

5.8 Klimaschutz im Seeverkehr - Schiffe mit geringeren Treibhausgas-Emissionen

JÜRGEN ISENSEE

Climate protection in marine traffic- Ships with lower greenhouse gas emissions: There are many ways to reduce the GHG emissions of ships considerably. All proposals shown are calculated by methods commonly available or derived from experiments in towing tanks and wind tunnels.

Instant emission reduction of up to 40% can be achieved simply by reduced operating ship speed. Other methods require investments into optimising existing ships or into more efficient newbuilds. Renewing the fleet can result in considerable reductions but the process of converting the fleets might take 30 years. Increased ship size of 10% may reduce GHG by 2% for large ships and up to 4% for small ships. Ship hulls with slender lines could save possibly up to 16% GHG compared to current designs. Local improvements in hull line design could improve energy efficiency by 1-3% within a few years. The reduction of frictional resistance could eventually save up to 20% GHG, if research and development succeeds; but no time estimation for progress is available. Larger propellers with lower revolutions adjusted to aft section and ducted propellers could reduce GHG of slow ships by 15% within 20 years. Improved use of waste heat is technically mature and may result in 5-10% less GHG emissions within next decades. By agreements with ship owners the design speed for almost all types of ships could be reduced up to 25% to obtain GHG reductions up to 35%, for fast ships even much more. Fuel cells can reduce CO₂ emissions but the fuel used is crucial for its GHG- balance. The most promising of renewable energies is the wind-energy. Many good ideas have been developed and some are already in operation. Up to 40% CO₂-reductions were calculated based on wind tunnel tests with modern wing sail models. Photovoltaic panels could contribute less than 1% but poor efficiency of the panels hampers their use for ships. Residual fuels should be replaced by better brands to reduce their environmental impacts and to reduce CO₂-emissions by about 2% to 5%. LNG reduces CO₂-emissions by 25%, but the problem of methane slip might offset savings.

Der Seeverkehr weist einen geringeren CO₂-Ausstoß als andere Verkehrsmodi pro Tonnen-Kilometer auf. Das hohe Transportvolumen der Schifffahrt führt jedoch dazu, dass die gesamte Schifffahrt pro Jahr für etwa 1,12 Mrd. t CO₂ verantwortlich ist (SECOND IMO GHG-STUDY 2009). Dies entspricht etwa 3,8% (29,4 Mrd CO₂ t als Summe) der gesamten anthropogenen CO₂-Emissionen (IEA 2010).

Neben den CO₂-Emissionen der Schifffahrt werden durch die geringe Qualität der in der Schifffahrt üblichen Rückstandsöle sehr hohe Partikel- und Spurengas-Frachten (SO_x, NO_x, PM, VOX) emittiert. Diese Emissionen sind wegen der enthaltenen Sedimente, Aschen und vor allem wegen des hohen Schwefelgehaltes (bis 4,5%) besonders schädlich für die Gesundheit, Umwelt und Gebäude. Klimarelevant sind besonders Rußpartikel, die als Ablagerungen auf Eis und Schnee deren Strahlungsbilanz verändern und zu einem verstärkten Abschmelzen führen.

Trotz ihres relativ kleinen CO₂-Ausstoßes pro Tonnenkilometer hat die Schifffahrt aufgrund der bisherigen geringen Regulierung von allen Transportmodi das größte Reduktionspotenzial. Die Möglichkeiten der Energieeinsparung reichen von simplen operativen Verbesserungen, baulichen Veränderungen der bestehenden Schiffe und deren Antriebe bis zu neuen Konzepten für Schiffsneubauten.

Operationelle Maßnahmen: Einsparpotentiale durch Optimierung der Betriebszustände

Optimierung der Betriebszustände

Während des Betriebs können Energieeinsparungen durch die konsequente Anwendung bereits bekannter Optimierungsverfahren erreicht werden: Für jeden Tiefgang wird zwecks Ballastmengen-Optimierung durch Monitoring und Auswertung der CO₂-optimale Trimm festgestellt und gefahren. Die benetzte Außenhaut wird glatt gehalten, jeder Bewuchs verhindert. Man lässt Hilfsmaschinen nicht leer mitlaufen. Pumpen mit steuerbarer Drehzahl sollten nur nach Bedarf laufen.

Slow Steaming (langsamer fahren)

Eine der einfachsten und wirkungsvollsten Methoden, den Treibstoffverbrauch zu senken, ist das sogenannte Slow Steaming. Der Vortriebs-Energiebedarf sinkt mindestens um den doppelten Prozentsatz der Geschwindigkeits-Verringerung. Bei schnellen Schiffen mit hohem Anteil an Wellenwiderstand kann der Effekt deutlich stärker sein (s. Tab. 5.8-1). Auch der spezifische Kraftstoffverbrauch der Motoren [in g/(kWh)] verringert sich bei 30% niedrigerer Auslastung gegenüber Vollast oft um ca. 3%.

