

Schriftenreihe der  
Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e.V.

---

Beate Lange

**Ökologische Auswirkungen  
des Schwerölgebrauchs  
als Schiffsbrennstoff**



Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft

Deutsche Nordseeküste e. V.

**Herausgeber:**

Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e. V.  
Zum Jadebusen 179  
26316 Varel

**Gesamtherstellung:**

KOMREGIS-Verlag, Oldenburg

Schriftenreihe der  
Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e. V.  
2009  
ISSN 0943-9552

**Vorwort des Herausgebers**

Der Schiffsverkehr ist das Transportband der Globalisierung. Die Wirtschaft Deutschlands und insbesondere die Wirtschaft der Küstenregionen hängen von einem gut funktionierenden und sicheren Schiffsverkehr ab. Gegenüber anderen Transportmitteln ist der Schiffsverkehr außerordentlich energieeffizient mit relativ geringen Emissionsraten des klimawirksamen Gases Kohlendioxid. Gleichwohl führt der Schiffsverkehr zu erheblichen aber zum großen Teil vermeidbaren Belastungen der Umwelt. Während es noch vor vielen Jahren undenkbar erschien auf umweltbelastende Unterwasseranstriche zu verzichten, sind heute umweltschonende Anstriche Standard. Nord- und Ostsee sind heute Sondergebiete, in die Ladungsreste, Abfälle, Abwasser, Bilgen, Restöle und anderes mehr von Schiffen nicht mehr entsorgt werden dürfen. Eine geordnete Entsorgung ist heute Standard in den Häfen, auch wenn es vereinzelt zu heimlichen Entsorgungen kommt. Abfälle und Öl an den Stränden legen Zeugnis des illegalen Handelns ab. Dennoch ist die Verbesserung gravierend.

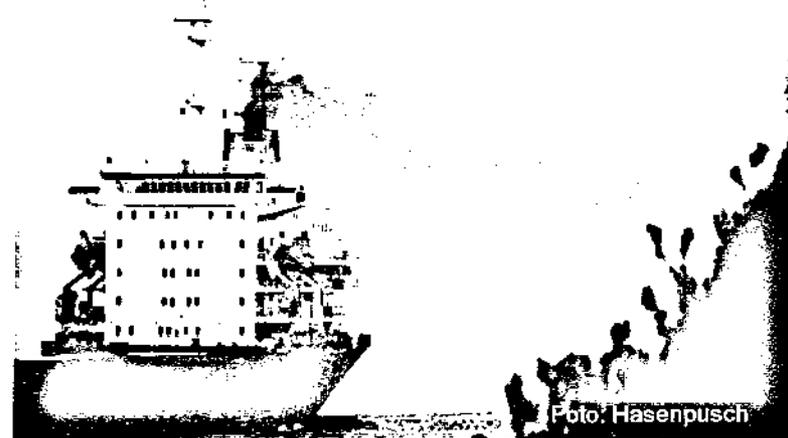
Den Abgasen aus dem Schiffsbetrieb mit Schweröl – Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Stickoxid und Feinstäuben – wurde im Hinblick auf die Umweltbelastung lange keine Aufmerksamkeit geschenkt, obwohl die verwendeten Schweröle Schadstoffsenken der Petroindustrie sind und Schiffe Großkraftwerken ohne Begrenzung der Schademissionen gleichen. Vor wenigen Jahren begannen zunächst einige Hafenstädte - insbesondere jene mit touristischem Hintergrund - die erhebliche und gesundheitsschädliche Luftbelastung aus dem Schiffsverkehr zu beklagen. Von ihnen kam die berechtigte Forderung nach Landstromanschlüssen während der Liegezeiten. Dieser Forderung stand die SDN von vorne herein kritisch gegenüber. Schiffe pflegen nur sehr kurze Zeiten in Häfen zu liegen; überwie-

gend sind sie in Fahrt. Landstromanschlüsse erscheinen aus Sicht der SDN nur für den Fähr- und Linienverkehr eine sinnvolle Lösung zu sein. Daher war es nötig die Belastung der Umwelt über den Meeren zu betrachten. Trotz des scheinbar unerschöpflichen Verdünnungspotentials der Atmosphäre zeichnen sich nicht hinnehmbare hohe Belastungsstrukturen im Bereich wichtiger Schifffahrtsrouten ab, deren Auswirkungen auch auf die Küstenregionen gravierend sind. Stromlandanschlüsse lösen das Luftbelastungsproblem einer Hafenstadt ohne das Grundproblem der globalen atmosphärischen Belastung durch Schiffsverkehre zu beseitigen. Daher ist eine Problemlösung entweder im Bereich der Motoren- und Abgasreinigungstechnik der Schiffe oder bei den Treibstoffen zu suchen. Aus Sicht der SDN sind technische Lösungen auf dem Schiff zwar denkbar, sie sind aber aufwändig, anfällig und lösen nicht die Entsorgung anfallender Abfälle und Abwässer. Daher hat die SDN in der vorliegenden Broschüre Auswirkungen der Verwendung von Schwerölen sowie Lösungsmöglichkeiten untersuchen lassen. Die SDN ist sich darüber im Klaren, dass sich mit dem auch von der IMO vorgesehenen Substitut des Schweröls durch „Marine Diesel Öl“ der Schiffs-transport verteuern wird. Zudem wird die Petroindustrie erheblichen technischen Aufwand bis hin zur Stilllegung und zum Neubau von Raffinerien leisten müssen. Dieser Aufwand muss im Verhältnis zum Gewinn für die Umwelt stehen. Gemäß ihrer Satzung ist es Aufgabe der SDN, sich für den Schutz der Nordsee und des Wattenmeeres unter Berücksichtigung der Nordseeküste als Lebens- und Wirtschaftsraumes einzusetzen. Diese Verpflichtung ist ein klares Bekenntnis für einen Schiffsverkehr, der auf vermeidbare Umweltbelastungen und damit auf den Einsatz von Schwerölen verzichtet.

Rudolf-Eugen Kelch, Vorsitzter SDN

## Ökologische Auswirkungen des Schweröl- gebrauchs als Schiffsbrennstoff

Hintergrundpapier der  
Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e.V.



Bearbeitung: Beate Lange

Stand: 18.8.2008

## Zusammenfassung

Die mit der Verwendung von Schwerölen als Schiffsbrennstoff einhergehende Umweltverschmutzung durch die Belastung der Luft vor allem mit Schwefel- und Stickstoffoxiden, mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs), Stickstoffmonoxiden und Ruß führt zu einer erheblichen Gesundheitsbelastung in den Küstenregionen und Hafenstädten sowie zu ökologischen Beeinträchtigungen insbesondere durch Versauerung und Eutrophierung der Land- und Meeresökosysteme.

Die Umweltbeeinträchtigung durch Schiffsemissionen ist vor allem auf den Gebrauch von Schweröl als Brennstoff zurück zu führen. Schweröl ist ein Rückstand aus dem Raffinerieprozess, der beim Destillieren von leichteren Treibstoffen zurück bleibt. Es enthält Aschen, Ruß, Schwermetalle und Asphaltene in hohen Konzentrationen und erfordert an Bord großen technischen Aufwand bei der Lagerung und Aufbereitung. Die bei der bordseitigen Brennstoffaufbereitung anfallenden öligen Schlämme verursachen außerdem Kosten für die Entsorgung an Land und werden nicht selten illegal ins Meer geleitet. Diese illegale Verklappung des Ölschlammes stellt neben den Umwelteinflüssen durch die Luftschadstoffe eines der schwerwiegendsten Umweltprobleme dar, die mit dem Gebrauch von Schweröl als Schiffsbrennstoff einhergehen.

Mit der jetzigen Entschließung des Marine Environment Protection Committee (MEPC) der Internationalen Maritimen Organisation (IMO), die Schwefelgehalte in Schwefel-Emissionskontrollgebieten (SECAs), von derzeit max. 1,5 % in zwei Schritten, auf 1,0 % ab März 2010 und auf 0,1% ab Januar 2015 abzusenken, sowie die Entscheidung ab 2020 weltweit nur noch einen maximalen Schwefelgehalt von 0,5 % zuzulassen, wird es erhebliche Verbesserungen der Luftqualität in den stark frequentierten Seegebieten geben, sollten diese Entschließung auf der 58. MEPC-Sitzung im Oktober 2008 so beschlossen werden.

Trotzdem muss davon ausgegangen werden, dass es weiterhin Schweröl als Schiffsbrennstoff geben wird, weil die IMO den Gebrauch von Abgasreinigungssystemen, wie z.B. Scrubber, zur Erreichung der Schwefelabgaswerte erlaubt. Der Einsatz von Scrubbern

führt an Bord zur Erhöhung der Menge an öligen Schlämmen um ca. 15%, zusätzlich zu den Mengen, die beim Gebrauch von Schwerölen ohnehin anfallen. Nach GESAMP werden jährlich ca. 190.000 t Ölschlämme aus dem Schiffsbetrieb illegal in die Meere verklappt. Dazu kommen noch legale Einleitungen von ca. 440.000 t Öl. Zu diesen Einleitungen könnten noch weitere Tonnen durch ölige Scrubberabwässer kommen.

Die Verlagerung der Probleme mit den Schiffsemissionen aus der Luft in das Meer durch Einleitung der Scrubberabwässer in die Meeresumwelt stellt kein nachhaltiges Konzept zum Umweltschutz dar.

Die ebenfalls in Vorbereitung befindlichen strengeren Stickstoffgrenzwerte können außerhalb von auszuweisenden Emissionskontrollgebieten (ECAs) allein durch innermotorische Lösungen erreicht werden, während die Stickstoffgrenzwerte innerhalb von noch auszuweisenden ECAs die Verwendung von Abgaskatalysatoren (SCR-Anlagen) erfordert.

Bislang sind SCR-Anlagen und Scrubber technisch nicht miteinander kombinierbar, so dass in ausgewiesenen ECAs Destillatbrennstoffe zu Erfüllung der Schwefelgrenzwerte und SCR-Anlagen zur Erfüllung der Stickstoffgrenzwerte verwendet werden müssten.

Zur Reduzierung der brennstoffbedingten ökologischen Beeinträchtigungen der Nordsee und ihrer Küstenregionen durch den Seeverkehr fordert die Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e.V.:

- **Ökologische Folgen des Scrubbereinsatzes untersuchen**
- **Möglichkeiten des Landstromereinsatzes prüfen**
- **Ausweisung der Nord- und Ostsee als ECAs**

## Vorwort

Die Regionen der deutschen Nordseeküste sind neben wenigen großen maritimen Ballungszentren wirtschaftlich stark auf Tourismus ausgerichtet. Grundlage einer starken Tourismuswirtschaft ist eine intakte Natur, die den ungestörten Genuss der Küstenregionen ermöglicht. Ebenso ist die Fischerei auf eine saubere Meeresumwelt angewiesen. Die Luftverschmutzung entlang der küstennahen Schifffahrtsrouten, die Verunreinigungen durch illegale Ölverklappungen von Schiffen sowie die schleichende Meeresverschmutzung durch legale Einleitungen stellen eine akute Bedrohung der Küstenregionen dar.

Die mit der Verwendung von Schwerölen als Schiffsbrennstoff einhergehende Umweltverschmutzung hat dazu geführt, dass auf IMO-, auf EU- und nationaler Ebene Maßnahmen diskutiert und teilweise bereits ergriffen wurden, um die Menge der Luftschadstoffemissionen zu reduzieren.

Neben der Diskussion um innermotorische Maßnahmen zur Verbesserung der Brennprozesse im Sinne einer Minderung der Luftschadstoffe im Abgas sowie die Anwendung von Abgasbehandlungssystemen, hat die Diskussion um Brennstoffqualitäten inzwischen einen zentralen Platz in der Diskussion eingenommen.

Derzeit gibt es zwei Gruppen von Schiffsbrennstoffen:

1. Destillatbrennstoffe, die aus den schwereren gasförmigen Fraktionen beim Destillieren von Rohöl entstehen und
2. Rückstandsöle, die auch Schweröle genannt werden, sind die Fraktionen, die beim ersten Destillieren von Rohöl als schwere Bestandteile zurück bleiben.

Technisch ist es mit moderner Raffinerietechnik, wie sie beispielsweise in Deutschland, Holland und den USA verwendet wird, möglich, eine fast rückstandsfreie weitere Verwertung der Rohöle durchzuführen, so dass keine Rückstandsöle entstehen. Dieser Prozess ist jedoch aufwändig und zum Teil sehr energieintensiv.

Die Verwendung von Schwerölen als Schiffsbrennstoff an Bord ist einerseits mit einem erheblichen Aufwand für die Lagerung, Aufbereitung und Prozessierung sowie für das Sammeln und Entsorgen der Brennstoffrückstände (Ölschlamm) verbunden. Auf der anderen Seite sind die Schweröle derzeit nur halb so teuer wie höherwertige Destillatbrennstoffe und werden aus wirtschaftlichen Gründen vorgezogen.

Die mit dem Revisionsprozess des MARPOL Annex VI eröffneten Chancen für eine nachhaltige Lösung der brennstoffbedingten ökologischen Probleme, sind unter Ausschöpfung der rechtlichen Rahmenbedingungen zu nutzen. Dazu bedarf es jedoch der Berücksichtigung aller ökologischen Wirkungszusammenhänge und technischen Möglichkeiten der Schifffahrt, um Nachhaltigkeit im Umgang mit unseren natürlichen Ressourcen zu erreichen.

Mit dem Hintergrundpapier werden die ökologischen Auswirkungen des Schwerölgebrauchs als Schiffsbrennstoff im Hinblick auf ihre Herkunft, die schiffstechnischen Anforderungen sowie die Auswirkungen auf die Umwelt und Gesundheit der Küstenbewohner und deren Gäste unter Berücksichtigung möglicher Minderungsmaßnahmen untersucht.

**Inhaltsverzeichnis**

**1 HERSTELLUNG UND CHARAKTERISTIK VON SCHWERÖL 10**

1.1 Raffinerieprozesse und deren Produkte .....10

1.1.1 Destillation .....11

1.1.2 Konversion .....13

1.1.3 Nachbehandlung .....15

1.2 Brennstoffe und ihre Eigenschaften .....18

1.2.1 Rückstandsöle .....20

1.2.2 Destillate .....21

1.3 Kapazitäten der deutschen Raffinerien .....22

1.4 Entwicklung der Brennstoffpreise .....24

**2 SCHWERÖL ALS SCHIFFSBRENNSTOFF ..... 26**

2.1 Brennstoffbehandlung an Bord .....27

2.1.1 Brennstofftanks .....27

2.1.2 Aufbereitung der Brennstoffe an Bord .....28

2.1.3 Schmierstoffe .....30

2.2 Brennstoffbedingte Emissionen .....30

2.2.1 Schadstoffemissionen .....31

2.2.2 CO<sub>2</sub>- Emissionen .....33

2.3 Emissionsminderungen .....34

2.3.1 Brennstoffumstellung .....34

2.3.2 Geschwindigkeitsreduktion .....35

2.3.3 Technische Minderungsmöglichkeiten .....36

**3 AUSWIRKUNGEN VON EMISSIONEN ..... 37**

3.1 Versauerung .....37

3.2 Eutrophierung .....38

3.3 Ölverschmutzung .....40

3.3.1 illegale Öleinleitungen – ein Brennstoffproblem .....41

3.4 Belastung für das Klima .....44

3.4.1 Direkte Effekte .....45

3.4.2 indirekte Aerosoleffekte .....47

3.4.3 Belastung für die Gesundheit .....48

**4 RECHTLICHER RAHMEN ..... 51**

4.1 Internationale Maritime Organisation .....51

4.1.1 Revision des MARPOL Annex VI .....52

4.2 Europäische Ebene .....54

4.2.1 RL 2005 / 33 / EG – Schwefelrichtlinie .....55

4.3 Regelungsrahmen - nationale Ebene .....56

4.3.1 Küstenmeer und AWZ .....56

4.3.2 Innere Gewässer .....58

4.3.3 Rechtliche Bewertung ökonomischer Instrumente .....58

4.4 Regelungsrahmen – europäische Ebene .....59

**5 FAZIT ..... 60**

5.1 Ökologische Folgen des Scrubbereinsatzes untersuchen .....60

5.2 Möglichkeiten des Landstromereinsatzes prüfen .....61

5.3 Ausweisung der Nord- und Ostsee als ECA .....61

**6 LITERATUR ..... 62**

**7 ANHANG I: BRENNSTOFFSPEZIFIKATIONEN ISO 8217 ... 65**

**8 ANHANG II: RAFFINERIEEN IN DEUTSCHLAND ..... 67**

**9 ANHANG III INNERMOTORISCHE LÖSUNGEN ZUR NOX-REDUKTION ..... 70**

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1-1: Produktausbeute ausgewählter Rohölsorten, Quelle: MWV, 2003 .....12

Abbildung 1-2: Typische Destillationskurve von Schweröl, Quelle: Shell, v.d. Berg; o.J. ....13

Abbildung 1-3: Übersicht der möglichen Konversionsprozesse, Quelle: MWV, 2003 .....15

Abbildung 1-4: Vereinfachte Prozessabläufe einer Raffinerie, Quelle: Concawe, 1999 .....17

Abbildung 1-5: Schlamm aus instabilem Öl; Quelle: Shell, v.d. Berg, o.J. ....21

Abbildung 1-6: Entwicklung der Brennstoffpreise (Rotterdam) im Vergleich zur Rohölmarke Brent vom März 2007 bis Mai 2008, Quelle: Brent – EIA, Bunkerpreise www.bunkerworld.com, eigene Darstellung .....25

Abbildung 2-1: J. Isensee, 2008; eigene Berechnung unveröffentlicht .....33

Abbildung 3-1: EMEP-Karte der modellierten Stickstoffeinträge in das OSPAR-Gebiet im Jahr 2004 (in mg N m<sup>-2</sup>) .....39

Abbildung 3-2: Durchschnittlicher jährlicher Öleintrag durch Seeverkehr und andere Aktivitäten weltweit, Quelle: GESAMP, 2007.....	41
Abbildung 3-3: Illegale Ölverklappungen in der Nordsee in der Zeit von 1998 bis 2004, Quelle: EU Kommission Joint Research Centre, SERAC Unit, MIDIV, 2005.....	43
Abbildung 3-4: Quantifizierung des Beitrages von Schiffsemissionen zur Gesamtbelastung der Atmosphäre, Quelle: Lauer et. al., 2007.....	45
Abbildung 3-5: Quantifizierung des Einflusses von Atmosphärischen Komponenten auf die gesamte Strahlungsbilanz, Quelle: Bäumer, 2008 aus IPCC, 2007.....	48
Abbildung 4-1: Bestehende und mögliche weitere SECA-Gebiete, Quelle: ECN, 2007.....	54
Abbildung 4-2: Übersicht über internationale und europäische Regulierung der Schiffsemissionen, Quelle: SEAAAT.....	55

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Produktionsbedingte CO2-Emissionsraten für verschiedene Brennstoffsorten, Quelle: CONCAWE, 1999.....	18
Tabelle 1-2: Einsatz von HFO bzw. MDO entsprechend der Maschinendrehzahl, Quelle: Shell, 2005.....	19
Tabelle 1-3: Spektrum der Brennstoffspezifikation für Rückstandöle; Quelle: ISO 8217.....	20
Tabelle 1-4: Spezifikation von Destillatbrennstoffen entsprechend ISO 8217.....	22
Tabelle 1-5: Raffineriekapazitäten und Inlandsabsatz ausgewählter europäischer Staaten (2006), Quelle: MWV, 2007.....	23
Tabelle 1-6: Amtliche Mineralöldaten für die Bundesrepublik Deutschland, MWV, 2008.....	24
Tabelle 2-1: Abschätzung von globalen Schadstoffemissionen durch Verwendung von Schweröl nach Röd, EMEP, IEA, Eyring/Köhler und IMO.....	31
Tabelle 2-2: Vergleich Emissionswerte Schiffsmotoren und LKW-Motoren, Autor: J. Isensee.....	32
Tabelle 2-3: Mögliche Emissionsminderungen durch Brennstoffumstellung, Quelle: BLG 12/6/1.....	34

Tabelle 2-4: Minderung der Abgase durch Geschwindigkeitsreduktion am Beispiel von 2 Massengutflotten, Isensee, J.; Bertram, V. 2004.....	35
Tabelle 2-5: Reduktionspotential für Stickoxid durch verschiedene Techniken und deren Kosten für Neu- bzw. Umbauten, Quelle: BLG 10/14, FOEI 2006.....	37
Tabelle 3-1: Schifffahrtsbedingte jährliche Öleinleitungen weltweit, nach GESAMP, 2007.....	41
Tabelle 3-2: Gesundheitseffekte durch Feinstäube kleiner als 2,5 µm; Quelle: Acid Rain.....	50
Tabelle 9-1: Technische Modifikationen zu Reduktion von Stickoxidemissionen für 4-Takt-Motoren, die vor 2000 gebaut wurden, Quelle: EMSA/ GL, 2007.....	70
Tabelle 9-2: Technische Modifikationen zu Reduktion von Stickoxidemissionen für 2-Takt-Motoren, die vor 2000 gebaut wurden, Quelle: EMSA/ GL, 2007.....	71

Folgende Abbildungen finden Sie farbig im Anhang ab Seite 72:

Abbildung 1-1
Abbildung 1-5
Abbildung 1-6
Abbildung 3-1
Abbildung 3-2
Abbildung 3-3
Abbildung 3-5
Abbildung 4-1

## 1 Herstellung und Charakteristik von Schweröl

Schweröl, das ebenfalls als Bunkeröl, Bunker C, Rückstandsöl (RO) oder auch als Heavy Fuel Oil (HFO) bezeichnet wird, sowie Mischprodukte aus Schweröl und Destillat (Intermediate fuel oil- IFO) bzw. Medium fuel oil (MFO)) besteht zum größten Teil aus den öligen Rückständen aus der Destillation von Rohöl in den Raffinerien. Diese Rückstände enthalten in Abhängigkeit vom verwendeten Rohöl unterschiedlich hohe Anteile an Aschen, Sedimenten, Schwermetalle und andere Stoffe.

