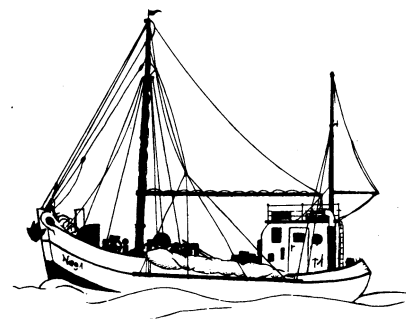


# Förderkreis »Rettet die Elbe« eV

Nernstweg 22 • 22765 HAMBURG • Tel.:040/39 30 01

eMail: foerderkreis@rettet-die-elbe.de • <http://www.rettet-die-elbe.de>

---



## Erläuterungsbericht E: Luftschadstoffe aus der Schifffahrt.

### Inhaltsverzeichnis:

	Seite
<a href="#">Stickoxidemissionen .....</a>	<a href="#">12</a>
<a href="#">Schwefeloxidemissionen.....</a>	<a href="#">12</a>
<a href="#">Vergleich mit Industrie- und Landverkehrsemissionen.....</a>	<a href="#">13</a>
<a href="#">Partikelemissionen.....</a>	<a href="#">13</a>
<a href="#">Kohlenmonoxid.....</a>	<a href="#">14</a>
<a href="#">Kohlendioxid .....</a>	<a href="#">14</a>
<a href="#">Vergleich mit Industrie und Landverkehr.....</a>	<a href="#">14</a>
<a href="#">Umwelteinflüsse durch Schiffsemissionen.....</a>	<a href="#">15</a>

## **1. Einleitung**

Der kommerzielle Seeschiffsverkehr hat gerade auf den bedeutsamen Schifffahrtsstraßen von Nord- und Ostsee erheblich zugenommen. Die Seeschifffahrt bringt dabei mehrere gravierende Umweltbelastungen und -risiken mit sich. Verschiedenste Emissionen von Schiffen tragen zur Verschmutzung der Umwelt bei. So setzen Schiffe Luftschadstoffe, Treibhausgase und ozonschädigende Substanzen in die Atmosphäre frei. Die von Schiffen freigesetzten Luftschadstoffe schlagen sich auch im Küstenbereich und in den Häfen an Land nieder und können dort Umweltprobleme verursachen, die sich auf die menschliche Gesundheit, die natürliche Umwelt und die bebaute Umgebung auswirken.

Die EU-Richtlinie 2005/33/EG verfolgt das Ziel, die Schiffsemissionen im Hafen zu reduzieren. Ab 2010 müssen alle Schiffe, die in einem EU-Hafen liegen, Schiffstreibstoffe mit 0,1% Schwefelgehalt verwenden oder am Liegeplatz landseitigen Strom nutzen.

Diese EU-Richtlinie zwingt die Reeder, Hafenwirtschaft, Stromanbieter, Behörden und Politik dazu, sich mit der Thematik Schiffsemissionen im Hafen auseinander zu setzen. Weiterhin wurde im April 2008 auf IMO-Ebene eine Revision des MARPOL Annex VI, in dem die Emissionen geregelt sind, beschlossen.

Die alarmierende Ergebnisse der Luftschadstoffuntersuchung für den geplanten Kreuzfahrtterminal in der Hafenstadt Hamburg zeigen massive Feinstaub-Grenzwertüberschreitungen während der Liegezeit im Hamburger Hafenbereich (Quelle: KREUZFAHRTTERMINAL HAFENCITY – LUFTSCHADSTOFFGUTACHTEN, Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Landes- und Landschaftsplanung, Alter Steinweg 4, 20459 Hamburg, Projekt 70283-06-01\_V2; Dipl.-Geogr. D. Schickel, Dipl.-Ing. H. Lorentz; November 20061.)

Der IPCC-Klimabericht Anfang 2007 hat ebenfalls die Aufmerksamkeit auf das Transportmittel Schiff gelenkt. So wurde in der Öffentlichkeit wahrgenommen, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Schiffe weder im Kyoto-Protokoll noch in der Diskussion um Market-Based-Instruments berücksichtigt werden.

## 2. Schadstoffemissionen

In den Küstenregionen Europas hat sich die Schifffahrt zum Hauptemittenten für Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid (SO<sub>x</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Feinstaub (PM) entwickelt.

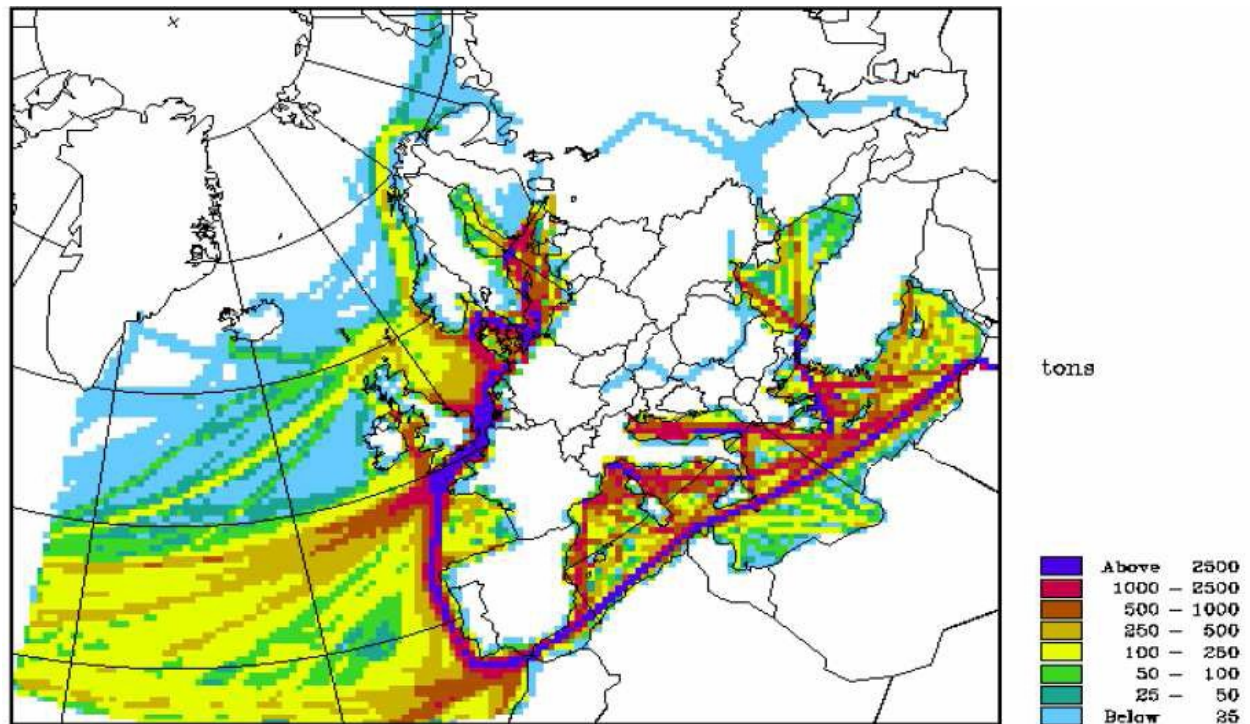


Abb 1: Verteilung der SO<sub>x</sub>-Emissionen von Schiffen im Jahr 2000 (ENTEC UK Ltd für die Europäische Kommission)