Ein Nachteil des »slow steaming« ist eine viel zu

Tab. 5.8-1: Emissionsverringerungen durch Reduktion der Geschwindigkeit konventioneller Schiffe (eigene Berechnung). HSM = Handy Size Maximum Tanker).

Emissionsverringerungen bei Reduktion der Dienstgeschwindigkeit konventioneller Schiffe				
Parameter	Dimension	kl. Container	Tanker HSM	Gr. Container
Dienstgeschwindigkeit (Vd)	kn	15,60	15,00	25,40
Tragfähigkeit (TDW)	t	7713,00	49000,00	88700,00
Leistung Hauptmaschine (Pd)	kW	3613,00	10070,00	74760,00
CO ₂ – Emission bei Vd	g/t×sm	24,87	9,88	21,31
Verring. CO ₂ bei Vd 5% kleiner	%	12,14	10,02	13,27
Verring. CO ₂ bei Vd 10% kleiner	%	24,36	20,14	25,86
Verring. CO ₂ bei Vd 15% kleiner	%	37,62	27,35	35,15

groß ausgelegte Maschinenanlage, die schlecht ausgelastet ist, sowie ein Verlust an Tragfähigkeit und Laderaum gegenüber einem für eine kleinere Dienstgeschwindigkeit Vd entworfenem Schiff. Ein größerer Nachteil ist, dass zur Bewältigung der gleichen Transportarbeit mehr oder größere Schiffe benötigt werden. Deshalb wird »slow steaming« meist in Zeiten schlechter Konjunktur genutzt, wenn Laderaum ausreichend zur Verfügung steht und die Frachtraten niedrig sind.

Bauliche Maßnahmen

Größensteigerung der Schiffe

Ein Schiff mit größerer Tragfähigkeit wird bei ansonsten gleichen Parameterverhältnissen eine Transportarbeit immer energie günstiger ausführen können als ein Schiff mit geringerer Tragfähigkeit (*economy of scale*). Speziell bei Schiffen ist dies u.a. darauf zurückzuführen, dass größere Verdrängungskörper kleinere Verhältniswerte »Oberfläche zu Verdrängung« und »Geschwindigkeit zu Länge« aufweisen können, was

die beiden wichtigsten Widerstandsanteile (Reibungs- und Wellenwiderstand) bei der Fahrt durch das Wasser verringert. Außerdem ist bei größeren Schiffen das Verhältnis Schiffsleermasse zu Verdrängung kleiner als bei kleineren Schiffen (s. *Abb. 5.8-1*).

Die Größensteigerung der Schiffe führt jedoch auch zu einem dauerhaften Konflikt zwischen CO₂-Minimierung und Naturschädigung. Häufig ist es notwendig für größere und vor allem tiefergehende Schiffe die Ästure und Unterläufe der Flüsse, an denen weltweit die meisten Häfen liegen, zu vertiefen und zu verbreitern. Dadurch werden weiterhin bereits viele ökologisch besonders wertvolle Biotope (Biodiversität) vernichtet, die Hochwassergefährdung und Versalzung der angrenzenden Böden erhöht sowie mehr Sedimente an den Mündungen von Nebenflüssen abgelagert. Es ist nicht gerechtfertigt, zu Gunsten immer weiterer Größensteigerung der Schiffe immer größere Konflikte zwischen CO₂-Minimierung sowie Minimierung der Frachtraten auf der einen und Naturschädigung auf der anderen Seite auszutragen.

