

# Trendstudie Green Shipping



“ Volle Kraft  
auf Grün:  
Schifffahrt  
nimmt Kurs  
auf Ökologie ”

01  
2009

## Inhalt

	Seite		Seite
<b>1 Einleitung</b>	<b>3</b>	5.2 Antriebstechnologien und -systeme	10
<b>2 Schadstoffemissionen in der Schifffahrt</b>	<b>4</b>	5.2.1 Dieselmotor	10
2.1 Schadstoffe Schwefeldioxid und Stickoxide	4	5.2.2 Hybridantrieb	10
2.2 Regelnde Vorschriften	4	5.2.3 POD-Antrieb	11
		5.2.4 Elektromotor mit Batterie	11
<b>3 Kohlendioxidemissionen in der Schifffahrt</b>	<b>5</b>	5.2.5 Elektromotor mit Brennstoffzelle	11
3.1 Kohlendioxid, das wirksamste Treibhausgas	5	5.2.6 Solarantrieb	12
3.2 Berechnung von CO <sub>2</sub> -Emissionen in der Schifffahrt	5	5.3 Hilfsantriebstechnologien bzw. -systeme	12
3.3 Höhe des aktuellen CO <sub>2</sub> -Ausstoßes in der Handelsschifffahrt	5	5.3.1 Zugdrachen bzw. Segelantrieb	12
3.4 Regelnde Vorschriften	6	5.3.2 Flettnerrotoren	13
		5.4 Technische Innovationen am Schiff	13
		5.4.1 Rumpfformoptimierung	14
<b>4 Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Basis des künftigen Flottenwachstums</b>	<b>7</b>	5.4.2 Propeller- und Ruderdesignoptimierung	15
		5.4.3 Farbanstriche	15
		5.5 Landstromversorgung in den Häfen	15
<b>5 Emissionsminderungspotenziale</b>	<b>7</b>		
5.1 Alternative Kraftstoffe und Energieträger	8	<b>6 Abschätzung der künftigen CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>	<b>16</b>
5.1.1 Erdgas	8		
5.1.2 Biokraftstoffe	9	<b>7 Schlussfolgerung: das »Green Ship of the Future«</b>	<b>17</b>
5.1.3 Wasserstoff	9		
		<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>18</b>
		<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>18</b>

## 1 Einleitung

»Rekordwerte bei Kohlendioxid und Methan. Noch nie in den vergangenen 800.000 Jahren lagen die Konzentrationen der Treibhausgase in der Atmosphäre so hoch wie heute.« Dies sind die Schlagzeilen, mit denen die Deutsche Presseagentur (dpa) am 15. Mai 2008 über ein europäisches Projekt berichtete, in dessen Rahmen Wissenschaftler über drei Kilometer tief in das antarktische Eis bohrten, um Gaseinschlüsse in den an die Oberfläche geholten Bohrkernen zu untersuchen. Mit den gewonnenen Proben lässt sich lückenlos die Geschichte der Erdatmosphäre in den vergangenen 800.000 Jahren mit einer zeitlichen Auflösung von 380 Jahren zurückverfolgen. Rekordwerte bei den Treibhausgasen fanden sich dabei nicht in den Warmphasen zwischen den Eiszeiten, sondern in der Gegenwart.

Die Kohlendioxidkonzentration (CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre) liegt heute 28 Prozent höher als je zuvor in den vergangenen 800.000 Jahren. Dieser Nachweis wirft die Frage nach den Ursachen und den Konsequenzen aus dieser Entwicklung auf. Im Fokus der vorliegenden Studie steht die Reduktion von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-

Emissionen in der Schifffahrt. Mit einem Anteil von 4–5 Prozent am jährlichen weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoß nahm die Schifffahrt 2005 in einer Länder- und Sektorenbetrachtung der Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) hinter Kanada und vor Großbritannien in der Reihenfolge Platz 8 ein.

Auf dieser Basis beleuchtet die vorliegende Studie die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Schifffahrt sowie bestehende und geplante Auflagen zu deren Reduktion. Auf Basis des aktuellen Orderbuchs wird indikativ hochgerechnet, wie sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen ceteris paribus bis zum Jahr 2013 (Ablieferungsdatum der zuletzt geordneten Einheiten) entwickeln. Anschließend werden Emissionsminderungsmaßnahmen durch alternative Kraftstoffe, neue Antriebstechnologien und Hilfsantriebstechnologien sowie technische Innovationen am Schiff aufgezeigt. Ziel ist es herauszufinden, in welcher Höhe CO<sub>2</sub>-Emissionen durch diese Maßnahmen vermieden werden können und wie ein »Green Ship« der Zukunft aussehen könnte. Im Blickpunkt stehen die Gesamtheit der durch die Handelsschifffahrt verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Möglichkeiten ihrer Reduzierung.

## 2 Schadstoffemissionen in der Schifffahrt

### 2.1 Schadstoffe Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Stickoxide (NO<sub>x</sub>)

Seegehende Handelsschiffe nutzen in der Regel mit Bunkerölen befeuerte Dieselmotoren für ihren Antrieb und zur Erzeugung von Bordstrom. Große Schiffe sind mit sogenannten »slow-speed diesel engines«, langsamdrehenden 2-Takt-Hauptmaschinen ausgerüstet, die eine Leistung von 10 bis über 100 Megawatt aufweisen. Brennstoff dieser Maschinentypen ist Schweröl (HFO – heavy fuel oil). Kleinere Schiffe sind mit »medium-speed diesel« (MSD)-4-Takt-Motoren ausgestattet, die mit Marine-Dieselöl (MDO) oder Marine-Gasöl (MGO) betrieben werden. Alle verwendeten Maschinentypen sind auf höchste Effizienz ausgelegt, setzen aber neben CO<sub>2</sub>, Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Rußpartikel frei und produzieren darüber hinaus in kleineren Mengen diverse andere Schadstoffe. Die verwendeten Treibstoffe sind in der Regel Abfallprodukte der petrochemischen Industrie. Ihre Toxizität ist mit einem Schwefelgehalt von 4,5 Prozent rund 3.000-mal so hoch wie die von Autotreibstoffen. Stickoxide bilden in Verbindung mit Wasser (z. B. in der Atmosphäre) Säure (saurer Regen) und wirken deshalb reizend und giftig. Schwefeldioxid ist ein farbloses, stechend riechendes und giftiges Gas, das in der Atmosphäre von Sauerstoff zu Schwefeltrioxid oxidiert und dann mit Wasser zu Schwefelsäure (saurer Regen) umgesetzt wird.

### 2.2 Regelnde Vorschriften

1973 verabschiedete die Inter-Governmental Maritime Consultative Organization (IMCO – Namensänderung 1982 in IMO International Maritime Organization), eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen (UN) in London, die International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL-Übereinkommen), die 1978 modifiziert wurde und schließlich 1983 in Teilen in Kraft trat.<sup>1)</sup> Die Vertragsparteien des Übereinkommens verpflichten sich, die Vorschriften zum Meeresschutz auf die unter ihrer Hoheitsgewalt betriebenen Schiffe anzuwenden. Aktuelle Regeln bzgl. des Umgangs mit umweltbelastenden Substanzen in der Schifffahrt werden auf Arbeitsebene in Form eines Ausschusses vom Marine Environment Protection Committee (MEPC) der IMO ausgearbeitet und in sogenannten Annexen zur MARPOL präzisiert.

<sup>1)</sup> IMO: MARPOL 73/78. 2002.

Annex VI, der am 19. Mai 2005 durch die Ratifizierung der Mitgliedsstaaten in Kraft trat, hebt inhaltlich auf die Luftverschmutzung durch Schiffe ab. Er beschränkt die Emissionen von Substanzen, die die Ozonschicht angreifen. Wie zum Beispiel Stickoxide, Schwefeldioxid, flüchtige organische Verbindungen und Abgase aus Müllverbrennungsanlagen. CO<sub>2</sub>-Emissionen finden unter Annex VI keine Berücksichtigung.

Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen stehen in direktem Zusammenhang mit der Qualität der verwendeten Treibstoffe. Aufgrund dessen hat das MEPC in seiner 57. Sitzung im April 2008 inhaltlichen Ergänzungen zu Annex VI zugestimmt, die Reduzierungen der Schwefel- und Stickoxidemissionen durch u. a. die Bestimmung von Höchstgrenzen des Schwefelgehalts in Treibstoffen vorsehen.<sup>2)</sup> Der Schwefelanteil im Treibstoff ist von den Fahrtgebieten abhängig. Wobei einerseits für Sulphur Emission Controlled Areas (SECAs) wie zum Beispiel Nord- und Ostsee und andererseits die übrigen Fahrtgebiete unterschiedliche Grenzwerte gelten.<sup>3)</sup>

**Vorgeschriebener Schwefelanteil im Treibstoff in % in Abhängigkeit vom Fahrtgebiet und vom Einsatzjahr (Tab. 1)**

in %	SECA	Weitweit
2010	1,0	4,5
2012		3,5
2015	0,1	
2020		0,5

Quelle: IMO/MEPC 2008

Auf europäischer Ebene bestehen eine Vielzahl von Emissionsbeschränkungsvorschriften. Sie reichen über die im Juli 2000 verabschiedete Richtlinie bzgl. des Gehaltes von Schwefel (0,2 Prozent) in Marine-Gasöl bis zu der im August 2006 in Kraft getretenen Richtlinie, dass Marine-Dieselöl, das auf dem Territorium der Mitgliedsstaaten der EU auf den Markt kommt, nicht mehr als 1,5 Prozent Schwefel enthalten soll. Ab 1.1.2010 dürfen in europäischen Häfen Treibstoffe mit einem Schwefelgehalt von nur noch 0,1 Prozent verwendet werden, oder es soll einen Landstromanschluss geben.

