

Klimaziele der Seeschifffahrt sind kaum zu schaffen

- ambitionierte Ziele, Herausforderungen und Lösungsansätze -



Kontakt

Universitätsallee 11/13
28359 Bremen Deutschland
Tel. +49 421 22096-0

www.isl.org

Autoren

Andreas Hübscher
E-Mail: huebscher@isl.org
Tel. +49 421 22096-27

Prof. Dr. Burkhard Lemper
E-Mail: lemp@isl.org
Tel. +49 421 22096-63

© Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik ISL

Alle Inhalte dieses Werkes, insbesondere Texte, Tabellen und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, beim ISL. Jede Art der Vervielfältigung, Verbreitung, öffentlichen Zugänglichmachung oder andere Nutzung bedarf der ausdrücklichen, schriftlichen Zustimmung des ISL.

Satz und Layout: ISL

Bremen, November 2024

Inhalt

I	Abkürzungsverzeichnis	III
0	Einleitung	1
1	Klimaemissionen der Seeschifffahrt im Fokus	1
2	IMO im Kyoto-Protokoll bereits mit Reduktion von Klimagasen in die Pflicht genommen	2
3	Der lange Weg der IMO bis zur Klimastrategie	3
4	Flottenausbau mit alternativen Antriebsstoffen	5
5	Verfügbarkeit von alternativen Kraftstoffen	10
6	Fazit	12
II	Literaturverzeichnis	13

I Abkürzungsverzeichnis

a.a.O.	am angegeben Ort	LGIM	Liquid Gas Injection Methanol
ABI	Amtsblatt der Europäischen Union	LH ₂	Wasserstoff
Abs	Absatz	LNG	Liquified Natural Gas
ABS	American Bureau of Shipping (Klassifikationsgesellschaft)	LOHC	liquid-organic hydrogen carrier
Art.	Artikel	LR	Lloyd's Register (Klassifikationsgesellschaft)
Bj.	Baujahr	m	Meter
BMJ	Bundesministerium der Justiz	MAN ES	MAN Energy Solutions
bpb	Bundeszentrale für politische Bildung	MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (<i>Internationalen Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe</i>)
BRT/BRZ	Bruttoregistertonne	MDO	Marine Diesel Oil
BV	Bureau Veritas (Klassifikationsgesellschaft)	MEPC	Marine Environment Protection Committee (Meeresumweltkomitee)
CATF	Clean Air Task Force	Mio.	Million/Millionen
CH ₄	Methan	MGO	Marine gasoil
Circ.	Circular	Mldg.	Meldung
ClassNK	Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK) (<i>Klassifikationsgesellschaft</i>)	Mrd.	Milliarde
CO ₂	Kohlenstoffdioxid	MRV	Monitoring, Reporting, and Verification
CO _{2(eq)}	Kohlenstoffdioxid Äquivalente	MSC	Maritime Safety Committee
CCS	Carbon Capture and Storage	MW	Megawatt
dhm	Deutsches Historisches Museum	m.w.N.	mit weiteren Nachweisen
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik	NO _x	Stickstoffoxide
DNV	Det Norske Veritas	Nr	Nummer
DSC	Data collection system for fuel oil consumption of ships	N ₂ O	Distickstoffmonoxid (<i>Lachgas</i>)
DVZ	Deutsche Verkehrs-Zeitung	o.J.	Ohne Jahr
dwt	Deadweight Tonnage	o.V.	Ohne Verfasser
ECA	European Court of Auditors (<i>Europäischer Rechnungshof</i>)	PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
EEDI	Energy Efficiency Design Index	Pkt.	Punkt
EEOI	Energy Efficiency Operational Indicator	PS	Pferdestärken
EHRL	Emissionshandelsrichtlinie	PwC	Pricewaterhouse Coopers GmbH
et al.	Et alli (Lateinisch) (<i>und andere</i>)	Reg. Nr.	Register Nummer
EU	Europäische Union	prm	revolutions per minute
EU-ETS	EU Emissions Trading System (Europäische Emissionshandelsystem)	S	Seite
EWR	Europäische Wirtschaftsraum	SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan
f. /ff.	Folgend /folgende	t	Tonnen
FiS	Forschungs-Informationen-System	Tab.	Tabelle
FSRU	Floating Storage and Regasification Unit	TEU	Twenty-foot Equivalent Unit (Zwanzig-Fuß- Standardcontainer)
GCU	Gas Combustion Unit	THB	Täglicher Hafenbericht
GHG	Greenhouse Gas (<i>Klimagase</i>)	tpa	Tonnes per Annum (<i>Tonnen pro Jahr</i>)
gem.	gemäß	t/m	Tonnen je Meile
gt	Gross tonnage	u.a.	Unter anderem
HAPAG	Hamburg-Amerikanische Packetfahrt-Actien- Gesellschaft	UBA	Umweltbundesamt
HFO	Heavy fuel oil	UN	Vereinte Nationen
Hrsg.	Herausgeber	UNEP	United Nation Environment Programme (Umweltprogramm der Vereinten Nationen)
inwl	Institut für nachhaltige wirtschaft und logistik	UNFCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
IMCO	Inter-Governmental Maritime Consultative Organization (<i>Vorgänger der IMO</i>)	v.	von/vom
IMO	International Maritime Organization (Internationale Seeschiffahrts-Organisation)	VDR	Verband Deutscher Reeder
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)	Vgl.	Vergleiche
IRENA	International Renewable Energy Agency	VLAC	Very Large Ammonia Carrier
km	Kilometer	WEF	World Economic Forum
kn	Knoten	WMO	World Meteorological Organization (Weltorganisation für Meteorologie)
kW	Kilowatt	z.B.	Zum Beispiel
LFL	Low Flashpoint Liquid		

