

DIE UMWELTAUSWIRKUNGEN DES SCHIFFSVERKEHRS

eine Studie von Ida-Maja Hassellöv

im Auftrag von

**Michael Cramer MdEP
Europäisches Parlament
Die Grünen/EFA**

ASP 08 G 104

60, Rue Wiertz

B-1047 Brüssel

Tel.: +32 2 28 45779

Fax: +32 2 28 49779

michael.cramer@europarl.europa.eu

www.michael-cramer.eu

Zusammenfassung

Die Umweltauswirkungen der Schifffahrt wurden lange Zeit vernachlässigt, und es gab in diesem Bereich keine Regelungen. Seit Beginn dieses Jahrhunderts bestehen jedoch weltweit Befürchtungen, dass auch die Schifffahrt zum Klimawandel und zur Umweltverschmutzung beiträgt, weshalb sie jetzt strengere Vorschriften zu gewärtigen hat, insbesondere was die NO_x-, SO_x- und CO₂-Emissionen von Schiffen betrifft. Höchstwahrscheinlich werden demnächst auch die Emissionen von Partikeln (PM) geregelt. Es stehen jedoch keine Patentlösungen zur Verfügung, mit denen Nachhaltigkeit auch in der Schifffahrt erreicht werden kann, sodass die Schiffseigner auch bei künftigen Regelungen nicht genau wissen werden, in welche Techniken sie in Zukunft investieren sollen. Allerdings ist hinlänglich bekannt, dass keine neue Technologien erforderlich sind, um den Kraftstoff(Energie-)verbrauch wirksam zu senken und die Emissionen eines Schiffes entsprechend zu verringern: Mit einer geringeren Fahrtgeschwindigkeit kann der Kraftstoffverbrauch schätzungsweise um bis zu 40 % gesenkt werden. Diese Methode lässt sich bei Verbringungen anwenden, bei denen über die Lieferzeiten verhandelt werden kann.

Aufgrund des internationalen Zuschnitts der Schifffahrt ist die Einführung von Regelungen schwierig. Obgleich sich die meisten Experten darüber einig sind, dass weltweit greifende Ansätze verfolgt werden müssten, ist dies häufig fast unmöglich. Bislang dauerte es lange, bis die von der Internationalen Schifffahrtsorganisation (IMO) angenommenen Vorschriften umgesetzt wurden. Außerdem wurden sie nicht immer von allen Staaten ratifiziert und oft bei Verhandlungen so sehr gelockert, dass sie letztendlich nicht streng genug waren, um tatsächlich etwas bewirken zu können¹. Diese langsame Entwicklung hatte zur Folge, dass einzelne Regionen, Staaten und in Einzelfällen sogar Häfen selber Vorschriften festgelegt haben. Aus Sicht des Umweltschutzes auf lokaler (oder regionaler) Ebene mag dies zwar von Vorteil sein, doch besteht dabei die akute Gefahr, dass die Emissionen dann woanders ausgestoßen werden. Langfristig würde dies zu einer Vielzahl verschiedener Vorschriften in unterschiedlichen Regionen führen. Um zu vermeiden, dass unübersichtliche Vorschriften in großer Zahl in den europäischen Staaten erlassen werden, übte die EU Druck auf die IMO aus, damit die Vorschriften verschärft und auch rascher umgesetzt werden. Zurzeit wird überprüft, ob der Verkehrsbereich in das Emissionshandelssystem der EU einbezogen werden soll. Die vor kurzem von der IMO angenommenen Vorschriften über NO_x und SO_x sind zwar vielversprechend, doch ist es nicht unproblematisch, dass sie unter anderem lediglich neu gebaute Schiffe betreffen. Ebenso ist der erörterte CO₂-Index bzw. Energieeffizienz-Index nur auf neue Schiffe anwendbar.

Gegenwärtig stehen betriebsbezogene technische Maßnahmen zur Verfügung, mit denen die Umweltverträglichkeit der Schifffahrt verbessert werden kann. Auch wenn diese Maßnahmen für vorhandene Schiffe nicht das gleiche Potenzial wie für neue Schiffe zeigen, können sich bestimmte Modernisierungsmaßnahmen zur Verringerung der Emissionen positiv auswirken. Für die Schifffahrtskunden sind seit jeher Geschwindigkeit und Preis die ausschlaggebenden Faktoren auf dem Markt, d. h. die Verbringung muss rasch durchgeführt werden und preiswert sein. Wird die Fahrtgeschwindigkeit reduziert,

¹ So galt bislang eine weltweite Obergrenze für Schwefel in Treibstoffen von maximal 4,5 % Schwefelgehalt, wobei der weltweite Durchschnitt unter 3 % lag und die Mengen, die 4,5 % überstiegen, mehr oder weniger unbedeutend waren.

sind dies und die verringerte Kapazität einer Flotte, wenn wohl die wichtigsten Gründe dafür, dass den Schiffseignern jeglicher Anreiz für eine Drosselung der Fahrtgeschwindigkeit fehlt. Damit die Wettbewerbsfähigkeit der Schiffseigner aufgrund längerer Lieferzeiten nicht sinkt, soll mit dem Index für saubere Schifffahrt den Schifffahrtskunden die Möglichkeit an die Hand gegeben werden, die z. B. mit einer geringeren Fahrtgeschwindigkeit verbundenen Umweltvorteile oder andere umweltfreundlichere Alternativen in den Vordergrund zu stellen. Mit dem Index für saubere Schifffahrt können Schifffahrtskunden leichter Druck auf die Schiffseigner ausüben, damit diese die derzeit verfügbaren Alternativen nutzen, um die Emissionen der Schiffe zu verringern.

Zur Verringerung des Treibhausgases CO₂ steht zurzeit als Alternative nur die Reduzierung des Energie-/Kraftstoffverbrauchs zur Verfügung. Bei Anwendung der bestehenden Maßnahmen lässt sich insgesamt ein CO₂-Reduzierungspotenzial erzielen, das von wenigen Prozent vor allem durch eine verbesserte Schiffswartung, über 5-10 % durch Änderungen bei den Antriebssystemen bis zu 40 % durch eine verbesserte Flottenplanung reicht, durch die eine Verringerung der Fahrtgeschwindigkeit möglich würde. Der geringere Energie-/Kraftstoffverbrauch würde mit einer entsprechenden Verringerung von Schadstoffe wie NO_x, SO_x und PM einhergehen.

Schwefel ist wie Kohlenstoff ein natürlicher Bestandteil fossiler Kraftstoffe. Es gibt Raffinerieverfahren, mit denen der Schwefelgehalt des Kraftstoffes (von 3,5 auf 0,1 %) gesenkt und das während des Verbrennungsprozesses entstehende SO_x verringert werden kann. Darüber hinaus können mit Lösungen, die am Ende ansetzen, wie die Reinigung mit Meereswasser, die SO_x-Emissionen erheblich reduziert werden (um 75 bis 85 %). Allerdings müssen die Auswirkungen der Reinigung mit Meereswasser auf die Meeresumwelt genauer untersucht werden. Wird eine Reinigung mit Meereswasser vorgenommen, kann die Partikelmenge um 90 % verringert werden. Eine Reduzierung dieser Menge ist höchstwahrscheinlich auch mit der Verwendung von Kraftstoffen mit geringerem Schwefelgehalt zu erzielen.

NO_x entsteht während der Verbrennung nicht aufgrund des im Kraftstoff enthaltenen Stickstoffes, sondern aufgrund des Stickstoffes in der Luft. Die Entstehung von NO_x ist von der Verbrennungstemperatur abhängig: je höher die Temperatur ist, desto größer ist die Menge an NO_x. Es sind zwar Technologien zur Reduzierung von NO_x (von 20 bis 90 %) verfügbar, doch erfordern sie den Einsatz von Energie, sodass dadurch mehr CO₂ entsteht. Es muss gegeneinander abgewogen werden, was wichtiger ist: die Reduzierung von NO_x oder die Reduzierung von CO₂. Ähnliche Argumente wurden im Zusammenhang mit dem Entschwefelungsverfahren in Raffinerien ins Feld geführt. Aus vor kurzem veröffentlichten Studien geht indessen hervor, dass der verstärkte CO₂-Ausstoß während des Raffinierungsprozesses in der Größenordnung von 1 % liegt und infolge der Optimierung des Prozesses in Zukunft reduziert werden könnte.

Der vorliegende Bericht befasst sich mit den Umweltauswirkungen der Emissionen von Schiffen. Die Umweltauswirkungen von Ölaustritt, Ballastwasser und bewuchsverhindernden Schiffsanstrichen werden nicht berücksichtigt und bedürfen weiterer Untersuchungen, da ihr Ausmaß unbekannt ist. Potenziell ist die Schifffahrt ein alternatives und zukunftsfähiges Transportmittel, doch müssten die derzeit verfügbaren Techniken zur Emissionsreduzierung unverzüglich zum Einsatz kommen, die

betriebsbezogenen Maßnahmen optimiert werden und eindeutige Beschlüsse für politische Maßnahmen gefasst werden.

Abkürzungen

AIS	automatisches Identifizierungssystem
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
ECSA	European Community Shipowner's Association [Reederverband in der europäischen Gemeinschaft]
EU-25	die 25 Mitgliedstaaten der Europäischen Union nach der Erweiterung vom 1. May 2004; ab dem 1. Januar 2007 zwei weitere Mitgliedstaaten, insgesamt also 27 Mitgliedstaaten
GWP	Global warming potential [Erderwärmungspotenzial]
IMO	International Maritime Organization [Internationalen Seeschiffahrtsorganisation]
ktoe	Kilo tonnes of oil equivalents [Kilotonnen Öläquivalente]
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships [Internationalen Übereinkommens zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe]
MEPC	Marine Environment Protection Committee [Ausschusses für den Schutz der Meeresumwelt]
MT	Megatonne (= 10 ⁶ Tonnen = 10 ¹² g)
NO _x	Stickoxide
O ₃	Ozon
PM	Partikel
ppm	Parts per million [Teile von einer Million]
RF	Radiative forcing (W/m ²) [Strahlungsantrieb]
SECA	Sulphur Emission Controlled Areas [Schwefelemissionsüberwachungsgebiet]
SO _x	Schwefeloxide
tkm	Tonnenkilometer
Tg	Teragramm (= 10 ¹² g)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change [Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen]
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe [Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa]
UNCLOS	United Nations Convention on the Law of the Sea [Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen]
WHO	World Health Organization [Weltgesundheitsorganisation]

Die Umweltauswirkungen des Schiffsverkehrs

1	Einleitung	8
2	Die Umweltauswirkungen der Schiffsverkehrs – aktuelle Situation	9
2.1	Auswirkungen auf die Atmosphäre	11
2.1.1	Emissionen mit Auswirkungen auf den Klimawandel	11
2.1.1.1	Kohlenstoffdioxid	11
2.1.1.2	Ozonvorläuferstoffe	14
2.1.1.3	Auswirkungen der Partikel auf den Strahlungsantrieb der Erde	14
2.1.2	Umweltverschmutzungs- und Gesundheitsaspekte	14
2.1.2.1	Schwefeloxide	15
2.1.2.2	Stickoxide	16
2.1.2.3	Partikel	17
2.2	2.2 Auswirkungen auf die aquatische Umwelt	18
2.2.1	Indirekte Auswirkungen der Emissionen auf die Atmosphäre	18
2.2.1.1	Versauerung	18
2.2.1.2	Eutrophierung	20
3	Ausblick	20
3.1	Kohlenstoffdioxid	22
3.2	Schwefeloxide	25
3.3	Stickoxide	27
3.4	Partikel	28
4	Abschließende Bemerkungen	29
5	Literaturverzeichnis	30

Einleitung

Die in den 90er Jahren gewonnene Einsicht, dass die Schifffahrt erhebliche Umweltauswirkungen auf lokaler, regionaler und globaler Ebene hat, gilt heute als gesicherte Erkenntnis^[1-8]. Der Schwerpunkt der Forschung bezog sich ursprünglich auf den Anteil von Schwefeloxid- (SO_x) und Stickoxidemissionen (NO_x) an den weltweiten Emissionen und wurde inzwischen auf Kohlendioxid (CO₂) ausgeweitet. Dem von der IMO in Auftrag gegebenen Bericht über die CO₂-Emissionen der Schifffahrt zufolge, der der Presse zugespielt wurde², ist die Situation weitaus ernster, als ursprünglich angenommen. Außerdem wurden den Partikelemissionen der Schifffahrt weltweite gesundheitsschädliche Auswirkungen zugeschrieben. Dennoch bietet die Schifffahrt im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern attraktive Möglichkeiten für den Kurz- und Langstreckentransport insbesondere von Massengütern und Rohstoffen^[8, 9]. Inzwischen gab es erste Anläufe, die Schifffahrt umweltverträglicher zu gestalten, und dieser Aspekt kristallisierte sich im Jahr 2008 als einer der fünf vorherrschenden Trends im Bereich umweltfreundlicher Energien heraus.