<sup>2)</sup> Annex VI hat rückwirkende Anforderungen an Dieselmotoren ab 130 Kilowatt (kW) Leistung, die auf Schiffen installiert sind, die ab dem 1.1.2000 auf Kiel gelegt worden sind.

<sup>3)</sup> Det Norske Veritas, 2008.

### 3 Kohlendioxidemissionen in der Schifffahrt

#### 3.1 Kohlendioxid, das wirksamste Treibhausgas

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist ein farbloses, unbrennbares, schwach säuerlich riechendes und schmeckendes Gas, das in freiem Zustand natürlicher Bestandteil von Luft und Mineralquellen ist. Von den Pflanzen wird CO<sub>2</sub> im Rahmen der Fotosynthese mithilfe des Sonnenlichts in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegt. Der Kohlenstoff bleibt in der Pflanze, und der Sauerstoff wird an die Umwelt abgegeben.

Kohlendioxid verändert den Strahlungshaushalt der Erde, indem es die kurzweilige Sonnenstrahlung fast ungehindert auf die Erdoberfläche passieren lässt und die langweilige, von der Erde emittierte Wärmestrahlung teilweise absorbiert. Diese Eigenschaft macht Kohlendioxid zu einem Treibhausgas, wobei es entsprechend seinem Mengenanteil in der Atmosphäre das wirksamste der Treibhausgase ist.

Vorherrschender wissenschaftlicher Konsens ist, dass eine vom Menschen verursachte Zunahme der Treibhausgase in der Erdatmosphäre zum Treibhauseffekt beiträgt, der wiederum zu einer stetigen globalen Erwärmung führt.<sup>4)</sup> Dabei leistet einen wesentlichen Beitrag zur Erwärmung dasjenige CO<sub>2</sub>, das durch die Verbrennung fossiler Energieträger freigesetzt wird.<sup>5)</sup> Die Verbrennung von Biomasse setzt dagegen nur CO<sub>2</sub>-Mengen frei, die vorher fotosynthetisch gebunden worden sind.

#### 3.2 Berechnung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Schifffahrt

Wenn fossile Brennstoffe verbrannt werden, dann werden neben Energie auch Kohlenstoff und andere Chemikalien, darunter hauptsächlich Wasser, erzeugt. Die Höhe der zur Verfügung stehenden Energie und des damit verbundenen Ausstoßes an Kohlendioxid ändern sich in Abhängigkeit vom verwendeten fossilen Energieträger. Man spricht vom Kohlendioxidemissionsfaktor. Er stellt den Ausstoß von CO<sub>2</sub> in Kilogramm pro Kilowattstunde (kWh) dar.

Um die Kohlendioxidemissionen in der Schifffahrt darzustellen, wird der Energieverbrauch je Tonne Bunker in Energie in kWh berechnet. In einem zweiten Schritt erfolgt die Multiplikation mit dem in Abhängigkeit von der Treibstoffart anzuwendenden Kohlendioxidemissionsfaktor.<sup>6)</sup>

<sup>4)</sup> Konsistent mit der Erwärmung sind extreme Witterungsphänomene wie Hitzeepisoden, Starkniederschläge und Wirbelstürme. In: Münchener Rückversicherung, Topics Geo Naturkatastrophen, 2007.

<sup>5)</sup> Weltklimarat (IPCC), 2007.

<sup>6)</sup> Beispiel: 1 Tonne Schweröl entspricht ca. 11.999 kWh Energie. 11.999 kWh Energie x 0,264 (Kohlendioxidemissionsfaktor für Schweröl) = 3.167 kg CO<sub>2</sub> oder 3,17 t CO<sub>2</sub>.

#### 3.3 Höhe des aktuellen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in der Handelsschifffahrt

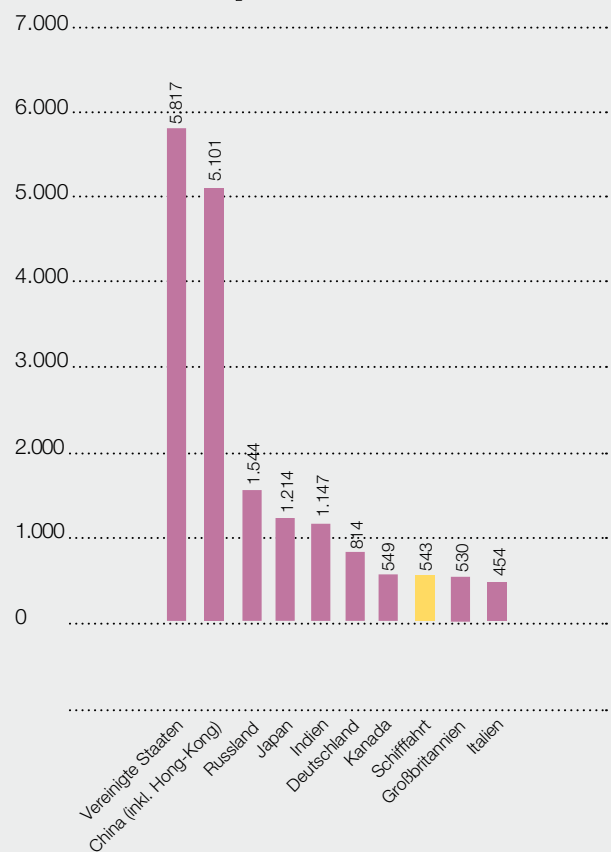
Die aktuellste Studie über den Bunkerverbrauch der Welthandelsflotte stammt aus dem Dezember 2007 und wurde von der IMO initiiert. Sie nennt als Gesamtzahl 369 Millionen Tonnen Bunkerverbrauch weltweit für Handelsschiffe, die größer als 400 Grosstonnes (gt) sind und Öltanker über 150 gt.<sup>7)</sup> Wir errechnen daraus einen Kohlendioxidausstoß von 1.169 Millionen Tonnen. Diese Zahl ist nahezu identisch mit Berechnungen der Vereinten Nationen, die 1.200 Mio Tonnen ermittelt haben.<sup>8)</sup>

<sup>7)</sup> IMO, BLG 12/6/1, 2007.

<sup>8)</sup> IMO, BLG 12/6/1, 2007.

**Top-CO<sub>2</sub>-Emittenten Länder/Sektoren 2005 (Abb. 1)**

in Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>

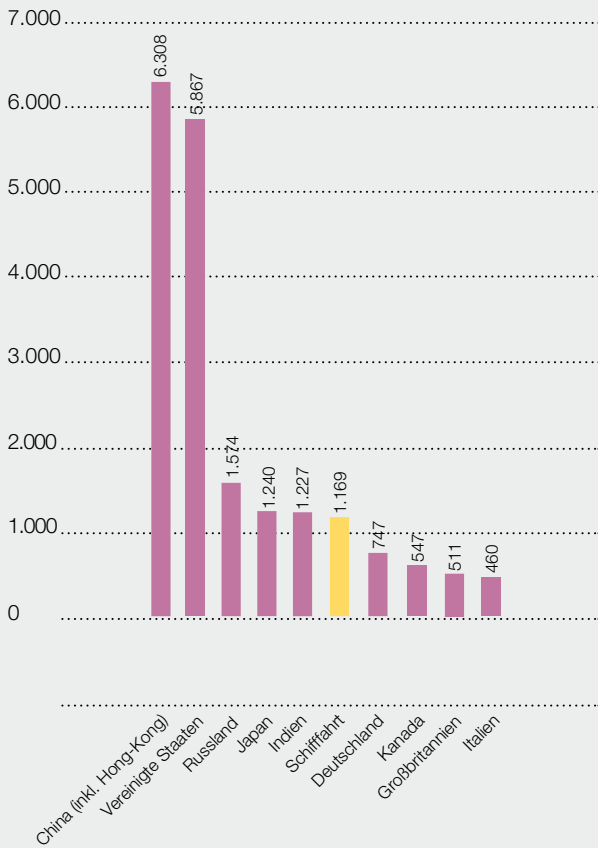


Quelle: International Transport Forum, OECD, Leipzig, 2008

2007 wurden auf Basis des IMO-Berichtes bis zu ca. 1.169 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen errechnet, rund 4–5 Prozent des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Nachdem die Schifffahrt 2005 hinter Kanada und vor Großbritannien weltweit Platz 8 belegt hat, wird sie sich in der Liga der weltgrößten CO<sub>2</sub>-Emittenten 2007 um zwei Plätze auf Rang 6 (vgl. Abb. 2) vorgeschoben haben.

**Top-CO<sub>2</sub>-Emittenten Länder/Sektoren 2007 (Abb. 2)**

in Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>



Quellen: International Transport Forum OECD, Leipzig, 2008 und Hochrechnung der Daten aus 2005

## 3.4 Regelnde Vorschriften

Für die Handelsschifffahrt bestehen bezüglich der Emission von Kohlendioxid sowohl auf internationaler als auch auf supranationaler europäischer Ebene bis heute keine Vorschriften.

Vom 23. bis 27.6.2008 fand in Oslo das erste Treffen der »MEPC-Arbeitsgruppe« zum Thema »von Schiffen emittierte Treibhausgase« statt. Im Verlauf der Sitzung wurden diverse Themenkomplexe wie ein möglicher CO<sub>2</sub>-Design-Index für neue Schiffe, Vorschläge hinsichtlich einer Treibstoffabgabe und die Entwicklung eines CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandels diskutiert. Entscheidungen bezüglich des Umfangs möglicher CO<sub>2</sub>-Reduzierungen wurden nicht getroffen. Ebenso wenig konnten sich die Teilnehmer über die Definition der Flotte, auf die mögliche Reduzierungen angewendet werden sollen, einigen. Und ob die Maßnahmen auf freiwilliger Basis oder verpflichtend sein sollen, steht nach wie vor zur Diskussion. Nicht einmal über die Definition des methodischen Vorgehens zur Messung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei einem Schiff wurde eine Verständigung erzielt.