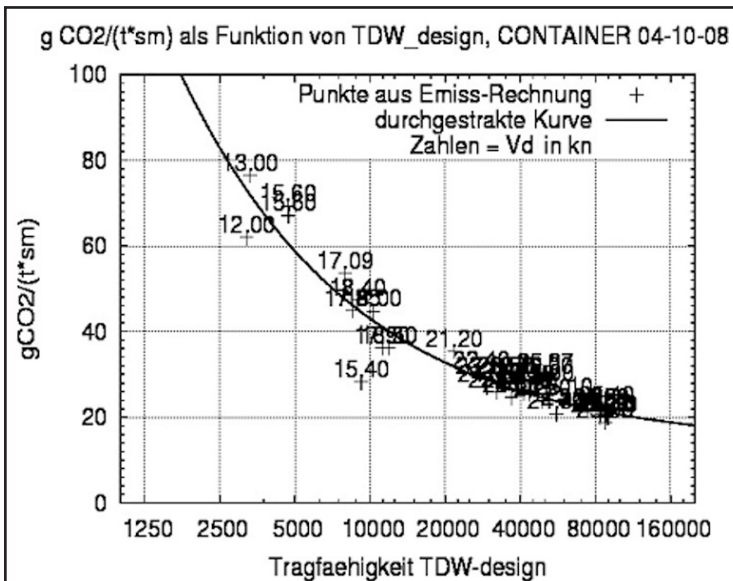


Abb. 5.8-1: Bei Vergrößerung der Tragfähigkeit von 5.000 t auf 5.500 t wird CO₂/(t×sm) von 58,8 g auf 56,2 g reduziert (-4,3%), bei einer Vergrößerung von 100.000 t auf 110.000 t nur noch um knapp 2%. Die größenabhängigen üblichen Steigerungen der Geschwindigkeit wurden berücksichtigt. Eigene Berechnung.

Optimierte Rumpfformen

Die Schifffahrt nutzt seit Jahrzehnten zu völlige Schiffe. Diese sind üblich, weil sie meist günstiger zu bauen sind als schlankere. Sie verbrauchen aber wesentlich mehr Treibstoff.

Ausgehend von Berechnungen von Vergleichsschiffen von MEWIS & HOLLENBACH (2007) wurden Emissionen von Schiffen berechnet, die sich bei gleicher Geschwindigkeit, Tragfähigkeit und gleichem Tankvolumen nur durch die Hauptparameter des Schiffs (= Länge L_{pp} , Breite B , Tiefgang T , Völligkeit) unterscheiden. Es wurde für einen Tanker mit 50.000 t Tragfähigkeit in eine Basisform und 4 Varianten unterschieden. Die Varianten sind alle länger als die Basisform, dafür schlanker bei gleicher Tragfähigkeit.

Die hier berechneten Schiffe erzeugen günstigere Wellenbilder und verringern so den Wellenwiderstand. Durch schlankere Formen können Energieverbrauch und CO_2 um bis zu 16% gesenkt werden (s. Tab. 5.8-2).

Über die Optimierung der Schiffsparameter von Neubauten hinaus können Form- und Wellenwiderstand der bestehenden Schiffe durch bauliche Veränderungen verringert werden. Maßnahmen wie Bugwulste und Spiegelveränderungen ermöglichen Einsparungen zwischen 1 bis 5% (MEWIS & HOLLENBACH 2007). Für jede Schiffsform muss jede Maßnahme einzeln untersucht werden. Die Einsparungen können nur selten addiert werden.

Reibungswiderstand verringern

Reibung entsteht zwischen der Schiffsaußenhaut und dem daran entlang strömenden Wasser. Der Reibungswiderstand macht je nach Geschwindigkeit zwischen zwei Dritteln und einem Drittel des Gesamtwiderstandes aus.

Neue Ansätze in der Frachtschifffahrt, die Reibung durch Luftpolster bzw. -blasen zu verringern, befinden sich noch im Erprobungsstadium. Beispiele sind das

Air Cavity System (ACS) der DK-Gruppe sowie die Lufteinblasung für das neuartige Fluß-Seeschiff Futura Carrier. Unter dem Schlagwort »Shark skin« (Haifischhaut) laufen Bestrebungen, Erkenntnisse der Bionik zur Verringerung der Reibung bei Schiffen zu nutzen. Keines dieser Projekte zur Verringerung des Reibungswiderstandes hat bislang für die Groß-Schifffahrt überzeugende Ergebnisse gezeigt. Es ist aber wichtig, auf diesem Gebiet weiter zu forschen und eventuelle viel versprechende Ergebnisse für weitere Entwicklungen zu nutzen.

Verbesserungen der Propeller

Die Bestimmung optimaler Propeller-Parameter ist seit Jahrzehnten Routine. Generell erzielen sie den besten Wirkungsgrad, wenn sie einen möglichst großen Wasserquerschnitt erfassen und diesen möglichst gering beschleunigen. Der Wasserzustrom vor dem Propeller soll möglichst gleichförmig und ungestört sein.

Der Forderung nach großen erfassten Wasserquerschnitten mit möglichst geringer Beschleunigung kann nur mit großen Propellerdurchmessern und kleinen Drehzahlen nachgekommen werden. Deshalb wird erprobt, wie Propeller ausgelegt sein sollten, wenn man den Ballasttiefgang von Massengutschiffen für stärkere Propeller vergrößert. Größere Propeller und Düsenpropeller ermöglichen etwa 15% Leistungersparnis bei langsamen Schiffen (s. Tab. 5.8-3).