Zwischen 1995 und 2005 stiegen die Güterverkehrsleistungen (in tkm) innerhalb der EU-25 um 34,6 % an, was im Jahr 2005 einem Anteil des Güterverkehrs von 39,1 % innerhalb der EU-25 entsprach. Die entsprechenden Ziffern für die Binnenschifffahrt zeigen einen Anstieg der Güterverkehrsleistungen (in tkm) um 5 % und einen Anteil des Güterverkehrs von 3,3 % im Jahr 2005. Die Personenbeförderung auf Binnenwasserstraßen ist minimal, und die Personenbeförderung auf See sank im Zeitraum 1995-2004 um 11,4 % und hatte im Jahr 2004 nur noch einen Anteil von 0,8 %^[11]. Daher ist die Gesamtmenge an Emissionen in der Binnenschifffahrt im Vergleich zu den Emissionen aus der gesamten Schifffahrt relativ gering.

Zurzeit steht die Verringerung der in die Atmosphäre ausgestoßenen Emissionen im Mittelpunkt, was vor allem auf die intensiven Debatten über die Erderwärmung zurückzuführen ist. Allerdings könnten beispielsweise die mittelbaren Folgen der durch die Schifffahrt verursachten Meeresverschmutzung schwererwiegende Auswirkungen haben. Doch ist dieser Bereich sogar noch weniger erforscht, als die Auswirkungen der Schifffahrt auf die Atmosphäre. Die alte Formel von der segensreichen Wirkung der Verdünnung ("the solution to pollution is dilution") funktioniert in Bezug auf die atmosphärische Umwelt offenkundig nicht. Denn auch wenn das Gesamtvolumen der Weltmeere das der Atmosphäre übersteigt, so spielt doch auch die Größenordnung eine Rolle, und zwar nicht nur geographisch, d. h. in Räumen, in denen die Emissionen entstehen oder die Einleitungen durchgeführt werden, sondern auch zeitlich, weil die Meeresströmungen diese weitertragen. Vor kurzem durchgeführte ökotoxikologische Untersuchungen von Meeresplanktongemeinschaften ergaben, dass durch eine einmalige Exposition gegenüber Pyren³ in einer Konzentration, die unter der bei der Einleitung von Bilgenwasser maximal zugelassenen Konzentration lag, sowohl die Zusammensetzung der Arten als auch die Anzahl der einzelnen Organismen der Gemeinschaft verändert wurden. Es wurden auch erhebliche Synergieeffekte mit Nährstoffanreicherungen festgestellt, die die Unterschiede weiter vergrößerten. Es steht außer Frage, dass weitere Untersuchungen erforderlich sind, um zu prüfen, ob es zulässig ist, diese Ergebnisse zu verallgemeinern. Dennoch deuten

² The Guardian, 13. Februar 2008.

³ Pyren ist ein Modellstoff für polyaromatische Kohlenwasserstoffe, das in Öl und Nebenprodukten der Verbrennung vorkommt. Polyaromatische Kohlenwasserstoffe werden als toxisch und einige Verbindungen auch als erbgutverändernd und krebserzeugend eingestuft.

diese Ergebnisse darauf hin, dass bei den Umweltauswirkungen der Schifffahrt der Untersuchungsschwerpunkt ausgeweitet werden muss, damit auch die Auswirkungen auf die aquatische Umwelt einbezogen werden.

In dieser Studie sollen die Umweltauswirkungen der Schifffahrt unter besonderer Berücksichtigung der Emissionen beschrieben werden. Es werden die Auswirkungen der Emissionen der Schifffahrt auf die Atmosphäre und aquatische Umwelt erörtert. Die Umweltauswirkungen von z. B. Ölverschmutzungen, bewuchsverhindernden Schiffsanstrichen, der Abfallentsorgung und Schmutzwassereinleitung und der Verbreitung invasiver Arten durch Schmutzwasser sind hingegen nicht Gegenstand der Erörterung. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass diese Auswirkungen eine genauso große Bedrohung für Nachhaltigkeit des globalen Ökosystems darstellen können wie die Auswirkungen der Emissionen, doch liegen bislang noch keine Daten über das Ausmaß dieser Auswirkungen zur vor.

1 Die Umweltauswirkungen der Schiffsverkehrs – aktuelle Situation

Schiffsabgase tragen zur Verschmutzung der Atmosphäre und der aquatischen Umwelt durch SO_x , NO_x und Partikel bei. Die hochaktuellen Themen Klimawandel und der Erderwärmung haben bewirkt, dass auch die CO_2 -Emissionen der Schifffahrt auf die Liste der zu reduzierenden Gase gelangten. In der Tat stellt die Reduzierung der CO_2 -Emissionen nicht nur in der Schifffahrt, sondern im gesamten Verkehrssektor wahrscheinlich die größte Herausforderung dar. Die als Primäremissionen ausgestoßenen SO_x und NO_x können auch als Vorläuferstoffe fungieren, die sekundäre Auswirkungen auf die Atmosphäre haben, indem sie die Entstehung von Partikeln, Ozon und sauren Niederschlägen bewirken. Vor kurzem rückten auch Befürchtungen hinsichtlich der sekundären Auswirkungen von Emissionen auf die Meeresumwelt in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit. So ist z. B. das Thema der Versauerung des Meeres als sekundäre Folge des erhöhten CO_2 -Gehalts in der Atmosphäre ein relativ neuer Forschungsbereich für Meeresbiologen^[13], weil eine mögliche Absenkung des pH-Gehaltes im Meerwasser Auswirkungen auf die biologischen Calciumcarbonat-Strukturen haben könnte. Die Emissionen von Schiffen wurden in Anhang VI des MARPOL-Übereinkommens 73/78 der IMO über Regeln zur Verhütung der Luftverunreinigung durch Schiffe geregelt, das im Jahr 1997 angenommen wurde. Bisher wurden zwar nur Vorschriften über SO_x - und NO_x -Emissionen angenommen, doch wird zurzeit ein Programm zur Verringerung der CO_2 -Emissionen ausgearbeitet und auch der Ausstoß von Partikeln höchstwahrscheinlich in Zukunft geregelt werden.

Eine der Herausforderung im Zusammenhang mit der Ausarbeitung von Vorschriften bezüglich der Umweltauswirkungen der Schifffahrt besteht darin, die Heterogenität der Weltflotte zu erfassen. Die Emissionen von Schiffen und ihre endgültigen Umweltauswirkungen werden von zahlreichen technischen, betriebsbezogenen und umweltbezogenen Parametern beeinflusst. Obgleich bereits seit einem Jahrzehnt an der Entwicklung von Modellen gearbeitet wird, ist es im Zusammenhang mit dem Verhalten und den Auswirkungen von Emissionen in der Umwelt nach wie vor schwierig, ein realistisches Modell zur Beschreibung und Voraussage der Umweltauswirkungen der Schifffahrt zu erstellen. Deduktive Ansätze, die auf den Verkaufsstatistiken von Schweröl beruhen, sind in der Regel zu ungenau, und induktive Ansätze, die auf Daten über die Fahrtätigkeit der Flotte beruhen, sind in der Regel aufgrund der unvollständigen Datensätze nur bedingt aussagekräftig. Bei den Schätzungen der weltweiten Schifffahrt dominieren in

der Fachliteratur immer noch die deduktiven Ansätze ^[3, 5, 18, 19], wobei die Ergebnisse der besten Schätzungen des weltweiten Schwerölverbrauchs pro Jahr weit auseinanderliegen und von 200^[18] bis 289^[3] MT pro Jahr reichen. Der europäische Anteil an der weltweiten Schifffahrt wurde auf fast ein Drittel geschätzt ^[20], wobei davon ausgegangen wird, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Schätzungen des weltweiten Schwerölverbrauchs dem gesamten europäischen Anteil entsprechen könnten. Allerdings wird in jüngeren Studien wie dem demnächst veröffentlichten UN-Bericht von einem höheren Verbrauch ausgegangen. In diesem Bericht wird der Verbrauch auf 280 MT geschätzt ^[5].

Um die Verlässlichkeit der Trendanalysen bei den Emissionen der Schifffahrt zu verbessern, müssen vollständige und genaue Datensätze zur Verfügung stehen. Deshalb empfehlen die Einrichtungen des UNFCCC und die UNECE den Vertragsstaaten bzw. ihren Mitgliedstaaten, einen induktiven Ansatz anzuwenden, wobei sie nach wie vor deduktive Ansätze akzeptieren, wenn keine Daten über die Flottentätigkeit vorliegen. Diese schwierige Abwägen zwischen methodischer Einfachheit und Datenverfügbarkeit einerseits und Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse andererseits wird in einem von der Kommission in Auftrag gegebenen Bericht des Unternehmens Entec aus dem Jahr 2005^[24] sehr gut beschrieben, in dem untersucht wurde, wie die Emissionen von Schiffen kategorisiert werden. Es ist zu hoffen, dass mit verbesserten Technologien zur Erfassung der Schiffsbewegungen wie dem AIS (automatisches Identifizierungssystem^[25]) für eine bessere Qualität der erhobenen Daten gesorgt werden kann, wodurch die anhand von Modellen entwickelten Konfidenzintervalle der Emissionen und ihrer Umweltauswirkungen höchstwahrscheinlich erheblich kürzer werden^[14]. Es wird also möglich sein, sowohl den tatsächlichen Treibstoffverbrauch zu prüfen als auch die räumliche Signifikanz z. B. der SO_x- und NO_x-Verschmutzung zu bewerten. Um ein vollständiges Bild zu erhalten, müssen jedoch alle Schiffe überwacht werden, was einige Zeit in Anspruch nehmen dürfte, weil die Vorschriften zunächst nur für Passagierschiffe und für Schiffe mit mehr als 300 BRT gelten. Bei den vorliegenden Schätzungen der weltweiten Auswirkungen der Schifffahrt wurden in der Regel Schiffe mit mehr als 100 BRT berücksichtigt. Allerdings wird der Treibstoffverbrauch von Schiffen mit 100-500 BRT auf weniger als 8 % des Gesamtverbrauchs geschätzt^[18].

Die weltweiten Emissionen von Schiffen zu schätzen, ist schon ausgesprochen schwierig, weitaus schwieriger dürfte es jedoch sein, einschlägige Informationen über die Verhältnisse auf regionaler Ebene zu erhalten, weil sich die Emissionen weiträumig verbreiten können. Dennoch kann bei der Schätzung der mit den Emissionen verbundenen potenziellen Kosten davon ausgegangen werden, dass die in Küstennähe ausgestoßenen Emissionen wahrscheinlich größere Auswirkungen auf z. B. die Versauerungsprozesse im Binnenland und auf die menschliche Gesundheit haben als die auf offener See entstandenen Emissionen. Wenn es um die Frage der langlebigen Klimagase geht, muss zudem eine Unterscheidung zwischen CO₂, das jahrhundertlang in der Atmosphäre verbleibt, und z. B. Schwefeloxiden gemacht werden, die eher regionale Auswirkungen haben. Der von der Kommission in Auftrag gegebenen Bericht "Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community" [Quantifizierung der Emissionen von Schiffen im Zusammenhang mit Schiffsbewegungen zwischen Häfen der Europäischen Gemeinschaft] (2002)^[16] beruht auf einem induktiven Ansatz, und die in diesem Rahmen erhobenen Daten werden in dieser Studie für die europabezogenen Schätzungen verwendet. Darüber hinaus werden die von Eurostat veröffentlichten Daten über die Binnenschifffahrt^[11, 26] herangezogen.