Die von der internationalen Normungs-Organisation ISO herausgegebene Norm ISO 8217 definiert die Grenzwerte für die von der Schifffahrt verwendeten Rückstandsöle.

Als Schiffsbrennstoff verwendet, stehen sie in dem Ruf die Müllverbrennung der Raffinerien zu sein und werden für hohe Luftschadstoffwerte und immer wieder auftretende Ölverschmutzungen durch illegale Ölschlammverklappung an der Küste verantwortlich gemacht.

### 1.1 Raffinerieprozesse und deren Produkte

Nur wenige der in Deutschland beheimateten Raffinerien produzieren auch Schiffsbrennstoffe. Die verwendeten Rohöle sind Stoffgemische aus Kohlenwasserstoffen unterschiedlicher Struktur und unterschiedlicher Herkunft.

Die Prozessabläufe einer Raffinerie sind sehr komplex. Vereinfacht lassen sich die Raffinerieprozesse zur Herstellung von Schiffsbrennstoffen jedoch in 3 großen Schritten darstellen:

- Destillation des Rohöls
- Konversion der Destillationsrückstände und Zwischenprodukte
- Nachbehandlung

### 1.1.1 Destillation

Im ersten Schritt werden die Rohöle einer **atmosphärischen Destillation** zugeführt. Dazu werden sie auf ca. 350° C bis 370° C erhitzt. Die leichter austretenden Gase mit einem niedrigeren Siedepunkt verdampfen zuerst, werden gesammelt und kondensiert. Die schwereren Bestandteile verdampfen bei den höheren Temperaturen und werden entsprechend gesammelt. Die einzelnen Destillationsprodukte sind somit entsprechend ihrem Siedepunkt thermisch separiert. Die leichten Bestandteile sind Methan, Ethan, Propan, Butan, Naphtha, Kerosin und Gasöl (leicht, mittel, schwer). Die etwas schwereren Bestandteile sind die so genannten Mitteldestillate.

Übrig bleiben die schweren Bestandteile, die aufgrund ihres sehr hohen Siedepunktes bei diesen Temperaturen noch nicht verdampfen.

Diese Rückstände aus der atmosphärischen Destillation können mit einer Temperatur von ca. 340° C in die **Vakuumdestillation** gehen. Dort werden sie unter deutlich höheren Temperaturen von etwa 400° C und Unterdruck von etwas 50 hPa zu so genanntem Vakuumgasöl verarbeitet wird. Die Destillation bei Unterdruck ermöglicht die Herabsetzung des Siedepunktes. Das Vakuumgasöl wird in der Nachbehandlung entweder dem Mitteldestillat beigemischt, in Konversionsanlagen weiterverarbeitet oder zu Schmiermitteln verwendet.

Die Ausbeute der einzelnen Produkte aus der Destillation ist im Wesentlichen durch die Zusammensetzung des Rohöls vorbestimmt.

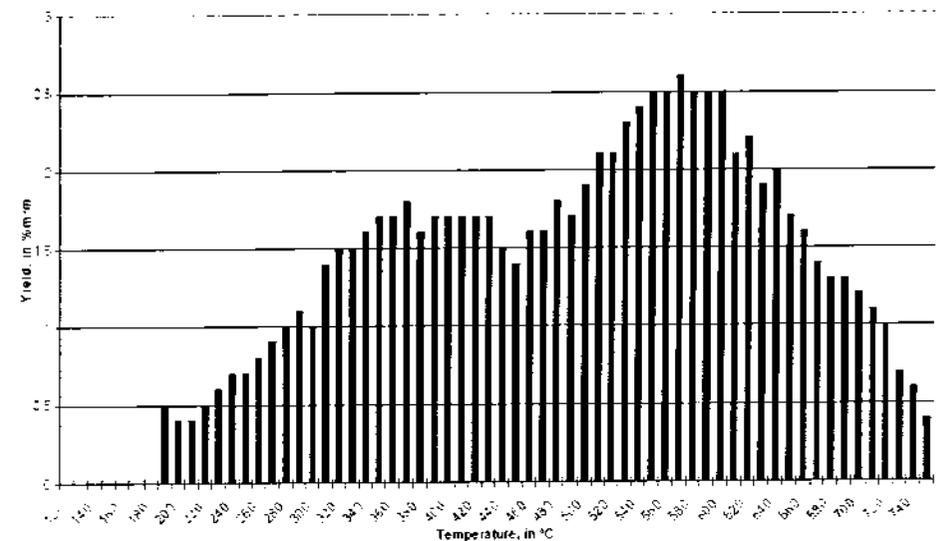
Abbildung 1-1: Produktausbeute ausgewählter Rohölsorten, Quelle: MWV, 2003

	Libyen Zueitima	Großbritannien Forties	Mittelost Agha Jan	Mittelost Arabian Heavy	Mittelost Safaruya
Gase	1 %	3 %	2 %	2 %	2 %
Benzin	22 %	19 %	20 %	15 %	13 %
Mitteldestillate (z. B. Heizöl EL)	39 %	37 %	30 %	26 %	25 %
Schwere Produkte (z. B. schweres Heizöl, Bitumen)	38 %	41 %	48 %	57 %	60 %
Dichte g/ml	0,817	0,840	0,855	0,887	0,890
Schwefel Gew. %	0,21	0,30	1,40	3,00	2,80
Preis	steigend				

Die Ausbeute an einzelnen Produkten zugunsten bestimmter Nachfragestrukturen kann bei der Destillation nur um wenige Prozente verschoben werden.

Eine weitere Nutzung der Rückstände aus der Destillation erfordert eine gesonderte Behandlung in Konversionsanlagen.

Abbildung 1-2: Typische Destillationskurve von Schweröl, Quelle: Shell, v.d. Berg; o.J.



### 1.1.2 Konversion

In den Konversionsanlagen werden die schweren, langen Kohlenwasserstoffketten durch das Cracken in kürzerkettige Verbindungen aufgespalten. Der Brennwert dieser Konversionsprodukte ist entsprechend höher.

#### 1.1.2.1 Thermisches Cracken

Beim thermischen Cracken werden die Destillationsrückstände unter hohen Temperaturen von 500° C und hohem Druck aufgespalten. Je länger die Verweilzeit im Cracker ist, desto umfangreicher findet die Aufspaltung statt. Die Produkte sind genau wie bei der Destillation wieder einem Produktspektrum zuzuordnen, die von leichten und mittleren bis zu schweren Destillationsprodukten reicht. Als ein Rückstand bleibt Petrolkoks an den Innenwänden der Anlage übrig, der in regelmäßigen Abständen eine Reinigung der Anlage erforderlich macht.

Eine Form des thermischen Crackens ist das so genannten **Visbreaker**. Hier wird das Rückstandsöl aus der Vakuumdestillation direkt bei 460 ° C und ca. 15 bar gespalten. Dieses Verfahren ermöglicht die Verbesserung der Viskosität von Rückstandsölen und produziert zusätzlich noch kleine Mengen an Leicht- und Mitteldestillaten.

Rückstände aus der Vakuumdestillation und dem thermischen Cracken können im Coker in sehr leichte Bestandteile wie Gase und Benzine sowie in Mitteldestillate und Petrolkoks weiterverarbeitet werden. Beim **Coken** wird unter hohem Druck und ca. 500 °C im Nachgang des thermischen Crackens die Verkokung in einer nachgeschalteten Kammer in Gang gesetzt. Petrolkoks wird entweder direkt als Brennstoff weiter verkauft oder in anderen Industriezweigen (z.B. Elektrodenherstellung, Reifenherstellung) weiter verarbeitet.

### 1.1.2.2 Katalytisches Cracken

Beim Katalytischen Cracken kommt ein Katalysator (z.B. Aluminiumsilikat) zu Einsatz, der eine deutlich höhere Ausbeute ermöglicht bzw. die Prozesszeit verkürzt. Dieses Verfahren wird durch Schwermetallrückstände in den Destillationsrückständen behindert und ist deshalb bislang technisch für die Aufbereitung von Destillationsrückständen ungeeignet. Durch das katalytische Cracken wird eine Produktpalette von leichten Gasen bis zu Schweröl erzeugt, die den Anteil von schwerem Heizöl reduziert und den Schwefelanteil herabgesetzt.

### 1.1.2.3 Hydrocracken

Das Hydrocracken ist ein katalytisches Spaltverfahren unter hohem Druck von 100 - 150 Bar. Es erfordert den Einsatz Nickel-Molybdän als Katalysator und von Wasserstoff. Als Produkte entstehen Benzin, Diesel und leichtes Heizöl. Je nach den Betriebsbedingungen kann die Ausbeute an bestimmten Produkten variiert werden.

Die Produktionsanlagen und deren Betrieb ist sehr aufwändig, weil der Prozess unter sehr hohem Druck ablaufen muss und zusätzlich große Mengen Wasserstoff erfordert.

Abbildung 1-3: Übersicht der möglichen Konversionsprozesse, Quelle: MWV, 2003

	Visbreaker	Thermischer Cracker	Coker	Katalytischer Cracker	Hydrocracker
Verfahrensmerkmale	mildes thermisches Cracken	mittleres thermisches Cracken	scharfes thermisches Cracken	scharfes katalytisches Cracken	scharfes katalytisches Cracken in Wasserstoffatmosphäre
Einsatzprodukt	Top-Rückstand <sup>2)</sup>	Vakuumrückstand <sup>4)</sup>	Vakuumrückstand <sup>4)</sup>	Vakuumdestillat <sup>3)</sup>	Vakuumdestillat <sup>3)</sup>
⊖ Ausbeute <sup>1)</sup>					zwischen
Gase	2 %	8 %	7 %	21 %	18 % und 7 %
Benzine	5 %	12 %	20 %	47 %	55 % und 28 %
Mitteldestillate	13 %	35 %	27 %	20 %	15 % und 56 %
HS-Komponenten	80 %	45 %	17 %	7 %	12 % und 11 %
Erk:	-	-	29 %	5 % <sup>5)</sup>	-
Nachbehandlung der Konversionsprodukte	ja	ja	ja	teilweise	nein
Flexibilität der Anlage	gering	gering	gering	mittel	hoch mit Katalysator
Besonderheiten	dient hauptsächlich zur Senkung der Viskosität schwerer Rückstandsöle		erzeugt Petrolkoks als festes Produkt	Cracken in Gegenwart eines Katalysators (z. B. Aluminiumsilikat); teilweise Entschwefelung	hohe Betriebskosten und ungünstige CO <sub>2</sub> -Bilanz durch hohen Wasserstoffverbrauch

<sup>1)</sup> Bezogen auf das Einsatzprodukt (Durchschnittswerte)  
<sup>2)</sup> End-Plus der Vakuumdestillation  
<sup>3)</sup> z.B. Energieerzeugung relevant  
<sup>4)</sup> Destillationsrückstand der bei der atmosphärischen Destillation von Rohöl anfällt  
<sup>5)</sup> Destillationsrückstand (Bodenprodukt) der Vakuumdestillation

### 1.1.3 Nachbehandlung

Die Produkte aus der Destillation und/ oder der Konversion müssen bezüglich ihres Gehaltes an Schwefel, Paraffinen oder Aromaten entsprechend den Produkthanforderungen noch nachbehandelt werden.

#### 1.1.3.1 Entschwefelung

Der Schwefelgehalt der Zwischenprodukte aus der Destillation bzw. der Konversion schwankt in Abhängigkeit vom Schwefelgehalt des verwendeten Rohöls.

In einem so genannten **Hydrofiner** erfolgt die Entschwefelung bei hohen Temperaturen von 300 – 400° C durch die Zugabe von Wasserstoff und mit Hilfe eines Katalysators. Die Schwefelkomponenten werden in Schwefelwasserstoff umgewandelt. Dieser wird dann aus

dem Gasstrom durch eine Aminwäsche entfernt. In der nachgeschalteten Clausanlage wird der Schwefelwasserstoff wieder in reinen Wasserstoff, der dem Prozess wieder zugeführt wird und in chemisch reines Schwefel umgewandelt. Dieser reine Schwefel wird als ein Nebenprodukt an andere Industriezweige verkauft.

### 1.1.3.2 Mischen

Die meisten Kraftstoffe, mit Ausnahme von Flüssiggas und Flugturbinenkraftstoffe, müssen aus verschiedenen Komponenten zusammengemischt werden, weil aus den unterschiedlichen Rohölen, die einzelnen Spezifikationen für die jeweiligen Kraftstoffe nicht ohne weiteres erreicht werden können. Durch das Mischen von einzelnen Zwischenprodukten und unter Umständen durch den Zusatz von Additiven werden die geforderten Eigenschaften der Produkte erzielt.

Im Folgenden sind die Raffinerieabläufe noch einmal schematisch dargestellt.

Die Produktionsabläufe werden im Fortschreiten der Raffinerieprozesse immer energieintensiver. Nach Angaben der Interessenvertretung der Mineralölwirtschaft, CONCAWE, stellen sich die produktionsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die verschiedenen Brennstoffe folgendermaßen dar:

Abbildung 1-4: Vereinfachte Prozessabläufe einer Raffinerie, Quelle: ConcaWE, 1999

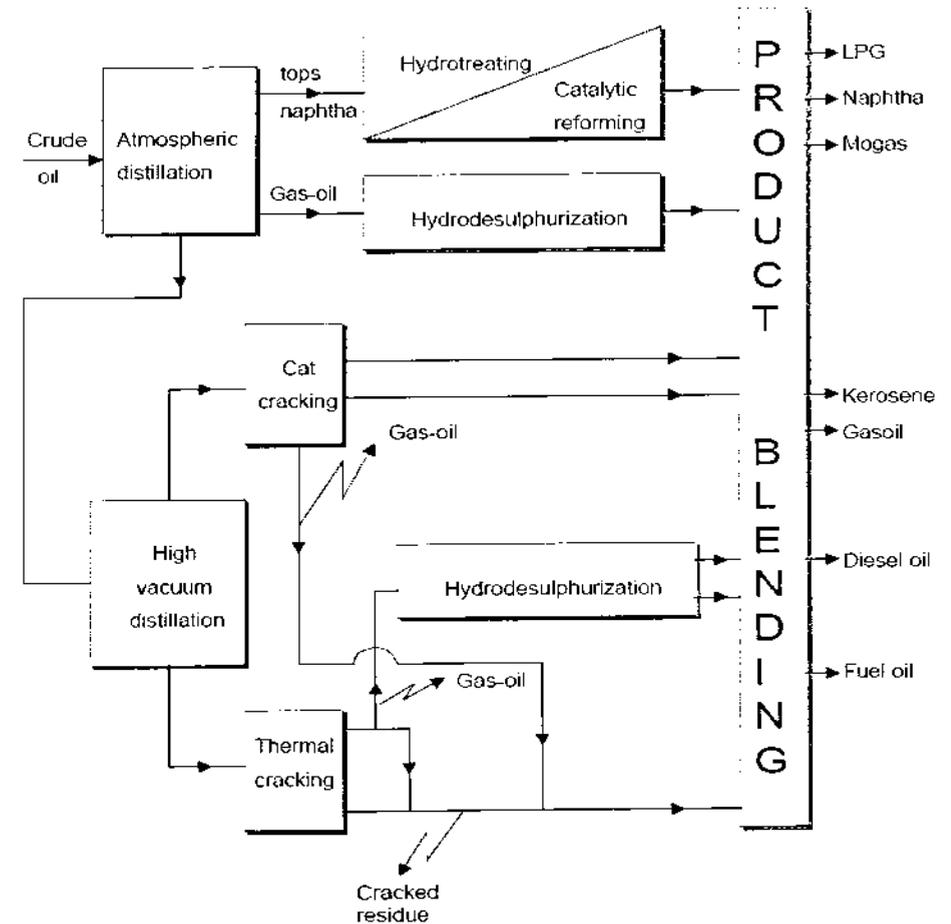


Tabelle 1-1: Produktionsbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionsraten für verschiedene Brennstoffsorten, Quelle: CONCAWE, 1999

Fuel Type	Typical Composition	kg CO <sub>2</sub> / kg fuel	kg CO <sub>2</sub> / GJ
• Fuel gas	30% H <sub>2</sub> / 35% C <sub>1</sub> / 35% C <sub>2</sub>	1.99	43
• Natural gas	100% methane	2.75	56
• LPG	50% C <sub>3</sub> / 50% C <sub>4</sub>	3.02	64
• Distillate Fuel oil	60% P/ 10% O/ 30% A	3.22	74
• Residual Fuel	50% P/ 50% A	3.26	79
• Coke	90% C/10% H	3.63	117

(abbreviations: Carbon, Hydrogen, Paraffins, Olefins, Aromatics)

Die hier dargestellten Emissionsraten werden als direkte Indikatoren für den herstellungsbedingten Energiebedarf des jeweiligen Produktes verstanden. Diese Werte treffen aber offensichtlich nur für die Produktionsabläufe bis zur atmosphärischen Destillation zu. Alle nachgeschalteten Produktionsabläufe, wie Cracken führen auch zu einer höheren CO<sub>2</sub>-Last pro kg erzeugtem Treibstoff. Im ungünstigsten Fall bis zu 20 % zusätzliche CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Einheit Destillatbrennstoff<sup>1</sup>.

## 1.2 Brennstoffe und ihre Eigenschaften

Schiffsbrennstoffe sind nach ISO 8217 genormt. Danach gibt es Rückstandsöle und Destillatbrennstoffe.

Die in der ISO-Norm vorgegebenen Parameter und Grenzwerte dürfen nicht überschritten werden. ISO- Sorten entsprechen im Wesentlichen CIMAC<sup>2</sup>- Sorten. Für alle in der ISO-Norm (s.a. Anhang I) angeführten Grenzwerte gibt es genormte Testverfahren. Innerhalb der Grenzwerte unterscheiden sich die Qualitäten beträchtlich. Marktübliche Bezeichnungen sind:

MGO - Marine Gasoil - besteht ausschließlich aus Destillat  
 MDO - Marine Diesel Oil - Gemisch aus Gasöl und Rückstandsöl

IFO - Intermediate fuel oil - Gemisch aus Gasöl und Schweröl mit geringerem Anteil Gasöl als bei MDO  
 MFO - Medium fuel oil - Gemisch aus Gasöl und Schweröl mit geringerem Anteil Gasöl als bei IFO  
 HFO - Heavy fuel oil - ausschließlich Rückstandsöl evtl. mit geringen Anteilen Destillat

Die Rückstandsbrennstoffe (IFO, MFO, HFO) werden vor allem in dem großen, langsam laufenden Schiffsdiesel als Brennstoff verwendet.