Niedrigere Entwurfsgeschwindigkeiten

Die Entwurfsgeschwindigkeit ist der wichtigste Entwurfsparameter, der die CO_2 -Emission beeinflusst. Sie wird häufig vom Auftraggeber vorgegeben, der sich dabei z.B. auf die Wünsche späterer Charterer und Befrachter bezieht. Trotzdem kann man aber zu Gunsten des Klimas geringere Entwurfsgeschwindigkeiten verwirklichen.

Tab. 5.8-2: Verringerung der Emissionen durch Optimierung der Rumpfform bei gleicher Tragfähigkeit (eigene Berechnung).

Handy-Max-Tanker		Basis-Schiff	1. Version	2. Version	3. Version	4. Version
Länge zwischen Loten (L_{pp})	m	175	180,5	185	190	195,2
Breite (B)	m	32,2	32,2	32,2	32,2	32,2
Seitenhöhe (H)	m	18,2	17,7	17,3	17	16,7
Tiefgang Entwurf (T)	m	11	11	11	11	11
Völligkeit (CB)	-	0,825	0,8	0,78	0,76	0,74
Verringerung CB gegenüber Basis	%	0	2,4	4,9	7,3	9,8
Antriebsleistung (P_d)	kW	9700	8900	8250	7800	7650
CO_2	g/(t×km)	5,185	4,857	4,591	4,407	4,346
Verringerung CO_2 gegenüber Basis	%	0	6,3	11,5	15	16,2
NO_x	g/(t×km)	0,130	0,121	0,114	0,109	0,107
SO_x	g/(t×km)	0,078	0,072	0,068	0,065	0,064
PM	g/(t×km)	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004

Im Folgenden wird der Einfluss verschiedener Entwurfsgeschwindigkeiten auf den Schiffsentwurf dargestellt. Es werden vier verschiedenen schnelle Flotten von Massengutschiffen (Bulkler) betrachtet, um eine für alle Variationen gleiche Jahrestransportarbeit in [t×km] einzuhalten. Die konventionelle Flotte besteht aus 11 Schiffen, die je 14,13 kn fahren, die anderen Flotten aus 12, 13 und 14 Schiffen, die langsamer fahren, um die gleiche Jahrestransportarbeit zu erbringen (Tab. 5.8-4).

Betriebsemissionen: Bei einer Reduktion der Geschwindigkeit um 26,3% und entsprechend größerer Schiffszahl sind die Emissionen um 34% geringer als bei der konventionellen Ausgangsflotte. Die Treibstoffkosten sinken um den gleichen Betrag.

Bauemissionen: Der Anteil der Emissionen, die beim Bau und beim Material entstehen, liegt in der Größenordnung 10%, wenn sie auf 20 Jahre umgelegt werden. Er steigt bei langsameren Schiffen relativ langsam an. Bei schnellen Ausgangsformen kann er evtl. höher sein. Man sollte beachten, dass dies die erste Veröffentlichung ist, in der Bauemissionen überhaupt abgeschätzt werden.

Die Grenzen der Minimierung der installierten Antriebsleistung sind u.a. durch die Berücksichtigung von Sicherheiten für schwierige Seebedingungen und Notfallvorsorge gegeben.

Abwärmenutzung

Der Abwärme der Hauptmaschinen und Hilfsaggregate (etwa 50% der Treibölenergie) kann so viel Energie entnommen werden, dass es zur Dampferzeugung für Dampfturbinen mit E-Generatoren ausreicht (HOCHHAUS 2008). Diese kann in das Bordnetz eingespeist werden oder dient der Verstärkung der Antriebsleistung um ca. 5–10%.

Besonders in Passagierschiffen mit ihrem großen Energiebedarf für Klimatisierung – hier kann die Klimatisierung nach dem Antrieb der größte Energieverbraucher sein – ist Abwärmenutzung aus Abgasen und Kühlwasser sinnvoll, wenn die Klimatisierung mit Absorptions-Kälteanlagen betrieben wird (40% weniger Energie als bei Kompressionskühl-Anlagen). Die Abwärme an Bord reicht meist aus, die Anlagen zur Klimatisierung und Trinkwasserzubereitung neben der

Tab. 5.8-3: Überschlägliche Propellerberechnung für ein Massengutschiff mit 10,42 kn (eigene Berechnung).

Normale Festpropeller			Düsenpropeller		
Drehzahl	Durchmesser	Leistung	Drehzahl	Durchmesser Düse	Leistung
U/min	M	kW	U/min	m	kW
90	6,00	3970	90	5,12	3430
60	7,35	3445	60	7,83	3248

Tab. 5.8-4: Einfluss verschiedener Entwurfsgeschwindigkeiten auf die CO₂-Gesamtbilanz für 4 verschieden schnelle Flotten von Massengutschiffen mit gleicher Jahrestransportarbeit, PM enthalten Partikelemissionen einschließlich Ruß (eigene Berechnung).

