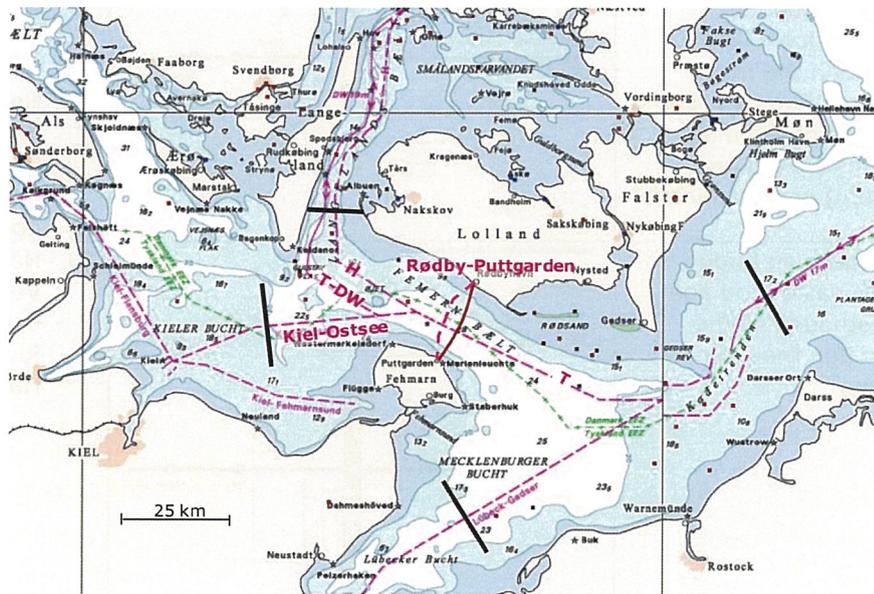
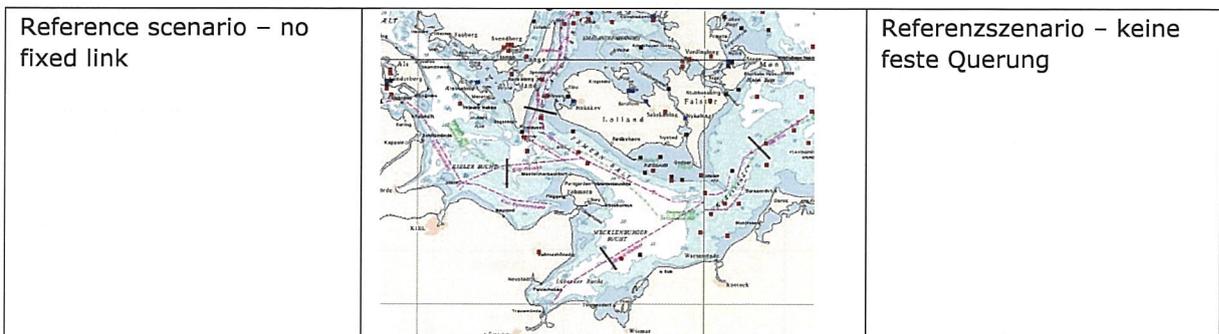


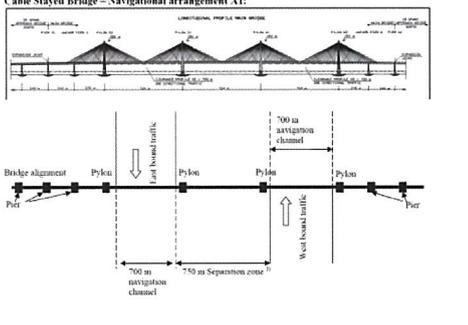
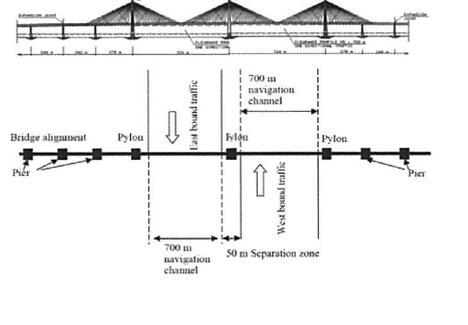
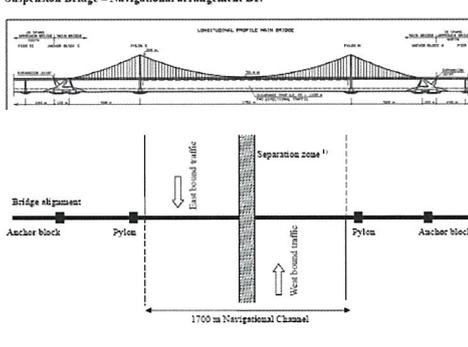
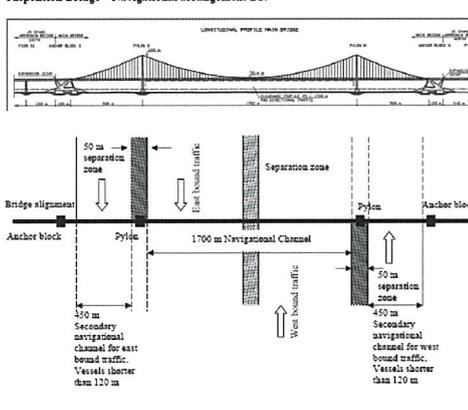
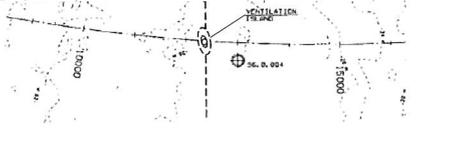
Figure 4-1 Sea area

Four baseline scenarios for a bridge crossing the Fehmarnbelt and four baseline scenarios for a tunnel crossing the Fehmarnbelt are included in the navigational studies and compared to a reference scenario without a fixed link.

Abbildung 4-1 Seegebiet

Die Navigationsstudien umfassen vier Basisszenarien einer Brücke und vier Basisszenarien eines Tunnels zur Querung des Fehmarnbelts, und werden mit einem Referenzszenario ohne feste Querung verglichen.



<p>A1 Cable stayed bridge with three main spans. One westbound and one eastbound navigational lane separated by the central span. Two different widths of the main spans (724m and 888m) are examined.</p>	<p>Cable Stayed Bridge – Navigational arrangement A1:</p>  <p>The diagram shows a bridge with three main spans supported by four piers. It includes a longitudinal profile view at the top. Below, a plan view shows the bridge alignment with piers and anchor blocks. Navigation channels are marked: a 700 m channel for westbound traffic and a 100 m channel for eastbound traffic. A 50 m separation zone is shown between the main spans.</p>	<p>A1 Schrägseilbrücke mit drei Hauptfeldern. Ein Verkehrsweg in westlicher Richtung und einer in östlicher Richtung durch das Mittelfeld getrennt. Zwei Breiten der Hauptfelder (724m und 888m) werden überprüft.</p>
<p>A2 Cable stayed bridge with two main spans. One westbound and one eastbound navigational lane through the main spans. Two different widths of the main spans (724m and 888m) are examined.</p>	<p>Cable Stayed Bridge – Navigational arrangement A2:</p>  <p>The diagram shows a bridge with two main spans supported by three piers. It includes a longitudinal profile view at the top. Below, a plan view shows the bridge alignment with piers and anchor blocks. Navigation channels are marked: a 700 m channel for westbound traffic and a 50 m channel for eastbound traffic. A 50 m separation zone is shown between the main spans.</p>	<p>A2 Schrägseilbrücke mit zwei Hauptfeldern. Ein Verkehrsweg in westlicher Richtung und einer in östlicher Richtung durch zwei Hauptfelder. Zwei Breiten der Hauptfelder (724m und 888m) werden überprüft.</p>
<p>B1 Suspension bridge with eastbound and westbound traffic through the main span.</p>	<p>Suspension Bridge – Navigational arrangement B1:</p>  <p>The diagram shows a suspension bridge with a single main span supported by two pylons and two anchor blocks. It includes a longitudinal profile view at the top. Below, a plan view shows the bridge alignment. A 1700 m navigational channel is shown, with a separation zone in the center. Eastbound traffic is on the left and westbound on the right.</p>	<p>B1 Hängebrücke mit Verkehr in östlicher und westlicher Richtung durch das Hauptfeld.</p>
<p>B2 Similar to baseline scenario B1 but with two additional secondary lanes through the side spans.</p>	<p>Suspension Bridge – Navigational arrangement B2:</p>  <p>The diagram shows a suspension bridge similar to B1 but with two secondary spans. It includes a longitudinal profile view at the top. Below, a plan view shows the bridge alignment with two pylons and two anchor blocks. A 1700 m navigational channel is shown. Two 450 m secondary navigational channels are added, one for eastbound traffic (shorter than 120 m) and one for westbound traffic (shorter than 120 m). A 50 m separation zone is shown between the main span and the secondary spans.</p>	<p>B2 Ähnlich des Basisszenarios B1 jedoch mit zwei zusätzlichen Nebenverkehrswegen durch die Seitenfelder.</p>
<p>T1 One ventilation island located as suggested in the feasibility study.</p>	 <p>The map shows a road layout with a 'VENTILATION ISLAND' located at a junction. A scale of 1:5000 is indicated. A north arrow is also present.</p>	<p>T1 Eine Ventilationsinsel mit Standort wie in der Machbarkeitsstudie vorgeschlagen.</p>
<p>T2 One ventilation island located on the centre line of route "T".</p>	 <p>The map shows a road layout with a 'VENTILATION ISLAND' located on the center line of a route labeled 'T'. A scale of 1:5000 is indicated. A north arrow is also present.</p>	<p>T2 Eine Ventilationsinsel mit Standort auf der Mittellinie des T-Weges.</p>

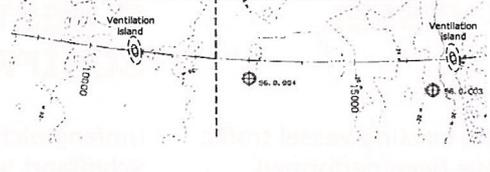
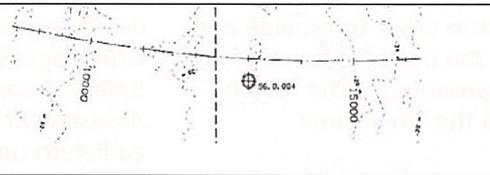
<p>T3 Two ventilation islands located in the third part points along the tunnel alignment.</p>		<p>T3 Zwei Ventilationsinseln mit Standort in den Drittelpunkten längs der Tunneltrasse.</p>
<p>T4 No ventilation island.</p>		<p>T4 Keine Ventilationsinsel.</p>

Figure 4-2 Reference scenario and baseline scenarios for a bridge or tunnel crossing the Fehmarnbelt.