Diese Emissionen wirken zum einen als Greenhouse Gases (CO<sub>2</sub>) in einem globalen Kontext, tragen regional zur Bildung von bodennahem Ozon, zur Eutrophierung und Versauerung von Böden und Gewässern sowie zur Feinstaubhintergrundbelastung durch Primärpartikel (PM<sub>10</sub>) und Sekundärpartikel (PM<sub>2,5</sub>) bei. Der Anteil der Schiffsemissionen am globalen Ausstoß von CO<sub>2</sub> beträgt ca. 3% (Eyring et. al., 2005a). Die Feinstaubhintergrundbelastung durch den Seeverkehr beträgt in den dicht besiedelten Küstengebieten Europas 20% - 30%. Die schifffahrtsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind genauso hoch wie die der Luftfahrt. In den stark frequentierten Häfen der Nord- und Ostsee stellen die Schwefeloxid- und Stickstoffoxidemissionen der Schiffe die mit Abstand größte Schadstoffquelle dar. In Lübeck/Travemünde beträgt im hafennahen Bereich der Anteil der Schifffahrt an den NO<sub>x</sub>-Emissionen 76,1% der Gesamtbelastung. Bei den SO<sub>x</sub>-Emissionen liegt der Anteil sogar bei 94,3%; Ruß macht 80% aus.

Abb. 2 NOx-Emissionen von EU-Landquellen und internationalem Schiffsverkehr in europäischen Seegebieten (Quelle: IIASA)

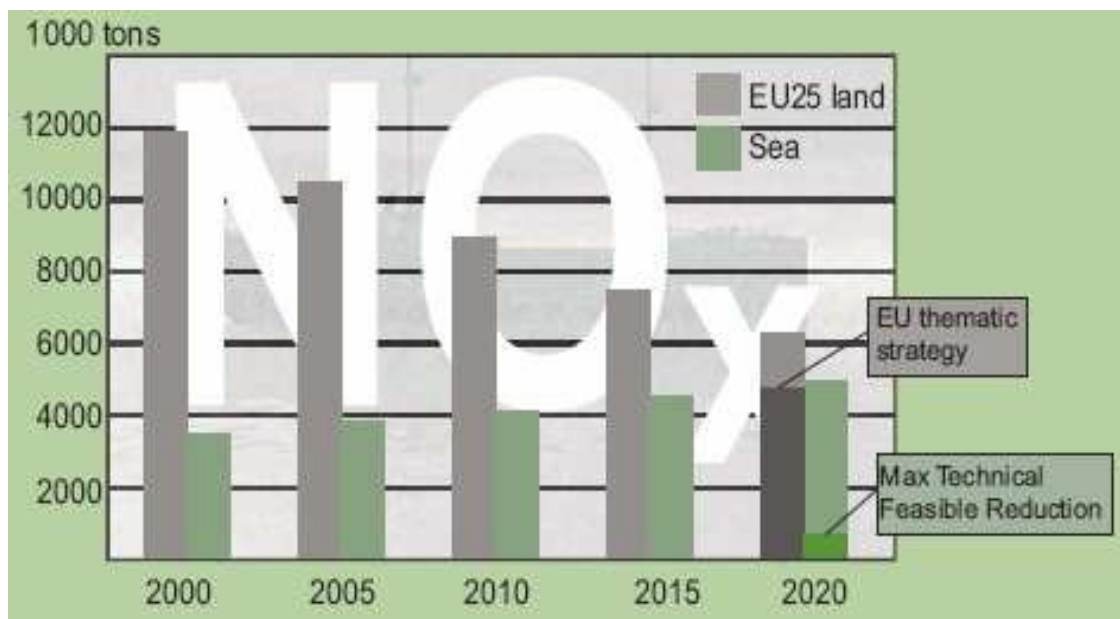
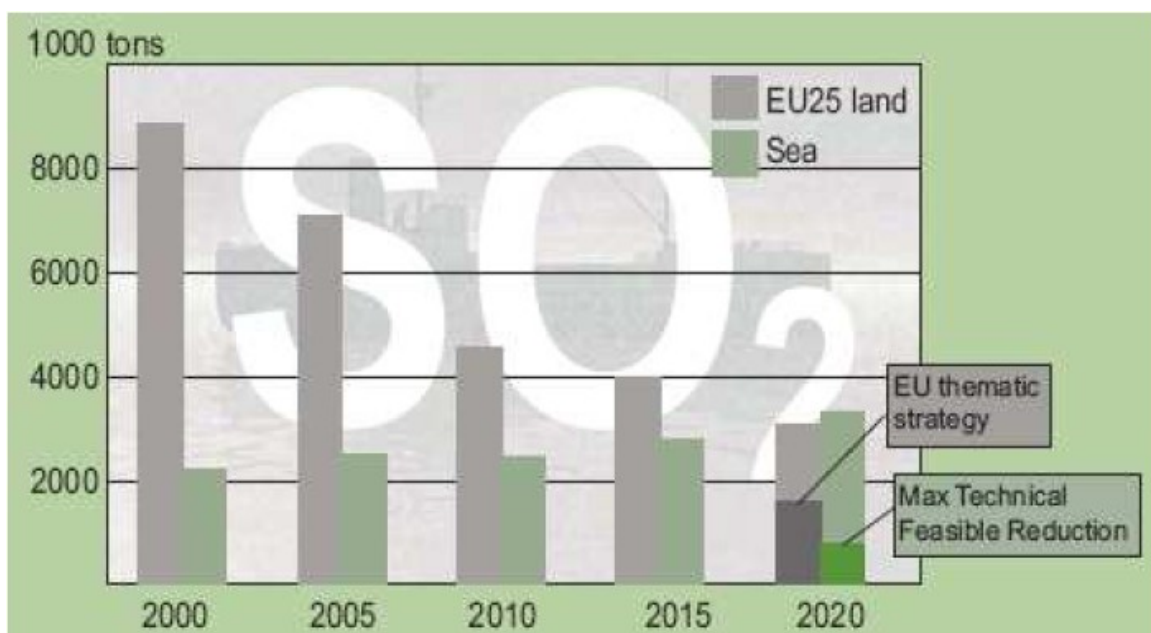


Abb. 3 SO2-Emissionen von EU-Landquellen und internationalem Schiffsverkehr in europäischen Seegebieten Quelle: IIASA 2006



Die Verteilung der SOx- und NOx-Emissionen zwischen EU-Landquellen und dem internationalen Schiffsverkehr in europäischen Gewässern wird sich bei unveränderter Rahmenbedingung voraussichtlich 2020 umkehren (International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 2006.) Die Emissionen von See werden dann die der Landquellen übersteigen. Einflussgrößen für Emissionen sind vor allem Schiffstreibstoffe, aber auch Motoren- und Filtertechniken.