Rundreiselänge 2.400 sm		Flotte 1	Flotte 2	Flotte 3	Flotte 4
		konventionell	langsam	langsamer	sehr langsam
Anzahl der Schiffe	-	11	12	13	14
Rundreisen pro Jahr pro Schiff	-	39,56	36,26	33,47	30,82
Entwurfsgeschwindigkeit (V _e)	kn	14,13	12,63	11,40	10,42
Länge zwischen Loten (L _{pp})	m	249,20	247,00	245,80	245,10
Verdrängung V=L _{pp} ×B×T×CB	m ³	83043	82503	82077	81961
TDW = Tragfähigkeit	t	71268	71287	71253	71299
Nutzlast = TDW -Vorräte	t	70926	71001	71003	70961
Hauptmaschinenleistung (P _d)	kW	8800	6300	4700	4000
Hilfsmaschinenleistung	kW	1500	1300	1100	900
Brennstoffverbrauch Flotte pro Jahr	10 ³ t	108,30	87,41	68,83	66,90
Transportmasse Flotte pro Jahr	10 ⁶ t	30,86	30,89	30,89	30,62
CO ₂ durch Seetransport aus EMEC	g/(t×km)	2,53	2,04	1,69	1,56
CO ₂ durch Bau der Schiffe	g/(t×km)	0,21	0,21	0,22	0,24
CO ₂ Verminderung d. mehr Schiffe bei kleinerem V _e	%	0,00	17,67	30,08	34,12
PM durch Seetransport aus EMEC	g/(t×km)	0,0025	0,0020	0,0016	0,0015
PM durch Bau der Schiffe	g/(t×km)	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002

Treibstoffheizung zu versorgen. Mit Hilfe eines Abwärmemanagements lassen sich Bedarf und Bereitstellung abgleichen.

Alternative Antriebe

Energie können wir – streng genommen – weder erneuern noch vernichten. Wir können sie nur ernten, umwandeln, speichern, nutzen und verlieren. Die Energieflussdichten der primären und sekundären Quellen wie Strahlung, Wind und Wellen haben gering bis mäßig starke wetterbedingte, tägliche und saisonale Schwankungen. Großflächige Wandler müssen auf eine mittlere, häufige Bandbreite der Leistung zwischen »nicht lohnend« und »überlastet« ausgelegt werden.

Windenergie

Für den Vortrieb von Seeschiffen bietet sich der Wind in besonderer Weise an. Durch die Windströmung können an geeigneten Quertriebsflächen direkt Vortriebskräfte erzeugt und ohne weitere Umwandlungen und Verluste direkt auf den Schiffskörper übertragen werden. So kann bei angemessenen Geschwindigkeiten mit heutiger Technik und realisierbaren Flächen der Vortriebsbedarf von Schiffen weitgehend durch Windnutzung gedeckt werden. Aktuelle technische Ansätze

umfassen moderne Segel, weiche Tuch-Flügel, starre Flügel-Segel, dynamische Zug-Drachen, Magnus-Rotoren und Wind-Turbinen.

Aus Gründen von Sicherheit und Zuverlässigkeit ist ein reines Windschiff ohne ergänzenden, speicher-gespeisten Propellervortrieb nicht möglich. Dabei sind unterschiedliche Konfigurationen und Speichermedien denkbar.

Zur rechnerischen Abschätzung der Möglichkeiten moderner Windnutzungssysteme wurden Panamax-bulker von 74.000 t Tragfähigkeit entworfen. *Abb. 5.8-2* zeigt Generalplan-Skizzen der Entwürfe mit verschiedenen Windantrieben (= Riggs):

Für Schiffe mit Windantrieb wurden für alle Winkel zwischen Schiff und Wind aus den hydrodynamischen Eigenschaften für Riggs und Überwasserschiffe sowie den aerodynamischen Eigenschaften für Unterwasserschiff und Ruder alle Kräfte und Momente der Strömungen und daraus die Fahrtgeschwindigkeit berechnet. Entsprechend erhält man die Werte für die notwendige Motorleistung zur Erreichung der gewünschten Schiffsgeschwindigkeit.