Kleinere Motoren, die so genannten Mittelschnell- und Schnellläufer, 300 – 2.200 min<sup>-1</sup> werden meist mit Destillatbrennstoffen (MDO, MGO) gefahren, so dass man auf Schiffen mittlerer Größe für den Betrieb der Hauptmaschine Schweröl nutzt und die Hilfsdiesel mit MDO laufen. Häufig wird wegen der besseren technischen Sicherheit bei Erreichen des Reviers, also der Fahrt auf Flüssen und in Häfen, von HFO auf MDO umgestellt. MGO als dem Brennstoff mit den besten Zündeigenschaften wird vor allem für Notaggregate und Schnellläufer verwendet.

Tabelle 1-2: Einsatz von HFO bzw. MDO entsprechend der Maschinendrehzahl, Quelle: Shell, 2005

langsam laufend (50 - 300 min <sup>-1</sup> )	Einsatz von HFO, tolerant bzgl. Zündeigenschaften
mittelschnell (300 - 1200 min <sup>-1</sup> )	Einsatz von HFO, sensitiv bzgl. Zündeigenschaften
schnell laufend (1200 - 2200 min <sup>-1</sup> )	Einsatz von MDO empfohlen

Aus Kostengründen hat sich seit einiger Zeit auf vielen Handelsschiffen die so genannte One-Fuel-Operation durchgesetzt. Dabei werden sowohl in den Haupt- als auch den Hilfsmaschinen und auch in eingeschränkten Fahrtgebieten Rückstandsöle eingesetzt.

<sup>1</sup> CONCAWE, Larivé, o.J.

<sup>2</sup> CIMAC, 1990

### 1.2.1 Rückstandsöle

Zurzeit sind etwa 78% aller Schiffsbrennstoffe Rückstandsöle. Sie zeichnen sich durch eine hohe Viskosität mit einem hohen Anteil an Aschen, Sedimenten und anderen Stoffen aus, die als Verunreinigungen im Brennstoff wirken. Die hohe Viskosität ermöglicht ein Pumpen des Brennstoffs erst im erwärmten Zustand bei über 25° C (s.a. Kap.2.1.2.)

Rückstandsöle haben geringere Energiegehalte pro kg als die leichteren Brennstoffe. Das liegt an der höheren Anzahl von Kohlenstoffatomen und dem hohen Schwefelgehalt im Vergleich zu dem höheren Gehalt an Wasserstoff der leichteren Brennstoffe. Man braucht also zum Erreichen der gleichen mechanischen Arbeit ca. 5 bis 6% mehr Brennstoff als bei Destillatbrennstoffen. Die Brennstoffverbräuche von Motorenherstellern beziehen sich meist auf gutes Gasöl mit 42,7 MJ/kg.

Tabelle 1-3: Spektrum der Brennstoffspezifikation für Rückstandsöle; Quelle: ISO 8217

Dichte	Kinemat. Viskos.	Flamm- punkt	Pour- point	Kohlenst. Rückst.	Asche	Was- ser	Schwe- fel	Vana- dium	Alumi- nium	Total Sedim.
Kg/m	mm /s	°C	°C	% Masse	% Masse	% Masse	% Masse	mg/kg	mg/kg	% Masse
Max.	Max.	Min.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.
975 - 1010	10,0 - 55,0	60	0 - 30	10- 22	0,10 - 0,20	0,5 - 1,0	3,5 - 4,5	150 - 600	80	0,10

Rückstandsöle sind ein sehr inhomogenes Gemisch von Parafinen, Naphthenen, Aromaten, Harzen auf der einen Seite und Asphaltthenen auf der anderen Seite. Parafine und Naphthene sind die Lösungsmittel für die Asphaltthene. Die Stabilität der Lösung ist das entscheidende Kriterium für die Nutzbarkeit des Rückstandsöles an Bord. Flocken die Asphaltthene aus, bilden sich u. U. sogar Agglomerate, so ist der Brennstoff kaum noch zu brauchen.

Weiterhin muss bei der Herstellung von Rückstandsölen insbesondere beim Mischen darauf geachtet werden, dass die Siedepunkte der vielen Einzelkomponenten gleichmäßig verteilt sind, damit die Verbrennung gleichmäßig abläuft.

Abbildung 1-5: Schlamm aus instabilem Öl; Quelle: Shell, v.d. Berg, o.J.



Rückstandsöle sind aufgrund der kruden Stoffmischung etwas problematische Brennstoffe, weil selbst bei der Einhaltung der Spezifikationsmerkmale eine problemfreie Anwendung nicht immer garantiert werden kann<sup>3</sup>.

### 1.2.2 Destillate

Kleinere Schiffsmotoren, die so genannten Mittelschnell- und Schnellläufer im Drehzahlbereich von 300 – 2.200 min<sup>-1</sup> werden überwiegend mit Destillat gefahren. Insgesamt gibt es 4 Qualitäten, von denen die beiden schwereren, mit der Bezeichnung DMB und DMC als Marine Diesel Öl (MDO) und die beiden leichteren Destillatbrennstoffe DMX und DMA als Gasöl (MGO) bezeichnet werden. Zurzeit sind etwa 22% aller Schiffsbrennstoffe Destillate.

<sup>3</sup> Shell, v.d.Berg, K. Schlame, o.J.

Tabelle 1-4: Spezifikation von Destillatbrennstoffen entsprechend ISO 8217

Dichte	Kine- mat. Vis- kos.	Flamm- punkt	Pour- point	Koh- lenst. Rückst.	Asche	Was- ser	Schwe- fel	Vana- dium	Alumi- nium	Total Sedim.
Kg/m	mm /s	°C	°C	% Masse	% Masse	% Masse	% Masse	mg/kg	mg/kg	% Masse
Max.	Max.	Min.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.
890	1,4	43	-6	0,30	0,01	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
920	14,0	60	6	2,50	0,05	0,3	2,0	100	25	0,10

Eine ausführliche Spezifikation für die einzelnen Brennstoffe entsprechend ISO 8217 befindet sich im Anhang I.

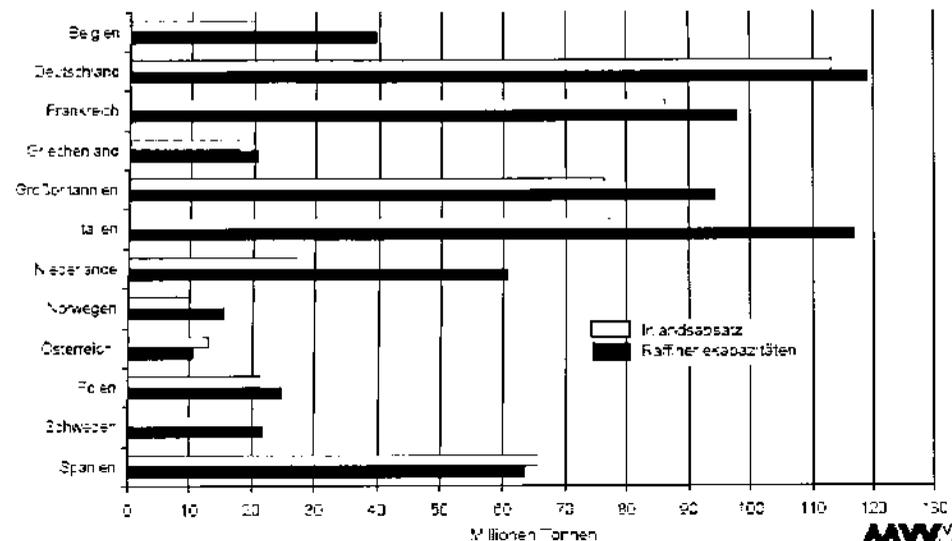
Zu beachten ist, dass aus Sicherheitsgründen der Flammpunkt von Schiffsbrennstoffen mehr als 60° C betragen muss. ISO-F-DMX kann daher an Bord nur mit dieser Einschränkung genutzt werden.

### 1.3 Kapazitäten der deutschen Raffinerien

Die Raffineriekapazitäten Deutschlands liegen derzeit bei knapp 120 Mio. t Rohöldurchsatz. Die Konversionskapazitäten liegen bei knapp 50 Mio. t. Die Auslastung der Raffinerien in Deutschland bewegte sich in den vergangenen Jahren sich im unteren 90%-Bereich<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> MWW, Mineralölbarometer, 2007

Tabelle 1-5: Raffineriekapazitäten und Inlandsabsatz ausgewählter europäischer Staaten (2006), Quelle: MWW, 2007



Ungefähr ein Drittel der in Deutschland verkauften Raffinerieprodukte wird eingeführt, wie aus dem Auszug aus den amtlichen Mineralöl-daten des Mineralölwirtschaftsverbandes hervorgeht.

Tabelle 1-6: Amtliche Mineralölstatistiken für die Bundesrepublik Deutschland, MWV, 2008

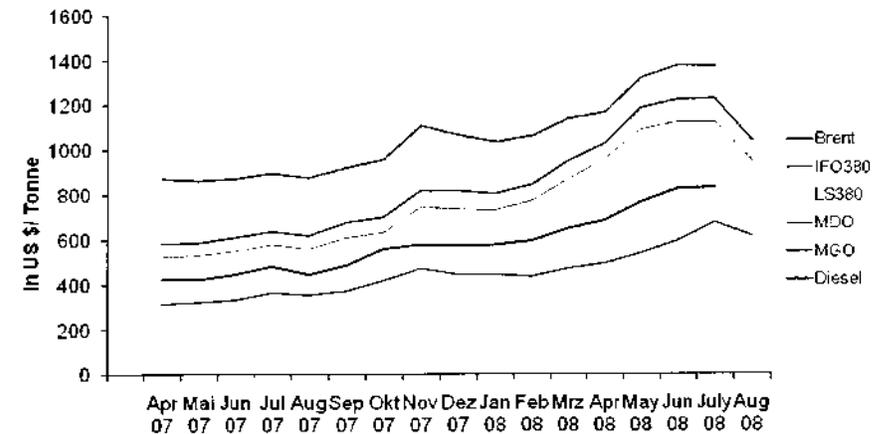
<b>Raffinerieproduktion Deutschland (in t)</b>	Februar 2008	Januar 2008
Produktion von Mineralölprodukten	9.379	10.194
darunter:		
Ottokraftstoff	1.850	2.068
Dieselmotorkraftstoff	2.735	2.887
Heizöl, leicht	1.223	1.443
Heizöl, schwer	802	1.061
Kapazitätsauslastung (in %)	90,6	93,1
<b>Produkteneinfuhr Deutschland</b>	Januar 2008	Dezember 2007
Insgesamt	2.684	2.497
darunter:		
Ottokraftstoff	57	103
Dieselmotorkraftstoff	211	336
Heizöl, leicht	856	497
Heizöl, schwer	87	102

Wenn die Nachfrage nach Destillatbrennstoffen gesteigert wird, können diese in begrenztem Umfang weiterhin importiert werden. Gibt es jedoch einen sehr starken Bedarf, werden Kapazitätserweiterungen in den Raffinerien notwendig sein.

#### 1.4 Entwicklung der Brennstoffpreise

In den vergangenen Monaten haben sich die Preise für Rohöl, hier am Beispiel der Marke Brent, dramatisch entwickelt. Vom April 2007 bis März 2008 ist der Preis um 65 % angestiegen. Parallel dazu haben auch die Produktpreise angezogen.

Abbildung 1-6: Entwicklung der Brennstoffpreise (Rotterdam) im Vergleich zur Rohölmarke Brent vom März 2007 bis Mai 2008, Quelle: Brent – EIA, Bunkerpreise www.bunkerworld.com, eigene Darstellung



Der starke Anstieg im Rohölpreis ist wohl auf eine erhöhte Nachfrage auf dem Weltmarkt durch gestiegene Bedarfe, ein verstärktes Anlegerinteresse an Rohstoffen und politische Krisensituationen in den Förderregionen zurückzuführen.

Wie sich die Brennstoffpreise unter den Rahmenbedingungen der jetzt beschlossenen Revision des MARPOL Annex VI nachfragebedingt weiter entwickeln werden, ist derzeit schwer abschätzbar.

Der Anstieg der Brennstoffpreise wird im Wesentlichen davon abhängen, welcher Anteil der Weltflotte auf Destillatbrennstoffe umstellt oder Abgasreinigungssysteme (Scrubber) bei weiterer Verwendung von Schweröl nutzt.

Änderungen der Bedarfsstrukturen durch die Revision des MARPOL Annex VI

Die Flotten, die vorwiegend in der Nord- und Ostsee (SECAs) fahren, werden, sobald sie als ECAs für Stickstoffemissionen ausgewiesen sind, aufgrund der IMO-Vorschriften auf Destillate umstellen müssen, weil sich derzeit 2 Abgasreinigungssysteme (eins für Schwefel und eins für Stickoxide) technisch noch nicht kombinieren lassen.

Jenseits der ECAs wird es für die Schifffahrt weiterhin die Entscheidungsoptionen bezüglich des Brennstoffes Schweröl bzw. Destillat geben.

Derzeit liegen keine Informationen über Flottenstrukturen in den entsprechenden Seegebieten vor, so dass eine Abschätzung des Brennstoffbedarfes mit dem derzeitigen Kenntnisstand nicht möglich ist.

## 2 Schweröl als Schiffsbrennstoff

Schwer- oder Rückstandsöle besitzen, wie in Kapitel 1 bereits beschrieben, einen hohen Anteil an Aschen, Schwermetallen, Sedimenten und anderen unerwünschten Inhaltsstoffen, die es erforderlich machen, den Brennstoff an Bord noch einmal aufzubereiten, bevor er in den Motoren verwendet werden kann, ohne dort Schaden anzurichten.

Ca. 1-3% des Brennstoffes fallen durch die Vorbehandlung als Sludge an. Auch die höherwertigen Dieselöle werden in gesonderten Separatoren vorbehandelt, um vor allem (Schwitz-)Wasser zu entziehen, ergeben jedoch nur ca. 0,5 % Sludge. Sludge kann an Bord im Hilfskessel, der Wasserdampf für das Warmhalten des Brennstoffes und der Motoren während der Hafentiegezeiten produziert, verbrannt werden. Dazu sind Hilfskessel mit speziellen Brennern ausgestattet. Für den Wärmebedarf auf See ist im Allgemeinen die Abwärme der Hauptmaschine ausreichend. Nur selten wird auch

auf See zusätzlich aus technischen Gründen die Hilfskesselleistung benötigt.

Beim Verbrennen von Sludge aus der Schwerölaufbereitung wird von der Besatzung häufig Diesel zugemischt, um die erforderliche Zündfähigkeit zu erreichen.

Aufgrund der schadstoffhaltigen Brennstoffe würden Schiffsmotoren an Land wie Sondermüllanlagen behandelt werden.

Es ist zu beachten, dass die Brennstoffe und Motoren-Schmierstoffe, insbesondere die bei 2-Takt-Motoren eingesetzten "Zylinderöle" für die Laufbuchsen / Kolbenringe, aufeinander abgestimmt sind. Das bezieht sich sowohl auf den Ausgleich des pH-Wertes als auch auf die brennstoffeigene Schmierkraft, die unter anderem auch vom Schwefelgehalt des Brennstoffes abhängig sind.

### 2.1 Brennstoffbehandlung an Bord

Schweröle benötigen für die gesamte Prozessstrecke von der Raffinerie bis in den Schiffsmotor eine ständige Erwärmung, um ein Erstarren der Schweröle in den Tanks und Leitungen zu verhindern. Außerdem bedürfen sie aufgrund der starken Verunreinigungen einer Vorbehandlung an Bord, damit die Anlagen keinen Schaden erleiden.

#### 2.1.1 Brennstofftanks

Erfahrungsgemäß stellt die Besatzung sicher, dass jede Brennstofflieferung in separaten Tanks gelagert wird, weil beim Mischen von Schwerölen die Gefahr des Entmischens, Absetzens und Ausflocken von Asphaltthenen besteht. Nur nach ausdrücklicher Erlaubnis und Haftungserklärung beider Hersteller dürfen unterschiedliche Chargen gemischt werden.

Brennstofftanks und alle Rohrleitungen für Rückstandsöle müssen mit Tankheizungen ausgerüstet sein, damit auch Öle hoher Viskosität gepumpt werden können. Die Energie zum Heizen der Brennstofftanks wird zum Teil durch Kühlwasserwärme und zum Teil durch die Abgas- und Hilfskesseln bereit gestellt.

Die Heizleistung der Kessel muss also wegen der wärmeintensiven Brennstoffaufbereitung für die Rückstandsöle wesentlich größer sein, als wenn deren Wärmeenergie nur für Wohnräume und Warmwasserbereitung für Besatzung und Passagiere gebraucht würde.

Im Hafen, wenn die Hauptmaschine ausgeschaltet ist oder bei Betriebszuständen weit unter Volllast müssen die Hilfskessel laufen, um den Wärmebedarf an Bord zu decken.

Aus energetischer Sicht ist es günstig, große zentrale Tanks / Tankgruppen im Inneren der Schiffe anzuordnen. Hier konkurrieren Brennstofftanks jedoch oft mit den Anforderungen an möglichst große, leicht zugängliche Laderäume.

Es wird von der IMO angestrebt, dass Brennstofftanks nicht in der – auf Tankern die Ladung schützende – Doppelhülle direkt an die Außenhaut von Schiffen angrenzen, sondern durch eine Doppelhülle geschützt angeordnet werden, damit Brennstoffe bei Verletzung dieser Außenhaut nicht die Meeresumwelt verschmutzen.

### 2.1.2 Aufbereitung der Brennstoffe an Bord

Keiner der gängigen Schiffsbrennstoffe kann ohne Aufbereitung verfeuert werden<sup>5</sup>. Weil Rückstandsöle ohne Vorwärmung nicht pumpbar sind, müssen auch alle Brennstoffleitungen so liegen, dass sie eine gleichmäßige Temperatur in Abhängigkeit von der Viskosität von 25 – 40° C für die durchfließenden Brennstoffe gewährleisten.

Zur Aufbereitung wird der Brennstoff an Bord aus dem **Vorrattank** für 24 Stunden in Absetztanks gepumpt, die in etwa eine Tagesladung fassen. In den isolierten **Setztanks** soll das Rückstandsöl auf bis zu 90°C gewärmt werden können. Hier setzen sich dann bei einer Verweilzeit von ca. 24 Stunden Schlamm und Sedimente ab, die ca. 1% des Brennstoffes ausmachen. Diese schwereren Bestandteile sammeln sich in einem Sumpf und können durch ein Entwässerungs- und Abschlammventil in den Ölschlammtank entsorgt werden. Diese Klärung ist jedoch noch nicht ausreichend, so dass der Brennstoff nach dem Absetzen bei einer Temperatur von ca. 80 – 98° C noch im **Separator**, von denen meist zwei in Reihe geschaltet

angeordnet sind, um als Klarifikator Feststoffe bzw. als Purifikator Wasser abzuscheiden. Die Separatoren funktionieren wie Zentrifugen. Der durch den Separator anfallende ölige Rückstand (Sludge) besteht zu 50 – 60 % aus Wasser, 5 % Feststoffen und zu 30 – 40 % aus Öl<sup>6</sup>.

Danach wird der so vorbehandelte Brennstoff im Tagestank zur Nutzung bereit gestellt. Abschließend durchläuft der Brennstoff noch einen Misch- und Entgasungstank und Filter. Erst vom Mischtank aus wird der Brennstoff mit Zirkulations- und Druckerhöhungspumpen (Booster-Pumpen) über Endvorwärmer, Viskositätsregler und Indikatorfilter den Einspritzpumpen zugeführt. Alle Teilwege sind wärmeisoliert und zum Teil mit besonderen Pumpen ausgestattet.

Durch bestimmte Brennstoffanforderungen beim Eintritt in Emissions-Kontrollgebiete wie die SECAs Nord- und Ostsee ist eine Umstellung zwischen verschiedenen Brennstoffen notwendig. Während bislang alle erwähnten Brennstoffe nach ISO 8217 verbrannt werden durften, sind in SECA-Gebieten derzeit nur Brennstoffe mit einem maximalen Schwefelgehalt von 1,5% erlaubt. Alternativ können genehmigte Abgas-Waschanlagen die SO<sub>x</sub>-Konzentration entsprechend senken.

