



Umweltforschungsplan des
Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Forschungsbericht UBA FuE-Vorhaben:
FKZ 102 40 302

MARION

Umweltrelevantes Informations- und Analysesystem für den Seeverkehr

Hansestadt Bremisches Hafenamt (HBH)

Projektleitung: Kapt. Bernhard Sachtleber
Autoren: Dipl.-Ing. Manfred Brand,
Dipl.-Inf. Thomas Höth

Im Auftrag des Umweltbundesamtes
November 1999

Danksagung

Wir danken Herrn Prof. Dr. Schwanebeck für die wissenschaftliche Begleitung während des Forschungsvorhaben **MARION** und den Herren Dipl. Ing. Alexander Quell und Dipl.-Ing Oliver Klimsa für die Erarbeitung der Schiffsunfälle im Rahmen ihrer Diplomarbeit.

Zusätzlich danken wir Herrn Dipl.-Inform. Thomas Höth für die Programmierung des Systems **MARION**.

Wir danken den Mitarbeitern des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrografie, Hamburg für die Zusammenstellung des benötigten Kartenmaterials und der Erlaubnis das Kartenmaterial scannen und in an das Marion-System einbinden zu dürfen.

Weiterhin danken wir allen Hafenkapitänen und den Mitarbeitern in den Hafenämtern, sowie allen Mitarbeitern in den Ministerien und Bezirksregierungen in Schleswig-Holstein, Hamburg, Niedersachsen und Meklenburg-Vorpommern sowie den Wasser- und Schifffahrtsdirektion und –ämtern und dem Statistischen Bundesamt in Wiesbaden für die Zusammenarbeit im Forschungsprojekt **MARION** .

BERICHTSKENNBLATT

Berichtsnummer		
1. UBA-FB 102 40 302	2.	3. Wasserwirtschaft
4. Titel des Berichts Erstellung einer Datenbasis und eines dv-gestützten Verfahrens zur quantifizierten Abschätzung von seeverkehrsbedingten Emissionen und Umweltbelastungen aus dem Seeverkehr auf der Nord- und Ostsee. MARION - Umweltrelevantes Informations- und Analysesystem für den Seeverkehr		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Brandt, Manfred		8. Abschlußdatum Oktober 1997
		9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Hansestadt Bremische Hafenamts Elbinger Platz 1 27570 Bremerhaven		10. UFOPLAN - Nr. 102 40 302
		11. Seitenzahl 132
		12. Literaturangaben 74
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Bismarckplatz 1, 1000 Berlin 33		13. Tabellen 43
		14. Abbildungen 10
15. Zusätzliche Angaben Im Kapitel "Unfallbedingte Umweltprobleme" wurde in größerem Umfang auf eine Diplomarbeit von Oliver Klimsa und Alexander Quell zurückgegriffen. Dipl.-Inform. Thomas Höth führte die Programmierarbeiten durch. Dipl.-Ing. Martina Wellbrock und Kapt. Bernhard Sachtleber kümmerten sich um die Lokalisierung und Beschaffung von Daten. Prof. Dr. Ing. Wolfgang Schwanebeck übernahm die wissenschaftliche Begleitung.		
16. Kurzfassung Ziel des Forschungsvorhabens MARION ist die Schaffung eines raumbezogenen, dv-gestützten Informations- und Analysesystems zur Quantifizierung des Verbrauchs, der Erzeugung oder Umwandlung von umweltrelevanten Stoffen und von Schadstoffemissionen durch den Seeschiffsverkehr. MARION ist als offenes System konzipiert, das sowohl in räumlicher als auch in inhaltlicher Weise erweitert werden kann. Entgegen früheren Ansätzen werden die Quantifizierungen nicht aus statistischen Zusammenfassungen über Schiffsverkehre entwickelt, sondern über technische Angaben zu Einzelschiffen, deren exakt beschriebene Bewegungen und ihre Ladungen. Die Basisdaten hierfür werden im MARION-System vorgehalten und sind bei der Anwendung bedarfsweise zu ergänzen. So steht MARION der Datenbestand der gesamten Welthandelsflotte mit über 86.000 Seeschiffen zur Verfügung (Stand 1995). Einzelschiffsbewegungsdaten und Ladungsangaben können -soweit nicht bereits vorhanden- von den Meldebehörden bezogen werden. Routenangaben sind für einige Häfen im System integriert und lassen sich leicht ergänzen. Für die Einschätzung havariebedingter Umweltbelastungen wird auf eine integrierte Unfalldatenbank zurückgegriffen. Neben einer Beschreibung der einzelnen Stoffe und ihres Schadenspotentials werden Algorithmen zur Quantifizierung einzelner Stoffverbräuche, betriebsbedingter Abfallmengen und Emissionen detailliert entwickelt. Die Bearbeitung der Algorithmen auf der Basis neuerer Erkenntnisse ist jederzeit möglich. Um die Gebrauchsfähigkeit des MARION-Systems auch bei Fehlen einzelner Daten(felder) zu gewährleisten, sind umfangreiche Regressionsverfahren beschrieben und integriert worden, die die fehlenden Daten in guter Näherung und nachprüfbar aus dem vorhandenen Bestand erzeugen. Zur Demonstration der Einsatzfähigkeit des MARION-Systems wurde für ein bestimmtes Gebiet der Nordsee eine Bilanz umweltrelevanter Stoffe und Emissionen für 1995 durchgeführt. Dazu wurden alle Verkehre nach und von den Bremischen Häfen mit bestimmbar Routen betrachtet. Für die mit insgesamt 8.644 Meldungen erfaßten Schiffe, die sich 183.300 h im Betrachtungsgebiet aufhielten und dort 2.464.133 sm (= 114 mal Erdumfang) zurücklegten, wurden folgende Mengen bilanziert: SO ₂ 7.467 t, NO _x 8.007 t, CO 961 t, CO ₂ 411.725 t, Treibstoffe 129.881 t, ölhaltige Rückstände 2.575 t, Abwasser 62.049 m ³ , Müll 886,8 t, TBT 233 kg und Zink 770 t.		
17. Schlagwörter Antifouling, Emissionsalgorithmus, Emissionsbilanz, Emissionsfaktor, Havarie, Informationssystem, Luftschadstoff, Maritimer Umweltschutz, MARPOL, Meeresverschmutzung, ölhaltige Rückstände, Schiffsabwasser, Schiffsmüll, Schiffsstammdaten, Schiffsunfall, Seeverkehr		
18. Preis	19.	20.

REPORT COVER SHEET

Report No. 1. UBA-FB 102 40 302	2.	3. Wasserwirtschaft
4. Report Title Compilation of data and development of computer-based methods for quantitative estimates of emissions and of dangers for the environment from maritime traffic in the North and Baltic Sea. MARION - Environment-orientated Maritime Traffic Information and Analysis System.		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Brandt, Manfred		8. Report Date Oktober 1997
		9. Publication Date January 1998
6. Performing Institution (Name, Address) Hansestadt Bremische Hafenam Elbinger Platz 1 27570 Bremerhaven		10. UFOPLAN - Ref. No.. 102 40 302
		11. Number of pages 132
		12. References 74
7. Funding Institution (Name, Address) Umweltbundesamt, Bismarckplatz 1, 1000 Berlin 33		13. Figures 43
		14. Illustrations 10
15. Supplementary Information The chapter "Environmental problems caused by accidents" is mainly based on a graduation paper by Oliver Klimsa and Alexander Quell. Dipl.-Inform. Thomas Höth has carried out the programming works. Dipl.-Ing. Martina Wellbrock and Captain Bernhard Sachtleber have been dealing with location and acquisition of relevant data. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schwanebeck has been the scientific advisor.		
16. Abstract <p>The task of the research project MARION is to create a geographically orientated and computer-based information and analysis system for the quantification of substances with (potential) environmental risks which are consumed, generated or emitted when operating ships. MARION is conceived as an open system which can easily be expanded in geographic extent and in substance.</p> <p>In contrast to previous approaches the quantifications are not derived from statistically summarised data but by using detailed technical data of individual ships and their actual routing and cargoes. The bulk of basic data are incorporated in MARION (e.g. 1995 ships data of the world trade fleet of more than 86.000 ships), and current data will have to be completed only as required under extended applications. Individual ships' destinations and cargo information -as far as not yet available with MARION- may be obtained from registration offices at harbours or other authorities. Routes from/to a number of harbours are included in MARION, and other such routes can easily be fed into the system. A compilation of average data is available to enable MARION to make precise estimates of spillages and emissions caused by ships' accidents.</p> <p>Besides a description of individual harmful substances and their hazardous potential, algorithms have been developed for the quantification of consumed fuels and lubricants, produced waste, and emissions. Modification of the algorithms on the basis of new findings can easily be effected at any time. In order to guarantee the usability of MARION even when some data are missing, extensive regression procedures have been detailed and included which allow to generate good and verifiable approximations by resorting to the database available in MARION.</p> <p>To demonstrate the usability of MARION a summary of amounts of ship-generated substances with potential impact on the maritime environment has been made for a defined North Sea area and the year 1995. All ships travelling to and from the Bremen ports with defined routes have been included. The following summarised amounts have been worked out by MARION for the ships counted on 8.644 reports and having run 2.464.133 nm (114 equator lengths) while remaining a total of 183.300 h in the area: SO₂ 7.467 t, NO_x 8.007 t, CO 961 t, CO₂ 411.725 t, fuels 129.881 t, oily residues 2.575 t, black and grey water 62.049 m³, garbage 886,8 t, TBT 233 kg and zinc 770 t.</p>		
17. Keywords Antifouling, emission algorithm, emissions summary, emission factor, average, information system, harmful volatile substance, maritime environmental protection, MARPOL, pollution of the sea, oily residues, sewage, ship's waste, ship's garbage, ship database, damage by sea, maritime traffic		
18. Preis	19.	20.

INHALTSVERZEICHNIS

B BERICHTSBAND

Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	7
1.0 Einleitung	10
2.0 Schiffsbetriebsbedingte Umweltprobleme	13
2.1 Öl- Wassergemische und sonstige flüssige Rückstände	14
2.1.1 Ölhaltige Rückstände durch den Betrieb von Seeschiffen	14
2.1.2 Ölhaltige Gemische - Bilgenwasser	15
2.1.3 Flüssige Gemische aus mineralöhlhaltigen Ladungsreste	16
2.1.4 Flüssige Gemische durch Ladungsreste auf Chemikalientankschiffen	17
2.2 Schiffsmüll	19
2.3 Schiffsabwässer	24
2.4 Ballastwasser	25
2.5 Betriebsbedingte Verschmutzung der Luft durch Verbrennungsprozesse in Schiffsantriebsmaschinen	26
2.5.1 Einfluß der Motorenkonstruktion auf den Schadstoffausstoß	27
2.5.2 Einfluß des Brennstoffs auf den Schadstoffausstoß	28
2.6 Antifoulingfarben	29
2.7 Zinkeintrag durch Verwendung von Zink-Anoden	32
2.8 Ozonschädigende Substanzen	32
2.9 Belastung durch gasende flüssige Ladungen	34
3.0 Unfallbedingte Umweltprobleme	35
3.1 Unterscheidung Ölunfall / Nichtölunfall / Sonderfall	36
3.1.1 Definition für Ölunfall	37
3.1.2 Definition für Nichtölunfälle	37
3.1.3 Definition für Sonderfall	37
3.2 Unterscheidung zwischen küstennahen und küstenfernen Unfällen	38
3.3 Eintrittswahrscheinlichkeiten von Schiffsunfällen im deutschen Seegebiet	39
4.0 Analyse von Verkehrsströmen	40
4.1 Vorgehensweise	40
4.2 Verkehrsgebiete	41
4.2.1 Nordseegebiet	42
4.2.2 Ostseegebiet	43
4.2.3 Verkehrsnetz der Nordsee	44
4.2.4 Verkehrsnetz der Ostsee	45
4.2.5 Beispiel einer Schiffsbewegung mit Routenzuordnung	45
5.0 Rechenansatz für MARION und Emissionsalgorithmen	49
5.1 Berechnung von Entfernungen mit Hilfe geographischer Koordinaten	51
5.2 Ermittlung der Verweilzeiten t_i innerhalb des Betrachtungsgebiets	52
5.3 Ermittlung von Emissionsraten	55

5.3.1	Quantifizierung von ölhaltigen Rückständen durch den Betrieb von Seeschiffen	55
5.3.1.1	Quantifizierung von ölhaltigen Rückständen durch den Betrieb von Seeschiffen mit verringerter Datenbasis	57
5.3.2	Quantifizierung von Schiffsmülleinträgen durch den Betrieb von Seeschiffen	60
5.3.2.1	Quantifizierung von Schiffsmülleinträgen durch den Betrieb von Seeschiffen mit verringerter Datenbasis	63
5.3.3	Quantifizierung von Schiffsabwässern durch den Betrieb von Seeschiffen	64
5.3.3.1	Quantifizierung von Schiffsabwässern durch den Betrieb von Seeschiffen mit verringerter Datenbasis	65
5.3.4	Quantifizierung von Luftschadstoffen im Zusammenhang mit Verbrennungsprozessen in Schiffsmaschinen	65
5.3.4.1	Emissionsfaktor e_i , Schadstoffart bezogen auf die Vortriebsarbeit des Schiffes i	66
5.3.4.2	Emissionsfaktor f_i bezogen auf den verbrannten Brennstoff des Schiffes i	67
5.3.4.3	Leistung des Seeschiffes P	67
5.3.4.4	Spezifischer Brennstoffverbrauch b	68
5.3.4.5	Emissionsfaktoren e bzw. f	68
5.3.4.6	Zusammenstellung verschiedener Emissionsfaktoren für Luftschadstoffe	70
5.3.4.7	Quantifizierung von Luftschadstoffen im Zusammenhang mit Verbrennungsprozessen in Schiffsmaschinen mit verringerter Datenbasis	72
5.4	Quantifizierung von Antifoulingeinträgen durch den Betrieb von Seeschiffen	73
5.4.1	Quantifizierung von Antifoulingeinträgen durch den Betrieb von Seeschiffen mit verringerter Datenbasis	75
5.5	Quantifizierung von Zinkeinträgen durch Opferanoden im Seeschiffsbetrieb	78
6.	Datenbasis und -akquisition	80
6.1	Benötigtes Datenspektrum	80
6.2	Schiffsstammdaten	82
6.3	Schiffsbewegungs- und Ladungsdaten	84
6.3.1	In MARION integriertes Verkehrsnetz	84
6.3.2	Schiffsbewegungs- und Ladungsdaten	86
6.4	Emissionsfaktoren	87
6.5	Unfalldaten	87
6.5.1	Publizierte Unfallangaben	87
6.5.1.1	Quelle: Blome, D.: Literaturrecherche zum Forschungsbericht 102 03 428, Juli 1988	88
6.5.1.2	Quelle: The Institute of London Underwriters Casualty Returns (ILU)	89
6.5.1.3	Quelle: Hazardous Cargo Bulletin	89
6.5.1.4.	Quelle: Gefährliche Ladung	90
6.5.1.5	Weitere Quellen	90
6.5.2	MARION-Unfalldatenbank	90
6.5.2.1	Aufbau der MARION-Unfalldatenbank	91
6.6	Datenakquisition	91

7.0	Berechnungen (Beispiel)	94
7.1	Berechnung der NOX und SO2 Emissionen	95
7.2	Berechnung der ölhaltigen Rückstände	96
7.3	Berechnung der CO und CO2-Emissionen	96
7.4	Berechnung der Abwassermengen (Grauwasser und Schwarzwasser)	97
7.5	Berechnung des Schiffsmüllanfalls	98
7.6	Berechnung von TBT-Emissionen durch Antifoulingfarben	99
7.7	Berechnung der Zink-Emissionen	99
8.	Zusammenfassung	101
9.	Fazit	107
10.	Literaturverzeichnis	109

[... Anhang

B/1 Anhang 1	Statistische Informationen über verschiedene Schiffstypen der Welthandelsflotte
B/2 Anhang 2	Schiffsankünfte und Schiffsabfahrten in den deutschen Häfen, unterteilt nach verschiedenen Schiffstypen

ANLAGENBAND

A1 Anlage 1	Datenakquisition
A2 Anlage 2	Diplomarbeit: "Gefährdung der marinen Umwelt durch Unfälle im Zusammenhang mit dem Transport seewassergefährdender Güter auf Seeschiffen - eine Risikoanalyse für das deutsche Seegebiet"
A4 Anlage 4	MARION-Dokumentation: Beschreibung aller MARION-Funktionen anhand der MARION-Entwicklungsumgebung
A3 Anlage 3	Access Datenbank: Auflistung der Schiffsunfälle weltweit aus den Jahren 01/1986 bis 12/1995

...]

TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1	SCHAUBILD ÜBER ANFALLENDE RÜCKSTÄNDE UND SCHADSTOFFE AN BORD VON SEESCHIFFEN IN ANLEHNUNG AN [14].	13
TABELLE 2	EINLEITUNGSVORSCHRIFTEN FÜR CHEMIKALIENSLOPS NACH MARPOL, ANLAGE II, REGEL 5	18
TABELLE 3	EXEMPLARISCHE ÜBERSICHT VON ABFÄLLEN, DIE AUF SEESCHIFFEN ANFALLEN.	20
TABELLE 4	VERBRENNUNG VON SCHIFFSMÜLL [19]	21
TABELLE 5	VERDICHTEN VON SCHIFFSMÜLL [19]	22
TABELLE 6	EINLEITUNGSBEDINGUNGEN FÜR SCHIFFSMÜLL NACH MARPOL, ANLAGE V [23]	23
TABELLE 7	ABWASSEREINLEITUNGEN PRO PERSON UND TAG	24
TABELLE 8	MAßNAHMEN ZUR REDUKTION VON ABGASEMISSIONEN AM SCHIFFSDIESELMOTOR [34]	27
TABELLE 9	GESETZGEBUNGSSTAND BEZÜGLICH EINSATZ VON TBT-HALTIGEN ANTIFOULINGFARBEN (STAND: MITTE 1990) [42].	31
TABELLE 10	ABSOLUTE UNFALLZAHLEN IM ZEITRAUM 1986 BIS 1995 WELTWEIT	36
TABELLE 11	HÄUFIGKEITEN NACH UNFALLORTEN WELTWEIT (KÜSTEN-NAH - KÜSTENFERN)	38
TABELLE 12	EINTRITTSWAHRSCHEINLICHKEITEN VON SCHIFFSUNFÄLLEN	39
TABELLE 13	BETRACHTETE NORD- UND OSTSEEHÄFEN	42
TABELLE 14	ENTFERNUNGSTABELLE EINER SCHIFFSROUTE	47
TABELLE 15		

DURCHSCHNITTliche SCHIFFSGESCHWINDIGKEITEN FÜR VERSCHIEDENE SCHIFFSTYPEN DER WELTHANDELSFLOTTE	54
TABELLE 16 DURCHSCHNITTliche HAUPTMASCHINENLEISTUNG FÜR VERSCHIEDENE SCHIFFSTYPEN DER WELTHANDELSFLOTTE	59
TABELLE 17 MÜLLANFALL mi, MÜLLART PRO PERSON UND TAG AUF FRACHTSCHIFFEN [16]	61
TABELLE 18 MÜLLANFALL mi, MÜLLART PRO PERSON UND TAG AUF FÄHRSCIFFEN [16]	62
TABELLE 19 DURCHSCHNITTliche BESATZUNGSSTÄRKEN FÜR VERSCHIEDENE SCHIFFSTYPEN DER WELTHANDELSFLOTTE	63
TABELLE 20 QUANTITÄTSBETRACHTUNG FÜR SCHWARZ- UND GRAU- WASSER PRO PERSON UND TAG AUS [21]	65
TABELLE 21 EMISSIONSFAKTOREN ei NACH HADLER/GOETZE [26]	69
TABELLE 22 EMISSIONSFAKTOREN NACH LLOYD'S REGISTER [63] FÜR LANGSAM- UND MITTELSCHNELLAUFENDE DIESELMOTOREN	70
TABELLE 23 EMISSIONSFAKTOREN fi NACH EINER OECD STUDIE [64]	70
TABELLE 24 EMISSIONSFAKTOREN fi NACH SCOTT ENVIRON. TECHNOLOGY	70
TABELLE 25 EMISSIONSFAKTOREN fi NACH MARINTEK [66]	71
TABELLE 26 EMISSIONSFAKTOREN fi NACH MARINTEK [67]	71
TABELLE 27 EMISSIONSFAKTOREN fi NACH AGENA, HADLER, MOU [68]	71
TABELLE 28 EMISSIONSFAKTOREN fi NACH BOUSCAREN [69]	71

TABELLE 29	EMISSIONSFAKTOREN eI NACH ALEXANDERSSON [71]	72
TABELLE 30	DURCHSCHNITTLICHER TIEFGANG FÜR VERSCHIEDENE SCHIFFSTYPEN DER WELTHANDELSFLOTTE	77
TABELLE 31	SCHIFFSSTAMMDATENBANK MARION	82
TABELLE 32	LÄNDERTABELLE UN-COUNTRY-CODE	84
TABELLE 33	BEWEGUNGSDATEN DER BREMISCHEN HÄFEN	94
TABELLE 34	DATENFELDER FÜR NOX UND SO2 BERECHNUNG	96
TABELLE 35	DATENFELDER FÜR DIE BERECHNUNG VON ÖLHALTIGEN RÜCKSTÄNDEN	96
TABELLE 36	DATENFELDER FÜR CO UND CO2 BERECHNUNG	97
TABELLE 37	DATENFELDER FÜR DIE BERECHNUNG VON SCHIFFS- ABWASSER	98
TABELLE 38	DATENFELDER FÜR DIE BERECHNUNG VON TBT- EMISSIONEN	99
TABELLE 39	ABSOLUTE UNFALLZAHLEN VON 1986 BIS 1995 WELTWEIT	102
TABELLE 40	HÄUFIGKEITEN NACH UNFALLORTEN WELTWEIT (KÜSTENNAH - KÜSTENFERN)	103
TABELLE 41	HÄUFIGKEITSPROGNOSE FÜR SCHIFFSUNFÄLLE IM DEUTSCHEN SEEGBIET	103
TABELLE 42	BILANZIERTER MENGEN UND SCHADSTOFFE DURCH DEN SEESCHIFFSVERKEHR DER SCHIFFE DIE IM JAHR 1995 DIE BREMISCHEN HÄFEN ANGELAUFEN HABEN	105

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1 VERKEHRSGEBIET DER NORD- UND OSTSEE	41
ABBILDUNG 2 BETRACHTUNGSGEBIET DER NORDSEE	42
ABBILDUNG 3 BETRACHTUNGSGEBIET DER OSTSEE	43
ABBILDUNG 4 VERKEHRSNETZ DER NORDSEE	44
ABBILDUNG 5 VERKEHRSNETZ DER OSTSEE	45
ABBILDUNG 6 BEISPIEL EINER SCHIFFSROUTE	47
ABBILDUNG 7 REGRESSION SCHIFFSGESCHWINDIGKEIT/HAUPTMASCHINENLEISTUNG	53
ABBILDUNG 8 REGRESSION HAUPTMASCHINENLEISTUNG/BRUTTOREGISTERTONNE	58
ABBILDUNG 9 REGRESSION TREIBSTOFFVERBRAUCH/HAUPTMASCHINENLEISTUNG	73
ABBILDUNG 10 REGRESSION TIEFGANG/BREITE	76

1.0 Einleitung

Die Seeschifffahrt gehört, wie viele internationale Untersuchungen ergeben haben, seit langem nicht mehr zu den primären Verschmutzungsquellen der Weltmeere. Sie wird als eine umweltfreundliche Alternative zu landgestützten Verkehrsträgern betrachtet (Schiff und Hafen 3/94-Marion1).

Dies wird bestätigt durch eine im Jahre 1994 für das Bundesverkehrsministerium durchgeführte Analyse des Germanischen Lloyd über "Schadstoff-emissionen im Schiffsverkehr". Im Vergleich verschiedener Transportsysteme kommt diese Studie zu dem Ergebnis: "Das Seeschiff ist als das günstigste heute übliche und das umweltfreundlichste Transportsystem" anzusehen. Aufgrund des geringsten Kraftstoffverbrauches, bezogen auf die Transportleistung, treffe dies vor allem für die Emissionen von CO₂, und CO zu. Selbst bei der NO_x-Emission bleibe ein Vorteil bestehen, der aber geringer ausfalle als bei den zuvor genannten Abgaskomponenten.

Die in der Öffentlichkeit häufig diskutierte Belastung des Meeres durch Öl infolge des Seeverkehres ist im Zeitablauf erheblich zurückgegangen. Im Vergleich zu den Schätzungen zu Beginn der 80er Jahre ist eine Reduktion von 1,47 Mio. auf 0,57 Mio. Tonnen pro Jahr festgestellt worden, d.h. die jährlichen Belastungen haben sich um etwa 60% geringer verringert. Neuere Untersuchungen zeigen, daß nur noch 12% des Gesamteintrags von Öl in die Meere aus dem Seeverkehr stammen [1].

Die hier vorliegende Studie **MARION** "Umweltrelevantes Informations- und Analysesystem für den Seeverkehr" ist ein Forschungsvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes und baut auf die im Jahr 1994 entstandene Vorstudie DINUS "Daten- Informations- und Nutzungssystem" auf, die von der Forschungsstelle für die Seeschifffahrt e.V. (FSSH) in Hamburg durchgeführt wurde. Ziel von **MARION** ist die raumbezogene Bilanzierung und Quantifizierung von Umweltbelastungen durch den Seeverkehr. Mit Hilfe von Basisdaten über die Schiffe, den Seeverkehr und den Güterumschlag in Verbindung mit spezifischen Emissionsalgorithmen sollen belastbare Auskünfte über seeverkehrsbedingte Umweltbelastungen gegeben werden.

Bei systematischer Betrachtung ist hier eine Unterteilung in zwei Problemgruppen zweckmäßig. Zum einen treten bereits beim ungestörten, normalen Schiffsbetrieb Umweltbelastungen in mehr oder weniger großem Umfang auf. Zum anderen bedingen Abweichungen vom Soll-Betriebszustand, wozu sowohl kleinere Störungen als auch Havarien bis hin zu Katastrophen zu rechnen sind, Umweltschädigungen in sehr unterschiedlichem Ausmaß. In **MARION** sollen nachvollziehbare Aussagen gerade auch über den letzteren Belastungsanteil gemacht werden, wozu eine statistische Aufbereitung der relevanten Daten erforderlich ist.

Umwelteinflüsse aus dem Normalbetrieb der Schiffe können dem Fahr- und Unterhaltungsbetrieb zuzurechnen sein, aber auch durch die Ladung bzw. den Ladungsbetrieb bedingt sein. Die Freisetzungen schädlicher Stoffe aus diesen Betrieben werden im Bericht als **normalbetriebsbedingte Freisetzungen** bezeichnet. Ohne Anspruch auf letzte Vollständigkeit sind an möglichen betriebs- und ladungsbedingten Umweltbelastungen in diesem Sinne zu nennen:

- öl- und chemikalienhaltige Rückstände oder Gemische, die in die Meeresumwelt gelangen
- Schiffsmüll
- Schiffsabwasser
- Ballastwasser
- Luftschadstoffe aus Verbrennungsmaschinen
- andere Schadstoffe, wie z.B. Zink aus Korrosionsschutzanoden oder organische Zinnverbindungen als Bestandteile von Antifoulinganstrichen

Die Freisetzungen schädlicher Stoffe infolge von Störungen des normalen Schiffsbetriebes werden im Bericht als **unfallbedingte Freisetzungen** bezeichnet. Für die Erarbeitung von Basisdaten in diesem Themenbereich wurde eine Diplomarbeit mit dem Arbeitstitel: "Gefährdung der marinen Umwelt durch Unfälle im Zusammenhang mit dem Transport seewassergefährdender Güter auf Seeschiffen - eine Risikoanalyse für das deutsche Seegebiet" vergeben (Anlagenband 2). Darin werden Eintrittswahrscheinlichkeiten für Schiffsunfälle und Risikozahlen ermittelt, die das Risiko von Unfällen mit seewassergefährdenden Stoffen im deutschen Seegebiet abbilden. Die Grundlage für die Ermittlung solcher Eintrittswahrscheinlichkeiten und Risikozahlen (Kenngrößen) bildet eine Datenbank über Schiffs- und Ladungsunfälle, bei denen eine Beeinträchtigung der marinen Umwelt durch den Austritt seewassergefährdender Stoffe eingetreten ist. Zur Erstellung dieser Datenbank wurden verschiedene Informationsquellen herangezogen, die Daten über Schiffsunfälle publizieren.

Die Vollständigkeit der verfügbaren oder erhältlichen Daten und eine sorgfältig zusammengestellte Sammlung von Emissionsalgorithmen ermöglichen es, raumbezogene Quantifizierungen von schädlichen Emissionen und Belastungen der Meeresumwelt über konkrete technische Angaben zu Einzelschiffen, deren exakt beschriebene Bewegungen und ihre Ladungen zu gewinnen. Entgegen früheren Ansätzen, bei denen statistische Zusammenfassungen von Schiffsgrößen und Schiffsverkehren als Basis für die Abschätzungen dienten, wird in MARION der Einzelschiffsansatz soweit und solange beibehalten, wie die Datenlage es zulässt. Erst wo exakte Daten zum Einzelschiff nicht mehr zur Verfügung stehen oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu beziehen wären, wird mit gemittelten Werten weiter gearbeitet, wobei zur Regression wiederum möglichst naheliegende Daten aus dem Datenbestand herangezogen werden. Die Ergebnisse der auf diese Art und Weise durchgeführten Berechnungen sind nicht nur örtlich und zeitlich beliebig eingrenzbar, sondern auch von hoher Genauigkeit und zudem jederzeit nachprüfbar.

In der Forschungsarbeit werden die einzelnen Aspekte von **MARION** in verschiedenen Themenbereichen abgehandelt. Zunächst wird ein Überblick über die einzelnen schiffsbetriebsbedingten Umweltprobleme und das Schadenspotential der wichtigsten umweltgefährdenden Stoffe aus dem Schiffsbetrieb gegeben, dem sich ein entsprechender Überblick über unfallbedingte Umweltprobleme anschließt. Im nächsten Abschnitt werden dann die Verkehrsströme und Schiffsverweilzeiten analysiert, wobei man sich bei **MARION** auftragsgemäß auf die Nord- und Ostsee beschränkt hat. Die Systematik der Ansätze ist jedoch auf andere Seegebiete ohne weiteres übertragbar.

Der Beschreibung des grundsätzlichen Rechenansatzes und der Ermittlung der Emissionsraten wird in einem weiteren Kapitel Rechnung getragen. Hier werden diverse Emissionsalgorithmen (Quellterme) zusammengestellt, erläutert, verglichen und (weiter-)entwickelt. Außerdem werden die Regressionsmethoden zur Ermittlung von

Ausgangswerten bei reduzierter Datenbasis beschrieben und anhand von Beispielen unter Verwendung der vorhandenen Daten dargestellt.

Einen großen Raum nimmt danach die Beschreibung der Daten und ihre Verarbeitung in (in **MARION** integrierten) Datenbanken ein. Die Schiffsdatenbank allein enthält den umweltrelevanten Datenbestand der gesamten Welthandelsflotte mit über 86.000 Seeschiffen (1995). Die Herkunft der Daten und ihre Verfügbarkeit (Datenhalter) werden angegeben, wobei die Erfahrungen des **MARION**-Teams bei der Datenakquisition wiederum in einem gesonderten Teil verarbeitet worden sind. Hier haben sich unerwartete Schwierigkeiten ergeben, die aber überwindbar erscheinen und den Lösungsansatz "Einzelschiff" von **MARION** nicht in Frage stellen können.

Zum Abschluß werden beispielhaft einige Berechnungen durchgeführt und deren Ergebnisse dargestellt, die die große Einsatzbreite, aber auch die enormen Selektionsmöglichkeiten von **MARION** aufzeigen.

MARION ist als offenes System konzipiert. Es kann jederzeit ohne großen Aufwand modifiziert und erweitert werden.

2.0 Schiffsbetriebsbedingte Umweltprobleme

In diesem Kapitel wird ein kurzer Überblick über das Spektrum der schiffsbezogenen Umweltprobleme gegeben. Die einzelnen Themenbereiche können jedoch nur kurz skizziert werden. Eine detaillierte Betrachtung des Gesamtspektrums schiffsbezogener Umweltprobleme ist nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Tabelle 1 Zusammenstellung über anfallende Rückstände und Schadstoffe an Bord von Seeschiffen in Anlehnung an [14].

Ölhaltige Rückstände und Gemische aus dem Maschinenbereich	Altöl	Verunreinigte Kraftstoffe, gebrauchte Schmieröle mit Seewasser vermischt oder durch Metallabrieb verunreinigt.
	Ölhaltige Gemische	Gemische aus Kraftstoff-, Kühlwasser-, Seewasser-, Schweißwasser- und Schmierölanlagen.
	Ölhaltige Rückstände	Schmutzöle aus den Separatoren, Abflüsse aus den Spülkanälen, Entleerungen aus Filteratoren und sonstige ölhaltige Rückstände aus der Brennstoffaufbereitung.
	Tankwaschwasser	Im allgemeinen nur auf Tankschiffen
Flüssige Ladungsrückstände	Ölslops	Tankwaschwasser auf Öl- oder Produkt-tankern
	Chemikalienslops	Tankwaschwasser auf Chemikaliertankern
Schiffsmüll	Haushalts- und Küchenabfälle	Nahrungsmittelreste, Verpackungen, Leergut
	Betriebsabfälle	Putzlappen, Farbreste, Rost, Glühbirnen Kehricht
	Feste Ladungsrückstände	Ladungsbruch, Kehricht aus Laderäumen, Stau- und Separiermaterialien (Holz, Säcke, Matten, Papier usw.)
Schiffsabwässer	"Schwarze" Abwässer	Abläufe und Abfälle aus Toiletten, Abläufe aus dem Sanitätsbereich (Apotheke, Hospital), Waschwannen, Waschbecken, Speigatte, Abläufe aus Räumen, in denen sich Tiere befinden.
	"Graue" Abwässer	Abläufe und Abfälle aus Küchen, Bädern und Duschen, sofern sie nicht mit "schwarzen" Abwässern verunreinigt sind.
Schornsteinemissionen	NO _x , SO ₂ , etc.	Verbrennungsrückstände und Abgase der Schiffsmotoren
Antifouling-Anstriche	TBT, CU	Schutzanstriche mit Gehalten an Bioziden zur Vermeidung des Bewuchses an Schiffsrümpfen
Zinkanoden	Zink	Galvanischer Korrosionsschutz am Schiffsaußenkörper
Sonstiges	FCKW, HALON	Kühl- und Klimaanlage, Feuerschutzmittel
	Rohölladungen	Gasbildung von flüssigen Massengütern, z.B. durch Druck und Temperatur
	Scrubber-Ausflüsse	Einleitung von Wasser, das aus der I-nergaserzeugung auf Tankschiffen entsteht.

2.1 Öl- Wassergemische und sonstige flüssige Rückstände

2.1.1 Ölhaltige Rückstände durch den Betrieb von Seeschiffen

Durch den Betrieb von Seeschiffen entstehen zwangsläufig erhebliche Mengen an ölhaltigen Rückständen (Ölschlamm). Ölhaltige Rückstände fallen bei der Brennstoffaufbereitung, dem regulären Maschinenbetrieb mit allen Schmier- und Fettvorgängen und bei der Reinigung von Material und Maschinen an. In den letzten Jahren beeinflusst die verschlechterte Brennstoffqualität den Mengenzuwachs an ölhaltigen Rückständen erheblich.

Die ölhaltigen Rückstände werden an Bord mittels Separatoren, Filtern und Rückspülfiltern aus den Flüssigkeiten herausgefiltert und in sogenannten Schlamm-tanks (Sloptanks) gesammelt. Die Größe und Anzahl der Schlamm-tanks fällt von Schiff zu Schiff verschieden aus [2]. Nach MARPOL 73/78, Anlage 1, Regel 17, ist jedes Schiff mit einer Vermessungsgröße ab und über 400 RT mit einem oder mehreren Tanks von angemessener Kapazität entsprechend dem Maschinentyp und der Dauer der Reise auszustatten, welche die ölhaltigen Rückstände (Ölschlämme) aufnehmen.

Die Verschlechterung der Qualität des Brennstoffs hatte zunächst direkten Einfluß auf den Maschinenbetrieb, d.h. die Anfälligkeit und der Verschleiß der Aggregate erhöhte sich. Motorenhersteller sahen sich gezwungen, Maschinen zu liefern, die stark verunreinigte, schwere Ölqualitäten verarbeiten können. Diese Entwicklung ist heute abgeschlossen. Neben den technischen Auswirkungen des Maschinenbetriebs sind Unverträglichkeiten und die Instabilität von Brennstoffgemischen geblieben. Diese Instabilität ist zu einem großen Teil für den Schlammanfall im Separator und die Absetzung in den Brennstofftanks verantwortlich.