Aus diesen Werten wurden Mittelwerte für alle Kurse zum wahren Wind mit gleicher Wahrscheinlichkeit abgeleitet. Wir unterscheiden:

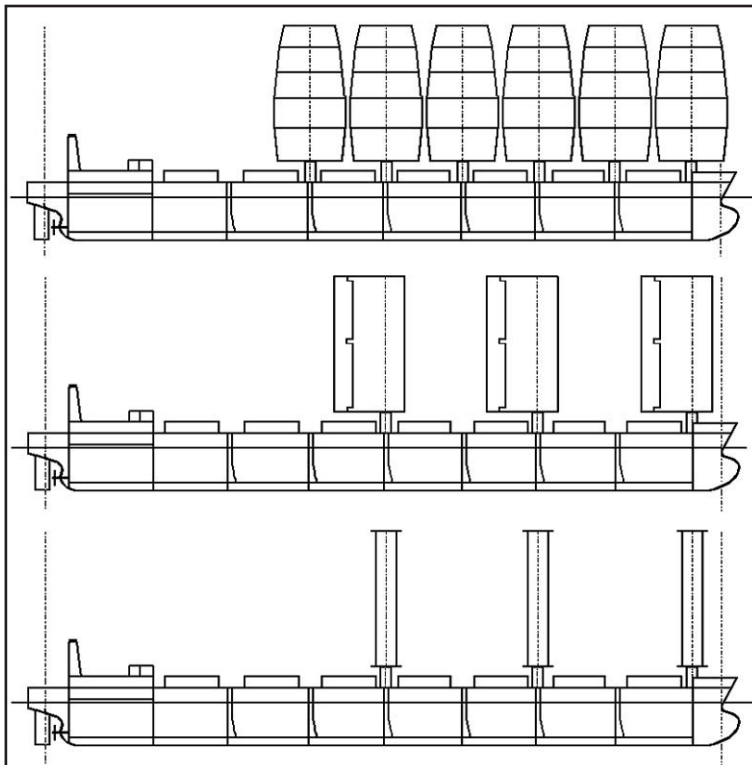


Abb. 5.8-2: Windgetriebene Massengutfrachter mit Dynarigg (**oben**), starren Flügel-Segel (**mitte**) und Magnus Rotoren (**unten**), eigene Skizze.

- Wind unterstütztes Motorschiff: Bei weitgehend fester Dienstgeschwindigkeit wird es wie ein reines Motorschiff betrieben, das mit einer begrenzten zusätzlichen Installation den Wind unter günstigen Bedingungen zur Entlastung des Propellers / der Antriebsanlage nutzt und dabei Treibstoff spart.
- Motor unterstütztes Windschiff: Es wird primär und variabel vom Wind getrieben und nutzt den (Elektro-) Motor nur begrenzt und flexibel im Revier, für Manöver und bei Flaute (s. Tab. 5.8-5).

Durch Motor-unterstütztes Segeln kann bei Bft 5 und einer Dienstgeschwindigkeit $V_s = 10$ kn etwa 60% der Motorleistung eingespart werden (SCHENZLE 2010). Je nach Route müssen andere Häufigkeiten der Windstärken in realen Seegebieten berücksichtigt werden. Man kann bei langsamen Schiffen mit einer durchschnittlichen jährlichen Energie- und Emissionsersparnis von ~40% rechnen.

Fotovoltaik

Die Nutzung der Sonnenenergie ist für einen Massengutfrachter (Bulkler) mit 73.000 t Tragfähigkeit mit 2.000 m² Solarzellen auf Lukendeckeln und 6.000 m² auf Windvortriebsflächen beispielhaft berechnet worden.

Nach diesen Ergebnissen sind Fotozellen mit den derzeit technisch bedingten schlechten Wirkungsgraden von maximal 0,15 für Seeschiffe nicht geeignet (s. Tab. 5.8-6). Für Binnen-Passagierschiffe sind dagegen Fotozellen geeignet.

Brennstoffzellen

CO₂-Einsparungen könnten nur erreicht werden, wenn bei der Erzeugung des Wasserstoffes (oder anderer Brennstoffe für die Zelle) weniger CO₂ emittiert wird als durch Zellen an Bord eingespart werden kann. Es wäre möglich, aus Solar- oder Windanlagen usw. in bedarfsarmen Zeiten Wasserstoff-Vorräte anzulegen, aus denen man bei Bedarf tanken könnte und somit Wasserstoff als Pufferspeicher für Solar- und Wind-Energie nutzbar zu machen.

Treibstoffqualität

Gegenwärtig sind etwa 84% aller Schiffstreibstoffe sogenannte Rückstandsöle mit durchschnittlich 2,7%

Tab. 5.8-5: Leistungersparnisse für alle Kurse bei Windstärke Bft 5: **SuM** = Segelunterstützte Motoren, **MuS** = Motorunterstütztes Segeln (eigene Berechnungen).