1.1 Auswirkungen auf die Atmosphäre

1.1.1 Emissionen mit Auswirkungen auf den Klimawandel

1.1.1.1 Kohlenstoffdioxid

Im Zuge der Debatte über den Klimawandel wurde die bis dahin gültige Vorstellung, dass CO₂ ein bei der Verbrennung anfallendes harmloses Restprodukt sei, weil „bei der Verbrennung [Polyethylen] nichts anderes als CO₂ und Wasser“ entstehe, vollständig auf den Kopf gestellt. Heute besteht Einigkeit darüber, dass die Verbrennung sämtlicher Produkte, die aus fossilen Brennstoffen bestehen, zur Erderwärmung beiträgt. Im Jahr 2007 wurde das Zwischenstaatliche Gremium für Klimaänderung mit dem Friedensnobelpreis ausgezeichnet, und die Debatte über die Möglichkeiten der Verringerung der CO₂ Emissionen hat endgültig eine weltweite Dimension erreicht. Die verschiedenen Treibhausgase verfügen über ein unterschiedliches Erderwärmungspotenzial (GWP), das von der Absorbierung von Infrarotstrahlung bei bestimmten Gasen, der spektralen Verortung ihrer absorbierenden Wellenlängen und ihrer Verweildauer in der Atmosphäre abhängig ist. Das Erderwärmungspotenzial von CO₂ liegt per Definition bei 1. Andere Treibhausgase verfügen über ein Erderwärmungspotenzial, das mehrere tausend Mal höher ist als das Erderwärmungspotenzial von CO₂. Unter den auf menschliche Aktivitäten zurückzuführenden Treibhausgasen in der Atmosphäre ist CO₂ dasjenige Gas, das den größten Beitrag zur Erderwärmung leistet, und aus jüngsten Studien geht hervor, dass die Auswirkungen der derzeitigen CO₂-Emissionen auf die Erderwärmung mehrere Tausend Jahre anhalten werden^[6, 27]. Um die von verschiedenen Faktoren verursachten Auswirkungen auf die Erderwärmung zu quantifizieren, wird der Strahlungsantrieb (RF) gemessen. Der Strahlungsantrieb wird in W/m² ausgedrückt und beschreibt die im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter eingetretenen Änderungen des Energiegleichgewichts in der Atmosphäre, wenn z. B. Treibhausgase wie CO₂ in die Atmosphäre gelangen. Die zunehmende Erwärmung der Atmosphäre ist das Ergebnis eines erneuten Gleichgewichtszustands in der Strahlungsbilanz.

P. Kågeson wies im April 2008^[9] darauf hin, dass der Treibstoffverbrauch und der sequenzielle CO₂-Ausstoß von Schiffen nicht bekannt seien. Je nach dem, welcher Ansatz zur Bewertung des Treibstoffverbrauchs angewandt wird (deduktiver oder induktiver Ansatz) und von welchen Annahmen bei den entsprechenden Modellen ausgegangen wird, ergeben sich bei den in der Fachliteratur angeführten Berechnungen der weltweiten CO₂-Emissionen der internationalen Schifffahrt weit voneinander abweichende Werte (siehe Tabelle 1). Im Januar 2008 wurden die Ergebnisse einer von der IMO in Auftrag gegebenen Studie vorab der Presse zugespielt. Dieser Studie zufolge liegen die jährlichen CO₂-Emissionen von Schiffen bei 1120 Tg oder 4,5 % der weltweiten CO₂-Emissionen. Dies sind fast 30 % mehr Emissionen, als in den höchsten Schätzungen angenommen wurde.

Tabelle 1: Abweichungen bei den Schätzungen der weltweiten CO₂-Emissionen in verschiedenen Studien

	CO ₂ Tg/Jahr
IEA (www.iea.org) 2005	544

Endresen 2003 ^[18]		557
Corbett und Köhler 2003 ^[3]		912
Eyring 2005 ^[5]		812
Unveröffentlichte Studie	IMO-	1120

Auf der Grundlage der Daten von ENTEC (2002)^[16] hat CE Delft (2006)^[28] die Angaben zu den CO₂-Emissionen von Schiffen in der EU weiter bearbeitet und in Beziehung zu den weltweiten Emissionen gestellt, wie der Tabelle 2 zu entnehmen ist. In der Statistik in Tabelle 2 sind auch die Emissionen der Schifffahrt auf Binnenwasserstraßen einbezogen. Allerdings ist es nicht klar, welchen Anteil sie bei den oben angeführten Daten haben. In der EU-Veröffentlichung „Panorama of Transport 2007“ (Panorama des Verkehrs 2007)^[11] ist bei den Angaben zum Energieverbrauch der Binnenschifffahrt (im Gegensatz zum Verkehr auf Binnenwasserstraßen) nicht der Schwerölverbrauch der internationalen Seeschifffahrt, sondern der Dieselölverbrauch aufgeführt. Im Jahr 2004 betrug der Jahresverbrauch der Binnenschifffahrt innerhalb der EU-25 5047 ktoe (Kilotonnen Öläquivalente). Bei Anwendung des Durchschnittsfaktors für Emissionen der Binnenschifffahrt von Georgakaki (2004)^[29] liegen die CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt innerhalb der EU bei 15,9 Tg/Jahr oder 2,1 % der CO₂-Emissionen der weltweiten Schifffahrt und fast 10 % der Emissionen der Schifffahrt innerhalb der EU, was in etwa dem Anteil des Güterverbringungs durch die Binnenschifffahrt in der EU entspricht.

Tabelle 2: Schätzung der Emissionen im Jahr 2000 in der EU15 + Bulgarien, Kroatien, Zypern, Tschechische Republik, Estland, Ungarn, Lettland, Litauen, Malta, Polen, Rumänien, Slowakei und Slowenien

Quelle: CE Delft (2006)^[28].

	CO ₂ -Emissionen der Schifffahrt in der EU			CO ₂ -Emissionen der Schifffahrt, weltweite Schätzung		
	Tg/Jahr	Anteil an der weltweiten Schifffahrt (in %)	Anteil an den Gesamt-emissionen in der EU (in %)	Tg/Jahr	Anteil an der weltweiten Schifffahrt (%)	Anteil an den weltweiten Gesamt-emissionen
Schiffe						
alle Schiffe	153.3	20.3	3.7	756.7	100	2.7 ^a -4.5 ^b
Schiffe unter EU-Flagge	71.4	8.85	1.7	196.6	25.1	0.70-1.2
Schiffsverkehr						
Schiffsverkehr insgesamt	153.3	20.3	3.7	756.7	100	2.7 ^a -4.5 ^b
gesamter Schiffsverkehr von und zu EU-Häfen	152.4	20.1	3.70			
in Häfen	10.2	1.35	0.25	30.2	3.99	0.11-0.18
im Küstenmeer	38.3	5.06	0.93			
in ausschließlichen Wirtschaftszonen	120.6	15.9	2.9			

^a Eyring 2005^[5].

^b Unveröffentlichte Studie 2008.

1.1.1.2 Ozonvorläuferstoffe

Die Emissionen von NO_x, Kohlenmonoxid (CO) und flüchtigen organischen Verbindungen können zur Entstehung von Ozon (O₃) beitragen, das trotz seiner Kurzlebigkeit über ein höheres spezifisches Erderwärmungspotenzial verfügt als CO₂^[30]. NO_x hat zweierlei Auswirkungen, weil es auch zur Spaltung von Methan (CH₄) mit einem Erderwärmungspotenzial von 25 über einen Zeitraum von 100 Jahren beiträgt, was laut Lauer u. a. (2007)^[7] einen negativen Strahlungsantrieb zur Folge hat, der sich in derselben Größenordnung bewegt wie der positive Strahlungsantrieb bei der Entstehung von Ozon.

Tabelle 3: Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen im Jahr 2000

Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen in der EU			Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen im weltweiten Schiffsverkehr	
Emissionen von Schiffen in der EU (Tg/Jahr)	EU-Emissionen insgesamt (Tg/Jahr)	Anteil der EU-Schifffahrt an den Gesamtemissionen in der EU (in %)	Tg/Jahr	Anteil der EU-Schifffahrt am weltweiten Schiffsverkehr (in %)
0,099 ^[24]	11 ^[26]	0,87	27,5	0,36 ^[18]

1.1.1.3 Auswirkungen der Partikel auf den Strahlungsantrieb der Erde

Partikel können entweder als Primärpartikel während der Verbrennung oder aus Nebenprodukten der Verbrennung wie vor allem SO_x und NO_x entstehen. Die größten Befürchtungen im Zusammenhang mit Partikeln beziehen sich wahrscheinlich auf ihre negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, was weiter unten in Abschnitt 2.1.2 erörtert wird. Jedenfalls haben Partikel darüber hinaus spezifische Auswirkungen auf den Klimawandel. Auf regionaler Ebene fungieren Partikel als Kondensationskerne, die zur Wolkenbildung beitragen, was eine abkühlende Wirkung zur Folge hat. Allerdings ist die globale Tragweite dieser Vorgänge unklar, weil sie auf regionaler Ebene stattfinden. In den Polarregionen und in anderen Gletschergebieten können die Partikel die Auswirkungen der Erderwärmung beschleunigen, weil sie zu einer umfangreicheren Eis- und Schneeschmelze beitragen, wenn die niedergegangenen Partikel eine dunkle Fläche bilden und dadurch das Rückstrahlvermögen von Eis und Schnee beeinträchtigen^[31]. Aufgrund der reflexiven Eigenschaften der ursprünglich weißen Oberfläche setzt im Falle ihrer Verdunkelung die Absorption von Sonnenenergie ein, wodurch sich das Eis aufwärmt und schneller schmilzt. Das Ausmaß des Beitrags von Partikeln aus der Schifffahrt ist in diesem Zusammenhang unbekannt.

1.1.2 Umweltverschmutzungs- und Gesundheitsaspekte

Abbildung 1 enthält ein allgemeines Schaubild zu den Auswirkungen, in dem versucht wird, die direkten und indirekten Auswirkungen der Emissionen von Schiffen aufzuzeigen.

Quelle Emissionen sekundäre Auswirkungen auf

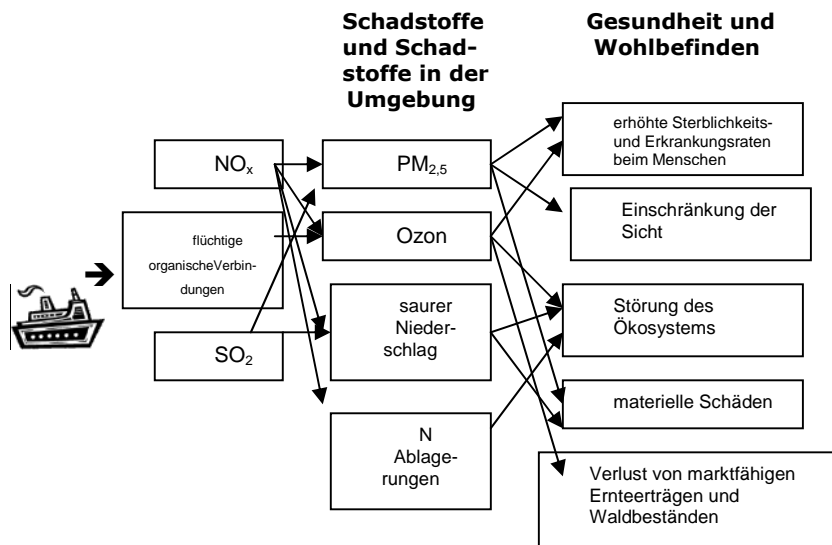


Abbildung 1: Zusammenhänge zwischen Emissionen und ihren Auswirkungen; abgeändertes Schaubild aus Chestnut u. a. 2006^[32].

1.1.2.1 Schwefeloxide

Die SO_x-Emissionen stammen aus dem Schwefelanteil in Treibstoffen. Der größte Bestandteil ist Schwefeldioxid (SO₂), der fast 95 % der bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehenden SO_x-Emissionen ausmacht. Schwefeldioxid ist ein toxisches Gas, das direkte schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und auf Pflanzen hat. Ein Nebeneffekt des Ausstoßes von SO_x-Emissionen in die Atmosphäre ist die Bildung von Sulfat-Aerosolen, d. h. sehr feinen Luftpartikeln, die laut WHO^[33, 34] und Corbett^[35] für die erheblich angestiegenen jährlichen Sterblichkeitsraten z. B. in Europa verantwortlich gemacht werden können. Dieses Thema wird weiter unten im Abschnitt 2.1.2.3 erörtert. Die dritte allgemein anerkannte Folge der SO_x-Emissionen ist der saure Regen, der dann entsteht, wenn sich in den Wolken aus Schwefeloxiden, Wasser und Sauerstoff Schwefelsäure bildet^[36].

Der weltweite Dreijahresdurchschnittsanteil von Schwefel in Schweröl beträgt 2,7 %, und nur in einer geringen Menge von einigen wenigen Prozent des weltweit verfügbaren Schweröls ist mehr als 4,5 % Schwefel enthalten, wobei dieser Prozentsatz der weltweit geltenden und im Jahr 2005 von der IMO festgelegten Obergrenze entspricht. Auf der 57. Tagung des IMO-Ausschusses für den Schutz der Meeresumwelt (MEPC) im April 2008 wurde vorgeschlagen, diese eher wirkungslose weltweite Obergrenze für den Schwefelgehalt zu ändern, und die neue ab dem 1. Januar 2012 geltende Obergrenze für den Schwefelgehalt beträgt 3,5 %. Die formale Entscheidung wird voraussichtlich im Oktober 2008 getroffen^[37].