Gegenwärtig scheinen nur Scrubber als Abgasreinigungstechnologie zur Schwefelreduktion in Frage zu kommen. Diese Scrubber befinden sich aber vorerst nur in geringer Stückzahl im Erprobungsstadium. Obwohl die Einleitung des Scrubberabwassers in die Umwelt durch IMO-Einleitungsverordnungen in den Konzentrationen geregelt werden soll, fallen neben diesen Abwässern noch ca. 5 % ölige Schlämme aus Gips, Ruß, teilverbrannten Schmierölen und Brennstoffen an, die an Bord gelagert und später im Hafen entsorgt werden müssen.

Für jeden Brennstoff müssen die oben geschilderten Anlagen zur Aufbereitung der Brennstoffe an Bord zwecks genauer Anpassung gut steuerbar (für die Heizung und Dichtung) eingerichtet bzw. in für jedes Brennöl anderer Auslegung installiert werden.

<sup>5</sup> Breyer, Hochhaus, 1998

<sup>6</sup> Douvier, 2004

Für einen sauberen Destillatbrennstoff wären diese Treibstoffvorbehandlungen nicht notwendig. Lediglich Kondenswasser, das sich bei schlechter Tankhaltung in den Brennstofftanks bilden könnte, müsste abgeschieden werden.

### 2.2.1 Schmierstoffe

Wie oben schon erwähnt, müssen Schmieröle sorgfältig auf die Brennstoffe abgestimmt werden. Schwefelreiche Brennstoffe mit sauren Verbrennungsabgasen brauchen basische Schmieröle. Niedrigschwefelige Brennstoffe benötigen geringer basische Schmiermittel. Ein Problem bei der Brennstoffumstellung bei der Verwendung von Rückstandsölen ist die passende Dosierung des entsprechenden Schmiermittels, um einen vorzeitigen Verschleiß durch Korrosion im Brennraum zu verhindern.

Durch die Verwendung von Destillatbrennstoffen werden diese Probleme hinfällig.

### 2.2 Brennstoffbedingte Emissionen

Lange wurden von Schiffahrtsseite sowie nationalen wie auch internationalen Institutionen sehr niedrige Angaben über Brennstoffverbräuche und Emissionen der Weltflotte veröffentlicht.

In der folgenden Tabelle sind die neusten und auch ältere Daten einander gegenüber gestellt.

Tabelle 2-1: Abschätzung von globalen Schadstoffemissionen durch Verwendung von Schweröl nach Röd, EMEP, IEA, Eyring/Köhler und IMO

Quelle Jahr	Röd 1994		EMEP 2000	IEA 2002		Eyring Köhler 2001		MEPC/BLG 2007
	10 <sup>6</sup> t	% of World	10 <sup>6</sup> t	10 <sup>6</sup> t	% of World	10 <sup>6</sup> t	% of World	10 <sup>6</sup> t
Bunker mas- se	116. 7	1.8	180.	146.	1.9	280.	3.4	369.
CO <sub>2</sub>	370	1.8	569.	463.	1.9	813.	3.4	1.120.
NO <sub>x</sub>	6.0	7.0	12.6			21.9	18.	25.8
SO <sub>x</sub>	6.4	8.1	10.5			12.0		16.2
PM <sub>10</sub>						1.7		1.8
CO	0.15	0.2				1.3		
NMH C	0.25	0.7				2.0		1.3

### 2.2.1 Schadstoffemissionen

Die Emissionen an SO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> (Ruß u.a.) sowie von NO<sub>x</sub> sind im Verhältnis zu Emissionen anderer Verbrennungsanlagen extrem hoch. Zum Vergleich sind in Tabelle 2.2 die Emissionen von LKW – Motoren wesentlich niedriger, obwohl letztere wesentlich ungünstigere Betriebszustände erfahren. Dies hat zwei Hauptursachen:

1. Die Brennstoffe für Landfahrzeuge sind wesentlich besser.
2. An Land gibt es mit den EU-Regeln EURO3 bis 5 wesentlich härtere Vorschriften (die Schifffahrt kennt ja ohnehin nur Regeln zu ‚S‘ und NO<sub>x</sub>, soweit man das überhaupt Vorschriften nennen kann, denn sie werden von allen Beteiligten mühelos eingehalten)

Für einen sauberen Destillatbrennstoff wären diese Treibstoffvorbehandlungen nicht notwendig. Lediglich Kondenswasser, das sich bei schlechter Tankhaltung in den Brennstofftanks bilden könnte, müsste abgeschieden werden.

### 2.2.1 Schmierstoffe

Wie oben schon erwähnt, müssen Schmieröle sorgfältig auf die Brennstoffe abgestimmt werden. Schwefelreiche Brennstoffe mit sauren Verbrennungsabgasen brauchen basische Schmieröle. Niedrigschwefelige Brennstoffe benötigen geringer basische Schmiermittel. Ein Problem bei der Brennstoffumstellung bei der Verwendung von Rückstandsölen ist die passende Dosierung des entsprechenden Schmiermittels, um einen vorzeitigen Verschleiß durch Korrosion im Brennraum zu verhindern.

Durch die Verwendung von Destillatbrennstoffen werden diese Probleme hinfällig.

### 2.2 Brennstoffbedingte Emissionen

Lange wurden von Schiffahrtsseite sowie nationalen wie auch internationalen Institutionen sehr niedrige Angaben über Brennstoffverbräuche und Emissionen der Weltflotte veröffentlicht.

In der folgenden Tabelle sind die neusten und auch ältere Daten einander gegenüber gestellt.

Tabelle 2-1: Abschätzung von globalen Schadstoffemissionen durch Verwendung von Schweröl nach Röd, EMEP, IEA, Eyring/Köhler und IMO

Quelle Jahr	Röd 1994		EMEP 2000	IEA 2002		Eyring Köhler 2001		MEPC /BLG 2007
	10 <sup>6</sup> t	% of World	10 <sup>6</sup> t	10 <sup>6</sup> t	% of World	10 <sup>6</sup> t	% of World	10 <sup>6</sup> t
Bunker mas- se	116. 7	1.8	180.	146.	1.9	280.	3.4	369.
CO <sub>2</sub>	370	1.8	569.	463.	1.9	813.	3.4	1.120.
NO <sub>x</sub>	6.0	7.0	12.6			21.9	18.	25.8
SO <sub>x</sub>	6.4	8.1	10.5			12.0		16.2
PM <sub>10</sub>						1.7		1.8
CO	0.15	0.2				1.3		
NMH C	0.25	0.7				2.0		1.3

### 2.2.1 Schadstoffemissionen

Die Emissionen an SO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> (Ruß u.a.) sowie von NO<sub>x</sub> sind im Verhältnis zu Emissionen anderer Verbrennungsanlagen extrem hoch. Zum Vergleich sind in Tabelle 2.2 die Emissionen von LKW – Motoren wesentlich niedriger, obwohl letztere wesentlich ungünstigere Betriebszustände erfahren. Dies hat zwei Hauptursachen:

1. Die Brennstoffe für Landfahrzeuge sind wesentlich besser.
2. An Land gibt es mit den EU-Regeln EURO3 bis 5 wesentlich härtere Vorschriften (die Schifffahrt kennt ja ohnehin nur Regeln zu ‚S‘ und NO<sub>x</sub>, soweit man das überhaupt Vorschriften nennen kann, denn sie werden von allen Beteiligten mühelos eingehalten)

Tabelle 2-2: Vergleich Emissionswerte Schiffsmotoren und LKW-Motoren, Autor: J. Isensee

		Schiffsmotoren + Schiffsgasturbinen	Schiffs-Hilfskessel *)	LKW-Motoren Landtransport
SO <sub>2</sub>	% der Öl-Masse	mittel 2,7% S in RÖ mittel 1,0% S in MDO, MGO	mittel 2,7% S in RÖ mittel 1,0% S in MDO, MGO	0.035% EURO3 0.0001% EURO4 seit 1.1.05 EURO5 ab 1.09.09
NO <sub>x</sub>	g/kWh	17,0 für n ≤ 130 U/min 45 n <sup>0,2</sup> für n > 130 9,8 für n > 2000 U/min	1,3 <sup>1)</sup>	5,0 EURO3 3,5 EURO4 2,0 EURO5
Ruß, PM <sub>10</sub>	g/kWh	MCR: RO 1,05 MDO 0,2 Manöver: RO 2,40 MDO 0,9	0,13 <sup>1)</sup>	0,10 EURO3 0,02 EURO4 0,02 EURO5
CO	g/kWh	1,40 (0,1 für Gasturbinen)	0,04 <sup>1)</sup>	2,1 EURO3 <sup>1)</sup> 1,5 EURO4 <sup>1)</sup>
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	g/kWh	0,60 (0,35 für Gasturbinen)	0,3 <sup>1)</sup>	0,66 EURO3 0,46 EURO4
VOC	g/kWh	0,40	0,2 <sup>1)</sup>	0,46 <sup>1)</sup>

- 1.) markierten Daten sind aus ICF, 2006 umgerechnet
2. + S = Schwefel, zum Berechnen der SO<sub>2</sub>- Massen muss die Schwefelmasse mit 2<sup>7</sup> und dem Brennstoffverbrauch pro kWh multipliziert werden. Maximale S-Gehalte in RÖ ist 4,5%.
3. für MDO (DMB, DMC) ist es 2,0%, für MGO ist es 1,5% bei DMA und 1,0% bei DMX.
4. + NO<sub>x</sub> wird von vielen Ostsee-Schiffen schon freiwillig unterschritten
5. + für alle anderen Emissionen gibt es in der Schifffahrt keine Bestimmungen. Die hier angegebenen Daten sind Werte aus [ICF:06] und aus mündlichen Informationen, die vor allem die Unterschiede zwischen RÖ- und MDO- Verbrennung zeigen.
6. RÖ = Rückstandsöl, MDO = Marine Diesel, MGO = Marine Gasöl,
7. N, r/min = Umdrehungen / Min,
8. MCR = maximale Dauerleistung.
9. VOC flüchtige Kohlenwasserstoffe
10. \*) für Schiffshilfskessel gibt es bislang keine Emissionsgrenzen, bis 2010 dürfen in Hilfskesseln auch Ölschlämme (aus Rückstandsöl- Aufbereitung an Bord) verbrannt werden

### 2.2.2 CO<sub>2</sub>- Emissionen

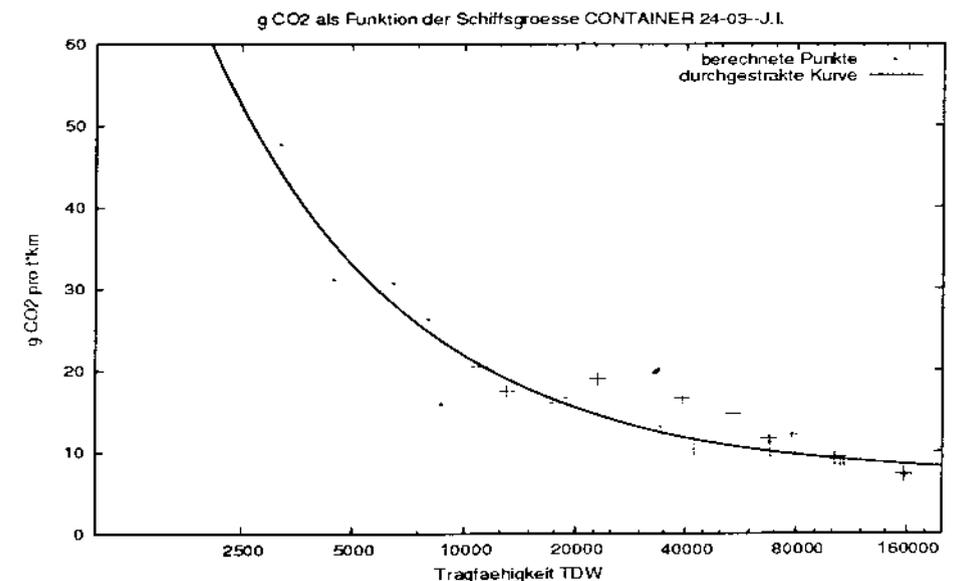
Diese Emissionen der Schifffahrt pro Transport- bzw. Arbeitseinheit sind vergleichsweise gering.

Setzt man die CO<sub>2</sub>- Masse von 1,12\*10<sup>9</sup> kt durch die Transportarbeit<sup>7</sup> von etwa 30,30\*10<sup>12</sup> t\*nm, so erhält man: 37g CO<sub>2</sub>/t\*sm oder 20g CO<sub>2</sub>/t\*km als Durchschnitt für die gesamte Weltseeschifffahrt.

Für eine Reihe von modernen Containerschiffen ist durch ISENSEE folgendes Diagramm errechnet worden, in das alle anlagenbedingten Emissionen der jeweiligen Schiffe nach einem Standard-Verfahren eingingen. Alle Punkte oberhalb der Kurve zeigen Schiffe mit relativ höheren, alle Punkte unter der Kurve mit niedrigeren Geschwindigkeiten.

Im Vergleich zu den von der EU für PKW vorgeschlagenen 130g CO<sub>2</sub>/km fährt die Schifffahrt sehr günstig.

Abbildung 2-1: J. Isensee, 2008; eigene Berechnung unveröffentlicht



<sup>7</sup> Feamtl, 2005

### 2.3 Emissionsminderungen

Emissionsminderungen können durch Effizienzsteigerung, durch optimale Geschwindigkeiten, durch höherwertige Brennstoffe bzw. durch innermotorische Anpassung bzw. Abgasfilter erreicht werden.

#### 2.3.1 Brennstoffumstellung

Durch die Absenkung allein des Schwefelgehaltes im Brennstoff wird mit der Absenkung des Partikelaustrisses von 6 kg/ t Brennstoff mit 2,7 % auf 3,9 kg/t bei 1% und 1,5 kg/ t bei 0,5 % bis auf 1 kg/ t bei 0,1 % Schwefelgehalt gerechnet<sup>8</sup>.

Tabelle 2-3: Mögliche Emissionsminderungen durch Brennstoffumstellung, Quelle: BLG 12/6/1

	2007 Mill. Ton- nen	Progn. 2020 Mill. Ton- nen
Brennstoffverbrauch Weltschifffahrt	369	486
CO <sub>2</sub> -Emissionen der Weltschifffahrt	1,120	1,475
CO <sub>2</sub> Verminderung bei ausschließlicher Nutzung von 0,5% S MGO weltweit	- 43	- 59
SO <sub>x</sub> Emissionen der Weltschifffahrt	16.2	22.7
SO <sub>x</sub> Emissionsverminderung durch jetzige SECAs	- 0.78	-
SO <sub>x</sub> Emissionsverminderung durch MDO mit 0,5% S weltweit	- 12.7	- 17.8
NO <sub>x</sub> Emissionen der Weltschifffahrt	25.8	34.2
PM10 Emissionen der Weltschifffahrt	1.8	2.4
PM10 Verminderung bei ausschließlicher Nutzung von 0,5% S MGO weltweit	- 1.5	- 2.0

In den Prognosen für 2020 steckt eine wichtige Annahme, dass die Flotte von 2020 um 15% effizienter transportieren wird, als die jetzige. Hervorgehoben werden sollte aber der begrüßenswerte Ansatz, zuerst die Brennstoffqualität zu verbessern (was automatisch die Preise erhöht) und dann weitere Maßnahmen zur Emissionsminderung durchzusetzen. In der Tabelle wird sehr deutlich, wie positiv sich eine Umstellung der Schiffsbrennstoffe auf Destillate außerdem auf die Partikelemissionen auswirken würde.

<sup>8</sup> MEPC/57/4/38

Neben den höheren Kosten ermöglicht die Verbesserung der Treibstoffqualität jedoch auch die Vereinfachung des Treibstoffhandlings an Bord. Zudem ist die Verwendung niedrigschwefeligen Treibstoffs die Grundvoraussetzung für den Einsatz von Abgasbehandlungssystemen zur Stickoxidminderung. Diese so genannten SCR-Anlagen arbeiten umso effektiver, je weniger Schwefeloxid im Abgasstrom enthalten ist. Generell können SCR-Filter erst ab einem maximalen Schwefelgehalt des Treibstoffs von 1,5 % eingesetzt werden.

#### 2.3.2 Geschwindigkeitsreduktion

Es folgt ein Beispiel, in dem 2 Bulkerflotten miteinander verglichen werden. Eine Flotte mit 11 Schiffen normaler Geschwindigkeit wird ersetzt durch eine Flotte mit 12 Schiffen, die für etwas geringere Geschwindigkeit entworfen sind. Es sind dabei alle Hilfsanlagen und die Emissionen beim Bau der Schiffe berücksichtigt. Die Emissionen der langsameren Flotte sind 20% geringer, nur wegen der Geschwindigkeitsverringerung um 10%. Die geleistete Transportarbeit beider Flotten ist gleich. Die langsameren Schiffe haben nicht nur um 28% geringere Antriebsleistungen, sie sind auch etwas kürzer und leichter. Die erforderlichen Betriebskosten aufgrund der Brennstoffverbräuche der langsameren Flotte sind geringer als die der schnelleren Flotte.

Tabelle 2-4: Minderung der Abgase durch Geschwindigkeitsreduktion am Beispiel von 2 Massengutflotten, Isensee, J.; Bertram, V. 2004

		schnelle B	langsame B	Differenz
Anzahl der Schiffe	-	11	12	+ 9 %
Dienstgeschwindigkeit	[kn]	14.15	12.66	- 11%
Länge zwischen Loten	m	249.30	247.00	
Breite	m	32.50	31.50	
Tiefgang	m	12.90	12.90	
Hauptmaschinenleistung	[kW]	8800.0	6300.0	- 28 %
Brennstoffverbrauch der Flotte pro Jahr	[t]	114.398.0	91.601.0	- 20 %
Transportarbeit pro Jahr	Milliard t nm	35.51	35.51	=
Abgase				
CO <sub>2</sub> emittiert pro t Ladung*sm	g/t.nm	2.7544	2.1962	- 20 %
NO <sub>x</sub> emittiert pro t Ladung*sm	g/t.nm	0.0748	0.0596	- 20 %
SO <sub>x</sub> emittiert pro t Ladung*sm	g/t.nm	0.0456	0.0361	- 20 %
PM emittiert pro t Ladung*sm	g/t.nm	0.0027	0.0021	- 20 %

Aufgrund der geringeren Geschwindigkeit von 11 % sind die Emissionen der langsameren Flotte 20% geringer als die der normal schnellen Flotte. Dadurch konnte nachgewiesen werden, dass selbst durch eine langsamere Flotte unter Beibehaltung der Transportleistung immer noch eine Reduktion der Gesamtemissionen erreicht werden kann. Diese Reduktion kommt aufgrund geringerer Brennstoffverbräuche zustande und birgt deshalb auch einen großen ökonomischen Anreiz.

### 2.3.3 Technische Minderungsmöglichkeiten

Zur Reduktion von Stickstoffoxiden sind sowohl motorische Lösungen wie innermotorische Anpassungen, Optimierung der Einspritzbedingungen des Treibstoffs und Absenkung der Brenntemperatur zur Beeinflussung des Brennvorganges möglich als auch durch die Nachbehandlung des Abgases.

Motorische Lösungen sowohl für 2-Takt-Motoren als auch für 4-Takt-Motoren sind:

- innermotorische Anpassung (15 – 30% Reduktionspotential)
- direkte Wassereinspritzung in die Brennkammer (max. 50 % Reduktionspotential)
- Wasser-Treibstoff-Emulsion (max. 30 % Reduktionspotential)
- Luft-Wasser-Einspritzung (ca. 40 % Reduktionspotential)

Die Abgasnachbehandlung zur Stickstoffoxidreduktion erfolgt über die Einschaltung eines Filters. Diese so genannten SCR-Filter (Selective Catalytic Reduction) arbeiten mit Harnstoff als Katalysator. Bei Temperaturen über 480 °C beginnt Ammoniak jedoch zu brennen und verliert seine stickstoffreduzierenden Eigenschaften.