### **3. Zu betrachtende Emissionen:**

#### **NO<sub>x</sub> (Stickstoffoxide)**

Stickoxide oder Stickstoffoxide sind eine Sammelbezeichnung für die gasförmigen Oxide des Stickstoffs. Sie werden auch mit NO<sub>x</sub> abgekürzt, da es aufgrund der vielen Oxidationsstufen des Stickstoffs mehrere Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen gibt. Quelle dieser Emission sind die in der Luft vorhandenen Anteile an Stickstoff, die während der Verbrennung in NO<sub>x</sub> umgesetzt werden. Die Anteile an Stickoxiden im Abgas variieren und sind von der Bauart und der Umdrehungszahl des Motors abhängig.

Der Rahmen für die spezifischen NO<sub>x</sub>-Emissionen erstreckt sich derzeit von 9,8 – 17g/kWh und ist gesetzlich im Annex VI des MARPOL-Übereinkommens geregelt. Nach Beschluss der 57. MEPC-Sitzung im April 2008 sollen hier zukünftig schärfere Regelungen geltend gemacht werden. So dürfen in den so genannten ECA-Gebieten (Emission control area) Nord- und Ostsee ab 2016 die NO<sub>x</sub>-Emissionen maximal 3,4 g/kWh (entsprechend Tier 3) erreichen.

Die EU-Richtlinie 2005/33/EG wird im Hafenbereich nur bei Nutzung von Landstrom zu einer Reduzierung der NO<sub>x</sub>-Emissionen führen.

#### **SO<sub>x</sub> (Schwefeloxide)**

Der zurzeit am intensivsten diskutierte Luftschadstoff, der auch durch den Betrieb von Schiffen freigesetzt wird, ist das Schwefeldioxid. Die Menge des emittierten SO<sub>x</sub> ist abhängig vom Schwefelgehalt des Treibstoffes. Die an Bord verwendeten Treibstoffe sind bisher üblicherweise nicht- oder nur teilschwefelt, was sich an den geringeren Treibstoffkosten bemerkbar macht. In den Tankstellen an Land werden in Deutschland nur noch Dieselkraftstoffe mit einem Schwefelgehalt von maximal 10 ppm (< 0,001%) angeboten. Durch den 1500-fach höheren Schwefelgehalt von Schiffstreibstoffen ist der Anteil der Schwefelemissionen der Schifffahrt in vielbefahrenen Küstenregionen inzwischen sehr hoch. In den Häfen liegt er zum Teil bei über 95% der Gesamtemissionen (Quantifizierung von gasförmigen Emissionen durch Maschinenanlagen der Seeschifffahrt an der deutschen Küste; GAUSS mbH; Bremen, 2008.) Die Anlage VI des für die Seeschifffahrt international gültigen Umweltschutzabkommens MARPOL, die seit dem 19. Mai 2005 in Kraft ist, limitiert den Schwefelgehalt weltweit auf 4,5% (45.000 ppm) Gewichtsanteile, in so genannten SO<sub>x</sub> emission control areas, SECA (Ostsee und Nordsee) auf maximal 1,5%. Der weltweite Durchschnittswert liegt bei 2,7%.

- Vor dem Hintergrund der massiven Emissionsgröße von Schiffen und der Auswirkungen auf Mensch und Natur haben das EU-Parlament und die IMO folgende neuen Schwefelgrenzwerte und Umsetzungsfristen verabschiedet:  
1,5% Schwefelgehalt im Brennstoff für alle Schiffe in der Ostsee seit dem 19.05.2006 und in der Nordsee, einschließlich Ärmelkanal, seit Herbst 2007
- 1,5% Schwefelgehalt im Brennstoff für alle Passagierschiffe und -fähren im regelmäßigen Verkehr zwischen EU-Häfen seit dem 19.05.2006  
0,1% Schwefelgehalt im Brennstoff für alle Binnenschiffe und für in EU-Häfen liegende Seeschiffe ab dem 01.01.2010 (EU-Richtlinie 2005/33/EG).

Die aktuelle 57. MEPC-Sitzung hat im April 2008 auch diesbezüglich eine Revision des MARPOL Annex VI beschlossen:

- Verschärfung der SECA-Regelung
- ab März 2010 in SECAs 1,0% S
- ab Januar 2015 in SECAs 0,1% S

Weltweit:

- ab 2012 max. 3,2% S
- ab 2020 max. 0,5% S oder den Einsatz von Abgasreinigungssysteme (z.B. Scrubber)

2018 wird die IMO die Verfügbarkeit von Destillaten überprüfen und in Abhängigkeit vom Ergebnis der Prüfung könnte das 2020-Ziel dann auf das Jahr 2025 verschoben werden. Mit den aktuellen Beschlüssen der 57. MEPC-Sitzung müssen, mit einer zeitlichen Verzögerung von fünf Jahren im Vergleich zur EU-Richtlinie, auch nach MARPOL Annex VI alle Schiffe in SECA-Gebieten 0,1% S fahren. Die Bestimmung schließt die Liegezeit und damit die Nutzung der Hilfskessel und Hilfsdiesel im Hafen mit ein.

#### **4. Partikelemissionen**

Bei PM (Particulate Matter) handelt es sich um Feinstäube und Ruß. Partikel entstehen beim Verbrennungsprozess im Motor bei unvollständiger Verbrennung. Ein weiterer Entstehungsprozess ist das thermische Cracken von Kohlenwasserstoffen aus Brennstoff und Schmieröl bei der Verbrennung.

Messungen und Berechnungen haben ergeben, dass der leistungsstärkste Mittelschnellläufer von MAN B&W mit etwa 40.000 kW Leistung ca. 136.000 kg Abgase pro Stunde erzeugt, von denen ca. 11 kg Ruß und Partikel sind (ebd. GAUSS, 2004). Die Zunahme schiffsseitiger Partikelemissionen ergibt sich absolut aufgrund des ständig steigenden Transportvolumens der Schifffahrt, darüber hinaus nehmen die Werte im Vergleich zur Situation an Land aufgrund der progressiveren Emissionsanforderungen für andere Verkehrsträger auch relativ zu. Besonders betroffen hiervon sind Hafenstädte mit regelmäßigem Fährbetrieb und Regionen, für die bereits heute international (Antarktis) oder lokal (z.B. in Alaska bzw. in Deutschland in Luftkurorten) ein höheres Schutzbedürfnis besteht.