Der weitere Zeitplan sieht vor, dass nach der MEPC-58-Konferenz (6.10.–10.10.2008) ein weiteres Arbeitsgruppentreffen Anfang 2009 stattfinden soll. Übereinkünfte sollen dann auf diesem MEPC-59-Treffen (Juni 2009) erzielt werden.

Artikel 2.2 des Kyoto-Protokolls schreibt vor, dass Länder, die den Annex I der MARPOL unterzeichnet haben, die Begrenzung oder Reduzierung von Treibhausgasemissionen von Marinetreibstoffen durch die IMO verfolgen sollen. Aber weder auf konkrete Maßnahmen noch auf konkrete Ziele konnte man sich bislang innerhalb der IMO verständigen.

Auf Basis dieser Entwicklungen ist damit zu rechnen, dass einzelne Staaten (z. B. die USA) oder supranationale Organisationen wie die EU einseitig Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung ergreifen werden. Seit über einem Jahr wird beispielsweise aus Brüssel immer wieder die Aufnahme der Schifffahrt in den Handel mit Emissionszertifikaten in die Diskussion gebracht.

## 4 Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Basis des künftigen Flottenwachstums

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Jahres 2012 wurden die IMO-Bunkerverbrauchsangaben (369 Millionen Tonnen 2007) mit der Flottendatenbasis des Institute of Shipping Economics and Logistics (ISL), Bremen<sup>9)</sup>, zusammengeführt. Diese Datenbasis repräsentiert mit Schiffen der Größe 300 gross tonnes (gt) und größer zum überwiegenden Teil (nämlich zu 95 Prozent) die von der IMO zur Berechnung des Bunkerverbrauchs verwendete Tonnage. Sie wird somit aufgrund der hohen Übereinstimmung mit der IMO-Flottenbasis für die weiteren Berechnungen herangezogen.

<sup>9)</sup> Stand 1.1.2008.

**Schiffsflotte und Orderbuch (Tab. 2)**

	Schiffe	Mio. dwt <sup>1</sup>
<b>Flotte</b>		
Öltanker	8.693	400
Chemikalentanker	1.345	9
Flüssiggastanker	1.318	30
Massengutfrachter	7.070	383
Erz-/Massengut-/Ölfrachter	86	4
Containerschiffe	4.259	145
Frachter	17.647	103
Passagierschiffe	4.135	6
<b>Total</b>	<b>44.553</b>	<b>1.080</b>
<b>Orderbuch</b>		
Öltanker	2.274	158
Chemikalentanker	328	5
Flüssiggastanker	333	16
Massengutfrachter	2.790	238
Erz-/Massengut-/Ölfrachter		
Containerschiffe	1.518	83
Frachter	1.421	19
Passagierschiffe	223	1
<b>Total</b>	<b>8.887</b>	<b>520</b>

<sup>1</sup> dwt = deadweight tons = Tragfähigkeit eines Schiffes

Quelle: ISL, Shipping Statistics and Market Review, Vol. 52 No 1/2-2008

Auf Basis des derzeitigen Flottenbestands erzeugt eine Tonnage von 1.080 Millionen dwt einen Bunkerverbrauch von 369 Millionen Tonnen. Dies entspricht einer Emission von 1.169 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>.<sup>10)</sup> Ceteris paribus wird das aktuelle Orderbuch in Höhe von 520 Millionen dwt eine Kohlendioxidemission von zusätzlichen 562 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> generieren. Dies entspricht einem Anstieg von 40 Prozent gegenüber dem heutigen Flottenbestand.

Nach Ablieferung aller bestellten Schiffe, was auf Basis des aktuellen Orderbuches 2012 bis 2013 geschehen sollte, wird die weltweite Handelsflotte bei dem heutigen Stand der Technik über 1.600 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> ausstoßen.

## 5 Emissionsminderungspotenziale

Aufgrund der neusten Erkenntnisse zum Ausmaß der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Schifffahrt häufen sich in letzter Zeit massiv die umweltpolitischen Forderungen auf nationaler und internationaler Ebene. Diese aktuell forcierte Umweltdiskussion und der direkte Zusammenhang zwischen der Höhe des Bunkerverbrauchs und der Höhe der Schadstoffemissionen führen dazu, dass alle denkbaren Möglichkeiten zur Minimierung des Brennstoffverbrauchs und damit der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Schiffsbetrieb ausgenutzt werden sollten.

Eine einfache, aber wirksame Methode ist die Reduzierung der Schiffsgeschwindigkeit, das sogenannte Slow Steaming. Der Widerstand eines Körpers nimmt mit anwachsender Geschwindigkeit exponentiell zu bzw. mit sinkender Geschwindigkeit auch exponentiell ab. Wenn ein Schiff die Geschwindigkeit nur um einige Knoten verringert, benötigt es wesentlich weniger Leistung und emittiert entsprechend weniger CO<sub>2</sub>.

Aber auch die Auswahl des Kraftstoffes, verschiedene Antriebstechnologien und technische Innovationen am Schiff können die Emissionen in der Schifffahrt reduzieren.

<sup>10)</sup> 369 Tonnen Bunker x 3,17 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Bunker.

## 5.1 Alternative Kraftstoffe und Energieträger

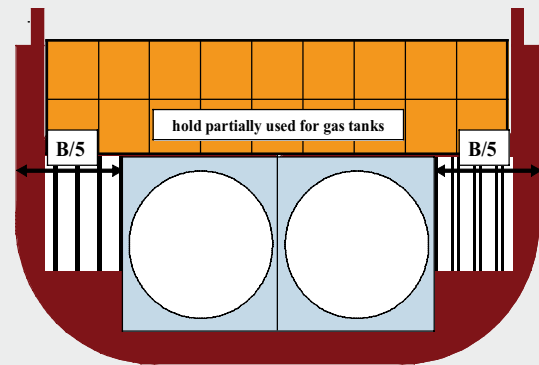
Ein möglicher Ausstieg aus dem Schweröl als dem wichtigsten Treibstoff im Weltseeverkehr gewinnt zunehmend an Bedeutung. Mit den Sulphur Emission Controlled Areas (SECAs), Gebiete in Nord- und Ostsee, in denen nur noch hochwertigere – und damit klimafreundlichere – Destillate verbrannt werden dürfen, sind die ersten Ansätze gemacht. Derzeit werden verschiedene alternative Kraftstoffe bzw. Energieträger untersucht, die im Schiffsbetrieb zum Einsatz kommen könnten. Als Energieträger sind hier neben Erdgas und Wasserstoff auch Biokraftstoffe denkbar.

### 5.1.1 Erdgas

Der Hauptbestandteil von Erdgas ist Methan. Erdgas spielt zunehmend eine Rolle als Kraftstoff für Fahrzeuge und soll laut europäischen Zielvorgaben im Jahr 2010 einen Anteil von zwei Prozent bzw. im Jahr 2020 von zehn Prozent am Kraftstoffverbrauch in Europa haben. Nach Ansicht des Germanischen Lloyd (GL) könnte in wenigen Jahren Erdgas auch zu einem ernst zu nehmenden Ersatztreibstoff in der Schifffahrt werden.<sup>11)</sup> Ein mit Erdgas angetriebenes Schiff benötigt zwar im Vergleich zum konventionellen Schweröl-/Dieselantrieb wesentlich mehr Raum für die Unterbringung der Tanks. Dem Verlust des Ladevolumens stehen jedoch auf

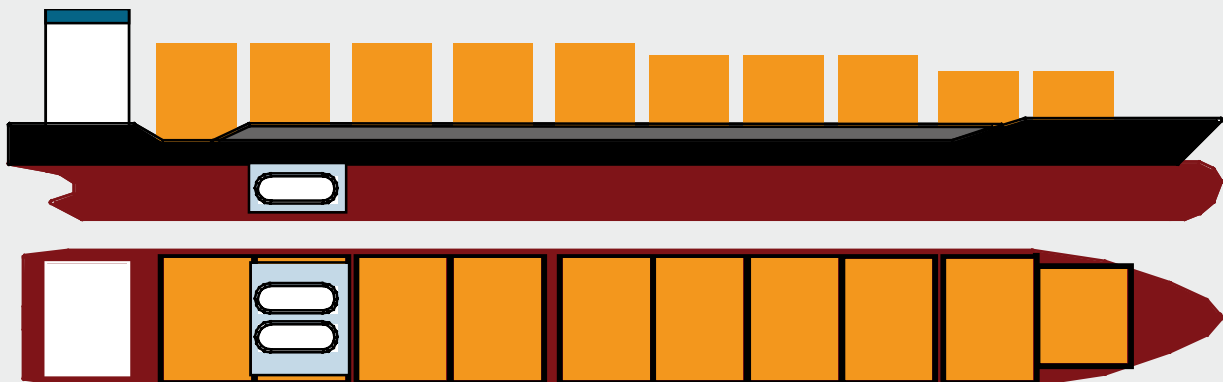
der anderen Seite Einsparungen beim Treibstoff sowie günstigere Werte bei der Umweltbelastung gegenüber. Bei einem gasbetriebenen Containerfeederschiff mit einer Ladekapazität von 1.500 TEU (Twenty Foot Equivalent Unit – Messgröße für die Ladekapazität eines Containerschiffes) würde beispielsweise eine Kapazitätsreduktion von etwas über drei Prozent durch verlorenen Frachtraum entstehen. Durch den Betrieb der Hauptmaschinen mit Flüssigmethan ( $CH_4$ ) als Kraftstoff müsste das Methan in zwei Gastanks mit einem Netto-Gesamtankvolumen von 670 Kubikmetern gespeichert werden, wobei der benötigte Platzbedarf ca. 48 bis 50 TEU beträgt.