Tabelle 2-5: Reduktionspotential für Stickoxid durch verschiedene Techniken und deren Kosten für Neu- bzw. Umbauten, Quelle: BLG 10/14, FOEI 2006

Measure	NOx Reduction	Cost (new) (euro/tonne NOx)	Cost (retrofit) (euro/tonne NOx)
Basic I&M (2-stroke only)	20%	9	15-24
Advanced I&M	30%	19-33	Variable
Direct Water Injection	50%	345-360	Variable
Humid air motors	70%	198-230	263-282
SCR	90% <sup>c</sup>	313-563 <sup>e</sup>	558-612 <sup>e</sup>

<sup>a</sup> SCR can also reduce SO<sub>2</sub> and PM emissions in ships operating on lower sulfur RO (by 44% and 18%, respectively or MD (by 96% and 63%, respectively).

<sup>b</sup> SCR operating costs depend on the fuel burned, increasing with fuel sulfur content.

## 3 Auswirkungen von Emissionen

Schiffsemissionen wirken sowohl in der Atmosphäre als auch durch Deposition im Meer und auf dem Land. Bestandteile der Schiffsemissionen sind Schwefeloxide, Stickoxide, Partikel, Kohlenstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen. Diese Stoffe wirken in unterschiedlichem Maße sowohl lokal als auch global. Schwefeloxide werden vor allem für saure Niederschläge an Land, Gebäudeschäden durch sauren Regen und Gesundheitsprobleme verantwortlich gemacht. Stickoxide sind vor allem ein Pflanzennährstoff und tragen erheblich zur Eutrophierung und Versauerung von Gewässern und Böden bei. Partikel, vor allem die sehr kleinen Fraktionen unter 2,5µm sind lungengängig und werden für den Verlust von Lebensjahren, vermehrte Gesundheitskosten und ca. 60.000 Todesfälle (durch Schiffsemissionen) pro Jahr weltweit verantwortlich gemacht. Ebenso wirken Kohlenmonoxid und flüchtige organische Verbindungen nach den bislang vorliegenden Studien vor allem auf die Gesundheit der Betroffenen.

### 3.1 Versauerung

Die seit einigen Jahren messbare Versauerung der oberen Schichten der Ozeane wird in allererster Linie mit dem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Gehalte der Atmosphäre in Verbindung gebracht. Der dadurch steigende CO<sub>2</sub>-Partialdruck in der Atmosphäre führt dazu, dass Kohlendioxid im Meer mit einem geringeren Partialdruck in Lösung geht

und Kohlensäure bildet. Seit Beginn der Industrialisierung ist der Oberflächen-pH-Werte bereits um 0,11 abgesunken. Der gegenwärtige pH-Wert beträgt 8,07. Die natürlichen Schwankungen können jedoch regional und saisonal dabei bis zu 0,1 Einheiten betragen.

Als eine kritische Größe wird der Abfall des mittleren pH-Wertes um 0,2 Einheiten angesehen, weil dann die Kalkschalen bildenden Organismen so empfindlich gestört werden, dass die Kalkbildung nicht mehr erfolgen kann. Damit ginge auch die Funktion der Ozeane als Kohlenstoffsенke für das Weltklima weitgehend verloren<sup>9</sup>.

Die Auswirkungen der Versauerung auf das marine Leben jenseits der Kalkschalen bildenden Organismen ist noch nicht hinreichend untersucht.

### 3.2 Eutrophierung

Das Überangebot an Nährstoffen (Eutrophierung) ist eine erhebliche Belastung für die hier betrachteten Gewässer der Nordsee und speziell des Wattenmeeres. Folgen der Eutrophierung sind giftige Algenblüten, Massenentwicklung von Algen und erhöhte sommerliche Sauerstoffzehrung. Die Nährstoffeinträge erfolgen über die Zuflüsse wie den Rhein, Elbe und Weser in die südliche Nordsee und durch Eintrag aus der Luft.

Die OSPAR –Vertragsstaaten haben seit 2005 begonnen, die Nährstoffeinträge aus der Luft in die Eutrophierungsansätze mit zu integrieren. Das zwischen 2006/07 von der OSPAR durchgeführte Programme für Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP) liefert die Daten für das Comprehensive Atmospheric Monitoring Programme (CAMP). Die darin abgeschätzten Mengen an atmosphärischen Stickstoffdepositionen im OSPAR-Gebiet sind damit die größte Einzelquelle für Stickstoffdioxid<sup>10</sup>.

Für die Nordsee sind die atmosphärischen Einträge im Zusammenhang mit dem Wadden Sea Status Report untersucht worden. Demnach sind es pro Jahr zwischen 1,7 und 1,2 g Nm<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>. Dieser Eintrag entspricht ungefähr dem Eintrag aus dem Einzugs-

gebiet der Ems pro Jahr. Jüngere Untersuchungen in der südlichen Nordsee<sup>11</sup> haben noch deutlich höhere Depositionsraten durch Messungen festgestellt. Demnach liegen die Depositionsraten im Frühling, Herbst und Winter zwischen 2,8 und 3,4 mg N/m<sup>2</sup> während im Lauf der Sommermonate Werte von 5,4 – 5,6 mg N/m<sup>2</sup> gemessen wurden.

Durch den Vergleich mit weiteren Studien wurde festgestellt, dass der atmosphärische Eintrag von Stickstoffoxiden in die Nordsee mehr als die Hälfte des Gesamteintrages ausmacht. Der Stickstoffeintrag aus den Einzugsgebieten der Flüsse ist damit geringer als die atmosphärischen Stickstoffeinträge, die auf Industrie- und Verkehrsemissionen der Küstengebiete als auch auf den intensiven Schiffsverkehr zurückzuführen sind.

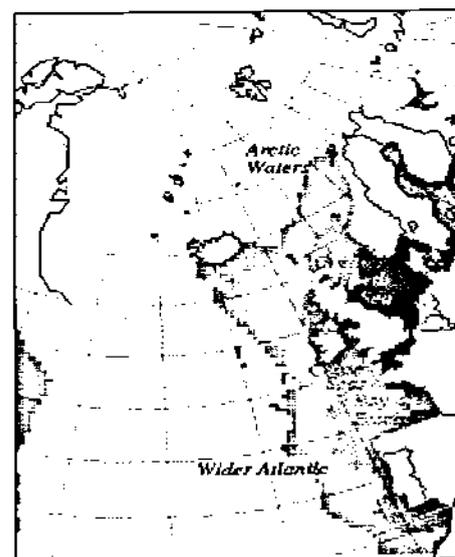


Abbildung 3-1: EMEP-Karte der modellierten Stickstoffeinträge in das OSPAR-Gebiet im Jahr 2004 (in mg N m<sup>-2</sup>)

Auch die Vertragsstaaten der Helcom haben zur Reduzierung des atmosphärischen Eintrags von Nährstoffen die Berücksichtigung des atmosphärischen Stickstoffs bei der Revision der Emissionsziele im Rahmen der UNECE Convention for Long-Range-

<sup>9</sup> WBGU, 2006

<sup>10</sup> OSPAR, 2006/07

<sup>11</sup> Grieken et al., 2007

Transboundary Air Pollution eingefordert. Des weiteren wurde beschlossen, dass die Vertragsstaaten sich für die Einbeziehung der Schiffsemissionen in die NEC-Richtlinie (RL 2001/81/EG) und in die Emissionsziele unter dem Göteborgprotokoll unter UNECE Convention for Long-Range-Transboundary Air Pollution einsetzen werden.

Als eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung von Schiffsemissionen haben die Vertragsstaaten der HELCOM beschlossen, den Einsatz ökonomischen Anreizsysteme zu untersuchen und gegebenenfalls einzuführen.

### 3.3 Ölverschmutzung

Ölverschmutzung der Meeresumwelt durch die Schifffahrt können durch Unfälle mit Ladungs- oder Brennstoffaustritten, durch das Einleiten von öligem Bilgenwasser, durch die illegale Verklappung von Brennstoffrückständen (Sludge), durch flüchtige organische Stoffe die beim normalen Verbrennungsprozess im Motor als auch aus der Ladung bzw. bei Ladevorgängen auftreten.

Nach einer GESAMP-Studie<sup>12</sup> über 3 Jahrzehnte (von 1968 – 1997) sind allein auf die legalen betriebsbedingten Öleinleitungen durch Bilgenwasser und Sludge ca. 188.000 t pro Jahr zu rechnen. Durch Tankeraktivitäten wie z. B. das Tankwaschen und Öl im Ballastwasser werden weltweit ca. 19.250 t jährlich eingeleitet.

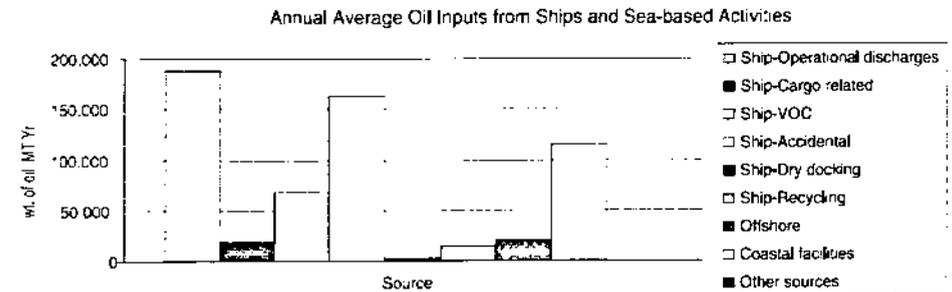
Zusätzlich werden flüchtige organische Stoffe von Ladungen, durch Umschlagvorgänge sowie durch die Verbrennungsvorgänge in den Motoren emittiert. Von diesen flüchtigen Verbindungen ist es vor allem Pentan, das zur Deposition im Meer kommt. Pentan stellt ca. 1% der flüchtigen Verbindungen dar. GESAMP quantifiziert den jährlichen Eintrag dieser Ölkomponente auf ca. 68.000 t pro Jahr.

Tabelle 3-1: Schifffahrtsbedingte jährliche Öleinleitungen weltweit, nach GESAMP, 2007

Öleinleitungen des Seeverkehrs	t/ Jahr
betriebsbedingte Einleitungen einschließlich Tankeraktivitäten	207.250
Atmosphärische Deposition von Ölkomponenten aus flüchtigen organischen Verbindungen (1% Pentan, das in die Meere eingetragen werden könnte)	67.980
unfallbedingte Einleitungen von Schiffen	163.200
Andere Quelle wie Recycling, Trockendock u.a.	18.615
gesamt	457.045

Zu den hier dargestellten Ölmengen aus der Schifffahrt kommen noch Einträge aus anderen Quellen wie Pipelines, Brauchwasser von Raffinerien und der Offshoreexploration in Größenordnungen hinzu. Der Gesamteintrag wird auf insgesamt 1.245.200 t/Jahr geschätzt. Der schifffahrtsbedingten Anteil macht davon allein 38 % aus.

Abbildung 3-2: durchschnittlicher jährlicher Öleintrag durch Seeverkehr und andere Aktivitäten weltweit, Quelle: GESAMP, 2007



#### 3.3.1 Illegale Öleinleitungen – ein Brennstoffproblem

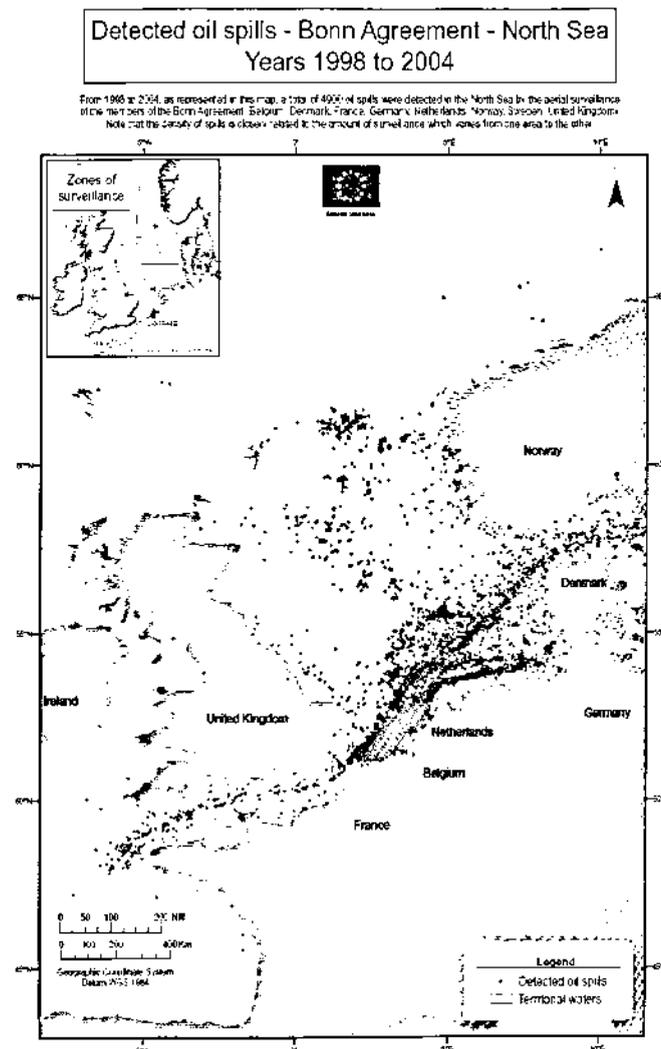
Obwohl Ölverschmutzungen nur bedingt mit der Verwendung von Schwerölen als Brennstoff in Zusammenhang zu bringen sind, stellen die illegalen Ölverklappungen der Brennstoffrückstände aus der

<sup>12</sup> GESAMP, 2007

Schwerölaufbereitung an Bord eine immer noch bestehende Gefahr für das marine Ökosystem sowie Seevögel und Küstenregionen dar. Der aus der Brennstoffaufbereitung an Bord stammende Ölschlamm in Größenordnungen von bis zu 2 % der Brennstoffmenge muss an Bord zwischengefagert werden und darf entsprechend internationaler Regeln erst an Land mit entsorgt werden.

Nicht alle Kapitäne halten sich an diese Regel und so kommt es immer wieder zu Ölverschmutzungen mit tausenden toten Seevögeln und verschmutzten Stränden als sichtbarem Zeichen.

Abbildung 3-3: Illegale Ölverklappungen in der Nordsee in der Zeit von 1998 bis 2004, Quelle: EU Kommission Joint Research Centre, SERAC Unit, MIDIV, 2005



Durch Luftaufklärung sind in der Zeit von 1998 bis 2004 insgesamt 4900 illegale Ölverklappungen allein in der Nordsee und im Englischen Kanal entdeckt worden. Die Dichte der aufgespürten Fälle ist direkt proportional zu den Flugstunden der Aufklärung, die von Jahr zu Jahr schwankt.

Allein im ersten Quartal dieses Jahres ist die deutsche Nordseeküste von 2 Ölverschmutzungen betroffen worden, die besonders die Inseln und insbesondere die zu dieser Zeit im Wattenmeer rastenden Trauerenten betroffen hat.

Möglicherweise ist dieses Problem mit günstigen Annahmestellen in den Häfen zu bekämpfen. Doch trotz der Verbesserung der Entsorgungssituation in den Häfen, wo jedes Schiff 30 % der Entsorgungsg Gebühr als Infrastrukturabgabe unabhängig von der Inanspruchnahme der Entsorgungsmöglichkeiten entrichten muss, kommt es immer noch zu illegalen Verklappungen. Offenbar fehlt es bei einigen Schiffsführungen an dem notwendigen Verständnis sowie einer angemessenen Strafverfolgung, so dass die illegale Ölentsorgung nach wie vor ein nicht unübliches Mittel zur Entsorgung der Brennstoffrückstände zu sein scheint.

Die Abschaffung von Schwerölen als Schiffsbrennstoff würde den Ausweg aus diesem Dilemma bereiten, weil bei der Verwendung von hochwertigen Destillatbrennstoffen keine oder nur geringe Mengen an Ölschlamm anfallen.

### 3.4 Belastung für das Klima

Schiffsemissionen emittieren in erheblichem Maße klimarelevante Stoffe. Sie treten vor allem in der bodennahen Schicht von ca. 1.5 km auf und sowohl die gasförmigen als auch die partikuläre Emissionsbestandteile beeinflussen die Strahlungsbilanz der Erde.

Table 3. Global burden of aerosol compounds considered in ECHAM5/MESSEy1-MADE and the contribution from international shipping in the model simulations using the three emission inventories A (Eyring et al., 2005), B (Dentener et al., 2006), and C (Wang et al., 2007).

Compound	Inventory A		Inventory B		Inventory C	
	Atmospheric Burden (Tg)	Contribution of Shipping (%)	Atmospheric Burden (Tg)	Contribution of Shipping (%)	Atmospheric Burden (Tg)	Contribution of Shipping (%)
SO <sub>4</sub>	1.531	3.6	1.511	2.3	1.511	2.3
NH <sub>4</sub>	0.366	1.4	0.365	0.9	0.365	0.9
NO <sub>3</sub>	0.146	0.2	0.146	0.1	0.150	2.3
H <sub>2</sub> O	17.881	1.0	17.764	0.4	17.841	0.6
BC	0.119	0.4	0.122	1.4	0.119	0.8
POM	1.040	0.1	1.047	0.1	1.050	1.1
Sea Salt	3.568	-	3.582	-	3.559	-
Mineral Dust	9.042	-	9.045	-	9.044	-

Abbildung 3-4: Quantifizierung des Beitrages von Schiffsemissionen zur Gesamtbelastung der Atmosphäre, Quelle: Lauer et. al., 2007

Die chemische und physische Komposition der Atmosphäre wird durch den massiven Eintrag der Luftschadstoffe auch aus dem Seeverkehr verändert. Die Effekte, die durch die Luftschadstoffe beobachtet werden konnten, beziehen sich sowohl auf ihre direkten Eigenschaften als auch auf ihre indirekten Eigenschaften.

Indirekt beeinflussen die Aerosole durch die Veränderung von Wolkeneigenschaften und künstliche Wolkenbildung. Schiffsemissionen tragen ungefähr 17 – 39 % zu den gesamten anthropogenen indirekten Aerosoleffekten bei<sup>13</sup>.

Während die direkten Aerosoleffekte bereits hinreichend untersucht worden sind, gibt es für die indirekten Aerosoleffekte bislang nur grobe Abschätzungen.

#### 3.4.1 Direkte Effekte

Die Anreicherung der Atmosphäre mit Aerosolen trägt zu einer verstärkten Streuung bzw. Absorption der einfallenden Sonnenstrahlung durch Kohlenstoffoxide, Kohlenwasserstoffen, Ozon, Sulfate, Nitrate und Ammoniak und Wasserdampf bei. Zusätzlich tragen

<sup>13</sup> Lauer et.al. 2007

Stickoxide (NOx), Schwefeloxide (SOx) und Feinstaub zur Bildung von bodennahem Ozon bei.

CO<sub>2</sub>-Emissionen vom Seeverkehr tragen zwischen 1,5 – 3% zur globalen CO<sub>2</sub>-Bilanz bei. Obwohl Seeschiffe im Vergleich mit anderen Verkehrsträgern den geringsten CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf den Tonnenkilometer gerechnet haben, sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Seeschiffahrt höher als alle Treibhausgasemissionen der Anhang 1 - Unterzeichnerstaaten des Kyoto-Protokolls<sup>14</sup>.

Der gegenwärtige CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre trägt mit ca. 1,532 W/m zur Erwärmung der Atmosphäre bei. Die Treibhausgasemissionen der Schifffahrt durch CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> und CH<sub>4</sub> tragen zwischen +0,16 bis + 0,58 W/m zur Erwärmung bei<sup>15</sup>.

NOx – Emissionen tragen vor allem zur Bildung von bodennahem Ozon bei, der Klimaeffekt von Stickoxiden wird mit dem von CO<sub>2</sub> gleichgesetzt<sup>16</sup>.

SOx – Emissionen von Schiffen machen ca. 2,3 % - 3,6 % der gesamten anthropogenen Schwefeloxidemissionen aus. In der unteren Atmosphärenschicht von 1,5 km in der Nähe von Schifffahrtsrouten beträgt der schiffsinduzierte SOx-Anteil ca. 30 – 40 %. Schwefeloxide haben durch ihre strahlungsreflektierende Eigenschaft einen erheblichen abkühlenden Effekt.

Ruß führt durch Absorption der Strahlung zu einem leichten Erwärmungseffekt. Der Anteil von schiffsinduzierten Russpartikeln in der unteren Atmosphäre beträgt jedoch nur 0,4 – 1,4 %. Diese direkte negative Beeinflussung der Strahlungsbilanz kann bis zu –0,25 W/m betragen.