Beim Ölschlamm-anfall wird daher zwischen Diesel- und Schwerölbrennstoff unterschieden. Für Dieselöl wird ein Schlammanfall von 0,2% der Brennstoffmenge angenommen. Bei Schweröl schwanken diese Angaben je nach Untersuchung zwischen 1% und 3%.

Nach MARPOL 73/78, Anlage 1, werden Schlamm-tanks für 1% und demnächst für 1,5% der Brennstoffmenge ausgelegt. Eine von der IMO veranlaßte Umfrage hat ergeben, daß bis zu 3% Ölschlamm anfallen. Untersuchungen in der Bundesrepublik Deutschland ergaben einen Wert von 2,5% Ölschlamm-anfall bezogen auf die Brennstoffmenge [3]. Nach einer vom Umweltbundesamt geförderten Studie [4] betragen die entsorgungsbedürftigen Rückstände aus dem Maschinenbereich für schwerölbetrieene Schiffe durchschnittlich 1,36 % der verbrauchten Brennstoffmenge. Das MEPC (Maritime Environment Protection Committee) geht von 1,5% - 2% der verbrauchten Brennstoffmenge an Schwerölbrennstoff und 0,5% der verbrauchten Brennstoffmenge an Dieseltreibstoff aus [5].

Der im Schlamm-tank enthaltene Ölschlamm wird entweder an landseitige Auffangan-lagen abgegeben (geregelt durch MARPOL 73/78 Anl.1, Reg. 19) oder, falls an Bord vorhanden, in speziell dafür geeigneten Ölfeuerungsanlagen verbrannt. Da sich im

Schlammtank die Ölphase von der Wasserphase trennt, ist es in der Regel möglich, die Schlammtankentwässerung in die Bilge zu leiten. In der Bilgenwasserentölungsanlage kann das Wasser unter Berücksichtigung von höchstzulässigen Ölanteilen gereinigt und nach MARPOL 73/78 Anl. 1, Reg. 9, 10 und 16 in gewissen Seegebieten und mit bestimmten Auflagen außenbords gebracht werden [2].

2.1.2 Ölhaltige Gemische - Bilgenwasser

Der Ausdruck ölhaltiges Gemisch wird gemäß MARPOL 73/78, Anlage 1, Reg. 1 als ein Gemisch mit beliebigem Ölgehalt beschrieben. Bilgenwasser ist ein sehr variabel zusammengesetztes, ölhaltiges Gemisch aus Kraftstoffen, Schmierölen, Kühlwasser, Betriebschemikalien, Reinigungsmitteln, Korrosionsschutzölen und anderen Betriebsstoffen. Das Gemisch sammelt sich unter der Maschine im Bilgengraben und wird in der Regel in einen Bilgentank gepumpt. Die anfallende Menge des Gemisches hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie z.B.

- Zustand der Haupt- und Hilfsmaschinen
- Alter der Haupt- und Hilfsmaschinen
- Alter des Schiffes
- Reparaturintervalle
- Reinigungsintervalle
- betriebsbedingte Störungen und Ereignisse an Bord
- Motivation und Ausbildung des Schiffspersonals

Der Anfall an Bilgenwasser beträgt nach IMO [6]

- 1 - 15 m³ pro Tag bei mittleren und großen Seeschiffen
- 0,1 - 3 m³ pro Tag bei Küstenschiffen

Der im Bilgenwasser enthaltene Ölanteil soll bordseitig mit Hilfe von Entölungsanlagen auf einen Restölgehalt von 100 ppm bzw. 15 ppm reduziert werden, um abgelassen werden zu dürfen. Hierfür gelten nach MARPOL, Anlage 1 folgende Einleitungsbedingungen:

- außerhalb von ausgewiesenen Sondergebieten
- auf Reisekurs mit einem Abstand zum Land von min. 12 sm
- maximaler Ölgehalt bei Einleitung von 100 ppm
- Ölgehalt ab 1993 bzw. 1998 maximal 15 ppm

Seit dem 06.07.1993 sind auf neuen Schiffen nur noch 15 ppm -Entölungsanlagen gestattet. Für vorhandene Schiffe wird für die notwendige Umrüstung von 100 ppm -Entölungsanlagen auf 15 ppm -Entölungsanlagen eine fünfjährige Übergangsfrist, bis zum 06.07.1998 eingeräumt [7],[8].

Das Hauptproblem von Entölungsanlagen ist, daß unter realen Bordbedingungen selten ein reines Öl-Wassergemisch vorkommt. In der Regel entstehen im Maschi-

nenbetrieb Emulsionen mit unterschiedlichsten Zusammensetzungen. Emulsionen entstehen durch das Waschen mit Hochdruckreinigern, die evtl. mit Reinigungssubstanzen wie Kaltreinigern oder Tensiden vermischt sind [9]. Kaltreiniger werden zur Reinigung von mit Öl und Schmutz bedeckten Bauteilen verwendet. Als Kaltreiniger werden flüssige Reinigungsmittel bezeichnet, die öl- und fetthaltige Verunreinigungen ohne Wärmeenergie ablösen und in eine Wasserphase überführen. Das Trennen des Ölanteils und des Wasseranteils nach dem Schwerkraftprinzip ist unter Bordbedingungen fast unmöglich. Herkömmliche Entöleranlagen können nur Suspensionen in Öl und Wasser trennen, wobei die Öltröpfchen größer als 0,5 µm sein müssen [3]. Im Bordbetrieb haben sich bislang nur Schwerkraftentöler in Verbindung mit Coaleszenzfiltern durchgesetzt.

Neuere Untersuchungen zeigen jedoch, daß Schwerkraftentöler mit Coaleszenzfiltern nicht in der Lage sind, Öltröpfchen unterhalb 20 µm abzuscheiden oder Emulsionen zu brechen [10], [11], [12].

2.1.3 Flüssige Gemische aus mineralöhlhaltigen Ladungsreste

Flüssige Gemische aus Ladungsresten fallen immer dann an, wenn nach dem Löschen der flüssigen Ladungen Mineralölprodukte oder Rohöl-Ladungsreste übrigbleiben. Nach MARPOL, Anlage 1, Regel 13 ist vorgeschrieben, daß Ladungsrückstände von Rohöltankern wie z.B. Sand oder Rohölkumpen durch Waschen mit der eigenen Ladung aus dem Laderaum gespült und mit der Ladung gelöscht werden ("crude oil washing"). Dieses Verfahren ist nur dann möglich, wenn nach dem Löschen wieder mit der gleichen Ladung gefahren wird. Ändert sich die Ladung, muß der Tank mit Waschwasser gereinigt werden, um eventuelle Reaktionen mit der neuen Ladung oder Verschmutzungen der neuen Ladung zu vermeiden. Das Waschwasser, welches unter Umständen mit Reinigungskemikalien vermischt ist, soll an Land in dafür vorgesehene Auffanganlagen gegeben werden oder darf unter den folgenden Bedingungen von MARPOL, Anlage 1, Regel 9, in die See geleitet werden:

- außerhalb von ausgewiesenen Sondergebieten
- auf Reisekurs mit einem Abstand zum Land von mehr als 50 sm
- Schiff fährt auf seinem Kurs
- maximale Öl-Einletrate von 30 l/sm
- Gesamteinleitungsmenge darf 1/15000 der Gesamtmenge der Ladung nicht überschreiten
- bei neuen Tankschiffen nicht mehr als 1/30 000 der Gesamtmenge der Ladung

Ölhaltiges Ladetank-Ballastwasser fällt dann an, wenn Tankschiffe auf Grund ihrer Konstruktion und/oder Größe kein Ballastsystem haben, das sie von den Ladungstanks unabhängig macht. Für diesen Fall müssen die Ladetanks Ballastwasser aufnehmen können. Ballastwasser wird immer dann gefahren, wenn es die Schiffssicherheit (z.B. schweres Wetter) erfordert.

Nach MARPOL, Anlage 1, Regel 19 müssen Öltankschiffe an Deck Übergabestationen haben, die das Abgeben des ölhaltigen Ballastwassers in landseitige Auffanganlagen erlauben. Ferner sind die Abgaben in einem Öltagebuch zu vermerken.

2.1.4 Flüssige Gemische durch Ladungsreste auf Chemikalientankschiffen

Regelungen für flüssige Gemische auf Chemikalientankschiffen werden in der MARPOL Anlage II vorgenommen. Die Anlage II gilt für alle Schiffe, die Flüssigchemikalien als Massengut befördern [13]. Der Ausdruck Chemikalientankschiff bezeichnet ein Schiff, das in erster Linie zur Beförderung flüssiger Chemikalien als Massengut gebaut und hergerichtet wurde. Er umfaßt ein Öltankschiff im Sinne der MARPOL Anlage 1, wenn dieses als Ladung oder Teil der Ladung schädliche flüssige Stoffe als Massengut befördert.

Chemikalienslops sind Gemische aus Ladungsresten, Tankwaschwasser und Reinigungschemikalien. Sie fallen immer dann an, wenn es aus ladungstechnischen Gründen notwendig ist, eine Tankreinigung vorzunehmen. Die Restladungsmenge, die auf Schiffen anfällt, ist abhängig von den technischen Einrichtungen des Schiffes, von den Eigenschaften des transportierten Stoffes und der Geometrie und der Beschaffenheit der Tanks. Moderne Schiffe können Ladungsrestmengen von weniger als 0,1% der aufgenommenen Ladung erreichen [14]. Wie bei Ölladungen sind alle Vorgänge in Verbindung mit der Ladung in einem Ladungstagebuch zu dokumentieren. Chemikalienslops werden entweder an dafür vorgesehene Auffanganlagen an Land abgegeben oder nach genau festgesetzten Kriterien (MARPOL, Anlage II, Regel 5) in die See eingeleitet. Die Einleitung darf nur bei Einhaltung folgender Parameter erfolgen:

- Schiffsgeschwindigkeit größer oder gleich 7 kn
- Schiff muß sich auf Kurs befinden
- Einleitung nur unterhalb der Wasserlinie
- Abstand vom nächstgelegenen Land muß mindestens 12 sm betragen
- Wassertiefe muß mindestens 25 Meter betragen

Kommt es zu einer Einleitung, müssen folgende Konzentrationen in definierten Stoffkategorien eingehalten werden:

Tabelle 2 Einleitungsvorschriften für Chemikalienslops nach MARPOL, Anlage II, Regel 5

Kategorie	außerhalb von Sondergebieten	innerhalb von Sondergebieten
Kategorie A	nach Prewash Konzentrationen im Waschwasser $\leq 0,1\%$ (0,01%)	Konzentration im Waschwasser $\leq 0,05\%$ (0,005%)
Kategorie B	maximal 1m ³ je Tank oder 1/3000 des Tankinhalts, falls größer; Konzentration im Kielwasser ≤ 1 ppm	nach Prewash Konzentration im Kielwasser ≤ 1 ppm
Kategorie C	maximal 3m ³ je Tank oder 1/1000 des Tankinhalts, falls größer; Konzentration im Kielwasser ≤ 10 ppm	maximal 1m ³ je Tank oder 1/3000 des Tankinhalts, falls größer; Konzentration im Kielwasser ≤ 1 ppm
Kategorie D	Konzentration im Waschwasser $\leq 10\%$	Konzentration im Waschwasser $\leq 10\%$

Die einzelnen Kategorien werden nach MARPOL, Anlage II, Regel 3 wie folgt beschrieben:

Kategorie A

Schädliche flüssige Stoffe, die, wenn sie beim Reinigen der Tanks oder beim Lenzen von Ballast ins Meer eingeleitet würden, eine große Gefahr für die Schätze des Meeres oder die menschliche Gesundheit darstellen oder die Annehmlichkeiten der Umwelt oder sonstige rechtmäßige Nutzung des Meeres ernstlich schädigen würden und die daher die Anwendung strenger Maßnahmen gegen die Verschmutzung rechtfertigen.

Kategorie B

Schädliche flüssige Stoffe, die, wenn sie beim Reinigen der Tanks oder beim Lenzen von Ballast ins Meer eingeleitet würden, eine Gefahr für die Schätze des Meeres oder die menschliche Gesundheit darstellen oder die Annehmlichkeiten der Umwelt oder sonstige rechtmäßige Nutzung des Meeres schädigen würden und die daher die Anwendung besonderer Maßnahmen gegen die Verschmutzung rechtfertigen.

Kategorie C

Schädliche flüssige Stoffe, die, wenn sie beim Reinigen der Tanks oder beim Lenzen von Ballast in das Meer eingeleitet würden, eine geringere Gefahr für die Schätze des Meeres oder die menschliche Gesundheit darstellen oder die Annehmlichkeit der Umwelt oder die sonstige rechtmäßige Nutzung des Meeres geringfügig schädigen würden und die daher eine besondere Handhabung erfordern.

Kategorie D

Schädliche flüssige Stoffe, die, wenn sie beim Reinigen der Tanks oder beim Lenzen von Ballast ins Meer eingeleitet würden, eine noch erkennbare Gefahr für die Schätze des Meeres oder die menschliche Gesundheit darstellen oder die Annehmlichkeiten der Umwelt oder die sonstige rechtmäßige Nutzung des Meeres geringfügig beeinträchtigen würden und die daher bei der Handhabung einer gewissen Aufmerksamkeit bedürfen.

2.2 Schiffsmüll

In das Meer gelangender Schiffsmüll verursacht in vielerlei Hinsicht Umweltprobleme. Er verteilt sich im Meer entweder als schwimmendes Element an der Meeresoberfläche, er treibt im Wasser oder sinkt auf den Meeresboden. Je nach der Verteilung des Mülls im Meer ergeben sich verschiedene Problemfälle. So stellen im Meer schwebende oder schwimmende Gegenstände z.B. eine Belastung für die Netzfischerei dar. Auch Fischereiboote werfen gefangenen Müll und eigene zerstörte Netze und Leinen wieder über Bord. Somit wird insbesondere die Sport- und Küstenschifffahrt gefährdet [15].

Der an der Oberfläche schwimmende Müll stellt insbesondere für die Seevögel und Fische ein großes Gefährdungspotential dar, insbesondere wenn es sich um treibende Netzreste und Tauwerk oder um vermeintliche Nahrung handelt. Neben der Gefährdung von Fauna und Flora ist der an den Küsten angespülte Müll auch wegen der hohen Reinigungskosten ein durchaus ernst zu nehmendes finanzielles Problem. Hier entstehen auch indirekte Verluste, z.B. wenn aufgrund des unästhetischen Aussehens der Strände der Tourismus leidet.

Der auf den Meeresgrund liegende Müll ist sowohl für die am Meeresboden lebenden Organismen als auch für die Schleppnetzfischerei eine Gefahr. Er verursacht also auch hier sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Probleme.

In einer vom Senator für Häfen, Schifffahrt und Außenhandel des Landes Bremen durchgeführten Studie [16] über Schiffsmüllentsorgung geht hervor, daß die Müllbelastung der Nord- und Ostsee hauptsächlich auf die Schifffahrt zurückzuführen ist. Die Müllbelastung der Ostsee ist durch den stark eingeschränkten Wasseraustausch, den hohen Anteil an Fährverkehr und das geringe Volumen der Ostsee als besonders kritisch anzusehen.

Unter Schiffsmüll versteht man alle festen Abfälle, die mit den Begriffen der MARPOL-Richtlinie 73/78 Anlage V, die am 31.12.1988 in Kraft getreten ist, definiert werden [17]. Danach wird Müll bezeichnet als "...alle beim üblichen Betrieb des Schiffes anfallenden und ständig oder in regelmäßigen Abständen zu beseitigenden Arten

von Speise-, Haushalts- und Betriebsabfällen, ausgenommen Frischfisch und andere Teile davon...".

Nach MARPOL, Anlage 5, ist die Beseitigung von Kunststoffabfällen ins Meer verboten. Anderer Müll darf grundsätzlich nur außerhalb von Sondergebieten und unter eingeschränkten Voraussetzungen (MARPOL, Anlage V, Regel 6) auf See beseitigt werden. Seit dem 18.02.1991 ist neben der Ostsee auch die Nordsee zum Sondergebiet nach Anlage V ausgewiesen worden.

Tabelle 3 Exemplarische Übersicht von Abfällen, die auf Seeschiffen anfallen.

<p style="text-align: center;">Personenbedingte Abfälle</p>	<p>Wohn-, Freizeit- und Arbeitsbereich Getränkeverpackungen, Textilien, Hygienerückstände, Raucherrückstände, Papier, Lebensmittel Kombüse, Pantry, Messe Lebensmittelreste und Küchenabfälle, Verpackungen allgemein, Geschirrbuch, Kehricht, Putzlappen Krankenversorgungsbereich Arzneimittel, infektiöses Verbandsmaterial, Verpackungen</p>
<p style="text-align: center;">Betriebsbedingte Abfälle</p>	<p>Maschinenbereich Betriebsabfälle wie Ruß, Filterkuchen, Asche, Kehricht, Schrott, Kabelreste, Elektroden, ölige und fettige Putzlappen, Ölbindemittel Decksbereich Rost, Farben, Pinsel, Seile, Ketten, Schläuche, Leinen, Planen, Verpackungen, Glühbirnen, Signalmittel, Kehricht</p>
<p style="text-align: center;">Ladungsbedingte Abfälle</p>	<p>Ladungsbereich Ladungsreste oder aussortierte Ladung durch Brand-, Wasser- oder Wärmeschaden, Ladungsbruch, Kehricht, Seewurf, Stau-, Lasch-, und Garniermittel</p>

Bei der Betrachtung der spezifisch anfallenden Müllmengen muß außer nach personen-, ladungs- und betriebsbedingten Umständen auch die Schiffsart berücksichtigt werden. So muß zwischen Tankschiffahrt, Massenguttransport, Schüttgütern, Container, Stückgut, Fischerei, Fährverkehr, RoRo-Verkehr und dem reinen Passagierverkehr unterschieden werden. Selbst unter welcher Flagge das Schiff fährt, ist leider noch immer ein nicht zu vernachlässigender Aspekt, da Besatzungen aus Ländern mit hohem Umweltbewußtsein ein anderes Verständnis und damit Verhalten bezüglich Umweltproblemen aufweisen als Besatzungen aus Ländern, in denen die Umwelt einen untergeordneten Rang einnimmt und die aus welchen Gründen auch immer wenig unternehmen, Umweltbewußtsein zu entwickeln und zu schärfen [18].

Um den Schiffsmüll in schiffseigenen Verbrennungsanlagen zu verbrennen, sollen nach MARPOL, Anlage V folgende Punkte beachtet werden:

Tabelle 4 Verbrennung von Schiffsmüll [19]

Müllarten (typische Beispiele)	Besondere Behandlung des Mülls durch das Bordpersonal vor dem Verbrennen	Merkmale der Verbrennung				Raumbedarf für die Lagerung an Bord
		Verbrennbarkeit	erzielbare Volumenverringerung	Rückstände	Abluft	
Papierverpackungen, Lebensmittel- und Getränkebehälter usw.	gering - Fülltrichter kann leicht beschickt werden	hoch	über 95 %	pulverige Asche	ungefährliche Rauchentwicklung möglich	gering
Faserstoffe und Pappe	gering - zur Erzielung einer beschickungsfähigen Teilchengröße wenig Handarbeit erforderlich	hoch	über 95 %	pulverige Asche	ungefährliche Rauchentwicklung möglich	gering
Kunststoffverpackungen, Lebensmittel- und Getränkebehälter usw.	gering - Fülltrichter kann leicht beschickt werden	hoch	über 95 %	pulverige Asche	je nach Auslegung des Verbrennungs ofens - gefährliche Rauchentwicklung möglich	gering
Folien, Netze, Taue sowie großvolumige Gegenstände aus Kunststoff	mäßiger Zeitaufwand für Handarbeit zur Erzielung einer beschickungsfähigen Teilchengröße	hoch	über 95 %	pulverige Asche		gering
Schläuche und großvolumige Gegenstände aus Gummi	erheblicher Zeitaufwand für Handarbeit zur Erzielung einer beschickungsfähigen Teilchengröße	hoch	über 95 %	pulverige Asche		gering
Lebensmittel- und Getränkebehälter aus Metall usw.	gering - Fülltrichter kann leicht beschickt werden	gering	unter 10 %	Schlacke	ungefährliche Rauchentwicklung möglich	mäßig
großvolumige Ladungsbehälter aus Metall, dicke Metallteile	erheblicher Zeitaufwand für Handarbeit zur Erzielung einer beschickungsfähigen Teilchengröße (Verbrennung schwierig)	sehr gering	unter 5 %	größere Metallteile und Schlacke	ungefährliche Rauchentwicklung möglich	hoch
Lebensmittel- und Getränkebehälter aus Glas usw.	gering - Fülltrichter kann leicht beschickt werden	gering	unter 10 %	Schlacke	ungefährliche Rauchentwicklung möglich	mäßig
Ladungsbehälter aus Holz und große Holzabfallstücke	mäßiger Zeitaufwand für Handarbeit zur Erzielung einer beschickungsfähigen Teilchengröße	hoch	über 95 %	pulverige Asche	ungefährliche Rauchentwicklung möglich	gering

Um eine Volumenreduzierung des Mülls zu bewirken ist, nach MARPOL, Anlage V eine Verdichtung des Schiffsmülls notwendig.

Tabelle 5 Verdichten von Schiffsmüll [19]

Müllarten (typische Beispiele)	Besondere Behandlung des Mülls durch das Bordpersonal vor dem Verdichten	Merkmale des Verdichtens			Raumbedarf für die Lagerung an Bord
		Geschwindigkeit der Formänderung	Formbeständigkeit nach dem Verdichten	Stoffdichte nach dem Verdichten	
Metall, Lebensmittel- und Getränkebehälter, Glas, kleine Holzstücke	entfällt	sehr hoch	fast 100 %	hoch	gering
zerkleinerte Kunststoffe, Faserstoffe und Pappen	gering - zur Erzielung einer beschickungsfähigen Teilchengröße wenig Handarbeit erforderlich	hoch	ungefähr 80 %	mittel	gering
kleine Metallfässer, unzerkleinerte Ladungsverpackungen, große Holzstücke	mäßig - größerer Zeitaufwand für Handarbeit zur Erzielung einer beschickungsfähigen Teilchengröße	niedrig	ungefähr 50 %	ziemlich gering	mäßig
unzerkleinerte Kunststoffgegenstände	erheblich - sehr großer Zeitaufwand für Handarbeit zur Erzielung einer beschickungsfähigen Teilchengröße; praktisch nicht möglich	sehr gering	weniger als 10 %	sehr gering	hoch
großräumige Ladungsbehälter aus Metall, dicke Metallteile	diese Gegenstände eignen sich nicht für das Verdichten an Bord; nicht möglich	entfällt	entfällt	entfällt	hoch

Tabelle 6 Einleitungsbedingungen für Schiffsmüll nach MARPOL, Anlage V [19]

Art des Mülls	*** Alle Schiffe außer Plattformen		*** Plattformen vor der Küste
	außerhalb von Sondergebieten	** Innerhalb von Sondergebieten	
Kunststoffe - einschließlich synthetischer Seile sowie Kunststoffmülltüten	Beseitigung verboten	Beseitigung verboten	Beseitigung verboten
schwimmendes Stauholz sowie Schalungs- und Verpackungsmaterial	> 25 sm von Land	Beseitigung verboten	Beseitigung verboten
Papier, Putzlappen, Glas, Metall, Flaschen, Steingut und ähnlicher Abfall	> 12 sm von Land	Beseitigung verboten	Beseitigung verboten
sonstiger Müll einschließlich Papier, Putzlappen, Glas usw. zerkleinert oder zermahlen (max. Ø 25 mm)	> 3 sm von Land	Beseitigung verboten	Beseitigung verboten
Lebensmittelabfälle, nicht zerkleinert oder zermahlen	> 12 sm von Land	> 12 sm von Land	Beseitigung verboten
* Lebensmittelabfälle, zerkleinert oder zermahlen (max. Ø 25 mm)	> 3 sm von Land	> 12 sm von Land	> 12 sm von Land
Mischungen verschiedener Arten von Abfall	****	****	****

- * Zerkleinerter oder zermahlener Müll muß ein Sieb mit einer Maschenweite von höchstens 25 mm passieren können
- ** Die Regeln über die Beseitigung von Müll in Sondergebieten werden nach Maßgabe 5 (4)(b) der Anlage V wirksam.
- *** Der Ausdruck "Plattform vor der Küste und dazugehörige Schiffe" umfaßt alle festen und schwimmenden Plattformen, die zur Erforschung oder Ausbeutung von mineralischen Schätzen des Meeresbodens eingesetzt sind, sowie alle Schiffe, die längsseits solcher Plattformen liegen oder sich in einem Umkreis von 500 Metern um solche Plattformen aufhalten.
- **** Ist Müll mit anderen Schadstoffen gemischt, für die andere Beseitigungs- oder Einleitvorschriften gelten, so finden die strengeren Vorschriften Anwendung.

Die heutige Handhabung der landseitigen Schiffsmüllentsorgung hängt im wesentlichen von der Einstellung der Schiffsbesatzung ab. Aber auch die technische Ausrüstung an Bord, die Lagerung und Behandlung von Müll mit der Möglichkeit zur landseitigen Entsorgung ist oftmals nicht vorhanden [16].

In der Bremer Studie "Schwachstellenanalyse Schiffsmüllentsorgung" [16] wurden insgesamt 104 Frachtschiffe auf ihre Festmüllzusammensetzung untersucht. Dabei stellte sich heraus, daß die Abfälle sich zu 56 % aus personenbedingten Abfällen, zu 14 % aus betriebsbedingten Abfällen und zu 30 % aus ladungsbedingten Abfällen zusammensetzen. Bei der Untersuchung von Fährschiffen (12 Schiffe) ergab sich folgendes Bild. 86 % der Abfälle sind personenbedingt, 12 % sind betriebsbedingt und 2 % sind ladungsbedingt. Der Anteil des personenbedingten Abfallaufkommens ist dabei stark von der Passagierzahl abhängig.

2.3 Schiffsabwässer

Schiffsabwässer werden in zwei Kategorien unterteilt: schwarze Abwässer und graue Abwässer.

Schwarze Abwässer sind Abläufe und Abfälle aus Toiletten, Abläufe aus dem Sanitätsbereich wie z.B. dem Apotheken- oder Hospitalbereich, aus Speigatten oder aus Abläufen in Räumen, in denen sich Tiere befinden.

Graue Abwässer sind Abläufe und Abfälle aus Küchen, Bädern, Waschwannen, Waschbecken, und Duschen, sofern sie nicht mit schwarzen Abwässern verunreinigt sind. Eine genaue Definition der verschiedenen Abwässer ist in der MARPOL-Anlage IV gegeben [20].

Die Umweltbelastung durch Schiffsabwässer ist unmittelbar abhängig von der Menge des eingeleiteten Abwassers. Diese hängt mit der Besatzungsstärke des Schiffes zusammen. Fährschiffe und Kreuzfahrtschiffe spielen hier eine übergeordnete Rolle, da auf Grund der hohen Passagierstärken ein erheblicher Abwasseranfall zu verzeichnen ist.

Die See-Berufsgenossenschaft rechnet mit einem Abwasseranfall von rund 70 Liter Schwarzwasser (Toilettenwasser, Sanitärwasser, besondere Brauchwasser) und 270 Liter Grau- und Mischwasser (Sanitärbetrieb, Spülwasser, Küchenabwässer, etc.) pro Person und Tag bei Fahrgastschiffen sowie mit 70 Litern Schwarzwasser und 220 Litern Grau- und Mischwasser pro Person und Tag bei anderen Seeschiffen.

Bei der HELCOM [21] werden folgende Abwassermengen für Schwarz- und Grauwasser pro Person und Tag genannt.

Tabelle 7 Abwassereinleitungen pro Person und Tag

Schiffstyp	Schwarzwasser		Grauwasser
	Vakuum Toiletten System		
	Ja	Nein	
Passagierschiffe	25 Liter	70 bis 120 Liter	160 Liter
andere Schiffe	25 Liter	70 Liter	110 Liter

Eine Umweltbelastung durch die Einleitung von Schiffsabwässern ist bei hohen Wassertemperaturen besonders gefährlich, weil damit die Bildung von Salmonellen und Bakterien und die Eutrophierung des Gewässers beschleunigt wird.

Am 15. Juni 1991 trat die deutsche Verordnung über die Verhütung der Verschmutzung der Nordsee durch Schiffsabwasser in Kraft. Diese Verordnung folgte einer Vorgabe der 3. Internationalen Nordseeschutz-Konferenz von 1990 und bedeutet für das Küstenmeer der Nordsee einen Vorgriff auf die international noch nicht in Kraft getretenen Bestimmungen der MARPOL Anlage IV. Nach dieser Verordnung, die mehr auf ein Einleitverbot als auf ein Ausrüstungsgebot abstellt, dürfen Schiffsabwässer (Schwarzwasser) nur noch nach den Bestimmungen der Anlage IV, Regeln 8 und 9 - also nicht mehr unbehandelt - eingeleitet werden. Anwendung findet die Verordnung sowohl auf Schiffe unter deutscher Flagge wie auch auf Schiffe unter fremder Flagge im Bereich des deutschen Küstenmeeres. Das Einleiten von Schiffsabwässern ist im Bereich der Ostsee durch das Helsinki-Übereinkommen geregelt.

2.4 Ballastwasser

Ballastwasserabgaben sind in erster Linie deshalb als problematisch anzusehen, weil hiermit das Einschleppen von unerwünschten Mikroorganismen und eventuellen Krankheitserregern praktiziert wird. Diese Organismen werden mit dem Ballastwasser selbst oder mit dem im Sediment vorhandenen Organismen oder Erregern aufgenommen und durch das Einleiten in anderen Regionen wieder abgegeben [22].

Eine Maßnahme, das Einschleppen dieser Organismen in empfindliche Zonen zu verhindern, ist das Austauschen des Ballastwassers vor Erreichen dieser Gebiete. Ein Wasseraustausch sollte in Ozeanregionen stattfinden, die bis zu 2000 Metern tief und mindestens 5 Meilen von der Küste entfernt sind. Es wird angenommen, daß die mit dem Ballastwasser entlassenen Arten dann weder die Küste noch den benthischen Raum lebend erreichen können. Solchen Austauschen stehen jedoch oft Stabilitätsprobleme im Schiffsbetrieb (schweres Wetter, Verrutschen der Ladung, etc.) entgegen. Im Zweifelsfall wird der Sicherheit natürlich Vorrang eingeräumt.

Eine andere Möglichkeit, der Einschleppung schädlicher Organismen vorzubeugen, ist die Behandlung des Ballastwassers an Bord. Die Behandlung kann sowohl technisch als auch chemisch erfolgen. Eine Methode ist die Mikrofiltration, die jedoch sehr teuer ist und viel Platz an Bord benötigt. Eine andere Möglichkeit ist das Erhitzen des Ballastwassers [23]. Vorstellbar wäre auch eine Bestrahlung des Ballastwassers. Hierüber liegen jedoch noch keine weiteren Erkenntnisse vor. Angesichts der Gefahren, die von dem unkontrollierten Einleiten von Ballastwasser ausgehen, hat die IMO Richtlinien ausgegeben, in denen verschiedenen Maßnahmen empfohlen werden [24], u.a.

- Vermeidung der Sedimentaufnahme bei der Bunkerung von Ballastwasser
- Analyse des Ballastwassers vor dem Einleiten in fremde Seegebiete
- Austausch des Ballastwassers in küstenfernen Gewässern.

2.5 Betriebsbedingte Verschmutzung der Luft durch Verbrennungsprozesse in Schiffsantriebsmaschinen

Die bei Verbrennungsprozessen in Schiffsmaschinen entstehenden Schadstoffe wie Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Ruß tragen stark zur Umweltverschmutzung bei. Laut IMO [25] verursacht die Schifffahrt pro Jahr mit 7,5-11,5 Millionen Tonnen Schwefeldioxid 7 % der weltweiten Schwefeldioxid-Gesamtemission. An der weltweit freigesetzten Menge an Stickoxiden ist die Schifffahrt laut IMO mit 13 % beteiligt. Das entspricht ca. 9,3 Millionen Tonnen Stickoxide pro Jahr,.

Nach einer Studie des Germanischen Lloyd [26] wurden im Jahr 1989 im Bereich der Ostseeküste Schleswig-Holsteins und der darüberliegenden Dänischen Inseln Schwefeldioxidemissionen von 5900 Tonnen/Jahr und Stickoxidemissionen von 7270 Tonnen/Jahr aus dem Schiffsverkehr ermittelt.

Bei der IMO sollen zur Verhütung von Umweltverschmutzungen durch Luft-Schadstoff-Komponenten wie Schwefel- und Stickoxide neue Anlagen zum MARPOL-Übereinkommen erarbeitet werden. Es soll erreicht werden, die Schwefeldioxidemissionen in den nächsten Jahren um 50 % und die Stickoxidemissionen um 30 % zu verringern. Die neue Anlage zum MARPOL-Übereinkommen soll ferner Regelungen im Hinblick auf die Qualität von Brennstoffen und der Verbrennung von Schiffsabfällen an Bord enthalten [27], [28]. Die Maßnahmen zur Reduzierung der Luftschadstoffemissionen, die von der IMO erarbeitet werden, haben tiefgreifende Auswirkungen auf den zukünftigen Betrieb von Schiffen.

Betrachtet man die SO_2 - und NO_x - Emissionen in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen der Schiffe, so muß man unterscheiden, ob sich ein Schiff bewegt oder ob es ruht. Ruht ein Schiff, so werden nur die Hilfsaggregate für die Eigenversorgung bzw. im Hafen für den Lösch- und Ladebetrieb benötigt. Für ein in Fahrt befindliches Schiff wird sowohl der Hauptantrieb als auch der Hilfsantrieb verwendet.

Die Schadstoffemissionen sind sowohl bei dem ruhenden als auch bei dem fließendem Verkehr unmittelbar abhängig von der Art des Motors, der unmittelbaren Motorsteuerung (Drehzahl, Temperatur etc.), dem Zustand des Motors und dem eingesetzten Brennstoff. Das gilt sowohl für die Hauptmaschine/n als auch für den/die Hilfsdiesel.

Stickoxidemissionen sind unmittelbar abhängig von der Motorkonfiguration und Motorsteuerung [29]. Der Einfluß des Brennstoffs spielt hier eine untergeordnete Rolle. Die Emission von Schwefeldioxid ist dagegen direkt proportional zum Schwefelgehalt im Brennstoff. Sie hängt weniger von der Motorenkonfiguration und den Betriebsbedingungen ab.

Der Schadstoffausstoß durch Schiffsmotoren kann beeinflusst werden durch die Kraftstoffqualität, durch motorinterne Maßnahmen oder durch Abgasnachbehandlungsanlagen.

Tabelle 8 Maßnahmen zur Reduktion von Abgasemissionen am Schiffsdieselmotor [30]

Kraftstoffqualität	motorinterne Maßnahmen	Abgasnachbehandlung
<ul style="list-style-type: none"> • Kraftstoff mit geringem Schwefelanteil • Dieselkraftstoff mit wenig Abgasemission (Asche, Metalle, Aromate) • Kraftstoff-Wasser-Emulsion • alternative Brennstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> • Ladeluftkühlung • Wasserzufuhr • Späterlegen des Förder- bzw. Einspritzbeginns • Detailoptimierung von Brennraum bzw. der Einspritzanlage • Abgasrückführung • nichtkatalytische innermotorische NO_x-Reduktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Partikelfilter • Rußseparator • Abgaswäscher • Reduktionskatalysator • Oxidationskatalysator

2.5.1 Einfluß der Motorenkonstruktion auf den Schadstoffausstoß

Stickoxide sind unmittelbar abhängig von der Art des Motors. In der Schifffahrt werden hauptsächlich drei Arten von Motoren eingesetzt:

1. Langsamlaufende Zweitaktmotoren
2. Mittelschnellaufende Viertaktmotoren
3. Schnellaufende Viertaktmotoren

Etwa 75 % aller Hauptantriebsmotoren der weltweit neu gebauten Seeschiffe verwenden den Zweitaktmotor als Schiffsantrieb [31]. Die effektivsten langsamlaufenden Zweitaktmotoren (kleiner 60 min^{-1}) haben einen spezifischen Schweröl-Treibstoffverbrauch um 155 g/kWh . Viertaktmotoren haben je nach Drehzahl einen spezifischen Brennstoffverbrauch von bis zu 220 g/kWh [32]. Die spezifischen Schmierölverbräuche liegen bei neueren Viertaktmotoren um $0,6\text{-}1,0 \text{ g/kWh}$ [33].

Im Rahmen einer Studie wurden von Lloyd's Register auf verschiedenen Schiffen mit verschiedenen Motoren Emissionsuntersuchungen durchgeführt [34]. Die Schiffe waren in unterschiedliche Typen, Größen und Fahrtgebiete eingeteilt. Lloyd's Register ermittelte Emissionsfaktoren von mittelschnell- und langsamlaufenden Antriebsmaschinen auf Schiffen, die mit Konstantdrehzahlen fahren oder sich auf hoher See befinden. Die dabei ermittelten Emissionsfaktoren sind in Kapitel 5.3 aufgeführt.