Querschnitt eines gasbetriebenen Containerfeederschiffs (Abb. 3)



Quelle: Germanischer Lloyd

Draufsicht eines gasbetriebenen Containerfeederschiffs (Abb. 4)



Quelle: Germanischer Lloyd

Bisher wurde aus Sicherheitsgründen die Nutzung von Gas als Schiffsbrennstoff im internationalen Verkehr von der IMO untersagt. Derzeit wird jedoch vom Sub-Committee der IMO »Bulk Liquids and Gases« (BLG) eine Übergangsrichtlinie erarbeitet, um dem aktuellen Bedarf an Sicherheitsanforderungen für Erdgas als Schiffsbrennstoff gerecht zu werden. Voraussichtlich 2009 wird diese Richtlinie zur Beschlussfassung an das »Marine Safety Committee« (MSC) gehen. Somit könnte es ab 2010 eine rechtliche Grundlage geben, Erdgas als Schiffsbrennstoff in Kombination mit Verbrennungsmotoren im internationalen Seeverkehr einzusetzen.

### 5.1.2 Biokraftstoffe

Prinzipiell ist der Einsatz nachwachsender Kraftstoffe im Schiffsbetrieb unter der Voraussetzung einer sorgfältigen Umrüstung und der Beachtung bestimmter technischer Rahmenbedingungen technisch möglich.

#### Biodiesel/Pflanzenöle

Unter Biodiesel versteht man im Allgemeinen Fettsäuremethylester (Fatty Acid Methyl Ester – FAME). Er kann entweder in reiner Form verwendet oder dem konventionellen Dieselmotorkraftstoff in einem beliebigen Verhältnis zugemischt werden.

Für die Biodieselherstellung können grundsätzlich Ölfrüchte wie Raps, Sonnenblumen, Sojabohnen, Jatropha sowie Kokosnuss- und Palmöle verwendet werden. Der Anbau von Ölfrüchten ist nicht in allen geografischen Regionen gleich gut möglich. Im europäischen Raum haben sich aufgrund der Anbaubedingungen Raps (Rapsmethylester, RME) und Sonnenblumen (Sonnenblumenmethylester, SME) durchgesetzt. In Deutschland sind die klimatischen Bedingungen relativ günstig für den Anbau von Raps, was zur Folge hat, dass in Deutschland Biodiesel hauptsächlich aus Raps hergestellt wird.

Zur RME-Gewinnung werden die gereinigten Öle mit aus Erdgas hergestelltem Methanol verestert. Das Endprodukt kommt in seinen wesentlichen Eigenschaften konventionellem Dieselmotorkraftstoff sehr nahe, und selbst nicht umgerüstete Dieselmotoren können mit

diesem Kraftstoff betrieben werden. Auch reines naturbelassenes Pflanzenöl kann als Kraftstoff verwendet werden, hierfür ist aber eine Umrüstung der Motoren erforderlich.<sup>12)</sup>

Eine praktische Umsetzung des Einsatzes von Rapsöl in der Schifffahrt gibt es derzeit noch nicht.<sup>13)</sup>

#### Biogas

Biogas, auch als »Substitute Natural Gas« (SNG) bezeichnet, kann mit ähnlichen Spezifikationen wie Erdgas hergestellt werden, sodass es in Erdgasmotoren bzw. Brennstoffzellen eingesetzt und die bestehende Infrastruktur für Erdgas genutzt werden kann. Als Rohstoffe zur Biogasgewinnung eignen sich vor allem biologische Reststoffe wie Gülle, organische Abfälle sowie Energiepflanzen (Anbaubiomasse) wie Mais und Feuchtgut. Die Verfahrenstechnik zur Biogasgewinnung ist weitestgehend ausgereift, da Biogasanlagen bereits in großer Zahl in Deutschland betrieben werden.<sup>14)</sup> Biogas wird jedoch derzeit noch nicht als Energieträger an Bord von Schiffen eingesetzt. Sollte es jedoch zum Einsatz von Erdgas in der Schifffahrt kommen, so könnten die Erdgasmotoren bzw. Brennstoffzellen auch mit Biogas betrieben werden.

### 5.1.3 Wasserstoff

Wasserstoff kann als Sekundärenergieträger aus nahezu jedem Primärenergieträger hergestellt werden. Eine CO<sub>2</sub>-arme Herstellung erfolgt beispielsweise durch Dampfreformierung aus Erdgas mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Kohlevergasung mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung. Weitere Produktionsmöglichkeiten sind die direkte Erzeugung aus Biomasse mittels Vergasung, die Elektrolyse mittels Strom aus erneuerbaren Energien oder die Elektrolyse mittels Strom aus fossilen Quellen. Potenziale für CO<sub>2</sub>-armen Kraftstoff bergen vor allem erneuerbare Energieträger, die zur Herstellung von Wasserstoff eingesetzt werden. Die Technologien können sowohl in zentralen Anlagen als auch an Tankstellen eingesetzt werden. Wasserstoff kommt in der Schifffahrt bereits in Brennstoffzellen zum Einsatz.

<sup>12)</sup> Deutscher Bundestag, 2007.

<sup>13)</sup> GAUSS, 2008.

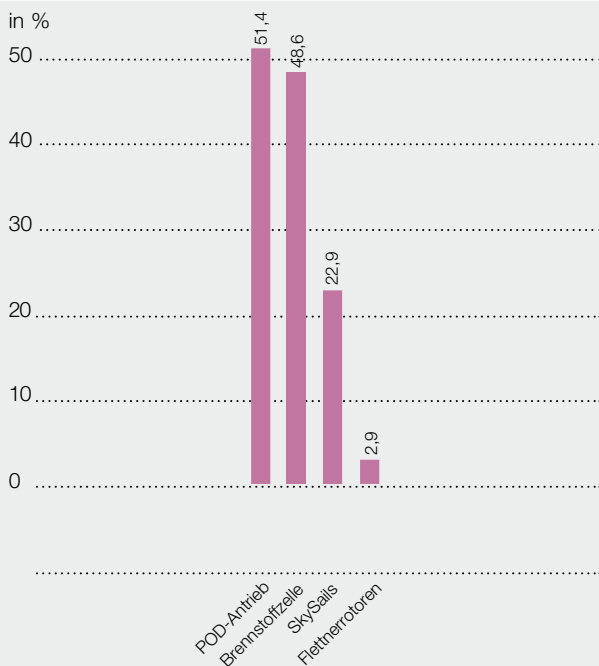
<sup>14)</sup> Deutscher Bundestag, 2007.

## 5.2 Antriebstechnologien und -systeme

Im Rahmen des »Maritimen Trendbarometers«, einer regelmäßig bei deutschen Reedern durchgeführten Umfrage, ermittelte die HypoVereinsbank im September 2008, dass rund 92 Prozent der befragten Reeder bei der Auswahl ihrer Schiffsmotoren auf einen niedrigen spezifischen Brennstoffverbrauch achten. Dieser kann unter anderem durch neuartige bzw. optimierte Antriebstechnologien ermöglicht werden. Dabei vertraut die Hälfte der befragten Reeder auf den diesel-elektrischen POD-Antrieb. Pod bedeutet im Englischen »Gondel«. Es handelt sich also um einen Antrieb, der mit einer Gondel verkleidet um 360 Grad um die Hochachse drehbar ist und sich unter dem Schiffsrumpf befindet. Die Schreibweise POD rührt aus dem Markennamen POD des Motorenherstellers Wärtsilä.

49 Prozent der Befragten meinen, dass zukünftig die Brennstoffzelle eine bedeutendere Rolle spielen wird (vgl. Abb. 5). Auch dem alternativen Antrieb mithilfe von großen Segeln (SkySails) wird von rund 23 Prozent der Reeder ein wichtiger Part in der Zukunft zugetraut. Keine Rolle dagegen werden voraussichtlich die Flettnerrotoren spielen.

**Welche alternativen Antriebs- und Hilfsantriebs-systeme werden zukünftig eine bedeutendere Rolle spielen? (Abb. 5)**



### 5.2.1 Dieselmotor

Als beherrschende Antriebstechnologie hat sich im Schiffsbetrieb der Dieselmotor durchgesetzt. Er wird in der Binnenschifffahrt mit Diesel und in der Hochseeschifffahrt hauptsächlich mit Schweröl angetrieben. Der Dieselmotor wurde bereits in der Vergangenheit auf einen günstigen Verbrauch hin optimiert und hat in dieser Hinsicht einen hohen Entwicklungsstand erreicht. Deutliche Effizienzsteigerungen konnten vor allem durch die elektronische Direkteinspritzung (Common-Rail-System) erzielt werden.

Laut MAN, einem der führenden Hersteller von Schiffsdieselmotoren, können aber noch weitere Verbesserungsmaßnahmen dazu beitragen, den Kraftstoffverbrauch bzw. den CO<sub>2</sub>-Emissionsausstoß zu reduzieren.<sup>15)</sup> Dazu gehört beispielsweise die Optimierung von Pumpen und Hilfssystemen, die eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von einem Prozent bringt. Eine automatische Motorensteuerung erzielt laut Hersteller ein weiteres Prozent weniger Treibstoffverbrauch und die Optimierung auf die Abgabe einer maximalen gleichbleibenden Leistung, das sogenannte »Dual/Multi Maximum Continuous Rating« (MCR), sogar drei Prozent.