Abbildung 4-2 Referenzszenario und Basisszenarien einer Brücke oder eines Tunnels zur Querung des Fehmarnbelts.



5. EXISTING VESSEL TRAFFIC

Extensive studies of the existing vessel traffic in the Fehmarnbelt have been performed throughout the project in order to provide and continuously improve the basis for conducting the "Formal Safety Assessment", the "Traffic Flow Assessment" and the "Real-time Simulations".

Data from various sources have been collected and analysed. The most important data sources are AIS data (GPS based system for tracking of ships) and accident registrations from the entire Fehmarnbelt area and radar data from the area near the fixed link.

From the data analysis of AIS data, covering ships with a gross tonnage of 300 and upwards, the annual number of ship movements has been determined on the main routes in the Fehmarnbelt area, see Figure 5-1.

5. BESTEHENDER SCHIFFSVERKEHR

Umfangreiche Untersuchungen der heutigen Schifffahrt im Fehmarnbelt wurden während des gesamten Projektes durchgeführt, um die Grundlage für die Durchführung des „Formal Safety Assessment“, des „Traffic Flow Assessment“ und der „Real-Time Simulationen“ zu liefern und kontinuierlich zu verbessern.

Daten aus verschiedenen Quellen wurden erhoben und analysiert. Die wichtigsten Datenquellen sind AIS-Daten (GPS-basiertes System zur Verfolgung der Schiffe) und Unfallregistrierungen aus dem gesamten Gebiet des Fehmarnbelts und Radardaten aus dem Gebiet in der Nähe der festen Querung.

Basierend auf der Datenanalyse der AIS-Daten von Schiffen mit über 300 Bruttoregistertonnen wurde die jährliche Zahl der Schiffbewegungen auf den Hauptstrecken im Fehmarnbelt festgelegt, siehe Abbildung 5-1.

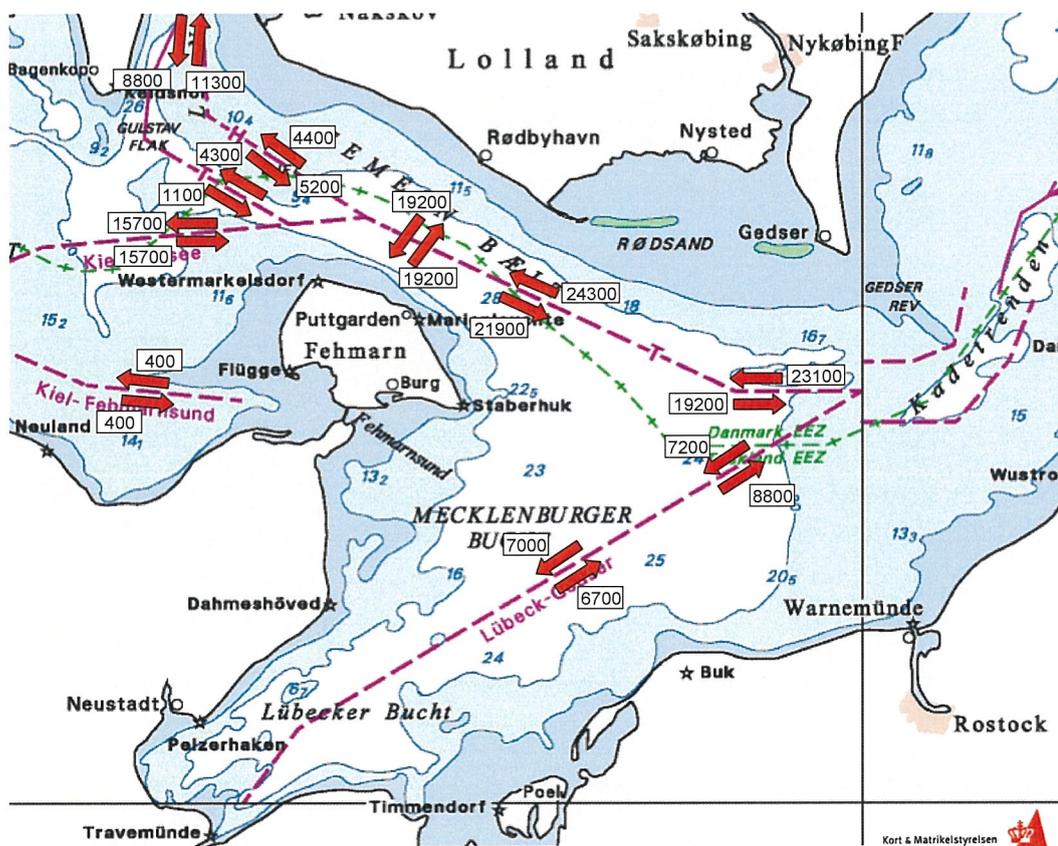


Figure 5-1 Estimated annual number of ship movements on main routes (April 2006 to March 2007).

Traffic on the main routes is evenly distributed on all months over the year.

Abbildung 5-1 Veranschlagte jährliche Zahl der Schiffsbewegungen auf den Hauptstrecken (April 2006 bis März 2007).

Der Verkehr auf den Hauptstrecken ist auf alle Monate im Laufe des Jahres gleichmäßig verteilt.

An estimate of the traffic segment with a gross tonnage below 300 is provided on the basis of AIS data and radar data. The traffic segment with a gross tonnage below 300 consists of small commercial ships, small tugs, workboats, fishing vessels and pleasure craft and thus the intensity varies over the year. The majority of ships in this segment do not use the main navigational routes shown in Figure 5-1, but are better described as background traffic with constant intensity throughout the area.

Eine Prognose des Verkehrssegments mit einer Bruttoregistertonnage von unter 300 wird auf der Grundlage von AIS-Daten und Radardaten ermittelt. Das Verkehrssegment mit einer Bruttoregistertonnage unter 300 umfasst kleine Handelsschiffe, kleine Schlepper, Arbeitsschiffe, Fischereifahrzeuge und Yachten, weshalb die Intensität im Laufe des Jahres variiert. Zum größten Teil benutzen die Schiffe dieses Segments nicht die Hauptstrecken, siehe Abbildung 5-1, sie sind besser als Hintergrundverkehr im Gebiet mit gleichmäßiger Intensität zu beschreiben.

6. TRAFFIC FORECAST

A forecast of the ship traffic in the Fehmarn Belt in the years 2020 and 2030 has been developed based on the analysis of the existing vessel traffic and defined through a number of influencing factors for the development of traffic volume and composition.

The traffic prognosis depends first and foremost on the development of trade in the Baltic Sea Region. The Baltic Sea Region is one of the densest shipping traffic areas in the world handling around 15% of the world wide maritime transport volume.

Three scenarios – a Low, Medium and High Case – have been developed, which differentiate in their degree and interpretation of the various influencing factors, i.e. all three scenarios are based on assumptions regarding

- Political developments
- Macro-economical developments
- Foreign trade and seaborne transport developments
- Seaborne transport route distribution developments
- Ro-Ro and ferry transport developments
- Ship type and size developments

During the forecast period, decreasing growth rates are assumed, which on the one hand reflects expression of a certain caution in a forecasting model and on the other hand mirrors the trend that economies, after a period of constant and steep growth, tend to show reduced rates or even short periods of consolidation.

6. VERKEHRSPROGNOSE

Eine Prognose des Schiffsverkehrs im Fehmarnbelt für die Jahre 2020 und 2030 wurde auf der Basis der Analyse des heutigen Schiffsverkehrs erstellt und durch verschiedene Einflüsse der Entwicklung des Verkehrsvolumens und der Zusammensetzung bestimmt.

In erster Linie hängt die Verkehrsprognose von der Entwicklung des Handels in der Ostseeregion ab. Der Verkehr der Ostseeregion ist einer der dichtesten der Welt und bewältigt rund 15% des weltweiten Seeverkehrsvolumens.

Die drei erstellten Szenarien – ein Niedrig-, Mittel- und Hochszenario – unterscheiden sich im Grad und in der Auslegung unterschiedlicher Einflussfaktoren, d.h. alle drei Szenarien basieren auf Annahmen über

- politische Entwicklung
- makroökonomische Entwicklung
- die Entwicklung des Außenhandels und Seeverkehrs
- die Entwicklung der Verteilung der Seeverkehrsrouten
- die Entwicklung des Ro-Ro- und Fährverkehrs
- Schiffstypen und Größenentwicklung

Während des Prognosezeitraums wird von einem Rückgang der Wachstumsraten ausgegangen, was einerseits auf eine gewisse Vorsicht im Prognosemodell zurückzuführen ist und andererseits dem Trend entspricht, dass Volkswirtschaften nach einer stetigen und steilen Wachstumsphase geringere Steigerungsraten oder sogar kurze Konsolidierungsphasen zeigen.

In general:

- The Low Case scenario is characterised by limited development potentials regarding economics, trade and transport.
- The Medium Case scenario is characterised by continuous positive development of economics, trade and transport in all countries of the Baltic Sea Region.
- The High Case scenario is characterised by a very positive development of economics, trade and transport in all countries of the Baltic Sea Region.

Im allgemeinen:

- Das Niedrigszenario ist durch begrenzte Entwicklungspotenziale hinsichtlich Wirtschaft, Handel und Verkehr gekennzeichnet.
- Das Mittelszenario ist durch die positive Weiterentwicklung von Wirtschaft, Handel und Verkehr in allen Ländern der Ostseeregion gekennzeichnet.
- Das Hochszenario ist durch eine sehr positive Entwicklung von Wirtschaft, Handel und Verkehr in allen Ländern der Ostseeregion gekennzeichnet.