2.5.2 Einfluß des Brennstoffs auf den Schadstoffausstoß

Brennstoffe für Dieselmotoren und Kesselanlagen an Bord von Seeschiffen umfassen eine Reihe von Erdölprodukten, die vom Dieselöl bis zum schweren Rückstandsöl reichen. Wegen der in den letzten Jahrzehnten gestiegenen Brennstoffpreise wurden immer billigere und damit schlechtere Brennstoffe eingesetzt, um der Verteuerung entgegenzusteuern [35]. Dies hat u.a. auch zu der Entwicklung des one-fuel-ships geführt, wo neben der Hauptmaschine auch die Hilfsmaschinen mit schweren Rückstandsölen (Schweröl) betrieben werden [36]. Schweröle sind wegen ihrer hohen Viskosität nur im beheizten Zustand pumpfähig. Es sind somit Tankheizungen notwendig.

Konventionelle Schweröle werden durch atmosphärische und Vakuum-Destillation aus Rohöl gewonnen. Bei der Herstellung von neuen Schwerölen in modernen Raffinerien kommen zu den eben erwähnten Arten der Destillation zusätzlich noch das katalytische und das thermische (Visbracker) Cracken hinzu. Sinn des Crackens ist es, den Anfall von Rückständen (Rückstandsölen) in der Raffinerie zu umgehen, indem diese Bestandteile gar nicht mehr ausgeschieden werden. Andere unerwünschte Bestandteile wie z.B. Asphaltene, Schwefel, Vanadium etc., die in diesem Verfahren in konzentrierterer Form anfallen, werden mit Destillaten dem Schweröl beige-mischt.

In der Regel kommen in der Schifffahrt drei verschiedene Treibstoffarten zum Einsatz, die meistens mit der Größe der jeweiligen Schiffseinheit zusammenhängen.

1. Marine Dieselöl (MDO)
2. Marine Gasöl (MGO)
3. Schwerölbrennstoffe (IFO Intermediate Fuel Oil)
(HFO Heavy Fuel Oil)

Der Ausstoß an Schwefeldioxid ist unmittelbar abhängig von dem Schwefelgehalt im Brennstoff. Schwerölbrennstoffe der Klassen IFO 30 - IFO 700 haben Schwefelgehalte von ca. 2,0 % bis 3,0 %. Marine Dieselöl und Marine Gasöl haben Schwefelgehalte von 0,3 % bis 1,0 %.

In der 35. Sitzung des IMO-Ausschusses zum Schutz der Meeresumwelt wurde diskutiert, Schwefelgehalte in Schwerölbrennstoffen zu beschränken (weltweiter oberer Grenzwert für den Schwefelgehalt von 3, % oder 5 %) und evtl. Sondergebiete auszuweisen, in denen nur mit bestimmten Brennstoffen gefahren werden darf [37], [38].

Bei der 36. MEPC-Sitzung ist der Abschluß der neuen Anlage zu MARPOL 73/78 über die "Verhütung der Luftverschmutzung durch Schiffe" auf Widerstand der Entwicklungsländer und der Mineralölindustrie gestoßen. Strittig ist vor allem die obere Begrenzung des Schwefelgehalts im Schiffstreibstoff. Der durchschnittliche Schwefelgehalt in kommerziell erhältlichen Schiffsbrennstoffen liegt bei 2,9 %. Die Mehrheit der MEPC-Delegation tritt jedoch für einen oberen Schwefelwert von 5 % ein. Dieser Wert würde eine von der IMO angestrebte 50% Reduzierung der SO₂ - Emissionen natürlich nicht bewirken können [39].

In einem Forschungsvorhaben der Forschungsstelle für die Seeschifffahrt (FSSH) wurde untersucht, welche Art des Brennstoffs bei welcher Schiffgröße zum Einsatz kommt [40]. Es zeigte sich, daß Marine Dieselöl (MDO) und Marine Gasöl (MGO) in der Regel beim Betrieb von kleineren Schiffen von 500 BRT ausnahmslos und bis ca. 4000 BRT zu 50% verwendet wird. Der Einsatz von Schwerölbrennstoffen (Intermediate Fuel Oil) findet meist bei Schiffen ab 4000 BRT statt. Die Studie zeigte eine Gesamtverteilung von insgesamt 60 % Schwerölbetrieb und 40 % Marine Dieselöl- und Marine Gasölbetrieb.

Da es bei dem Betrieb von Schiffsmotoren mit Schweröl zu verschiedenen Schwierigkeiten kommen kann (Unverträglichkeiten zweier Bunkerladungen, schlechtes Zündverhalten etc.), wurden verschiedene ISO-Normen (8216/0, 8216/1, 8217) entwickelt, die Qualität und Grenzwerte festlegen und eine Klassifizierung von Brennstoffen unternehmen.

2.6 Antifoulingfarben

Seeschiffe bewachsen mit zunehmender Dauer im Seewasser mit Algen, Muscheln und diversen Klein- und Kleinstlebewesen. Um diesem Bewuchs entgegenzuwirken, werden Schiffe im Unterwasserbereich mit Antifoulingfarben appliziert. Eine glatte Unterwasserfläche des Schiffes, die nicht mit Muscheln und anderen Lebewesen bewachsen ist, führt zu einer energieeinsparenden Ausnutzung des Geschwindigkeitspotentials aufgrund der verminderten Reibungswiderstände [41]. So wurde durch Messungen herausgefunden, daß bereits eine Zunahme der Rauigkeit des Unterwasserschiffs von im Mittel 10 µm eine Erhöhung des Brennstoffverbrauchs von 0,3 % bis 1 % bewirkt. Eine stärkere Rauigkeitszunahme kann den Brennstoffverbrauch um bis zu 50 % erhöhen. Die Brennstoffkosten eines Schiffes stellen 50 % der Gesamt-betriebskosten dar [42].

Um den Bewuchs des Schiffes im Unterwasserbereich zu verhindern, wird der Antifoulingfarbe ein bewuchshemmender Stoff wie z.B. TBT (Tributylzinn) oder Kupfer zugeführt.

Grundsätzlich sind drei Arten von Antifoulingfarben zu unterscheiden:

I. Konventionelle oder "free associated" Antifoulingfarben

Das biozide bewuchsverhindernde Additiv (z.B. TBT) wird lose der Farbmatrix zugemischt. Es besteht keine chemische Bindung zwischen dem Additiv und der Farbmatrix. Die Freigabe des bewuchsverhindernden Stoffes erfolgt dadurch, daß das Seewasser langsam durch die Farbmatrix sickert und das Biozid unkontrolliert auswäscht. Der Nachteil dabei ist, daß die Biozidfreigabe oft viel stärker ist, als es die Bewuchshemmung erfordert. Die Schutzwirkung hält somit in der Regel nur für etwa 2 Jahre vor.

II. SPC - Antifouling

Beim SPC-Antifouling (Selbstpolierende Copolymer-Antifouling) ist das Biozid chemisch an ein Bindemittel, meist Acryl-, Methacryl- oder Vinylpolymere) gebunden. Nach Berührung mit Wasser werden die chemischen Bindungen

an der Grenzfläche gebrochen und das Biozid mittels Hydrolyse mit Seewasser von den Polymeren gelöst. Diese Art der Abgabe kann durch die Anlegung der Matrix vom Farbhersteller gesteuert werden. Somit wird bei einem in Fahrt befindlichen Schiff vom Antifoulinganstrich eine Schicht nach der anderen "weggewaschen". Mit dem Einsatz von SPC-Antifouling können Standzeiten von 60 Monaten [43] und mehr erreicht werden.

III. *TBT-freie Antifoulingfarben*

Dieser Farbtyp verwendet alternative Biozide wie biologisch aktive Substanzen, meist in Form von Kupferoxiden. Die Biozide sind innerhalb der harzartigen Farbmatrix verteilt, aber nicht chemisch gebunden. Ähnlich wie bei den SPCs wird bei Wasserkontakt das in die Farbmatrix eingebettete Biozid freigesetzt. TBT-freie Antifouling haben Standzeiten von ca. 3 Jahren. [44]

Zu den TBT-freien Farben (im allgemeinen Kupferverbindungen) muß erwähnt werden, daß auch diese, obwohl sie natürliche Spurenelemente sind, eine Wassergefährdung darstellen. Da die Toxizität von Kupferverbindungen niedriger ist als diejenige von Organozinnverbindungen, erhalten die Kupferantifouling entsprechend höhere Anteile (Cu-Gehalt bis 50%). Diese hohen Konzentrationen bewirken toxische Effekte. Alternativ zu toxischen Unterwasserschiffsanstrichen laufen in Japan Versuche, ein Antifouling-System für Schiffe auf Basis elektrisch leitfähiger Beschichtungen zu entwickeln. Das System verhindert den Bewuchs durch Mikroorganismen, indem es das Meerwasser kurzfristig ionisiert [45].

Nach Informationen der Farbenfirma International werden heute noch weltweit bei 60 % aller Seeschiffe SPC (Selbstpolierende Copolymer-Antifouling) verwendet, die das biozide TBT als Beimengung erhalten. Die Lebensdauer hängt im allgemeinen von der jeweiligen Farbensorte, von der Schiffsgeschwindigkeit und vom befahrenen Seegebiet ab [46].

Britische Wissenschaftler haben TBT-Konzentrationen von 40-50 Nanogramm pro Liter Wasser in der Nordsee gefunden. Diese Konzentration reicht aus, um in der Nahrungskette bei bestimmten Lebewesen Schäden hervorzurufen. So wurden schon 1975 in Frankreich Austern aufgefunden, die Deformationen aufwiesen, die auf TBT im Wasser zurückgeführt wurden. In einer Untersuchung des Bayerischen Landesamtes für Wasserforschung für das UBA in Berlin [48] wurde im Rahmen einer Bestandsaufnahme in den Jahren 1987 bis 1990 die Konzentration von TBT in Hafengebieten im Binnenland und an der Nord- und Ostsee untersucht. Im Wasser wurden Maximalkonzentrationen für TBT von ca. 1000 ng/l gemessen, die Medianwerte lagen im Süßwasser bei 25 ng/l, im Salzwasser der Ostsee bei ca. 150 ng/l und dem der Nordsee bei ca. 80 ng/l. Die höheren Werte in der Ostsee sind hauptsächlich auf den verminderten Wasseraustausch zurückzuführen. Bei wirbellosen Tieren treten Wachstumshemmungen bereits im Konzentrationsbereich von 20 - 60 ng/l, bei der Purpurschnecke sogar schon bei 1 ng/l auf. Impossexeffekte (Vermännlichung von weiblichen Schnecken) treten schon bei 2 ng/l auf. [47] TBT-Antifouling haben im Wasser, je nach Temperatur, Halbwertzeiten von wenigen Tagen bis Wochen. Die Halbwertzeit im oberen Sediment beträgt bis zu 5 Monaten, im tieferen Sediment bis zu 2 Jahren. Daraus folgt, daß Gebiete mit besonders hoher Verkehrsdichte und Hafengebiete besondere Problemzonen repräsentieren.

So sollen laut EG für alle Schiffe unter 25 m Länge ohne Ausnahme TBT-haltige Farbstoffe verboten werden und für Schiffe über 25 m Länge strenge Auflagen erfolgen. Die US-Navy muß schon seit 1986 auf TBT-Anstriche verzichten [46]. Für Schiffe über 25 m Länge ist der Gebrauch von TBT-haltigen Farben nicht generell verboten; es wird jedoch ein Grenzwert für die Freisetzungsraten von TBT vorgegeben.

Auf der 35. MEPC-Sitzung im März 1994 hat sich das Umweltbundesamt dafür ausgesprochen, die Leachingrate für TBT-Antifoulings auf $\leq 4,0 \mu\text{g TBT}/\text{cm}^2/\text{Tag}$ zu beschränken [48].

Tabelle 9 Gesetzgebungsstand bezüglich Einsatz von TBT-haltigen Antifoulingfarben (Stand: Mitte 1990) [42].

Land	Schiffe unter 25 m Länge	Schiffe über 25 m Länge
Kanada	verboten	Grenzwert für Freisetzungsraten unter $4 \mu\text{g cm}^{-2} \text{d}^{-1}$
USA	verboten	Grenzwert für Freisetzungsraten unter $4 \mu\text{g cm}^{-2} \text{d}^{-1}$
Australien	verboten	Grenzwert für Freisetzungsraten unter $5 \mu\text{g cm}^{-2} \text{d}^{-1}$
Neuseeland	verboten	Grenzwert für Freisetzungsraten unter $4 \mu\text{g cm}^{-2} \text{d}^{-1}$
Japan	verboten	TBT-Gehalt in Antifoulingfarben darf 8-10 Gew.-% nicht überschreiten
EU-Länder	verboten	keine Grenzwerte
Singapur, Korea, Taiwan, Südamerika	keinerlei Restriktionen	keinerlei Restriktionen

In einem Bericht von Golchert [42] werden für SPC-Farben mittlere Freisetzungsraten von $0,5-5 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{Tag}$ angegeben. Die Angaben beziehen sich auf Freisetzungsraten für in Fahrt befindliche Schiffe. Für den ruhenden Verkehr ist mit erheblich geringeren Raten zu rechnen.

In einer Untersuchung von Watermann/Isensee/Berger [49] über die Antifoulingbelastung der Nordsee werden für TBT 98.000 kg/Jahr und für Kupfer 490.000 kg/Jahr angegeben. Diese Werte beziehen sich auf Abriebsraten für TBT-haltige Farben mit $2,0 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{Tag}$ und für kupferhaltige Farben mit einer Abriebsrate von $10,0 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{Tag}$. Beide Werte beziehen sich auf eine Schiffsbelastung von 1,2 Mio. Schiffsbewegungstagen pro Jahr bei einer durchschnittlichen Schiffsgeschwindigkeit von 15 kn.

2.7 Zinkeintrag durch Verwendung von Zink-Anoden

Zink-Anoden kommen im Schiffsbetrieb als Korrosionsschutz zur Anwendung, da unlegierte und niedriglegierte Stähle im Meerwasser elektrolytische Korrosion erleiden. Zinkanoden werden sowohl für die Außenhaut als auch im Innenbereich, wie in den Ballastwassertanks, verwendet. Zink-Anoden schützen so lange vor galvanischem Zersetz, bis sie sich vollständig aufgelöst haben. Die in Lösung gegangenen Zinkanoden müssen deshalb regelmäßig erneuert werden.

Bei der Korrosion von Metallen im Meerwasser laufen stets zwei elektrolytische Reaktionen ab. Die anodische Reaktion der Metallauflösung und die kathodische Reduktion des Sauerstoffs [50].

2.8 Ozonschädigende Substanzen

Ozon ist als Filter für schädliche Bereiche der kurzwelligen Sonnenstrahlung (UV-B Strahlung im Wellenbereich $\lambda = 280$ bis 320 nm) anzusehen. Natürliche und künstliche UV-B - Strahlung bewirkt beim Menschen Veränderungen an Haut und Augen und beeinflusst das Immunsystem. Aber auch Schädigungen der Pflanzen- und Tierwelt in Form von Produktionsreduzierungen des marinen Phytoplanktons und den damit zusammenhängenden Auswirkungen auf die Nahrungskette sind Auswirkungen des anthropogenen Ozonabbaus [51].

Für den stratosphärischen Ozonabbau kommen folgende Zyklen in Frage:

- NO_x -Zyklus
- OH-Zyklus
- Brom-Zyklus
- katalytischer Ozonabbau durch ClO_2 -Radikale (in Folge der FCKW - Verwendung)
- Effekte durch Vulkanausbrüche

Gesichert scheint, daß die globale Ozonabnahme überwiegend durch industriell hergestellte FCKW hervorgerufen wird. So haben z.B. die FCKW-haltigen Kältemittel R11 oder R12 eine atmosphärische Verweildauer von 60 bis 100 Jahren [52]. Eine weitere Gefahr, die durch die Verwendung von FCKW und Halonen hervorgerufen wird, ist der Treibhauseffekt. Der Einbau von Halon-Feuerlöschsystemen ist seit dem 1. Oktober 1994 nicht mehr zulässig. Hinsichtlich der vorhandenen Anlagen, für die ein Enddatum für die Verwendung von Halonen nicht festgelegt ist, gibt es Probleme bei der Abwrackung von Schiffen sowie bei der Nachfüllung der Halonbehälter [53].

In der Schifffahrt werden FCKW und Halone eingesetzt für

- Großkühlanlagen (Ladung und Proviant)
- Klimaanlage
- Kühlcontainer

- Haushaltskühlgeräte
- Feuerschutzmittel (ausschließlich Halone)

Von einem Kühlschiff wird gesprochen, wenn sämtliche Laderäume eines Schiffes isoliert sind und gekühlt werden. Alle anderen Schiffe mit Kühlanlagen besitzen einen mehr oder weniger großen Anteil von Laderäumen, die als Kühlräume ausgerüstet sind. Kühlcontainer haben im allgemeinen für einen mehr oder weniger großen Anteil der zu befördernden Container entsprechenden Anschlüsse an die bordeigene Kühlanlage [54]. Der überwiegende Teil der Schiffskühlanlagen versorgt heutzutage isolierte Container.

Für Kühlcontainer, deren Aggregate sich innerhalb der genormten Abmessungen des Containers befinden und die als Einheit transportiert werden, ergeben sich folgende Probleme beim Seetransport:

- auf freiem Deck sind Container und Kühlaggregat dem Wetter ausgesetzt. Wartungs- oder Instandsetzungsarbeiten sind wetterbedingt nicht immer durchführbar;
- in geschlossenen Laderäumen unter Deck ergeben sich bei der Aufstellung einer größeren Anzahl von Kühlcontainern - mit luftgekühlten Verflüssigern oder Verdichtern - Schwierigkeiten mit der Frischluft.

Wegen dieser Probleme hat sich heute der Isoliercontainer ohne eigenes Kühlaggregat durchgesetzt, der während der Seereise im Laderaum von einer bordeigenen Kühlanlage versorgt wird. An Land kann dieser Container von clip-on units (Kühlaggregate die an den Container Eckbeschlägen befestigt werden) gekühlt werden.

In einem Bericht [7] wird der %-Anteil der Schifffahrt am FCKW-Gesamtverbrauch (R11 und R12) mit 800 bis 3600 Tonnen angegeben, das entspricht 0,1 %-1 % des jährlichen Verbrauchs weltweit. Der Anteil am Halonenverbrauch in der Schifffahrt wird für Halon 1211 mit ca. 13 % und für Halon 1301 mit ca. 4 % pro Jahr weltweit angegeben.

2.9 Belastung durch gasende flüssige Ladungen

Flüssige Massengüter neigen aufgrund ihrer Struktur oder durch Einflüsse von außen (z.B. Temperatur und Druck) zur Gasbildung. Bei Rohöltankern, die mit einer Inertgasanlage ausgerüstet sind, tritt Gas bei folgenden Gelegenheiten aus:

- Beladen
- Ballasten
- Spülen mit Inertgas (Puring)
- Gasfreimachen
- Probenziehen
- Tankinhaltsmessungen während des Crude Oil Washing (COW)

Bei älteren und kleineren Tankern, die nicht über eine Inertgasanlage verfügen und noch mit Luftaustausch arbeiten, kommen in der Regel weitere Möglichkeiten des Gasaustritts hinzu:

- Tankinhaltsmessungen generell
- Abblasen infolge täglicher Temperaturschwankungen

Von sicherheitstechnischer Bedeutung sind vor allem die Gasaustritte beim Be- und Entladen und dem Ballasten im Hafen. Das Spülen und Gasfreimachen ist aus sicherheitstechnischen Gesichtspunkten weniger riskant, weil diese Vorgänge auf See durchgeführt werden, wo Wind (wenigstens Fahrtwind) die austretenden Gase schnell verdünnt.

3.0 Unfallbedingte Umweltprobleme

Jedes Jahr werden große Mengen seewassergefährdender Güter im internationalen Seeverkehr transportiert. So wurden in den Jahren 1986-1995 durchschnittlich ca. 1,5 Milliarden Tonnen Mineralöl und Mineralölprodukte pro Jahr auf Seeschiffen als Ladungsgut transportiert. Diese Menge stellt annähernd 40 % der gesamten in diesem Zeitraum auf Seeschiffen transportierten Güter dar [55].

Darüber hinaus werden auf jedem Handelsschiff beträchtliche Mengen an Betriebsstoffen mitgeführt, die ebenso wie die als Ladungsgut transportierten Ölprodukte seewassergefährdende Eigenschaften besitzen. Jährlich werden somit ca. 59 Mio. Tonnen Mineralölprodukte als Brennstoffe auf Seeschiffen mitgeführt [56]. Neben den Mineralölprodukten werden auch Chemikalien als Massengut oder in verpackter Form sowie Schüttgüter mit seewassergefährdenden Eigenschaften auf Seeschiffen transportiert.

Im Zusammenhang mit den Transporten der angesprochenen Güter ereignen sich immer wieder spektakuläre Unfälle, bei denen Teile des Meeres und/oder der Küstenregionen verschmutzt und in ihrem ökologischen Gleichgewicht beeinträchtigt werden. Ein Ereignis, das hierfür beispielhaft erwähnt werden kann, ist der Unfall des Öltankers MS EXXON VALDEZ am 24.03.1989. Der Tanker lief im Prinz-William-Sund in Alaska auf ein Riff und 40.000 Tonnen Rohöl verschmutzten das Meer und die angrenzenden Küsten. Die Schadensersatzforderungen aus dieser Umweltkatastrophe belaufen sich auf ca. 2,5 Milliarden Dollar.

Der Transport von Waren oder Gütern auf dem Seeweg ist wie auch auf dem Luft- und Landweg mit gewissen Risiken verbunden. Die Risiken können zu einem großen Teil mit menschlichem Verhalten begründet werden, aber auch die Materialkomponente hat einen Einfluß. So sind bei der Beurteilung von Risiken aus dem Schiffsverkehr sowohl die Managementleistungen der Verantwortlichen und die Ausbildung und Motivation der Schiffsbesatzung, aber auch Zustand und Alter der Schiffe von Bedeutung.

Zwar hat sich nach dem Jahresbericht 1995/96 der Salvage Association der allgemeine Gesamtzustand der Welthandelsflotte verbessert, allerdings, so stellte die technische Vereinigung von Versicherungsunternehmen fest, haben sich die Maschinenprobleme, die unmittelbar mit dem Bedienungspersonal zu koppeln sind, drastisch erhöht. Eine wesentliche Ursache für das steigende Risiko von Unfällen und Schäden beim Warentransport über See ist zunehmend auch der enorme Kostendruck, dem immer mehr Schifffahrtsunternehmen ausgesetzt sind. Die Schifffahrtsunternehmen müssen einen rigiden Sparkurs einhalten und sehen sich oft gezwungen, ihre Schiffe unter "Billigflagge" fahren zu lassen. Dort lassen sich dann erhebliche Einsparungen beim Personal oder beim Unterhalt der Schiffe erzielen [57], nicht nur weil die Personalkosten niedriger sind als im Heimatland, sondern auch weil die Sicherheitsanforderungen oft geringer sind und weniger genau überwacht werden.

So birgt ein Unfall mit einem Seeschiff, z.B. durch austretende Betriebsstoffe, schon ein grundsätzliches Risiko. Ist dieses Schiff zusätzlich mit einer die Meeresumwelt gefährdenden Ladung beladen, ist das Gefährdungspotential wesentlich höher.

In der im Zusammenhang mit dieser Arbeit vergebenen Diplomarbeit mit dem Arbeitstitel

"Gefährdung der marinen Umwelt durch Unfälle im Zusammenhang mit dem Transport seewassergefährdender Güter auf Seeschiffen - eine Risikoanalyse für das deutsche Seegebiet" [siehe Anlagenband 2]

wurden Risikozahlen ermittelt, die das Risiko für Unfälle mit seewassergefährdenden Stoffen im deutschen Seegebiet abbilden. Die Grundlage für die Ermittlung solcher Risikozahlen (Kenngrößen) wurde in Form einer Datenbank über Schiffs- und Ladungsunfälle geschaffen, bei denen die marine Umwelt durch den Austritt seewassergefährdender Stoffe beeinträchtigt worden ist. Zur Erstellung dieser Datenbank, die im MARION-System abgelegt wurde, wurden verschiedene Informationsquellen herangezogen, die Daten über Schiffsunfälle publizieren.

Die statistische Auswertung des Datenmaterials liefert aussagefähige Unfallhäufigkeiten, mit deren Hilfe Eintrittswahrscheinlichkeiten von Unfällen mit seewassergefährdenden Gütern innerhalb des deutschen Seegebietes bestimmt werden können.

3.1 Unterscheidung Ölunfall / Nichtölunfall / Sonderfall

Aus der Datenbank ergab sich folgendes Bild für tatsächlich eingetretene Unfälle in den Jahren 1986-1995, aufgeteilt nach Nichtölunfällen, Ölunfällen und Sonderfällen:

Tabelle 10 Weltweite Unfallzahlen im Zeitraum von 1986 bis 1995

Jahr	Nichtölunfälle	Ölunfälle	Sonderfälle	Gesamtanzahl
1986	21	14	68	103
1987	22	20	56	98
1988	19	21	63	103
1989	22	49	71	142
1990	10	37	57	104
1991	18	24	67	109
1992	12	34	53	99
1993	18	34	70	122
1994	17	32	52	101
1995	10	24	52	86
Ges.	169	289	609	1067

Die Definition über die Begriffe Ölunfall, Nichtölunfall und Sonderfall wird hier folgendermaßen vorgenommen:

3.1.1 Definition für Ölunfall

Ölunfälle sind Ereignisse, bei denen die Gefährdung der marinen Umwelt durch eine unfallbedingte Freisetzung von Mineralöl und Mineralölprodukten ausgeht. Diese Stoffe fallen sämtlich in die erweiterte MARPOL-Kategorie U. Die Freisetzung der Mineralöl oder Mineralölprodukte bei den Ölunfällen kann als Ladungsgut und/oder als Betriebsstoff erfolgen. Ölunfälle im eigentlichen Sinne sind Vorkommnisse, bei denen eine sichtbare (feststellbare) Freisetzung von Mineralöl bzw. Mineralölprodukten erfolgt.

Dies ist dann der Fall, wenn ein mit Öl beladenes Seeschiff in einen Unfall verwickelt ist und ein Austritt der Ladung sichtbar wird (z.B. Ölteppich, Ölflecken an der Wasseroberfläche). Es ist ferner der Fall, wenn ein Seeschiff unfallbedingt und erkennbar durch die Freisetzung an Bord befindlicher Betriebsstoffe die marine Umwelt verschmutzt. Diese Ereignisse können eindeutig in die Kategorie Ölunfälle eingeordnet werden.

3.1.2 Definition für Nichtölunfälle

Nichtölunfälle im Sinne dieser Arbeit sind sämtliche Unfälle, bei denen Stoffe der erweiterten MARPOL-Kategorien A – D und U freigesetzt werden, die keine Mineralöle bzw. Mineralölprodukte sind. Die in die Kategorie Nichtöl fallenden Stoffe werden grundsätzlich als Ladungsgut transportiert. Während bei den Ölunfällen die Verschmutzung der marinen Umwelt grundsätzlich sichtbar ist (Ölteppich), kann bei den Nichtölunfällen oftmals eine nicht offensichtliche Verschmutzung stattfinden. Eine nicht offensichtliche Verschmutzung findet z.B. statt, wenn sich ein seewassergefährdender Stoff nach einem Unfall im Seewasser löst, ohne sichtbare Spuren (z.B. Verfärbung, Schaumbildung) zu hinterlassen. Bei diesen Unfällen werden oftmals erst die Folgen der Freisetzung sichtbar (z.B. tote Meerestiere). Aus diesem Grund fallen unter die Kategorie Nichtölunfälle alle Unfälle, bei denen Schiffe die Umwelt gefährdende Nichtölprodukte offensichtlicher freigesetzt haben und solche Unfälle, bei denen die Schiffe mit derartigen Nichtölprodukten an Bord gesunken sind.

3.1.3 Definition für Sonderfall

Es gibt außer eindeutig erkennbaren Ölunfällen Unfälle, bei denen keine offensichtliche Beeinträchtigung der marinen Umwelt durch Mineralöl und Mineralölprodukte festzustellen ist. In diese Unfälle sind Seeschiffe verwickelt, die keine die Meeresumwelt gefährdenden Stoffe als Ladungsgut transportieren und unfallbedingt sinken. Diese Seeschiffe haben Betriebsstoffe an Bord, d.h. Treibstoff und Schmierstoffe, die in einer durchschnittlichen Größenordnung von ca. 350 t je Seeschiff angegeben werden [58]. Nach dem Sinken des Schiffes wird bei dieser Art von Unfall keine offensichtliche Verschmutzung durch die an Bord befindlichen Betriebsstoffe festgestellt. Es ist jedoch davon auszugehen, daß diese Betriebsstoffe im Laufe der Zeit

freigesetzt werden können, sofern das Wrack nicht vorher geborgen wird. Diese Annahme wird vom Zentralen Meldekopf, Sonderstelle des Bundes Öl-Küste (ZMK), bestätigt. Bei der Luftüberwachung durch Flugzeuge in Bereichen des deutschen Seegebiets, in denen Wracks von Seeschiffen liegen, können Ölflecken festgestellt werden, für die sonst kein Verursacher ermittelbar ist. Für diese Art von Unfällen wird die Kategorie "Sonderfälle" eingeführt. Die Differenzierung in diese zusätzliche Kategorie wird vorgenommen, weil im Gegensatz zum Ölunfall im eigentlichen Sinn die Freisetzung nicht sofort in sichtbaren Mengen erfolgt, sondern in geringen Mengen über einen längeren Zeitraum. Die Belastung der marinen Umwelt durch einen Unfall der Kategorie Sonderfälle ist hierbei anders zu bewerten als die Gefährdung durch einen erkennbaren Ölunfall.

3.2 Unterscheidung zwischen küstennahen und küstenfernen Unfällen

Zum weltweiten Seegebiet zählen alle Seegebiete, Küstenbereiche und seewärtigen Mündungsgebiete von Flüssen. Alle Bereiche, die nach der Seerechtsübereinkunft von 1982 zum Küstenmeer gehören, also innerhalb der 12-Seemeilen-Zone liegen, werden als küstennahe Zonen angesehen. Alle Bereiche, die außerhalb dieser 12-sm-Zone liegen, werden als küstenfern eingestuft. Unfälle, die wegen ungenauer Angabe in der Quelle bzw. ungenauen Kartenmaterials nicht einer küstennahen oder küstenfernen Zone zugeordnet werden können, erhalten für die Definition dieses Bereiches die Angabe "unb." für unbekannt.

Tabelle 11 Weltweite Unfallhäufigkeiten nach Unfallorten

Unfallort	Anzahl
Küstennah	547
Küstenfern	144
Unbekannt	376
Insgesamt	1067

3.3 Eintrittswahrscheinlichkeiten von Schiffsunfällen im deutschen Seegebiet

In Bezug auf das deutsche Seegebiet konnten für Unfälle, die nach unterschiedlichen Größenordnungen der ausgetretenen Stoffmengen und nach den Kategorien Ölunfälle und Nichtölunfälle aufgliedert sind, folgende Erwartungswerte [Jahre/Ereignis] ermittelt werden.

Tabelle 12 Eintrittswahrscheinlichkeiten von Schiffsunfällen

Häufigkeitsprognose für den Eintritt umweltrelevanter Ereignisse im deutschen Seegebiet in der Einheit [Jahre/Ereignis]				
Ausgetretene Stoffmenge	Öl		Nichtöl	
	küstennah	küstenfern	küstennah	küstenfern
≥ 10.000 t	62,5	333,3	142,9	1000,0
< 10.000 t und ≥ 1.000 t	21,3	142,9	52,6	333,3
< 1.000 t	4,7	30,3	7,4	47,6

Die genaue Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeiten ist dem Anlageband 2 zu entnehmen.

4.0 Analyse von Verkehrsströmen

Für eine Ermittlung von Verkehrsströmen müssen zwei Bedingungen erfüllt sein.

- Der Betrachtungszeitraum muß bekannt sein.
- Das Betrachtungsgebiet muß bekannt sein.

4.1 Vorgehensweise

Eine Aufgabenstellung für MARION kann z.B. lauten:

"...Quantifizierung der Emissionen eines bestimmten Schadstoffes (z.B. des Luftschadstoffes NO_x) durch Seeschiffsbewegungen in einem definierten Betrachtungsgebiet G (z.B. deutsches Wirtschaftsgebiet der Nord- und Ostsee) während eines Zeitintervalles zwischen T_1 und T_2 (z.B. 1995)...."

Um den Verkehrsterm zu ermitteln, müssen grundsätzlich folgende Schritte durchgeführt werden:

1. Identifizierung aller Schiffe i , für $i = 1 \dots N$, die sich im Zeitraum $T_1 \rightarrow T_2$ im Betrachtungsgebiet G aufgehalten haben. Die benötigten Schiffsbewegungsdaten sind entweder bei den von der Gebietswahl betroffenen Hafenbehörden oder vom Statistischen Bundesamt zu akquirieren.
2. Ermittlung der Verweilzeiten τ_i [h] aller Schiffe i , die sich im Betrachtungsgebiet G während des Zeitraumes $T_1 \rightarrow T_2$ aufgehalten haben.

Der optimale Ansatz geht davon aus, daß die Schritte 1 und 2 ohne nennenswerte Einschränkungen durchgeführt werden können. Bei optimal vorliegenden Daten ist es möglich, über die eindeutige Schiffsidentifizierung des Funkrufzeichens in Verbindung mit einer umfassenden Schiffsstammdatenbank der Welthandelsflotte jedes Einzelschiff mit seinen für umweltrelevante Fragestellungen benötigten Schiffsparametern (z.B. physikalische Abmessungen, Antriebsleistungen etc.), zu berücksichtigen.

4.2 Verkehrsgebiete

Die Ermittlung von Verkehrsströmen und umweltschädigenden Quelltermen bezieht sich grundsätzlich auf ein genau definiertes Seegebiet. Auftragsgegenstand des Umweltbundesamts Berlin bei der vorliegenden Forschungsarbeit war die Ermittlung von Verkehrsströmen und umweltschädigenden Quelltermen in dem deutschen Wirtschaftsgebiet der Nord- und Ostsee, das deshalb hier beispielhaft eingesetzt wird. Im folgenden wird das gewählte Seegebiet **Betrachtungsgebiet** genannt.

Das Gebiet wurde in zwei Teile unterteilt.

- Nordseegebiet
- Ostseegebiet

In diesem Gebiet werden die an- und die ablaufenden Verkehre der 19 höchstfrequentierten Häfen (Quelle: Verkehrsstatistik des Statistischen Bundesamtes Wiesbaden) hinsichtlich ihrer Verkehre berücksichtigt.

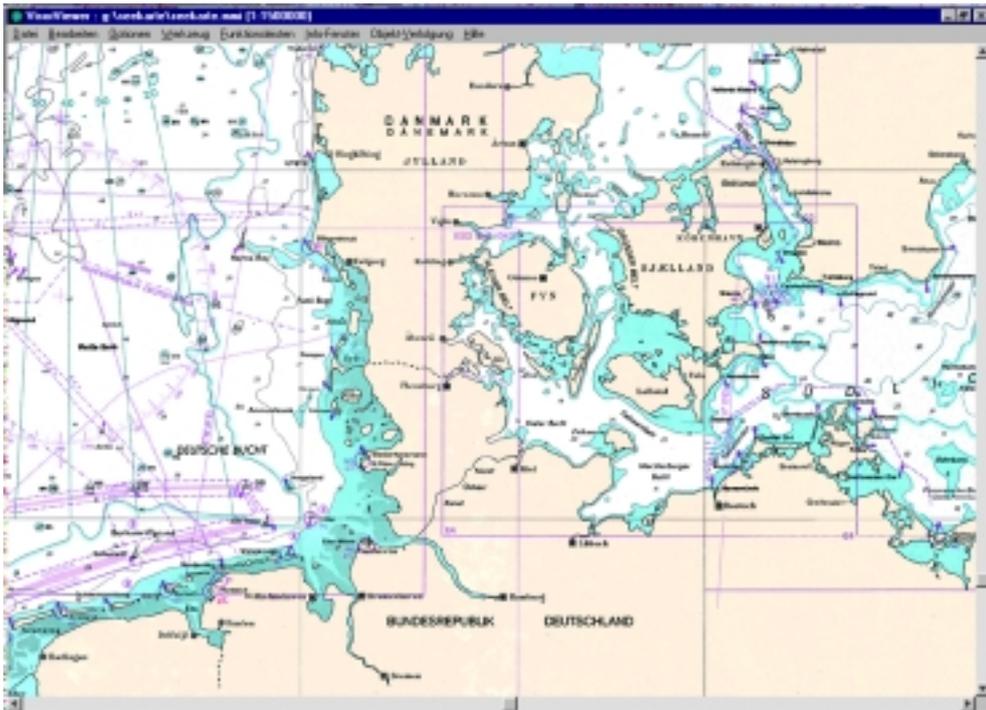


Abbildung 1 Verkehrsgebiet der Nord- und Ostsee

Tabelle 13 Betrachtete Nord- und Ostseehäfen

Nordseehäfen	Ostseehäfen
<ul style="list-style-type: none"> • Brake • Bremen • Bremerhaven • Brunsbüttel • Cuxhaven • Emden • Hamburg • Nordenham • Wilhelmshaven 	<ul style="list-style-type: none"> • Eckernförde • Flensburg • Kappeln • Kiel • Lübeck • Rostock • Stralsund • Travemünde • Warnemünde • Wismar

4.2.1 Nordseegebiet

Das zu untersuchende Gebiet umfasst in der jetzigen Projektstufe einen Radius von ca. 140 sm um die Stadt Hamburg in nordwestlicher Richtung.