Die höchste Treibstoffeinsparung von zwölf Prozent bringt jedoch eine Energierückgewinnung aus Abgasen, auch »Waste Heat Recovery« (WHR) genannt. Dabei treiben die heißen Abgase von Schiffsdieselmotoren, die bislang ungenutzt über den Schornstein abgeleitet wurden, Turbogeneratoren an. Diese können zusätzlich bis zu sechs Megawatt Energie für die Stromversorgung an Bord erzeugen.<sup>16)</sup>

### 5.2.2 Hybridantrieb

Hybridfahrzeuge kombinieren mehrere Energiewandler und Speichersysteme im Antriebsstrang. Typischerweise handelt es sich dabei um Verbrennungs- und Elektromotoren mit Tank und Batterie. Der gesamte Hybridantrieb wird als eine Maßnahme zur Minderung von Verbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen behandelt. Aufgrund aktuell zur Verfügung stehender Batterietechnik ist der Hybridantrieb in der Schifffahrt zurzeit nicht sinnvoll einsetzbar.

<sup>15)</sup> MAN Diesel, 2008.

<sup>16)</sup> MAN Diesel, 2008.

### 5.2.3 POD-Antrieb

Im Gegensatz zu herkömmlichen Schiffsantrieben sind POD-Antriebe nicht im Schiffsrumpf angebracht, sondern unterhalb in einer Gondel. Da die Einheit aus Gondel und Schiffspropeller um 360 Grad schwenkbar ist, dienen beide zusammen auch als Ruder. Herkömmliche Antriebe (Wellenantriebe) benötigen dagegen zusätzlich ein Ruder zum Steuern.

Der POD-Antrieb ist besonders für Schiffe geeignet, die viel manövrieren müssen, also Kreuzfahrtschiffe, Yachten und Fähren. Sein Prinzip: An einer Gondel sind ein, oft auch zwei Propeller angebracht. Der erste sorgt in diesem Fall für gleichbleibende Strömungsverhältnisse, damit der zweite effektiver arbeiten und Treibstoff sparen kann. In der Gondel befindet sich auch der Antrieb in Form eines Elektromotors. Im Vergleich zu konventionellen Wellenanlagen bringen Propellergondeln vor allem den Vorteil eines erhöhten Wirkungsgrades mit sich. Grund dafür ist, dass die konventionelle Hauptmaschine, die den Strom für den Elektromotor erzeugt, immer im optimalen Drehzahlbereich gefahren werden kann. Je nach System und Schiffstyp ist der Wirkungsgrad um 25 bis 50 Prozent besser. Dies schlägt sich bei gleich großer Motorisierung und in einem gleich großen Rumpf in einer wesentlich besseren Fahrleistung und einem deutlich niedrigeren Treibstoffverbrauch (bis zu –15 Prozent) nieder.<sup>17)</sup>

Darüber hinaus werden die Sicherheit und Wendigkeit der Schiffe verbessert. Die Anschaffung eines POD-Antriebs ist trotz des Wegfalls von Ruderanlagen, Bug- und Heckstrahlrudern wesentlich teurer als die einer klassischen Wellenanlage. Allerdings kann sich der höhere Anschaffungspreis durch niedrigere Betriebskosten in Form von niedrigerem Kraftstoffverbrauch bis hin zum Wegfall von Schlepperassistenz mit der Zeit amortisieren.

### 5.2.4 Elektromotor mit Batterie

Reine batteriebetriebene Elektroschiffe haben den Vorteil eines komplett batteriebetriebenen Betriebes. Sie weisen aber bislang in der Regel eine geringe Reichweite und hohe Anschaffungskosten auf. Durch die geringe Gesamtfahrleistung besteht bislang nur geringes CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial. Bei einem möglicherweise realisierbaren technologischen Durchbruch in der Batterietechnolo-

gie müsste diese Einschätzung einer Überprüfung unterzogen werden. Da insbesondere die Elektromotoren weitestgehend ausgereift sind, dürften Weiterentwicklungen der Batterietechnik eher durch die Anwendung in Schiffen mit Hybrid- und Brennstoffzellen-Antrieb motiviert sein.

### 5.2.5 Elektromotor mit Brennstoffzelle

Analog zur Batterie wird bei einer Brennstoffzelle chemische Energie von beispielsweise Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) direkt in elektrische Energie umgewandelt. H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> werden an Elektroden herangeführt. Sie verbinden sich dort in einer umgekehrten Elektrolyse, einer »kalten Verbrennung«, zu Wasser. Aufgrund der direkten Umwandlung der chemischen in elektrische Energie ist der Wirkungsgrad einer Wasserstoff-Brennstoffzelle hoch. Die meisten Brennstoffzellen nutzen den Sauerstoff der Umgebungsluft, sodass nur der für die Reaktion benötigte Wasserstoff als Treibstoff mitgeführt werden muss.

Elektrisch betriebene Schiffe mit Brennstoffzelle (BZ) gelten als zukunftsweisend. Serienfertigungen existieren jedoch bis dato nicht. Für den Antrieb werden vor allem »Polymer-Elektrolyt-Membran« (PEM)-BZ in Betracht gezogen, die sich durch eine hohe Leistungsdichte und ein flexibles Betriebsverhalten auszeichnen.<sup>18)</sup>

Für PEM-BZ lassen sich brennstoffbezogen drei Konzepte unterscheiden: Reinwasserstoff (gespeichert als Flüssig- oder Druckwasserstoff), wasserstoffhaltiges Brenngas aus dem »on-board reforming« von Methanol oder Kohlenwasserstoffen und »Direktumsetzung von Methanol in speziellen BZ« (DMBZ). Der BZ-Betrieb mit Reinwasserstoff ist völlig frei von Schadstoffemissionen, der mit Methanol oder Kohlenwasserstoff fast frei. Problematisch sind die Speicherung von H<sub>2</sub> an Bord und die fehlende H<sub>2</sub>-Infrastruktur. Wasserstoffspeicher sind deutlich schwerer und um ein Vielfaches teurer als Tanks für Methanol oder Benzin.

Brennstoffzellenbetriebene U-Boote sind bereits in Fahrt, darüber hinaus wurde kürzlich das weltweit erste kommerziell genutzte Fahrgastschiff »Alsterwasser« in Betrieb genommen, das ohne jegliche Schadstoffemissionen bis zu 100 Personen befördern kann.

<sup>18)</sup> Deutscher Bundestag, 2007.

<sup>17)</sup> TLine, 2004.

### 5.2.6 Solarantrieb

Als Solarschiff wird jedes Schiff bezeichnet, das zumindest einen Teil seiner Antriebsenergie durch Solarzellen erzeugt. Schiffe sind dazu auf der Oberfläche mit Solarzellen bestückt, die die Sonnenenergie in elektrischen Strom umwandeln.

Als Antriebsmotoren werden wartungsarme Elektromotoren in Gleich- oder Drehstromtechnik in verschiedenen Leistungsklassen verwendet. Die Energie wird in Batterien (Blei-Gel oder Blei-Säure, optional auch Nickel-Cadmium oder Lithium-Ionen) gespeichert und treibt dadurch auch sonnenunabhängig die Antriebsmotoren an. Solarschiffe erreichen normalerweise eine Maximalgeschwindigkeit von rund zwölf bis 18 Kilometer pro Stunde. Bei Fahrten mit reiner Sonnenenergie beträgt die Spitzengeschwindigkeit vier bis sieben Kilometer pro Stunde.

Entscheidenden Einfluss auf die solare Geschwindigkeit haben die Leistung des Solargenerators und die hydrodynamischen Eigenschaften der Rumpfform. Die Rümpfe werden entsprechend den Anforderungen an ein Solarschiff speziell entworfen und zeichnen sich neben geringem Energiebedarf auch durch geringen Wellenschlag aus. Der Vorteil von Solarschiffen ist, dass keinerlei Emissionen wie Abgase und Lärm entstehen. Außerdem kann beim Betanken kein Treibstoff ins Wasser fließen und so die Gewässer verunreinigen. Bislang kommt der Solarantrieb nur bei einigen wenigen kleinen Fahrgastschiffen zum Einsatz. Den Anforderungen an die moderne Handelsschifffahrt wird er zum jetzigen Zeitpunkt nicht gerecht.

### 5.3 Hilfsantriebstechnologien bzw. -systeme

Hilfsantriebssysteme gewinnen zunehmend an Bedeutung. Die HypoVereinsbank ermittelte im Rahmen des »Maritimen Trendbarometers 2008«, dass das Zugdrachen-Antriebssystem SkySails zukünftig eine bedeutendere Rolle spielen könnte. Rund 23 Prozent der Reeder sehen für diese innovative Antriebstechnologie in der Zukunft eine bedeutendere Rolle. Das Windantriebssystem befindet sich seit Herbst 2007 im kommerziellen Betrieb. Im Gegensatz dazu glauben nur knapp drei Prozent der Befragten an den Flettnerrotor als neue Antriebstechnologie (vgl. Abb. 5).

#### 5.3.1 Zugdrachen- bzw. Segelantrieb

Das Hamburger Unternehmen SkySails hat ein Windantriebssystem auf Basis von großen Zugdrachen entwickelt. Dabei kann die SkySails-Technologie als zusätzlicher Windantrieb auf nahezu allen Schiffen und Schiffsneubauten installiert und zur Entlastung der Hauptmaschine eingesetzt werden.