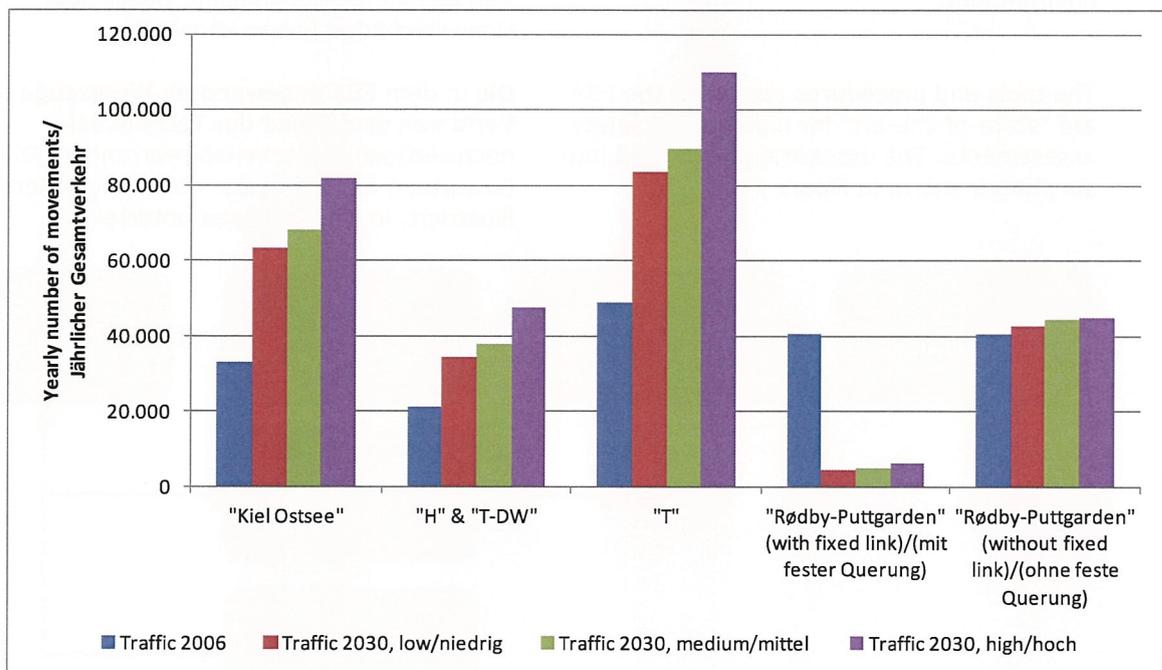


Figure 6-1 Total yearly traffic in 2006 and 2030 low, medium and high forecast

Abbildung 6-1 Jährlicher Gesamtverkehr 2006 und 2030 Niedrig-, Mittel- und Hochprognose

7. FORMAL SAFETY ASSESSMENT

The Formal Safety Assessment is based on the International Maritime Organisation (IMO) "Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process" (IMO MSC 83/INF.2, 14 May 2007).

The FSA addresses ship accidents (ship-ship collisions, ship-obstacle collisions and groundings) which may have an influence on the risk in terms of loss of life, property or environment.

The tools and procedures applied in the FSA are "state-of-the-art" for high quality safety assessments. The assessment is divided into six phases shown in Figure 7-1.

7. FORMAL SAFETY ASSESSMENT

Das *Formal Safety Assessment (FSA)* basiert auf der Richtlinie der IMO (International Maritime Organisation), zur Anwendung bei der Entwicklung von IMO-Regeln (IMO MSC 83/INF.2, 14. Mai 2007).

Das FSA bezieht sich auf Schiffsunfälle (Kollisionen Schiff/Schiff, Kollisionen Schiff/Hindernis und Grundberührungen), die einen Einfluss auf das Risiko im Sinne des Verlusts an Menschenleben, Sach- oder Umweltschäden haben könnten.

Die in dem FSA angewandten Werkzeuge und Verfahren sind Stand der Technik bei hochwertigen Sicherheitsbewertungen. Die Bewertung ist, wie in der Abbildung unten illustriert, in sechs Phasen unterteilt.

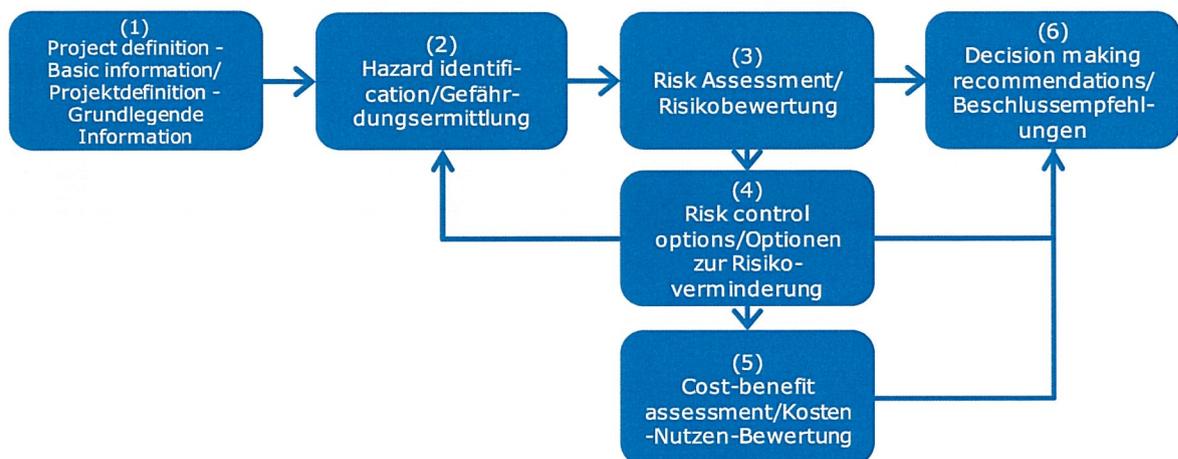


Figure 7-1 Phases and activities, Formal Safety Assessment.

Step 1 is described above. In the following a short summary of step 2 to 5 is given.

Abbildung 7-1 Phasen und Aktivitäten, Formal Safety Assessment.

Phase 1 ist oben beschrieben. Nachstehend werden die Phasen 2-5 kurz zusammengefasst.

7.1 Hazard identification

The hazard identification was performed at two workshops, one bridge workshop identifying hazards for different baseline scenarios for a bridge crossing the Fehmarnbelt and one tunnel workshop identifying hazards for different locations of a ventilation island if a tunnel is crossing the Fehmarnbelt.

The 15 participants in the bridge workshop and 18 participants in the tunnel workshop were pilots, captains and representatives from the Danish and the German authorities with experience within various aspects of navigational safety. Focus was on the proposed designs and the layout of navigational arrangements.

As a result of the bridge workshop seven baseline scenarios for a bridge crossing the Fehmarnbelt were reduced to the four baseline scenarios showed in Figure 3-2. For these four baseline scenarios the workshop resulted in a list of 22 identified hazards, all relevant for one or more of the baseline scenarios.

At the tunnel workshop 16 hazards, all related to the ventilation island, were identified. After the hazard identification workshop the tunnel project has shown that a ventilation island is not needed. Consequently, since all identified hazards were related to the ventilation island, the tunnel is not addressed in the following studies.

7.2 Risk assessment

The activities in the risk assessment have assessed the risk related to human safety, property and environment based on a theoretical risk model for estimation of frequencies and consequences from ship accidents.

The results from applying the risk model are given both in terms of the yearly frequency of having an accident and in terms of the risk – the combination of the accident frequency and the accident consequence. The risk results are given as the costs in euro ([EUR]) per year using capitalisation figures for the various risk types (human safety, property and environment).

7.1. Gefährdungsermittlung

Die Ermittlung der Gefährdungen wurde bei zwei Workshops durchgeführt, ein Brücken-Workshop für die Ermittlung der Gefährdungen für unterschiedliche Basisszenarien wenn eine Brücke den Fehmarnbelt quert und ein Tunnel-Workshop für die Ermittlung der Gefährdungen für verschiedene Standorte einer Ventilationsinsel, wenn ein Tunnel den Fehmarnbelt quert.

Die 15 Teilnehmer des Brücken-Workshops und die 18 Teilnehmer des Tunnel-Workshops waren Lotsen, Kapitäne und Vertreter der dänischen und deutschen Behörden mit Erfahrung in unterschiedlichen Bereichen der nautischen Sicherheit. Im Vordergrund standen die vorgeschlagenen Entwürfe und die Auslegung der Navigationssysteme.

Als Ergebnis des Brücken-Workshops wurden die in Abbildung 3.2 dargestellten sieben Basisszenarien für eine Brücke über den Fehmarnbelt auf vier Basisszenarien reduziert. Für diese vier Basisszenarien ergab der Workshop eine Liste von 22 ermittelten Gefährdungen, die alle für ein oder mehrere der Basisszenarien relevant sind.

Der Tunnel-Workshop führte zur Ermittlung von 16 Gefährdungen, die alle mit der Ventilationsinsel zusammenhängen. Nach dem Workshop zur Gefährdungsermittlung hatte das Tunnelprojekt ergeben, dass eine Ventilationsinsel nicht notwendig ist. Da alle ermittelten Gefährdungen die Ventilationsinsel betreffen, wird der Tunnel in den nachfolgenden Studien nicht mehr angesprochen.

7.2 Risikobewertung

Die Aktivitäten der Risikobewertung beziehen sich, auf der Basis eines theoretischen Risikomodells für die Abschätzung der Häufigkeiten und die Konsequenzen der Schiffsunfälle, auf die Risiken für die Personensicherheit, die Sachwerte und die Umwelt.

Die Ergebnisse, die sich aus der Anwendung des Risikomodells ergeben, werden durch die jährliche Unfallhäufigkeit sowie das Risiko – die Kombination der Häufigkeit und die Folgen des Unfalls – dargelegt. Die Risikoergebnisse werden durch die jährlichen Kosten in Euro ([EUR]) auf der Grundlage der Kapitalisierungskosten für die verschiedenen Risikotypen (Personensicherheit, Sachwerte und Umwelt) angegeben.