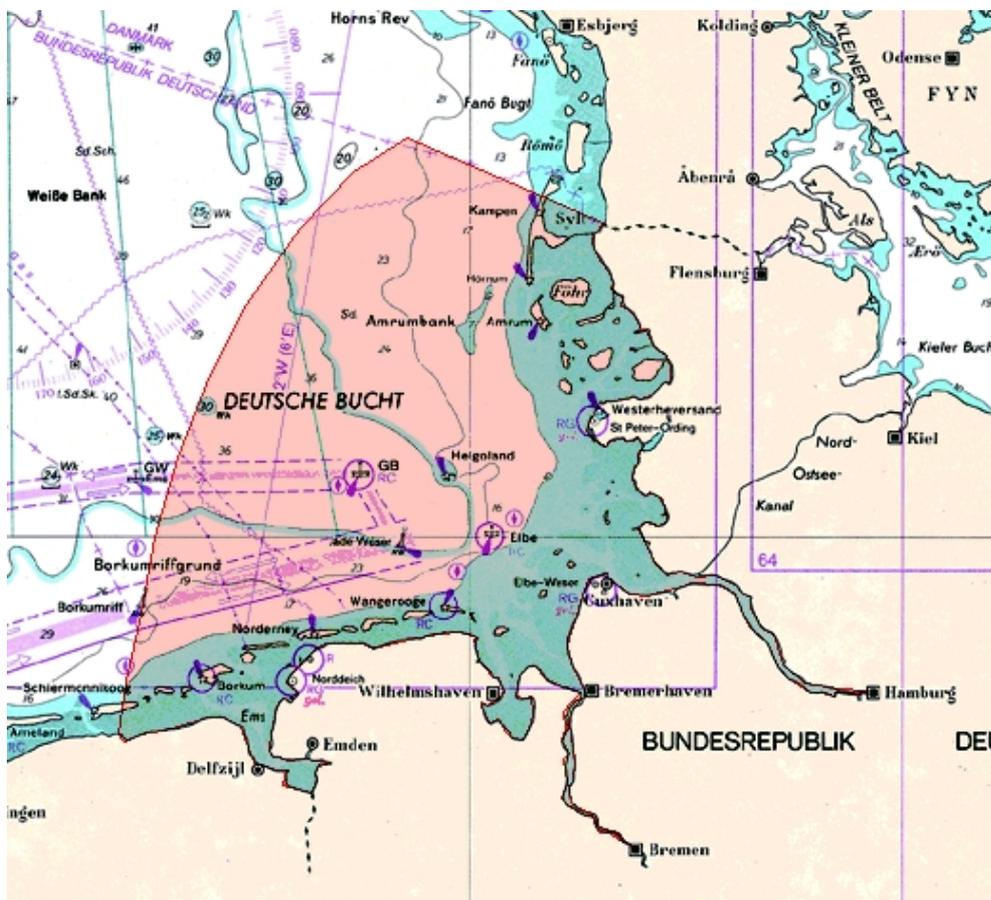


Abbildung 2 Betrachtungsgebiet der Nordsee

Durch die Schiffsanmeldungen in den Häfen werden alle Verkehre erfaßt, die dieses Gebiet befahren und einen der in Tab. 13 aufgelisteten Nordseehäfen anlaufen. Verkehre, die durch den Nord-Ostseekanal in die Ostsee einlaufen, werden berücksichtigt, auch wenn sie keinen unmittelbaren deutschen Hafen anlaufen.

4.2.2 Ostseegebiet

Das Ostseegebiet ist aufgrund seiner zergliederten geographischen Struktur sehr schwer in ein abgegrenztes Betrachtungsgebiet einzuordnen. Das Betrachtungsgebiet, welches in der jetzigen Projektstufe von MARION abgedeckt wird, wird wie folgt dargestellt.

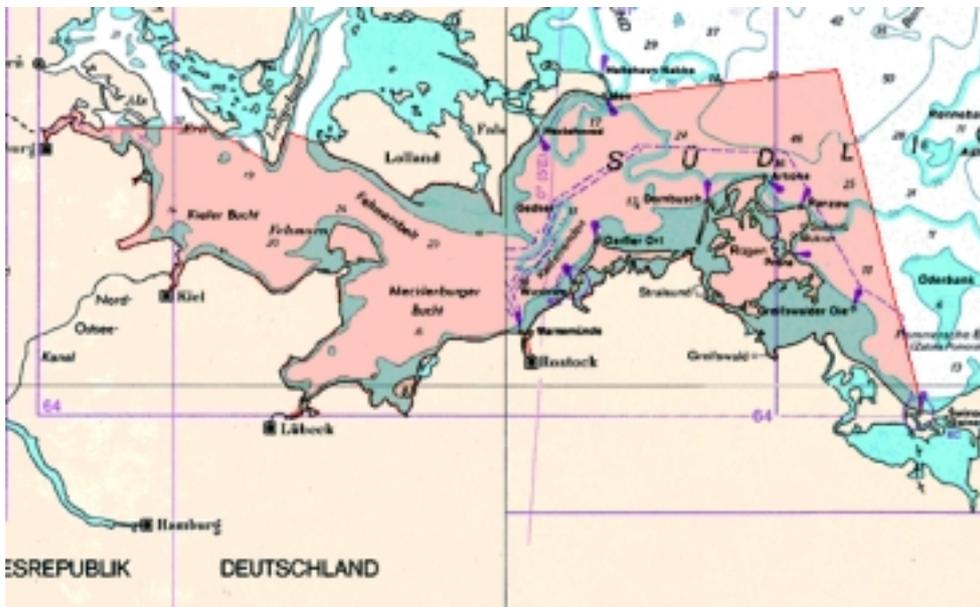


Abbildung 3 Betrachtungsgebiet der Ostsee

Durch die Schiffsanmeldung in den Häfen werden alle Verkehre erfaßt, die dieses Gebiet befahren und einen der in Tab. 14 aufgelisteten Ostseehäfen anlaufen. Verkehre, die durch den Nord-Ostseekanal in die Nordsee einlaufen, werden berücksichtigt, auch wenn sie keinen unmittelbaren deutschen Hafen anlaufen.

Verkehre, die durch das Betrachtungsgebiet fahren und weder einen deutschen Hafen anlaufen, noch durch den Nord-Ostseekanal laufen, tauchen nicht als Meldedatensatz bei den Hafenbehörden auf und werden deshalb auch nicht in MARION berücksichtigt.

4.2.3 Verkehrsnetz der Nordsee

Die in MARION integrierten Daten zur Definition von Verkehrsnetzen werden in Kapitel 6 beschrieben. Alle Schiffsverkehre, die einen deutschen Hafen anlaufen, bewegen sich im MARION-System auf vordefinierten Seewegeabschnitten. Seewegeabschnitte sind Teilverbindungen auf vorgegebenen Schiffsrouten, die durch die Angabe von zwei Koordinaten (jeweils Angabe in Längen- und Breitengrad) definiert sind.

Auch innerhalb des Betrachtungsgebiets der Nordsee besteht das Verkehrsnetz, auf dem sich die Verkehre bewegen, aus vordefinierten Seewegeabschnitten.

Hierbei wird in Kauf genommen, daß sich die einzelnen Schiffsverkehre, insbesondere in der offenen Nordsee, nicht immer ganz genau auf den vordefinierten Routen bewegen. Die Abweichungen sind aber in der Regel gering, wie Lotsen und Nautiker bestätigen. Im statistischen Mittel über einen längeren Betrachtungszeitraum bleibt diese geringe Ungenauigkeit ohne nachweisbaren Einfluß.

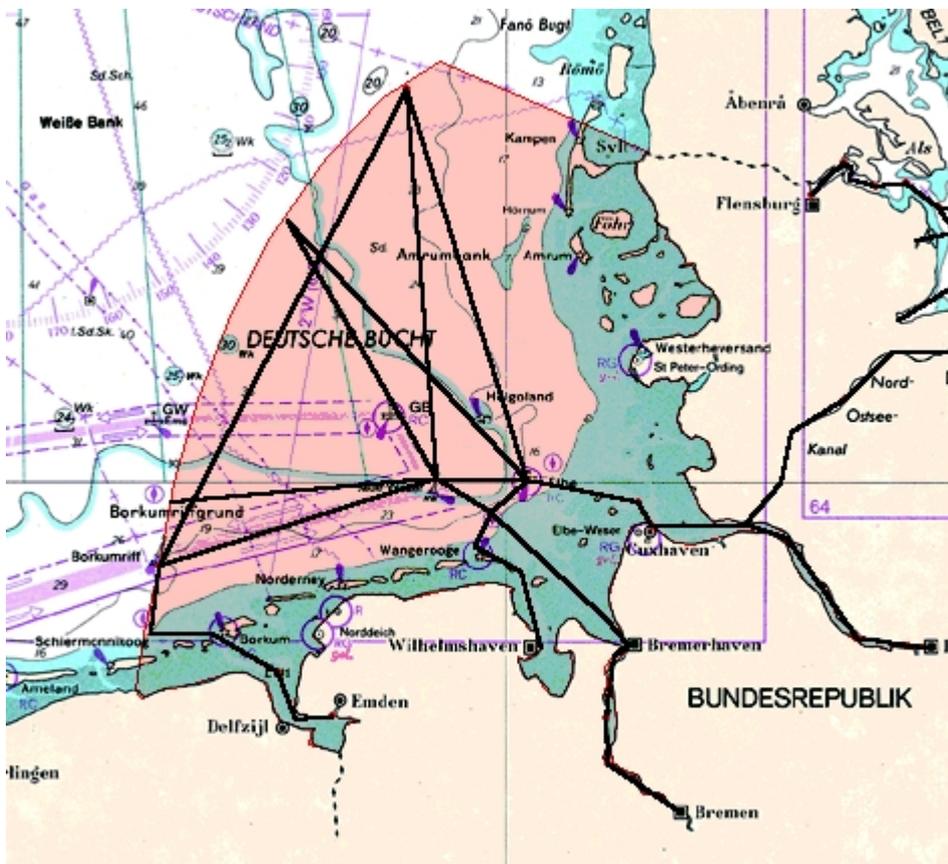


Abbildung 4 Verkehrsnetz der Nordsee

4.2.4 Verkehrsnetz der Ostsee

Innerhalb des Betrachtungsgebiets der Ostsee besteht das Verkehrsnetz, auf dem sich die Verkehre bewegen, aus den hier skizzierten vordefinierten Seewegeabschnitten.

Im Gegensatz zum Betrachtungsgebiet Nordsee durchfahren hier viele Schiffe das zu untersuchende Ostseegebiet, ohne daß ein deutscher Hafen oder der Nord- Ostseekanal angelaufen werden. Diese Schiffe werden somit nicht in den Meldedatensätzen der deutschen Hafenbehörden geführt und werden in der weiteren Berechnung von MARION nicht berücksichtigt.

Hier ist zu erwähnen, daß es sinnvoll wäre, in einer weiteren Projektstufe von MARION die Schiffsmeldedatensätze von weiteren Ostsee- und Nordseerainernstaaten zu beschaffen und die Verkehrsnetze auf den gesamten Nord- und Ostseebereich auszuweiten, damit umfassende Verkehrs- und Umweltbilanzen erstellt werden können.

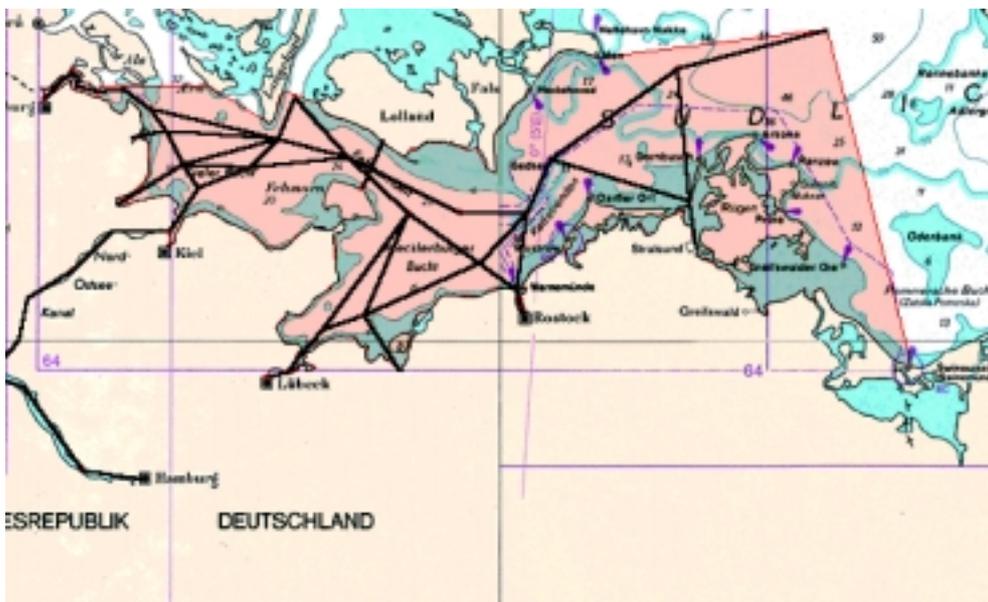


Abbildung 5 Verkehrsnetz der Ostsee

4.2.5 Beispiel einer Schiffsbewegung mit Routenzuordnung

Handelsschiffe sind gesetzlich veranlaßt, sich in den jeweiligen Häfen mit der Angabe ihres eindeutigen Funkrufzeichens, der Angabe des zuletzt angelaufenen Hafens und der Angabe des Hafens, der als nächster angelaufen wird, anzumelden.

Um einem Schiff eine Route zuzuordnen, werden die Schiffsmelddaten, die aufgrund der originären Aufgaben der Hafenbehörden in jedem Hafen verfügbar sind, verwendet.

Beispiel:

Ein Seeschiff wird in der Hafenbehörde "Bremen" (Deutschland) angemeldet. Der Hafen, in dem sich ein Schiff anmeldet, wird bei **MARION** als Meldehafen bezeichnet. Der Hafen, den das Schiff als letzten verlassen hat, wird als letzter Hafen bezeichnet. In diesem Beispiel wird der Hafen "Bergen" in Norwegen angegeben. Der Hafen, den das Schiff als nächsten anläuft, wird als nächster Hafen bezeichnet. In diesem Beispiel wird "Barcelona" in Spanien gemeldet.

Meldehafen	Bremen	UN-Location-Code	DEBRE
letzter Hafen	Bergen	UN-Location-Code	NOBGO
nächster Hafen	Barcelona	UN-Location-Code	ESBCN

Für **MARION** wurde eine Datenbank erstellt und im System integriert (vgl. Kap. 6), die es ermöglicht, alle 16.447 Hafenstädte des UN-Location-Code mit den oben dargestellten, meistfrequentierten deutschen Hafenstädten der Nord- und Ostsee zu verknüpfen. Es ergeben sich daraus 312.493 mögliche verschiedene Schiffsrouten.

Für das o.a. Beispiel wird folgende Schiffsroute vom System vorgegeben:

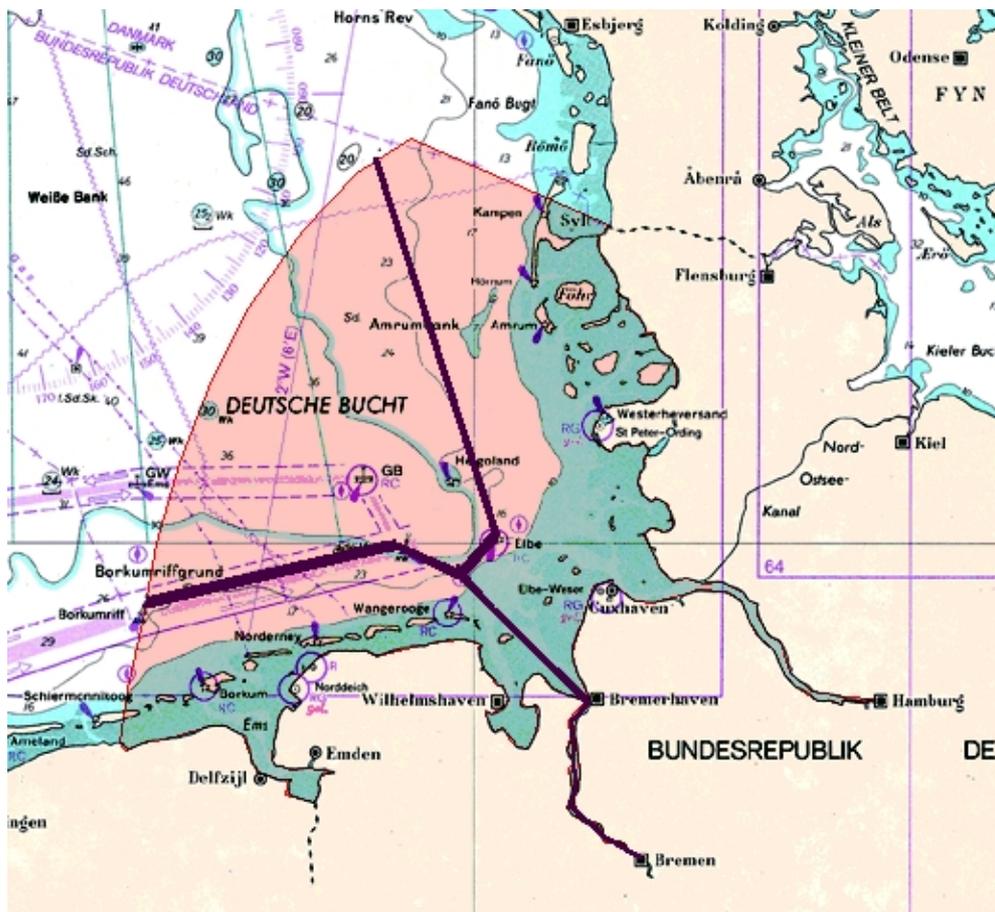


Abbildung 6 Beispiel einer Schiffsroute

Das Seeschiff durchfährt in diesem Beispiel folgende aneinandergefügte Seewegsabschnitte:

Tabelle 14 Entfernungstabelle einer Schiffsroute

Seewegabschnitt Eintrittspunkt	Position	Seewegabschnitt Austrittspunkt	Position	Entfernung
Übergabepunkt von Bergen (NO) in das Betrachtungsgebiet	55°04'00" N 07°32'00" E	TB 1	53°58'55" N 07°43'05" E	62,6 sm
TB 1	53°58'55" N 07°43'05" E	Bremerhaven Z2	53°54'50" N 07°55'00" E	10,5 sm
Bremerhaven Z2	53°54'50" N 07°55'00" E	Bremerhaven Z1	53°37'40" N 08°28'20" E	25,5 sm
Bremerhaven Z1	53°37'40" N 08°28'20" E	Bremerhaven	53°32'12" N 08°34'12" E	5,7 sm
Bremerhaven	53°32'12" N 08°34'12" E	Nordenham	53°28'30" N 08°28'00" E	3,2 sm
Nordenham	53°28'30" N 08°28'00" E	Brake	53°19'30" N 08°27'30" E	9,9 sm

Seewegabschnitt Eintrittspunkt	Position	Seewegabschnitt Austrittspunkt	Position	Entfernung
Brake	53°19'30" N 08°27'30" E	Bremen Z1	53°12'05" N 08°29'30" E	7,2 sm
Bremen Z1	53°12'05" N 08°29'30" E	Zielhafen Bremen	53°02'00" N 08°49'00" E	14,4 sm
Ablaufhafen Bremen	53°02'00" N 08°49'00" E	Bremen Z1	53°12'05" N 08°29'30" E	14,4 sm
Bremen Z1	53°12'05" N 08°29'30" E	Brake	53°19'30" N 08°27'30" E	7,2 sm
Brake	53°19'30" N 08°27'30" E	Nordenham	53°28'30" N 08°28'00" E	9,9 sm
Nordenham	53°28'30" N 08°28'00" E	Bremerhaven	53°32'12" N 08°34'12" E	3,2 sm
Bremerhaven	53°32'12" N 08°34'12" E	Bremerhaven Z1	53°37'40" N 08°28'20" E	5,7 sm
Bremerhaven Z1	53°37'40" N 08°28'20" E	Bremerhaven Z2	53°54'50" N 07°55'00" E	25,5 sm
Bremerhaven Z2	53°54'50" N 07°55'00" E	TB 1	53°58'55" N 07°43'05" E	10,5 sm
TB 1	53°58'55" N 07°43'05" E	Übergabepunkt aus dem Betrachtungsgebiet nach Barcelona (Es)	53°58'00" N 06°25'00" E	44,5 sm

Die Längen der einzelnen Seewegabschnitte errechnen sich wie in Kapitel 5 dargestellt. Durch die Summierung der einzelnen Abschnitte ergibt sich die gesamte Entfernung, die das Seeschiff innerhalb des Betrachtungsgebiets zurückgelegt hat. In diesem Beispiel hat das Seeschiff eine Distanz von 259,9 sm zurückgelegt.

5.0 Rechenansatz für MARION und Emissionsalgorithmen

Da die Beschaffung einzelner Schiffsbewegungsdaten und Schiffsstammdaten in der Vergangenheit sehr schwierig war, wurde in vielen Untersuchungen in einem sehr frühen Stadium mit stark vereinfachten oder gemittelten Ansätzen gerechnet. Auf Grund fehlender Einzeldaten wurde versucht, über Verkehrsdichten im definierten Gebieten und über statistische Schiffbetrachtungen (Schiffsmittelwerte) Emissionsbilanzen vorzunehmen.

Bei dieser Art der Betrachtung können aber unter anderem aus folgenden Gründen große Ungenauigkeiten auftreten:

- es erfolgt keine Unterscheidung nach Schiffstypen
- erfolgt eine Klasseneinteilung, so ist diese oftmals zu grob unterteilt
- alle Schiffe/Schiffsklassen haben die gleichen physikalischen Kenngrößen (Länge, Breite, Höhe etc.)
- alle Schiffe/Schiffsklassen haben die gleiche Vortriebsleistung und Konstruktionsgeschwindigkeit
- alle Schiffe/Schiffsklassen halten sich gleich lange in dem Betrachtungsgebiet auf
- der An- und Abfahrweg ist nicht bekannt
- die genaue Anzahl der Schiffsbewegungen pro Zeiteinheit ist nicht bekannt.

In **MARION** werden Emissionsbilanzen auf Grund von Einzelschiffsinformationen vorgenommen. Für die Bilanzierung von Schadstoffeinträgen in die marine Meeresumwelt verwendet **MARION** Mittel- oder Schätzwerte nur, wenn detaillierte Daten über Schiffe oder Schiffsbewegungen nicht verfügbar sind. In erster Linie wird immer versucht, die Daten jedes einzelnen Schiffes zu berücksichtigen. Bei **MARION** wird dieser Ansatz als **Einzelschiffsansatz** bezeichnet.

Im Einzelschiffsansatz werden zunächst unabhängig voneinander zwei Terme berechnet:

- der Verkehrsterm (charakterisiert die Verweilzeit bzw. den zurückgelegten Seeweg jedes Schiffes im geographisch festgelegten Betrachtungsgebiet)
- der Emissionsterm (stellt die Emission jedes Schiffes je Zeiteinheit der Verweildauer bzw. je Längeneinheit des zurückgelegten Seewegs dar)

Die Berechnung des **Verkehrsterms** geschieht in folgenden Schritten:

1. Festlegung des geographischen Betrachtungsgebietes;
2. Festlegung des Betrachtungszeitraums;
3. Ermittlung und Identifizierung aller Einzelschiffe, die das Betrachtungsgebiet während des Betrachtungszeitraums befahren haben;
4. Bestimmung des zurückgelegten Seeweges s_i und der damit verbundenen Verweilzeit τ_i jedes Einzelschiffes innerhalb des Betrachtungsgebietes.

Die Beschreibung zur Ermittlung der Verkehrsströme ist in Kapitel 4 erfolgt. Die Berechnung des **Emissionsterms** für die verschiedenen Schadstoffe wird detailliert im folgenden beschrieben.

Die Gesamtemission des Einzelschiffes berechnet sich durch Verknüpfung des Verkehrsterms mit dem Emissionsterm.

$$\text{Einzelschiffsemission} = \text{Verkehrsterm} * \text{Emissionsterm}$$

Mathematisch präzisiert ergibt sich für die Berechnung der Emission E_i für jedes Einzelschiff i folgende Beziehung:

$$E_i = \int_0^{\tau_i} E_i(t) dt \quad [kg]$$

Die Gesamtemission für einen definierten Betrachtungszeitraum in einem festgelegten Betrachtungsgebiet ergibt sich aus der Summe der Einzelschiffsemissionen E_i .

$$E = \sum_{i=1}^N E_i = \sum_{i=1}^N \int_0^{\tau_i} \dot{E}_i(t) dt \quad [kg]$$

In aller Regel werden die zeitabhängigen Emissionsraten $\dot{E}(t)$ jedoch nicht verfügbar sein. Der Einzelschiffsansatz setzt dann aber voraus, daß ein zeitlich gemittelter Wert für jedes Einzelschiff i bekannt ist:

$$\langle \dot{E}_i(t) \rangle_t \equiv \dot{E}_i$$

Der Operator $\langle \rangle_x$ symbolisiert hier und im folgenden die Mittlung über die Variable x . Das Verfahren bleibt solange exakt, wie Mittelwerte \dot{E} verwendet werden, die dem Mittelwertsatz der Integralrechnung entsprechend

$$E_i = \int_0^{\tau_i} \dot{E}_i(t) dt = \dot{E}_i * \tau_i$$

genügen. Die folgenden "Arbeitsgleichungen" lauten somit:

$$E_i = \dot{E}_i * \tau_i$$

und

$$E = \sum_{i=1}^N E_i = \sum_{i=1}^N \dot{E}_i * \tau_i$$

5.1 Berechnung von Entfernungen mit Hilfe geographischer Koordinaten

Die Länge des Seeweges s zwischen zwei Punkten (Seewegsknoten) lässt sich mit Hilfe der geographischen Koordinaten φ (geographische Breite) und λ (geographische Länge) und dem Seitencosinussatz als kürzeste Entfernung auf dem Großkreisbogen b berechnen:

$$\cos b = \cos (90-\varphi_1) * \cos (90-\varphi_2) + \sin (90-\varphi_1) * \sin (90-\varphi_2) * \cos \Delta\lambda$$

Hierbei stehen die Indizes 1 für den Abgangsort und 2 für den Zielort. $\Delta\lambda$ ist der Längenunterschied zwischen beiden Orten. Ostlängen und Nordbreiten werden mit positivem, Südbreiten und Westlängen mit negativem Vorzeichen eingesetzt.

Der Bogen b auf der Erdoberfläche entspricht 60 Seemeilen pro Grad. Damit wird die Entfernung s

$$s = \arccos b * 60 [sm]$$

Der Fehler, der aufgrund der nicht ganz kugelförmigen Erde entsteht, ist vernachlässigbar klein.

5.2 Ermittlung der Verweilzeiten τ_i innerhalb des Betrachtungsgebiets

Zur Ermittlung der Verweilzeit τ_i eines Schiffes i in einem definierten Betrachtungsgebiet muß der Betrachtungszeitraum vorgegeben werden. Der Betrachtungszeitraum ist vom Benutzer im MARION-System frei zu wählen. Der Beobachtungszeitraum besteht aus einem Zeitintervall mit einem Anfangsdatum und einem Enddatum in ganzen Tagen, wobei T_1 der Beginn und T_2 das Ende des Betrachtungszeitraums ist.

Bei MARION wird die Schiffsverweilzeit τ_i aus dem zurückgelegten Seeweg s_i eines Seeschiffes i in dem gewähltem Zeitintervall und der Konstruktionsgeschwindigkeit v_i des Seeschiffes ermittelt.

$$\tau_i = s_i / v_i$$

Die Schiffsgeschwindigkeit wird der vorhandenen Schiffsstammdatendatei von Lloyd's Register entnommen. Gelten in bestimmten Seegebieten Geschwindigkeitsbeschränkungen oder werden Mindestgeschwindigkeiten gefordert (z.B. im Nord-Ostseekanal), werden diese Geschwindigkeitsvorgaben auf den betreffenden Teilabschnitten als v_i angenommen.

Um die Geschwindigkeit des Schiffes i zu ermitteln, wird über das Funkrufzeichen des Einzelschiffes eine eindeutige Zuordnung zu der im System vorhandenen Schiffstammdatenbank der Welthandelsflotte geschaffen. Das Funkrufzeichen wird in Verbindung mit den Schiffsbewegungsdaten, von den in Kapitel 6 beschriebenen Datenhaltern geliefert. Die einzelnen Datenfelder der Schiffsstammdatenbank sind in Kapitel 6 aufgelistet.

5.2.1 Ermittlung der Verweilzeit τ_i mit unvollständigen Daten

Bei der Verknüpfung der Schiffsbewegungsdatenbank mit der Schiffsstammdatenbank stellte sich heraus, daß beide Datenbanken nicht immer vollständig gefüllt sind.

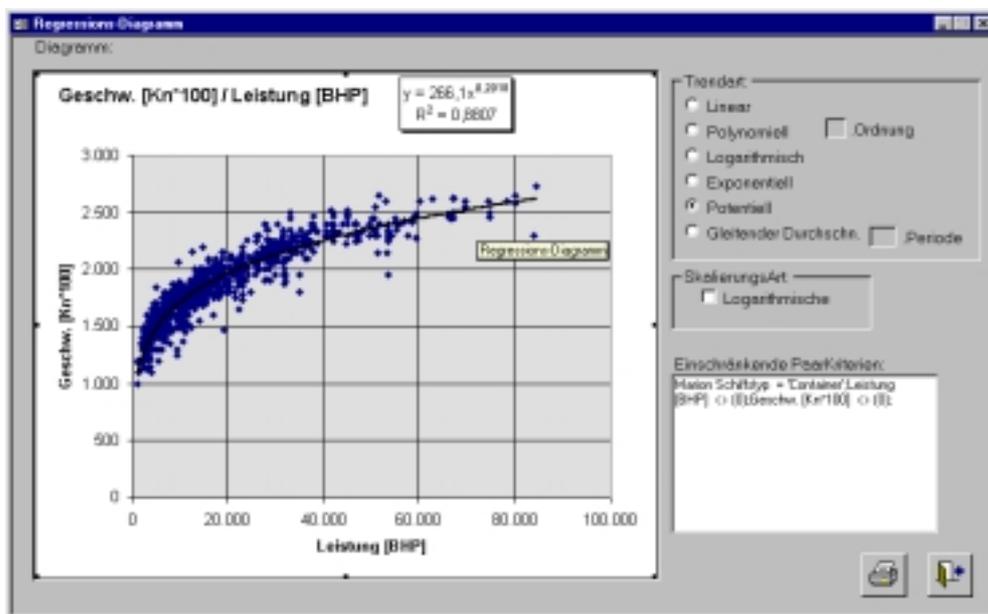
Bei der *Schiffsbewegungsdatenbank* kommt es z.B. vor, daß die Information über das Funkrufzeichen fehlt oder falsch eingegeben worden ist. In diesen Fällen kann das Funkrufzeichen nicht verwendet werden, um die Konstruktionsgeschwindigkeit des spezifischen Schiffes aus den Schiffsstammdaten herauszusuchen. Und in der *Schiffsstammdatenbank* besteht die Möglichkeit, daß die Information über die Konstruktionsgeschwindigkeit für einige spezifische Schiffe fehlt.

Damit in diesen Fällen der verringerten Datenbasis weiter gerechnet werden kann, wurden folgende Reparaturmechanismen entwickelt.

Fall a) Identifizierung des Einzelschiffes über das Funkrufzeichen gelingt. Somit ist der Schiffstyp bekannt, aber die Angabe der Konstruktionsgeschwindigkeit für das spezifische Schiff i fehlt. In diesem Fall wird versucht, eine Korrelation zwischen der Antriebsleistung des Schiffes i und der Konstruktionsgeschwindigkeit herzustellen. Es werden für den speziellen Schiffstyp (z.B. Containerschiff) alle Daten aus der Schiffstammdatendatei der gesamten Welthandelsflotte berücksichtigt, in denen die Angaben über den Schiffstyp, der Antriebsleistung und der Konstruktionsgeschwindigkeit vollständig vorliegen. Mit diesen Daten wird versucht, eine Funktion zu entwickeln, die es erlaubt, mit der Angabe der Antriebsleistung die Konstruktionsgeschwindigkeit zu bestimmen.

Beispiel aus der MARION Anwendung:

Bei einem Containerschiff mit einer Antriebsleistung von 50.000 BHP fehlt die benötigte Information über die Konstruktionsgeschwindigkeit. In diesem Fall werden alle Containerschiffe der Welthandelsflotte für eine Regressionsanalyse herangezogen, bei denen die Angaben über die Antriebsleistung und der Konstruktionsgeschwindigkeit vollständig vorliegen. Für den Schiffstyp "Container" liegen 1637 Datensätze vor. Über die Datensätze dieser 1637 Containerschiffe wird eine Potenzregressionsanalyse durchgeführt.



**Abbildung 7 Regression
Schiffsgeschwindigkeit / Hauptmaschinenleistung**

In diesem Beispiel ergibt sich folgende Potenzfunktion:

$$y = 266,1 x^{0,2018}$$

Das ermittelte Bestimmtheitsmaß von 0,88 entspricht einem Korrelationskoeffizienten von 0,938. Daraus geht hervor, daß ein sehr enger Zusammenhang zwischen der Antriebsleistung von Containerschiffen und deren Konstruktionsgeschwindigkeit

besteht. Für das o.a. Containerschiff mit 50.000 BHP ergibt sich in diesem Beispiel eine Konstruktionsgeschwindigkeit von 23,6 kn.

Fall b) Identifizierung des Einzelschiffes über das Funkrufzeichen gelingt. Somit ist der Schiffstyp bekannt, aber die Angabe der Konstruktionsgeschwindigkeit fehlt. Eine Korrelation zwischen der Antriebsleistung des Schiffes und der Konstruktionsgeschwindigkeit kann nicht hergestellt werden, weil auch die Information der Antriebsleistung nicht vorliegt.

Für diesen Fall werden alle Daten aus der Schiffsstammdatendatei der gesamten Welthandelsflotte für den jeweiligen Schiffstyp ermittelt. Aus diesen Daten wird die Durchschnittliche Konstruktionsgeschwindigkeit dieses Schiffstyp bestimmt.

Tabelle 15 Durchschnittliche Schiffsgeschwindigkeiten für verschiedene Schiffstypen der Welthandelsflotte

Schiffstyp	Gesamtanzahl Schiffe des Typs an der Welthandelsflotte	verfügbare vollständige Datensätze	min. Wert kn	max. Wert kn	statistischer Mittelwert kn
Bagger	1617	1010	4,5	17,0	9,9
Bulk Carrier	6222	5431	5,0	19,0	14,4
Container	1817	1708	10,0	27,4	18,9
Tragflächenboot	314	248	11,0	50,0	34,7
Fähren	1927	1125	3,0	47,0	18,2
Fischerei	22847	11263	6,5	29,0	11,6
Forschung	1151	838	6,0	22,0	12,5
General Cargo	17524	13476	3,0	24,4	12,4
Halbtender	8	-	-	-	-
Luftkissen	1	-	-	-	-
Marine	37	-	-	-	-
Passagier	1306	1118	0,7	30,9	18,0
Plattform	2	-	-	-	-
RoRo	3043	2311	5,5	49,0	14,8
Schlepper	9393	5680	2,0	22,0	12,1
Segelschiff	322	78	5,0	15,2	9,8
Sonstige	3463	-	-	-	-
Spezial Cargo	2843	2360	6,0	24,3	15,2
Versorger	1260	961	6,0	25,0	12,4
Tanker	10578	7886	4,0	24,0	13,1
SUMME	85675				

Fall c) Identifizierung des Einzelschiffes über das Funkrufzeichen gelingt nicht. Somit ist der Schiffstyp, und die Angabe der Konstruktionsgeschwindigkeit unbekannt. Für diesen Fall wird eine durchschnittliche Konstruktionsgeschwindigkeit über alle Schiffe der Welthandelsflotte ermittelt. Der Schiffstyp Fische-reischiff, der einen sehr großen Anteil am Gesamtanteil der Welthandelsflotte hat, wird hier nicht berücksichtigt.