SkySails-Zugdrachen entwickeln im Vergleich zu normalen Segeln durch die räumliche Trennung von Schiff und Segel pro Quadratmeter Fläche leicht das Fünffache an Vortriebskraft. Der Zugdrachen des SkySails-Antriebs wird dynamisch in Form von Achten vor dem Schiff geflogen. Die hohe Eigengeschwindigkeit des Zugdrachens ist besonders relevant, da die Strömungsgeschwindigkeit der Luft am aerodynamischen Profil des Drachens die hohe Leistungsfähigkeit ermöglicht. Eine Verdoppelung der Strömungsgeschwindigkeit

am Zugdrachen bedeutet eine Vervierfachung der Zugkraft. Ein technologischer Vorteil des SkySails-Antriebs ist, dass der Zugdrachen in Höhen zwischen 100 und 300 Metern operieren kann, in denen stärkere und stetigere Winde vorherrschen. In einer Höhe von 150 Metern ist die durchschnittliche Windgeschwindigkeit aufgrund der fehlenden Reibung mit der Erd- bzw. Wasseroberfläche ca. 25 Prozent höher als in zehn Meter Höhe.

Durch den Einsatz des SkySails-Systems können die Treibstoffkosten eines Schiffes laut Hersteller im Jahresdurchschnitt, abhängig von den Windverhältnissen, zwischen zehn und 35 Prozent gesenkt werden. Herrschen optimale Windbedingungen, so soll der Treibstoffverbrauch zeitweise um bis zu 50 Prozent reduziert werden können.<sup>19)</sup>

### 5.3.2 Flettnerrotoren

Der Flettnerrotor ist eine Erfindung der zwanziger Jahre des 20. Jahrhunderts. Damals entwickelte Anton Flettner einen rotierenden Zylinder, der ähnlich wie ein Flugzeugflügel wirkt. Auf der Vorderseite des drehenden Zylinders baut sich ein Unterdruck auf (Magnus-Effekt). Dadurch wird das Schiff vorwärts gezogen. Die großen Zylinder können helfen, Treibstoff zu sparen, verstellen aber gleichzeitig einen erheblichen Teil der Ladefläche und eignen sich eher für Spezialanwendungen.

Den Rumpf eines solchen Spezialschiffs baute die Kieler Lindenau-Werft im Auftrag des Auricher Windrotoren-Herstellers Enercon, der selbst die Ausrüstung vornehmen möchte. Mit dem Frachter sollen Rotorblätter in die ganze Welt verschifft werden. Vier Flettnerzylinder mit einem Durchmesser von vier Metern und einer Höhe von 27 Metern sollen auf beiden Seiten des Bugs und Hecks das 130 Meter lange Schiff antreiben und damit 30 bis 50 Prozent Treibstoff einsparen.

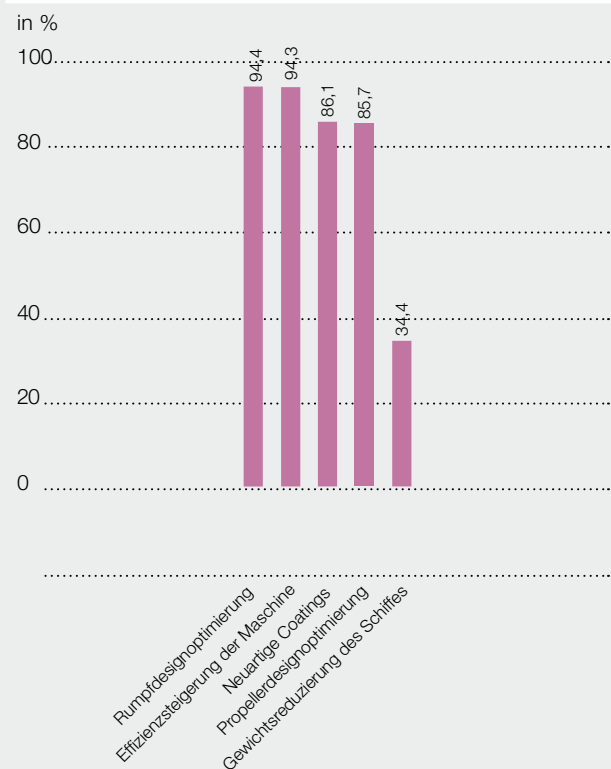
<sup>19)</sup> SkySails GmbH & Co. KG, 2008.

## 5.4 Technische Innovationen am Schiff

Die im Rahmen des »Maritimen Trendbarometers 2008« durchgeführte Blitzumfrage der HypoVereinsbank ergab, dass Reeder zunehmend auf technische Innovationen am Schiff setzen, um Treibstoff zu sparen und die Umwelt zu entlasten.

Rund 94 Prozent der befragten Reeder sehen in einer Rumpfoptimierung eine sinnvolle Möglichkeit, die Reichweite ihrer Schiffe pro Tonne Bunkerverbrauch zu erhöhen. Um die 85 Prozent setzen zusätzlich auf eine Propellerdesignoptimierung und neuartige Beschichtungen bzw. Coatings (vgl. Abb. 6).

**Mit welchen technischen Möglichkeiten kann die Milage (Reichweite pro Tonne Bunkerverbrauch) der Schiffe erhöht werden? (Abb. 6)**



Quelle: HypoVereinsbank

## 5.4.1 Rumpfoptimierung

Noch sind die meisten Schiffsrümpfe für die Fahrt in ruhiger See und eine Beladung auf Konstruktionstiefgang konzipiert. Auf vielen Routen herrscht jedoch oft deutlich stärkerer Seegang, so dass ein Schiff bis zu einem Viertel mehr Treibstoff verbraucht. Zudem sind die Schiffe nur selten im optimalen Trimm auf Konstruktionstiefgang in Fahrt.

Optimierte Rumpfformen gleiten effizienter durch die Wellen. Die Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt (HSVA) hat untersucht, inwieweit effizientere Rumpfformen den Treibstoffverbrauch verringern können. Das Rumpfdesign und die Erfahrung der Designer beeinflussen die Qualität der hydrodynamischen Performance von Schiffneubauten. Während der Designphase können verschiedene Maßnahmen das Rumpfdesign verbessern und damit den Treibstoffverbrauch reduzieren. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Grundkonstruktion des Schiffes ausreichend Potenzial bietet – zum Beispiel, dass der Maschinenraum und der Laderaum an die Anforderungen eines hydrodynamischen Designs angepasst werden können.

Ein optimales Design der Rumpfform kann nur erreicht werden, wenn das grundlegende Design dem hydrodynamischen Design folgt und nicht andersherum. Zu strenge Anforderungen an die Grundkonstruktion können zehn bis 15 Prozent mehr Treibstoffkosten verursachen, abhängig vom Schiffstyp und der Schiffsgeschwindigkeit. Die maximal möglichen Verbesserungen durch Veränderungen der Rumpfform sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Ingenieure und Experten für Hydrodynamik forschen derzeit weiter nach Verbesserungspotenzialen und möglichen Maßnahmen zur Rumpfdesignoptimierung. In Summe wird davon ausgegangen, dass das Rumpfdesign bereits sehr gut optimiert worden ist und deshalb nur noch geringe Verbesserungen und damit einhergehend

**Maximal mögliche Verringerung des Treibstoffverbrauchs durch Modifikationen der Rumpfform (Tab. 3)**

	in %
<b>Vorschiffumpfform</b>	
Kleine Modifikationen am Wulstbug	2
Kleine Modifikationen des Kielraumes	2
Formveränderungen anhand automatischer Optimierungsstrategien (mögliche Steigerung abhängig von der Höhe des Wellenwiderstandes)	2–5
<b>Mittelschiffumpfform</b>	
Änderung des Koeffizienten der Mittelschiffsektion	1
<b>Achterschiffumpfform</b>	
Kleine Modifikationen des Kielraumes und des Wasserlinienwinkels	2
Kleine Modifikationen im Bereich der Propellernabe	1
Kleine Modifikationen im Bereich des Heckwulstes	1
Heckdehnung – mit und ohne Trimm	2–4

Quelle: HSVA

Verbrauchseinsparungen bei einer Umgestaltung des Rumpfes erwartet werden können. Doch auch geringe Optimierungen hier können zu einer signifikanten Verbesserung führen, wobei dieses Vorgehen jedoch Zeit, Ausdauer, Erfahrung und nicht zuletzt ein entsprechendes Budget erfordern, um eine sorgfältige Optimierung und umfangreiche Tests durchführen zu können.<sup>20)</sup>

<sup>20)</sup> HSVA, 2008.

## 5.4.2 Propeller- und Ruderdesignoptimierung

Ruder und Propeller können zu einer Antriebseinheit geformt werden, die wie eine Verlängerung des Rumpfes wirkt. Das stromlinienförmige Schiff erzeugt weniger Verwirbelungen, was den Fahrtwiderstand senkt. Durch die Optimierung der Konstruktion und Form des Ruders sowie des Propellers sind also weitere Einsparungen möglich.

### Maximal mögliche Verringerung des Treibstoffverbrauchs durch eine Optimierung der Gestaltung von Ruder und Propeller (Tab. 4)

Gestaltung von Ruder und Propeller	in %
Steigerung der Leistungsfähigkeit des Propellers (steigert in den meisten Fällen auch das Risiko der Kavitation = Bildung und schlagartiges Zerfallen von Dampfblasen am Propeller)	3
Optimale längs laufende Position des Ruders und Propellers am Achterschiff	2
Hochauftriebsprofil, um den Ruderbereich zu reduzieren	1

Quelle: HSVA

Durch eine Ruderblattoptimierung können zwei bis vier Prozent Treibstoff eingespart werden. Über einen verbesserten Propellerzustrom (Düsen, Spoiler) lassen sich drei Prozent einsparen.<sup>21)</sup>

## 5.4.3 Farbanstriche

Spezielle Schiffsanstriche unterhalb der Wasserlinie, sogenannte Antifouling, mindern den Wasserwiderstand eines Schiffes. Die Farbe verhindert, dass sich Bewuchs wie etwa durch Seepocken und Muscheln am Rumpf bildet und das Schiff dadurch gebremst wird.