<sup>14</sup> ICCT, 2007

<sup>15</sup> Lauer et.al., 2007

<sup>16</sup> ICCT, 2007

### 3.4.2 indirekte Aerosoleffekte

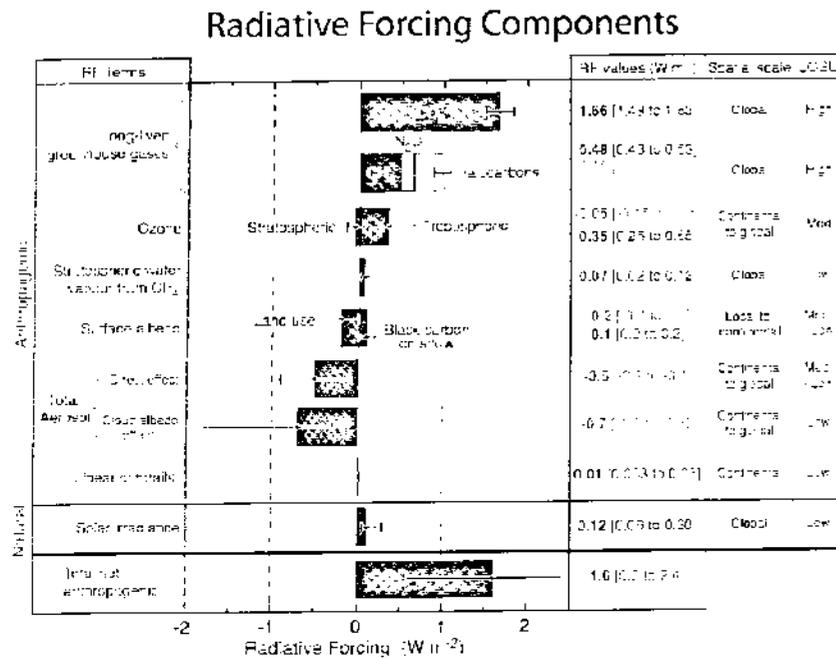
Schiffsemissionen sind auch an künstlicher Wolkenbildung beteiligt. Die Emissionsbestandteile wirken dabei als Kondensationskerne für die Luftfeuchtigkeit.

Der abkühlende Effekt dieser künstlichen Wolken wird auf –0,012 W/m bis –0,038 W/m geschätzt. Die Reflexion durch Aerosole wirkt sich mit ca. –0,009 W/m bis –0,014 W/m aus.

Der erwärmende Effekt von schiffsinduziertem CO<sub>2</sub> ist gleich dem landbasierten CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Aufgrund der erwarteten Zunahme des Seeverkehrs ist davon auszugehen, dass in Zukunft der erwärmende Effekt des schiffsinduzierten CO<sub>2</sub> zunehmen wird. Weiterhin wird durch die Reduzierung des Schwefelanteils in den Schiffsbrennstoffen die Strahlungsbilanz positiv beeinflusst. Weiterführende Untersuchungen haben belegt, dass für diese insgesamt negative Bilanz zu 75 % der SOx-Gehalt in den Emissionen verantwortlich ist.

Wenn der Schwefelanteil in Schiffsbrennstoffen sinkt, bleibt der positive Effekt auf die Strahlungsbilanz durch die in den Schiffsemissionen enthaltene Treibhausgase CO<sub>2</sub>, bestehen, während der negative Strahlungseffekt durch Aerosole und künstliche Wolken stark abnehmen wird. Wegen der überwiegenden Interessen der Luftreinhaltung und der Verminderung der Versauerung durch Schiffsemissionen, kann die weitere Verwendung von schwefelhaltigen Schiffsbrennstoffen jedoch nicht als eine geostrategische Methode zur Minderung der Erderwärmung in Erwägung gezogen werden.

Abbildung 3-5: Quantifizierung des Einflusses von Atmosphärischen Komponenten auf die gesamte Strahlungsbilanz, Quelle: Bäumer, 2008 aus IPCC, 2007



Schiffsemissionen in der Atmosphäre ist negativ, das heißt die Summe der derzeitigen Emissionen wirken leicht abkühlend. Der globale Wert der negativen Strahlungsbilanz insgesamt liegt je nach gerechnetem Szenario zwischen  $-0,19 \text{ W/m}^2$  und  $-1,22 \text{ W/m}^2$ <sup>17</sup>.

### 3.4.3 Belastung für die Gesundheit

Die gesundheitlichen Belastungen durch Feinstaub werden schon seit Jahren für eine ganze Reihe von körperlichen Beschwerden verantwortlich gemacht<sup>18</sup>.

**SOx** Reizungen der Atemwege mit Unwohlsein und Husten, Atmungsprobleme bei Asthmatikern, Verschärfung von Herz-Kreislauferkrankungen, deutlicher Zusammenhang zwischen Herz-Kreislauf und Atemwegsbedingten Sterberaten und der Feinstaubbelastung

**Stickoxide** Reizungen der Augen und Atemwege die zu asthmatischen Reaktionen führen können, Stickoxidverbindungen können Zellveränderungen hervorrufen und wirken krebsfördernd

**Ozon** Reizungen und Entzündungen der Atemwege, Verschärfung asthmatischer Probleme und Anfälligkeit für Atemwegserkrankungen, Verminderung der Lungenfunktion, führt zu einer irreversiblen Veränderung der Lungenstruktur mit Auswirkungen auf chronische Atemwegserkrankungen

**Ruß** Verminderung der Lungenfunktion, Verstärkung von Atemwegserkrankungen, wird mit frühzeitigem Tod sowie einer erhöhten Sterberate durch Lungenkrebs und Herz-Lungen-Erkrankungen in Verbindung gebracht

**flüchtige Gase** kurzzeitig: Reizungen der Augen und Atemwege, Kopfschmerzen, Verlust der Koordination, Verstärkung asthmatischer Beschwerden  
langfristig: kann zu Schädigung der Nieren- und Leberfunktion führen, einer Schädigung des Zentralnervensystems und Krebs führen

Die Schwere der Beeinträchtigungen hängt im wesentlichen von der Dauer der Exposition sowie von der Konzentration der Schadstoffe ab.

<sup>17</sup> Lauer et al., 2007

<sup>18</sup> WHO, 2003

Tabelle 3-2: Gesundheitseffekte durch Feinstäube kleiner als 2,5µm;  
Quelle: Acid Rain

Table 1. Estimated health damage due to PM<sub>2.5</sub> in the EU 2000 and through implementation of current legislation (CLE) 2020. Source: EC 2005c.

Health effect	Units (1000s)	2000	2020 CLE
Mortality - long-term exposure	Life years lost	3 819	2 467
Mortality - long-term exposure	Premature deaths	348	272
Infant mortality	Cases	0 63	0 35
Chronic bronchitis	Cases	164	128
Respiratory hospital admissions	Cases	62	42
Cardiac hospital admissions	Cases	38	26
Restricted activity	Days	347 700	222 000
Respiratory medication use, children	Days	4 200	2 000
Respiratory medication use, adults	Days	27 700	20 900
Lower respiratory symptoms (LRS), children	Days	192 800	88 600
LRS, adults with chronic disease	Days	285 300	207 600

Während die norddeutsche Küstenregion im größten Teil des Jahres von einem natürlichen hohen Luftaustausch profitiert, kann es jedoch bei ungünstigen meteorologischen Verhältnissen durch Inversionswetterlagen sowie im unmittelbaren Hafengebiete und dessen unmittelbarem Umfeld zu deutlich höheren Konzentrationen kommen. Aus gesundheitlicher Sicht gibt es keine Wirkschwelle für Feinstäube. Die einfache Formel heißt deshalb, je mehr Feinstaub desto größer die schädigende Wirkung.

Vor allem die sehr kleinen Fraktionen PM<sub>2.5</sub> mit einer Größe bis zu 2,5 µm werden mit erhöhter Sterblichkeitsrate und vermehrten Krankenhausaufenthalten aufgrund von Herz-Lungen-Erkrankungen in Verbindung gebracht.

Schiffsemissionen werden nach Untersuchungen von Corbett<sup>19</sup> für 60.000 Todesfälle pro Jahr weltweit verantwortlich gemacht, wovon allein ein Drittel auf Europa entfällt.

<sup>19</sup> Corbett et.a., 2007

Untersuchungen über erhöhte Sterblichkeitsraten bei Seeleuten, insbesondere der im Maschinendienst eingesetzten Besatzungsmitgliedern, liegen bislang nicht vor. Auch gibt es bis heute keine umfassenden Untersuchungen der Umgebungsluft in Maschinenräumen, insbesondere im Bereich der Einrichtungen mit erhöhter Brennstofftemperatur (Separatoren, Vorwärmer, Einspritzpumpen usw.).

#### 4 Rechtlicher Rahmen

Derzeit unterliegt die Regelung der Schiffsemissionen gravierenden Umstrukturierungen. Während langer Jahre der weitgehenden Leise-Fair-Haltung gegenüber den Schiffsemissionen, sind jetzt tief greifende Schritte sowohl von der EU als auch der IMO in Angriff genommen worden.

##### 4.1 Internationale Maritime Organisation

Der derzeitige Revisionsprozess des MARPOL Annex VI kann im Gegensatz zu der bisherigen als träge angesehenen Arbeitsweise der IMO sehr schnell umgesetzt werden.

Änderungen der technischen Anhänge können mit einer stillschweigenden Zustimmung, der so genannten „tacit amendment procedure“ angenommen werden. Dieses Vorgehen beinhaltet eine 6-monatige Veröffentlichungsphase des Beschlusses. Nach Ablauf dieser Frist kann der Beschluss durch das MEPC verabschiedet werden. Mit der Verabschiedung beginnt die ebenfalls 6-monatige Widerspruchsfrist. Werden während der Widerspruchsfrist keine Einwände erhoben, beginnt die 12-monatige Implementierungsphase.

Mit dem Beschluss auf der 57. MEPC-Sitzung hat nun also die Veröffentlichungsphase begonnen. Wird dieser Beschluss auf der 58. MEPC-Sitzung im Oktober verabschiedet, beginnt die Widerspruchsfrist bis April 2009. Sollte in dieser Zeit kein Widerspruch gegen den Beschluss erhoben worden sein, beginnt die 12-monatige Implementierungsphase bis April 2010.

#### 4.1.1 Revision des MARPOL Annex VI

Der derzeitige Revisionsprozess zum MARPOL Annex VI beinhaltet, bezogen auf Schwefel, folgenden Beschluß der 57. MEPC-Sitzung vom April 2008, die im Oktober 2008 auf der 58. MEPC-Sitzung noch verabschiedet werden muß:

1. Verschärfung der SECA-Regelung
  - ab März 2010 in SECAs 1,0%
  - ab Januar 2015 in SECAs 0,1%
2. Absenkung des weltweit zulässigen Schwefelgrenzwertes
  - ab Januar 2012 max. 3,5 % weltweit
  - weitere Absenkungen auf 0,5 % weltweit bis 2020

Die erforderlichen Abgaswerte können auch durch die Anwendung von Abgasreinigungssystemen wie z.B. mit Scrubbern erreicht werden, was einen weiteren Gebrauch von Schweröl ermöglicht.

Im Jahr 2018 will die IMO die Verfügbarkeit von Destillatbrennstoffen noch einmal überprüfen. Abhängig von dem Ergebnis könnte das 2020-Ziel dann auf 2025 verschoben werden.

Im Zusammenhang mit der Revision des MARPOL Annex VI sind auch die Stickoxidemissionen neu geregelt worden.

Es ist ein dreistufiges System für neue Maschinen beschlossen worden

Tier I: gilt für alle Maschinen deren Baujahr zwischen 1.1.2000 und 1.1.2011 liegt, der Grenzwert ist 17 g/kWh

Tier II: gilt für alle Maschinen deren Baujahr nach dem 1.1.2011 liegt max. 14,4 g/kWh  
(Erreichung durch bestverfügbare innermotorische Lösungen, Reduktionspotential von 15 – 25 % in Abhängigkeit vom Maschinentyp)

Tier III gilt für alle Maschinen deren Baujahr nach dem 1.1.2016 liegt max. 3,4 g/kWh für Schiffe die sich innerhalb eines Emissionskontrollgebietes aufhalten, außerhalb dieser Gebiete gilt der Tier II Standard von max. 14,4 g/kWh

#### Bestehende Anlagen

Für Maschinen mit einer Leistung > 5,000 kW gilt der Grenzwert von 17,0 g/kWh

Diese Regelung bedeutet, dass in Schwefelkontrollgebieten, der Schwefelgrenzwert von Schiffen mit Baujahr nach 2016 nur durch den Einsatz schwefelarmer Destillatbrennstoffe erreicht werden kann, weil die hier ebenfalls geforderten NOx-Grenzwerte für neue Anlagen nur mit entsprechenden NOx-Filteranlagen erzielt werden können.

Bislang können Schwefelfilteranlagen wie Scrubbern noch nicht mit NOx-Filtern, den so genannten SCR-Anlagen kombiniert werden, deshalb müssen diese Schiffe zur Einhaltung der SOx-Grenzwerte Destillatbrennstoffe verwenden. Den Betreibern bestehender Anlagen mit einer Antriebsleistung über 5000 kW steht die Wahl der Mittel zur Erreichung des Schwefelabgaswertes jedoch frei.

Außerhalb dieser noch auszuweisenden Emissionskontrollgebiete ist der Einsatz von Schweröl in Kombination mit einem Abgaseinigungssystem für Schwefel nach diesem Beschluss zulässig und technisch möglich.

Mögliche weitere SECAs sind im Mittelmeer und dort u.U. nur im europäischen Teil und in einigen Teilen Asiens vorstellbar.

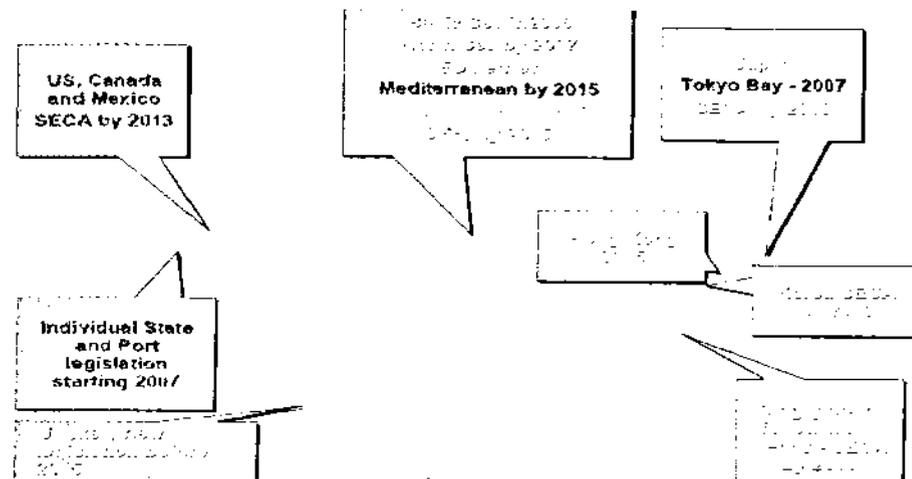


Abbildung 4-1: Bestehende und mögliche weitere SECA-Gebiete, Quelle: ECN, 2007

Wie sich diese Revision des Annex VI in der Praxis auswirken wird, bleibt abzuwarten. Es wird im Wesentlichen davon abhängen, ob die Schiffe sich ausschließlich in SECAs bewegen, ob weitere SECAs beispielsweise im Mittelmeer, Indonesien und China dazukommen oder ob die Schiffe außerhalb von noch auszuweisenden Emissionskontrollgebieten (ECAs) fahren. Falls keine revolutionären maschinentechnischen Neuerungen entwickelt werden, müssen alle neuen Schiffe mit einem Baujahr ab 2016 ohnehin mit SCR-Anlagen ausgerüstet sein und sind damit nach bisherigem Stand der technischen Entwicklung gezwungen Destillat zu fahren. Es wird von einer globalen Erneuerungsrate der Flotte mit ca. 4 %<sup>20</sup> ausgegangen.

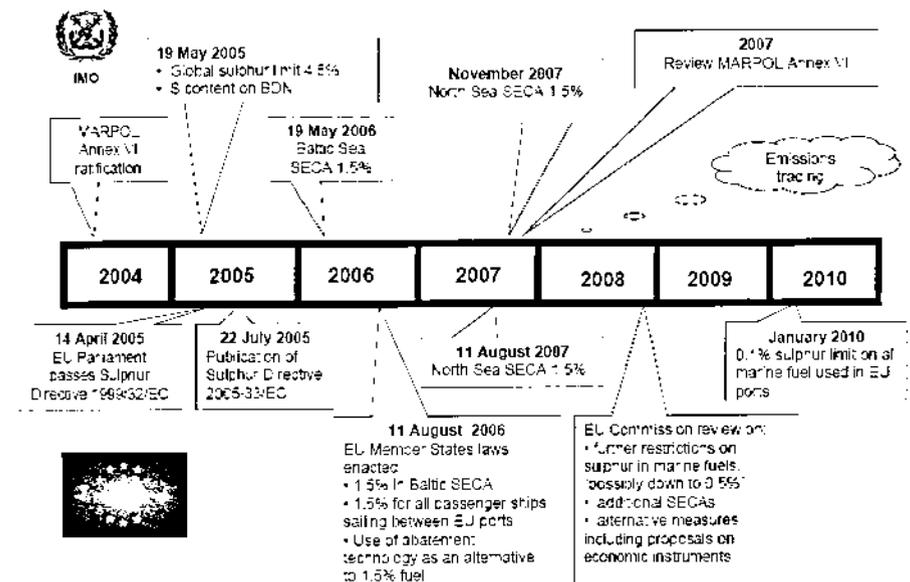
#### 4.2 Europäische Ebene

Der europäische Focus liegt derzeit auf der Reduktion von SOx und Feinstaub (PM), weil diesen Luftschadstoffen ein besonders starker Einfluss auf die Versauerung von Landökosystemen und gesundheitsgefährdende Luftverschmutzung zugerechnet wird. So besteht die Forderung, die Schiffsemissionen in der National Emission Ceiling Directive (RL 2001/81/EG) mit zu berücksichtigen.

<sup>20</sup> MEPC 57/4/38

Zusätzlich sind Planungen für die Einbeziehung der Schifffahrt in den CO<sub>2</sub>-Emissionshandel bereits seit April 2007 mehrfach durch Mitglieder der EU-Kommission angekündigt worden<sup>21</sup>.

Abbildung 4-2: Übersicht über internationale und europäische Regulierung der Schiffsemissionen, Quelle: SEAaT



#### 4.2.1 RL 2005 / 33 / EG – Schwefelrichtlinie

In der RL 2005/33/EG Absatz 4a ist die Umsetzung der SECA-Bestimmungen für die Ost- und Nordsee mit einem maximal zulässigen Schwefelgehalt von 1,5% aus MARPOL Annex VI abgeleitet worden.

Im Abs. 4b heißt es, dass für alle Schiffe während der Liegezeit in EU-Häfen von 2010 ein maximaler Schwefelgehalt von 0,1 % vorgeschrieben ist sowie für alle Destillate, die in der EU verkauft werden. Alternativ zur Verwendung von diesen extrem niedrigschwefeligen

<sup>21</sup> <http://www.euractiv.com/de/verkehr/eu-will-schifffahrtsemissionen-begrenzen/article-163232>

gen Destillaten ist die Verwendung von Landstrom während der Hafenliegezeit für Schiffe, die länger als 2 Stunden im Hafen liegen.

Diese strengeren Schwefelregularien gelten auch für Binnenschiffe, die ab 2010 ausschließlich mit 0,1 %-igem Brennstoff fahren dürfen. Ausgenommen sind Fluss-See-Schiffe, wenn sie den Binnenbereich verlassen haben.

Ausnahmen gelten für die entlegenen Gebiete außer Griechenland, das eine 2 jährige Übergangsfrist für 16 namentlich genannte Schiffe erreicht hat<sup>22</sup>.

Alternativ wird die Möglichkeit untersucht, Abgasreinigungssysteme als gleichwertig mit hochwertigen Brennstoffen zu bewerten, wenn der SO<sub>x</sub>-Gehalt geringer als 6 g/kW/h ist.