Die durchschnittliche Geschwindigkeit, gemittelt über 45927 Seeschiffe, beträgt dann:

$$V_{\text{gemittelt}} = 13,5 \text{ kn}$$

5.3 Ermittlung von Emissionsraten

5.3.1 Quantifizierung von ölhaltigen Rückständen durch den Betrieb von Seeschiffen

Um den Anfall von ölhaltigen Rückständen seegehender Schiffe zu quantifizieren, muß von der anfallenden Menge des Einzelschiffes i im Zeitraum τ ausgegangen werden.

Die Emissionsrate $\dot{E}_{i, \text{Ölrückstand}}$ wird wie folgt beschrieben:

$$\dot{E}_{i, \text{Ölrückstand}} = \dot{m}b_i * a_{\text{Rückstand}}$$

$\dot{E}_{i, \text{Ölrückstand}}$ = Mengenanfall an Ölrückständen pro Einzelschiff [g]
 $\dot{m}b_i$ = Brennstoffverbrauch des Schiffes [t/d]
 $a_{\text{Rückstand}}$ = %-Anteil an Ölschlamm des verbrauchten Kraftstoffes der Haupt- und Hilfsmaschine/n (hier 2 %)

Wenn die Information über den Brennstoffverbrauch in den Schiffsstammdaten nicht vorliegt, wird folgender Ansatz gewählt:

$$\dot{E}_{i, \text{Ölrückstand}} = (P_{i, \text{Haupt}} * 0,85 + P_{i, \text{Hilfs}} * 0,3) * \dot{m}b_{i, \text{statistisch}} * a_{\text{Rückstand}}$$

$\dot{E}_{i, \text{Ölrückstand}}$ = Mengenanfall an Ölrückständen pro Einzelschiff [g]
 $P_{i, \text{Haupt}}$ = Leistung der Hauptmaschine Einzelschiff [kWh]

$P_{i,Hilfs}$	= Leistung der Hilfsmaschine des Einzelschiffes [kWh]
$mb_{i,statistisch}$	= angenommener Brennstoffverbrauch der Haupt- und Hilfsmaschine/n [g/kWh]
$a_{Rückstand}$	= %-Anteil an Ölschlamm des verbrauchten Kraftstoffes der Haupt- und Hilfsmaschine/n

Informationen über den spezifischen Brennstoffverbrauch mb_i des Seeschiffes i werden den Schiffsstammdaten entnommen. Falls keine Informationen über den spezifischen Kraftstoffverbrauch vorliegen, wird von $mb_i = 180$ g/kWh ausgegangen, einem Wert, der bei optimaler Motorbelastung der Hauptmaschine und Hilfsaggregate für das durchschnittliche Schiff auftritt.

Die Hauptmaschinenleistung $P_{i,Haupt}$ des Schiffes wird nach Hadler/Goetze [26] mit 85 % der Nennleistung und die Hilfsmaschinenleistung $P_{i,Hilfs}$ mit 30 % der Nennleistung angenommen.

Der prozentuale Anteil an Ölschlamm $a_{Rückstand}$ lässt sich über den Kraftstoffverbrauch errechnen. Bei Schwerölbetrieb wird von einem Ölschlammanteil $a_{Rückstand}$ von 1 % bis 3 % des verbrauchten Kraftstoffs und bei Betrieb mit Marine Diesel- oder Gasöl von ca. 0,5 % des verbrauchten Brennstoffs ausgegangen (siehe Kap. 2.1.1). Im dem Rechenansatz unter MARION wird von einem mittleren Ölschlammanteil $a_{Rückstand}$ bei Schwerölbetrieb von 2,0 % des verbrauchten Kraftstoffs ausgegangen. Bei Betrieb mit Marine Diesel- oder Gasöl wird der in der Literatur genannte Ölschlammanteil $a_{Rückstand}$ von 0,5 % des verbrauchten Kraftstoffs zu Grunde gelegt.

Die Berechnung der Emission von ölhaltigen Rückständen ergibt sich durch die Verknüpfung des Verkehrsterms, also der Verweildauer des Seeschiffes i in dem Betrachtungsgebiet mit der Emissionsrate.

$$E_{i,Ölrückstand} = \langle \dot{E}_{i,Ölrückstand} \rangle * \langle \tau_i \rangle$$

Durch Summierung der anfallenden Mengen pro Einzelschiff im betrachteten Seegebiet erhält man die Gesamtmenge an anfallenden ölhaltigen Rückständen.

$$E_{Ölrückstand} = \sum_{i=1}^n E_{i,Ölrückstand}$$

5.3.1.1 Quantifizierung von ölhaltigen Rückständen durch den Betrieb von Seeschiffen mit verringerter Datenbasis

Bei dem Zugriff auf die *Schiffsstammdatenbank* stellte sich heraus, daß diese nicht immer vollständig gefüllt ist. Bei der *Schiffsbewegungsdatenbank* besteht die Möglichkeit, daß die Information über das Funkrufzeichen fehlt oder falsch eingegeben worden ist. In diesen Fällen kann das Funkrufzeichen nicht verwendet werden, um die Antriebs-, und Hilfsmaschinenleistung des spezifischen Schiffes aus den Schiffsstammdaten herauszusuchen. Damit in diesen Fällen der verringerten Datenbasis weitergerechnet werden kann, wurden folgende statistische Reparaturmechanismen entwickelt.

Fall a) Identifizierung des Einzelschiffes über das Funkrufzeichen gelingt. Somit ist der Schiffstyp bekannt aber die Angabe der Hilfs- bzw. Hauptmaschinenleistung für das spezifische Schiff i fehlt. In diesem Fall wird versucht eine Korrelation zwischen der Bruttoregistertonnenzahl des Schiffes i und der Hilfs- bzw. Hauptmaschinenleistung herzustellen. Es werden für den speziellen Schiffstyp (z.B. Containerschiff) alle Schiffe aus der Schiffsstammdatendatei der gesamten Welthandelsflotte berücksichtigt, für die Angaben über den Schiffstyp, die Leistung und die Bruttoregistertonnenzahl vollständig vorliegen. Mit diesen Daten wird versucht, eine Funktion zu entwickeln, die es erlaubt, mit der Angabe der Bruttoregistertonnenzahl die Leistung zu bestimmen.

Beispiel aus der MARION Anwendung:

Bei einem Containerschiff mit einer Angabe von 20.000 BRT fehlt die benötigte Information über die Hauptmaschinenleistung. In diesem Fall werden alle Containerschiffe der Welthandelsflotte für eine Regressionsanalyse herangezogen, bei denen die Angaben über die Bruttoregistertonnenzahl und die Hauptmaschinenleistung vollständig vorliegen.

Für den Schiffstyp "Container" lagen 1730 Datensätze vor. Über die Datensätze dieser 1730 Containerschiffe wurde eine Potenzregressionsanalyse durchgeführt.

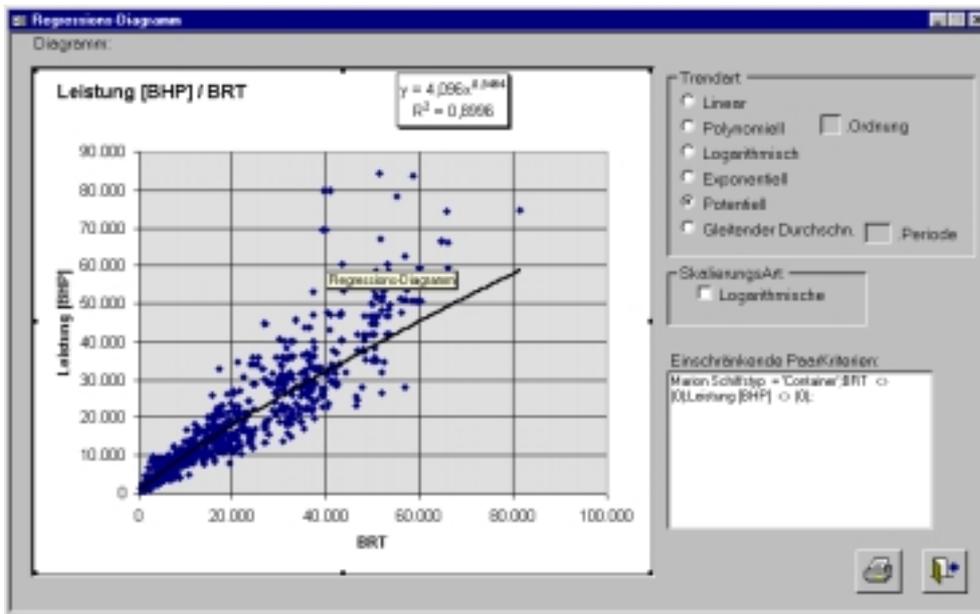


Abbildung 8 Regression Hauptmaschinenleistung / BRT

In diesem Beispiel ergibt sich folgende Potenzfunktion:

$$y = 4,096 x^{0,8464}$$

Das ermittelte Bestimmtheitsmaß von 0,8996 entspricht einem Korrelationskoeffizienten von 0,9484. Daraus geht hervor, daß ein sehr enger Zusammenhang zwischen der BRT-Zahl von Containerschiffen und deren Hauptmaschinenleistung besteht. Für das o.a. Containerschiff mit 20.000 BRT ergibt sich im Beispiel eine Hauptmaschinenleistung von 17.896 BHP.

Fall b) Identifizierung des Einzelschiffes über das Funkrufzeichen gelingt. Somit ist der Schiffstyp bekannt, aber die Angabe der Hauptmaschinenleistung fehlt. Eine Korrelation zwischen der BRT-Zahl des Schiffes und der Konstruktionsgeschwindigkeit kann nicht hergestellt werden, weil auch die Information BRT-Zahl nicht vorliegt.

Für diesen Fall werden alle Daten aus der Schiffsstammdatendatei der gesamten Welthandelsflotte für den jeweiligen Schiffstyp ermittelt. Aus diesen Daten wird die durchschnittliche Hauptmaschinenleistung dieses Schiffstyps bestimmt.

Tabelle 16 Durchschnittliche Hauptmaschinenleistung für verschiedene Schiffstypen der Welthandelsflotte

Schiffstyp	Gesamtanzahl Schiffe des Typs an der Welthandelsflotte	Verfügbare vollständige Datensätze	Minimaler Wert [kW]	Maximaler Wert [kW]	Statistischer Mittelwert [kW]
Bagger	1617	1453	70	14500	1444
Bulk Carrier	6222	6036	115	30370	7739
Container	1817	1732	778	62667	14689
Tragflächenboot	314	266	775	7600	1861
Fähren	1927	1657	58	11111	1421
Fischerei	22847	20923	23	25149	856
Forschung	1151	1041	111	18519	1734
General Cargo	17524	16259	37	82923	2274
Halbtender	8	-	-	-	-
Luftkissen	1	-	-	-	-
Marine	37	-	-	-	-
Passagier	1306	1193	89	96300	9380
Plattform	2	-	-	-	-
RoRo	3043	2948	89	34223	4033
Schlepper	9393	8685	89	18133	2016
Segelschiff	322	277	7	9790	363
Sonstige	3463	-	-	-	-
Spezial Cargo	2843	2633	82	26666	4518
Versorger	1260	1236	169	10385	2068
Tanker	10578	9676	75	40741	4305
SUMME	85675				

Fall c) Identifizierung des Einzelschiffes über das Funkrufzeichen gelingt nicht. Somit ist der Schiffstyp und die Angabe der Hauptmaschinenleistung unbekannt. Für diesen Fall wird eine durchschnittliche Hauptmaschinenleistung über alle Schiffe der Welthandelsflotte ermittelt. Der Schiffstyp Fischereischiff, der einen sehr großen Anteil am Gesamtanteil der Welthandelsflotte hat, wird hier nicht berücksichtigt.

Die durchschnittliche Hauptmaschinenleistung, gemittelt über 57848 Seeschiffe, beträgt:

$$P_{\text{Haupt}} = 3775 \text{ kW}$$

Analog zur Ermittlung der Hauptmaschinenleistung kann auch die Hilfsmaschinenleistung bestimmt werden. Die Angaben über die wichtigsten statistischen Informationen gemittelt über die verschiedenen Schiffstypen der Welthandelsflotte befinden sich im Anhang 1.

5.3.2 Quantifizierung von Schiffsmülleinträgen durch den Betrieb von Seeschiffen

Um den Anfall von Schiffsmüll durch seegehende Schiffe zu quantifizieren, muß von der auf dem Seeschiff i im Zeitraum τ erzeugten Menge ausgegangen werden.

Die Emissionsrate $\dot{E}_{i,\text{Schiffsmüll}}$ für eine spezifische Müllart wird wie folgt beschrieben:

$$\dot{E}_{i,\text{Schiffsmüll}} = \left[(BS_i + PG_i) * \dot{m}_{i,\text{Müllart}} * (1 - se_i) \right]$$

- $E_{i,\text{Müll}}$ = Emissionsrate an Schiffsmüll pro Schiff [kg]
- BS_i = Besatzungsstärke des Schiffes [p]
- PG_i = Passagiere pro Seeschiff [p]
- $m_{i,\text{Müllart}}$ = Masse an Müllart pro Person und Tag [kg/p*d]
- se_i = Eigenentsorgungswahrscheinlichkeit (z.B. Müllverbrennung)

Da die jetzige Schiffsstammdatenbasis von **MARION** die Information über Müllbehandlungsanlagen nicht enthält, bleibt die Selbstentsorgung bis auf weiteres unberücksichtigt (Selbstentsorgungswahrscheinlichkeit = 0).

Die Information über die Besatzungsstärke und die Anzahl der Passagiere wird der MARION-Stammdatenbank entnommen.

Die Berechnung des Schiffsmüllanfalls ergibt sich durch die Verknüpfung des Verkehrsterms, also der Verweildauer des Seeschiffes i in dem Betrachtungsgebiet, mit der Emissionsrate.

$$E_{i, \text{Schiffsmüll}} = \left\langle \dot{E}_{i, \text{Schiffsmüll}} \right\rangle * \left\langle \tau_i \right\rangle$$

Durch Summierung der anfallenden Mengen pro Einzelschiff im betrachteten Seegebiet erhält man die Gesamtmenge an angefallenem Schiffsmüll.

$$E_{\text{Schiffsmüll}} = \sum_{i=1}^n E_{i, \text{Schiffsmüll}}$$

Die für die Bilanzierung von Schiffsmüllmengen anzuwendenden personenbezogenen Abfallmengen pro Tag $m_{i, \text{Müllart}}$ wurden einer im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführten Studie [16] entnommen und in das MARION-System integriert. In der folgenden Tabelle sind die personen-, betriebs- und ladungsbedingten Abfälle nach Art und Menge für Frachtschiffe unterteilt.

Tabelle 17 Müllanfall $m_{i, \text{Müllart}}$ pro Person und Tag auf Frachtschiffen und ladungsbedingte Abfälle pro Schiff und Tag [16]

Art der Abfälle	personenbedingte Abfälle [kg/(d*p)]	betriebsbedingte Abfälle [kg/(d*p)]	ladungsbedingte Abfälle [kg/d]
Lebensmittelreste	0,74	-	2,41
Papier/Pappe	0,21	0,02	1,72
Holz	0,01	<0,005	7,98
Glas	0,66	<0,005	-
Metall	0,10	0,09	1,49
Kunststoffe	0,06	0,02	0,08
öl- und fetthaltige Abfälle	<0,005	0,22	-
Chemikalien/Farben	<0,005	0,05	0,08
Reste	0,03	0,03	0,91
Summe	1,81	0,43	14,67

Für Frachtschiffe wurden damit folgende \emptyset Abfallmengen $m_{i,\text{Müllart}}$ ermittelt:

- personenbedingt: 1,81 kg/Person u. Tag
- betriebsbedingt: 0,43 kg/Person u. Tag
- ladungsbedingt: 14,67 kg/Schiff u. Tag

In der folgenden Tabelle sind die personen- und betriebsbedingten Abfälle $m_{i,\text{Müllart}}$ nach Art und Menge für Fährschiffe unterteilt:

Tabelle 18 Müllanfall $m_{i,\text{Müllart}}$ pro Person und Tag auf Fährschiffen [16]

Art der Abfälle	personenbedingte Abfälle [kg/(d*p)]	betriebsbedingte Abfälle [kg/(d*p)]
Lebensmittelreste	0,42	-
Papier/Pappe	0,42	0,01
Holz	0,01	0,01
Glas	0,60	< 0,005
Metall	0,06	0,28
Kunststoffe	0,05	0,01
öl- und fetthaltige Abfälle	< 0,005	0,31
Chemikalien/Farben	< 0,005	0,12
Reste	0,03	0,04
Summe	1,59	0,78

Für Fährschiffe wurden somit folgende \emptyset Abfallmengen $m_{i,\text{Müllart}}$ ermittelt:

- personenbedingt: 1,59 kg/Person u. Tag
- betriebsbedingt: 0,78 kg/Person u. Tag

Auf die gleiche Weise ergeben sich für Passagierschiffe folgende \emptyset Abfallmengen $m_{i,\text{Müllart}}$:

- personenbedingt: 2,20 kg/Person u. Tag
- betriebsbedingt: 0,78 kg/Person u. Tag

Eine Unterscheidung der Müllmengen aufgrund der Herkunft der Schiffe, wie sie in der Literatur vereinzelt angesprochen wird, wird in MARION nicht vorgenommen. Für eine solche Unterscheidung reicht die vorhandene Datenmenge auch nicht aus. Abgesehen davon könnte bei ausreichender Datenbasis die Unterscheidung durch Einführung eines Faktors leicht bewerkstelligt werden. Viel wichtiger wäre demgegenüber aber eine Unterscheidung der Müllmengen nach in den Häfen zur Entsorgung abgegebenen Mengen und ungeordnet in die Umwelt gelangenden Mengen. Die Erfassung der an Land abgegebenen Mengen ist aber nur in Ansätzen erkennbar, und die dort nicht auftauchenden Restmengen werden sich bestenfalls indirekt über Hochrechnungen aus Einzelbeobachtungen (Treibgutzählungen, Strandreinigungen) bestimmen lassen.

5.3.2.1 Quantifizierung von Schiffsmülleinträgen durch den Betrieb von Seeschiffen mit verringerter Datenbasis

Bei dem Zugriff auf die *Schiffsstammdatenbank* stellte sich heraus, daß diese nicht immer vollständig gefüllt ist. Bei der *Schiffsbewegungsdatenbank* besteht die Möglichkeit, daß die Information über das Funkrufzeichen fehlt oder falsch eingegeben worden ist. In diesen Fällen kann das Funkrufzeichen nicht verwendet werden, um die Besatzungsstärke und die Anzahl der Passagiere des spezifischen Schiffes aus den Schiffsstammdaten zu bestimmen.

Damit in diesen Fällen der verringerten Datenbasis weiter gerechnet werden kann, wurden folgende statistische Reparaturmechanismen entwickelt:

Fall a) Identifizierung des Einzelschiffes über das Funkrufzeichen gelingt. Somit ist der Schiffstyp bekannt, aber die Angabe der Besatzungsstärke fehlt.

Für diesen Fall werden alle Daten aus der Schiffsstammdatendatei der gesamten Welthandelsflotte für den jeweiligen Schiffstyp ermittelt. Aus diesen Daten wird die durchschnittliche Besatzungsstärke dieses Schiffstyps bestimmt.

Tabelle 19 Durchschnittliche Besatzungsstärken für verschiedene Schiffstypen der Welthandelsflotte

Schiffstyp	Gesamtanzahl Schiffe des Typs an der Welthandelsflotte	verfügbare vollständige Datensätze	Minimaler Wert	Maximaler Wert	statistischer Mittelwert
Bagger	1617	104	2	59	11,8
Bulk Carrier	6222	1453	6	100	29,1
Container	1817	617	2	49	24,9
Tragflächenboot	315	13	5	10	6,5
Fähren	1927	1102	30	2201	343
Fischerei	22847	278	2	520	33,4
Forschung	1151	30	1	600	76,5
General Cargo	17524	1226	4	60	23,6
Halbtender	8	-	-	-	-
Luftkissen	1	-	-	-	-
Marine	37	-	-	-	-
Passagier	1306	576	10	1093	168
Plattform	2	-	-	-	-
RoRo	3043	707	2	122	22,2
Schlepper	9393	399	2	60	9,4
Segelschiff	322	26	2	223	56,5
Sonstige	3463	-	-	-	-
Spezial Cargo	2843	329	4	76	23,7
Versorger	1260	54	3	93	16,5
Tanker	10578	1899	2	79	24,3
SUMME	85675				

Fall b) Identifizierung des Einzelschiffes über das Funkrufzeichen gelingt nicht. Somit ist der Schiffstyp und die Angabe der Besat-

zungsstärke unbekannt. Für diesen Fall wird eine durchschnittliche Besatzungsstärke über alle Schiffe der Welthandelsflotte ermittelt. Der Schiffstyp Fischereischiff, der einen sehr großen Anteil am Gesamtanteil der Welthandelsflotte hat, wird hier nicht berücksichtigt.

Die durchschnittliche Besatzungsstärke, gemittelt über 7921 Seeschiffe, beträgt danach:

$$BS_{\text{gemittelt}} = 34,6 \text{ Personen}$$

Analog zur Ermittlung der Besatzungsstärke kann auch die Anzahl der Passagiere bestimmt werden. Die Angaben über die wichtigsten statistischen Informationen, gemittelt über die verschiedenen Schiffstypen der Welthandelsflotte, befinden sich im Anhang 1.

5.3.3 Quantifizierung von Schiffsabwässern durch den Betrieb von Seeschiffen

Um eine Quantifizierung von Schiffsabwässern durch den Seeschiffsbetrieb vorzunehmen, muß zuerst die Emissionsrate $\dot{E}_{i,Abwasser}$ bestimmt werden.

Die Emissionsrate $\dot{E}_{i,Abwasser}$ wird wie folgt beschrieben:

$$\dot{E}_{i,Abwasser} = (e_{i,Grauwasser} + e_{i,Schwarzwasser} * WC_{\text{Vakuum}}) * (BS_i + PG_i)$$

$E_{i,Abwasser}$ = Emission an Abwasser pro Einzelschiff i [l/d]

$e_{i,Grauwasser}$ = Emissionsfaktor Abwasser pro Person und Tag [$l/p*d$]

$e_{i,Schwarzwasser}$ = Emissionsfaktor Abwasser pro Person und Tag [$l/p*d$]

WC_{Vakuum} = Faktor für Vakuumanlage (Wasserersparnis)

BS_i = Besatzungsstärke des Seeschiffes i [p]

PG_i = Anzahl der Passagiere pro Seeschiff i [p]

In dieser Rechenbeziehung kann nicht berücksichtigt werden, ob ein Seeschiff mit einer Abwasserbehandlungsanlage (biologische, elektrolytische oder chemische Behandlungsanlage) ausgestattet ist oder nicht, weil diese Informationen in der jetzigen Projektstufe nicht verfügbar sind. Ferner ist nicht bekannt, welche bzw. wie viele Schiffe mit einer Vakuumanlage ausgestattet sind. Eine Vakuumanlage kann im Gegensatz zu einer Abwasseranlage mit Schwerkraftspülung sehr viel Wasser einsparen. Diese Einsparung wirkt sich unmittelbar auf die Abwassermengen aus. Weil nicht bekannt ist, ob ein Schiff mit einer Vakuumanlage ausgestattet ist, wird in der beschriebenen Rechenbeziehung vom "worst case" ($WC_{\text{Vakuum}} = 1$) ausgegangen.

Die HELCOM geht beim Abwasseranfall an Grau- und Schwarzwasser von den folgenden Abwassermengen pro Person und Tag aus, die auch in den Rechenansätzen von MARION verwendet werden:

Tabelle 20 Quantitätsbetrachtung für Schwarz- und Grauwasser pro Person und Tag aus [21]

Schiffstyp	Schwarzwasser		Grauwasser
	Vakuum Toiletten System		
	Ja	Nein	
Passagierschiffe	25 Liter	70 bis 120 Liter	160 Liter
andere Schiffe	25 Liter	70 Liter	110 Liter

Die Information über die Besatzungsstärke und der Anzahl der Passagiere wird der MARION-Stammdatenbank entnommen. Die Berechnung des Schiffsabwasseranfalls ergibt sich durch die Verknüpfung des Verkehrsterms, also der Verweildauer des Seeschiffes i in dem Betrachtungsgebiet, mit der Emissionsrate.

$$E_{i,Abwasser} = \langle \dot{E}_{i,Abwasser} \rangle * \langle \tau_i \rangle$$

Durch Summierung der anfallenden Abwassermengen pro Einzelschiff i im betrachteten Seegebiet erhält man die Gesamtmenge an Schiffsabwässern.

$$E_{Abwasser} = \sum_{i=1}^n E_{i,Abwasser}$$

5.3.3.1 Quantifizierung von Schiffsabwässern durch den Betrieb von Seeschiffen mit verringerter Datenbasis

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung des Abwasseranfalls mit fehlenden Daten für die Besatzungsstärke oder der Anzahl der Passagiere ist analog zu Kapitel 5.2.

5.3.4 Quantifizierung von Luftschadstoffen im Zusammenhang mit Verbrennungsprozessen in Schiffsmaschinen

Das Spektrum der Verbrennungsprodukte und der Verbrennungsrückstände, welches durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe im Schiffsmaschinenbetrieb entsteht, enthält eine Reihe von Luftschadstoffen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien hier lediglich genannt:

- Stickoxide (NO_x)
- Schwefeloxide (insbesondere SO₂)
- Kohlenmonoxid (CO)
- unverbrannte oder neu gebildete Kohlenwasserstoffe (HC)
- polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH, z.B. Benzo[a]pyren, PAK)
- Ruß
- Schwermetalle (z.B. Vanadium, Nickel)

Die Emissionsrate eines Schiffes hinsichtlich einer bestimmten Schadstoffart wie NO_x oder SO₂ muß aus praktischen Gründen mit Hilfe gemittelter Werte bestimmt werden. Für die Emission von Luftschadstoffen wird dazu in der Literatur ein sogenannter Emissionsfaktor verwendet, der im wesentlichen auf zwei Arten definiert wird, nämlich über die Vortriebsarbeit des Schiffes oder über den verbrauchten Brennstoff des Schiffes.

5.3.4.1 Emissionsfaktor $e_{i,\text{Schadstoffart}}$ bezogen auf die Vortriebsarbeit des Schiffes i

$$e_{i,\text{Schadstoffart}} = \frac{\text{Masse des emittierten Schadstoffes}}{\text{Vortriebsarbeit}}$$

häufig angegeben in der Dimension [g Schadstoff / kWh]

Die (gemittelte) Emissionsrate des Schiffes i für einen bestimmten Schadstoff ergibt sich damit zu

$$\dot{E}_{i,\text{Schadstoffart}} = e_i * \frac{\text{Vortriebsarbeit}}{\text{Zeit}}$$

entspricht

$$\dot{E}_{i,\text{Schadstoffart}} = e_{i,\text{Schadstoffart}} * P_i$$

mit P_i = effektive Maschinenleistung

5.3.4.2 Emissionsfaktor f_i bezogen auf den verbrannten Brennstoff des Schiffes i

$$f_{i, \text{Schadstoffart}} = \frac{\text{Masse des emittierten Schadstoffs}}{\text{Masse des verbrannten Brennstoffs}}$$

häufig angegeben in [g Schadsstoff / kg Brennstoff]

Hiermit bestimmt sich die Emissionsrate gemäß

$$\dot{E}_{i, \text{Schadstoffart}} = f_{i, \text{Schadstoffart}} * b_i * P_i$$

b_i = spezifischer Brennstoffverbrauch

b_i = Brennstoffverbrauch/Vortriebsarbeit in [kg Brennstoff/kWh]

Demnach gilt für beide Arten von Emissionsfaktoren die Umrechnungsbeziehung:

$$e_{i, \text{Schadstoffart}} = f_{i, \text{Schadstoffart}} * b_i$$

Die Arbeitsgleichungen für die Bestimmung der Emissionsraten lauten wie folgt:

$$\dot{E}_{i, \text{Schadstoffart}} = \left[\begin{array}{l} P_{i, \text{Hauptmaschine}} * 0,85 * e_{i, \text{Schadstoffart}, \text{Hauptmaschine}} + \\ P_{i, \text{Hilfmaschine}} * 0,3 * e_{i, \text{Schadstoffart}, \text{Hilfmaschine}} \end{array} \right]$$

bzw.

$$\dot{E}_{i, \text{Schadstoffart}} = \left[\begin{array}{l} P_{i, \text{Hauptmaschine}} * 0,85 * f_{i, \text{Schadstoffart}, \text{Hauptmaschine}} * b_{i, \text{Hauptmaschine}} + \\ P_{i, \text{Hilfmaschine}} * 0,3 * f_{i, \text{Schadstoffart}, \text{Hilfmaschine}} * b_{i, \text{Hilfmaschine}} \end{array} \right]$$

5.3.4.3 Leistung des Seeschiffes P

Die Leistung P_i eines Seeschiffes wird bestimmt durch die Gesamtleistung der Hauptmaschinen und der Gesamtleistung der Hilfsmaschinen. Nach Hadler/Goetze [26] wird die Gesamtleistung der Hauptmaschine/n mit 85% der Nennleistung angesetzt. Die Gesamtleistung der Hilfsmaschine/n wird mit 30% der Nennleistung angesetzt.

5.3.4.4 Spezifischer Brennstoffverbrauch b

Der individuelle spezifische Brennstoffverbrauch b_i für ein betrachtetes Seeschiff ist als Mittelwert über alle Betriebszustände in fast allen Fällen bekannt. Er wird der Schiffsstammdatendatei der Welthandelsflotte entnommen, und kann somit zur Berechnung der Emissionsrate herangezogen werden. Fehlt die Angabe des spezifischen Brennstoffverbrauchs in der Schiffsstammdatendatei, wird versucht, eine Korrelation zwischen der Antriebsleistung des Schiffes i und des Brennstoffverbrauchs herzustellen. Ergibt die Korrelationsberechnung unbefriedigende Werte, greift das System nach Hadler/Goetze [26] auf einen allgemeinen Mittelwert von

$$b = 190 \text{ g/kWh}$$

zurück.

5.3.4.5 Emissionsfaktoren e bzw. f

Emissionsfaktoren e_i bzw. f_i sind nur für wenige Schiffe oder Schiffsmotoren für ausgesuchte Luftschadstoffe, die nicht unmittelbar vom verwendeten Treibstoff abhängen, bekannt. Wenn in der Schiffsstammdatenbank vorhanden, wird bei der Berechnung der Emissionsraten \dot{E}_i auf diese individuellen Emissionsfaktoren zurückgegriffen. Ist dies nicht möglich, müssen gemittelte Emissionsfaktoren e bzw. f verwendet werden. Zur Bestimmung solcher gemittelter Werte wurden von verschiedenen Institutionen zahlreiche Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurden Faktoren aus Prüfständen und aus dem Fahrbetrieb ermittelt. Wichtige Ergebnisse sind nachfolgend ohne Anspruch auf Vollständigkeit tabellarisch im Abschnitt 5.3.4.6 zusammengestellt.

Bei **MARION** werden Emissionsfaktoren für NO_x und SO_2 verwendet, die Hadler/Goetze in umfangreichen Untersuchungen ermittelt haben [26]. Da zur Bestimmung der Emissionsfaktoren die Festlegung der Brennstoffart erforderlich ist und im Seebetrieb überwiegend mit Schweröl gefahren wird, wurden die Werte des Schweröls für die Berechnung der Emissionsmengen herangezogen. Hier wurde ein spezifischer Brennstoffverbrauch von durchschnittlich 190 g/kWh zu Grunde gelegt.

Der Emissionsfaktor für SO_2 ist direkt proportional zum Schwefelgehalt im Brennstoff. Für Schiffe über 1000 Bruttoregistertonnen wurde die Verwendung von Schweröl angenommen und ein Emissionsfaktor von 12 g/kWh SO_2 angesetzt. Aufgrund des unterschiedlichen Brennstoffeinsatzes von Schiffen unter 1000 Bruttoregistertonnen wurde ein Emissionsfaktor von 4 g/kWh SO_2 und für Schiffe unter 500

Bruttoregistertonnen ein Emissionsfaktor von 1,3 g/kWh SO₂ angesetzt. Der Emissionsfaktor für NO_x ist nicht vom Brennstoff, sondern von der Bauart abhängig. Hier wird ein mittlerer Wert von 12 g/kWh NO_x angenommen.

Tabelle 21 Emissionsfaktoren e_i nach Hadler/Goetze [26]

Schiffsklasse	Hauptmaschine		Hilfsmaschine	
	SO ₂ [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	SO ₂ [g/kWh]	NO _x [g/kWh]
bis 500 BRT	1,3	12	1,3	12
bis 1000 BRT	4,0	12	1,3	12
über 1000 BRT	12,0	12	4,0	12

Die Berechnung der Luftschadstoffemission des Einzelschiffs ergibt sich durch die Verknüpfung des Verkehrsterms, also der Verweildauer des Seeschiffes i in dem Betrachtungsgebiet, mit der Emissionsrate.

$$E_{i, \text{Schadstoffart}} = \left\langle \dot{E}_{i, \text{Schadstoffart}} \right\rangle * \left\langle \tau_i \right\rangle$$

Durch Summierung der Luftschadstoffemission pro Einzelschiff i im betrachteten Seegebiet erhält man die Gesamtemission innerhalb des Betrachtungsgebietes.

$$E_{\text{Schadstoffart}} = \sum_{i=1}^n E_{i, \text{Schadstoffart}}$$

5.3.4.6 Zusammenstellung verschiedener Emissionsfaktoren für Luftschadstoffe

Nachfolgend sind Emissionsfaktoren ohne Anspruch auf Vollständigkeit tabellarisch zusammengestellt.

Tabelle 22 Emissionsfaktoren nach Lloyd's Register [59] für langsam- und mittelschnellaufende Dieselmotoren

Emission	f_i [kg / tons fuel]	e_i [g / kWh]
NO _x	87* 57**	17* 12**
CO	7,4	1,6
HC	2,4	0,5
CO ₂	3170	660
SO ₂	20 * %S	4,2 * %S

* = slow speed

** = medium speed

S = sulphur content of oil fuel (% by weight)

Tabelle 23 Emissionsfaktoren f_i nach einer OECD Studie [60]

Emission	Marine diesel engines	Marine steam turbines
SO₂	45 (g/ kg fuel)	45 (g/ kg fuel)
NO_x	35 (g/ kg fuel)	3.5 (g/ kg fuel)
PM	2.3 (g/ kg fuel)	2.3 (g/ kg fuel)
CO	7 (g/ kg fuel)	0.5 (g/ kg fuel)
HC	4.5 (g/ kg fuel)	0.25 (g/ kg fuel)

Tabelle 24 Emissionsfaktoren f_i nach Scott Enviromental Technology [61]

Emission	Dieselships 2 and 4 cycles	Steamships
SO₂	18.8*S (g/ kg fuel)	18.8*S (g/ kg fuel)
NO_x	36 (g/ kg fuel)	7.7 (g/ kg fuel)
PM	1.2*S+0.36 (g/ kg fuel)	1.2*S+0.36 (g/ kg fuel)
CO	7.3 (g/ kg fuel)	0.8 (g/ kg fuel)
HC	2.9 (g/ kg fuel)	0.01 (g/ kg fuel)

S = sulphur content in bunker oil in %

Tabelle 25 Emissionsfaktoren f_i nach MARINTEK [62]

Emission	Dieselships	Steamships
SO ₂ - HFO	60 (g/ kg fuel)	60 (g/ kg fuel)
SO ₂ - MDO	20 (g/ kg fuel)	20 (g/ kg fuel)
NO _x	70 (g/ kg fuel)	8 (g/ kg fuel)
PM	2,5 (g/ kg fuel)	3,9 (g/ kg fuel)
CO	1,5 (g/ kg fuel)	0,8 (g/ kg fuel)
HC	3 (g/ kg fuel)	0,3 (g/ kg fuel)
CO ₂	3110 (g/ kg fuel)	3110 (g/ kg fuel)

Tabelle 26 Emissionsfaktoren f_i nach MARINTEK [63]

Emission	High speed engines	Medium speed engines	Low speed engines
NO _x	70±30 (g/kg fuel)	80±15 (g/kg fuel)	95±25 (g/kg fuel)
SO ₂ - HFO	-	87,50 ¹ (g/kg fuel)	58,4 ² (g/kg fuel)
SO ₂ - MDO	10,8 ¹ (g/kg fuel)	10,8 ¹ (g/kg fuel)	18,8 ² (g/kg fuel)
PM	1,5±0,5 (g/kg fuel)	1,2±0,8 (g/kg fuel)	3,5±1,5 (g/kg fuel)
CO	9±5 (g/kg fuel)	2±1 (g/kg fuel)	1,5 ±1 (g/kg fuel)
HC	3±2 (g/kg fuel)	2±1 (g/kg fuel)	4±2 (g/kg fuel)

¹ Norwegian oil deliveries 1986

² International oil deliveries 1989

Tabelle 27 Emissionsfaktoren f_i nach Agena, Hadler, Mou [64]

Schiffsklasse	Brennstoffart		Emissionsfaktoren g/kWh				
	Hauptm.	Hilfsdiesel	CO mittl.	NO _x spez.	C _n H _m Brennstoffverbr.: 210 g/KWh	SO ₂	Ruß
>1600 BRT	MDO		3,8	8,7	1,2	4,0	0,5
		MDO	3,4	9,0	1,8	4,0	0,5
>1600 BRT	HFO		3,8	8,7	1,2	12,0	0,5
		HFO	3,4	9,0	1,8	12,0	0,5
< 1600 BRT	MDO		2,6	8,7	1,2	4,0	0,5
		MDO	3,4	9,0	1,8	1,3	0,5
< 1600 BRT	HFO		2,6	8,7	1,2	12,0	0,5
		MDO	2,6	8,7	1,2	4,0	0,5
Fischerei	MGO		2,6	8,7	1,2	1,3	0,5
Fähren	MGO		4,2	7,4	1,1	1,3	0,5
Barkassen	MGO		4,2	7,4	1,1	1,3	0,5
Binnenschiffe	MGO		2,9	8,4	1,2	1,3	0,5
Sportboote	MGO		4,2	10,1	5,4	1,3	0,5

Tabelle 28 Emissionsfaktoren f_i nach Bouscaren [65]

Emissionsfaktoren	SO ₂ (g/kg fuel)	NO _x (g/kg fuel)
Diesel engine: full speed	45	35
70 %	45	43
40 %	45	44
Steam turbine: full speed	45	3,5
70 %	23	1,7
40%	4,6	0,7

In einem Aufsatz von Wulffraat, Van Den Ouden [66] werden folgende Emissionsfaktoren f_i angegeben:

- Emissionsfaktor für **Benz-A-Pyreen**:
 im **Dieselmotorkraftstoff** 16,4 mg / Tonne Treibstoff
 im **Schweröl** 13,6 g / Tonne Treibstoff
- Emissionsfaktor für **Vanadium**: 20-500 mg / kg Treibstoff
- Emissionsfaktor für **Nickel**: 100 mg / kg Treibstoff

In einer schwedischen Studie werden folgende Emissionsfaktoren genannt.