<sup>21)</sup> HSVA, 2008.

In jüngster Zeit sind Antifouling-Farbanstriche auf Silikonbasis entwickelt worden. Diese speziellen Farbanstriche bieten eine sehr geringe Oberflächenrauheit bis 65 Mikrometer. Herkömmliche Werte liegen bei 150–200 Mikrometern. Beispielhaft wurde der Einfluss der Oberflächenrauheit auf den Leistungsverbrauch und die erreichbare Geschwindigkeit bei einem 4.200-TEU-Containerschiff von der HSVA ermittelt. Der Unterschied zwischen einer sehr feinen Rumpfoberfläche (65 Mikrometer) und einer schlechteren Rumpfoberfläche (200 Mikrometer) macht rund sechs Prozent des gesamten Widerstandes bzw. 0,3 Knoten bei der Geschwindigkeit aus.<sup>22)</sup>

## 5.5 Landstromversorgung in den Häfen

Weltweit kämpfen derzeit die großen Seehäfen gegen Luftverschmutzung. Häfen geraten dabei zunehmend unter politischen Druck, eine Senkung der Schadstoffemissionen herbeizuführen. Laut Umfrage der HypoVereinsbank rechnen heute bereits 86 Prozent der Reeder mit einer künftigen Kopplung der Hafententgelte an Schadstoffklassen.

Die Ursache für die Luftverschmutzung in den Häfen sind hauptsächlich Hilfsmotoren für Lüfter, Bordelektronik, Kräne und Licht. Eine Lösung des Problems könnte die Landstromversorgung »Alternative Marine Power« (AMP) oder »Cold Ironing« sein. Auf Drängen der EU sollen Schiffe künftig im Hafen landseitig mit Strom versorgt werden und so gänzlich ohne eigene Maschinenkraft auskommen. Dazu müssen jedoch die Stromanschlüsse international konzipiert, normiert und geprüft werden. Pro Schiff entstehen dabei Kosten von bis zu einer Million Euro.

Das »Maritime Trendbarometer 2008« ergab, dass die Hälfte aller befragten Reeder sich vorstellen kann, auf freiwilliger Basis in Anschlussmöglichkeiten für die Hafensteckdose zu investieren. Kürzlich wurde in Lübeck die erste Landstrom-Versorgungsstation für Frachtschiffe in Betrieb genommen. Derzeit denkt der Hamburger Hafen über eine Landstromversorgung für Kreuzfahrtschiffe nach. Neben Strom könnte alternativ auch umweltfreundlicheres Gas geliefert werden, mit dem sich die Hilfsmaschinen an Bord antreiben lassen.

<sup>22)</sup> HSVA, 2008.

## 6 Abschätzung der künftigen CO<sub>2</sub>-Emissionen

Durch alternative Kraftstoffe und Energieträger wie Erdgas, Wasserstoff und Biokraftstoffe könnte der Ausstoß an CO<sub>2</sub>-Emissionen bedeutend gesenkt werden. Auch bei den Antriebstechnologien besteht ein erhebliches CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungspotenzial.

Einerseits kann der Treibstoffverbrauch durch die Optimierung der Dieselmotoren und konventionellen Wellenanlagen – die beherrschenden Antriebstechnologien in der Schifffahrt – gesenkt werden. Andererseits besteht ein Reduzierungspotenzial durch neuartige Antriebskonzepte, wie beispielsweise den Hybrid- oder POD-Antrieb. Als besonders zukunftsweisend gelten Elektromotoren mit Brennstoffzelle, denn der Betrieb mit Reinwasserstoff ist völlig emissionsfrei. Die kommerziellen Hilfsantriebssysteme sind die SkySails-Technologie sowie Flettnerrotoren, die eine zusätzliche Treibstoffeinsparung und somit Emissionsreduzierung generieren können.

Darüber hinaus wird derzeit versucht, weitere treibstoffsparende Innovationen auf dem Markt zu etablieren. Dazu gehört das »Air Cavity System« (ACS), bei dem mithilfe von Kompressoren Druckluft in Kanäle unter dem flachen Schiffsrumpf gepresst wird. Das Luftpolster verringert die Kontaktfläche zwischen Rumpf und Wasser und minimiert so die Reibung, welche die Fahrt des Schiffes bremst. Das Ergebnis ist eine Kraftstoffersparnis von bis zu 15 Prozent.

Eine weitere Innovation ist auch der »Dynamic Trimming Assistant« (DTA), der die dynamische Trimmung eines Schiffes misst und alle relevanten und verfügbaren Messwerte aus dem Maschinen- und Nautikbereich verarbeitet, um dann dank seiner selbstlernenden Eigenschaften die jeweils optimale Trimmung anzuzeigen. Durch den Einsatz des DTA lässt sich der Schiffswiderstand optimieren und eine Brennstoffeinsparung von bis zu fünf Prozent erzielen.

Nach Ablieferung aller bestellten Schiffe 2012/2013 wird die weltweite Handelsflotte bei dem heutigen Stand der Technik über 1.600 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> emittieren. Neue Kraftstoffe und Antriebstechnologien werden bei den Ablieferungen bis 2012/2013 durch den frühzeitigen Bestellzeitpunkt noch keine entscheidende Rolle spielen. Möglich sind jedoch technische Modifikationen am Schiff, eine Optimierung der Dieselmotoren sowie die Nachrüstung eines SkySails-Antriebssystems. Die Emissionsminderungspotenziale sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

**Emissionsminderungspotenziale (Tab. 5)**

	Mögliche Emissionsminderung in %
<b>Antriebssystem (Dieselmotor)</b>	
Waste Heat Recovery	12
Pumpen & Hilfssysteme	1
Dual/Multi Maximum Continuous Rating	3
Automatische Motorensteuerung	1
<b>Alternative Antriebssysteme</b>	
SkySails	10–50
Flettnerrotoren	30–50
<b>Technische Innovationen am Schiff</b>	
Rumpfformoptimierung	1–5
Propeller- und Ruderdesignoptimierung	1–5
Farbanstriche	1–6

Quelle: HypoVereinsbank

Nach Aussage von Dr.-Ing. Uwe Hollenbach, Head of Resistance & Propulsion der HSVA, ist bei einer durchschnittlichen Ausgangsform eines Schiffes eine Leistungssteigerung bzw. Treibstoffersparnis von etwa fünf Prozent durch eine Rumpfformoptimierung und weiteren fünf bis sieben Prozent durch propulsionsverbessernde Maßnahmen (Propeller- und Ruderdesignoptimierung, Pre-Swirl- und Post-Statoren, Ausgleichsdüsen etc.) möglich. Bei einer bereits guten Ausgangsform können jedoch nur ein bis zwei Prozent durch eine optimierte Rumpfform und weitere drei bis fünf Prozent durch propulsionsverbessernde Maßnahmen erzielt werden.

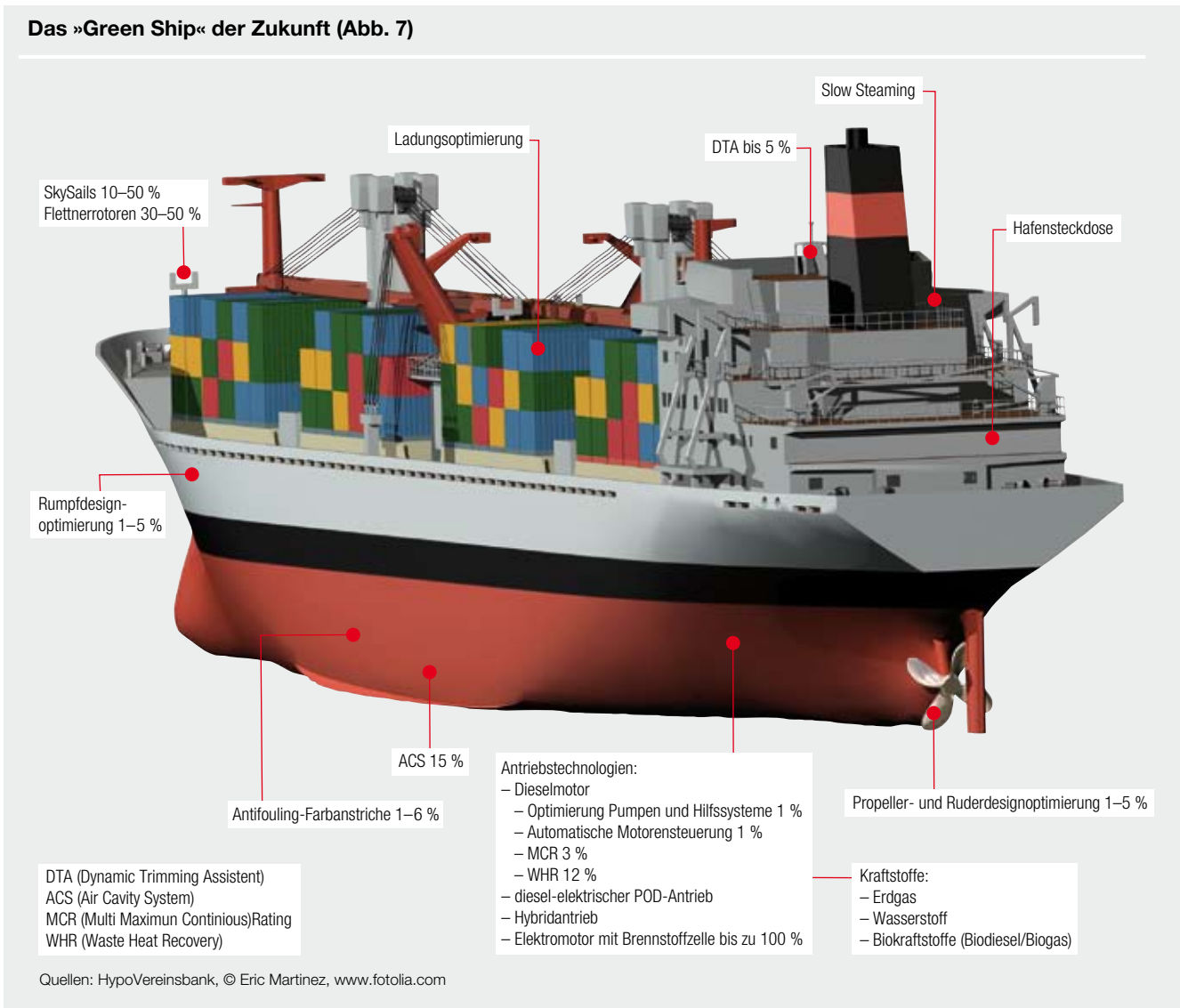
Eine genauere Aussage zur Höhe des Emissionsminderungspotenzials durch ein verändertes Rumpfdesign, durch die Gestaltung von Ruder und Propeller sowie Antifouling-Farbanstriche könne jedoch nicht getroffen werden, da die Schiffe der fahrenden Flotte unterschiedlich groß und unterschiedlich alt sind. Bei den aktuell bestellten Neubauten mit Ablieferungstermin 2012/2013 sei entscheidend, in welchem Land die Schiffe gebaut werden. Während in Korea das Potenzial durch eine Rumpfformoptimierung bei höchstens ein bis zwei Prozent liege, könne in China eine Steigerung von rund fünf Prozent erzielt werden, schätzt der Experte. Auch in Deutschland seien nur ein bis zwei Prozent Ersparnis durch hydrodynamische Verbesserungen möglich.