#### 4.3 Regelungsrahmen - nationale Ebene

Auf nationaler Ebene sind aufgrund der weitgehend international zu regelnden Schifffahrt die legislativen Spielräume sehr eingeschränkt.

##### 4.3.1 Küstenmeer und AWZ

Generell gilt nach UNCLOS Artikel 17 sowohl in der AWZ als auch im Küstenmeer das Recht auf „freie Durchfahrt“. Im Fall der Bedrohung souveräner Rechte des Küstenstaates ist das Recht auf Freiheit der Schifffahrt eingeschränkt. Demnach genießt der Küstenstaat innerhalb der AWZ bis einschließlich des Festlandsockels eingeschränkte souveräne Rechte.

In der AWZ hat der Küstenstaat nach UNCLOS Art. 56 Abs. 1 a) souveräne Rechte bezüglich der Ausbeutung natürlicher Ressourcen, aber nach Abs. 1.b) iii auch hoheitliche Befugnisse zum Schutz der Meere und der Bewahrung der Meeresumwelt.

**Der Küstenstaat kann im Küstenmeer und der Anschlusszone auch nach Artikel 21 Abs. 1. f) Gesetze und Vorschriften zur Verhütung, Verringerung und Überwachung der Verschmutzung erlassen, solange diese sich nach Abs. 2 nicht auf den Entwurf, den Bau und Bemannung der fremden Schiffe erstrecken.**

Einschränkend gilt, dass die Nutzung der souveränen Rechte der Küstenstaaten in der AWZ und der 12-Meilen-Zone nur dann zulässig ist, wenn sie keine unverhältnismäßige Beeinträchtigung der Schifffahrt anderer Flaggen bedeutet (UNCLOS Artikel 24 Abs. 1 a)).

**Für das Einlaufen in ihre inneren Gewässer und Häfen können die Küstenstaaten nach UNCLOS §211 Abs. 3 eigenen und fremden Schiffen besondere Bedingungen zur Verhütung, Verringerung und Überwachung der Verschmutzung der Meeresumwelt auferlegen.**

Diese Bedingungen müssen ordnungsgemäß bekannt gemacht und der zuständigen internationalen Organisation mitgeteilt werden.

Unterstützend gelten auch hier die Vorgaben nach Artikel 212 Abs. 1u.2 UNCLOS, der den Flaggenstaaten nahe legt, Grenzwerte und Regularien für seine eigenen Schiffe einzuführen, die zu einer Reduktion von Luftschadstoffemissionen in ihrem hoheitlichen Luftraum und durch die eigenen flaggenführenden Schiffe führt<sup>23</sup>.

Durch diese sehr engen Vorgaben durch das Völkerrecht sind die Möglichkeiten eines Küstenstaates die Umweltverschmutzung durch die Schifffahrt zu regeln auf das Setzen ökonomischer Anreizsysteme für Schiffe zur die Einhaltung von Grenzwerten beschränkt. Dies kann auch nur für Schiffe gelten, die die Häfen dieses Küstenstaates anlaufen.

Die konkrete Regelungsmöglichkeit des Küstenstaates besteht lediglich gegenüber Schiffen der eigenen Flagge. Aufgrund der hohen Anteile deutscher Eigner an der Welthandelsflotte, aber der vergleichsweise geringen Anzahl an Schiffen unter deutscher Flagge, auf die nationale Regelungen ausgedehnt werden könnte, wäre eine ausschließlich nationale Regelung, wenig effektiv. Außerdem ist durch das Flaggenstaatesgesetz den Schiffsbetreibern jederzeit ein Wechseln der Flagge möglich, wodurch dem nationalen Zugriff auf die Schiffe entgangen werden kann.

<sup>22</sup> KOM(2002)595

<sup>23</sup> Meyer-Ohlendorf et.al., 2006

### 4.3.2 Innere Gewässer

Im Bereich der inneren Gewässer, den Hafenzufahrten und Häfen steht dem Küstenstaat entsprechend UNCLOS jedoch das volle hoheitliche Recht zu Einführung von Regelungen zu Emissionsminderung zu, solange diese sich nicht auf technische Vorschriften beziehen.

Durch Artikel 74 Abs. 1 Nr. 23 des Grundgesetzes wird dem Bund grundsätzlich die Gesetzgebungsbefugnis für die Erhebung von Entgelten für die Benutzung von Schifffahrtsstraßen zugestanden<sup>24</sup>.

Im Zusammenhang mit Regelungen im Hafen wird die aus dem internationalen Seerecht (Artikel 212 UNCLOS) abgeleitete Regelungskompetenz jedoch durch die Kompetenzordnung des Grundgesetzes auf die Ebene der Bundesländer gewiesen. Die einzelnen Bundesländer und Kommunen sind damit berechtigt, Hafengebühren nach Umweltschutzaspekten zu gestalten.

### 4.3.3 Rechtliche Bewertung ökonomischer Instrumente

An die Regelung zu Einschränkung des unbestrittenen Rechts auf freie Durchfahrt nach Artikel 21 könnte sich eine Emissionsabgabe anknüpfen lassen. Ebenso könnten gestaffelte Emissionsabgaben als ein souveränes Instrument eines Küstenstaates zur Durchsetzung seiner Interessen zum Schutz des Meeres entsprechend Artikel 56, angesehen werden. Die bisherige Rechtspraxis hat ein solches Vorgehen jedoch ausgeschlossen. Es ist auch zu bedenken, dass wenn die Emissionsabgabe wirkungsvoll gestaltet werden soll, sie in der Praxis tatsächlich als eine Beeinträchtigung der Schifffahrt wahrgenommen werden könnte. Eine solche Beeinträchtigung könnte unter Umständen bei einer voll wirksamen Anwendung eines Anreizsystems nach Artikel 24 wahrgenommen werden.

Um ein ökonomisches Anreizsystem mit dem internationalen Seerecht in den Küstengewässern und der AWZ konform zu gestalten, müsste es in der Wirkung nahezu gegen null gehen.

In den inneren Gewässern besitzt der Küstenstaat das volle Hoheitsrecht und kann damit den Zugang zu den eigenen Häfen an be-

<sup>24</sup> Meyer-Ohlendorf et.al., 2006

stimmte Bedingungen knüpfen (§211 Abs. 3) solange damit keine Diskriminierung von bestimmten Flaggen einhergeht. Mit Hinweis auf die Konkurrenz der Häfen der Nordrange untereinander ist ein solches Vorgehen bislang nicht in Betracht gezogen worden.

### 4.4 Regelungsrahmen – europäische Ebene

Für europäische Regelungen, die nur die inneren Gewässer der Küstenstaaten der Gemeinschaft betreffen, ist lediglich zu berücksichtigen, dass keine Einschränkungen der Dienstleistungsfreiheit im Seeverkehr entstehen. Doch selbst im Falle einer Berührung dieser subsidiären Dienstleistungsfreiheit, können Nutzungsentgelte mit der Schutzwürdigkeit des Umweltschutzzieles als zwingender Grund des Allgemeininteresses gerechtfertigt werden. Ein Beispiel für die Anwendung dieses Grundsatzes ist die Schwefelrichtlinie RL 2005/33/EG.

Die Besteuerung von Schiffsbrennstoffen, mit Hinblick auf die damit zwangsläufig verbundenen Emissionen ist aufgrund der Energiesteuerrichtlinie (RL 2003/96/EG Artikel 14 Abs. 1 c) sowohl im innergemeinschaftlichen als auch im internationalen Verkehr nicht möglich.

Bei Nutzungsentgelten in Abhängigkeit von der zurückgelegten Strecke oder der Reisezeit kann der unzulässige Zusammenhang mit dem Brennstoffverbrauch durch die Bindung an Zeit- bzw. Entfernungskategorien jedoch aufgehoben werden<sup>25</sup>.

Ein Beispiel für die Anwendung dieses Grundsatzes ist die Gebührenstaffelung für die Seewegsbenutzung in Schweden.

<sup>25</sup> ebd.

## 5 Fazit

Der Einsatz von Schweröl als Schiffsbrennstoff zieht erhebliche Beeinträchtigungen für die Meeresumwelt und die Luftqualität nach sich.

Der gegenwärtige Revisionsprozess des MARPOL Annex VI muss hinsichtlich der Auswirkungen der Splitterregelung, die quasi europakonforme Schiffe und die „andere“ Flotte zulässt, untersucht werden. Des Weiteren gilt es zu verhindern, dass der Einsatz von Schwefelwäschern (Scrubbern) unerwünschte ökologische Folgen für die Meeresumwelt mit sich bringt.

Die Möglichkeiten der Küstenstaaten, den Wechsel zu sauberen Treibstoffen zu befördern, liegen vor allem in dem Engagement zur schnellen Ausweisung der bestehenden SECAs zu ECAs.

Die Förderung der Versorgung mit Landstrom während der Hafensliegezeiten kann eine erhebliche Entlastung für die Hafenstadtbewohner und -arbeiter sowie eine Bereicherung für die Tourismusindustrie darstellen.

### 5.1 Ökologische Folgen des Scrubbereinsatzes untersuchen

In den jetzt schon bestehenden SECAs wird für die neuen Schiffe bzw. neuen Motoren ab dem Baujahr 2016 der Gebrauch von Destillatbrennstoffen unabdingbar sein, weil die strengen Stickstoffgrenzwerte nur mit einer entsprechenden Filteranlage erreicht werden können. Bestehende Anlagen können jedoch durch innermotorische Maßnahmen die von ihnen geforderten Stickstoffgrenzwerte einhalten. Für diese Anlagen besteht die Option Scrubber für die Eliminierung von SO<sub>x</sub> im Abgas einzusetzen.

Außerhalb der SECAs können die Schwefelgrenzwerte ebenfalls mit Scrubbern erreicht werden, weil hier auch für neue Schiffe die Stickoxidwerte ohne Filteranlage erreichbar sind.

Es muss bezweifelt werden, dass in der noch anstehenden kurzen Zeit ausreichend Scrubber zum Einbau zur Verfügung stehen. Zudem sind nicht alle Schiffe nachrüstbar.

Trotzdem ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht absehbar, wie sich der Markt entwickeln wird. Die noch anstehende Diskussion um Einleitekriterien für die Abwässer der Scrubberanlagen muss deshalb

sehr genau beobachtet werden. Es besteht die Gefahr, dass die Einleitung öligter Abwässer sich dadurch dramatisch erhöht, die zusätzliche Menge des an Bord anfallenden Ölschlammes aus den Scrubbern die Situation um die illegalen Ölverklappungen verschärft.

Die Einleitung schwefelhaltiger Abwässer könne die Versauerungssituation der oberen Meeresschichten vor allem entlang der stark befahrenen Küstenrouten weiter ungünstig beeinflussen.

Ebenso ist noch der Zusammenhang zwischen Schwefeleinleitungen, der Veränderung des Meereschemismus und evtl. Umweltfolgen zu untersuchen.

### 5.2 Möglichkeiten des Landstromeinsatzes prüfen

Vor allem die kleineren Häfen der niedersächsischen und schleswig-holsteinischen Küste befinden sich in Regionen mit besonderem touristischem Wert. In diesen Häfen sind häufig wiederkehrende Verkehre mit zum Teil längeren Liegezeiten zu verzeichnen. Weil die Häfen und Liegeplätze häufig mit zu den touristischen Attraktionen gehört, ist es von besonderer Bedeutung dort die Luftqualität im Sinne einer Erhöhung der Attraktivität des Nahbereiches der Hafenanlagen, zu erreichen.

### 5.3 Ausweisung der Nord- und Ostsee als ECA

Durch den Revisionsprozess des MARPOL Annex VI hat sich die Möglichkeit eröffnet, Emissionsschutzgebiete zusätzlich zu Schwefel- auch Stickstoff- und Feinstaubkontrollgebieten auszuweisen. Aufgrund der starken Belastung der Nord- und Ostsee mit Nährstoffen sollten diese Gebiete umgehend als Stickstoffkontrollgebiete ausgewiesen werden, so dass hier ein Stickstoffgrenzwert von 3,4 g/kWh für alle Schiffe gilt.

## 6 Literatur

**BLG 10/14/13; 2006:** Review of MARPOL Annex VI and the NOx Technical Code, Strengthening Annex VI Limits for Shipping Emissions of Air Pollution, Submitted by Friends of the Earth International (FOEI), 26.1.2006

**BLG 12/6/1; 2007:** REVIEW OF MARPOL ANNEX VI AND THE NOx TECHNICAL CODE.

Report on the outcome of the Informal Cross Government/Industry Scientific Group of Experts established to evaluate the effects of the different fuel options proposed under the revision of MARPOL Annex VI, 20 December 2007

**BLG-WGAP 1/2/5; 2006:** Revision of MARPOL Annex VI, The NOx Technical Code and Related Guidelines, Proposed amendments to MARPOL Annex VI, Submitted by INTERTANKO, 17.10.2006

**Breyer, H., Hochhaus, K-H., et al, 1998:** „Brennstoffsysteme“, Handbuch der Werften 1998

**CIMAC, 1990:** International Council on Combustion Engines, “Recommendations regarding Fuel Requirements for Diesel Engines” No. 11-1990

**CONCAWE, Larivé J.-F., o.J.:** Impact of potential changes in marine fuels on EU refineries, o.J.

**CONCAWE, 1999:** Best available techniques to reduce emissions from refineries, Air and Water Quality Management Group, Report Nr. 99/01, Mai 1999

**Corbett, J.; Winebrake, J.; Green, E.; Kasibhatla, P.; Eyring, V.; Lauer, A.; 2007:** Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment; Environmental Science and Technology 41 (24):8233-8239

**GESAMP; 2007:**

(IMO/FAO/UNESCO/IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection): Estimates of oil entering the marine environment from sea-based activities. Rep. Stud. GESAMP No. 75, 96 pp.

**Grieken, R; et. al.; 2007:** Atmospheric Input into the North Sea: Inorganic and Organic Nutrient Fluxes, Summary Report for OSTC, Antwerpen, July 2007

**Douvier, W.; 2004:** MARPOL Technische Möglichkeiten, rechtliche und politische Grenzen eines internationalen Übereinkommens, Dissertation Universität Bremen, Januar 2004

**ECN, 2007:** Quick Scan of the Economic Consequences of Prohibiting Residual Fuels in Shipping, Energy Research Centre of the Netherlands, Juli 2007

**Fearnley's; 2005:** Fearnley's annual review 2005, Fearnresearch 2006

**ICCT; 2007:** Air Pollution and Greenhouse Gas Emissions from Ocean-going Ships: Impact, Mitigation Options and Opportunities for Managing Growth, International Council on Clean Transportation, March 2007

**ICF; 2006:** Current Methodologies and Best Practices in Preparing Port Emission Inventories, ICF Consulting, Fairfax, Virginia 22031, USA, April 2006

**Isensee, J.; 1996:** Energieverbrauch und Schadstoffemissionen – ein Vergleich zwischen Schiffen und anderen Transportfahrzeugen, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1996, Berlin

**Isensee, J.; Bertram, V.; 2004:** Quantifying external costs of emissions due to ship operation, Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 218 Part M: J. Engineering for the Maritime Environment, M3103, IMechE 2004

**ISO 8217:** Petroleum products – Fuels (class F) Specifications of marine fuels, 1996

Lauer, A.; Eyring, V.; Hendricks, J.; Jöckel, P.; Lohmann, U.; 2007: Global model simulations of the impact of ocean-going ships on aerosols, clouds, and the radiation budget, Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 2. July 2007

MEPC 57/4/38: Prevention of Air Pollution from Ships, Environmental effects of new emission limits in the amended MARPOL Annex VI, Submitted by Norway, 22.2.2008

Mevis, F.; 2007: Optimierung der Schiffsgeschwindigkeit unter Umwelt- und Kostenaspekten, Schiff & Hafen, Nr12, 4. Dez. 2007

OSPAR; 2006/07: Annual Report of the OSPAR Commission 2006/07, OSPAR Eutrophication Strategy

Shell, 2005: „What is heavy fuel oil?“, eine Darstellung über Rückstandsöle als Schiffsbrennstoffe (nicht veröffentlicht)

Shell Global Solutions, Dr. van den Berg, K. Schlame; o.J.: Jüngste Entwicklungen auf dem Gebiet der Marinekraftstoffe

MWV, 2007: Raffinerien/ Raffinerieprozesse, Foliensatz 2007, Teil D, Mineralölwirtschaftsverband

MWV, 2007: Mineralölbarometer, III Quartal 2007

MWV, 2008: Amtliche Mineralölstandards für die Bundesrepublik Deutschland, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle; 1.4.2008

Svenson, T.; 2007: Going green means size at lower speed, Tor E. Svensen, The Naval Architect, Sept. 2007

WBGU; 2006: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer, Sondergutachten, Berlin, 2006

WHO; 2003: Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide, Report on a World Health Organisation Working Group, Bonn 13 – 15.1.2003

7 Anhang I: Brennstoffspezifikationen ISO 8217

Residual fuels RMA 30 to RMF 180

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F-					Test method reference
			RMA 30	RMB 30	RMD 80	RME 180	RMF 180	
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	max.	960,0	975,0	980,0	991,0	991,0	ISO 3675 or ISO 12185
Kinematic viscosity at 50°C	mm <sup>2</sup> /s (a)	max.	30,0	30,0	80,0	180,0	180,0	ISO 3104
Flash point	°C	min.	60	60	60	60	60	ISO 2719
Pour point (upper) (b)	°C	max.	0	24	30	30	30	ISO 3016
- winter quality	°C	max.	6	24	30	30	30	ISO 3016
- summer quality	°C	max.	6	24	30	30	30	ISO 3016
Carbon residue	% (m/m)	max.	10	10	14	15	20	ISO 10370
Ash	% (m/m)	max.	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	ISO 6245
Water	% (V/V)	max.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	ISO 3733
Sulphur (c)	% (m/m)	max.	3,50	3,50	4,00	4,50	4,50	ISO 8754 or ISO 14596
Vanadium	mg/kg	max.	150	150	350	200	500	ISO 14597 or IP 501 or IP 470
Total sediment potential	% (m/m)	max.	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	ISO 10307-2
Aluminium plus silicon	mg/kg	max.	80	80	80	80	80	ISO 10478 or IP 501 or IP 470
Used lubricating oil (ULO)	mg/kg	max.	The fuel shall be free of ULO (d)					IP 501 or IP 470
- Zinc	mg/kg	max.						IP 501 or IP 500
- Phosphorus	mg/kg	max.						IP 501 or IP 470
- Calcium	mg/kg	max.						IP 501 or IP 470

Residual Fuels RMG 380 to RMK 700

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F-					Test method reference
			RMG 380	RMH 380	RMK 380	RMH 700	RMK 700	
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	max.	991,0	991,0	1010,0	991,0	1010,0	ISO 3675 or ISO 12185
Kinematic viscosity at 50°C	mm <sup>2</sup> /s (a)	max.	380,0	380,0	380,0	700,0	700,0	ISO 3104
Flash point	°C	min.	60	60	60	60	60	ISO 2719
Pour point (upper) (b)	°C	max.	30	30	30	30	30	ISO
- winter quality	°C	max.	30	30	30	30	30	ISO 3016
- summer quality	°C	max.	30	30	30	30	30	ISO 3016
Carbon residue	% (m/m)	max.	18	22	22	22	22	ISO 10370
Ash	% (m/m)	max.	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	ISO 6245
Water	% (V/V)	max.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	ISO 3733
Sulphur (c)	% (m/m)	max.	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	ISO 8754 or ISO 14596
Vanadium	mg/kg	max.	300	600	600	600	600	ISO 14597 or IP 501 or IP 470
Total sediment potential	% (m/m)	max.	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	ISO 10307-2
Aluminium plus silicon	mg/kg	max.	80	80	80	80	80	ISO 10478 or IP 501 or IP 470
Used lubricating oil (ULO)	mg/kg	max.	The fuel shall be free of ULO (d)					IP 501 or IP 470
- Zinc	mg/kg	max.						IP 501 or IP 500
- Phosphorus	mg/kg	max.						IP 501 or IP 500
- Calcium	mg/kg	max.						IP 501 or IP 470

(a) Annex C gives a brief viscosity-temperature table, for information purposes only. 1 mm<sup>2</sup>/s = 1 cSt  
 (b) Purchasers should ensure that this point is suitable for the equipment on board, especially if the vessel operates in both the northern and southern hemispheres.  
 (c) A sulfur limit of 1,5 % (m/m) will apply in SOx emission control areas designated by the International Maritime Organization, when its relevant protocol comes into force. There may be local variations.  
 (d) A fuel shall be considered to be free of ULO if one or more of the elements zinc, phosphorus and calcium are below or at the specified limits. All three elements shall exceed the same limits before a fuel shall be deemed to contain ULO.