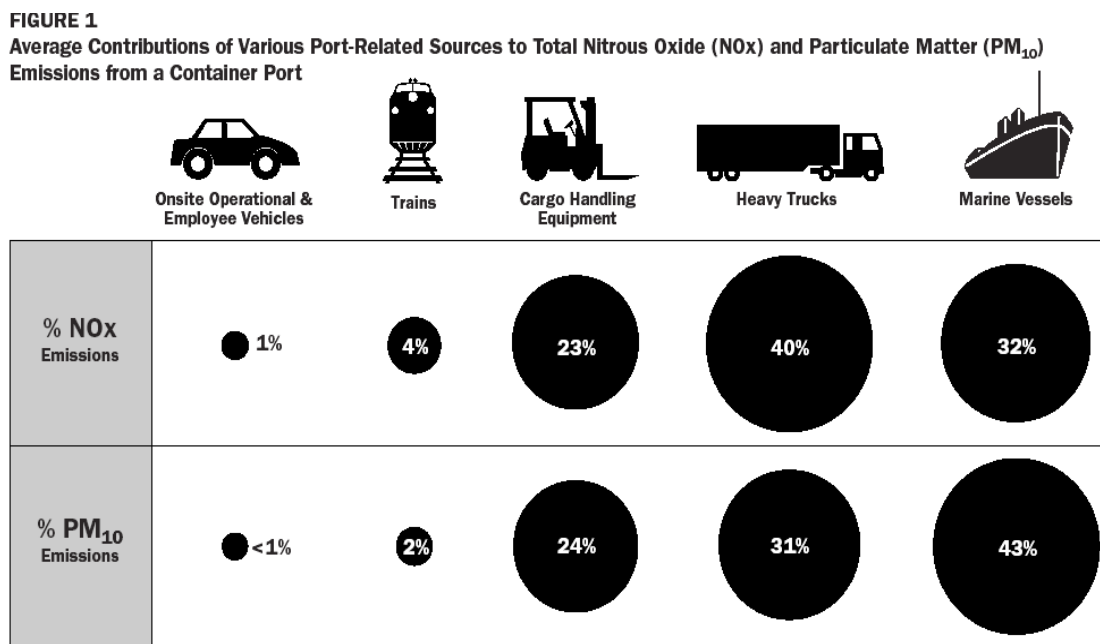
Die Quantifizierung von Partikelemissionen von Schiffsmotoren ist abhängig u.a. von der Art und Qualität des verwendeten Brennstoffes, dem Motorentyp und -zustand, Einspritzsystem und -verfahren sowie dem Lastbereich. Es wird allgemein davon ausgegangen, dass HFO mehr Partikel erzeugt als MDO und MGO.

Der Ausstoß von PM scheint weiterhin mit dem Schwefelgehalt des verwendeten Brennstoffs einherzugehen. Ein kausaler Zusammenhang konnte allerdings bisher nicht nachgewiesen werden. Es gibt zu dieser Problematik widersprüchliche Aussagen.

Auch gibt es Hinweise aus dem Bereich der Kfz-Motoren sowie Untersuchungen aus der Luftfahrt, die einen Zusammenhang zwischen Schwefelgehalt des Brennstoffes und den Partikelemissionen herstellen. Inwieweit und in welcher Form ein Zusammenhang für schwerölbetriebene Motoren existiert, sollte im Rahmen einer Forschungsarbeit bestimmt werden, um verlässliche Aussagen treffen zu können.

Amerikanische Studien haben ergeben, dass 43% der PM-Emissionen innerhalb der Häfen aus dem Schiffsbetrieb stammen. Schiffe sind damit die größten Verursacher dieser Emissionen.

Abb. 4



Sources:  
 Marine Vessels Emissions Inventory (Ports of Los Angeles and Long Beach), ARCADIS, Sept. 1999. Appendix G, pg. 6, 2000 forecast—Marine Emissions Inventory and Table 4-2, page 4-2.  
 The New York, Northern New Jersey, Long Island Nonattainment Area Commercial Marine Vessel Emissions Inventory, Volume 1—Report, Prepared by Starcrest Consulting Group, LLC, for the Port Authority of NY & NJ, April 2003.  
 The Port of New York and New Jersey Emissions Inventory for Cargo Handling Equipment, Automarine Terminal Vehicles, and Associated Locomotives, Prepared by Starcrest Consulting Group, LLC, for the Port Authority of NY & NJ, June 2003.  
 Port of Houston, Final Environmental Impact Statement, Bayport Ship Channel Container/Cruise Terminal, Appendix 3, May 2003.  
 Port of Oakland Final Environmental Impact Report, Berths 55-58 Project, SCH. NO. 97102076, Appendix C: Emissions Calculations, December 1998.

Quelle: HARBORING POLLUTION, The Dirty Truth about U.S. Ports,  
 The Coalition for Clean Air, California/USA

Zur Beurteilung der Partikelemissionen muss außerdem beachtet werden, dass besonders hohe Werte vor allem in Teillast-Betriebszuständen entstehen, d.h. zum Teil auf dem Revier und besonders bei Manövern und beim Herunterfahren sowie beim Starten der Maschinen, wenn diese noch (relativ) kalt sind.

Rechnerisch werden die Gesamt-PM-Emissionen meist in die Fraktionen von Partikeln mit einem Durchmesser von <10 µm und <2,5 µm zerlegt, wobei aufgrund der Ergebnisse aus mehreren anderen Studien von einem Verhältnis von 8% für <10 µm und 92% für <2,5 µm ausgegangen werden kann.

Im Allgemeinen kommt es auch beim Umschlag von Schüttgutladungen zu einer Freisetzung von PM. Im Rahmen dieser Arbeit wird nicht auf ladungsbedingte Stäube eingegangen, da sie nicht durch eine landseitige Stromversorgung zu reduzieren sind.

**PM 10 (Feinstaub <10µm)**

Feinstaub (PM10) bezeichnet die Masse aller im Gesamtstaub enthaltenen Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 µm ist. Er kann natürlichen Ursprungs sein (beispielsweise als Folge von Bodenerosion) oder durch menschliches Handeln hervorgerufen werden.

Wie erwähnt scheint es einen Zusammenhang zwischen der Art des Brennstoffs, seinem Schwefelgehalt und den Partikelemissionen zu geben. Es besteht allerdings die Schwierigkeit, dass öffentlich zugänglichen Quellen so gut wie nie zu entnehmen ist, welcher Treibstoff auf welchem Schiff verwendet wird. Für die spezifischen Emissionsfaktoren wurden Angaben gefunden, die sich über eine Bandbreite von 0,2 – 0,6 g/kWh erstrecken.

**PM 2,5 (Feinstaub <2,5µm)**

Der Anteil von aveolengängigem Feinstaub wird mit 92% der gesamten PM-Emissionen angesetzt.

**CO2 (Kohlenstoffdioxid)**

Kohlenstoffdioxid ist ein farb- und geruchloses Gas. Es ist mit einer Konzentration von 0,04% (derzeit 381 ppm entspr. 0,0381%) ein natürlicher Bestandteil der Luft. Er entsteht bei der vollständigen Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Substanzen, die in diesem Fall vom Brennstoff dargestellt werden. Kohlenstoffdioxid ist als Treibhausgas mitverantwortlich für die Klimaerwärmung. Als spezifischer Emissionsfaktor werden 3,18 t je t Brennstoff angegeben. (Quelle: GAUSS)

**5. Umweltauswirkungen**

Ca. 90% der gesamten SOx- und NOx- Belastungen in einem 90 km Streifen vor der Küste sind auf den Schadstoffausstoß des Seeverkehrs zurückzuführen. Obwohl der größte Teil der SOx- und NOx- Emissionen von Schiffen in das Meer eingetragen wird, sind Schiffsemissionen die größte Quelle für Versauerung und Eutrophierung in vielen europäischen Ländern (EMEP, 2003).