Im Mai 2005 wurde ein Regelungsrahmen für die Verringerung der Schwefelemissionen in besonders sensiblen Meeresgebieten eingeführt, als die Ostsee zum Schwefelemissionsüberwachungsgebiet (SECA) erklärt wurde, der im Jahr 2006 die Nordsee folgte. In den Schwefelemissionsüberwachungsgebieten dürfen die in der Schifffahrt verwendeten Treibstoffe höchstens einen Schwefelgehalt von 1,5 % aufweisen. Auf der 58. Tagung des MEPC im Oktober 2008 wurden neue Vorschriften über SO_x-Emissionen in Schwefelemissionsüberwachungsgebieten angenommen, und in den vorgeschlagenen Zeitplänen ist eine schrittweise Verringerung des zugelassenen Schwefelgehalts in Schwefelemissionsüberwachungsgebieten vorgesehen, der ab dem 1.

März 2010 höchstens 1 % und ab dem 1. Januar 2015 höchstens 0,1 % betragen darf. Es ist zu hoffen, dass die neu vorgeschlagene schrittweise Reduzierung des Schwefelgehalts in Treibstoffen den Beginn einer neuen Ära markiert, in der die Entwicklung eines nachhaltigen Schiffverkehrs auf größere Resonanz stößt. Mit den vorgesehenen Vorschriften sinkt die Wahrscheinlichkeit der Einführung eines Systems für den Handel mit SO_x-Emissionen, weil es möglicherweise nicht genügend Emissionen geben wird, mit denen Handel getrieben werden kann.

Tabelle 4: SO_x-Emissionen der Schifffahrt im Jahr 2000

SO _x -Emissionen in der EU			SO _x -Emissionen im weltweiten Schiffsverkehr	
Emissionen von Schiffen in der EU (Tg/Jahr)	EU-Emissionen insgesamt (Tg/Jahr)	Anteil der EU-Schifffahrt an den Gesamtemissionen in der EU (in %)	Tg/Jahr	Anteil der EU-Schifffahrt am weltweiten Schiffsverkehr (in %)
2,58 ^[16]	10 ^[26]	25	12 ^[5]	22

Während der internationale Schiffsverkehr vor allem von der IMO geregelt wird, fallen die Regelungen im Bereich des Binnenschiffsverkehrs in den Zuständigkeitsbereich der EU (Richtlinie 93/12/EWG KOM (2007)18); mit ihnen soll der Schwefelgehalt in Brennstoffen bis Mitte 2011 schrittweise auf 10 ppm reduziert werden. Allerdings wurde nach der Annahme dieser Richtlinie kritisiert, dass die Möglichkeiten der bestehenden Binnenschiffahrtsflotte vollständig nicht genutzt wurden, und die Organisation „Inland Navigation Europe“ forderte damals eine sofortige Reduzierung auf 10 ppm, die ab 2008 umgesetzt werden sollte^[38]. Das Hauptargument war, dass der Großteil (98 %) der auf Binnenwasserstraßen verkehrenden Flotte bereits mit Motoren ausgestattet sei, die mit Treibstoffen betrieben werden können, die einen Schwefelgehalt bis zu einer Untergrenze von 10 ppm aufweisen. Die Einführung von Anreizen für den Einbau neuer Motoren, die nicht mit Treibstoffen betrieben werden können, deren Schwefelgehalt 50 ppm übersteigen, wurde jedoch verschoben, und bis 2011 gilt ein vorläufiger Grenzwert von 300 ppm.

1.1.2.2 Stickoxide

Die Atmosphäre besteht zu ungefähr 79 % aus Stickstoff in Form von Distickstoffgas (N₂). Bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen reagiert N₂ aus der Atmosphäre mit dem atmosphärischen Sauerstoff O₂ und bildet dabei Stickoxide (NO_x). NO_x ist ein Sammelbegriff für Stickoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂). Die bei der Verbrennung entstehende Menge an NO_x nimmt bei längerer Brenndauer und erhöhten Temperaturen entsprechend zu. Deshalb hat der Trend hin zur Entwicklung effizienterer Motoren, der sich nach der Ölkrise im Jahr 1973 beschleunigt hat, dazu geführt, dass sich immer mehr NO_x bildet. Seit den ersten IMO-Vorschriften über NO_x (Anhang VI^[39]), die im Jahr 2000 in Kraft getreten sind, ist der spezifische Treibstoffverbrauch von Schiffsmotoren konstant geblieben. Die geschätzten NO_x-Emissionen der Schifffahrt in der EU sind in Tabelle 5 aufgeführt. Bei Beibehaltung des Status quo werden einer Prognose zufolge in der EU die NO_x-Emissionen von Schiffen die NO_x-Emissionen vom Land zwischen 2015 und 2020 übersteigen^[36]. Die bislang theoretisch angenommene Abnahme der NO_x-Emissionen vom

Land wurde vor kurzem durch die Ergebnisse von Langzeitbeobachtungen durch Satelliten bestätigt^[40].

Table 5. NO_x-Emissionen der Schifffahrt im Jahr 2000

NO _x in der EU			NO _x -Emissionen im weltweiten Schiffsverkehr	
Emissionen von Schiffen in der EU (Tg/Jahr)	EU-Emissionen insgesamt (Tg/Jahr)	Anteil der EU-Schifffahrt an den Gesamtemissionen in der EU (in %)	Tg/Jahr	Anteil der EU-Schifffahrt am weltweiten Schiffsverkehr (in %)
3,62 ^[16]	12 ^[26]	29	21,4 ^[5]	17

Die Umweltauswirkungen von NO_x sind von der konkreten Erscheinungsform von NO_x abhängig. Ähnlich wie SO_x kann NO_x in der Atmosphäre mit Wasser reagieren und dabei (Salpeter-) Säure bilden, die möglicherweise eine Versauerung von Böden und Seen bewirkt. Gravierender sind die eutrophierenden Auswirkungen durch eine erhöhte Stickstoffbelastung von Seen, Böden und küstennahen Mündungsgebieten. Außerdem bildet sich bodennahes Ozon, wenn durch das Sonnenlicht die Reaktion zwischen NO_x und flüchtigen organischen Verbindungen katalysiert wird. Deshalb sind indirekte Auswirkungen wie eine geschädigte Vegetation oder reduzierte Ernteerträge teilweise auf NO_x-Emissionen zurückzuführen. Ozon hat auch negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit; es schädigt das Lungengewebe und beeinträchtigt die Lungenfunktion. Die menschliche Gesundheit wird auch von zahlreichen auf NO_x beruhenden toxischen Verbindungen bedroht, so z. B. von Stickstoffradikalen, Nitroarenen und Nitrosaminen, die sogar biologische Mutationen auslösen können. Partikel, die sich aufgrund der Reaktion von NO_x mit Ammoniak, Wasserdampf und anderen Verbindungen bilden, haben bekanntlich ebenfalls negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (siehe weiter unten den Abschnitt zu den Partikeln). Schließlich ist Distickstoffmonoxid (N₂O) ein Treibhausgas, obgleich die bei der Verbrennung entstehende N₂O-Menge eher gering ausfällt.

1.1.2.3 Partikel

Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen Partikel auf verschiedenen Wegen. Primärpartikel bilden sich im Motor selbst und Sekundärpartikel entstehen in der Atmosphäre aus der Folgewirkung der ausgestoßenen Vorläuferstoffe. In Studien wurde gezeigt, dass eine enge Verbindung zwischen einem hohen Schwefelgehalt im Treibstoff und großen Mengen an ausgestoßenen Partikeln besteht^[7, 38, 42]. Lauer u. a. (2007)^[7] stellten fest, dass 75 % der Primär- und Sekundärpartikel mit dem Schwefelgehalt in Zusammenhang stehen.

Die ausgestoßenen Partikel wirken sich auf die Wolkenbildung aus, was sogar negativen Strahlenantrieb verursacht, wodurch theoretisch der Gesamtanteil der Schifffahrt am Klimawandel verschleiert werden könnte. Daraus ergibt sich die paradoxe Situation, dass behauptet werden könnte, die Einführung von Treibstoff mit geringerem Schwefelgehalt würde den tatsächlichen Beitrag der Schifffahrt zum Klimawandel erhöhen. Dies ist jedoch aus zwei Gründen kein stichhaltiges Argument: Zum einen ist diese Auswirkung von

Partikeln auf die Klimaänderungsmechanismen auf die regionale Ebene beschränkt, und zum anderen sind bei einer kontinuierlichen Verwendung von Treibstoffen mit einem hohen Schwefelgehalt verschiedene andere umweltbezogene und gesundheitliche Aspekte im Zusammenhang mit den SO_x-Emissionen zu berücksichtigen (siehe oben Abschnitt 2.1.2.1).

Die derzeit geltenden IMO-Vorschriften beschränken nicht die Partikelemissionen. Um schnellere Fortschritte bei der Reduzierung von Partikeln zu ermöglichen, sollte die EU ihre Vorschriften über den Schwefelgehalt von Treibstoffen, die in der Binnenschifffahrt verwendet werden, auf alle Schiffsmotoren ausweiten. In den meisten Studien zu den Partikelemissionen von Motoren für mittelschnelle Fahrtgeschwindigkeiten wird nur die Rußzahl gemessen, obgleich die Bemühungen um eine Verringerung des sichtbaren Rauchs nur einen Teil der mit den Partikeln verbundenen Probleme betreffen. Der Grund für diese Beschränkung liegt vor allem darin, dass die sichtbaren Rauchfahnen dem Ansehen der gesamten Schifffahrtsbranche allgemein schaden^[43].

Tabelle 6: Partikelemissionen im Jahr 2000

Partikel			Partikelemission im weltweiten Schiffsverkehr in Tg/Jahr	
Emissionen des Schiffsverkehrs (in Häfen) in der EU (Tg/Jahr)	EU-Emissionen insgesamt Tg/jahr	Anteil der EU-Schifffahrt an den Gesamtemissionen in der EU (in %)	Tg/Jahr	Anteil der EU-Schifffahrt am weltweiten Schiffsverkehr (in %)
0.021 ^[16]	keine Angaben	keinen Angaben	1.67 ^[5]	1

1.2 Auswirkungen auf die aquatische Umwelt

1.2.1 Indirekte Auswirkungen der Emissionen auf die Atmosphäre

1.2.1.1 Versauerung

Die mit der Versauerung verbundenen Probleme bezogen sich lange Zeit in erster Linie auf Ökosysteme auf dem Festland und Süßwasserökosysteme, insbesondere in Gebieten mit granitischem Grundgestein, die über ein schwaches natürliches Pufferungsvermögen zur Abhaltung von sauren Ablagerungen verfügen. Diese Versauerung ergibt sich aus der

Bildung von Schwefelsäure und/oder salpetriger Säure aus SO_x and NO_x , die in die Luft ausgestoßen wurden. Saurer Niederschlag bewirkt eine Senkung des pH-Werts, was zur Schädigung von Wald- und Seeökosystemen führt, indem z. B. Schwermetalle freigesetzt werden. Aufgrund der strengeren Vorschriften über SO_x - und NO_x -Emissionen aus Quellen auf dem Festland, wie z. B. Kraftwerken, wird ein größerer Teil dieser Auswirkungen auf die Emissionen der Schifffahrt entfallen, weil sie sich über mittlere und längere Distanzen verbreiten können.

Eine andere Art der Versauerung, die in letzter Zeit große Aufmerksamkeit erfahren hat, ist die Meeresversauerung, die auf die wachsende CO_2 -Menge in der Atmosphäre zurückzuführen ist^[13, 44, 45]. Meeresbiologen befürchten zwar, dass es für Meeresorganismen schwieriger sein dürfte, biogenes Calciumcarbonat (CaCO_3) zu bilden, doch wurde vor kurzem festgestellt, dass die Reaktionen auf eine Umwelt mit hohem CO_2 -Gehalt in hohem Maße artenspezifisch geprägt sind. Bei einigen Arten sind negative Auswirkungen zu verzeichnen, während andere Arten sogar stimuliert werden oder möglicherweise überhaupt keine Empfindlichkeit zeigen. Aus anderen Studien geht hervor, dass Meeresorganismen nicht aufgrund der sinkenden pH-Werte beeinträchtigt werden, sondern aufgrund des gestiegenen CO_2 -Gehalts im Wasser^[47, 48].