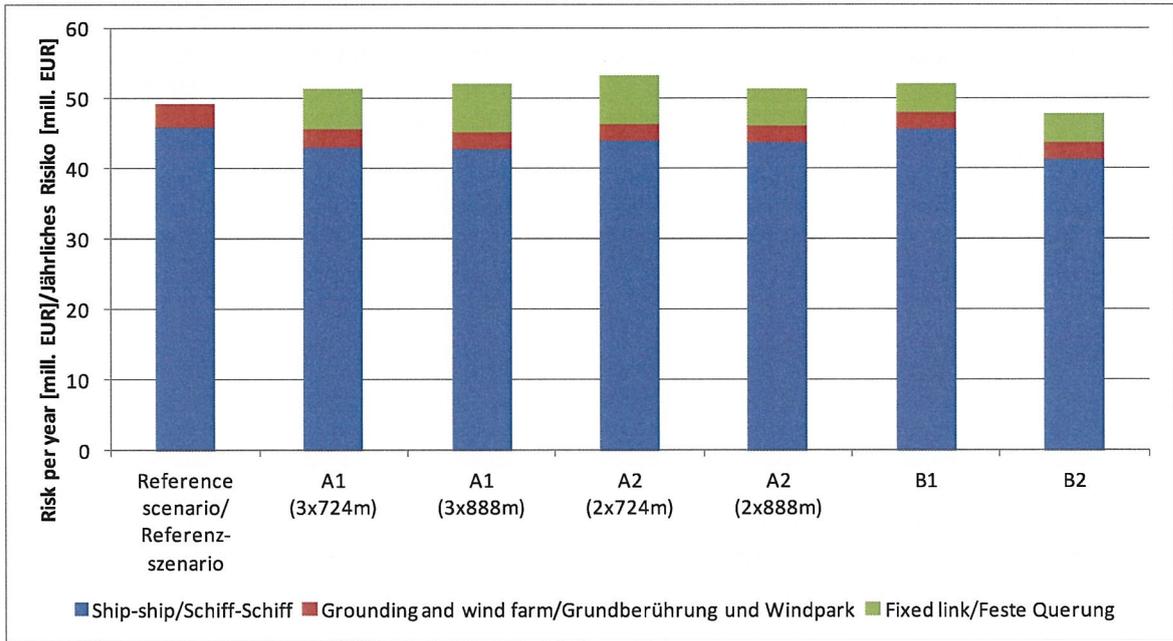


Figure 7-2 Risk per year from ship accidents [EUR], Fehmarnbelt traffic forecast 2030 medium.

Abbildung 7-2 Jährliches Risiko der Schiffsunfälle [EUR], Fehmarnbelt Verkehrsprognose 2030 Mittelprognose.

The overall ship accident risk for the baseline scenarios (with a bridge) is on the same level as the overall accident frequency and risk in the reference scenario (no bridge) due to three effects which outbalance each other:

1. By introducing the bridge the accident frequency will increase because pylons, piers and girders are obstacles with which the ships may collide.
2. By introducing the Traffic Separation Scheme (TSS), guiding the ship traffic where route "T" passes the bridge, the accident frequency from grounding and wind farm collisions will decrease because the traffic is maintained closer to the centre line of route T and inside the TSS.
3. By introducing the bridge the ferry traffic between Rødby and Puttgarden is probably significantly reduced or closed down. This reduces the accident frequency in the area mainly due to the fact that the contribution from ferries colliding with ships on route T is removed.

It should be noted that this estimate uses the medium prognosis for 2030 without considering the continuous improvement in navigation safety and without considering a number of risk controlling options which are analysed in the cost-benefit analyses, see section 7.4.

7.3 Risk control options

The identification of risk control options was performed in a workshop, where 22 participants (pilots, captains and representatives from the Danish and the German authorities) with experience within various aspects of navigational safety were invited to give contributions. Focus was on the proposed design of the bridge and the layout of navigational arrangements.

The workshop resulted in a list of 47 identified risk control options as basis for the cost-benefit assessment, see section 7.4.

Das Gesamtrisiko der Schiffsunfälle für die Basisszenarien (mit einer Brücke) hat die gleiche Größenordnung wie die gesamte Unfallhäufigkeit und das Risiko im Referenzszenario (ohne Brücke) aufgrund von drei Effekten, die sich gegenseitig ausgleichen:

1. Durch die Brücke wird die Unfallhäufigkeit erhöht, da Pylonen, Pfeiler und Träger Hindernisse darstellen, mit denen die Schiffe kollidieren könnten.
2. Durch das Verkehrstrennungsgebiet (TSS) zur Führung des Schiffsverkehrs, wo der T-Weg die Brücke passiert, wird aufgrund des näher an der Mittelachse des T-Weges und innerhalb des TSS verlaufenden Schiffsverkehrs die Unfallhäufigkeit durch Grundberührungen und Windpark-Unfälle reduziert.
3. Durch die Brücke wird der Fährverkehr zwischen Rødby und Puttgarden voraussichtlich erheblich reduziert oder eingestellt. Damit wird die Unfallhäufigkeit im Gebiet reduziert, hauptsächlich durch den Fortfall des Beitrags der Fährkollisionen mit Schiffen des T-Weges.

Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Abschätzung auf der Mittelprognose für 2030 basiert, ohne Berücksichtigung der kontinuierlichen Verbesserung der Seeverkehrssicherheit und einer Reihe von Optionen zur verbesserten Risikoverminderung, die in der Kosten-Nutzen-Analysen analysiert werden, siehe Abschnitt 7.4.

7.3 Optionen zur Risikoverminderung

Die Ermittlung der Optionen zur Risikoverminderung erfolgte bei einem Workshop, zu dem 22 Teilnehmer (Lotsen, Kapitäne und Vertreter der dänischen und deutschen Behörden) mit Erfahrung in unterschiedlichen Bereichen der nautischen Sicherheit eingeladen waren. Im Vordergrund standen der vorgeschlagene Brückenentwurf und die Auslegung der Navigationssysteme.

Der Workshop ergab eine Liste von 47 ermittelten Optionen zur Risikoverminderung als Basis für die Kosten-Nutzen-Bewertung, siehe Abschnitt 7.4.

7.4 Cost-benefit assessment

The cost benefit assessment is performed as a socioeconomic evaluation based on estimation of the Net Present Value (NPV) assuming a lifetime of 100 years for the Fehmarnbelt Bridge.

The method implies that cost of a given risk control option is evaluated against the safety benefits (reduction in risk) that will be achieved by implementing the risk control option. The benefit of a given risk control option is estimated using the risk model.

Initially the cost benefit model is used to compare the defined baseline scenarios by comparing each baseline scenario to the baseline scenario with the lowest installation costs, which is baseline scenario A2 (2x724). Even though a lower risk is estimated for some of the other baseline scenarios the cost-benefit analysis shows that the most effective scenario, from a cost benefit point of view, is baseline scenario A2 (2x724m).

The risk control options considered in the cost benefit assessment are taken from the list identified in the risk control options workshop.

Installation of a Ship Reporting System providing services similar to the services provided by the Ship Reporting System in the Great Belt traffic area (described in resolution MSC.230(82) on 5 December 2006) is identified as the most cost-beneficial risk control option.

7.4 Kosten-Nutzen-Bewertung

Die Kosten-Nutzen-Bewertung erfolgte als sozioökonomische Bewertung auf der Basis des Nettogegenwartswertes (Net Present Value NPV) unter der Annahme einer Lebensdauer der Fehmarnbrücke von 100 Jahren.

Hierbei werden die Kosten einer gegebenen Option zur Risikoverminderung der durch die Option zur Risikoverminderung erzielten Verbesserung der Sicherheit (Verminderung des Risikos) gegenübergestellt und bewertet. Der Nutzen einer bestimmten Option zur Risikoverminderung wird mit Hilfe des Risikomodells untersucht.

Zunächst wird ein Kosten-Nutzen-Modell zum Vergleich der definierten Basisszenarien benutzt, indem jedes Basisszenarium mit dem installationskostengünstigsten Basisszenarium, d.h. A2 (2x724), verglichen wird. Obwohl ein geringeres Risiko einiger der übrigen Basisszenarien geschätzt wird, ergibt die Kosten-Nutzen-Analyse, dass unter Kosten-Nutzen-Überlegungen das wirksamste Szenarium das Basisszenarium A2 (2x724) ist.

Die in der Kosten-Nutzen-Bewertung geprüften Optionen zur Risikoverminderung sind aus der beim Workshop identifizierten Liste entnommen.

Installation eines Schiffsmeldesystems mit Dienstleistungen, die den Dienstleistungen des Schiffsmeldesystems des Großen-Belt-Verkehrs (in der Entschließung MSC.230(82) vom 5. Dezember 2006 beschrieben) entsprechen, wird als die kostengünstigste Option zur Risikoverminderung ermittelt.

8. TRAFFIC FLOW ASSESSMENT

The Traffic Flow Assessment is done to quantify the effectiveness of the TSS in terms of getting the ship traffic in 2030 through the TSS without the TSS being a hindering. Ships are said to have unhindered passage through the TSS if they can keep a comfortable distance to other ships and pylons without having to reduce speed.

8.1 Safety ellipse

A model for the traffic flow through the TSS in 2030 provides a basis for knowing the number of ships in the TSS, and the safety ellipse theory (see Figure 8-1 and Figure 8-2) is used to estimate the comfortable distance to other ships and pylons.

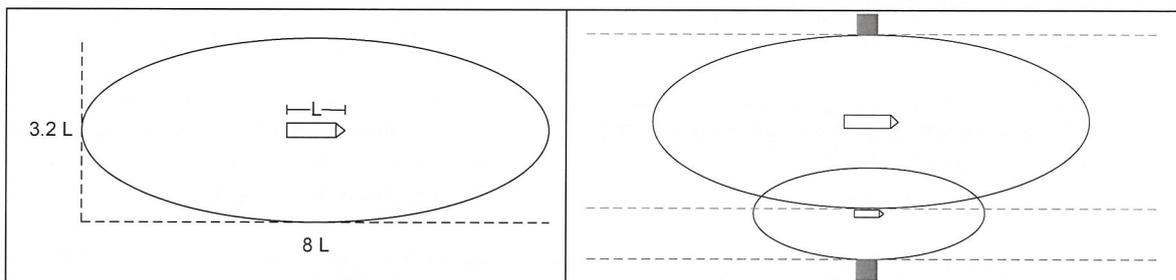


Figure 8-1 Left: The safety ellipse is 8 times the ship length in the length direction and 3.2 times the ship length in the width direction. Right: Ships keep other ships and fixed objects out of their ellipses.

8. TRAFFIC FLOW ASSESSMENT

Das *Traffic Flow Assessment* bestimmt quantitativ die Wirksamkeit des TSS in Bezug auf den Verkehr im Jahre 2030 durch das TSS, ohne dass das TSS selbst verkehrsbehindert wirkt. Die Schiffspassage durch das TSS gilt als unbehindert, wenn die Fahrzeuge einen komfortablen Abstand zu anderen Schiffen und Pylonen halten können, ohne die Geschwindigkeit zu reduzieren.