Tabelle 29 Emissionsfaktoren e_i nach Alexandersson [67]

Maschinentyp	% Leistung	NO _x	CO	CO ₂	THC (CH ₄)	PM
2-Takt	80	17,7	0,2	600	0,8	0,9
	20	17,1	0,6	1000	1,3	0,9
4-Takt	80	14,0	1,0	620	0,2	0,4
	20	21,0	2,2	1120	0,4	0,6

5.3.4.7 Quantifizierung von Luftschadstoffen im Zusammenhang mit Verbrennungsprozessen in Schiffsmaschinen mit verringerter Datenbasis

Bei dem Zugriff auf die *Schiffsstammdatenbank* stellte sich heraus, daß diese nicht immer vollständig gefüllt ist. Bei der *Schiffsbewegungsdatenbank* besteht die Möglichkeit, daß die Information über das Funkrufzeichen fehlt oder falsch eingegeben worden ist. In diesen Fällen kann das Funkrufzeichen nicht verwendet werden, um den spezifischen Brennstoffverbrauch des Schiffes i aus den Schiffsstammdaten herauszusuchen.

Damit in den Fällen der verringerten Datenbasis weiter gerechnet werden kann, wurden folgende statistische Reparaturmechanismen entwickelt:

Fall a) Identifizierung des Einzelschiffes über das Funkrufzeichen gelingt. Somit ist der Schiffstyp bekannt, aber die Angabe des Treibstoffverbrauchs für das spezifische Schiff i fehlt. In diesem Fall wird versucht, eine Korrelation zwischen der Antriebsleistung des Schiffes i und des Brennstoffverbrauchs herzustellen. Es werden für den speziellen Schiffstyp (z.B. Containerschiff) alle Daten aus der Schiffsstammdatenbank der gesamten Welthandelsflotte berücksichtigt, in denen die Angaben über den Schiffstyp, die Leistung und den Treibstoffverbrauch vollständig vorliegen. Mit diesen Daten wird versucht, eine Funktion zu entwickeln, die es erlaubt, mit der Angabe der Leistung den Verbrauch zu bestimmen.

Beispiel aus der MARION-Anwendung:

Bei einem Containerschiff mit einer Hauptmaschinenleistung $P_{i,Haupt} = 20.000$ BHP fehlt die benötigte Information über den Brennstoffverbrauch b_i . In diesem Fall wer-

den alle Containerschiffe der Welthandelsflotte für eine Regressionsanalyse herangezogen, bei denen die Angaben über die Hauptmaschinenleistung und den Brennstoffverbrauch vollständig vorliegen. Für den Schiffstyp "Container" liegen 821 Datensätze vor. Über die Datensätze dieser 821 Containerschiffe wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt, die einen linearen Zusammenhang zwischen den beiden Größen ergab.

In diesem Beispiel ergibt sich folgende Funktion:

$$y = 0,2944x + 321,55$$

Das ermittelte Bestimmtheitsmaß von 0,9245 entspricht einem Korrelationskoeffizienten von 0,9615. Daraus geht hervor, daß ein sehr enger Zusammenhang zwischen der Hauptmaschinenleistung von Containerschiffen und ihrem Brennstoffverbrauch besteht. Für das o.a. Containerschiff mit 20.000 BHP ergibt sich in diesem Beispiel ein Brennstoffverbrauch von 6200 kg/d.

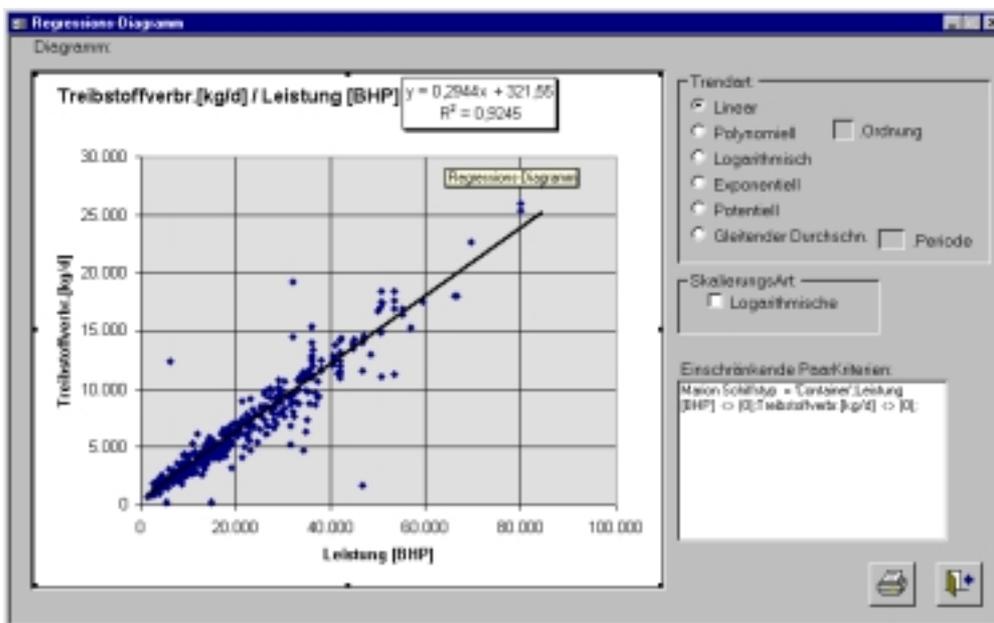


Abbildung 9 Regression Treibstoffverbrauch/Hauptmaschinenleistung

Fall b) Identifizierung des Einzelschiffes über das Funkrufzeichen gelingt nicht. Somit ist der Schiffstyp und damit die Hauptmaschinenleistung unbekannt. Für diesen Fall wird ein durchschnittlicher Verbrauch von

$$b_i = 190 \text{ g/kWh}$$

angenommen.

5.4 Quantifizierung von Antifoulingeinträgen durch den Betrieb von Seeschiffen

Um die emittierte Masse an Bioziden in Antifoulingfarben (z.B. Tributylzinn TBT oder Kupfer) durch seegehende Schiffe zu quantifizieren, muß von der anfallenden Menge beim Seeschiff i im Zeitraum τ ausgegangen werden.

Zur Ermittlung der Emissionsraten $\dot{E}_{i,TBT}$ dient folgender Ansatz nach Isensee [68]:

$$\dot{E}_{i,TBT} = e_{i,TBT} * WS_i$$

$E_{i,TBT}$ = Emissionsrate an TBT [$\mu\text{g}/\text{d}$]
 $e_{i,TBT}$ = Emissionsfaktor oder Abriebsrate in [$\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{d}$]
 WS_i = benetzte Schiffsunterwasserfläche [cm^2]

Die benetzte Schiffsunterwasserfläche eines Schiffes WS_i wird wie folgt berechnet:

$$WS_i = (3,4 * \Delta_i^{1/3} + 0,5 * L_{PPi}) * \Delta_i^{1/3}$$

mit Verdrängung Δ

$$\Delta = L_{pp} * B * T * cb$$

und

$$cb = 1,07 - 1,68 * F_n$$

sowie

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{2g * L_{pp}}}$$

wobei v = Schiffsgeschw. in [m/s]
 g = Erdbeschleunigung = $9,82 \text{ m}/\text{s}^2$
 L_{pp} = Schiffslänge zwischen den Loten [m]
 B = Schiffsbreite [m]
 T = Tiefgang des Schiffes [m]

In Anlehnung an Isensee/Waterman [49] wird die Emissionsrate im MARION-System für TBT mit $2 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{Tag}$ angesetzt. Die Emissionsrate für Kupfer wird mit $10 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{Tag}$ angesetzt.

$e_{i,TBT} = 2 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{d}$
 $e_{i,Cu} = 10 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{d}$

Die Berechnungsgrundlage geht bis hier davon aus, daß alle Seeschiffe Antifoulingfarben benutzen. Nach Informationen der Farbenfirma International werden heute noch weltweit 60% aller Seeschiffe mit SPC (Selbstpolierende Copolymer-Antifouling), die das biozide TBT als Beimengung erhalten, verwendet [46]. Die Emissionsrate ist somit noch mit dem Faktor 0,6 zu multiplizieren.

$$\dot{E}_{i,TBT} = (e_{i,TBT} * WS_i) * 0,6$$

Die Berechnung der TBT-Emission des Einzelschiffs ergibt sich durch die Verknüpfung des Verkehrsterms, also der Verweildauer des Seeschiffes i in dem Betrachtungsgebiet, mit der Emissionsrate.

$$E_{i,TBT} = \langle \dot{E}_{i,TBT} \rangle * \langle \tau_i \rangle$$

Durch Summierung der TBT-Emission pro Einzelschiff i im betrachteten Seegebiet erhält man die Gesamtemission an TBT innerhalb des Betrachtungsgebietes.

$$E_{TBT} = \sum_{i=1}^n E_{i,TBT}$$

5.4.1 Quantifizierung von Antifoulingeinträgen durch den Betrieb von Seeschiffen mit verringerter Datenbasis

Bei dem Zugriff auf die *Schiffsstammdatenbank* stellte sich heraus, daß diese nicht immer vollständig gefüllt ist. Bei der *Schiffsbewegungsdatenbank* besteht die Möglichkeit, daß die Information über das Funkrufzeichen fehlt oder falsch eingegeben worden ist. In diesen Fällen kann das Funkrufzeichen nicht verwendet werden, um z.B. die Schiffslänge, -breite oder den Tiefgang des spezifischen Schiffes aus den Schiffsstammdaten herauszusuchen.

Damit in diesen Fällen der verringerten Datenbasis weiter gerechnet werden kann, wurden folgende statistische Reparaturmechanismen entwickelt.

Fall a) Identifizierung Einzelschiff über das Funkrufzeichen gelingt.

Somit ist der Schiffstyp bekannt, aber die Angabe des Tiefgangs für das spezifische Schiff i fehlt. In diesem Fall wird versucht, eine Korrelation zwischen der Schiffsbreite auf den Spanten des Schiffes i und dem Tiefgang herzustellen. Es werden für den speziellen Schiffstyp (z.B. Containerschiff) alle Daten aus der Schiffsstammdatendatei der gesamten Welt-handelsflotte berücksichtigt, in der die Angaben über den Schiffstyp, der Breite und des Tiefgangs vollständig vorliegen. Mit diesen Daten wird versucht, eine Funktion zu entwickeln, die es erlaubt, mit der Angabe der Schiffsbreite den Tiefgang zu bestimmen.

Beispiel aus der MARION Anwendung:

Bei einem Containerschiff mit einer Breite auf den Spanten von 15 m fehlt die benötigte Information über den Tiefgang. In diesem Fall werden alle Containerschiffe der Welthandelsflotte für eine Regressionsanalyse herangezogen, bei denen die Angaben über den Tiefgang und die Breite vollständig vorliegen.

Hierbei ist zu erwähnen, daß es sich bei den Informationen aus der Schiffsstammdatenbank um die Angabe des Konstruktionstiefgangs handelt. Ein Schiff muß aber nicht zwangsläufig immer bis zu seinem Konstruktionstiefgang beladen sein. Da der aktuelle Tiefgang in der jetzigen MARION-Projektstufe nicht verfügbar ist, wird vom "worst case", also dem Konstruktionstiefgang ausgegangen.

Für den Schiffstyp "Container" liegen 1776 Datensätze vor. Über die Datensätze dieser 1776 Containerschiffe wird eine Regressionsanalyse durchgeführt.

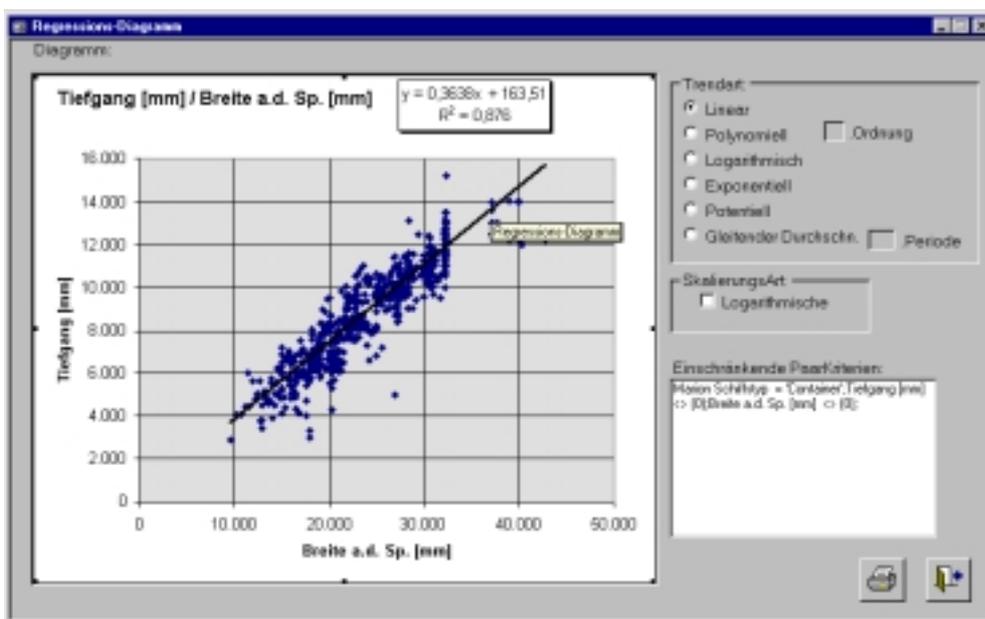


Abbildung 10 Regression Tiefgang/Breite

In diesem Beispiel ergibt sich folgende lineare Funktion:

$$y = 0,3638 x + 163,51$$

Das ermittelte Bestimmtheitsmaß von 0,876 entspricht einem Korrelationskoeffizienten von 0,935. Daraus geht hervor, daß ein enger Zusammenhang zwischen der Schiffsbreite auf den Spanten von Containerschiffen und dem Tiefgang besteht. Für das o.a. Containerschiff mit einer Breite von 15 m ergibt sich in diesem Beispiel ein Tiefgang von 5,6 m.

Fall b) Identifizierung des Einzelschiffes über das Funkrufzeichen gelingt.

Somit ist der Schiffstyp bekannt, aber die Angabe der Schiffs-

breite fehlt. Eine Korrelation zwischen der Breite des Schiffes und dem Tiefgang kann nicht hergestellt werden.

Für diesen Fall werden alle Daten aus der Schiffsstammdatendatei der gesamten Welthandelsflotte für den jeweiligen Schiffstyp ermittelt. Aus diesen Daten wird der durchschnittliche Tiefgang dieses Schiffstyps bestimmt.

Tabelle 30 Durchschnittlicher Tiefgang für verschiedene Schiffstypen der Welthandelsflotte

Schiffstyp	Gesamtanzahl Schiffe des Typs an der Welthandelsflotte	verfügbare vollständige Datensätze	min. Wert [m]	max. Wert [m]	statistischer Mittelwert [m]
Bagger	1617	1499	0,8	11,4	3,9
Bulk Carrier	6222	6130	1,0	23,2	10,7
Container	1817	1801	2,9	15,2	9,7
Tragflächenboot	314	253	1,0	5,3	1,8
Fähren	1927	1491	0,7	6,2	2,0
Fischerei	22847	14842	0,4	10,8	3,6
Forschung	1151	1018	1,1	10,7	3,9
General Cargo	17524	16233	0,8	15	5,4
Halbtender	8	-	-	-	-
Luftkissen	1	-	-	-	-
Marine	37	-	-	-	-
Passagier	1306	1251	0,9	14	5,2
Plattform	2	-	-	-	-
RoRo	3043	2740	0,5	13,2	4,4
Schlepper	9393	7889	0,8	9,9	3,6
Segelschiff	322	292	0,9	6,6	2,7
Sonstige	3463	-	-	-	-
Spezial Cargo	2843	2663	1,3	16	6,0
Versorger	1260	1163	1,1	6,8	3,7
Tanker	10578	10080	0,9	28,6	7,5
SUMME	85675				

Fall c) Identifizierung des Einzelschiffes über das Funkrufzeichen gelingt nicht.

Somit ist der Schiffstyp, und die Angabe des Tiefgangs unbekannt. Für diesen Fall wird ein durchschnittlicher Tiefgang über alle Schiffe der Welthandelsflotte ermittelt. Der Schiffstyp Fischereischiff, der einen sehr großen Anteil am Gesamtanteil der Welthandelsflotte hat, wird hier nicht berücksichtigt.

Die durchschnittliche Tiefgang, gemittelt über 57200 Seeschiffe betrug:

$$\text{Tiefgang} = 5,9 \text{ m}$$

Analog zur Ermittlung des Tiefgangs mit verringerter Datenbasis wird auch die Schiffslänge und die Schiffsbreite bestimmt. Die Angaben über die wichtigsten statistischen Informationen, gemittelt über die verschiedenen Schiffstypen der Welthandelsflotte, befinden sich im Anhang 1.

5.5 Quantifizierung von Zinkeinträgen durch Opferanoden im Seeschiffsbetrieb

Nach einem Bericht von Brenk [69] wird ein durchschnittliches Seeschiff in einem Zeitraum von 5 Jahren mit einer Opferanodenmenge von 300 kg bestückt. In einer Niederländischen Studie [70] wird ein Wert von 350 kg pro Seeschiff mit einem Lebenszeitraum von 4 Jahren beschrieben. Das entspricht einer Emissionsrate von 60-87,5kg Zink pro Jahr und Seeschiff oder 0,165-0,24 kg Zink pro Tag und Seeschiff. Da die Verweilzeit eines Seeschiffes bei MARION in Stunden gerechnet wird, ergibt sich ein durchschnittlicher Zinkverbrauch von 6,85 bis 9,98 Gramm pro Schiff und Stunde.

Mangels Verfügbarkeit genauerer Untersuchungen wird für die weitere Ermittlung des Zinkeintrags bei MARION mit einer mittleren Emissionsrate aus den beiden o.a. Studien von 8,4 g/h gerechnet.

$$\dot{E}_{i,Zink} = 8,4 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

Die Werte für den durchschnittlichen Zinkverbrauch sind jedoch nicht unzweifelhaft, weil nicht ersichtlich ist, ob der Durchschnitt aus einem hierfür repräsentativen Schiffskontingent ermittelt wurde. Repräsentativ für die Zinkeinträge sind die Schiffsabmessungen wie Länge, Breite und Tiefgang, aus denen ein unmittelbarer Faktor für die Menge der angebrachten Anoden ist herleitbar wäre.

Die Berechnung der Zink-Emission des Einzelschiffs ergibt sich durch die Verknüpfung des Verkehrsterms, also der Verweildauer des Seeschiffes i in dem Betrachtungsgebiet, mit der Emissionsrate.

$$E_{i,Zink} = \langle \dot{E}_{i,Zink} \rangle * \langle \tau_i \rangle$$

Durch Summierung der anfallenden Mengen pro Einzelschiff i im betrachteten Seegebiet erhält man die gesamte Zinkeintragsmenge.

$$E_{Zink} = \sum_{i=1}^n E_{i,Zink}$$

Nach Brenk [69] sind 30% aller Seeschiffe mit Zinkanoden ausgestattet. In einer Niederländischen Studie [70] wurde ermittelt, daß 75 % aller Handelsschiffe und 100 % aller Fischereischiffe mit Zinkanoden ausgestattet sind.

In **MARION** wird ein Mittelwert aus den o.a. Studien von 50 % für die Verwendung von Zinkanoden bei Handelsschiffen angesetzt, sofern keine Einzelschiffsdaten für die Verwendung vorliegen.

$$E_{Zink} = \sum_{i=1}^n (E_{i,Zink} * 0,5)$$

6. Datenbasis und -akquisition

6.1 Benötigtes Datenspektrum

Bilanzierungen von Schadstoffeinträgen durch den Seeschiffsverkehr wurden in der Vergangenheit von vielen nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen und Institutionen durchgeführt. Die Herleitung von umweltrelevanten Quelltermen erfordert umfangreiches Datenmaterial über Schiffe und Schiffsbewegungen in genau definierten Seegebieten.

Für die Bilanzierung von Schadstoffeinträgen werden u.a. folgende Informationen benötigt:

- | | |
|------------------------------|--|
| Schiffe | <ul style="list-style-type: none"> • Schiffstyp • physikalische Abmessungen (Länge, Breite, etc.) • Haupt- und Hilfsantriebe • Treibstoffverbräuche und Geschwindigkeit • |
| Schiffs-
bewegungen | <ul style="list-style-type: none"> • Schiffsidentifikation • Information welcher Hafen angelaufen wird • Informationen von wo das Schiff gekommen ist • Informationen darüber wohin das Schiff nach dem Hafenaufenthalt fährt • Informationen über den Zeitpunkt der einzelnen Reiseabschnitte • |
| Schiffsladungen | <ul style="list-style-type: none"> • Art und Menge der Ladung |
| Emissions-
faktoren | <ul style="list-style-type: none"> • Emissionsfaktoren für Luftschadstoffe (NO_x, SO₂, etc.) <div style="margin-left: 40px;"> <p>Schiffsmüll
Abwasser
Antifouling
Opferanoden
.....</p> </div> |
| Unfallbedingte
Emissionen | <ul style="list-style-type: none"> • Unfalldaten • Bei Unfällen austretende Stoffe/Stoffmengen |

Die Beschaffung der Bewegungs- und Ladungsdaten kann sehr schwierig sein, wie z.B. in Deutschland, wo die Informationen über Schiffsbewegungen im deutschen Seegebiet nur dezentral bei den jeweiligen einzelnen Hafenbehörden, oder zentral

als Meldung von den einzelnen Hafenbehörden bei dem statistischen Bundesamt im Wiesbaden vorliegen. Vielfach werden Datenschutzvorschriften genannt, die der Datenweitergabe entgegenstehen.

Um das vom Auftraggeber vorgegebene Betrachtungsgebiet des deutschen Wirtschaftsgebietes der Nord- und Ostsee abzudecken, werden Detailinformationen bezüglich einzelner Schiffsbewegungen von folgenden Häfen, Schifffahrtsdirektionen und anderen Institutionen benötigt:

- Ministerium für Wirtschaft und Angelegenheiten der EU in Schwerin
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord-West
- Ministerium für Wirtschaft und Verkehr des Landes Schleswig Holstein
- Bezirksregierung Weser-Ems
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord - Sonderstelle des Bundes
Ölunfälle/Küste
- Hafengesellschaft Brunsbüttel mbH
- Deutsche Fährgesellschaft Ostsee GmbH
- Hafenamt der Landeshauptstadt Kiel
- Hansestadt Lübeck
- Amt für Land- und Wasserwirtschaft Heide
- DAKOSY Datenkommunikationssysteme GmbH Hamburg
- Wasser- und Schifffahrtsamt Cuxhaven
- Bremische Hafenbehörden
- Arbeitsgemeinschaft Schleswig-Holsteinischer Häfen
- Hafen- und Verkehrsbetriebe der Landeshauptstadt Kiel
- Lübecker Hafen-Gesellschaft mbH
- Travemünder Datenverbund -TRADAV-

Diese Institutionen wurden im einzelnen angesprochen und um Mitarbeit bezüglich der Lieferung von Schiffsbewegungsdaten gebeten. Die Akquisitionsmaßnahmen sind in Kap. 6.6 beschrieben.

Das Volumen der Schiffsbewegungsdatensätze in den einzelnen Häfen ist so umfangreich, daß diese sinnvollerweise nur auf elektronischem Wege bearbeitet werden können. Allein für die Bremischen Häfen wurden im Jahr 1995 über 8600 Schiffsmeldungen registriert. Um diese Informationen weiter zu verarbeiten, müssen alle von den Häfen und Schifffahrtsdirektionen gelieferten Daten in das **MARION**-System eingearbeitet werden. Hierbei kann es zu Problemen hinsichtlich der Kompatibilität der Daten kommen, weil in den verschiedenen Institutionen unterschiedliche Datenverarbeitungssysteme betrieben werden. In kleineren Häfen werden Schiffsmeldungen sogar nur auf Papier bearbeitet, so daß erheblicher Personalaufwand betrieben werden muß, um diese Daten in das **MARION**-System einzugeben.

6.2 Schiffsstammdaten

Da in den Häfen internationale Verkehre abgewickelt werden, ist es zudem notwendig, auf eine internationale Schiffsstammdatenbank zurückzugreifen, die dezidierte Informationen über jedes einzelne Seeschiff enthält. Der Zugriff ist für MARION nicht als Zugriff auf eine externe Datenbank konzipiert (was grundsätzlich möglich wäre, soweit eine derartige Datenbank externe Zugriffe erlaubt), sondern erfolgt auf eine in MARION integrierte Schiffsstammdatenbank, die aus Daten der Lloyd's Schiffsdatenbank zusammengestellt worden ist. Dazu wurden 86 Einzelinformationen (Felder) aus der DV-Ausgabe von "Lloyd's of Ships London" ausgewählt. Der Umfang der Datenbank beträgt 85.685 Seeschiffe und damit die gesamte Welthandelsflotte. In der folgenden Tabelle sind die 86 Felder erläutert. Die Angabe "Code" im Feldnamen deutet an, daß hier Daten nach einem (Abkürzungs-) verzeichnis verwendet werden. So werden beispielsweise die Eigner (Name, Adresse) mit maximal 7 Zeichen (bytes) definiert. Die 85.685 Sätze der Datenbank wurden um ein 87. Feld mit der MARION-Identifikationsnummer erweitert. Die Daten dieser Datenbank haben den Stand 1995.

Tabelle 31 Schiffsstammdatenbank MARION

Feldname / Bezeichnung	Dimension	Datentyp	Feldgröße
LRNummer		Text	7
FRZ / Funkrufzeichen		Text	13
Schiffsname		Text	50
SchiffstypCode	Code	Text	20
Baujahr		Text	6
ParentCode / ???	Code	Text	7
SchiffsBauerCode	Code	Text	9
Flagge	Code	Text	3
HighGT	BRT	Zahl (Long)	4
HighDTW	DTW	Zahl (Long)	4
NetTonnage	NRT(*??)	Zahl (Long)	4
Tiefgang (*welcher?? max?)	(*m? cm?)	Zahl (Single)	4
LaengeOA / Länge über alles	(*m? cm?)	Zahl (Single)	4
LaengeBP / Länge zwischen den Loten	(*m? cm?)	Zahl (Single)	4
BreiteMoulded / Breite auf Spanten	(*m? cm?)	Zahl (Single)	4
BreiteExtreme / Breite über alles	(*m? cm?)	Zahl (Single)	4
HoeheMoulded / (*???)	(*m? cm?)	Zahl (Single)	4
HauptantriebBauartCode	Code	Text	3
HauptantriebBauart		Text	15
AnzahlDiesel	Anzahl	Zahl (Byte)	1
AnzahlGasTurbinen	Anzahl	Zahl (Byte)	1
AnzahlDampfTurbinen	Anzahl	Zahl (Byte)	1
AnzahlDampfRecipEngines	Anzahl	Zahl (Byte)	1
LeistungBHP	bhp	Zahl (Long)	4
LeistungSHP	shp	Zahl (Long)	4
AnzahlHauptHilfsgeneratoren	Anzahl	Zahl (Byte)	1
GesamtLeistungHilfsgeneratoren	(* bhp?)	Zahl (Long)	4
RPM / Drehzahl	rpm	Zahl (Long)	4
Geschwindigkeit	kn	Zahl (Single)	4
TreibstoffVerbrauch	t/d	Zahl (Single)	4
Treibstoffart1	Code	Text	2
TreibstoffKapazitaet1	(*?)	Zahl (Single)	4
Treibstoffart2	Code	Text	2
TreibstoffKapazitaet2	(*?)	Zahl (Single)	4
EisKlasse	Code	Text	2

Feldname / Bezeichnung	Dimension	Datentyp	Feldgröße
KlassifikationsGesellschaft2	Code	Text	2
EisVerstaerkung	Code	Text	1
SurveyDate		Text	6
SurveyType		Text	4
SurveyModification	Code	Text	1
SurveyMonthsAssigned		Zahl (Byte)	1
Displacement	t	Zahl (Long)	4
GrainCapacity	(*? m3?	Zahl (Long)	4
BaleCapacity	(*? m3?	Zahl (Long)	4
TEUCapacity	Anzahl	Zahl (Long)	4
InsulatedCapacity	(*?	Zahl (Long)	4
LiquidCapacity	(*?	Zahl (Long)	4
OilCapacity	(*? m3?	Zahl (Long)	4
LiquidGasCapacity	(*? m3??	Zahl (Long)	4
CleanBallastCapacity	(*? m3??	Zahl (Long)	4
SegregatedBallastCapacity	(*? m3??	Zahl (Long)	4
AnzahlLaderaume	Anzahl	Zahl (Byte)	1
AnzahlLuken	Anzahl	Zahl (Byte)	1
AnzahlTanks	Anzahl	Zahl (Byte)	1
AnzahlDecks	Anzahl	Zahl (Byte)	1
NichtDurchgehendeDecks	Anzahl	Text	1
TankHeizung	ja/nein	Text	1
AnzahlLadungsPumpen	Anzahl	Zahl (Byte)	1
CUMCapacity / ??	(*?	Zahl (Integer)	2
AnzahlPassagiere	Anzahl	Zahl (Integer)	2
AnzahlKabinen	Anzahl	Zahl (Integer)	2
AnzahlBesatzung	Anzahl	Zahl (Integer)	2
AnzahlFahrzeuge	Anzahl	Zahl (Integer)	2
AnzahlPKW	Anzahl	Zahl (Integer)	2
AnzahlTrailer	Anzahl	Zahl (Integer)	2
AnzahlLorries	Anzahl	Zahl (Integer)	2
Bugklappe	ja/nein	Text	1
Seitenklappe	ja/nein	Text	1
Heckklappe	ja/nein	Text	1
ManifoldToBowLength / ??? Anschluß?	(* m? cm?	Zahl (Integer)	2
TonsPerCentimetreImmersion	t/cm	Zahl (Single)	4
AnzahlSchrauben	Anzahl	Zahl (Byte)	1
AnzahlStrahler	Anzahl	Zahl (Byte)	1
ErsterStrahlerPosition		Text	18
ErsterStrahlerAnzahl	Anzahl	Zahl (Byte)	1
ErsterStrahlerTyp	Code	Text	2
ZweiterStrahlerPosition		Text	18
ZweiterStrahlerAnzahl	Anzahl	Zahl (Byte)	1
ZweiterStrahlerTyp	Code	Text	2
DritterStrahlerPosition		Text	18
DritterStrahlerAnzahl	Anzahl	Zahl (Byte)	1
DritterStrahlerTyp	Code	Text	2
SpecialFeaturesCodes	Code	Text	60
ManagerCode	Code	Text	7
EigentuemmerCode	Code	Text	7
AnzahlKuehlContainer	Anzahl	Zahl (Integer)	2
MarionBasisTyp_id	Code	Zahl (Long)	4

6.3 Schiffsbewegungs- und Ladungsdaten

6.3.1 In MARION integriertes Verkehrsnetz

Das in Kapitel 4.2.1 und 4.2.2 skizzierte Betrachtungsgebiet der Nord- und Ostsee ist in **MARION** definiert als ein Netz von einzeln vorgegebenen Seewegeabschnitten. Alle Schiffsverkehre, die einen deutschen Hafen anlaufen, bewegen sich im **MARION**-System auf diesen vordefinierten Seewegeabschnitten. Seewegeabschnitte sind Teilverbindungen auf vordefinierten Schiffsrouten, die durch die Angabe von zwei Koordinaten (jeweils Angabe in Längen- und Breitengrad) definiert sind.

Jeder Schiffsbewegung wird durch **MARION** eine Schiffsroute zugeordnet, die die nautisch sinnvollste, kürzeste Verbindung zwischen zwei Hafenstädten darstellt. Sportfahrzeuge, Fischereifahrzeuge, Marineschiffe und alle sonstigen Schiffe ohne eine fest definierte Schiffsroute werden hier somit nicht betrachtet.

Grundlage für die Zuordnung weltweiter Verkehre mit deutschen Hafenstädten auf dem konstruierten Verkehrsnetz bei **MARION** bilden der UN-Country-Code und der UN-Location-Code.

Der UN-Location-Code besteht aus 5 Buchstaben, wobei die ersten beiden Buchstaben eindeutig das Land und die letzten drei Buchstaben eindeutig die Hafenstadt in dem Land beschreiben.

Beispiel:

DEBRV	DE = Deutschland
	BRV = Bremerhaven

Der UN-Country-Code beschreibt 225 Länder.