Wing-Sails	6x600 m ²	3x1.000 m ²	6x1.000 m ²
Typ	SuM	SuM	MuS
V _s = 10 kn	48%	54%	63%
V _s = 12 kn	35%	40%	51%
V _s = 14 kn	25%	29%	37%

Schwefel, die mit einem sehr hohen Partikelaustritt verbrennen.

Der Rest der 340 Mio. Jahrestonnen (2007) ist Marine Diesel, ein recht schwefelhaltiges Destillat. Das vergleichsweise reine Marine Gasöl wird nur in geringen Mengen nachgefragt.

Hochwertige Destillatreibstoffe

Destillate erzeugen geringere Partikelemissionen und sind an Bord der Schiffe deutlich einfacher und sicherer zu nutzen. Zudem stellen sie bei Havarien ein geringeres Umweltrisiko als Rückstandsöle dar. Tab. 5.8-7 zeigt, wie sich die Verarbeitung von Rückstandsölen zu Destillaten auf die CO₂-Emissionen auswirkt.

Destillate enthalten mehr Energie als Rückstandsöle:

- Rückstandsöl (RMK): 40.315 kJ/kg,
- Marine Diesel (MDO): 41.820 kJ/kg; also +3,7%
- Marine Gasöl (MGO): 43.100 kJ/kg; also +6,9%

Die Treibstoffe enthalten außerdem verschieden große C- und H-Anteile, die direkt in die CO₂-Bilanz eingehen. Ihr Einfluss auf die CO₂-Emissionen liegt jedoch nur bei 1–2%.

Der Prozess des Raffinierens zum weiteren Cracken und Destillieren von Rückstandsölen zur Herstellung hochwertiger Produkte ist sehr energieaufwändig. Nach Untersuchungen der IMO würde sich für das Jahr 2020 ein Anstieg der CO₂-Emissionen durch den Energie-Mehraufwand der Raffinerien von 8–12% ergeben. Dem gegenüber stehen chemische Rücklösungen durch Schwefeldeposition im Ozean und an Land, wo durch

Tab. 5.8-6: Fotovoltaik Erträge für einen Bulker (73.000 t Tragfähigkeit, Hauptmaschinenleistung von 8.900 kW, Hilfsmaschinenleistung 1.200 kW), 2.000 m² Solarzellen auf Lukendeckeln, Solarzellen auf Windvortriebsflächen 6.000 m², alle Zellen um 2/3-tel verschattet (eigene Berechnung).

Solar-Elektrischer-Energie-Ertrag pro Tag in kWh/d	Gegend/Wetter	Bei Zwischenspeicher kontinuierlich nutzbar in kW
1280	DE maximale Sonne	46,0
16	DE trüber Winter	0,7
4.450	Tropen maximale Sonne	160,0

Tab. 5.8-7: CO₂-Einsparungen durch hochwertige Treibstoffe (eigene Darstellung).

Einsparungen durch Nutzung energiereicherer Öle	-3,7%
Die besseren Treibstoffe beinhalten weniger C	-1,3– -1,8%
Mehraufwand in d. Raffinerie heißt Mehrausstoß an CO ₂	+8–+12%
Vermeiden der Sekundär- Emiss. auf See (aus SO ₂ > CO ₂)	-3,8%
Preisanstieg bewirkt Verringerung des Verbrauchs > PNE	-6,0%
Summe: Verringerung der CO ₂ -Emissionen um	-6,8– -3,3%

die sauren Schwefeloxide die natürlich vorkommenden Karbonatverbindungen gelöst werden, die dann als CO₂ in die Atmosphäre entweichen (KARLE & TURNER 2007). Diese schwefelinduzierten Sekundärprozesse führen zu zusätzlichen 3,8% CO₂-Emissionen.

Neben der Reduzierung von Luftschadstoffemissionen, den besseren Verarbeitungseigenschaften und höherer Sicherheit sind hochwertige Destillatreibstoffe auch erheblich teurer als Rückstandsöle. Im 2-jährigen Mittel lag der Preis von Marine Gasöl um knapp 300 US\$/t über dem von Rückstandsöl. Damit sind solche hochwertigen Treibstoffe um fast 75% teurer als das billige Schweröl.

Die Erfahrungen aus der Ölpreiskrise 1973/83 zeigen, dass sich der Verbrauch um ca. 1 Mio t pro 10 \$/t Preisanstieg verringerte. Der hohe Anreiz zum Energiesparen, bei einem Preisanstieg durch den Bann minderwertiger Treibstoffqualitäten, könnte somit auch heute zu einem Rückgang des Verbrauches um etwa 6% führen.