8.1 Sicherheits-Ellipse

Ein Modell des Verkehrsflusses durch das TSS im Jahre 2030 bietet die Grundlage für die anzunehmende Anzahl von Schiffen im TSS, und die Sicherheits-Ellipsen-Theorie (siehe Abbildung 8-1 und Abbildung 8-2) dient zur Festlegung des komfortablen Abstands zu anderen Schiffen und Pylonen.

Abbildung 8-1 links: Die Sicherheits-Ellipse ist 8 mal die Schiffslänge in Längsrichtung und 3,2 mal die Schiffslänge in Breitenrichtung. Rechts: Schiffe halten andere Schiffe und feste Gegenstände außerhalb ihrer Ellipsen.

As part of the Traffic Flow Assessment a detailed description and verification of the safety ellipse theory has been made for ship traffic in:

- Fehmarnbelt (distance between ships in overtaking, encountering and crossing situations and passing distance to buoys)
- Great Belt (distance between ships in encountering situations, passing distance to bridge pylons)
- Øresund (passing distance to lighthouse, island and Flinterenden bridge pylons)

Bei dem *Traffic Flow Assessment* wurde eine ausführliche Darstellung und Überprüfung der Sicherheits-Ellipsen-Theorie für die folgenden Gebiete durchgeführt:

- Fehmarn (die Entfernung zwischen Schiffen beim Überholen, Begegnen und Kreuzen und die Entfernung zu Bojen)
- Der Große Belt (die Entfernung zwischen Schiffen beim Begegnen, die Passierdistanzen zu Brückenpylonen)
- Øresund (Passierdistanz zum Leuchtturm, zur Insel und zu den Flinterenden-Brückenpylonen)

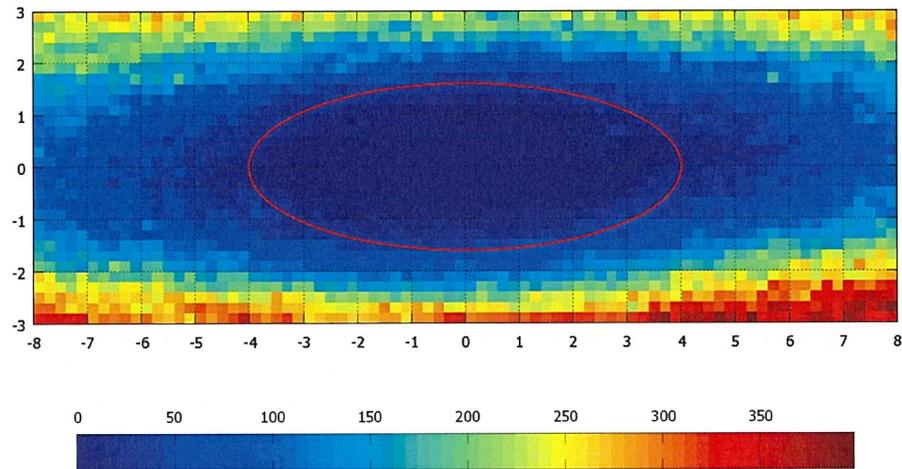


Figure 8-2 Distance to other ships measured in ship lengths (4 years of AIS data). The plot is used in verification of safety ellipse theory by analysing intensity of ship tracks in Fehmarnbelt.

Abbildung 8-2 Die Entfernung zu anderen Schiffen, in Schiffslängen (AIS-Daten von 4 Jahren) gemessen. Das Diagramm wird in der Überprüfung der Sicherheits-Ellipsen-Theorie bei einer Analyse der Fahrtrouten im Fehmarnbelt genutzt

8.2 Free flow

With the definition of safety ellipses from the previous section in mind free flow is now defined as

"Ships sailing according to the ellipse theory will have free flow if they can pass the TSS without reducing speed."

I.e. a ship with free flow can proceed through the TSS area with its regular speed, it will not enter the safety ellipse of any other ship nor will any other ship or pylon enter the ship's safety ellipse.

The percentage of ships having free flow in 2030 is estimated for different widths of the navigation span, see Figure 8-3 and Table 8-1.

8.2 Freier Verkehrsfluss

In Anbetracht der im vorigen Abschnitt festgelegten Sicherheits-Ellipsen kann nun der freie Verkehrsfluss wie folgt definiert werden:

„Schiffe, die gemäß der Ellipsen-Theorie fahren, werden freien Verkehrsfluss haben, wenn sie das TSS passieren, ohne die Geschwindigkeit zu reduzieren.“

Damit kann ein Schiff im freien Verkehrsfluss mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durch das TSS-Gebiet fahren, es wird keine Sicherheits-Ellipse anderer Schiffe verletzt, und keine anderen Schiffe oder Pylonen werden die Sicherheits-Ellipse des Schiffes verletzen.

Der Anteil der Schiffe im freien Verkehrsfluss im Jahre 2030 wird für unterschiedliche Breiten des Durchfahrtfeldes abgeschätzt, siehe Abbildung 8-3 und Tabelle 8-1.

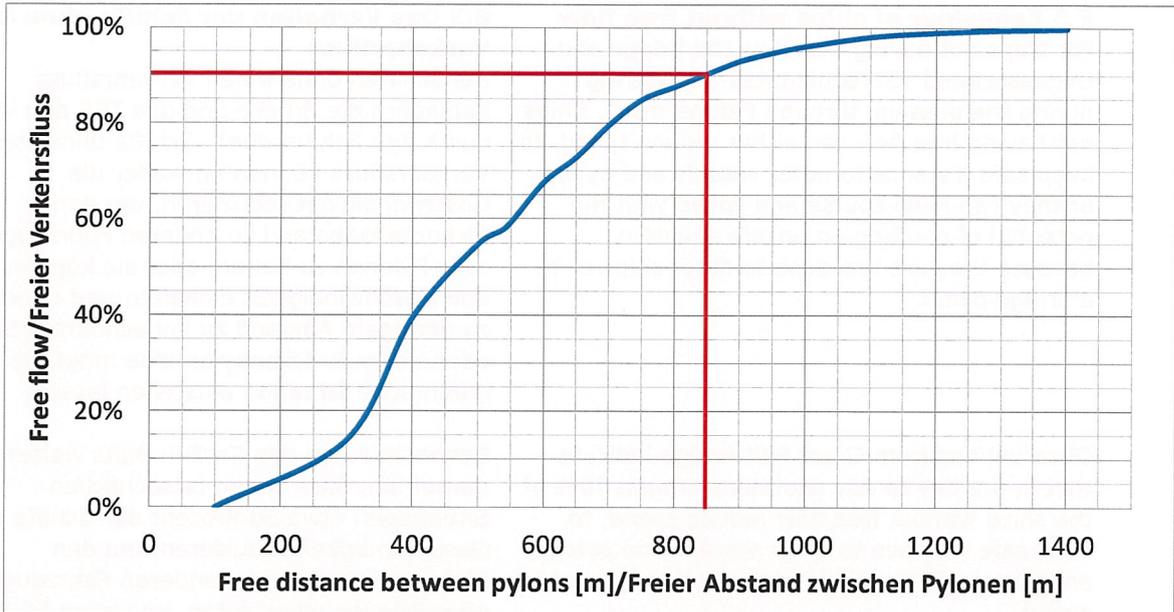


Figure 8-3 Free flow percentage calculated for different free distances between the pylons.

Abbildung 8-3 Prozentsatz der für unterschiedliche freie Abstände berechneten freien Verkehrsflüsse zwischen den Pylonen.

Bridge span/ Brückenspannweite			724m			888m		
Free distance between the pylons/ Freier Abstand zwischen den Pylonen	300m	665m	686m	700m	750m	849m	960m	1200m
Free flow/ Freier Verkehrsfluss	14%	75%	78%	80%	85%	90%	95%	99%

Table 8-1 Free flow percentage calculated for different free distances between the pylons.

Tabelle 8-1 Prozentsatz der für unterschiedliche freie Abstände berechneten freien Verkehrsflüsse zwischen den Pylonen.

For a TSS (stretching from 1.5 nm before the bridge to 0.5nm after the bridge) and a bridge span of 724m, 78% of the ships will have free flow. If the bridge span is increased to 888m, 90% of the ships will have free flow.

Bei einem TSS (von 1,5 nm vor der Brücke und 0,5 nm nach der Brücke) und einer Brückenspannweite von 724 m, haben 78 Prozent der Schiffe freien Verkehrsfluss. Bei Erhöhung der Brückenspannweite auf 888 m haben 90 Prozent der Schiffe freien Verkehrsfluss.

8.3 Behaviour of ships without free flow

For ships not having free flow the bridge and the associated TSS constitutes a hindering during the passage through Fehmarnbelt. Ships not having free flow can either reduce speed, to keep safe distance to other vessels and pylons, or they can keep course and speed with the potential of creating an unsafe situation because they are too close to other ships or to a bridge pylon.

Observations from Great Belt bridge indicate that in the day to day situations around 50% of the ships without free flow reduce speed, to keep safe distance to other vessels and pylons, and around 50% of the ships keep course and speed.

The more complex situations are studied in the real-time simulations (see section 9).

It is noted that the risk from accidents during overtaking is included in the Formal Safety Assessment (see section 7).

8.3 Das Verhalten der Schiffe ohne freien Verkehrsfluss

Bei Schiffen ohne freien Verkehrsfluss behindern die Brücke und das TSS den Verkehr durch den Fehmarnbelt. Schiffe ohne freien Verkehrsfluss können entweder die Geschwindigkeit reduzieren, um den Sicherheitsabstand zu anderen Fahrzeugen oder Pylonen zu halten, oder sie können Kurs und Geschwindigkeit einhalten und dabei durch zu geringem Abstand zu benachbarten Schiffen oder einem Brückenpylon eine mögliche gefährliche Situation entstehen lassen.

Beobachtungen des Großen Belts weisen darauf hin, dass in den tatsächlichen Situationen etwa 50 Prozent der Schiffe die Geschwindigkeit reduzieren, um den Sicherheitsabstand zu anderen Fahrzeugen oder Pylonen einzuhalten, und etwa 50 Prozent der Schiffe Kurs und Geschwindigkeit beibehalten.

Die komplexeren Situationen werden in den *Real-Time Simulationen* untersucht (siehe Abschnitt 9).

Es ist anzumerken, dass das Unfallrisiko beim Überholen beim FSA berücksichtigt wird (siehe Abschnitt 7).