## 7 Schlussfolgerung: das »Green Ship of the Future«

Die genannten Untersuchungen haben ergeben, dass bis zur Ablieferung aller bestellten Schiffe bis 2012/2013 keine revolutionären Treibstoffeinsparungen möglich sein werden. Es bestehen jedoch technische Optimierungspotenziale durch ein verändertes

Aufgrund zunehmender gesetzlicher Emissionsauflagen auf nationaler und internationaler Ebene sowie zunehmender Treibstoffkosten wird jedoch verstärkt nach umweltfreundlichen Alternativen in der Schifffahrt gesucht. Seien es neue Rumpf-, Propeller- oder Ruderdesigns, neue Farbanstriche, alternative Kraftstoffe, neue Antriebssysteme oder eine Landstromversorgung in den Häfen. Klar

Das »Green Ship« der Zukunft (Abb. 7)



Rumpfdesign, durch die Gestaltung von Ruder und Propeller sowie Antifouling-Farbanstriche. Die derzeitigen Emissionsminderungsmaßnahmen führen also nicht zu einer absoluten Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in der Handelsschifffahrt, da das Flottenwachstum gemäß vorliegendem Orderbuch die Emissionsminderungspotenziale übersteigen wird.

ist mittlerweile, dass nicht nur die Land- und Luftverkehrsträger, sondern auch die Seeschifffahrt den CO<sub>2</sub>-Emissionsausstoß reduzieren muss. Deutlich wurde das unter anderem durch die Schwerpunktthemen Umweltschutz und Energieeinsparung bei der diesjährigen größten Schiffbaufachmesse der Welt (SMM) in Hamburg. Das »Green Ship of the Future« ist in der Diskussion und wird auch zukünftig die Schifffahrtsindustrie beschäftigen.

## Abkürzungsverzeichnis

ACS	Air Cavity System	HSVA	Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt
AMP	Alternative Marine Power	IMO	International Maritime Organization
BLG	Bulk Liquids and Gases	MARPOL	Maritime Pollution – International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
BZ	Brennstoffzelle	MCR	Maximum Continuous Rating
CH <sub>4</sub>	Methan	MEPC	Marine Environment Protection Committee
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid	MSC	Marine Safety Committee
DMBZ	Direktumsetzung von Methanol in speziellen Brennstoffzellen	NO <sub>x</sub>	Stickoxide
DTA	Dynamic Trimming Assistant	O <sub>2</sub>	Sauerstoff
DWT	Deadweight Ton	PEM	Polymer-Elektrolyt-Membran
FAME	Fatty Acid Methyl Ester	RME	Rapsmethylester
HFO	Heavy Fuel Oil	SECA	Sulphur Emission Controlled Area
GAUSS	Gesellschaft für Angewandten Umweltschutz und Sicherheit im Seeverkehr	SME	Sonnenblumenmethylester
GL	Germanischer Lloyd	SNG	Substitute Natural Gas
GT	Grosstonnes	SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
H <sub>2</sub>	Wasserstoff	TEU	Twenty Foot Equivalent Unit
		WHR	Waste Heat Recovery

## Literaturverzeichnis

**Det Norske Veritas, DNV Maritime:** DNV Tanker Update, No. 2, May 2008

**Deutscher Bundestag, 16. Wahlperiode, Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung, Technikfolgenabschätzung (TA), TA-Vorstudie:** Perspektiven eines CO<sub>2</sub>- und emissionsarmen Verkehrs – Kraftstoffe und Antriebe im Überblick, Berlin, 2007

**GAUSS Gesellschaft für angewandten Umweltschutz und Sicherheit im Seeverkehr:** Einsatz regenerativer Kraftstoffe in ausgewählten Bereichen der Schifffahrt, Dr. Birte Clason, Bremen, 2007

**GL Germanischer Lloyd:** Herausforderungen des Klima- und Umweltschutzes wirtschaftlich nutzen, Dr. Hermann J. Klein, Hamburg, 2008

**Handbuch Schiffsbetriebstechnik:** Betrieb – Überwachung – Instandhaltung, Seehafen Verlag, Hansheinrich Meier-Peter (Hrsg.), Frank Bernhardt (Hrsg.), Hamburg, 2006

**HSVA Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH:** Efficient hull forms – What can be gained, Uwe Hollenbach, Jürgen Friesch, Hamburg, 2008

**HypoVereinsbank:** Maritimes Trendbarometer 2008, Hamburg, 2008

**International Maritime Organization (IMO):** MEPC, 2008

**International Transport Forum Leipzig:** Tagungsunterlagen, OECD, Leipzig, 2008

**IMO:** MARPOL 73/78 Consolidated Edition, London 2002

**IMO:** »Report on the outcome of the Informal Cross Government/ Industry Scientific Group of Experts established to evaluate the effects of the different fuel options proposed under the revision of MARPOL Annex VI«, Note by the Secretariat, BLG 12/6/1, 2007

**ISL:** Shipping Statistics and Market Review, Bremen, Vol. 52 No 1/2–2008

**MAN Diesel:** Green Ship of the Future, Hamburg, 2008

**SkySails GmbH & Co. KG:** Turn wind into profit, Hamburg, 2008

**TTLIne:** Green Bridge Concept, Lübeck-Travemünde, 2004

**Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC):** Vierter Sachstandsbericht, Mai 2007



---

## Schiffsfinanzierungsgeschäft der HypoVereinsbank

HVB Global Shipping mit Sitz in Hamburg ist mit seinen Vertretungen in Piräus, Oslo, Singapur und Abu Dhabi Kompetenzzentrum der HypoVereinsbank/UniCredit-Gruppe für die in- und ausländische maritime Industrie. Die Bank ist mit über 1.000 finanzierten Schiffen und einem Portfolio von gut 8,5 Milliarden Euro inklusive Offshore- und Containerfinanzierungen einer der weltweit führenden Schiffsfinanzierer.

Weitere Informationen im Internet unter [www.hvb.com/globalshipping](http://www.hvb.com/globalshipping).

---

### Haftungsausschluss:

Diese Publikation enthält diverse Aussagen und Daten aus fremden Quellen, deren Vollständigkeit und Richtigkeit die HypoVereinsbank nicht geprüft hat und für welche daher keine Verantwortung übernommen werden kann. Für in der Publikation enthaltene Bewertungen und Einschätzungen ist zu berücksichtigen, dass diese zum einen naturgemäß das Ergebnis subjektiver Beurteilungen sind und zum anderen von falschen Grundannahmen ausgehen oder objektiv falsche Schlüsse ziehen können. Für ihre objektive Richtigkeit kann daher keine

Haftung übernommen werden. Schließlich kann auch die Eintrittswahrscheinlichkeit von Prognosen oder sonstigen Einschätzungen künftiger Entwicklungen nicht beurteilt oder ihr Eintritt garantiert werden.

Die Publikation ist kein Angebot und keine Aufforderung zur Abgabe eines Angebots; sie stellt auch keine Empfehlung für Investitions- oder sonstige Entscheidungen dar. Die Publikation darf – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung der HypoVereinsbank verbreitet, vervielfältigt oder in sonstiger Weise der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

### Impressum

Herausgeber: HypoVereinsbank,  
Global Shipping Division,  
Alter Wall 22, 20457 Hamburg

[www.hvb.com/globalshipping](http://www.hvb.com/globalshipping)

Bei Rückfragen:  
Ingmar Loges, Head of Global  
Shipping, HypoVereinsbank  
Tel.: + 49 40 36 92-1779  
E-Mail: [ingmar.loges@unicreditgroup.de](mailto:ingmar.loges@unicreditgroup.de)

Joachim Flecks, Research Global  
Shipping, HypoVereinsbank  
Tel.: + 49 40 36 92-4570  
E-Mail: [joachim.flecks@unicreditgroup.de](mailto:joachim.flecks@unicreditgroup.de)

Autor: Joachim Flecks in Zusammenarbeit mit  
BONUM news + marketing, Hamburg

Titelfoto: © Andreas Teichmann