1.2.1.2 Eutrophierung

Der Stellenwert der atmosphärischen Ablagerungen als Quelle für den Eintrag von anorganischem Stickstoff in das Meer wurde zwar bereits früher untersucht, doch wurden die Auswirkungen von NO_x-Emissionen der Schifffahrt auf die Eutrophierung in der Ostsee erst 2007 von Stipa u. a.^[53] erforscht. Die Emissionsdaten und die AIS-Daten haben gezeigt, dass der vorhandene anorganische Stickstoff in einer Entfernung von 10 km von der Fahrspur durch die von Schiffen in einem Monat ausgehenden Emissionen um 5-20 % steigen kann. Der größte Anteil (32 % aller Schiffsemissionen) entfiel auf Schiffe, die nach dem Jahr 2000 gebaut wurden, gefolgt von einem Anteil von 28 % von Schiffen, die zwischen 1990 und 2000 gebaut wurden. In einigen Gebieten und zu bestimmten Jahreszeiten entfielen bis zu 50 % der gesamten atmosphärischen Ablagerungen oder 12,5-15 % des gesamten Stickstoffeintrags in der Ostsee auf die Schifffahrt. Es sind weitere Forschungsbemühungen erforderlich, damit der Anteil der Schifffahrt an der Eutrophierung auch in anderen Gebieten untersucht wird. Es steht jedoch außer Frage, dass die Ergebnisse von Stipa u. a.^[53] deutlich machen, dass, wie von der IMO vorgeschlagen, strengere Vorschriften eingeführt werden müssen.

2 Ausblick – Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen

Wie bereits erwähnt, können keine genauen Voraussagen über das Ausmaß der Umweltauswirkungen der Schifffahrt gemacht werden, da nur eine begrenzte Menge an Daten verfügbar ist, die Schifffahrt ein komplexer Bereich ist (z. B. verursacht der in einem Hafen gekaufte Treibstoff an einem anderen Ort Emissionen) und der Schiffsverkehr weltweit stetig zunimmt. Es gibt Umweltmaßnahmen, mit denen in Zukunft die Auswirkungen der Schifffahrt verringert werden können. Skjølvik u. a.^[8] haben das Reduktionspotenzial verschiedener technischer und politischer Maßnahmen, die in Tabelle 7 wiedergegeben sind, miteinander verglichen. Allerdings werden Skjølvik u. a.^[8] zufolge trotz aller Gegenmaßnahmen die weltweiten Gesamtauswirkungen der Schifffahrt in absoluten Zahlen gemessen zunehmen, weil der gesamte weltweite Schiffsverkehr jedes Jahr ansteigt. Die gleichen Schlussfolgerungen lassen sich aus den Modelldaten bei Cofala u. a. 2007^[54] ziehen.

Um insgesamt eine Verringerung der Emissionen von Klimagasen und Schadstoffen zu erreichen, besteht die einzige Alternative darin, den Energieverbrauch und somit den Gesamtverbrauch fossiler Brennstoffe zu senken. Dadurch werden sich sämtliche Emissionen fast um denselben Prozentsatz verringern, wie derjenige des Treibstoffverbrauchs verringert wurde. Um dieses Ziel zu erreichen, besteht eine alternative Lösung darin, die Effizienz des Schiffsantriebs durch technische Maßnahmen zu erhöhen, indem die Form des Schiffskörpers optimiert wird, die Effizienz des Schiffsmotors verbessert wird und alternative Energieträger wie Wind- und Solarenergie eingesetzt werden. Wenn größere Änderungen im Bereich der Auslegung, wie eine verbesserte Rumpfform, in Betracht gezogen werden, würden diese Maßnahmen natürlich vor allem neu gebaute Schiffe betreffen. In ähnlicher Weise erfordert die Verwendung alternativer Treibstoffe wie Wasserstoff spezielle Voraussetzungen bei der möglichen Auswahl eines

dafür vorgesehenen Schiffes. Der Wasserstoffantrieb wurde zwar intensiv erforscht, doch ist es unwahrscheinlich, dass er beim Großteil der Weltflotte zum Einsatz kommt. Es handelt sich hierbei um eine hochmoderne Technik, die nicht nur qualifiziertes Personal und spezielle Tankstellen, sondern auch die sofortige Verfügbarkeit von Ersatzteilen erfordert, sodass sie für andere Zwecke als Kurzstreckenfahrten zwischen zwei festgelegten Punkten eher ungeeignet ist. Eine denkbare Möglichkeit wäre, diese Technik bei Kurzstreckenfahrten oder ähnlichen Schiffen einzusetzen, die in einem kleinen begrenzten Gebiet tätig sind.

Was bereits vorhandene Schiffe anbelangt, so ist ihre Modernisierung weniger wirkungsvoll als der Einsatz neuer Technologien bei neu gebauten Schiffen. Allerdings beträgt die Lebensdauer eines Schiffes 25-30 Jahre, und die Weltflotte erneuert sich entsprechend dieser Zeitspanne. Deshalb ist eine effiziente Emissionsreduzierung bei der bestehenden Weltflotte äußerst wichtig. In diesem Zusammenhang sind vor allem zwei Lösungen möglich: betriebsbezogene Maßnahmen und politische Maßnahmen. Mit den betriebsbezogenen Maßnahmen soll ein geringerer Treibstoffverbrauch anhand einer verbesserten logistischen Planung erreicht werden, die eine Drosselung der Fahrtgeschwindigkeit ermöglicht, was aus Sicht einer Kosten-Nutzen-Bewertung das wirksamste Mittel ist, um die Emissionen zu verringern. Es gibt einige geringfügig voneinander abweichende Ansätze für politische Maßnahmen, wobei im Bereich der Schifffahrt vor allem ihre Einbeziehung in das EU-Emissionshandelssystem zur Begrenzung der CO₂-Gesamtemissionen erörtert wird. Angesichts der zurzeit verfügbaren Techniken zur Verringerung der CO₂-Emissionen könnte die Anwendung eines Handelssystems für CO₂-Emissionen auch die Verringerung der gesamten Schadstoffemissionen bewirken. Die mögliche Einbeziehung der Schifffahrt in das Emissionshandelssystem der EU wird weiter unten in Abschnitt 3.2 erörtert.

Aus den bisherigen Darlegungen folgt, dass im Falle einer Verringerung der CO₂-Emissionen (z. B. entsprechend den in Tabelle 7 angeführten Prozentsätzen) die Schadstoffemissionen daraufhin in einer ähnlichen Größenordnung reduziert würden. Dies ist allerdings nicht in umgekehrter Reihenfolge möglich. Es gibt Maßnahmen in allen drei oben aufgeführten Kategorien (technische, betriebsbezogene und politische Maßnahmen), mit denen Schadstoffemissionen verringert werden können, und zwar ohne eine entsprechende Reduktion der CO₂-Emissionen. Beispiele für diese Maßnahmen werden in den Abschnitten 3.3 – 3.5 genauer erörtert.

Es stehen offensichtlich Technologien zur Verfügung, die eingesetzt werden müssen, damit die Emissionen von Schiffen verringert werden. Der Einsatz dieser Technologien wird dadurch erschwert, dass es keine Vorschriften gibt, mit denen die Schiffseigner zur Reduzierung der Emissionen gezwungen werden können, und wirtschaftliche Anreize fehlen, mit denen der Nutzen für die Umwelt in Wettbewerbsvorteile umgewandelt werden kann. Um die Entwicklung hin zu einer nachhaltigen Schifffahrt zu beschleunigen, wurde im Rahmen des Projekts Clean Shipping^[55] ein Index für saubere Schifffahrt erstellt, der von Passagier- oder Frachtschiffkunden angewandt werden soll. Damit sollen Schifffahrtkunden darüber aufgeklärt werden, dass sie ohne weiteres einen Beitrag für eine bessere Umwelt leisten können (was heutzutage natürlich auch eine gute Werbung für den Kunden selbst ist), indem sie sich erkundigen, wie der Stand der Technik im Hinblick auf eine Verringerung der Umweltauswirkungen der Schiffe ist, die ihre Güter verbringen. Dies eröffnet auch dem Schiffseigner die Möglichkeit, Kunden gegenüber die Flotten- und Streckenplanung als ein besonderes Angebot in einer Situation einzusetzen, in der

üblicherweise die schnellste Lieferung zum geringsten Preis ausschlaggebend ist. Der Index für eine saubere Schifffahrt kann eine wichtige Rolle als Lückenfüller zwischen den Vorschriften für neu gebaute Schiffe und den Vorschriften für die vorhandenen Schiffe spielen. Er ist nicht nur auf Emissionen in die Luft beschränkt, sondern bezieht sich auch auf weniger umweltschädigende Reinigungsmittel, Schmieröle usw. Insofern kann durch ihn auch die Arbeitsumgebung vieler Schiffstechniker verbessert und ihre Exposition gegenüber gesundheitsgefährdender und krebserregender Verbindungen verringert werden.

2.1 Kohlenstoffdioxid

Nur mit einem geringeren Energieverbrauch (oder Treibstoffverbrauch) können heute die CO₂-Emissionen verringert werden, wobei in diesem Fall die Emissionen von anderen Gasen sowie die Partikelemissionen selbstverständlich ebenfalls entsprechend sinken werden. Höchstwahrscheinlich wird in Zukunft die Lösung nicht in einer einzigen Energiequelle für den Schiffsantrieb liegen, sondern in einer Mischung aus verschiedenen Konzepten. In dem von der Reederei Wallenius-Wilhelmsen konzipierten Modellschiff *Orcelle* sind eine Reihe verschiedener Ansätze vereint, die von der Solarenergie über die Windenergie bis zur Wellenenergie reichen, mit der der Wasserstoff für die an Bord befindlichen Brennstoffzellen erzeugt werden soll. Trotz der oben erörterten begrenzten Möglichkeiten der Verwendung von Wasserstoff sind einige Forscher der Ansicht, dass der Wasserstoffantrieb eine Option für die transozeanische Hochgeschwindigkeitsschifffahrt darstellen könnte^[56]. Allerdings sind noch erhebliche Entwicklungsanstrengungen erforderlich, und es ist in frühestens 15 Jahren mit einer möglichen Verwirklichung zu rechnen. Auch im Zusammenhang mit der Brennstoffzellentechnologie, bei der Wasserstoff in der Zelle als Energieträger verwendet wird, wurde erklärt, dass sie hocheffizient sei. Bei dieser Annahme werden aber nicht die Energieverluste berücksichtigt, die bei der Erzeugung von Kraftstoff aus Wasserstoff auftreten (in der Regel ca. 40 %) und die Gesamteffizienz erheblich verringern^[8].

Die IMO entwickelt zurzeit für neu gebaute Schiffe einen Index für Energieeffizienz, mit dem kontrolliert werden kann, ob bei neuen Schiffskonstruktionen bestimmte Grenzwerte für CO₂-Emissionen überschritten werden^[58]. Mit der Entwicklung spezifischer Indizes für einzelne Schiffskategorien soll gewährleistet werden, dass die Energieeffizienz von neuen Schiffskonstruktionen vor dem Bau der Schiffe überprüft wird. Damit wird den Schiffbauingenieuren und Schiffseignern die Möglichkeit an die Hand gegeben, sämtliche Schiffskonstruktionen abzulehnen, die die Anforderungen bezüglich der CO₂-Emissionen nicht erfüllen. Die Ausarbeitung des Index soll rechtzeitig zur Konferenz der Vereinten Nationen zum Klimawandel vom 30. November bis 11. Dezember 2009 in Kopenhagen (COP 15) abgeschlossen werden. Mit dem Index soll das gesamte Potenzial der in Tabelle 7 angeführten technischen Maßnahmen genutzt werden. Eine optimierte Gestaltung des Schiffskörpers und der Schiffsschrauben wird den Energieverbrauch senken. Bei Anlagenkonzepten, bei denen z. B. dieselelektrische Antriebssysteme eingesetzt werden (Eignung ist vom Schiffstyp abhängig^[59]) und Abwärme in größerem Umfang genutzt wird, ähneln die Dieselmotoren eher kleinen Kraftwerken. Eine weitere Verbesserung der Effizienz kann durch ein höheres Verdichtungsverhältnis und eine neu ausgelegte Kraftstoffeinspritzung erreicht werden. Allerdings besteht eine Wechselbeziehung zwischen der Anpassung der Maschinenanlagen zur Reduzierung von CO₂ und der Bildung von NO_x. Bei höheren Verbrennungstemperaturen steigt die Energieeffizienz und sinken folglich die CO₂-Emissionen. Gleichzeitig entsteht jedoch bei höheren Verbrennungstemperaturen mehr NO_x. Bei der Anwendung technischer Maßnahmen zur

Reduzierung von NO_x ergibt sich ein höherer Energieverbrauch (Treibstoffverbrauch), was wiederum mehr CO₂-Emissionen zur Folge hat. Deshalb besteht eine Situation, in der gegeneinander aufgerechnet werden muss, ob auf Technologien zur Reduzierung von NO_x oder auf Technologien zur Reduzierung von CO₂ abgestellt werden soll.