Tabelle 32 Ländertabelle UN-Country-Code

AF	AFGANISTAN	MG	MADAGASKAR
EG	ÄGYPTEN	MW	MALAWI
AL	ALBANIEN	MY	MALAYSIA
DZ	ALGERIEN	MV	MALEDIVEN
AO	ANGOLA	ML	MALI
AI	ANGUILLA	MT	MALTA
AG	ANTIGUA	MA	MAROKKO
EQ	ÄQUATORIALGUINEA	MH	MARSHALL-INSELN
AR	ARGENTINIEN	MQ	MARTINIQUE
AM	ARMENIEN	MR	MAURETANIEN
AW	ARUBA	MU	MAURITIUS
AZ	ASERBAIDCHAN	MK	MAZEDONIEN
ET	ÄTHIOPIEN	MX	MEXICO
AU	AUSTRALIEN	MD	MOLDANIEN
BS	BAHAMAS	MC	MONACO

BH	BAHRAIN	MN	MONGOLEI
BD	BANGLADESCH	MZ	MOSAMBIK
BB	BARBADOS	MM	MYANMAR
BE	BELGIEN	NA	NAMIBIA
BZ	BELIZE	NR	NAURU
BJ	BENIN (DAHOME)	NP	NEPAL
BM	BERMUDA	NC	NEUKALEDONIEN
BT	BHUTAN	NZ	NEUSEELAND
BU	BIRMA	NI	NICARAGUA
BO	BOLIVIEN	AN	NIEDERL. ANTILLEN
BA	BOSNIEN-HERZEGOWINA	NL	NIEDERLANDE
BW	BOTSWANA	NE	NIGER
BR	BRASILIEN	NG	NIGERIA
MS	BRITISCHE JUNGFERNINSELN	NU	NIUE
VG	BRITISH VIRGIN ISLAND	KP	NORDKOREA
BN	BRUNEI	NF	NORFOLK ISLANDS
BG	BULGARIEN	MP	NORTH MARIANA ISLANDS
BF	BURKINA FASO	NO	NORWEGEN
BI	BURUNDI	OM	OMAN
CL	CHILE	TP	OST TIMOR
CN	CHINA	AT	ÖSTERREICH
CX	CHRISTMAS ISLANDS	PK	PAKISTAN
CC	COCOS ISLANDS	PW	PALAU
CK	COOK ISLANDS	PA	PANAMA
CR	COSTA RICA	PG	PAPUA NEU GUINEA
DK	DÄNEMARK	PY	PARAGUAY
YD	DEMOKRATISCHES JEMEN	PH	PHILIPPINEN
DE	DEUTSCHLAND	PL	POLEN
DO	DOMINIKANISCHE REPUBLIK	PT	PORTUGAL
DJ	DSCHIBUTI	PR	PUERTO RICO
EC	ECUADOR	RE	REUNION
SV	EL SALVADOR	RW	RUANDA
CI	ELFENBEINKJSTE	RO	RUMÄNIEN
ER	ERITERA	RU	RUSSLAND
EE	ESTLAND	ZM	SAMBIA
FK	FALKLAND INSELN	WS	SAMOA
FO	FÄRÖER	SM	SAN MARINO
FJ	FIDSCHI	ST	SAO TOME UND PRINCIPE
FI	FINNLAND	SA	SAUDI ARABIEN
FM	VER. STAATEN VON MIKRONESIEN	SE	SCHWEDEN
FR	FRANKREICH	CH	SCHWEIZ
GF	FRANZÖSISCH GUAYANA	SN	SENEGAL
PF	FRANZÖSISCH POLYNESIEN	SC	SESCHELLEN
GA	GABUN	SL	SIERRA LEONE
GM	GAMBIA	ZW	SIMBABWE
GE	GEORGIEN	SG	SINGAPUR
GH	GHANA	SK	SLOWAKEI
GI	GIBRALTAR	SI	SLOWENIEN
GD	GRENADA	SB	SOLOMON ISLANDS
GR	GRIECHENLAND	SO	SOMALIA
GL	GRÖNLAND	ES	SPANIEN
GP	GAUDELOUPE	LK	SRI LANKA
GU	GUAM	KN	ST.CHRISTOPH-NEVIS
GT	GUATEMALA	SH	ST.HELENA
GN	GUINEA	LC	ST.LUCIA
GW	GUINEA-BISSAU	PM	ST.PIERRE UND MIQUEION
GY	GUYANA	ZA	SÜDAFRIKA
HT	HAITI	SD	SUDAN
HN	HONDURAS	KR	SÜDKOREA
HK	HONGKONG	SR	SURINAM
IN	INDIEN	SZ	SWASILAND
ID	INDONESIEN	SY	SYRIEN
IQ	IRAK	TW	TAIWAN
IR	IRAN	TJ	TAJIKISTAN
IE	IRLAND	TZ	TANSANIA
IS	ISLAND	TH	THAILAND
IL	ISRAEL	TG	TOGO
IT	ITALIEN	TO	TONGA
JM	JAMAICA	TT	TRINIDAD UND TOBAGO
JP	JAPAN	TD	TSCHAD
JO	JORDANIEN	CZ	TSCHECHISCHE REPUBLIK
YU	JUGOSLAWIEN	CS	TSCHECHOSLOWAKEI

KY	KAIMANINSELN	TN	TUNESIEN
KH	KAMBODSCHA	TR	TÜRKEI
CM	KAMERUN	TM	TURKMENISTAN
CA	KANADA	TC	TURKS- UND CAICOSINSELN
KZ	KASACHSTAN	TV	TUVALU
QA	KATAR	UG	UGANDA
CV	KAVERDISCHE INSELN	UA	UKRAINE
KE	KENIA	∅	UNBEKANNT
KG	KIRGISTAN	HU	UNGARN
KI	KIRIBATI	UY	URUGUAY
CO	KOLUMBIEN	UM	US MINOR OUTLYING ISLANDS
KO	KOMOREN	VU	VANUATU
CG	KONGO	VE	VENEZUELA
HR	KROATIEN	AE	VEREINIGTE ARABISCHE EMIRATE
CU	KUBA	US	VEREINIGTE STAATEN
KW	KUWAIT	GB	VEREINIGTES KÖNIGREICH
LA	LAOS	VN	VIETNAM
LS	LESOTHO	VI	VIRGIN ISLANDS U.S.
LV	LETTLAND	WF	WALLIS UND FUTUNA
LB	LIBANON	AS	WEST-SAMOA
LR	LIBERIA	BY	WIESSRUßLAND
LY	LIBYEN	VC	WINDWARD-INSEL ST. VINCENT
LT	LITAUEN	YE	YEMEN
LU	LUXEMBURG	ZR	ZAIRE
MO	MACAU	CF	ZENTRALAFRIKANISCHE REPUBLIK
		CY	ZYPERN

Der UN-Location-Code enthält Codes für 16.447 verschiedene Hafenstädte in den angegebenen 225 Ländern.

Jedem Seeschiff, welches sich in dem Betrachtungsgebiet bewegt und aus einer der 16.447 Hafenstädte kommt bzw. dorthin fährt, wird eine vordefinierte Route innerhalb des Betrachtungsgebiets zugeordnet (vgl. Schiffsroutenbeispiel in Kapitel 4).

6.3.2 Schiffsbewegungs- und Ladungsdaten

Zur Zeit sind nur die Bewegungsdaten der Bremischen Häfen des Jahres 1995 erhoben und für **MARION** verfügbar. Diese Datenmenge ist aber beispielhaft für jede weitere Erhebung in dieser Richtung. Sie wurde für die im Kapitel 7 durchgeführte Emissionsberechnung eingesetzt und umfaßt 8.644 Schiffsmeldungen.

Die Erfassung von Ladungsdaten wird in dieser Arbeit zwar prinzipiell angesprochen, stellt sich in der Praxis jedoch als sehr schwierig heraus. Die Integration und Verarbeitung solcher Daten mit **MARION** ist möglich, muß aber zukünftiger Anwendung und Weiterentwicklung des Systems vorbehalten bleiben.

6.4 Emissionsfaktoren

Direkt verwendbare Daten des Einzelschiffes über Emissionsfaktoren in geschlossener Form liegen nach den Recherchen des Bearbeiters nirgendwo vor, obwohl z.B. von Lloyd's und anderen Klassifikationsgesellschaften derartige Daten im Zuge der Abnahmen gewonnen und auch festgehalten werden. Ein Problem bei der Verwendung solcher Daten wäre wegen der zeitlichen Veränderung und wegen der jeweils zugehörigen Spezifikation der Ausgangsstoffe gegeben. Wie bei der häuslichen Heizungsanlage verändern sich die Emissionswerte über der Zeit und mit dem Betriebsstoff, und sie ergeben selbst unmittelbar nach einer Wartung oft unterschiedliche Größen.

Dennoch wären Einzelschiffs-Emissionsdaten im Zusammenhang mit Angaben zum Betriebsstoff, die immer als tatsächlich gemessene Werte anfallen, voraussichtlich genauer als die indirekt über Maschinendaten und Schiffsgrößen hergeleiteten Werte. **MARION** erlaubt die Verwendung direkter Daten im Vorrang vor hergeleiteten Daten durch einfache Systemerweiterung, wenn sie denn eines Tages in nennenswertem Umfang zur Verfügung stehen sollten.

Die aus der Schiffsstammdatenbank entnommenen Treibstoffdaten werden zwar in **MARION** verarbeitet, müssen damit aber nicht notwendigerweise die tatsächlich verwandten Treibstoffe sein. Zudem gibt es selbst in definierten Treibstoffen erhebliche Unterschiede (Toleranzgrenzen) für den Gehalt an umweltrelevanten Stoffen.

6.5 Unfalldaten

6.5.1 Publierte Unfallangaben

Die Ermittlung von Unfallhäufigkeiten setzt voraus, daß ein möglichst großer Datenpool über Unfallereignisse vorhanden ist. Für **MARION** sind die weltweiten Unfalldaten aus dem Zeitraum von 10 Jahren (01/1986 - 12/1995) über eine Diplomarbeit (Anlage 2) erfaßt und in das System integriert worden.

Die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit kann um so genauer erfolgen, je mehr Informationen über die Unfallereignisse verfügbar und je detaillierter die einzelnen Angaben in Bezug auf die Auswirkungen sind.

Veröffentlicht werden Unfallereignisse, an denen Seeschiffe beteiligt sind, von verschiedenen Nachrichtenagenturen, wie z.B. Reuter, die in diesem Zusammenhang als Primärquellen zu bezeichnen sind. Die Verwendung von Primärquellen, die einzelne Ereignisse direkt nach ihrem Eintritt publizieren, ist in der Diplomarbeit nicht vorgenommen, da eine Sichtung von Einzelereignissen über eine Zeitspanne von 10 Jahren in diesem Rahmen nicht möglich war.

Es gibt aber eine begrenzte Anzahl von Institutionen, die hier als Sekundärquellen bezeichnet werden, die solche publizierten Ereignisse zusammentragen und in gesammelter Form veröffentlichen. Zu diesen Sekundärquellen zählen z.B. die von The Institute of London Underwriters (ILU) monatlich herausgegebenen "Casualty Returns", das deutsche Fachmagazin "Gefährliche Ladung" (GL) und das amerikanische Fachmagazin für Gefahrguttransporte "Hazardous Cargo Bulletin" (HC).

Die Zusammenstellung der Unfalldatenbank erfolgte aus solchen Sekundärquellen. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, daß der Informationsumfang in Bezug auf Einzelereignisse unterschiedlich ist und nicht jeder Unfall von allen Institutionen vermerkt bzw. veröffentlicht wird. Ereignisse, die von mehreren Institutionen veröffentlicht werden, verbessern die Datensicherheit durch gegenseitige Bestätigung (Verifizierung) der Angaben und die Gesamtinformation durch zusätzliche Angaben.

6.5.1.1 Quelle: Blome, D.: Literaturrecherche zum Forschungsbericht 102 03 428, Juli 1988 [71]

Die von Dr. Dietrich Blome durchgeführte Literaturrecherche gibt einen Überblick über Unfälle mit Seeschiffen und Chemikalien sowie über Unfälle mit Chemikalien in Binnen- und Süßgewässern für den Zeitraum von 1968 bis 1987.

Diese Studie beschäftigt sich mit Unfällen, bei denen andere seewassergefährdende Stoffe als Öl ausgetreten sind. Eine Abgrenzung zwischen flüssigen Chemikalien und Mineralölprodukten ist in der Studie nicht eindeutig festzustellen. Es finden sich zwar keine Unfälle mit Rohöl, jedoch Unfälle, die Mineralölprodukte wie z.B. Lubricating Oil oder Gas Oil betreffen. Die für die MARION-Unfalldatenbank interessanten Vorkommnisse liegen in dem Zeitraum von Januar 1986 bis Dezember 1987. Ferner werden nur die Unfälle betrachtet, die der Unfalldatenbank dieser Arbeit entsprechen und sich in den definierten geographischen Seegebieten ereignet haben. In der von Dr. Blome erstellten Auflistung zu den Unfällen werden folgende Einzelangaben gemacht:

Schiffsname , Datum, Ort, Stoffname, UN-Nummer, MARPOL-Kategorie, Menge, Verpackung, Schädigung der Umwelt, Anmerkung und Quelle.

Diese Angaben sind nicht in jedem von Dr. Blome dokumentierten Fall vollständig angegeben. Die Genauigkeit der in der Studie gemachten Angaben zu den Unfällen ist unterschiedlich zu bewerten. So werden bei den Mengenangaben häufig ungenaue Aussagen gemacht, wie z.B. Angabe der ausgetretenen Menge in Fässern oder Kanistern.

Die derart getroffenen Mengenangaben können nicht in die in der Datenbank verwendete Standardeinheit Tonne [t] umgerechnet werden und werden in der von Dr. Blome angegebenen Einheit übernommen.

6.5.1.2 Quelle: The Institute of London Underwriters Casualty Returns (ILU) [72]

Lloyd's Register veröffentlicht monatlich einen Bericht über Schiffsunfälle. In diesem Bericht werden nur Unfälle von Schiffen veröffentlicht, die größer als 500 BRT sind. Es wird unterschieden nach Totalverlusten (total losses) und anderen wichtigen Unfällen (other major casualties). Ladungsunfälle werden in dieser Publikation nicht berücksichtigt. Die Auflistungen erfolgen in Tabellenform und enthalten durchgehend folgende Angaben:

Schiffsname, Schiffsart, Flagge und Hafenregistration, BRT, Baujahr, Eigentümer, Reise(route), Fracht (ohne Mengenangabe) und Einzelheiten über den Unfallhergang (Angaben z.B. zu Unfallort, Unfalldatum, Unfallursache).

Die Qualität der Angaben ist unterschiedlich zu bewerten. Der Schwerpunkt der Berichte liegt in der Beschreibung und Bewertung des Schadens an den Schiffen, so daß die schiffsbezogenen Daten, wie z.B. Baujahr, BRT, Erläuterungen zu den Schäden am Schiff, in jedem Fall sehr detailliert aufgeführt sind. Angaben zu den Auswirkungen auf die marine Umwelt werden in den Casualty Reports erst ab Januar 1989 gemacht, jedoch bisher ausschließlich in Bezug auf Ölunfälle. Es wird auch nicht nach den ausgetretenen Mengen seewassergefährdender Stoffe differenziert.

Die Beschreibung der Umweltauswirkungen erfolgt unspezifisch mit Aussagen wie z.B. "major oil pollution occurred" (große Ölverschmutzung) oder "oil spillage occurred" (Ölverschmutzung eingetreten).

Die monatlichen Berichte von Januar 1986 bis Dezember 1995 sind zur Erweiterung der MARION-Unfalldatenbank verwendet worden.

6.5.1.3 Quelle: Hazardous Cargo Bulletin [73]

Das US-amerikanische Fachmagazin Hazardous Cargo Bulletin veröffentlicht monatlich einen Unfallreport, in dem unter anderem auch Unfälle auf See behandelt werden. Die Unfallaufstellung erfolgt tabellarisch und enthält folgende Angaben:

Unfalldatum, Unfallort, Schiffsname, Ladung, Detailangaben zum Unfall (z.B. Schiffsart, Unfallursache, ausgelaufene Mengen) und Datenquelle.

Die von Hazardous Cargo Bulletin veröffentlichten Angaben sind nicht für jeden einzelnen Fall vollständig. Im Gegensatz zu den ILU-Casualty Reports stehen bei Hazardous Cargo Bulletin die schiffsbezogenen Angaben im Hintergrund und werden kaum beschrieben, während die Angaben zu den Umweltauswirkungen detailliert, d.h. oft mit genauen Mengenangaben über ausgetretene Stoffe erfolgen. Darum werden bei HC nur Unfälle betrachtet, bei denen erkennbar gefährliche Güter in die marine Umwelt gelangt sind. Die monatlichen HC-Berichte von Januar 1986 bis Dezember 1995 sind zur Erweiterung der MARION-Unfalldatenbank verwendet worden.

6.5.1.4. Quelle: Gefährliche Ladung [74]

Das deutschsprachige Fachmagazin "Gefährliche Ladung" veröffentlicht monatlich einen Unfallreport, in dem u.a. auch Unfälle mit Schiffen beschrieben werden. Vor 1987 erfolgte die Veröffentlichung in Artikelform. Seit Januar 1987 erfolgt die Darstellung von Unfallereignissen tabellarisch. Die monatlichen Berichte von Januar 1986 bis Dezember 1995 sind zur Erweiterung der **MARION**-Unfalldatenbank verwendet worden. In der Tabelle und in den Artikeln werden grundsätzlich folgende Angaben gemacht:

Schiffsname und Flagge, Fahrzeugart, BRT, Unfalldatum, Unfallort, Ladung mit Mengenangaben, Unfallbeschreibung mit Angaben über Ursache, ausgetretene Menge u.a..

Die publizierten Angaben zu den einzelnen Unfallereignissen sind nicht in jedem Fall vollständig. Die Reports in der Zeitschrift "Gefährliche Ladung" sind sehr ähnlich aufgebaut wie die Berichte in der Zeitschrift Hazardous Cargo Bulletin (HC). Die Schwerpunkte der Betrachtung liegen wie bei HC in der Beschreibung und Bewertung der Umweltauswirkungen. Die Angaben zu den Schiffsdaten der betroffenen Schiffe stehen bei Gefährliche Ladung ebenfalls im Hintergrund. Es werden bei unter der Überschrift Gefährliche Ladung jedoch häufiger detaillierte Angaben zu den Schiffsdaten der betroffenen Schiffe gemacht als bei Hazardous Cargo Bulletin. GL betrachtet im Vergleich mit Hazardous Cargo Bulletin ebenfalls nur Unfälle, bei denen mit Bestimmtheit seewassergefährdende Stoffe ausgetreten sind.

6.5.1.5 Weitere Quellen

Neben den angegebenen Quellen wurde versucht, über weitere Quellen an Informationen über Schiffsunfälle heranzukommen:

- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord - Sonderstelle des Bundes Ölunfälle See-Küste, Cuxhaven
- Bundesministerium für Verkehr (BMV), Bonn
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Hamburg
- Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven

Nach Aussage der aufgeführten Institutionen lagen keine Informationen über Schiffsunfälle vor.

6.5.2 MARION-Unfalldatenbank

Unfalldaten aus den angegebenen Quellen sind in die **MARION**-Unfalldatenbank eingegangen und hier in einheitlicher Form gebracht worden.

Die so entstandenen einheitlichen Datensätze ermöglichen die Sortierung, Filterung und Auswertung nach bestimmten Merkmalen, die zur Entwicklung eines Risikoansatzes erforderlich sind.

6.5.2.1 Aufbau der MARION-Unfalldatenbank

Die Unfalldatenbank enthält Datensätze mit folgenden Feldern, die jedoch nicht immer vollständig vorliegen, weil einige Publikationen nicht immer alle Informationen über den individuellen Schiffsunfall zur Verfügung stellen konnten:

- Schiffsidentifikation (Name/n)
- Schiffstyp/en
- Flaggenstaat
- BRT
- Baujahr
- Unfalldatum
- Unfallort
- Deutsches Seegebiet ja/nein
- Küstennähe ja/nein
- Nicht Ölunfall ja/nein
- Ölunfall ja/nein
- Menge des freigesetzten Stoffs
- MARPOL-Kategorie des freigesetzten Stoffs
- Brennstoffaustritt ja/nein
- Menge des ausgetretenen Brennstoffs
- Tote/Verletzte ja/nein
- Anzahl Tote
- Anzahl Verletzte
- Unfallursache
- Gegenmaßnahmen
- welche Gegenmaßnahmen
- Beteiligte an den Gegenmaßnahmen
- Kosten für die Maßnahmen
- Publikationsquelle des Unfalls
- Unfallbeschreibung

Eine Auflistung aller Schiffsunfälle aus dem 10-Jahres-Zeitraum 01/1986 bis 12/1995 mit den hier aufgelisteten Informationen befindet sich im Anlagenband 3.

6.6 Datenakquisition

Gemäß dem Forschungsantrag erfolgte die Datenakquisition in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt bei Datenhaltern von Schiffsbewegungs- und Ladungsdaten für den Seeverkehr in der Bundesrepublik Deutschland für das Deutsche Hoheitsgebiet.

Auf der Grundlage einer durch das Forschungsteam erstellten Liste über potentielle Datenlieferanten erfolgte die Festlegung des Untersuchungsbereiches für folgende Behörden, Institutionen etc. in alphabetischer Reihenfolge:

Häfen:

- Amt für Land und Wasserwirtschaft Heide
- Arbeitsgemeinschaft Schleswig-Holsteinischer Häfen
- Bezirksregierung Weser-Ems
- Deutsche Fährgesellschaft Ostsee GmbH
- Hafen- und Verkehrsbetriebe der Landeshauptstadt Kiel
- Senator für Häfen, überregionaler Verkehr und Außenhandel
- Hafenamt der Landeshauptstadt Kiel
- Hafenbetrieb und Wasserwerk der Stadt Kappeln
- Hafengesellschaft Brunsbüttel mbH
- Hansestadt Lübeck
- Lübecker Hafen-Gesellschaft mbH
- Ministerium für Wirtschaft und Angelegenheiten der Europäischen Union Mecklenburg Vorpommern
- Ministerium für Wirtschaft und Verkehr des Landes Schleswig-Holstein
- Hansestadt Rostock
- Stadt Sassnitz
- Hansestadt Wismar
- Stadtwerke Flensburg GmbH

Wasser- und Schifffahrtsdirektionen:

- Wasser- und Schifffahrtsamt Cuxhaven
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord Sonderstelle des Bundes Ölfälle/Küste
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest

Statistikämter

- Statistische Bundesamt Wiesbaden
- statistische Landesämter

Datenlieferanten und Kommunikationspartner :

- Datenbank Bremische Häfen, dbh
- DAKOSY Datenkommunikationssystem GmbH
- Travemünder Datenverbund - TRADAV

Die vorgenannten Institutionen und Behörden haben vielfach lokale Arbeitsgemeinschaften gebildet, so daß die erste Präsentation nicht bei jeder einzelnen Institution des Forschungsprojektes erfolgen mußte, sondern die Vorstellung gebündelt werden konnte. So wurde z.B. für den Raum Schleswig-Holstein eine gemeinsame Präsentation in der Arbeitsgemeinschaft Schleswig-Holsteinischer Häfen / Hafen- und Verkehrsbetriebe der Landeshauptstadt Kiel für

- Amt für Land- und Wasserwirtschaft Heide
- Deutsche Fährgesellschaft Ostsee GmbH
- Hafen- und Verkehrsbetriebe der Landeshauptstadt Kiel
- Hafenamts der Landeshauptstadt Kiel
- Hafengesellschaft Brunsbüttel mbH
- Hansestadt Lübeck
- Lübecker Hafen-Gesellschaft mbH
- Travemünder Datenverbund-TRADAV

durchgeführt. Mit den ersten Präsentationen wurden folgende Zielsetzungen verfolgt:

1. Vorstellung der Ziele, Projektorganisation und die Anforderung an das Informations- und Analysesystem **Marion**
2. Wiederaufnahme der im Rahmen des Forschungsprojektes DINUS geführten Gespräche
3. erste Absprachen über mögliche Datenlieferung
 - grundsätzliche Bereitschaft
 - Art der Datenlieferung / Kommunikation
 - Datenschutz
4. Darstellung der Vorteile für den Datenlieferanten
5. Darstellung des möglichen Echtbetriebes

Die Datenakquisition ist ausführlich in A1 Anlagenband 1 beschrieben.

7.0 Berechnungen (Beispiel)

Um die Funktionsfähigkeit von **MARION** zu demonstrieren, werden für das vom Auftraggeber vorgegebene Betrachtungsgebiet der Nord- und Ostsee für das gesamte Jahr 1995 folgende Mengenbilanzen und Schadstoffquellterme mit dem Einzelschiffsansatz ermittelt:

- NO_x-Emissionen
- SO₂-Emissionen
- CO-Emissionen
- CO₂-Emissionen
- Zink-Emissionen durch Opferanoden
- TBT-Emissionen durch Antifoulingfarben
- Schiffsabwässer (Schwarz- und Grauwasser)
- Schiffsmüll (ladungs-, betriebs- und personenbedingt)
- ölhaltige Rückstände

Die für die Ermittlung der aufgelisteten Mengen und Schadstoffquellterme verwendeten Rechenbeziehungen oder Algorithmen werden detailliert in Kapitel 5 beschrieben. Das Betrachtungsgebiet ist in Kapitel 4 dargestellt. Es werden nur Verkehre betrachtet, denen eine definierte Verkehrsrouten zugeordnet werden kann, d.h. Marinefahrzeuge, Sport- und Freizeitboote und der Fischereiverkehr werden nicht berücksichtigt. Für die Berechnung der einzelnen Stoffe werden außerdem nur Verkehre berücksichtigt, die ausschließlich die Bremischen Häfen (Bremen und Bremerhaven) anlaufen oder aus ihnen auslaufen.

Für das Jahr 1995 wurden insgesamt 8.644 Schiffsmeldungen in den Bremischen Häfen gemeldet. Dabei wurden von allen Schiffen innerhalb des Jahres und innerhalb des Betrachtungsgebiets 2.464.133 sm zurückgelegt. Die Verweilzeit aller Schiffe innerhalb des Jahres und innerhalb des Betrachtungsgebiets betrug 183.300 Stunden.

Tabelle 33 Bewegungsdaten der Bremischen Häfen

Betrachtungszeitraum	01.01.1995 bis 31.12.1995
Betrachtungsgebiet	vom Auftraggeber vorgegebenes deutsche Gebiet der Nord- und Ostsee
Gesamtanzahl der Schiffsmeldungen	8.644
Gesamt zurückgelegter Seeweg aller Schiffe	2.464.133 [sm]
Gesamtverweilzeit aller Schiffe	183.300 [h]

Von den 8644 Schiffsmeldungen konnte **MARION** 6571 Schiffsmeldungen (76%) eindeutig zuordnen. Das bedeutet, daß bei diesen Datensätzen der Rückgriff auf die Schiffsstammdatenbank der Welthandelsflotte von Lloyd's über das gemeldete Funkrufzeichen gelungen ist. Ferner konnte mit der gemeldeten Angabe des letzten Hafens, aus dem das Seeschiff gekommen ist, und der gemeldeten Angabe über den Hafen, den das Schiff als nächsten anlaufen wird, eine Routenzuordnung zu dem im System vorhandenen Verkehrsnetz hergestellt werden.

Bei 2073 Schiffsmeldungen (24 % der Gesamtzahl) sind "Datenlücken" festgestellt worden; so konnte bei 1269 Schiffsmeldungen das Seeschiff nicht aus der Lloyd's Schiffsstammdatenbank herausgesucht werden. Die Ursache für diese "Datenlücken" liegen zum einen daran, daß das gemeldete Funkrufzeichen nicht (nicht mehr oder noch nicht) in der Schiffsstammdatenbank erfaßt ist, oder daß die Information über das Funkrufzeichen bei der Hafenbehörde nicht angekommen ist oder nicht bzw. fehlerhaft in das jeweilige Erfassungssystem eingegeben worden ist.

Bei 594 Schiffsmeldungen (6,9 %) war der Hafen, aus dem das Seeschiff gekommen ist (Abgangshafen), nicht zuzuordnen, und bei 662 Schiffsmeldungen (7,7 %) war der Hafen, den das Schiff als nächsten anlaufen wird (Zielhafen), nicht zuzuordnen. Diese fehlenden Informationen kommen zustande, wenn ein fehlerhafter UN-Location-Code angegeben wird, der vom System nicht erkannt werden kann, oder wenn ein korrekt gemeldeter Code fehlerhaft eingegeben wird. Solchen Schiffsmeldungen kann von MARION dann kein eindeutiger Verkehrsweg auf der Verkehrsmatrix zugeordnet werden. Für diese Fälle kann im System aber ein Standardwert vorgegeben werden, der mit großer Wahrscheinlichkeit näherungsweise zutrifft und in jedem Fall genauere Ergebnisse liefert, als wenn alle auf den jeweiligen Eintrag beruhenden Ergebnisse mit "Null" eingehen. Für die folgenden Auswertungen wird für Schiffe, bei denen Herkunft und/oder Ziel nicht bekannt sind, ein Standardwert von 150 sm zu Grunde gelegt.

7.1 Berechnung der NO_x und SO₂ Emissionen

Auf Grundlage der insgesamt 8644 Schiffsmeldungen in den Bremischen Häfen für das Jahr 1995 innerhalb des Betrachtungsgebiets der Nord- und Ostsee wurden gemäß der Berechnung von allen Schiffen insgesamt **7467 Tonnen SO₂** und **8007 Tonnen NO_x** emittiert. In Anlehnung an Hadler/Goetze [26] wurde für Schiffe über 1000 BRT die Verwendung von Schweröl als Betriebsstoff angenommen und ein Emissionsfaktor von 12 g/kWh SO₂ angesetzt. Aufgrund des unterschiedlichen Brennstoffeinsatzes von Schiffen unter 1000 Bruttoregistertonnen wurde hier ein Emissionsfaktor von 4 g/kWh SO₂ und für Schiffe unter 500 Bruttoregistertonnen ein Emissionsfaktor von 1,3 g/kWh SO₂ angesetzt.

Für NO_x wurde ein Emissionsfaktor von 12 g/kWh NO_x zu Grunde gelegt.

Der für die Auswertung benötigte Algorithmus wurde in Kap. 5.3.4 dargestellt. Für die Berechnung werden aus der Schiffsstammdatenbank folgende Parameter für jedes Einzelschiff benötigt:

- Angabe Konstruktionsgeschwindigkeit des Seeschiffs
- Angabe der Hauptmaschinenleistung
- Angabe der Hilfsmaschinenleistung

Die folgende Tabelle zeigt, wie viele Datenfelder der benötigten Parameter unvollständig waren und mit welchen Methoden (Regression oder Standardwert) sie aufge-

füllt wurden. Die Vorgehensweise, wann ein Regressionswert oder ein Standardwert eingesetzt wird, ist dem Kap. 5.3.4.7 zu entnehmen.

Tabelle 34 Datenfelder für NO_x und SO₂ Berechnung

Parameter Name	Anzahl gesamt	davon unvoll- ständig	Anzahl Reg- ression	Anzahl Stan- dardwert
Hauptleistung	8644	1360	76	1284
Hilfsleistung	8644	3642	2275	1367
Geschwindigkeit	8644	1688	353	1335

7.2 Berechnung der ölhaltigen Rückstände

Grundlage für die Ermittlung von ölhaltigen Rückständen ist der Treibstoffverbrauch eines Schiffes. Der Verbrauch der 8644 Seeschiffe, die die Bremischen Häfen im Jahr 1995 innerhalb des Betrachtungsgebiets angelaufen haben, wurde mit 129881 Tonnen Treibstoff ermittelt. Ölhaltige Rückstände werden nach Kapitel 2.1 mit 2 % des verbrauchten Schweröltreibstoffs angenommen. Die Information über dem Treibstoffverbrauch wurde den Schiffsstammdaten entnommen. Lagen keine Informationen über den Treibstoffverbrauch vor, so wurde eine Regressionsanalyse über den jeweiligen Schiffstyp mit dem angegebenen Treibstoffverbrauch und der installierten Maschinenleistung vorgenommen. Wenn die Regressionsberechnung nicht angewendet werden konnte, wurde ein statistischer Treibstoffverbrauch von 180 g/kWh angenommen. Die Rechenbeziehung ist in Kapitel 5.3.1 dargestellt.

Insgesamt sind rechnerisch von allen Schiffen innerhalb des Betrachtungsgebiets ca. **2575 Tonnen ölhaltige Rückstände** angefallen. In die Berechnung sind Regressionsergebnisse und Standard(ersatz)daten aufgrund unvollständiger Einzeldaten gemäß nachfolgender Tabelle eingegangen:

Tabelle 35 Datenfelder für die Berechnung von ölhaltigen Rückständen

Parameter Name	Anzahl gesamt	davon unvoll- ständig	Anzahl Reg- ression	Anzahl Stan- dardwert
Hauptleistung	8644	1360	76	1284
Hilfsleistung	8644	3642	2275	1367
Treibstoffverbrauch	8644	6291	4925	1366
Geschwindigkeit	8644	1688	353	1335

7.3 Berechnung der CO und CO₂-Emissionen

Grundlage für die Ermittlung von CO und CO₂ Emissionen ist in dieser Rechenbeziehung der Treibstoffverbrauch eines Seeschiffes. Der Emissionsfaktor für CO und CO₂ wurde einer Untersuchung von Lloyd's Register [59] entnommen und mit 7,4 kg CO/Tonne verbrauchtem Treibstoff und mit 3170 kg CO₂/tonne verbrauchtem Treibstoff angesetzt. Hierbei wurden von allen Schiffen, die 1995 die Bremischen Häfen anliefen, innerhalb des Betrachtungsgebiets der Nord- und Ostsee insgesamt **961 Tonnen CO** und **411725 Tonnen CO₂** emittiert. Der für die Auswertung eingesetzte Algorithmus wurde in Kapitel 5.3 dargestellt.

Die folgende Tabelle zeigt, wie viele Datenfelder der benötigten Parameter unvollständig waren und mit welchen Methoden (Regression oder Standardwert) sie gefüllt wurden.

Tabelle 36 Datenfelder für CO und CO₂ Berechnung

Parameter Name	Anzahl gesamt	davon unvoll- ständig	Anzahl Reg- ression	Anzahl Stan- dardwert
Hauptleistung	8644	1360	76	1284
Hilfsleistung	8644	3642	2275	1367
Treibstoffverbrauch	8644	6291	4925	1366
Geschwindigkeit	8644	1688	353	1335

7.4 Berechnung der Abwassermengen (Grauwasser und Schwarzwasser)

Grundlage für die Rechenbeziehung (Kap. 5.3.3) ist die Information über die Anzahl der Personen (Passagiere und Besatzung) an Bord eines Schiffes, weil sich die Anzahl unmittelbar auf den Abwasseranfall auswirkt. Bei dieser Rechenbeziehung wird nicht berücksichtigt, ob ein Seeschiff mit einer Abwasserbehandlungsanlage ausgestattet ist oder nicht, weil die Informationen in der jetzigen Projektstufe nicht verfügbar sind. Ferner ist nicht bekannt, welche bzw. wie viele Schiffe mit einer Vakuumanlage ausgestattet sind. Eine Vakuumanlage kann im Gegensatz zu einer Abwasseranlage mit Schwerkraftspülung sehr viel Wasser einsparen. Diese Einsparung wirkt sich unmittelbar auf die entstehenden Abwassermengen aus. Weil nicht bekannt ist, ob ein Schiff mit einer Vakuumanlage ausgestattet ist, wird auch im Rechenbeispiel vom "worst case" ($WC_{\text{Vakuum}} = 1$) ausgegangen.

Die Rechenbeziehung geht von folgenden Abwassermengen pro Person und Tag aus:

Schwarzwasser		70 Liter/Person und Tag
Grauwasser	Passagierschiffe	160 Liter/Person und Tag
	andere Schiffe	110 Liter/Person und Tag

Auf Grundlage der insgesamt 8644 Schiffsmeldungen in den Bremischen Häfen für das Jahr 1995 innerhalb des Betrachtungsgebiets der Nord- und Ostsee wurden von allen Schiffen insgesamt **38351 m³ Grauwasser** und **23698 m³ Schwarzwasser** produziert. Regressionen und Standardwerte wurden bei der Berechnung wie folgt benötigt:

Tabelle 37 Datenfelder für die Berechnung von Schiffsabwasser

Parameter Name	Anzahl gesamt	davon unvollständig	Anzahl Regression	Anzahl Standardwert
Anzahl Passagiere	8644	8388	0	8388
Anzahl Besatzung	8644	6691	0	6691
Geschwindigkeit	8644	1688	353	1335

7.5 Berechnung des Schiffsmüllanfalls

Bei der Ermittlung des bei den skizzierten Schiffen angefallenen Schiffsmülls für das Jahr 1995 innerhalb des Betrachtungsgebiets wird in der Berechnung zwischen betriebsbedingtem, ladungsbedingtem und personenbedingtem Schiffsmüll unterschieden. Grundlage für die Ermittlung der Müllmengen ist, wie auch bei der Ermittlung des Abwasseranfalls, die Anzahl der Personen (Passagiere und Besatzung) auf dem einzelnen Schiff. Die Information über die Besatzungsstärke und die Anzahl der Passagiere wird der **MARION**-Stammdatenbank entnommen. Bei dieser Rechenbeziehung wird nicht berücksichtigt, ob ein Seeschiff mit einer Müllverbrennungsanlage ausgestattet ist oder nicht, weil die Informationen in der jetzigen Projektstufe nicht verfügbar sind. Die für die Bilanzierung von Schiffsmüllmengen verwendeten personenbezogenen Abfallmengen pro Tag $m_{i, \text{Müllart}}$ wurden einer im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführten Studie [16] entnommen. Die ermittelten Abfallraten wurden für diese Berechnung übernommen. Dabei wurden für Frachtschiffe folgende durchschnittlichen Werte berücksichtigt:

- personenbedingt: 1,81 kg/Person u. Tag
- betriebsbedingt: 0,43 kg/Person u. Tag
- ladungsbedingt: 14,67 kg/Schiff u. Tag

Für Fährschiffe wurden folgende Durchschnitts-Abfallraten berücksichtigt:

- personenbedingt: 1,59 kg/Person u. Tag
- betriebsbedingt: 0,78 kg/Person u. Tag

Und ebenso für Passagierschiffe:

- personenbedingt: 2,20 kg/Person u. Tag

- betriebsbedingt: 0,78 kg/Person u. Tag

Insgesamt sind nach der Berechnung von den skizzierten Schiffen im Jahr 1995 innerhalb des Betrachtungsgebiets **620727 kg personenbedingter Müll, 111587 kg ladungsbedingter Müll und 154480 kg betriebsbedingter Müll** angefallen. Die Gesamtmüllmenge beträgt damit **886794 kg**.

Die Art und Anzahl der fehlenden Datenfelder für diese Berechnung entspricht der der Tabelle 37.

7.6 Berechnung von TBT-Emissionen durch Antifoulingfarben

Auf Grundlage der insgesamt 8644 Schiffsmeldungen in den Bremischen Häfen für das Jahr 1995 innerhalb des Betrachtungsgebiets der Nord- und Ostsee wurden von allen Schiffen insgesamt **389 kg TBT** emittiert. In Anlehnung an Isensee/Waterman [49] wurde die Emissionsrate für TBT mit $2 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$ angesetzt. Die Beispielberechnung geht davon aus, daß alle Seeschiffe, die die Bremischen Häfen angelaufen haben, TBT-haltige Unterwasserfarben verwendeten. Nach Informationen der Farbenfirma International [46] werden heute noch bei ca. 60% aller Seeschiffe TBT-haltige Antifoulingfarben appliziert. Hiernach ergäbe sich eine geringere Gesamtemission von $389 \text{ kg} * 0,6 = \mathbf{233 \text{ kg TBT}}$.