9. REAL-TIME SIMULATIONS

In the navigational studies real-time simulations are used to provide human navigators' evaluations of whether specific bridge and fairway layouts are fit for purpose, with respect to handling the future ship traffic expected in the Fehmarnbelt area.

In the real-time simulator at Force Technology the navigator is placed in a physical simulator equipped with normal ship handling facilities (handles, joysticks, instruments, etc.). Projector images place the navigator in a computer modelled environment displaying the navigator's own ship as well as other ships, bridge, fairway markings and weather conditions (wind, waves, current, rain, etc.). When the real-time simulation starts, the manoeuvres of the navigator's own ship and the manoeuvres of other ships in the area are displayed in real time as the ships pass through the fairway and cross the bridge under influence from the selected weather conditions.

9. REAL-TIME SIMULATIONEN

Die *Real-Time Simulationen* der Navigationsstudien dienen zur Bewertung durch Navigatoren, ob hinsichtlich der Abwicklung des im Fehmarnbelt erwarteten künftigen Schiffsverkehrs bestimmte Auslegungen der Brücke und des Fahrwassers geeignet sind.

Im Echtzeit-Simulator bei Force Technology wird der Navigator in einem mit normaler Seeschiffahrts-Ausrüstung (Bedienelemente, Joysticks, Instrumenten usw.) ausgestatteten physikalischen Simulator platziert. Projektorbilder positionieren den Navigator in eine computer-generierte Umgebung, die das Schiff des Navigators und andere Schiffe, die Brücke, das Fahrwasser und die Witterungsverhältnisse (Wind, Wellen, Strömung, Regen usw.) zeigt. Nach Beginn der *Real-Time Simulationen* erfolgen die Manöver des Schiffes des Navigators und die Manöver anderer Schiffe im Gebiet in Echtzeit bei der Fahrt durch das Fahrwasser und der Brückenpassage unter dem Einfluss der gewählten Witterungsverhältnisse.

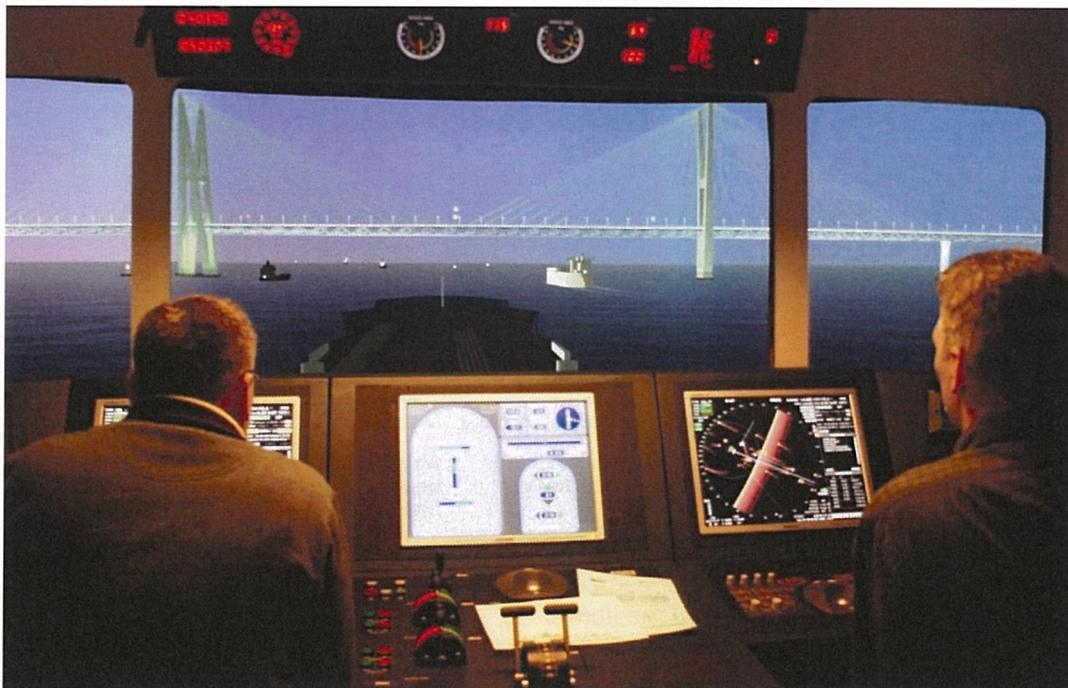


Figure 9-1 Picture from the real-time simulations.

Abbildung 9-1 Bild der *Real-Time Simulationen*.

In the real-time simulations ships controlled by human navigators are called "own ships" and ships controlled by the simulation operator are called "traffic ships". In each simulation run three own ships are used and three individual transits through the fairway/bridge layout are

In den *Real-Time Simulationen* werden die vom menschlichen Navigator gesteuerten Schiffe als „Eigenschiffe“ und die vom Simulator-Operator gesteuerten Schiffe als „Fremdschiffe“ bezeichnet. Bei jedem Simulationslauf werden drei Eigenschiffe

completed.

The real-time simulations are performed in different phases, where one simulation phase consists of planning, execution and evaluation of several simulation runs where a group of navigators tests one or more bridge/fairway layouts in different scenarios.

The planned simulation scenarios define which conditions the navigators will experience during the different simulation runs with respect to type and size of own ship, type of size of traffic ships, starting position of all ships, weather conditions and whether an emergency situation (drifting ship, man over board, etc.) shall occur.

eingesetzt und drei einzelne Durchfahrten durch die Auslegung des Fahrwassers/der Brücke ausgeführt.

Die *Real-Time Simulations* werden in unterschiedlichen Phasen durchgeführt, bei denen eine Simulationsphase die Planung, Durchführung und Bewertung mehrerer Simulationen umfasst, wobei eine Gruppe von Navigatoren eine oder mehrere Auslegungen der Brücke/des Fahrwassers in unterschiedlichen Szenarien testet.

Die geplanten Simulationsszenarien definieren, welche Bedingungen die Navigatoren in den verschiedenen Simulationsläufen im Hinblick auf Typ und Größe des eigenen Schiffes, Typ der Fremdschiffe, Ausgangsposition aller Schiffe, Witterungsverhältnisse und mögliche Notsituation (driftendes Schiff, Mann über Bord usw.) erfahren werden.

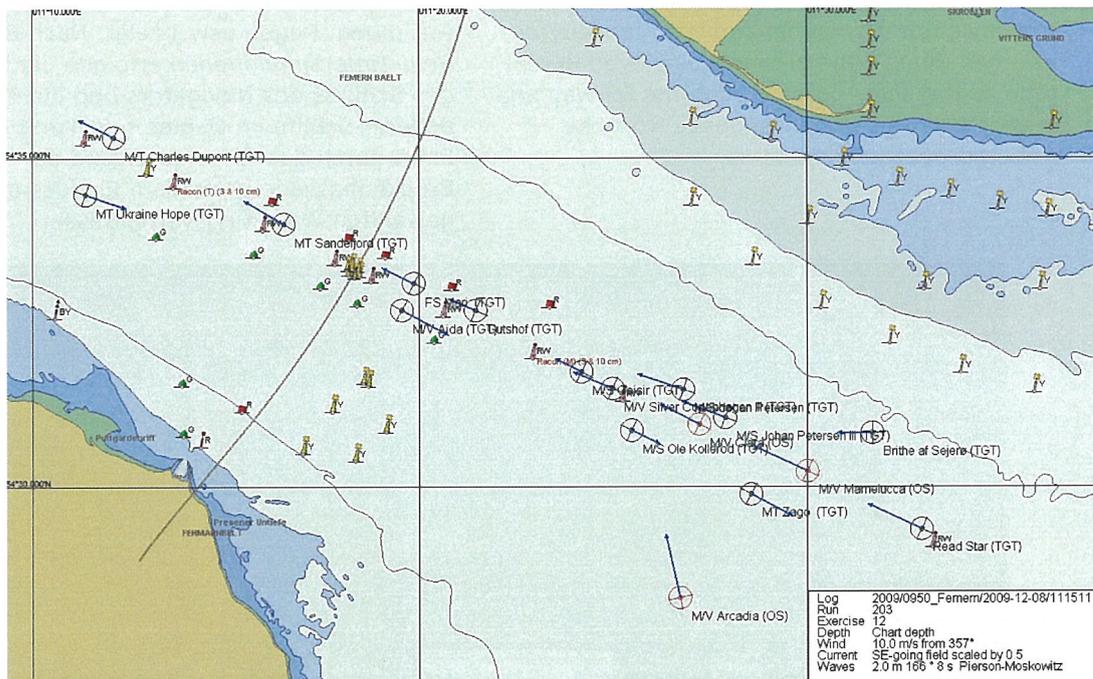


Figure 9-2 Starting position of ships in a particular simulation run (red crosses mark the position of own ships).

Abbildung 9-2 Ausgangsposition der Schiffe einer bestimmten Simulation (die mit einem roten Kreuz markierten Positionen sind Eigenschiffe).

The simulation scenarios are defined using the traffic pattern seen in the 2030 medium forecast. The expected return period of the simulated scenarios ranges between daily, monthly, yearly, 10 yearly, 100 yearly and 100 yearly extreme events.

Die Simulationsszenarien werden anhand des Verkehrsmusters der 2030-Mittelprognose ermittelt. Die erwartete Wiederkehrperiode der simulierten Szenarien liegt zwischen täglichen, monatlichen, jährlichen, 10-jährigen, 100-jährigen und 100-jährigen Extremsituationen.

In all scenarios VTS operators are included, since it is assumed that a Ship Reporting System will be in operation in case a bridge is crossing the Fehmarnbelt.

In allen Szenarien sind VTS-Operateure einbezogen, da angenommen wird, dass ein Schiffsmeldesystem in Betrieb ist, wenn eine Brücke den Fehmarnbelt quert.

The process for conducting a simulation phase is shown in Figure 9-3.

Das Verfahren für die Durchführung einer Simulationsphase ist in Abbildung 9-3 illustriert.