Schwefeldioxyde und Stickoxide werden in der Luft in Sulfate und Nitrate umgewandelt, die durch ihren Eintrag in Böden, Gewässer und die Meere für oben genannte Versauerung und Eutrophierung mitverantwortlich sind. Außerdem wirken sie, so lange sie in der Luft sind, z.B. als sehr kleine Feinstaubpartikel (<2,5µm), die mit schweren Gesundheitsauswirkungen in Zusammenhang gebracht werden.

**6. Gesundheit**

WHO-Untersuchungen (2003) zeigen, dass Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie Beschädigungen des Atemsystems in engem Zusammenhang mit der Belastung durch Feinstäube in der Außenluft stehen. So wird die Feinstaubbelastung weltweit für 100.000 Todesfälle und die Verkürzung der allgemeinen Lebenserwartung um 1 - 2 Jahre verantwortlich gemacht.

Die Auswirkungen von Feinstaub auf die Gesundheit sind weitgehend bekannt. Weil die Auswirkungen durch die Schifffahrt den allermeisten Menschen nicht alltäglich präsent sind, werden bislang die gesundheitlichen Effekte von Feinstaubemissionen der Schifffahrt nicht genauso intensiv untersucht wie die Ursachen landseitiger Emissionen. Die Parallelen können jedoch abgeleitet werden.

Das Risiko, durch die Feinstäube aus den Schiffsabgasen gesundheitlichen Schaden zu erleiden, hängt von der Dauer und der Konzentration ab, denen Küstenbewohner/innen, Hafendarbeiter/innen, Besatzungen und Kreuzfahrtgäste ausgesetzt sind.

Vergleich der Emissionsgrenzwerte für den Straßenverkehr sowie der Emissionswerte des Seeverkehrs pro geleistete Arbeit in g/kWh

Tabelle 1

	Euro 4 (2005)	Euro 5 (2008)	Euro 4 (2005)	Emissionsfaktor
	Nutzfahrzeuge über 3,5 t		PKW	Seeschifffahrt
NOx	3,5	2	0,3	17 - 9,8 (13,4 Mittel)
VOC	0,46	0,46		0,5
CO	1,5	1,5	0,5	1,6
Partikel	0,02	0,02	0,02	0,2 – 0,6 (0,4 Mittel)
Sox	0,003*	0,003*	0,004**	5,4 – 6***

\* Verbrauch ca. 170 g/kWh, 10 ppm , \*\* Verbrauch ca. 220 g/kWh, 10 ppm

\*\*\* Verbrauch ca. 180 -200 g/kWh, 15.000 ppm



Auf die hohe Gesundheitsschädlichkeit von Rußpartikeln wurde in den letzten Jahren verstärkt hingewiesen. Untersuchungen haben gezeigt, dass der überwiegende Teil der emittierten Partikel lungengängig ist und als Träger toxischer, karzinogener und mutagener Substanzen, die bis in die Lungenbläschen (Aveolen) vordringen können, fungiert. Der organische Kohlenstoffkern der Partikel steht ebenfalls im Verdacht karzinogener Wirkung. Auch sind viele der in Partikelemissionen enthaltenen Schwermetalle wie Arsen, Kadmium, Kobalt Chrom, Kupfer, Blei, Quecksilber, Nickel, Magnesium, Zink etc. hochgradig toxisch.

Das Umweltbundesamt wies in einer Pressemitteilung vom 22.12.2000 darauf hin, dass es für Partikel keine Wirkungsschwelle gibt und die Erkrankung der Atemwege und des Herz-Kreislauf-Systems mit der Partikelkonzentration korreliert. Feinstaubbedingte Reizungen der Atemwege mit Unwohlsein und Husten, Verschärfung von asthmatischen Beschwerden, eine Verschärfung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie ein deutlicher Zusammenhang zwischen Herz-Kreislauf und atemwegsbedingten Sterberaten und der Feinstaubbelastung sind inzwischen mehrfach nachgewiesen worden. Bei Kindern führt die dauerhafte Belastung vor allem mit Stickoxiden und bodennahem Ozon zu verminderter Lungenfunktion und chronischen Atemwegserkrankungen. Gleichzeitig werden diese Stoffe auch für eine erhöhte Sterblichkeit durch Lungenkrebs verantwortlich gemacht.

**7. Übersicht der bekannten Gesundheitsschäden**

SOx	Reizungen der Atemwege mit Unwohlsein und Husten, Atemprobleme bei Asthmatikern/innen, Verschärfung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen, ein 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/Feinstaub	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 Schädigungen der Nieren- und Leberfunktion sowie einer Schädigung des Zentralnervensystems und zu Krebs führen

Besonders Besatzungsmitglieder, Hafendarbeiter/innen und Bewohner/innen von Hafenstädten können gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Schiffsemissionen ausgesetzt sein. Doch aufgrund der teilweise sehr starken Verdriftung der Feinstäube tragen Schiffsemissionen auch erheblich zur Feinstaubhintergrundbelastung in weiter entfernten Gebieten bei.

Durch die Verbrennung im Motor oxidiert Schwefel zu Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>). Schwefeldioxid ist ein anorganisches Reizgas, das u.a. ätzend auf Schleimhäute wirkt. Zusammen mit Wasser bildet sich aus Schwefeldioxid schwefelige Säure und Schwefelsäure. Schwefeloxide sind so an der Bildung sauren Regens und dessen schädlicher Auswirkungen auf die Biosphäre beteiligt. Außerdem sind sie damit auch für Gebäudeschädigungen oder verstärkte Korrosion verantwortlich.

Es wird immer wieder darauf hingewiesen, dass nur 5% der Schiffsemissionen im Hafenbereich emittieren und es daher doch effizienter wäre, eine Entwicklung der Emissionen auf See zu reduzieren, anstatt den verhältnismäßig geringen Anteil im Hafen.

Diese Reduktionen, insbesondere der SO<sub>x</sub>-Emissionen, werden sicherlich durch die Beschlüsse der 57. MEPC Sitzung vorangetrieben. Ein besonderes Augenmerk sollte allerdings weiterhin auf die Emissionen im Küsten- und Hafenbereich geworfen werden, da die Auswirkungen für Mensch und Natur im Hafenbereich wesentlich dramatischer sind und daher auch anders bewertet werden müssen.

## **8. Schiffstreibstoffe**

Als Schiffsantriebe werden üblicherweise Dieselmotoren verwendet, die mit dem so genannten Schweröl, Dieselöl oder Gasöl betrieben werden.