Tabelle 7: CO₂-Reduktionspotenzial durch technische Maßnahmen; übernommen aus Skjølsvik 2000^[8] mit Abänderungen

Maßnahmen bei neuen Schiffen	Treibstoff-/CO ₂ -Reduktionspotenzial		kombiniert ¹⁾		insgesamt ¹⁾	
optimierter Schiffskörper	5-20%	7.9-32Tg	5-30%	7.9-48Tg	5-30%	7.9-48Tg
Auswahl der Schiffsschrauben	5-10%	7.9-16Tg				
optimierte Effizienz	10-12% ²⁾ 2-5% ³⁾	16-19Tg ²⁾ 3.2-7.9Tg ³⁾	14-17% ²⁾ 6-10% ³⁾	22-27Tg ²⁾ 9.5-16Tg ³⁾		
Treibstoff (von Schweröl zu Schiffsdiesel)	4-5%	6.3-7.9Tg	8-11%	13-17Tg		
Anlagenkonzepte	4-6%	6.3-9.5Tg				
Treibstoff (von Schweröl zu Schiffsdiesel)	4-5%	6.3-7.9Tg				
Maschinenanlagenüberwachung	0.5-1%	0.79-1.6Tg				
Maßnahmen bei vorhandenen Schiffen	Treibstoff-/CO ₂ -Reduktionspotenzial		kombiniert ¹⁾		insgesamt ¹⁾	
optimierte Wartung des Schiffskörpers	3-5%	4.7-7.9Tg	4-8%	6.3-13Tg	4-20%	6.3-32Tg
Wartung der Schiffsschrauben	1-3%	1.6-4.7Tg				
Treibstoffeinspritzung	1-2%	1.6-3.2Tg	5-7%	7.9-11Tg		
Treibstoff (von Schweröl zu Schiffsdiesel)	4-5%	6.3-7.9Tg				
Effizienzbewertung	3-5%	4.7-7.9Tg	7-10%	11-16Tg		
Treibstoff (von Schweröl zu Schiffsdiesel)	4-5%	6.3-7.9Tg				
Effizienzbewertung + TC-Upgrade	5-7%	7.9-11Tg	9-12%	14-19Tg		
Treibstoff (von Schweröl zu Schiffsdiesel)	4-5%	6.3-7.9Tg				

¹⁾ Während das Reduktionspotenzial einzelner Maßnahmen anhand verschiedener Quellen gut dokumentiert ist, beruht das Reduktionspotenzial einer Kombination von Maßnahmen lediglich auf Schätzungen.

²⁾ Moderne Technik in neuen Motoren für mittlere Fahrtgeschwindigkeiten, die mit Schweröl betrieben werden.

³⁾ Motoren für niedrige Fahrtgeschwindigkeiten, wenn eine Aufrechnung mit NO_x akzeptiert wird.

Skjølsvik u. a. (2000)^[8] haben darauf hingewiesen, das ein Wechsel von Schweröl zu Schiffsdiesel zur Verringerung von CO₂-Emissionen beitragen könnte, auch wenn hierbei der größte Vorteil in einer Verringerung der SO_x-Emissionen um ungefähr 70 % liegt. In der jüngeren Studie von Corbett u. a. (2008)^[60] werden für Schmieröl, Schiffsdiesel und Gasöl für den Seeverkehr die gesamten Lebenszyklen von Treibstoffen in Bezug auf CO₂ miteinander verglichen. Aus dieser Studie geht hervor, dass sich im Rahmen der Raffination von Schiffsdiesel und Gasöl für den Schiffsverkehr die CO₂-Emissionen um 1 % erhöhen und die Möglichkeit besteht, diese Emissionen durch eine Optimierung der Raffination zu verringern. Allerdings ist ein Wechsel zu besseren Treibstoffen keineswegs

mit einer sofortigen erheblichen Nettoreduktion der CO₂-Emissionen gleichzusetzen. Der Vorteil liegt im Potenzial für die Verringerung der Schwefelemissionen.

Eine andere technische Lösung für neu gebaute und vorhandene Schiffe ist die Nutzung von Windenergie, die heutzutage auf dem Markt verfügbar ist (www.skysails.com) und von der behauptet wird, dass sie den jährlichen Treibstoffverbrauch (und dadurch die Emissionen) von Frachtschiffen mit einer Maschinenleistung von normalerweise 5 MW um 10-35 % verringert. Der Segelantrieb soll dabei in einer Entfernung von mindestens 3 Meilen (ca. 4,8 km) von der Küste zum Einsatz kommen. Bei optimalen Windbedingungen können bis zu 50 % Treibstoff eingespart werden. Um den Segelantrieb maximal nutzen zu können, sind natürlich Erfahrungen im Bereich der wetterabhängigen Planung und der Routenplanung erforderlich.

Politische Maßnahmen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen wurden von Kågeson^[9] erörtert. Er kommt zu der Schlussfolgerung, dass eine Verringerung der CO₂-Emissionen der Schifffahrt und schließlich das Ziel einer Verringerung von 20 % bis zum Jahr 2020 am einfachsten erreicht werden könnte, indem die im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems geltenden Obergrenzen schrittweise abgesenkt werden. Parallel dazu müsste eine harmonisierte CO₂-Besteuerung eingeführt werden, um die nicht vom Handelssystem erfassten Emissionen einzubeziehen. Allerdings setzt dieser Ansatz voraus, dass die Mitgliedstaaten in solch einem Maße über den Klimawandel besorgt sind, dass sie einer zentralen (und nicht nationalen) Beschlussfassung in Steuerfragen zustimmen würden. Die Ziele lassen sich möglicherweise auch dadurch bis 2020 erreichen, dass alle Wirtschaftszweige, die CO₂ ausstoßen, einbezogen werden und der Grundsatz des Handels mit Emissionszertifikaten für alle noch nicht beteiligten Wirtschaftszweige gilt. Dieses Thema wird derzeit in der IMO erörtert. Der Reederverband in der Europäischen Gemeinschaft (ECSA) befürwortet ein Handelssystem für CO₂-Emissionen. Ein weltweites Emissionshandelssystem wäre jedoch vorzuziehen. So sind in dem von Kågeson vorgeschlagenen System Maßnahmen vorgesehen, mit denen bewirkt werden soll, dass es keinen Nutzen bringt, wenn in einem nicht vom EU-Emissionshandelssystem abgedeckten Gebiet Treibstoff aufgenommen und dann das CO₂ innerhalb der EU ausgestoßen wird. Dieses Problem lässt sich dadurch lösen, dass der Nachweis des Erwerbs von Emissionszertifikaten verlangt wird, die den Treibstoffverbrauch der letzten sechs Monate abdecken (falls sie nicht schon vorher in einem anderen Hafen innerhalb des Gebietes des EU-Emissionshandelssystems eingelöst wurden). Dieses System soll ähnlich funktionieren wie das System mit Lieferscheinen für Schweröl (bunker notes) und ist mit dem Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen (UNCLOS) vereinbar.

Im Zusammenhang mit den Zielen und der möglichen Ausgestaltung des weltweiten Emissionshandelssystems stellt sich auch die Frage, wie mit den Vorteilen zu verfahren ist, die der Schifffahrtbranche durch eine mögliche Emissionsverringerung aufgrund der Drosselung der Fahrtgeschwindigkeit zugute kommen. Einige Forscher behaupten, dass dies nicht als eine echte Reduktion zu bewerten ist, weil keine technischen Maßnahmen zur Anwendung kommen und keine entsprechenden Anstrengungen notwendig sind^[61]. In diesem Fall würde die Schifffahrtbranche begünstigt werden, weil sie ohne großen Aufwand ihre Emissionen verringern und dadurch von ihren Emissionszertifikaten profitieren könnte.

Neben den technischen und politischen Maßnahmen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen gibt es betriebsbezogene Maßnahmen. Hierbei ist, wie im Bereich des Straßenverkehrs, die

Drosselung der Fahrtgeschwindigkeit die wirksamste Maßnahme. Aus den Fallstudien von Isensee u. a. (2004)^[62] geht hervor, dass mit einer reduzierten Fahrtgeschwindigkeit eine erhebliche Verringerung (44 %) des Treibstoffverbrauchs/CO₂-Ausstoßes selbst dann erreicht werden kann, wenn zusätzliche Schiffe eingesetzt werden müssen, um die (auf die Drosselung der Fahrtgeschwindigkeit zurückzuführende) geringere Frachtgutlieferkapazität auszugleichen. Das mit den betriebsbezogenen Maßnahmen verbundene Reduktionspotenzial ist in Tabelle 8 aufgeführt. Der begriff „Just-in-time-Routenplanung“ bezieht sich auch auf die Fahrtätigkeit mit gedrosselter Geschwindigkeit. Diese Routenplanung ist zusammen mit der Flottenplanung, d. h. der Optimierung des Einsatzes der Schiffskapazitäten, und der wetterabhängigen Routenplanung die effizienteste Maßnahme, mit der der Treibstoffverbrauch und damit die Emissionen von Schiffen verringert werden können. Angaben zur Leistungsfähigkeit der anderen betriebsbezogenen Maßnahmen sind bei Skjølsvik 2000^[8] aufgeführt.

Tabelle 8: CO₂-Reduktionspotenzial durch betriebsbezogene Maßnahmen; übernommen aus Skjølsvik 2000^[8] mit Abänderungen.

Optionen	Treibstoff-/CO ₂ -Reduktionspotenzial		kombiniert ¹⁾		insgesamt ¹⁾			
betriebsbezogene Planung/Fahrtgeschwindigkeit								
Flottenplanung	5-40%	7.9-63Tg	1-40%	1.6-63Tg	1-40%	1.6-63Tg		
Just-in-time-Routenplanung	1-5%	1.6-7.9Tg						
wetterabhängige Routenplanung	2-4%	3.2-6.3Tg						
sonstige Maßnahmen								
konstante U/min	0-2%	0-3.2Tg	0-5%	13-17Tg				
optimaler Trimm	0-1%	0-1.6Tg						
minimaler Ballast	0-1%	0-1.6Tg						
optimaler Anstellwinkel der Schiffsschraube	0-2%	0-3.2Tg						
optimale Rudereinstellung	0-0.3%	0-0.47Tg						
verkürzte Liegezeiten in Häfen								
optimaler Frachtumschlag	1-5%	1.6-7.9Tg	1-7%	1.6-11Tg				
optimales Anlegemanöver und optimale Vertäuerung und Verankerung	1-2%	1.6-3.2Tg						

¹⁾ Während das Reduktionspotenzial einzelner Maßnahmen anhand verschiedener Quellen dokumentiert ist, beruht das Reduktionspotenzial einer Kombination von Maßnahmen lediglich auf Schätzungen.

2.2 Schwefeloxid

Schweferoxidemissionen stammen aus dem im Kraftstoff enthaltenen Schwefel, sodass die Verbrennung von schwefelarmem Kraftstoff die Emissionen in entsprechendem Umfang senkt. In der Richtlinie 2005/33/EG wird ab dem 1. Januar 2010 ein höchstzulässiger Schwefelgehalt von 0,1 % für in der Binnenschifffahrt und von Schiffen an Liegeplätzen genutzte Kraftstoffe vorgeschlagen. Geht man von einem gegenwärtigen Jahresverbrauch von 5MT^[63, 64] an Schiffskraftstoff mit einem geschätzten

durchschnittlichen Schwefelanteil von 0,2 % aus, so ließen sich mit einer solchen Neuregelung jährlich 5000 Tonnen Schwefel gegenüber dem „Weiter wie bisher-Szenario“ einsparen. In früheren Untersuchungen wurden die Kosten der negativen Gesundheitsauswirkungen von Schiffsabgasen in den EU-Häfen auf 8 200 EUR pro 1000 Tonnen ausgestoßenem Schwefeldioxid und 30 500 EUR pro 1000 Tonnen Schwebstoffe^[65] geschätzt. Diese Schätzungen entsprechen den im Rahmen des Programms „saubere Luft für Europa“ (CAFE)^[66] genannten Zahlen. Man kann davon ausgehen, dass die Emissionen durch die Binnenschifffahrt nicht nur Gebiete mit einer so hohen Bevölkerungsdichte wie Häfen betreffen, sodass die tatsächlichen jährlichen Einsparungen in den oben genannten Kostenschätzungen möglicherweise überschätzt werden könnten. Aber derart komplizierte detaillierte Berechnungen sind nicht Gegenstand der vorliegenden Studie; eine grobe Schätzung lässt auf Gesundheitskosteneinsparungen in Höhe von rund 41 000 EUR yr⁻¹ schließen.