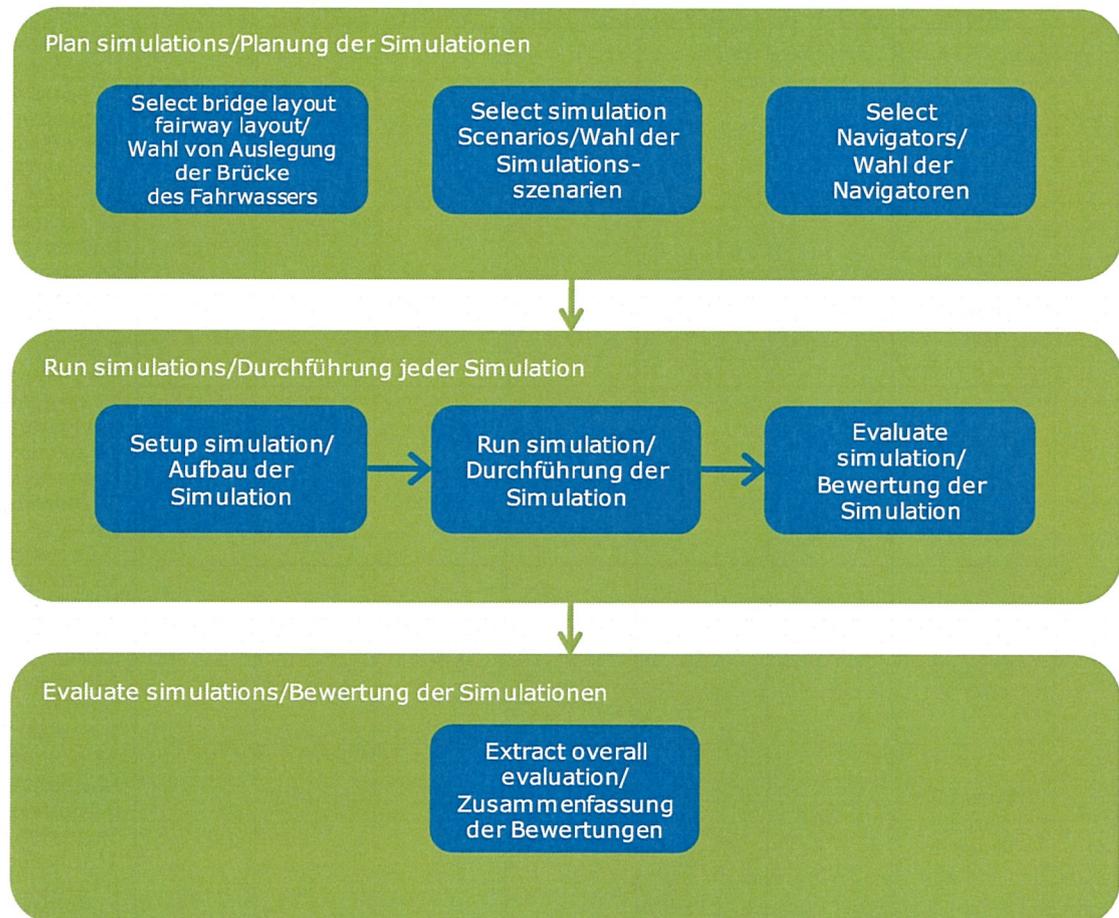


Figure 9-3 Process for conducting a simulation phase.

Abbildung 9-3 Verfahren für Durchführung einer Simulationsphase.

Five simulation phases are completed:

- Phase 0: General investigation of the defined baseline scenarios
- Phase 1 part 1, phase 1 part 1x and phase 1 part 2: Finding the best layout for the fairway layout and bridge
- Phase 2 part 1: Optimise bridge/fairway layout

For each of the five conducted simulation phases the tested fairway/bridge layout and the basis for making the overall summary of evaluations are shown in Table 9-1.

Fünf Simulationsphasen werden durchgeführt:

- Phase 0: Allgemeine Untersuchung der ermittelten Basisszenarien
- Phase 1 Teil 1, Phase 1 Teil 1x und Phase 1 Teil 2: Die optimale Auslegung des Fahrwassers und der Brücke zu finden
- Phase 2 Teil 1: Optimieren der Auslegung des Fahrwassers/der Brücke

Für jede der durchgeführten Simulationsphasen sind die untersuchte Auslegung des Fahrwassers/der Brücke und die Grundlage für die Zusammenfassung der Bewertungen in der Tabelle 9-1 illustriert.

Simulation phase/ Simulations- phase	Fairway/bridge layout Auslegung des Fahrwassers/der Brücke						Evaluation basis/ Bewertungs- grundlage
	A1 (3x724m)	A1 (3x888m)	A2 (2x724m)	A2 (2x888m)	B1 (1700m)	B2 (1700m)	
Phase 0	X		X		X	X	26 navigators/ Navigatoren 25 scenarios/ Szenarien 173 individual transits/Durchfahrte n
Phase 1 part 1/ Phase 1 Teil 1		X		X	X	X	27 navigators/ Navigatoren 25 scenarios/ Szenarien 188 individual transits/ Durchfahrten
Phase 1 part 1x/ Phase 1 Teil 1x				X			13 navigators/ Navigatoren 12 scenarios/ Szenarien 77 individual transits/ Durchfahrten
Phase 1 part 2/ Phase 1 Teil 2		X		X			18 navigators/ Navigatoren 12 scenarios/ Szenarien 144 individual transits/ Durchfahrten
Phase 2 part 1/ Phase 1 Teil 1			X	X			33 navigators/ Navigatoren 5 scenarios/ Szenarien 111 individual transits/ Durchfahrten

Table 9-1 Overview of the five conducted simulation phases.

Tabelle 9-1 Übersicht der fünf durchgeführten Simulationsphasen.

A total of 88 navigators from Germany, Denmark, Finland, Sweden, India, Philippines, China and Croatia have participated during 11 weeks of real-time simulations. The navigators tested all defined baseline scenarios in 79 different simulation scenarios completing a total of 693 individual transits. The duration of individual transit typically lasted between 45 and 60 minutes and in a few cases up to 2 hours.

Insgesamt 88 Navigatoren aus Deutschland, Dänemark, Finnland, Schweden, Indien, Philippinen, China und Kroatien haben an den 11 Wochen der *Real-Time Simulationen* teilgenommen. Die Navigatoren überprüften alle ermittelten Basisszenarien in 79 unterschiedlichen Simulationsszenarien und damit insgesamt 693 Durchfahrten. Eine typische Durchfahrt dauerte zwischen 45 und 60 Minuten und in wenigen Fällen bis zu 2 Stunden.

With respect to evaluation of the simulations phase 0, phase 1 part 1 and phase 1 part 1x all have a "pre-study" nature – with the main purpose of tuning-in the simulation scenarios and evaluation methods.

Bezüglich der Bewertung der Simulationen Phase 0, Phase 1 Teil 1 und Phase 1 Teil 1x haben alle den Charakter einer „Vorstudie“ – mit dem Hauptziel der Feineinstellung der Simulationsszenarien und der Bewertungsmethoden.

In phase 1 part 2 and phase 2 part 1 the definition of scenarios was done in a structured and comparable way and an effective

In Phase 1 Teil 2 und Phase 2 Teil 1 wurde die Ermittlung der Szenarien auf strukturierte und vergleichbare Weise ausgeführt und eine

evaluation method was established to gather the evaluations from the navigators. In the following focus is on describing the evaluation method and results from phase 1 part 2 and phase 2 part 1.

After completion of a simulation run, the three navigators navigating the three own ships fill in a multiple choice questionnaire with 13 questions evaluating realism of the scenario, fairway layout, safety and navigation. After completion of the questionnaire a dedicated interview with each individual navigator is performed to substantiate the answers in the questionnaire and to get as many relevant input from the navigator as possible about the just completed simulation run (all interviews are recorded as documentation).

With the answers to the questionnaires and statements from the interviews as basis a summary of the navigator evaluations is reported.

The overall evaluation made for phase 1 part 2 (based on answers to 144 questionnaires and 140 interviews) shows no significant difference in safety when comparing the navigators' evaluations of A1 (3x888m) and A2 (2x888m):

- The greatest advantage of layout A1 was attributed to the separation zone which permitted the vessels to use the entire width of the lanes.
- The greatest advantage of layout A2 was attributed to its simplicity (simple marking, easy to visualise, easy to join and easy to line up).

Furthermore, it was recommended by the navigators during the interviews that the bridge alignment cross perpendicular to route "T".

The overall evaluation made for phase 2 part 1 (based on answers to 120 questionnaires and 120 interviews) shows no significant difference in safety when comparing the navigators' evaluations of A2 (2x724m) and A2 (2x888m). The only significant difference in the evaluation is that in A2 (2x724m) more speed changes are made than in A2 (2x888m).

effektive Bewertungsmethode festgelegt, um die Bewertungen durch die Navigatoren zu erfassen. Im Folgenden stehen die Beschreibung der Bewertungsmethode und die Ergebnisse aus der Phase 1 Teil 2 und Phase 2 Teil 1 im Mittelpunkt.

Nach Durchführung einer Simulation füllen die drei Navigatoren, die die drei Eigenschiffe steuern, einen Multiple-Choice-Fragebogen mit 13 Fragen zur Bewertung der Realität des Szenariums, der Auslegung des Fahrwassers, der Sicherheit und der Navigation aus. Nach Ausfüllung des Fragebogens wird zur Begründung der Antworten und Erfassung möglichst vieler Inputs vom Navigator ein gezieltes Interview zur gerade abgeschlossenen Simulation mit jedem Navigator durchgeführt (alle Interviews werden zur Dokumentation aufgezeichnet).

Mit den Antworten auf den Fragebogen und den Auskünften von den Interviews als Grundlage erfolgt eine Zusammenfassung der Bewertungen der Navigatoren.

Die Gesamtbewertung für Phase 1 Teil 2 (auf der Grundlage der Antworten von 144 Fragebogen und 140 Interviews) zeigt keine wesentlichen Unterschiede der Sicherheit im Vergleich der Bewertungen der Navigatoren von A1 (3x888m) und A2 (2x888m):

- Der größte Vorteil der Auslegung A1 wurde der Trennzone zugeschrieben, die den Schiffen ermöglicht die volle Breite der Verkehrswege zu nutzen.
- Der größte Vorteil der Auslegung A2 wurde der Übersichtlichkeit und Verständlichkeit zugeschrieben.

Zudem haben die Navigatoren während den Interviews empfohlen, dass die Brückentrasse senkrecht zum T-Weg quert.

Die Gesamtbewertung für Phase 2 Teil 1 (auf der Grundlage der Antworten von 120 Fragebogen und 120 Interviews) zeigt keine wesentlichen Unterschiede der Sicherheit im Vergleich der Bewertungen der Navigatoren von A2 (2x724m) und A2 (2x888m). Der einzige wesentliche Unterschied in der Bewertung ist, dass A2 (2x724m) zu mehr Geschwindigkeitsänderungen als A2 (2x888m) führt.