Die Anzahl der in der Berechnung erforderlichen Regressionen und Ersatzdaten (Standardwerte) wegen fehlender Einzelschiffangaben sind aus folgender Tabelle ersichtlich:

Tabelle 38 Datenfelder für die Berechnung von TBT-Emissionen

Parameter Name	Anzahl gesamt	davon unvollständig	Anzahl Regression	Anzahl Standardwert
Konstruktionstiefgang	8644	1335	52	1283
Breite ü. a.	8644	2283	982	1301
Länge zw. d. Loten	8644	1413	0	1413
Geschwindigkeit	8644	1688	353	1335

Der für die Auswertung benötigte Algorithmus wurde in Kap. 5.4 dargestellt.

7.7 Berechnung der Zink-Emissionen

Für das Jahr 1995 wurden von den skizzierten Schiffen innerhalb des Betrachtungsgebiets insgesamt 1539 Tonnen Zink emittiert. Die Beispielsberechnung geht davon aus, daß alle Seeschiffe Zink-Opferanode verwenden. Nach einer Studie von Brenk [73] sind 30 % und nach einer niederländischen Studie [74] 75 % aller Seeschiffe mit Zinkanoden ausgestattet. In MARION wurde ein Mittelwert von 50 % aller Seeschiffe

angenommen, die Zinkanoden verwenden. Somit ergibt sich eine Zinkbelastung von **769,5 Tonnen Zink**.

Die Emissionsrate für Zink wurde in dieser Berechnung mit 8,4 g/h angenommen (Kap. 5.5). Die Emissionsrate, und somit das Rechenergebnis, kann jedoch nur als grobe Näherung angesehen werden, weil die Datengrundlagen aus den verschiedenen Quellen für die Ermittlung dieser Emissionsrate sehr weit auseinander lagen.

8. Zusammenfassung

Das Forschungsvorhaben **MARION** baut auf einer von der Fachhochschule für Seeschifffahrt in Hamburg erstellten Vorbereitungsstudie "DINUS-Daten Informations- und Nutzungssystem" auf. Ziel von **MARION** ist die raum- und zeitbezogene Quantifizierung von Schadstoffmengen und Emissionen durch den Seeschiffsverkehr auf der Basis von Schadstoffquelltermen und Schiffsdaten. Mit Hilfe von Basisdaten über Schiffe, Seeverkehrsrouten und -bewegungen und den Güterumschlag in Verbindung mit speziellen Algorithmen sollen prüfbare, nachvollziehbare Auskünfte über seeverkehrsbedingte Umweltbelastungen gegeben werden.

Basisdaten für **MARION** sind

- Einzelschiffsbewegungsdaten und Ladungsinformationen, die bei den jeweiligen Hafenbehörden in Form von Schiffsanmeldungen bzw. Schiffsauslaufmeldungen gesammelt werden
- Schiffsstammdaten, die dezidierte Informationen (physikalische Abmessungen, Antriebsdaten, Kapazitätsdaten etc.) über ein spezielles Schiff beinhalten
- Geographische Daten über Seeverkehrswege
- Schiffsunfalldaten

Im gegenwärtigen Ausbauzustand des **MARION**-Systems steht der umweltrelevante Datenbestand der gesamten Welthandelsflotte mit über 86.000 Seeschiffen aus dem Jahr 1995 zur Verfügung. Schiffsunfalldaten mit Umweltrelevanz, die nach statistischer Aufbereitung durch **MARION** Verwendung finden, sind für einen 10-Jahreszeitraum in einer Unfalldatenbank erfaßt. Geographische Routendaten sind in größerem Umfang für die Verkehrsgebiete der Nord- und Ostsee (deutsche Meereswirtschaftszonen) erfaßt, wobei **MARION** bereits eine Datenbank enthält, die es ermöglicht, alle 16.447 Hafenstädte des UN-Location-Codes mit den meistfrequentierten deutschen Hafenstädten auf bis zu 312.493 möglichen Routen zu verknüpfen.

Im **Kapitel 2** wird das Spektrum der schiffsbetriebsbedingten Umweltprobleme beschrieben. Die einzelnen Themenbereiche werden kurz skizziert. Eine detaillierte Betrachtung des Gesamtspektrums schiffsbezogener Umweltprobleme war nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Im einzelnen werden folgende Themenbereiche kurz erörtert.

- Öl-, Wassergemische und sonstige flüssige Rückstände
- Ölhaltige Rückstände durch den Betrieb von Seeschiffen
- Ölhaltige Gemische - Bilgenwasser
- Flüssige Gemische durch mineralöhlhaltige Ladungsreste
- Flüssige Gemische durch Ladungsreste auf Chemikaliertankschiffen
- Schiffsmüll
- Schiffsabwässer
- Ballastwasser
- Betriebsbedingte Luft-Umweltverschmutzung durch Verbrennungsprozesse in Schiffsmaschinen

- Einfluß der Motorenkonstruktion auf den Schadstoffausstoß
- Einfluß des Brennstoffs auf den Schadstoffausstoß
- Antifoulingfarben
- Zinkanoden
- Ozonschädigende Substanzen
- Belastung durch gasende flüssige Ladungen

Das **Kapitel 3** beschreibt die unfallbedingten Umweltprobleme. Ein Unfall mit einem Seeschiff birgt z. B. durch ausgetretene Betriebsstoffe ein Risiko in sich. Ist dieses Schiff aber mit einer seewassergefährdenden Ladung beladen, ist das Gefährdungspotential für die Meeresumwelt wesentlich höher. Im Rahmen dieser Themenstellung wurde eine Diplomarbeit mit dem Titel "Gefährdung der marinen Umwelt durch Unfälle im Zusammenhang mit dem Transport seewassergefährdender Güter auf Seeschiffen – eine Risikoanalyse für das deutsche Seegebiet" vergeben. In der Arbeit werden Risikozahlen ermittelt, die das Risiko für Unfälle mit seewassergefährdenden Stoffen im deutschen Seegebiet abbilden. Die Grundlage für die Ermittlung solcher Risikozahlen (Kenngrößen) ist eine Datenbank über Schiffs- und Ladungsunfälle, bei denen die marine Umwelt durch den Austritt seewassergefährdender Stoffe beeinträchtigt wird. Zur Erstellung dieser Datenbank, die im MARION-System abgelegt wurde, wurden verschiedene Informationsquellen herangezogen, die Daten über Schiffsunfälle publizieren. Die statistische Auswertung des Datenmaterials bildet aussagefähige Unfallhäufigkeiten, mit deren Hilfe Eintrittswahrscheinlichkeiten von Unfällen mit seewassergefährdenden Gütern bestimmt werden können. Die Ermittlung von Unfallhäufigkeiten setzt voraus, daß ein möglichst großer Datenpool über Unfallereignisse vorhanden ist.

Die Unfälle wurden weltweit für einen Zeitraum von 10 Jahren (01/1986 - 12/1995) erfaßt. Die Datenauswertung ergab folgendes Bild für Unfälle, aufgeteilt nach Nicht-ölnfällen, Ölnfällen und Sonderfällen:

Tabelle 39 Unfallzahlen im Zeitraum von 1986 bis 1995 weltweit

Jahr	Nichtölnfälle	Ölnfälle	Sonderfälle	Gesamtunfallzahl
1986	21	14	68	103
1987	22	20	56	98
1988	19	21	63	103
1989	22	49	71	142
1990	10	37	57	104
1991	18	24	67	109
1992	12	34	53	99
1993	18	34	70	122
1994	17	32	52	101
1995	10	24	52	86
Ges.	169	289	609	1067

Zum weltweiten Seegebiet zählen alle Seegebiete, Küstenbereiche und seewärtige Mündungen von Flüssen. Alle Bereiche, die nach dem Seerechts-Übereinkommen von 1982 zum Küstenmeer gehören, also innerhalb der 12-Seemeilen-Zone liegen, werden als küstennahe Zonen angesehen. Alle Bereiche, die außerhalb dieser 12-

sm-Zone liegen, werden als küstenfern eingestuft. Unfälle, die wegen ungenauer Angabe in der Quelle bzw. ungenauen Kartenmaterials nicht einer küstennahen oder küstenfernen Zone zugeordnet werden können, erhalten für die Definition dieses Bereiches die Angabe unbekannt.

Tabelle 40 Häufigkeiten nach Unfallorten weltweit (küstennah - küstenfern)

Unfallort	Gesamt
Küstennah	547
Küstenfern	144
Unbekannt	376
SUMME	1067

Aus Unfällen unterschiedlicher Größenordnung (freigesetzte Mengen) und unterschiedlicher Kategorien (Ölunfälle, Nichtölunfälle) konnten in Bezug auf das deutsche Seegebiet folgende Erwartungswerte [Jahre/Ereignis] ermittelt werden:

Tabelle 41 Häufigkeitsprognose für Schiffsunfälle im deutschen Seegebiet

Häufigkeitsprognose für den Eintritt umweltrelevanter Ereignisse im deutschen Seegebiet in der Einheit [Jahre/Ereignis]				
Ausgetretener Stoff	Öl		Nichtöl	
	küstennah	küstenfern	küstennah	küstenfern
>= 10.000 t	62,5	333,3	142,9	1000,0
< 10.000 t und >= 1.000 t	21,3	142,9	52,6	333,3
< 1.000 t	4,7	30,3	7,4	47,6

In **Kapitel 5** werden der mathematische Rechenansatz von **MARION** und die Emissionsalgorithmen sowie die Regressionsverfahren dargestellt. In **MARION** werden Emissionsbilanzen aufgrund von Einzelschiffsinformationen vorgenommen. Für die Bilanzierung von Schadstoffeinträgen in die marine Meeresumwelt verwendet **MARION** Mittel- oder Schätzwerte nur, wenn detaillierte Daten über Schiffe oder Schiffsbewegungen nicht verfügbar sind. Primär wird versucht, die Daten jedes einzelnen Schiffes zu berücksichtigen. In dieser Arbeit wird dieser Ansatz als *Einzelschiffsansatz* bezeichnet. Im Einzelschiffsansatz werden, zunächst unabhängig voneinander, zwei Terme berechnet:

1.) Verkehrsterm (charakterisiert die Verweilzeit bzw. den zurückgelegten Seeweg jedes Schiffes im geographisch festgelegten Betrachtungsgebiet)

Die Ermittlung von Verkehrsströmen (**Kapitel 4**) und umweltschädigenden Quelltermen bezieht sich grundsätzlich auf ein genau definiertes Seegebiet. Auftragsgegenstand des Umweltbundesamts Berlin war die Ermittlung von Verkehrsströmen und umweltschädigenden Quelltermen in dem deutschen Wirtschaftsgebiet der Nord- und Ostsee. Alle Betrachtungen hinsichtlich umweltrelevanter Fragestellungen beziehen sich zunächst auf dieses Seegebiet. Das deutsche Seegebiet der Nord- und

Ostsee ist im **MARION**-System definiert als ein Netz von vorgegebenen einzelnen Seewegeabschnitten. Alle Schiffsverkehre, die einen deutschen Hafen anlaufen, bewegen sich in dem **MARION**-System auf diesen vordefinierten Seewegeabschnitten.

2.) Emissionsterm. Dieser Term stellt die Emission eines Schiffes je Zeiteinheit der Verweildauer bzw. je Längeneinheit des zurückgelegten Seewege dar.

Die Rechenbeziehungen werden für folgende Mengen- und Schadstoffbilanzen beschrieben:

- Luftschadstoffe im Zusammenhang mit Verbrennungsprozessen in Schiffsantriebsmaschinen (SO₂, NO_x, CO, CO₂, HC, PM).
- Ölhaltige Brennstoffrückstände durch den Betrieb von Seeschiffen.
- Schiffsmüllleinträge durch den Betrieb von Seeschiffen, unterteilt in personenbedingte, betriebsbedingte und ladungsbedingte Schiffsmüllanfälle. Diese Abfälle können jeweils weiter in Müllartfraktionen unterteilt werden (Lebensmittelreste, Papier/Pappe, Holz, Glas, Metall, Kunststoffe, öl- und fetthaltige Abfälle, Chemikalien/Farben und Reste).
- Schiffsabwassereinträge durch den Betrieb von Seeschiffen, unterteilt in Grauwasser und Schwarzwasser.
- Antifoulingeinträge durch Unterwasser-Farbeeinträge.
- Zinkeinträge durch Opferanoden.

In **Kapitel 6** wird die Datenbasis zu **MARION** erläutert, und es werden einige Ausführungen zur Datenakquisition gemacht, auf die im Detail im Anlagenband 1 eingegangen wird.

Es wird ausgeführt, welche Daten für die Ermittlung von Schadstoffeinträgen durch den Seeschiffsverkehr benötigt werden. Im wesentlichen sind das Schiffsstammdaten (physikalische Abmessungen, Antriebsdaten, Kapazitätsdaten etc.), Einzelschiffsbewegungsdaten und Angaben über Emissionsfaktoren bzw. Emissionsraten. Die Beschaffung dieser Daten ist jedoch sehr problematisch, weil die Informationen über Schiffsbewegungen im deutschen Seegebiet nur dezentral bei den jeweiligen einzelnen Hafenbehörden oder zentral als Meldung von den einzelnen Hafenbehörden beim Statistischen Bundesamt in Wiesbaden vorliegen.

Um das vom Auftraggeber vorgegebene Betrachtungsgebiet des deutschen Wirtschaftsgebietes der Nord- und Ostsee abzudecken, werden Detailinformationen bezüglich einzelner Schiffsbewegungen von folgenden Häfen, Schifffahrtsdirektionen und anderen Institutionen benötigt:

- Ministerium für Wirtschaft und Angelegenheiten der EU in Schwerin
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord-West
- Ministerium für Wirtschaft und Verkehr des Landes Schleswig Holstein
- Bezirksregierung Weser-Ems
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord - Sonderstelle des Bundes Ölunfälle/Küste
- Hafengesellschaft Brunsbüttel mbH
- Deutsche Fährgesellschaft Ostsee GmbH

- Hafenamts der Landeshauptstadt Kiel
- Hansestadt Lübeck
- Amt für Land- und Wasserwirtschaft Heide
- DAKOSY Datenkommunikationssysteme GmbH Hamburg
- Wasser- und Schiffsamt Cuxhaven
- Bremische Hafenbehörden
- Arbeitsgemeinschaft Schleswig-Holsteinischer Häfen
- Hafen- und Verkehrsbetriebe der Landeshauptstadt Kiel
- Lübecker Hafen-Gesellschaft mbH
- Travemünder Datenverbund -TRADAV-

Diese Institutionen wurden im einzelnen angesprochen und um Mitarbeit bezüglich der Lieferung von Schiffsbewegungsdaten gebeten.

Um die Funktionsfähigkeit des **MARION**-Systems zu demonstrieren, werden in **Kapitel 7** für das vom Auftraggeber vorgegebene Betrachtungsgebiet der Nord- und Ostsee und für das Jahr 1995 Mengen- und Schadstoffbilanzen der oben aufgelisteten Stoffe durchführt. Es werden nur Verkehre betrachtet denen eine definierte Verkehrsrouten zugeordnet werden kann, d.h. Marinefahrzeuge, Sport- und Freizeitboote und der Fischereiverkehr werden nicht betrachtet. Für die Berechnung der einzelnen Stoffe werden im Beispiel nur Verkehre berücksichtigt, die ausschließlich die Bremischen Häfen (Bremen und Bremerhaven) angelaufen haben oder aus ihnen ausgelaufen sind. Für das Jahr 1995 wurden insgesamt 8.644 Schiffsmeldungen in den Bremischen Häfen gemeldet. Dabei wurden von allen Schiffen innerhalb des Jahres und innerhalb des Betrachtungsgebiets 2.464.133 sm zurückgelegt, das entspricht 114 mal dem Erdumfang. Die Verweilzeit aller Schiffe innerhalb des Jahres und des Betrachtungsgebiets betrug 183.300 Stunden. Insgesamt werden folgende Mengen bilanziert:

Tabelle 42 Bilanzierte Mengen und Schadstoffe durch den Seeschiffsverkehr nach und von den Bremischen Häfen im Jahr 1995

SO ₂	7467 Tonnen
NO _x	8007 Tonnen
CO	961 Tonnen
CO ₂	411725 Tonnen
Treibstoffverbrauch	129881 Tonnen
Ölhaltige Rückstände	2575 Tonnen
Gesamt Abwasser	62049 m ³
davon Grauwasser	38351 m ³
davon Schwarzwasser	23698 m ³
Gesamtmüllmenge	886794 kg
davon personenbedingter Müll	620727 kg
davon ladungsbedingter Müll	111587 kg
davon betriebsbedingter Müll	154480 kg
TBT	233 kg
Zink	770 Tonnen

9. Fazit

Hauptziel des Informations- und Analysesystems **MARION** war die raumbezogene Quantifizierung von Schadstoffen, die durch den Seeschiffsverkehr entstehen oder sogar in die marine Umwelt eingebracht werden. Um diese Aufgabenstellung so abzarbeiten, daß sie belastbare und vor allem auch nachvollziehbare Rechenergebnisse liefert, wurde der Einzelschiffsansatz gewählt, also die Berechnung der Schadstoffmengen für jedes einzelne Seeschiff, welches ein definiertes Seegebiet durchfährt. Die Vorgehensweise beim Einzelschiffsansatz ist ausführlich in der Dokumentation beschrieben.

Grundvoraussetzung für die Anwendbarkeit dieses Rechenwegs ist das Vorhandensein von Schiffsstammdaten und Schiffsbewegungsdaten. Durch die Integration einer Schiffsstammdatendatei mit Schiffsdaten der gesamten Welthandelsflotte und einer Datei mit Angaben zu Fahrtrouten im **MARION**-System wurde der erste Teil der Grundvoraussetzung erfüllt. Außerdem wurden Unfalldaten aus einem Jahrzehnt zu einer weiteren Datenbank verdichtet und mit **MARION** verknüpft, und es wurden Bewegungsdaten der Schiffe aus einem Jahreszeitraum und in einem bestimmten Seegebiet von einer großen Anzahl Quellen akquiriert. Mit diesen Daten wurde eine beispielhafte Berechnung über Schadstoffanfall und Emissionen durchgeführt. Die Rechenergebnisse lassen sich mit **MARION** auch graphisch und kartenbezogen darstellen.

MARION zeichnet sich dadurch aus, daß jeder einzelne Berechnungsschritt mit in dieser Arbeit dargestellten Algorithmen nachvollziehbar, bewertbar und bei neuen Erkenntnissen auch veränderbar ist. Die Quellterme sind für jede Schadstoffart aufgeschlüsselt und nach Bedarf ergänzbar. Alle Datenverzeichnisse können bearbeitet, ergänzt und erweitert werden, soweit das die jeweils gewählte DV-Plattform kapazitätsmäßig zuläßt. Dabei wurde die Anwendbarkeit des Verfahrens auch für Fälle gesichert, in denen einzelne Datensätze unvollständig sind, was in der Praxis immer wieder vorkommt und unvermeidlich ist. Hier werden bei **MARION** über Regressionen unter Verwendung des einschlägigen Datenbestands oder über passende Ersatzgrößen "Reparaturwerte" bestimmt, die eine sehr genaue Annäherung an die (nicht vorhandenen) Werte darstellen und zur Grundlagenbreite der Ergebnisse beitragen.

Die Zukunft und Anwendbarkeit von **MARION** hängt neben der Pflege des Systems (Fortschreibung der Systembeschreibung, Dokumentation, Programmpflege) in erheblichem Maß vom Vorhandensein und der Verfügbarkeit möglichst vollständiger Daten ab. Die Sammlung und Aufbereitung der Daten für **MARION** wird beim weiteren Einsatz von **MARION** den größten Aufwand erfordern, und alle Anstrengungen, die Datensammlung und -übernahme zu systematisieren, werden sich besonders positiv auf die Effektivität von **MARION** auswirken.

Während die Schiffsdaten verhältnismäßig einfach durch Übernahme aktualisierter Datensätze von einschlägigen Datenhaltern auf dem neuesten Stand gehalten werden können, gibt es für Unfalldaten nach Erkenntnis der Bearbeiter dieser Studie keine Datenbanken, die Unfalldaten in der für **MARION** benötigten Zusammensetzung übernahmefertig bereithalten. Hier wird bis auf weiteres eine Bearbeitung neuerer Daten erforderlich sein, bevor sie in **MARION** integriert werden können. Während bis-

her in **MARION** in Bezug auf Umweltbelastungen aus Schiffsunfällen ein statistischer Ansatz zur Anwendung kommt, wäre bei entsprechender Vollständigkeit der Ausgangsdaten (Schiff, Datum, Ort, Ladung, ausgetretene Schadstoffmengen, im gesunkenen Schiff verbliebene Schadstoffmengen) zukünftig auch für Unfälle der Einzelschiffsansatz anwendbar.

Die Akquisition von Schiffsbewegungs- und Ladungsdaten ist hingegen durchweg schwierig, obwohl zumindest in Deutschland alle für **MARION** benötigten Daten aufgrund gesetzlicher Vorschriften von den Behörden erhoben werden. Zwar fallen die Daten sowohl dezentral bei den einzelnen Hafen- oder Landesbehörden als auch nach Sammlung zentral beim Statistischen Bundesamt an, aber verschiedene gesetzliche Regelungen stehen der Weitergabe an einen nicht den gleichen Behörden zuzurechnenden Anwender von **MARION** entgegen oder werden aus welchen Gründen auch immer in den Vordergrund geschoben. Eine Verbesserung dieser Situation könnte möglicherweise erreicht werden, wenn eine Bundes- oder Landesbehörde oder -institution die **MARION**-Ergebnisse verlangt, oder wenn die Ergebnisse auf vertraglicher Grundlage solchen Behörden zur Verfügung gestellt werden. Die hohe Aussagekraft der **MARION**-Berechnungen müßte den in Frage kommenden Behörden weiter und verstärkt nahegebracht werden, um hier mehr Interesse zu wecken.

Unter anderem wird auch der gesetzliche Datenschutz als Begründung für die Nicht-Weitergabe von Daten angeführt. Hier wäre in einer zukünftigen Bearbeitungsstufe zu klären, ob und wie bestimmte Daten anonymisiert werden können, ohne die Ergebnisse und Anwendungsbreite von **MARION** negativ zu beeinflussen.

Sicherlich wäre der Rückgriff auf die gesammelten Daten beim Statistischen Bundesamt am einfachsten und am wenigsten arbeitsaufwendig, jedoch bleiben die einzelnen Datenlieferanten "Eigentümer" der Daten und müssen einer solchen Weitergabe an den **MARION**-Anwender zustimmen. Andererseits würde bei Ergebnisbedarf für ein bestimmtes (See-)Gebiet der Datenbestand eines oder weniger örtlicher Datenhalter für die Anwendung mit **MARION** ausreichend. Es darf auch nicht vergessen werden, daß die Daten bei den Ersterhebern in der Regel aktueller sind als bei der Endsammelstelle Statistisches Bundesamt.

Die Schiffsbewegungsdaten für die in dieser Arbeit durchgeführte Beispielrechnung wurden von dem Bremischen Hafenmanagement-System BREPOS (Bremen Port Operation System) geliefert, auf welches der Auftragnehmer des Forschungsvorhabens **MARION**, das Hansestadt Bremische Amt Bremerhaven, unmittelbaren Zugriff hat.

Aus den oben geschilderten Gründen ist **MARION** prinzipiell für jedes beliebige Seegebiet und auch für größere Seeräume anwendbar. Die Ausweitung auf die gesamte Ostsee und/oder Nordsee ist ohne weiteres durchführbar, und eine internationale Verwertung des Systems scheint nicht unmöglich. Als erster Schritt in diese Richtung müßte eine Übersetzung der Unterlagen und der Bildschirmmasken in das Englische erfolgen, danach Akquisition im Ausland, bei Bedarf auch mit Demonstrationsbeispielen aus den Gegenden, in denen mit **MARION** geworben wird. Solche Aufgaben ließen sich selbstverständlich einfacher erledigen, wenn **MARION** in Deutschland auf einer geregelten Basis betrieben würde.

10. Literaturverzeichnis

- 1 anonym; Öko-logisch; Deutsche Seeschiffahrt 9/95, S. 1-2
- 2 FSSH; Demonstrationsvorhaben Schiffsentsorgung in den Häfen der Bundesrepublik Deutschland. Forschungsauftrag des Umweltbundesamtes 102 06 220, Januar 1992
- 3 F. Wragge; Bordseitige Probleme der Entsorgung von Schiffen; HANSA 126 Jahrgang Nr.21, 1989 S. 1443-1451
- 4 FSSH; „Demonstrationsvorhaben Schiffsentsorgung“; vorläufiger Schlußbericht zur wissenschaftlichen Begleitung durch das UBA; 21.08.1991
- 5 MEPC, 35 Sitzung im Dezember 1993; Provision of Reception Facilitys - Manual on the Disposal of Ship's Waste -, S.2
- 6 IMO; Guidelines on the Provision of Adequate Reception Facilities in Ports, Part 1 Oily Wastes“; London 1976
- 7 FSSH; Schlußbericht - Vorbereitungsstudie für die Einrichtung und den Betrieb einer umweltrelevanten Seeverkehrsdatenbank; Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes F+E-Vorhaben 102 03 608; Nov. 1994; S. 11
- 8 H. Menzel; Bericht über die 34. und 35. IMO Sitzung; HANSA 131 Jahrgang Nr. 6, 1994 S. 12-15
- 9 Runge, E; Restölgehaltsbestimmung - ein lösbares Problem?; Schiff und Hafen Heft 4/90; S. 36-39
- 10 Begeler, W. Gerling, S., Hannemann, H., Hildebrandt, J. u.a.; Vergleich von Anlagen zur Aufbereitung von Bilgenwasser hinsichtlich ihrer Eignung für den Seeschiffsbetrieb; Universität Rostock, Juli 1995
- 11 E. Haupt; Umweltschutz in der Bundeswehr am Beispiel der Entwicklung und Erprobung von Bilgenwasser-Entölungsanlagen für Schiffe und Boote der Marine; Schiff und Hafen 2/1988 S. 44-47
- 12 anonym: Entöler mit Emulsionsspaltung vom GL zugelassen. Schiff und Hafen Heft 11/1988; S. 45
- 13 MARPOL 73/78, Anlage II
- 14 FSSH; Meeresverschmutzung durch den Transport wassergefährdender Stoffe auf See - Anlagenband V; Forschungsauftrag des Umweltbundesamtes F+E Vorhaben 102 03 212; Februar, 1987
- 15 Richtlinien über Schiffsmüll; BMV Bonn 29.11.88
- 16 Hartung, O; Schwachstellenanalyse Schiffsmüllentsorgung; Forschungsauftrag des Umweltbundesamtes F+E Vorhaben 102 04 415; Dezember 1992
- 17 IMO; Guidelines for the implementation of Annex V of MARPOL 73/78; Hrsg.: IMO London; Deutsche Übersetzung des Bundesverkehrsministeriums; Beilage zu NfS-Heften 32/1991 und 33/1991
- 18 Brenk, V.; Sachstandsbericht Schiffsmüll; Umweltbundesamt Berlin 29.05.1990
- 19 BMV; Verkehrsblatt 11/1991 Richtlinien für die Durchführung des MARPOL-Übereinkommens von 1973/78, Anlage V - Regeln zur Verhütung der Verschmutzung durch Schiffsmüll; Bonn Juni 1991
- 20 MARPOL 73/78, Anlage IV

- 21 Helkom; Recommendation 11/10 - Guidelines for Capacity Calculation of Sewage Systems on Board Passenger Ships; Helsinki 1990
- 22 Gollasch, S.; Blinde Passagiere in Ballasttanks; Schiff und Hafen 12/1995, S. 50
- 23 Gollasch, S.; Bericht über ICES-Meeting in Aberdeen 24-26.4.93 - ICES Working Group on Introduction and Transfers of Marine Organisms (WGITMO)
- 24 IMO; Guidelines for Preventing the Introduction of Unwanted Aquatic Organisms and Pathogens from Ship's Ballast Waters and Sediment Discharge; Res. A. 774 (18); London 1993
- 25 IMO; Emission and Deposition of NOx and SOx; BCH 23/Information 18; London 1993
- 26 Hadler, C., Goetze, J.; Ermittlung der NOx und SO2 Belastung durch den fließenden Schiffsverkehr an der Ostseeküste der Bundesrepublik Deutschland; Germanischer Lloyd 1989
- 27 FSSH; Entwurf - Erstellung einer Schadstoffbilanz von NOx und SO₂-Emissionen des fließenden Schiffsverkehrs im Bereich der deutschen Nordseeküstengewässer und auf den angrenzenden Seeschiffahrtsstraßen; Stand 22.08.94; S. 1
- 28 Hirsch, S.; Reduzierung der Luftschadstoff-Emissionen von Schiffen; Diplomarbeit an der Fachhochschule Hamburg - Fachbereich Seefahrt; Sept. 1995; S. 104-123
- 29 Hadler, C.; Investigation of Exhaust Gas Emission from Heavy Fuel Operated Diesel Engines on Board Ships; Hansa 12/1990
- 30 anonym; Verbundvorhaben - Emissionsarme Schiffsantriebsanlage - sucht zukunftssträngige Lösungen; Schiff und Hafen 3/96 S. 49-52
- 31 anonym; Weiterhin Entwicklungsbedarf in der Schiffsantriebstechnik; Hansa 133. Jahrgang, 2/1996, S. 45-46
- 32 anonym; Neue Kooperationen, Weiterentwicklungen und neue Motoren; Hansa 133. Jahrgang, 9/1996 S. 176-180
- 33 Friedel, D.; Sind niedrige Schmierölverbräuche noch wirtschaftlich?; Schiff und Hafen 10/1996, S. 173-176
- 34 Lloyd's Register; Marine Exhaust Emissions Research Programme 1995
- 35 Agena, H., Hadler, C., Mou, R.; Verfahren zur Erstellung eines Emissionskatasters für den Schiffsverkehr im Hafen Hamburg; Staub Reinhaltung der Luft; Band 46/1986, Nr. 7/8, S. 343-348
- 36 Richter, J., Seligmann, I.; Brennstoffe für die Seeschifffahrt; Ausarbeitung im Fachbereich Schiffsbetriebstechnik an der Hochschule Bremerhaven; März 1995
- 37 Menzel, H.; Bericht über die 34. und 35. IMO Sitzung; HANSA 131 Jahrgang Nr. 6, 1994, S. 12-15
- 38 Menzel, H.; IMO-Ausschuß für den Schutz der Meeresumwelt (MEPC); Hansa 133 Jahrgang Nr. 10/1996, S. 14-19
- 39 Menzel, H.; IMO-Ausschuß für den Schutz der Meeresumwelt (MEPC); HANSA 132 Jahrgang Nr. 2, 1995, S.18-21
- 40 FSSH; Auswertung der Entsorgungsscheine zum Demonstrationsvorhaben zur Entsorgung der Seeschiffe entsprechend dem Internationalen Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung (MARPOL 73/78, Anl. I+II) in den Häfen der Bundesrepublik Deutschland; Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes F+E-Vorhaben 102 06 220; Berlin Januar 1992, S. 24

- 41 Dethlefsen, V.; Vorwort zum SDN Kolloquium „Antifouling im Meer - Gefahren durch Schiffsanstriche“ der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e.V. Emden am 21. Januar 1991
- 42 Golchert, H.J., Zwingende Notwendigkeit oder entbehrlich ?; Schiff und Hafen 128 Jahrgang Nr. 17/1991 S. 890-895
- 43 anonym; Langzeitwirkung; Hansa 132 Jahrgang 2/1995, S. 42
- 44 Golchert, H. J.; Ökonomische Notwendigkeit für den Einsatz von Antifoulingbeschichtungen auf seegehenden Schiffen. - SDN-Kolloquium 1993 Antifouling im Meer - Gefahren durch Schiffsanstriche?; Emden, Januar 1991
- 45 Bretram, V.; Innovatives Antifouling-System; Hansa 133 Jahrgang, 2/1996, S. 43-44
- 46 ARSU; Ökosystemforschung Niedersächsisches Wattenmeer - Vorphase - Nutzungen und Belastungen; Oldenburg März 1991, S. 47
- 47 anonym; Wassergefährdung durch organo-zinnhaltige Antifouling-Anstriche; Umwelt Nr. 12 Jahrgang 1991, S. 560-561
- 48 Schablowski; Sprechzettel - Umwelttagung des DSV vom 22.-24.04.94; Berlin März 1994
- 49 Isensee, J., Watermann, B., Berger, H.; Emissions of Antifouling-Biocides into the North Sea - an Estimation; Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Volume 46, Nr. 4, Hamburg-Rostock 1994
- 50 Schwenk, W.; Arten der Korrosion von unlegierten Stählen im Meerwasser Vorträge des Sprechertages „Korrosion in Meerwasser; Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1986; Hamburg 1986, S.103-104
- 51 Golchert H. J.; Ozon in der Atmosphäre - Inwieweit ist die Schifffahrt an Bildung und Abbau mitbeteiligt ?; HANSA 127 Jahrgang Nr. 9/10.1990, S. 436-444
- 52 Kruse, H., Rinne, F.; Kältemaschinen und Ersatzkältemittel in der Schiffskältetechnik nach dem FCKW-Verbot - Mögliche Perspektiven und Entwicklungstendenzen in der Kältetechnik; Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft; Hamburg 1993, S. 391-400
- 53 Kaps, D.; Bericht über die 39. Tagung - IMO Unterausschuß „Feuerschutz“; HANSA 132 Jahrgang Nr. 4/1995, S. 42-44
- 54 Semm, H.; Schiffskühlanlagen Entwicklung und heutiger Stand; Klima-Kälte-Heizung Jahrgang 11/1986 S. 453-458
- 55 Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik; Shipping Statistics Yearbook 1995; S. 113
- 56 Deutsche Hydrographische Zeitschrift; Aktuelle Probleme der Meeresumwelt; 4./5. Mai 1993 Hamburg; S. 103
- 57 Arndt, E. H.; Rostlauben auf See; Gefährliche Ladung; 12/1996 S. 18-20
- 58 Deutsche Hydrographische Zeitung: „Aktuelle Probleme der Meeresumwelt“, 4./5. Mai 1993 Hamburg; Seite 103
- 59 Lloyd's Register of Shipping; Marine Exhaust Emissions Research Programme; Croydon, UK 1995
- 60 MEPC 29/18; Exhaust emissions from ships, a global view; London 1989
- 61 Scott Environmental Technologie INC.; Inventory of Emissions from Marine Operations within the California Coastal Waters, June 1981
- 62 Emission from ships - a global view; MARINTEK, Norway Oslo 1989

- 63 Melhus Oyvin; Exhaust emissions from boats; MARINTEK Oslo 3/1988
- 64 Agena, H., Hadler, C., Mou, R.; Verfahren zur Erstellung eines Emissionskatasters für den Schiffsverkehr im Hamburger Hafen; Staub Reinhaltung der Luft Nr. 7/8 1986
- 65 Bouscaren, R.; Tentative Evaluation of SO₂ Emissions by Marine Transportation in the Channel and Southern North Sea; EMEP Workshop on emissions from Ships, Oslo June 1990
- 66 Wulffraat, K., Van Den Ouden, O.; North Sea Pollution Caused By The Emission Of Combustion Gasses - Especially Benz-A-Pyreen - As A Consequence Of The Use Of Fuel Oil On Ships, Netherlands, The Hauge 1990
- 67 Alexandersson, A.; Presentation of the swedish investigation - Exhaust emissions from ships; Sweden Gothenburg 1990
- 68 Isensee, J.; Persönliche schriftliche Mitteilung über die Antifoulingproblematik im Seeschiffsverkehr; Hamburg August 1995)
- 69 Brenk, V.; Seeverkehrsbedingter Zinkeintrag in die Nordsee; Schriftliche Nachricht, Berlin 14.10.1993
- 70 Parcom - Diffchem; Sacrificial Anodes - Some preliminary, Presented by the Netherlands; Paris convention for the prevention of marine pollution. Fourth meeting of the group on diffuse sources, Solna October 1993
- 71 Blome, D.; „Biologisch-ökologische Konsequenzen von Schiffsunfällen auf See im Zusammenhang mit dem Transport wassergefährdender Substanzen – Eine Literaturdokumentation,, Anlagenband I, Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Wasser, Forschungsbericht 102 03 428, Juli 1988
- 72 The Institute of London Underwriters (Hrsg.): „Casualty Returns, Jahrgänge 1986 – 1995“
- 73 Hazardous Cargo Bulletin; monatliche Veröffentlichungen der Jahrgänge 1986 - 1995
- 74 Gefährliche Ladung; monatliche Veröffentlichungen der Jahrgänge 1986 - 1995