Laut einer von James Corbett u.a. angefertigten Studie stiegen die gesamten Kohlendioxidemissionen aus der Verbrennung von raffiniertem schwefelarmem Heizöl um weniger als 1 %^[60], sodass die Besorgnis angesichts steigender Kohlendioxidemissionen aus der Raffinierung von schwefelarmem Heizöl in letzter Zeit relativiert wurde. Dies könnte den ökologischen Anreiz von alternativen Verfahren zur Senkung des Schwefelausstoßes wie etwa der Abgaswäsche mit Meerwasser (Seawater Scrubbing, SWS) verringern. Seawater Scrubbing senkt den Schwefelausstoß nachweislich um 70 bis 95 % je nach dem genutzten Kraftstoff und den Bedingungen im Skrubber^[67]. Allerdings ist die Eignung dieses Verfahrens in geschlossenen oder teilweise geschlossenen Zonen wie Häfen Gegenstand einer Kontroverse. Beim Seawater Scrubbing wird angesäuertes Meerwasser abgegeben, sodass die Pufferkapazität des Umgebungssalzwassers von den chemischen Eigenschaften des Meerwasser, vor allem seiner Alkalität, abhängt. Neben der Senkung des Schwefelausstoßes erlaubt das Seawater Scrubbing auch die Reinigung der Abgase von Schwebstoffen. Einige Studien weisen ferner auf eine leichte NO_x-Senkung (ein paar Prozent) hin. Aus regulatorischer Sicht könnte sich aber eine allgemeine (vorzugsweise weltweite) Umstellung auf einen schwefelarmen Kraftstoff als leichter erweisen, wobei dieser Kraftstoff in allen Häfen verfügbar sein müsste und keine anderen Techniken auf Schiffen zulässig sein dürften. Der Ausstoß an Schwebstoffen hängt in hohem Maße vom Schwefelgehalt des Kraftstoffs ab und würde vermutlich durch die Umstellung von stark schwefelhaltigem Kraftstoff auf schwefelarmen Kraftstoff gesenkt werden.

Tabelle 9. Senkung der Schwefeldioxidemissionen^[59]

	Emissionssenkung			
	SO ₂	NO _x	Schwebstoffe	VOC
Seawater Scrubbing	75 %	0 %	25 %	0 %
Umstellung auf einen anderen Kraftstoff 2,7 % → 1,5 % S	44 %	0 %	18 %	0 %
Umstellung auf einen anderen Kraftstoff 2,7 % → 0,5 % S	81 %	0 %	20 %	0 %
Umstellung auf einen anderen Kraftstoff 0,5 % → 0,1 % S	80 % ^a	keine Daten	keine Daten	keine Daten

^aCofala u.a. 2007^[54]

3.3 Stickoxide

Eine deutliche Reduktion des Ausstoßes von Stickoxiden soll über die Optimierung der Verbrennung, die Verbesserung der Ladelufteigenschaften und die Änderung des Einspritzsystems^[65] erreicht werden. Die zum Erreichen dieser drei Ziele zur Verfügung stehenden technischen Lösungen umfassen verschiedene Arten motorseitiger Maßnahmen, von denen die einfacheren (die vorwiegend auf der Installation von Schiebern basieren) Stickoxide normalerweise um 20 bis 30 Prozent reduzieren, während fortgeschrittenere Lösungen wie eine verzögerte Einspritzung, ein höherer Verdichtungsgrad oder ein verbesserter Motorenwirkungsgrad den Stickstoffausstoß um ca. 30 Prozent reduzieren können. Die Wirkungsgrade der verschiedenen Methoden sind in Tabelle 10 zusammengestellt. Für genauere Informationen zu jeder einzelnen Methode siehe Skjølvik 2000^[8] und Löfblad und Fridell 2006^[65].

Tabelle 10. Wirkungsgrade der verschiedenen Maßnahmen hinsichtlich der Verminderung des Ausstoßes von Stickoxiden. Bearbeitete Angaben aus Skjølvik 2000^[8].

	Wirkungsgrad hinsichtlich der Reduktion			
	Stick-oxide	Partikel	flüchtige organische Verbindungen	Kohlenstoffoxide
einfache motorseitige Maßnahmen – Schieber ^a	20%	angenommener Wert ± 0 , unbestätigten Angaben zufolge eine Reduktion von bis zu 50%	angenommener Wert ± 0 , unbestätigten Angaben zufolge eine Reduktion von bis zu 50%	angenommener Wert ± 0 , eine gewisse Steigerung ist möglich
Direktwassereinspritzung	50%	± 0	± 0	± 0
Feuchtluftmotoren und ähnliche Methoden	70-85%	± 0	± 0	± 0
Selektive katalytische Reduktion ^{b,c}	90%	± 0	± 0 75-90% in Verbindung mit einem Oxidationskatalysator	± 0 50-90% in Verbindung mit einem Oxidationskatalysator

^a Einfache motorseitige Maßnahmen können sich in Abhängigkeit vom verwendeten Kraftstoff auch positiv auf die Menge der ausgestoßenen Partikel und der flüchtigen organischen Verbindungen auswirken.

^b Die selektive katalytische Reduktion kann den Motorenlärm um 20 bis 35 dB(A) reduzieren. Es ist nicht bekannt, dass irgendeine andere der genannten Techniken einen Einfluss auf die Lärmentwicklung hat.

^c Die selektive katalytische Reduktion führt zu einer Senkung des Ammoniak-Ausstoßes um 0.1g/kWh.

Die Nutzungsdauer eines Schiffs wird auf 20 bis 30 Jahre geschätzt. Der neue Vorschlag für ein System zur schrittweisen Reduktion des Ausstoßes von Stickoxiden (IMO April 2008)^[37] (Tabelle 11) würde den gegenwärtigen Grenzwert von 17g/kWh verschärfen.

Allerdings werden die neuen Grenzwerte aufgrund der relativ langsamen Erneuerung der Flotte noch einige Jahre lang keine Folgen für einen großen Teil der internationalen Flotte haben. Nach Angaben des Reederverbands in der Europäischen Gemeinschaft (European Community Shipowners' Association, ECSA)^[68] betrug das Durchschnittsalter der europäischen Flotte 2007 11,13 Jahre.

Tabelle 11. Die vorgeschlagenen Stufen I bis III für Stickoxidgrenzwerte:

	Schiffe gebaut am oder nach dem ^a	Stickoxide in g/kWh
Stufe I	1. Januar 2000	17
Stufe II	1. Januar 2011	14,4
Stufe III	1. Januar 2016	3,4

^a Für Schiffe mit einer Dieselmotorenleistung von mehr als 5MW und einem Hubraum von mehr als 90 Litern pro Zylinder, die zwischen 1990 und 2000 gebaut worden sind, gilt ein Grenzwert von 17g/kWh.

3.4 Partikel

Die Verringerung von Partikeln ist mit den derzeit zur Verfügung stehenden Technologien schwierig, da es keine Filter für die Abgase aus der Verbrennung von Schweröl in der Schifffahrt gibt. Es gibt zwar Techniken zur Minimierung großer Russpartikel, jedoch sind deren Umweltauswirkungen und/oder deren negative Auswirkungen auf die Gesundheit wahrscheinlich gering. Werden zusammen mit Treibstoff mit einem geringeren Schwefelgehalt und – wie in Tabelle 9 ersichtlich – folglich geringerer Partikelbildung Filter zur Verringerung des Anstiegs von Partikeln verwendet^[43], hat dies wiederum zur Folge, dass die Filter weniger verstopfen. Es gibt jedoch noch keine Filter für die riesigen Maschinen, die in großen Schiffen verwendet werden, selbst wenn diese Öl mit einem geringen Schwefelgehalt verwenden würden.

Eine weitere Maßnahme, die diskutiert wird, um den Partikelaustritt zu verringern, besteht darin, das Schiff im Hafen an das Festlandstromnetz anzuschließen^[69]. Laut Jivén 2004^[63] könnten auf kostengünstige Art und Weise nicht nur die Partikel, sondern auch die anderen Emissionen im Hafen verringert werden, wenn das Schiff im Hafen an die Stromversorgung („cold ironing“) angeschlossen würde. Auch die Netto-CO₂-Emissionen lassen sich verringern, wenn die Elektrizität für die Versorgung von Schiffen, die im Hafen liegen, aus erneuerbaren Energieträgern stammt. Der überragende positive Effekt besteht indessen in der Verringerung der regionalen Auswirkungen von Partikeln und der zur Versauerung führenden Ablagerung von SO_x und NO_x.

Cofala und andere^[54] stellten Szenarioberechnungen für unterschiedliche politische Maßnahmen an, die sich auf die zur Verfügung stehenden technischen Maßnahmen stützten, und kamen zu dem Ergebnis, dass folgende Maßnahmen zur Verringerung am kostenwirksamsten sind:

- Nachrüstung der Schieber für alle vorhandenen mit geringer Geschwindigkeit laufenden Motoren
- Ausrüstung aller neu gebauten Schiffe mit Feuchtluftmotoren (Humid Air Motors)

- Verwendung von Treibstoffen mit einem Schwefelgehalt von 0,5% in den Schwefelemissionsüberwachungsgebieten (SECA), der Ostsee und der Nordsee
- (Als Option zusätzliche Kontrollen, ob der Schwefelgehalt des in Frachtschiffen verwendeten Schweröls innerhalb der 12-Meilen-Zone vor der Küste 1,5% nicht übersteigt.)

Die voraussichtlichen Auswirkungen dieser Maßnahme im Jahr 2020 im Vergleich zu einem Ausgangsszenario bestehen in der Verringerung der NO_x-Emissionen um 28% und einer Verringerung von SO₂ um 14% (16,3%). Die Kosten der Umsetzung würden 770 (830) Millionen € pro Jahr zusätzlich zu den Grundkosten betragen. Bedenkt man jedoch, welche Maßnahmen an Land andernfalls notwendig wären, um die durch die Richtlinie über die einzelstaatlichen Obergrenzen für Emissionen in diesen Themenbereichen gesetzten Zielvorgaben zu erreichen, verringern sich die Nettokosten um etwa 1,5 Milliarden € jährlich.

4 Abschließende Bemerkungen

Emissionen von Schiffen wurden lange Zeit gänzlich vernachlässigt, während die Emissionen von Treibhausgasen, zu Versauerung und Eutrophierung führenden Stoffen aus Quellen auf dem Festland Gegenstand von Verordnungen waren, mit denen der anthropogene Klimawandel und die Verschmutzung verringert werden sollen. Nachdem jetzt ein ganzes Jahrzehnt lang Berichte zu dem Schluss gekommen sind, dass die Umweltauswirkungen von Schiffsemissionen auf globaler, regionaler und lokaler Ebene signifikant sind, werden endlich Maßnahmen vorgeschlagen, die auch die Schifffahrt einbeziehen. In Bezug auf CO₂ wird höchstwahrscheinlich auch die Schifffahrt dem Handel mit Emissionszertifikaten unterworfen, möglicherweise durch Einbeziehung in das EU-Emissionshandelssystem. Wenn die vorgeschlagenen neuen Verordnungen der IMO zur Verringerung von SO_x in die Tat umgesetzt werden, dürfte es wohl kaum noch Raum für den Emissionshandel für Schwefelemissionen geben. In den Verordnungsvorschlägen für NO_x geht es um die Verringerung der Emissionen neu gebauter Schiffe, aber es besteht die Gefahr, dass eine große Zahl der vor 2000 gebauten Schiffe, die den Definitionen der neuen Verordnung nicht entsprechen, nach wie vor einen hohen Anteil an den globalen NO_x-Emissionen aus der Schifffahrt haben. Es ist von überragender Wichtigkeit, weiter daran zu arbeiten, dass die Emissionsdaten aus den einzelstaatlichen Verzeichnissen standardisiert werden. Von daher ist nicht nur mit größerer Sorgfalt vorzugehen, sondern notwendig ist auch eine vollständigere und verlässlichere Analyse der Emissionstrends, sowohl aus der Schifffahrt als auch aus anderen Quellen. Und selbstredend dürfen die Ansätze zur Regulierung der einzelnen Gase – bildlich gesprochen – keinesfalls voneinander abgeschottet entwickelt werden^[70]. Bei der Diskussion unterschiedlicher Maßnahmen ist ein holistischer Gesamtansatz notwendig, zumal es dazu kommen kann, dass durch die Verringerung eines Schadstoffes oder Treibhausgases verstärkt Emissionen anderer Stoffe freigesetzt werden.