Dieselöl und Gasöl sind vergleichsweise hochwertige Raffinerieprodukte, die durch Destillation gewonnen werden. Schweröl besteht dagegen zum größten Teil aus den Rückständen der Destillationsprozesse für höherwertige Produkte. Es wird deshalb auch als Rückstandsöl bezeichnet und zeichnet sich durch einen sehr hohen Anteil an Aschen, Sedimenten und hohe Viskosität aus, so dass das Öl auch an Bord erwärmt werden muss, um eine pumpbare Konsistenz zu erreichen.

MGO (Marine Gas Oil, Schiffsgasöl) weist einen Schwefelgehalt von ca. 0,1% - 0,5%, MDO (Marine Dieselöl) einen Gehalt von 0,5% bis 2% und HFO (Heavy Fuel Oil, Schweröl) einen Gehalt von 1,5% bis 4,5% auf. Wichtig ist, dass für verschiedene Aggregate an Bord (Hauptmaschine, Hilfsdiesel, Hilfskessel) zum Teil unterschiedliche Treibstoffe eingesetzt werden.

Aufgrund der schadstoffhaltigen Treibstoffe würden Schiffsmotoren an Land wie Sondermüllanlagen behandelt werden. Auf See gibt es jedoch keine bzw. geringe Abgasnormen. Die Nord- und Ostsee sind seit 2007 bzw. 2006 als Schwefelkontrollgebiete (SECAs) ausgewiesen, in denen nur noch ein Treibstoff mit einem maximalen Schwefelanteil von 1,5% genutzt werden darf. Einige Länder haben aufgrund der hohen Emissionswerte das Verbrennen von Sludge in den Hilfskesseln im Hafenbetrieb verboten.

Einwendung gegen die Vertiefung der Unter- und Außenelbe auf bis zu -19,00 m unter Normalnull  
Erläuterungsbericht E. Luftschadstoffe aus der Schifffahrt.

## 9. Auswertung der Ergebnisse des GAUSS-Gutachtens „Quantifizierung von gasförmigen Emissionen durch Maschinenanlagen der Seeschifffahrt an der deutschen Küste“

In der Studie sind die einzelnen Emissionsbestandteile für die jeweiligen Fahrzustände (See, Revier, Manöver, Liegezeit) und die einzelnen Häfen für das Jahr 2005 ermittelt worden. In der Aufsummierung der Emissionen in den Fahrzuständen ergeben sich folgende absolute Zahlen für die Häfen der Nord- und Ostsee inklusive Seeweg (bis max. 120 sm) und Revierfahrt.

Tabelle 2: Summen der Emissionsbestandteile für die jeweiligen Häfen (in Kilotonnen = 1000 t) für das Jahr 2005, Quelle: GAUSS mbH, 2008

	PM2,5	PM10	NOx	SOx	CO2	CO	HmCn
Brunsbüttel	0,050	0,054	1,712	0,639	53,972	0,167	0,060
Rendsburg	0,002	0,002	0,077	0,025	2,418	0,007	0,002
Hamburg	1,047	1,138	34,010	13,605	1013,013	3,402	1,307
Stade/Bützf.	0,025	0,027	0,868	0,315	27,650	0,083	0,028
Cuxhaven	0,082	0,089	2,819	1,075	89,254	0,273	0,094
Emden	0,105	0,114	3,574	1,374	112,319	0,347	0,121
Brake	0,023	0,025	0,803	0,300	24,492	0,078	0,027
Nordenham	0,017	0,019	0,598	0,218	18,822	0,057	0,019
Wilhelmshaven	0,095	0,103	3,087	1,369	97,632	0,303	0,110
Bremen	0,071	0,077	2,404	0,875	70,906	0,236	0,085
Bremerhaven	0,656	0,713	21,074	8,892	640,252	2,122	0,831
<b>Nordsee gesamt</b>	<b>2,173</b>	<b>2,361</b>	<b>71,025</b>	<b>28,686</b>	<b>2150,729</b>	<b>7,075</b>	<b>2,685</b>
Flensburg	0,002	0,002	0,143	0,030	4,511	0,014	0,005
Kiel	0,068	0,074	4,407	1,158	139,844	0,433	0,155
Lüb./Trav.	0,270	0,294	17,859	4,552	567,136	1,755	0,624
Sass./Mukr.	0,093	0,101	6,301	1,534	199,379	0,615	0,217
Rostock	0,233	0,253	15,613	3,905	496,017	1,520	0,532
Stralsund	0,003	0,003	0,203	0,040	6,271	0,020	0,007
Wismar	0,012	0,013	0,851	0,172	26,458	0,082	0,027
<b>Ostsee gesamt</b>	<b>0,681</b>	<b>0,740</b>	<b>45,377</b>	<b>11,394</b>	<b>1439,617</b>	<b>4,437</b>	<b>1,566</b>
<b>Nord- und Ostsee gesamt</b>	<b>2,854</b>	<b>3,102</b>	<b>116,403</b>	<b>40,080</b>	<b>3590,345</b>	<b>11,512</b>	<b>4,251</b>

Insgesamt sind die Anteile der Häfen an den Emissionen aufgrund ihrer Größe bzw. Anzahl der Schiffsbewegungen sehr verschieden. Während die großen Häfen z.B. bei den NOx-Emissionen allein über 75 % auf sich vereinigen (Hamburg 29%, Bremerhaven 18 %, Lübeck/Travemünde 15 % und Rostock 13 %), entfallen auf die anderen Häfen nur geringe Anteile im unteren einstelligen Bereich.

## Stickoxidemissionen

Der folgenden Tabelle sind die Stickoxidemissionen in Kilotonnen/ Jahr 2005 für die jeweiligen Häfen zu entnehmen. Bei der Interpretation der Werte muss berücksichtigt werden, dass die Länge des Seeweges sich aus der Differenz von 120 sm abzüglich der tatsächlichen Revierlänge des jeweiligen Hafens ergibt.

Tabelle 3: Stickoxidemissionen in kt (1000 t) der einzelnen Häfen als Gesamtsumme und nach Fahrzuständen untergliedert, Datenquelle: GAUSS mbH, 2008

<b>NOx in kt</b>	<b>gesamt</b>	<b>See</b>	<b>Revier</b>	<b>Manöver</b>	<b>Liegen</b>
Brunsbüttel	1,71	0,94	0,46	0,09	0,21
Rendsburg	0,08	0,05	0,02	0,00	0,01
Hamburg	34,01	7,99	14,34	2,87	8,82
Stade/Bützf.	0,87	0,37	0,37	0,02	0,10
Cuxhaven	2,82	1,90	0,47	0,10	0,35
Emden	3,57	2,00	0,94	0,14	0,49
Brake	0,80	0,48	0,23	0,03	0,07
Nordenham	0,60	0,36	0,17	0,02	0,05
Wilhelmshaven	3,09	2,04	0,50	0,18	0,37
Bremen	2,40	0,99	0,83	0,13	0,45
Bremerhaven	21,07	11,38	3,44	1,98	4,28
<b>Nordsee gesamt</b>	<b>71,03</b>	<b>28,50</b>	<b>21,76</b>	<b>5,57</b>	<b>15,20</b>
Flensburg	0,14	0,10	0,02	0,00	0,02
Kiel	4,41	3,25	0,19	0,22	0,76
Lüb./Trav.	17,86	13,78	0,48	0,82	2,77
Sass./Mukr.	6,30	5,05	0,04	0,27	0,93
Rostock	15,61	12,59	0,16	0,66	2,20
Stralsund	0,20	0,16	0,03	0,00	0,02
Wismar	0,85	0,71	0,05	0,02	0,07
<b>Ostsee gesamt</b>	<b>45,38</b>	<b>35,64</b>	<b>0,98</b>	<b>2,00</b>	<b>6,76</b>

In der Nordsee werden also allein durch den Schiffsverkehr, der die deutschen Häfen anläuft, 71.030 t und in der Ostsee 45.380 t Stickoxide emittiert.