BP Marine has added its own grade for 500 cSt and low sulphur fuels but using the ISO naming conditions:

- RMG 500 = RMG specification except viscosity maximum of 500 cSt at 50 C
- RME180 (SECA)
- RMG380 (SECA)

NB: (SECA) = The fuel grade nominated has a maximum sulphur level of 1.5% m/m in accordance with the International Maritime Organisation, Sulphur Emission Control Areas.

ISO 8217: 2005  
Standard for Petroleum products - Fuels (Class F) - Specifications of Marine Fuels

Marine Distillate Fuels						
Parameter	Unit	Limit	DMX	DMA	DMB	DMC
Density at 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	Max	-	890.0	900.0	920.0
Viscosity at 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	Max	5.5	6.0	11.0	14.0
Viscosity at 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	Min	1.4	1.5	-	-
Micro Carbon Residue at 10% Residue	% m/m	Max	0.30	0.30	-	-
Micro Carbon Residue	% m/m	Max	-	-	0.30	2.50
Water	% V/V	Max	-	-	0.3	0.3
Sulfur	% (m/m)	Max	1.0	1.5	2.0	2.0
Total Sediment Existent	% m/m	Max	-	-	0.10	0.10
Ash	% m/m	Max	0.01	0.01	0.01	0.05
Vanadium	mg/kg	Max	-	-	-	100
Aluminium + Silicon	mg/kg	Max	-	-	-	25
Flash point	°C	Min	43	60	60	60
Pour point, Summer	°C	Max	-	0	6	6
Pour point, Winter	°C	Max	-	-6	0	0
Cloud point	°C	Max	-16	-	-	-
Calculated Cetane index		Min	45	40	35	-
Appearance			Clear & Bright	-	-	-
Zinc <sup>2</sup>	mg/kg	Max	-	-	-	15
Phosphorus <sup>2</sup>	mg/kg	Max	-	-	-	15
Calcium <sup>2</sup>	mg/kg	Max	-	-	-	30

<sup>1</sup> A sulfur limit of 1.5% m/m will apply in SOx Emission Control Areas designated by the International Maritime Organization, when its relevant Protocol comes into force. There may be local variations.

<sup>2</sup> The Fuel shall be free of Used Lubrication Oil (ULO). A Fuel is considered to be free of ULO if one or more of the elements are below the limits. All three elements shall exceed the limits before deemed to contain ULO.

Source: ISO 8217 Third Edition 2005-11-01  
Petroleum products - Fuels (class F) - Specifications of marine fuels

## 8 Anhang II: Raffinerien in Deutschland

Raffinerie	BeBrenner	Anteil
Bayernoil Raffineriegesellschaft mbH Ingolstadt Rohölverarbeitungskapazität: 12,0 Mio t	Deutsche BP AG Agip Deutschland GmbH Ruhr Oel GmbH OMV AG	10% 20% 25% 45%
Buna SOW Leuna Olefinverbund GmbH Werk Böhlen	Dow Chemical	100%
Elbe Mineralölwerke Raffineriezentrum Hamburg-Harburg Hamburg Rohöldestillationskapazität: 5,1 Mio t	Shell Deutschland Oil GmbH	100%
Elbe Mineralölwerke Schmierstoffwerk Grasbrook Hamburg Schmierölkapazität: 0,33 Mio t	Shell Deutschland Oil GmbH	100%
Erdöl-Raffinerie Emsland Lingen (Ems) Rohöldestillationskapazität: 4,2 Mio t	Deutsche BP AG	100%
Erdölwerk Holstein Heide/Holstein Rohöldestillationskapazität: 4,5 Mio t	Shell Deutschland Oil GmbH	100%
Petroplus Raffinerie Ingolstadt Ingolstadt (Donau) Rohöldestillationskapazität: 5,0 Mio t	Petroplus Holdings AG	100%
Holborn Europa Raffinerie GmbH Hamburg Rohöldestillationskapazität: 4,65 Mio t	Holborn Investment Company Ltd.	
H & R Oelwerke Schindler Hamburg Netto-Einsatzkapazität zur Grundölherzeugung: 0,24 Mio. t	H & R WASAG AG	100%

Ökologische Auswirkungen von Schweröl als Schiffsbrennstoff

<b>H &amp; R Chemisch-Pharmazeutische Spezialitäten GmbH</b> Salzbergen Schmierölkapazität: 0,24 Mio t	H & R WASAG AG	100%
<b>MiRO Mineraloelraffinerie Oberrhein GmbH &amp; Co. KG</b> Karlsruhe Rohödestillationskapazität: 14,9 Mio t	Shell DEA Oil GmbH Esso Deutschland GmbH Ruhr Oel GmbH Conoco Continental Holding GmbH	32,25% 25,00% 24,00% 18,75%
<b>Mitteldeutsches Bitumenwerk GmbH</b> Webau Bitumenkapazität: 0,18 Mio t	Mitteldeutsches Bitumenwerk GmbH	100%
<b>OMV Deutschland GmbH</b> Burghausen Rohödestillationskapazität: 3,5 Mio t	OMV, Wien	100%
<b>PCK Raffinerie GmbH Schwedt</b> Schwedt Rohödestillationskapazität: 10,8 Mio t	Shell & DEA Oil GmbH Ruhr Oel GmbH AET-Raffineriebeteiligungsges. mbH	37,50% 37,50% 25,00%
<b>Rheinland Raffinerie</b> Werk Godorf, Köln Rohödestillationskapazität: 9,8 Mio t	Shell Deutschland Oil GmbH	100%
<b>Rheinland Raffinerie</b> Werk Wesseling Rohödestillationskapazität: 7,0 Mio t	Shell Deutschland Oil GmbH	100%
<b>Ruhr Oel GmbH</b> Gelsenkirchen Rohödestillationskapazität: 12,9 Mio t	Petróleos de Venezuela S.A. BP Refining and Petrochemicals GmbH	50% 50%

Ökologische Auswirkungen von Schweröl als Schiffsbrennstoff

<b>TOTAL Bitumen Deutschland GmbH &amp; Co.</b> Brunsbüttel-Ostermoor Bitumenkapazität: 0,57 Mio t	Total Deutschland GmbH	100%
<b>TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH (MIDER)</b> Spergau Rohödestillationskapazität: 11,1 Mio t	Total S.A. Paris	100%
<b>Wilhelmshavener Raffineriegesellschaft mbH</b> Wilhelmshaven Rohödestillationskapazität: 10,3 Mio. t	Conoco Continental Holding GmbH	100%

9 Anhang III Inermotorische Lösungen zur NOx-Reduktion

Measure	New engines		Pre-2000 Engines				
	NOx reduction potential	Additional construction costs	Applicability	NOx reduction potential	Effort for installation		Operational costs
					Time	Costs	
Injection timing	n/a	n/a	Limits due to thermal stress must be investigated.	10%	Adjustment during actual maintenance work based on manufacturer's instruction possible	No additional costs	Higher SFOC of up to 3%. Due to higher thermal stress less TEC for exhaust valve and turbo charger possible.
Injection nozzles	Not known different to 2-stroke engines	n/a	n/a				
Internal engine optimization <sup>1</sup>	up to 30%	up to 30%	Possibly applicable on Pre-2000 Engines with same design as post-2000 engines	Applicable to full extent same as new engine	Major conversion, depending on the extent of modification	Depending on the extent of modification	
Direct water injection	up to 50%	up to 20%	Case-by-case basis. Low sulphur fuel recommended (1.5%).	Applicable to full extent same as new engine	Conversion of the injection and control system. Installation of water treatment system, new cylinder heads.	Depending on the extent of modification	Higher SFOC of up to 4%. Energy consumption of water treatment.
Water-in-fuel injection	up to 30%	up to 10%	Case-by-case basis.	Applicable to full extent same as new engine	Conversion of the injection and control system. Installation of water treatment system.		Higher SFOC of up to 2%. Energy consumption of water treatment.
Intake air humidification	up to 40%	up to 15%	Case-by-case basis. Complete charge air system to be considered. Large air humidification units may prohibit the installation in existing engine rooms. Low sulphur fuel recommended (1.5%).	Applicable to full extent same as new engine	Major re-construction of the engine room necessary. Ducting necessary.	Estimation not possible	Higher SFOC of up to 3%.

Tabelle 9-1: Technische Modifikationen zu Reduktion von Stickoxidemissionen für 4-Takt-Motoren, die vor 2000 gebaut wurden, Quelle: EMSA/ GL, 2007

Measure	New engines		Pre-2000 Engines				
	NOx reduction potential	Additional construction costs	Applicability	NOx reduction potential	Effort for installation		Operational costs
					Time	Costs	
Injection timing	n/a	n/a	Limits due to thermal stress must be investigated.	limited	Adjustment during actual maintenance work based on manufacturer's instruction possible	No additional costs	increased SFOC Due to higher thermal stress less TEC for exhaust valve and turbo charger possible
Injection nozzles	n/a	n/a	To be verified for each engine model.	up to 20%	Installation during actual maintenance work engine re-adjustment necessary in most cases	Only if new nozzles are more expensive than former nozzles	Higher SFOC possible depending on required NOx reduction
Internal engine optimization <sup>1</sup>	up to 15%	up to 50%	Possibly applicable on Pre-2000 Engines with same design as post-2000 engines	if applicable to full extent same as new engine	Major conversion depending on the extent of modification	Depending on the extent of modification	
Direct water injection	up to 50%	up to 20%	As retrofit, measure advised; low sulphur fuel recommended (1.5%).	if applicable to full extent same as new engine	Conversion of the injector and control system. Installation of water treatment system	Depending on the extent of modification	Higher SFOC of up to 4%. Energy consumption of water treatment.
Water-in-fuel injection	up to 30%	up to 10%	Case-by-case basis.	if applicable to full extent same as new engine	Conversion of the injector and control system. Installation of water treatment system		Higher SFOC of up to 2%. Energy consumption of water treatment.
Intake air humidification	up to more than 40%	up to 15%	Case-by-case basis. Complete charge air system to be considered. Large air humidification units may prohibit the installation in existing engine rooms. Low sulphur fuel recommended (1.5%).	if applicable to full extent same as new engine	Major construction work of the engine room necessary. Ducting necessary.	Weeks, to be calculated on a case-by-case basis	Higher SFOC of up to 3%.

Tabelle 9-2: Technische Modifikationen zu Reduktion von Stickoxidemissionen für 2-Takt-Motoren, die vor 2000 gebaut wurden, Quelle: EMSA/ GL, 2007

# Anhang der farbigen Abbildungen

Abbildung 1-1 (S. 12)

	Libyen Zueitina	Großbrentanien Forties	Mittelost Agha Jazi	Mittelost Arabian Heavy	Mittelost Safaniya
Gase	1 %	3 %	2 %	2 %	2 %
Benzin	22 %	19 %	20 %	15 %	13 %
Mitteldestillate (z. B. Heizöl EL)	39 %	37 %	30 %	26 %	25 %
Schwere Produkte (z. B. schweres Heizöl, Bitumen)	38 %	41 %	48 %	57 %	60 %
Dichte g/ml	0,817	0,840	0,855	0,887	0,890
Schwefel Gew. %	0,21	0,30	1,40	3,00	2,80
Preis	steigend				

Abbildung 1-5 (S. 21)



Abbildung 1-6 (S. 25)

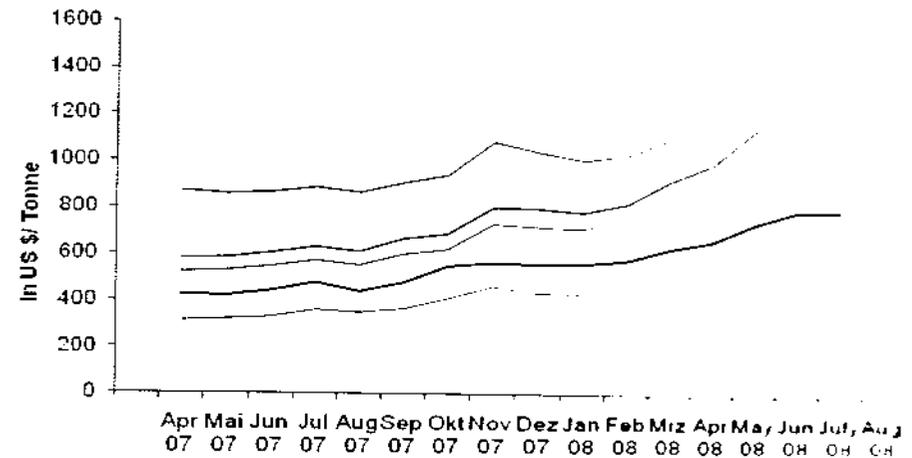


Abbildung 3-2 (S. 41)

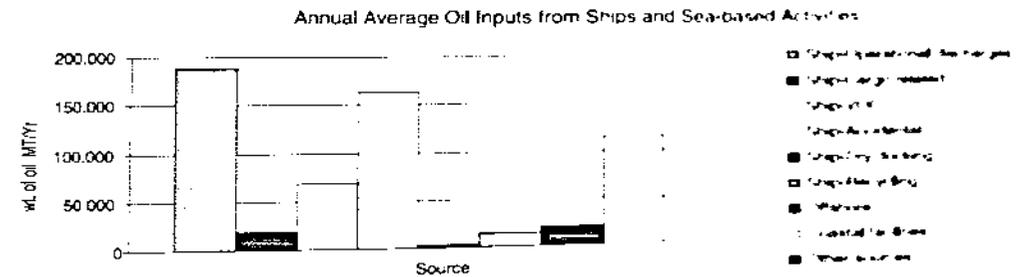


Abbildung 3-1 (S. 39)

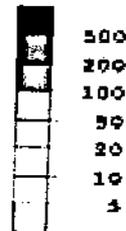
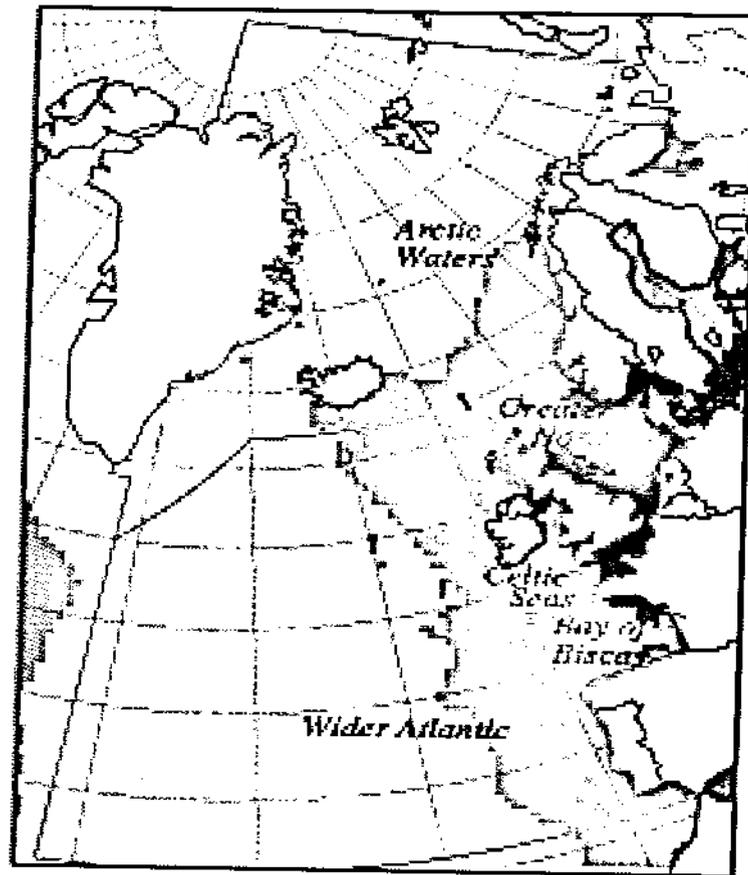
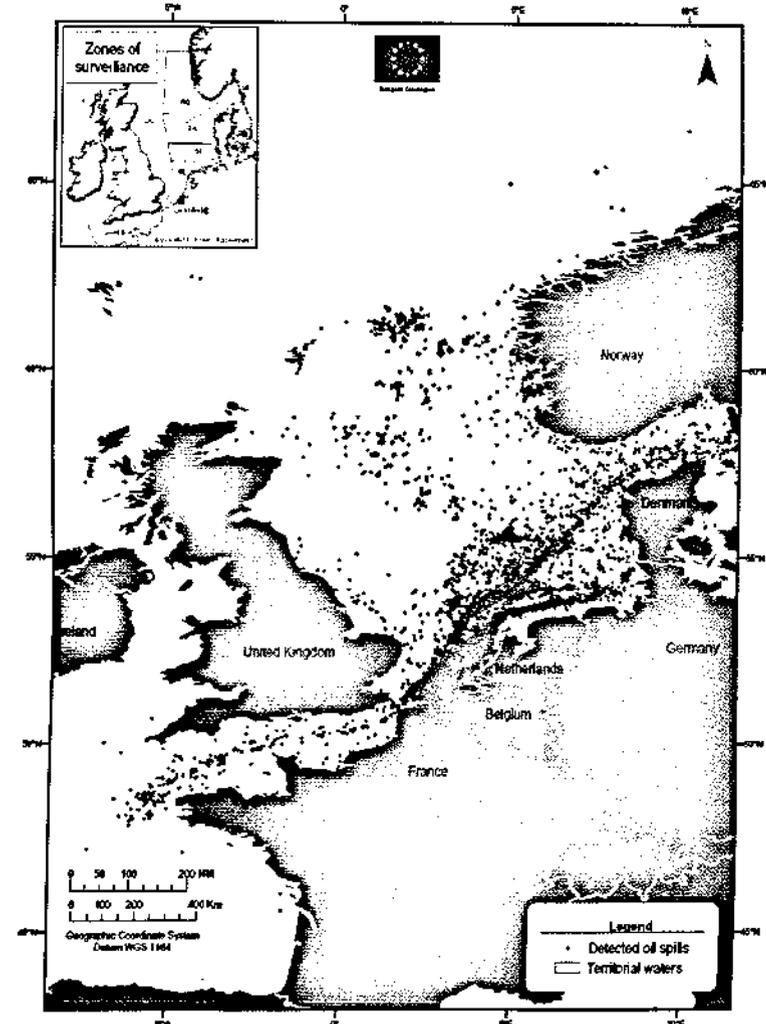


Abbildung 3-3 (S. 43)

Detected oil spills - Bonn Agreement - North Sea  
Years 1998 to 2004

From 1998 to 2004, as represented in this map, a total of 4000 oil spills were detected in the North Sea by the aerial surveillance of the members of the Bonn Agreement (Belgium, Denmark, France, Germany, Netherlands, Norway, Sweden, United Kingdom). Note that the density of spills is closely related to the amount of surveillance which varies from one area to the other.



More information can be found on the website of the Joint Research Centre - European Commission at <http://serac.jrc.it/midiv/>



The polymerization of vinyl monomers is a complex process involving several steps. The initiation stage is typically the most critical, as it determines the molecular weight and the distribution of the resulting polymer. In the presence of a radical initiator, the reaction proceeds through a series of propagation steps, where the growing radical chain reacts with monomer units to form a longer radical chain. This process continues until termination or chain transfer occurs, leading to the formation of a polymer with a specific molecular weight and structure.

The kinetics of the polymerization reaction can be described by the rate equations for the different stages. The rate of initiation is proportional to the concentration of the initiator, while the rate of propagation is proportional to the concentration of the growing radical chains and the monomer. The overall rate of polymerization is determined by the slowest step in the process, which is often the initiation step.

Several factors can influence the rate and the mechanism of the polymerization reaction. The nature of the monomer, the concentration of the initiator, the temperature, and the presence of inhibitors or chain transfer agents are all important parameters. Understanding the kinetics and mechanism of the polymerization reaction is essential for the design and optimization of industrial polymerization processes.