Danksagung

Dank an Hulda Winnes für unschätzbare Diskussionsbeiträge.

3 Literaturverzeichnis

1. Capaldo, K., et al., *Effects of ship emissions on sulphur cycling and radiative climate forcing over the ocean*. Nature, 1999. **400**(6746): p. 743-746.
2. Corbett, J.J. and P. Fischbeck, *Emissions from Ships*. Science, 1997. **278**(5339): p. 823-824.
3. Corbett, J.J. and H.W. Koehler, *Updated emissions from ocean shipping*. Journal of Geophysical Research, 2003. **108**(D20).
4. Derwent, R.G., et al., *The Contribution from Shipping Emissions to Air Quality and Acid Deposition in Europe*. Ambio, 2005. **34**(1): p. 54-59.
5. Eyring, V., et al., *Emissions from international shipping: 1. The last 50 years*. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 2005. **110**(D17).
6. Fuglestedt, J., et al., *Climate forcing from the transport sectors*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2008. **105**(2): p. 454-458.
7. Lauer, A., et al., *Global model simulations of the impact of ocean-going ships on aerosols, clouds, and the radiation budget*. Atmospheric Chemistry and Physics, 2007. **7**: p. 5061-5079.
8. Skjølsvik, K.O., et al., *Study of greenhouse gas emissions from ships (report to International Maritime Organization on the outcome of the IMO Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships), MEPC 45/8*. 2000, MARINTEK Sintef Group/Carnegie Mellon Univ., Center for Economic Analysis/Det Norske Veritas: Trondheim, Norway.
9. Kågeson, P., *Tools for Cutting European Transport Emissions. CO2 Emissions Trading or Fuel Taxation?* 1 ed. 2008: SNS Förlag. 110.
10. Makower, J., R. Pernick, and C. Wilder (2008) *Clean energy trends 2008*. **Volume**,
11. European Commission, *Panorama of transport*. Eurostat statistical books. 2007.
12. Hjorth, M., et al., *Functional and structural responses of marine plankton food web to pyrene contamination*. Marine Ecology-Progress Series, 2007. **338**: p. 21-31.
13. Feely, R.A., et al., *Impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans*. Science, 2004. **305**(5682): p. 362-366.
14. Corbett, J.J. and H.W. Koehler, *Considering alternative input parameters in an activity-based ship fuel consumption and emissions model: reply to comment by Øyvind Endresen et al. on "Updated emissions from ocean shipping"*. Journal of Geophysical Research, 2004. **109**(doi:10.1029/2004/D005030): p. D23303.
15. Endresen, O., et al., *Substantiation of a lower estimate for the bunker inventory: Comment on "Updated emissions from ocean shipping" by James J. Corbett and Horst W. Koehler*. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 2004. **109**(D23).
16. Entec UK Limited, et al., *Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community*. 2002, European Commission Directorate General Environment.
17. Kahn Ribeiro, S., S. Kobayashi, M. Beuthe, J. Gasca, D. Greene, D. S. Lee, Y. Muromachi, P. J. Newton, S. Plotkin, D. Sperling, R. Wit, P. J. Zhou, *Transport and its infrastructure*, in *In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*

- Climate Change*, O.R.D. B. Metz, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer, Editor. 2007, Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom
New York, NY, USA.
18. Endresen, Ø., et al., *Emission from international sea transportation and environmental impact*. Journal of Geophysical Research, 2003. **108**(D17): p. 4560 doi 10.1029/2002JD002898.
 19. Eyring, V., et al., *Emissions from international shipping: 2. Impact of future technologies on scenarios until 2050*. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 2005. **110**(D17).
 20. BMT Murray Fenton Edon Liddiard Vince Limited, *Study on the economic, legal, environmental and practical implications of a European Union system to reduce ship emissions of SO₂ and NO_x*. 2000, European Commission.
 21. European Federation for Transport and Environment, *CO₂ emissions from transport in the EU27 - An analysis of data submitted to the UNFCCC*. 2007.
 22. Giannouli, M., et al., *Development of a database system for the calculation of indicators of environmental pressure caused by transport*. Science Of The Total Environment, 2006. **357**(1-3): p. 247-270.
 23. Peters, G.P., *From production-based to consumption-based national emission inventories*. Ecological Economics, 2008. **65**(1): p. 13-23.
 24. Entec UK Limited, et al., *Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments: Task 1 - Preliminary Assignment of Ship Emissions to European Countries*. 2005, European Commission Directorate General Environment.
 25. Lloyd's Register Fairplay AIS Live.
http://www.lrfairplay.com/Maritime_Data/AISlive/AISLive.html?product=AISLive&i=6. 2008 [cited].
 26. European Commission - Eurostat, *Environment and Energy*,
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=1996,45323734&_dad=portal&_schema=PORTAL&screen=welcomeref&open=/&product=Yearlies_new_environment_energy&depth=4. 2008.
 27. Raupach, M.R., et al., *Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007. **104**(24): p. 10288-10293.
 28. CE Delft, *Greenhouse gas emissions for shipping and implementation guidance for the marine fuel sulphur directive*. 2006, European Commission.
 29. Georgakaki, A. and S.C. Sorenson, *Report on collected data and resulting methodology for inland shipping*, in *EU project ARTEMIS - Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems*, T.U.o. Denmark, Editor. 2004.
 30. Song, C.H., et al., *Dispersion and chemical evolution of ship plumes in the marine boundary layer: Investigation of O₃/NO_y/HO_x chemistry*. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 2003. **108**(D4).
 31. Flanner, M.G., et al., *Present-day climate forcing and response from black carbon in snow*. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 2007. **112**(D11).
 32. Chestnut, L.G., D.M. Mills, and D.S. Cohan, *Cost-benefit analysis in the selection of efficient multipollutant strategies*. Journal Of The Air & Waste Management Association, 2006. **56**(4): p. 530-536.
 33. World Health Organization, *Reducing risks, promoting healthy life*, in *World health report 2002*. 2002, World Health Organization: Geneva, Switzerland. p. 230.

34. World Health Organization, *Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*, in *Report on a WHO Working Group, January 2003*. 2003, World Health Organization, Regional Office for Europe: Bonn, Germany. p. 98.
35. Corbett, J.J., et al., *Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment*. Environmental Science & Technology, 2007. **Accepted October 04 2007**.
36. The Swedish NGO Secretariat on Acid Rain. www.acidrain.org. 2008 [cited; Available from: www.acidrain.org].
37. IMO. http://www.imo.org/Newsroom/mainframe.asp?topic_id=1709&doc_id=9123. 2008 [cited].
38. Inland Navigation Europe. *Sulphur content of fuel inland waterway transport to be set at 10ppm*, http://www.inlandnavigation.org/documents/EU/INE%20Statements/D_INE_sulphur_07_09_19.pdf. 2007 [cited].
39. IMO. www.imo.org. [cited 2007 2007-09-05]; Available from: www.imo.org.
40. Konovalov, I.B., et al., *Satellite measurement based estimates of decadal changes in European nitrogen oxides emissions*. Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, 2008.
41. US Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/air/urbanair/nox/index.html>. 2008 [cited].
42. Fridell, E., E. Steen, and K. Peterson, *Primary particles in ship emissions*. Atmospheric Environment, 2008. **42**(6): p. 1160-1168.
43. Karila, K., et al., *Reduction of particulate emissions in compression ignition engines*. 2004, Helsinki University of Technology.
44. Harley, C.D.G., et al., *The impacts of climate change in coastal marine systems (vol 9, pg 228, 2006)*. Ecology Letters, 2006. **9**(4): p. 500-500.
45. Orr, J.C., et al., *Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms*. Nature, 2005. **437**(7059): p. 681-686.
46. Fabry, V.J., *Marine Calcifiers in a High-CO₂ Ocean*. Science, 2008. **320**: p. 1020-1022.
47. Ishimatsu, A., et al., *Effects of CO₂ on marine fish: Larvae and adults*. Journal of Oceanography, 2004. **60**(4): p. 731-741.
48. Shirayama, Y. and H. Thornton, *Effect of increased atmospheric CO₂ on shallow water marine benthos*. Journal of Geophysical Research-Oceans, 2005. **110**(C9).
49. Duce, R.A., et al., *Impacts of atmospheric anthropogenic nitrogen on the open ocean*. Science, 2008. **320**(5878): p. 893-897.
50. Jickells, T., *The role of air-sea exchange in the marine nitrogen cycle*. Biogeosciences, 2006. **3**(3): p. 271-280.
51. Kasibhatla, P., et al., *Do emissions from ships have a significant impact on concentrations of nitrogen oxides in the marine boundary layer?* Geophysical Research Letters, 2000. **27**(15): p. 2229-2232.
52. Spokes, L.J. and T.D. Jickells, *Is the atmosphere really an important source of reactive nitrogen to coastal waters?* Continental Shelf Research, 2005. **25**(16): p. 2022-2035.
53. Stipa, T., et al., *Emissions of NO_x from Baltic shipping and first estimates of their effects on air quality and eutrophication of the Baltic Sea*, in *ShipNODeff programme*, www.shipnodeff.org. 2007.
54. Cofala, J., et al., *Analysis of Policy Measures to Reduce Ship Emissions in the Context of the Revision of the National Emissions Ceiling Directive*. 2007.

55. Ahlbom, J. and U. Duus, www.cleanshippingproject.se. 2008.
56. Veldhuis, I.J.S., R.N. Richardson, and H.B.J. Stone, *Hydrogen fuel in a marine environment*. International Journal of Hydrogen Energy, 2007. **32**: p. 2553-2566.
57. O'Rourke, R., *Navy Ship Propulsion Technologies: Options for reducing oil use - background for congress*, in Congressional Research Service, Report for Congress. 2006, National Defense, Foreign Affairs, Defense and Trade Division.
58. Breinholt, C. *Attained and Required Energy Efficiency Design Index. Proposed by Denmark and further developed by MEPC 58*. in *Air Emissions from Shipping Status and Way Ahead*. October 27th 2008. Copenhagen.
59. Gustafsson, D., *När skall diesel-elektrisk framdrivning av fartyg väljas? (in Swedish, abstract in English)*. 2008, Högskolan i Halmstad. p. 25.
60. Corbett, J.J. and J.J. Winebrake, *Emissions tradeoffs among alternative marine fuels: Total fuel cycle analysis of residual oil, marine gas oil, and marine diesel oil*. Journal Of The Air & Waste Management Association, 2008. **58**(4): p. 538-542.
61. NERA, et al., *Evaluation of the Feasibility of Alternative Market-Based Mechanisms To Promote Low-Emission Shipping In European Union Sea Areas*. 2004, NERA on assignment of European Commission, Directorate-General Environment: London.
62. Isensee, J. and V. Bertram, *Quantifying external costs of emissions due to ship operation*. Proc. Instn. Mech. Engrs Part M Journal of Engineering of the Maritime Environment, 2004. **218**: p. 41-51.
63. BeicipFranlab, *Advice on Marine Fuel - Potential price premium for 0.5%S marine fuel; Particular issues facing fuel producers in different parts of the EU; and Commentary on marine fuels market*. 2003.
64. International Energy Agency, *Key world energy statistics*. 2007.
65. Lövblad, G. and E. Fridell, *Experiences from use of some techniques to reduce emissions from ships*. 2006, Profu and IVL.
66. Holland, M., et al., *Damages per tonne emission of PM2.5, NH3, SO2, NOx and VOCs from each EU25 Member State excluding Cyprus) and surrounding seas*, P. Watkiss, Editor. 2005, AEA Technology for European Commission DG Environment.
67. Hassellöv, I.-M. and D.T. Turner, *Seawater Scrubbing - reduction of SO_x emissions from ship exhausts*, in *The Alliance for Global Sustainability*. 2007.
68. European Community Shipowner's Association, *Annual report 2006-2007*. 2007.
69. Jivén, *Shore-side electricity for ships in ports. Case studies with estimates of internal and external costs, prepared for the North Sea Commission*. 2004, Mariterm AB.
70. Bell, M.L., B.F. Hobbs, and H. Ellis, *Metrics matter: Conflicting air quality rankings from different indices of air pollution*. Journal Of The Air & Waste Management Association, 2005. **55**(1): p. 97-106.