## Schwefeloxidemissionen

Die in der GAUSS-Studie berechneten Schwefeloxidemissionen beziehen sich auf einen Zeitpunkt (2005), in dem die Regelungen für die Schwefelkontrollgebiete (Sulphur Emissions Controll Area SECA: Ostsee seit 2006, Nordsee seit 2007) mit einer Limitierung des maximal zulässigen Schwefelgehaltes im Treibstoff auf 1,5 % noch nicht in Kraft waren. Während für das Seegebiet der Ostsee bereits mit einem Schwefelgehalt in Schweröl von 1,5 % gerechnet wurde, liegen die für die Nordsee verwendeten Schwefelgehalte von 2,6 % für Schweröle über den seit letztem Jahr maximal zulässigen 1,5%.

Die berechneten Werte für die einzelnen Fahrzustände und Häfen fallen deshalb für das berechnete Jahr 2005 für die Nordsee höher aus, als sie aktuell sein dürften. Ein Nebeneffekt des Absenkens des Schwefelgehaltes ist die damit verbundene Verringerung des Partikelaustrittes. Eine lineare Beziehung läßt sich allerdings nicht herstellen.

Tabelle 4: Entwicklung der Schwefeloxidemissionen ausgewählter Nordseehäfen durch die Umsetzung der revidierten MARPOL Annex VI Regelungen und der Umsetzung der Schwefelrichtlinie (RL 2005/33/EG), Werte in kt (1000 t), Quelle: AKN-Berechnungen (MARION II)

SOx in kt (1000 t)	durchschnittl. Schwefelgehalt 2,6%	SECA 1,5% ab 2007	SECA 1,0% ab 2010, 0,1% Liegezeit	SECA 0,1% ab 2015
Brunsbüttel	0,2526	0,2319	0,1024	0,0108
Hamburg	12,9680	5,9598	2,7195	0,3374
Cuxhaven	1,0188	0,4013	0,1847	0,0194
Emden	1,3032	0,5262	0,2404	0,0262
Brake	0,2841	0,1147	0,0542	0,0057
Nordenham	0,2059	0,0757	0,0322	0,0033
Wilhelmshaven	1,3078	0,6324	0,3436	0,0373
Bremen	0,8305	0,3400	0,1502	0,0172
Bremerhaven	8,4890	4,0596	1,9748	0,2376

### Vergleich mit Industrie- und Landverkehrsemissionen

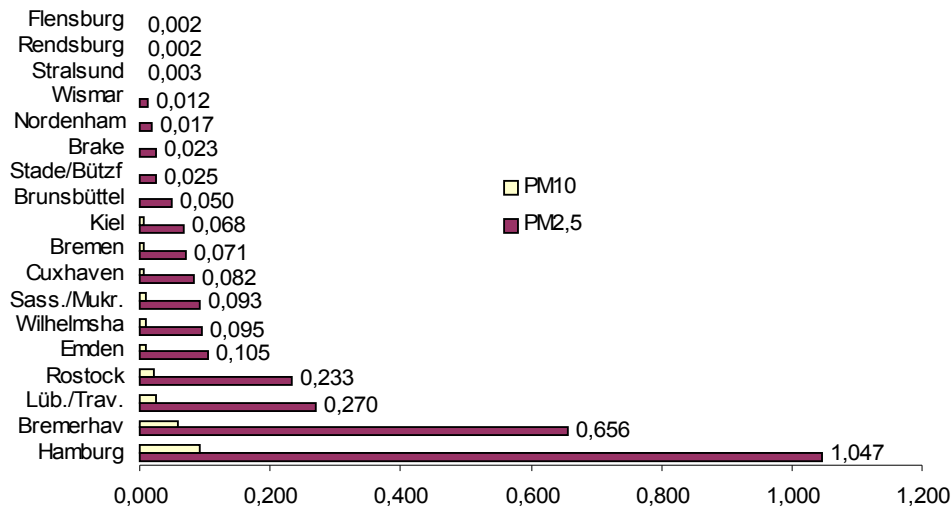
Der Vergleich mit den Schwefeloxidemissionen aus den Landquellen zeigt, dass die SOx-Emissionen des Seeverkehrs (40,08 kt in 2005, GAUSS-Berechnungen) um den Faktor 26 höher liegen als die Emissionen des Straßenverkehrs (vgl. Emissionsbericht UBA, 2007). Bezogen auf die Schwefelemissionen aus der Energiewirtschaft entsprechen die Seeverkehrsemissionen etwa 14 %.

Der Seeverkehr emittierte im Jahr 2005 rund das 155-fache an SOx wie der gesamte landgebundene Güterverkehr. Trotz einer Absenkung der S-Gehalte durch RL 2005/33/EG und die drastische Absenkung der SECA-Grenzwerte entsprechend der Beschlüsse der 57. MEPC-Sitzung, die als ein großer Erfolg zu werten sind, bleiben die Werte des Seeverkehrs weiterhin hoch im Vergleich zu Lkw und Bahn. Der ab 2015 maximal zulässige Schwefelgehalt im Schiffstreibstoff in den SECAs von 0,1 % liegt immer noch 100-mal höher als die zulässigen 0,001% Schwefelanteil im Landdiesel.

### Partikelemissionen

Vor allem den kleinen Partikeln unter 2,5 µm werden besonders gesundheitsgefährdende Eigenschaften zugeschrieben, weil sie lungengängig und hochgradig reaktiv sind. Deshalb sind sie in den vergangenen Jahren zunehmend in den Focus der Aufmerksamkeit gelangt und zum Regulierungsobjekt, vor allem für die Abgasnormen im Straßenverkehr, geworden. Die Städte mit den größten Problemen bei der Einhaltung der Partikelgrenzwerte sind jedoch keine Seehafenstädte. Dieser Umstand ist entweder auf die gute Durchmischung der Luftschichten durch mehr Wind in Küstennähe zurückzuführen oder auf die Tatsache, dass in den Hafengebieten keine Messpunkte für Feinstäube eingerichtet worden sind. Aufgrund dieser Abhängigkeiten und dem jeweiligen Schiffsbetrieb ergibt sich im Ranking der Häfen ein ähnliches Bild wie auch bei den Stickoxidemissionen:

Abbildung: Partikelemissionen der einzelnen Häfen im Jahr 2005, Quelle: GAUSS mbH, 2008



Die berechneten Partikelwerte sind, wie oben dargestellt, von der Art des Treibstoffes (Rückstandsöl/ Destillattreibstoff), vom Schwefelgehalt des Treibstoffes und vom jeweiligen Lastzustand der Schiffsmotoren abhängig.

#### Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid ist ein Luftschadstoff der vor allem die Atemwegsorgane durch die Behinderung des Sauerstofftransports zwischen Lunge und Gewebe beeinträchtigt. Kohlenmonoxid kann den Sauerstofftransport zwischen Lunge und Gewebe beeinträchtigen. Seine Giftigkeit ist aber vergleichsweise geringer als die von SO<sub>2</sub> oder NO<sub>2</sub>. Größere Bedeutung kommt Kohlenmonoxid als einer Vorstufe zu Kohlendioxid zu.

Die ermittelten Kohlenmonoxidemissionen belaufen sich auf 11,51 kt in den beiden Seegebieten der Nord- und Ostsee.

#### Kohlendioxid

Kohlendioxid ist kein Luftschadstoff, sondern ist als Klimagas relevant. CO<sub>2</sub> ist im Rahmen der GAUSS-Studie als ein Nebenprodukt der Luftschadstoffberechnung mit berechnet worden.

Die ermittelten Kohlendioxidemissionen CO<sub>2</sub> für den Seeverkehr belaufen sich im Jahr 2005 auf insgesamt 3.590 kt.

#### Vergleich mit Industrie und Landverkehr

Die berechneten Kohlendioxidwerte des Seeverkehrs zu den deutschen Häfen entsprechen in ihrer Größenordnung etwa 1 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Energiewirtschaft und ca. 2 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs. Durch den eingeschränkten Betrachtungsraum (Seeweg = 120 sm) und aufgrund der relativen Energieeffizienz von Schiffsmotoren liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Straßenverkehr um den Faktor 42 höher als die des Seeverkehrs.

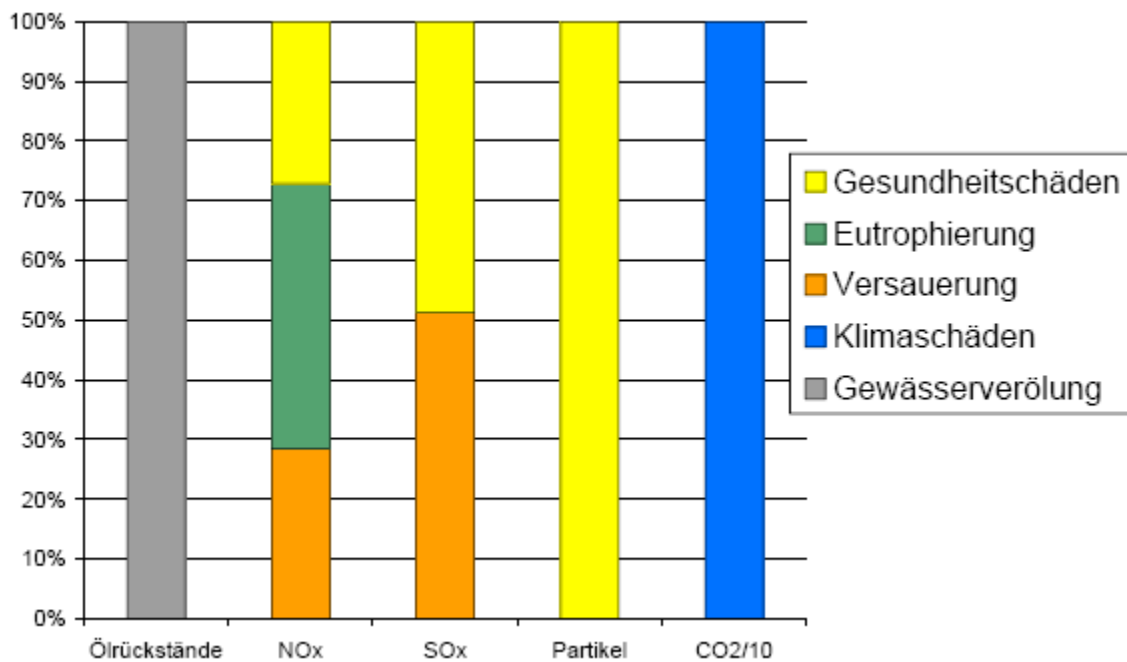
Tabelle 5: Vergleich der Kohlendioxidemissionen durch den Seeverkehr entsprechend GAUSS mbH, 2008, und dem Emissionsbericht des Umweltbundesamtes 2007

Insgesamt	836.445,77
1. Energie	795.210,60
A. Verbrennung fossiler Brennstoffe	795.210,60
1. Energiewirtschaft	361.951,84
2. Verarbeitendes Gewerbe	102.780,77
3. Verkehr	164.206,89
<i>davon Straßenverkehr</i>	152.230,94
<b>Seeverkehr, GAUSS mbH, 2008</b>	<b>3.590,35</b>

Umwelteinflüsse durch Schiffsemissionen

Gasförmige Schiffsemissionen sind lange Zeit nicht vollständig im Zusammenhang mit Umweltproblemen, wie Versauerung, Eutrophierung, Gesundheits- und Klimaschutz, berücksichtigt worden. Das lag zum Teil an der teilweisen Unterschätzung der tatsächlich emittierten Mengen als auch an der Tatsache, dass seenahe Gebiete zumeist stärkere und häufigere Winde aufweisen, die für eine starke Verdriftung der Schadstoffe sorgen.

Abbildung: Umweltbeeinflussungen durch Schiffsemissionen, Quelle: Brenk, 2007



Die Beeinflussung des Meereschemismus durch atmosphärische Einträge aus den Schiffsabgasen, ist bislang nicht hinreichend untersucht worden und sollte bei der weiteren Forschung an dynamischen Meeresmodellen eine deutlich stärkere Rolle spielen.

Der Bereich Verschmutzung der Meeresumwelt durch Ölrückstände ist ein Gebiet, das im Zusammenhang mit Schiffsemissionen häufig vernachlässigt wird. Es ist aber ebenso wie die Emissionen, die aus dem Schornstein kommen, ein stark mit dem Treibstoff verknüpftes Problem. Im Gegensatz zu den Emissionen aus dem Schornstein sind diese Umweltbeeinträchtigungen jedoch auf illegale Verklappung von Ölrückständen, auf Unfälle aber auch auf die legale Einleitung öliger Abwässer in die Meeresumwelt zurückzuführen.

Quelle: Aktionskonferenz Nordsee e.V., 2008

1. Landstromversorgung im Hafen Potenziale und Handlungsmöglichkeiten
2. Auswertung der Ergebnisse des GAUSS-Gutachtens