Erdgas

Erdgas ist ein kohlenstoffarmer, fast schwefelfreier Treibstoff, der sehr schadstoffarm verbrennt. Die Abgaswerte für SO_x und NO_x entsprechen den Vorschriften des MARPOL Annex VI Tier III.

Es wird als LNG (liquified natural gas) verwendet. Durch LNG wird ca. 25% weniger CO₂ emittiert als bei Gasöl (DMA). Diese positive Klimabilanz wird bislang jedoch durch den so genannten Methan-Schlupf weitgehend zunichte gemacht. Ein Teil des Methans entweicht unverbrannt. Bei Viertaktern sind dies ca 1% bis 2%, bei langsam laufenden Zweitaktern 2% bis 4%. Der Treibhauseffekt von Methan ist etwa 29 mal stärker als CO₂.

Die Vorratshaltung von Erdgas auf Schiffen ist sehr aufwendig. Es muss in flüssiger Form tiefgekühlt und/oder unter Hochdruck in Spezialtanks gefahren werden. So ist die Unterbringung der großen LNG-Tanks (Isolierung gegen -162°C) auf Schiffen mit großem Raumbedarf für die Ladung schwierig.

Bis zu einer breiten Anwendung von LNG als Schiffstreibstoff sind noch bedeutende Infrastrukturen zu schaffen, der Methan-Schlupf zu bewältigen sowie Anpassungen der Flotte notwendig.

Schiffstypen

Manche Schiffstypen zeigen deutlich schlechtere Energie-Effizienz (in g CO₂/km×t) als andere. Bei ihrem Entwurf haben andere Gesichtspunkte wie Reise- und Umschlagsgeschwindigkeit gegenüber der CO₂-Emission überwogen.

Beispiel RoPax:

RoPax-Schiffe sind z.Z. sowohl extreme »volume carrier« als auch extrem schnelle Schiffe. Zusätzlich zu den eigentlichen Ladungsbehältern – z.B. Containern – braucht man in ihnen noch viel Raum für die LKW bzw. Chassis. Deshalb emittiert ein RoPax ca. 50% mehr CO₂ pro Container-Kilometer als ein gleich großer Containerfeeder.

Beispiel Kühlcontainer auf konventionellen Containerschiffen

Tiefkühlcontainer brauchen ständig viel Energie. Das ergibt einen starken Anreiz, alle Containerschiffe für hohe Geschwindigkeit auszulagern.

Fazit

Es können große Energieeinsparpotentiale durch bauliche und operative Maßnahmen, alternative Antriebe und höhere Treibstoffqualität realisiert werden. Es sind Regelungen notwendig, die dem internationalen Gleichbehandlungsgrundsatz der IMO entsprechen.

Die Einbindung der Seeverkehrsemissionen in Reduktionsprogramme ist beschlossene Sache. Einfache Lösungen liegen nicht auf der Hand. Doch große Möglichkeiten sind vorhanden.

Literatur

- SECOND IMO GHG-STUDY (2009): (Buhaug ,Ø.; Corbett,J.J.; Endresen, Ø.; Eyring, V.; Faber, J.; Hanayama, S.; Lee, D. S.; Lindstad, H.; Mjelde, A.; Pålsson, C.; Wanqing, W.; Winebrake, J. J. & Yoshida, K.): Updated Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships Phase 1 + 2; International Maritime Organization (IMO) London, UK.
- KARLE I.M. & TURNER D. (2007): Seawater Scrubbing – Reduction of SO_x emissions from Ship exhausts, Department of Chemistry, Chalmers University, Göteborg.
- LANGE B., EYRING V., ISENSEE J. & SCHENZLE P. (2009): Klimaschutz im Seeverkehr, Hg. Aktionskonferenz Nordsee, Bremen.
- MEWIS F. & HOLLENBACH U. (2007): Hydrodynamische Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs im Schiffsbetrieb. In HANSA 2007, Heft 5, 49-58.
- IEA (INTERNATIONALE ENERGIE AGENTUR) (2010): CO₂-emissions from fuel combustion. www.iea.org/publication/free_new_Desc.asp?PUBS_Id=2143.
- HOCHHAUS K.-H. & MEHRKENS J.D. (2008): Abwärmenutzung und Klimatisierung auf Passagierschiffen. Hansa, 2008 Heft 3.
- SCHENZLE P. (2010): Windschiffe im 21.Jahrhundert? Jahrbuch der Schiffbautechnische Gesellschaft. Bd. 104 pp.

Dipl.-Ing. Schiffbau Jürgen Isensee
Gretschenstr. 36 - 30161 Hannover
Juergen-Isensee@t-online.de