10. DECISION BASIS

The objective of the navigational studies is to deliver the optimum decision basis for the authorities' evaluation of marine safety and navigational arrangements

10. ENTSCHEIDUNGS-GRUNDLAGE

Ziel der Navigationsstudien ist es, den Behörden eine optimale Entscheidungsgrundlage für die Bewertung der Seeverkehrssicherheit und Navigationssysteme zu bieten.

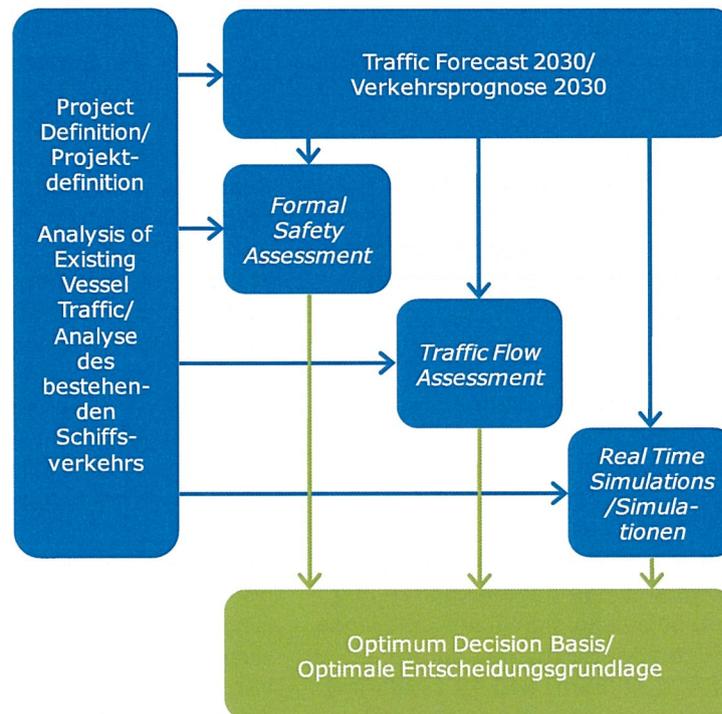


Figure 10-1 Elements in preparation of optimum decision basis.

Abbildung 10-1 Elemente zur Vorbereitung der optimalen Entscheidungsgrundlage.

The decision basis stands on three legs: the "Formal Safety Assessment", the "Traffic Flow Assessment" and the "Real-time simulations".

Die Entscheidungsgrundlage basiert auf drei Bewertungen: „*Formal Safety Assessment*“, „*Traffic Flow Assessment*“ und „*Real-Time Simulationen*“.

In the following the main input to the decision basis from the three activities are summarised.

Im Folgenden sind die Hauptinputs zur Entscheidungsgrundlage der drei Aktivitäten zusammengefasst.

Formal Safety Assessment:

The analyses made for a bridge crossing the Fehmarnbelt show that overall risk in the reference scenario (2030 situation without a bridge) is on the same level as the risk after building a bridge (2030 situation with the bridge).

Formal Safety Assessment

Die Analysen einer Brücke im Fehmarnbelt zeigen, dass das Gesamtrisiko im Referenzszenario (2030-Situation ohne Brücke) die gleiche Größenordnung hat wie das Risiko nach dem Bau einer Brücke (2030-Situation mit der Brücke).

Baseline scenario A2 (2x724m) is the most effective baseline scenario from a cost-benefit point of view.

Basisszenarium A2 (2x724m) ist das wirksamste Basisszenarium unter Kosten-Nutzen-Überlegungen.

If building a bridge is combined with installing a Ship Reporting System (SRS) the risk after the bridge is built decreases to a

Bei einer Kombination eines Brückenbaus und der Installation eines Schiffsmeldesystems wird das Risiko nach Bau der Brücke auf eine

level below the risk level in the reference scenario without an SRS.

Größenordnung unter der des Referenzszenariums ohne Schiffsmeldesystem reduziert.

The analyses made for a tunnel crossing the Fehmarnbelt show that all identified hazards relate to the ventilation island. As the tunnel project presently has shown that a ventilation island is not needed no hazards related to navigational safety are identified.

Die Analysen für einen Tunnel im Fehmarnbelt zeigen, dass alle ermittelten Gefährdungen die Ventilationsinsel betreffen. Das Tunnelprojekt hat inzwischen ergeben, dass eine Ventilationsinsel nicht notwendig ist, weshalb keine Gefährdungen der Seeverkehrssicherheit angesprochen werden.

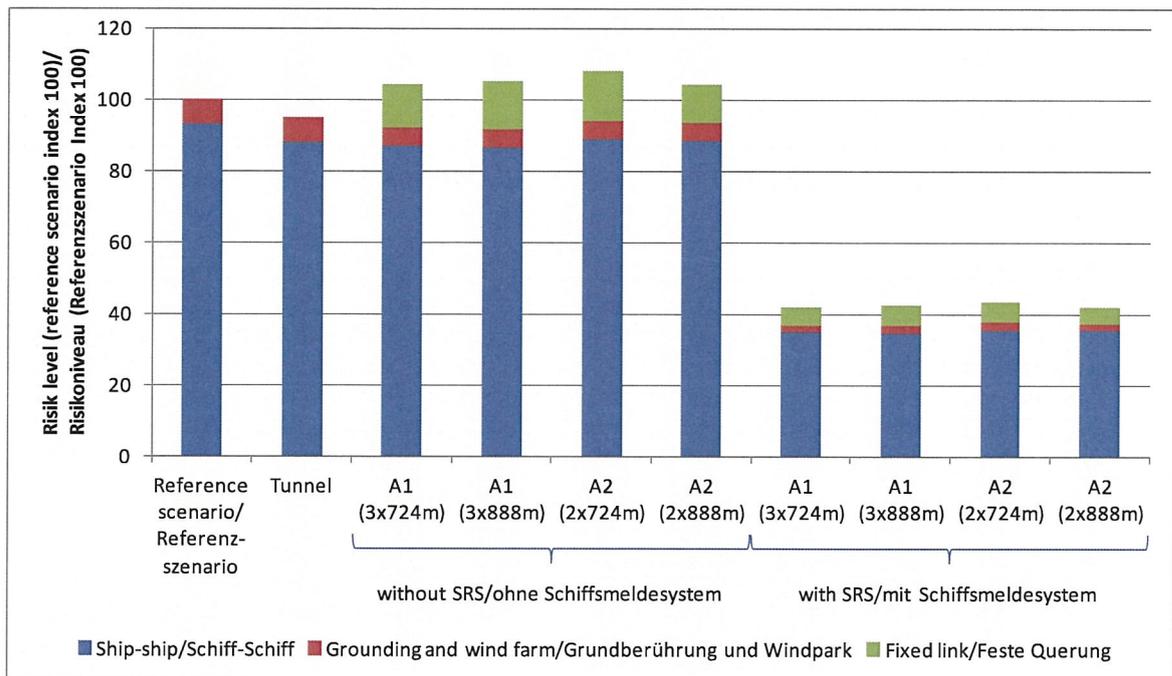


Figure 10-2 Risk level (reference scenario index 100).

Abbildung 10-2 Risikoniveau (Referenzszenario Index 100).

Traffic Flow Assessment:

If a span width of 724m is selected then around 78% of the ships will pass the bridge unhindered (in free flow, i.e. without reducing speed and without getting too close to other ships or to a bridge pylon).

Traffic Flow Assessment

Bei Wahl einer Spannweite von 724m werden rund 78 Prozent der Schiffe die Brücke ungehindert passieren (in freiem Verkehrsfluss, d.h. ohne die Geschwindigkeit zu reduzieren und ohne zu geringen Abstand zu benachbarten Schiffen oder einem Brückenpylon).

If a span width of 888m is selected then around 90% of the ships will pass the bridge unhindered (in free flow).

Bei Wahl einer Spannweite von 888m werden rund 90 Prozent der Schiffe die Brücke ungehindert passieren (in freiem Verkehrsfluss).

The risk from accidents during overtaking is included in the Formal Safety Assessment (see section 7).

Die Gefahr von Unfällen beim Überholen ist im FSA (siehe Abschnitt 7) einbezogen.

Real-time Simulations:

The overall evaluation made for phase 1 part 2 shows no significant difference in safety when comparing the navigators' evaluations of A1 (3x888m) and A2 (2x888m):

- The greatest advantage of layout A1 was attributed to the separation zone which permitted the vessels to use the entire width of the lanes.
- The greatest advantage of layout A2 was attributed to its simplicity (simple marking, easy to visualise, easy to join and easy to line up).

Furthermore, it was recommended by the navigators during the interviews that the bridge alignment cross perpendicular to route "T".

The overall evaluation made for phase 2 part 1 shows no significant difference in safety when comparing the navigators' evaluations of A2 (2x724m) and A2 (2x888m). The only significant difference in the evaluation is that in A2 (2x724m) more speed changes are made than in A2 (2x888m).

It is noted that the overall evaluation from the real-time simulations are in line with the results from both the "Formal Safety Assessment" and the "Traffic flow Assessment".

Real-Time Simulationen

Die Gesamtbewertung für Phase 1 Teil 2 zeigt keine wesentlichen Unterschiede der Sicherheit im Vergleich der Bewertungen der Navigatoren von A1 (3x888m) und A2 (2x888m):

- Der größte Vorteil der Auslegung A1 wurde der Trennzone zugeschrieben, die den Schiffen ermöglicht die volle Breite der Verkehrswege zu nutzen.
- Der größte Vorteil der Auslegung A2 wurde der Übersichtlichkeit und Verständlichkeit zugeschrieben.

Zudem haben die Navigatoren während den Interviews empfohlen, dass die Brückentrasse senkrecht zum T-Weg quert.

Die Gesamtbewertung für Phase 2 Teil 1 zeigt keine wesentlichen Unterschiede der Sicherheit im Vergleich der Bewertungen der Navigatoren von A2 (2x724m) und A2 (2x888m). Der einzige wesentliche Unterschied in der Bewertung ist, dass A2 (2x724m) zu mehr Geschwindigkeitsänderungen als A2 (2x888m) führt.

Es ist zu bemerken, dass die Gesamtbewertung der *Real-Time Simulationen* den Ergebnissen des „*Formal Safety Assessment*“ sowohl als auch des „*Traffic Flow Assessment*“ entspricht.