0 Einleitung

Seit jeher sind die Weltmeere für die Menschheit ein wichtiger Transportweg. Mit dem Aufkommen von Antriebstechniken im Seeverkehr, die auf der Verbrennung von fossilen Materialien basieren, begann eine enorme Steigerung der Transportleistung, die aufgrund einer reduzierten Abhängigkeit von Wind und Wetter Kontinuität in der Bedienung von Strecken ermöglichte.

Im Vergleich zu den zunächst noch vorherrschenden dampfbetriebenen Schiffen (die riesige Kohlebunker, Maschinenräume und Heerscharen von Heizern benötigten), brauchten mit flüssigen Bunkerstoffen betriebene Schiffe vom Volumen her wenig Treibstoff und kaum Raum für die Motoren, was mehr Platz schaffte für Nutzlast. Wegen der hohen Personalintensität aber vor allem wegen dem deutlich geringeren Wirkungsgrad bei Dampftrieb mit fossiler Kohle¹ erfolgte letztlich im Seeverkehr ein Wechsel zum Antrieb mit Dieselmotoren unter Nutzung von Schweröl oder Destillaten. Der Siegeszug des Schiffsdieselmotors hatte begonnen.

1 Klimaemissionen der Seeschifffahrt im Fokus

Der Dieselmotor hat die internationale Schifffahrt revolutioniert und zu einer enormen Leistungssteigerung geführt. Weltweit ist der Seeverkehr (von wenigen Jahren abgesehen) kontinuierlich gestiegen. Im Jahr 1999 wurden rund 5,91 Mrd. t auf dem Seeweg transportiert mit einer Transportleistung von 28,99 Bill. tm.² 25 Jahre später wurden nach Schätzungen von Clarkson (im Jahr 2023) gut 12,37 Mrd. t transportiert, was einer Transportleistung von 62,31 Bill. tm entspricht.³ Dies bedeutet einen Anstieg von 114,9 % bei der Transportmenge und 109,2% bei der Transportleistung vom Jahr 1999 auf das Jahr 2023 (durchschnittliches jährliches Wachstum von 3,2% bzw. 3,1%). Die Weltbevölkerung stieg im Vergleichszeitraum von 6,09 Mrd. Menschen⁴ in 1999 auf 8,06 Mrd. Menschen in 2024 an⁵. Dies entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Zuwachs von knapp 1,2%. Mithin ist sowohl die Transportmenge als auch die Transportleistung deutlich stärker gestiegen als das Bevölkerungswachstum. Derzeit erfolgen etwa 80% des Welthandels auf dem Seeweg⁶ und von etwa einem Drittel der weltweiten Schiffsbewegungen liegt der Ziel- oder Abfahrtshafen in der EU. Die Schifffahrt hat durch die von ihr abgegebenen Schadstoffe mithin erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt, das Klima und letztlich auf Flora, Fauna und Menschen. Zu den vielfältigen Umweltbelastungen zählt vor allem aber die Emission von Luftschadstoffen. Die Verminderung dieser Umweltbelastungen und grundsätzlich die Verbesserung des Umweltschutzes in der Schifffahrt wird weithin als „Green Shipping“ bezeichnet und hat in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung gewonnen. In diesem Zusammenhang gab und gibt es zahlreiche Aktivitäten auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene, um diesen Auswirkungen auf die Umwelt zu begegnen.

Mit der zunehmenden Größe und Geschwindigkeit der Schiffe wuchs auch die Sorge über die von ihnen verursachten Umweltschäden, insbesondere über den negativen Beitrag zum Klimawandel. In den letzten 50 Jahren wurden allein durch den Seeverkehr weltweit gut knapp 8 Mrd. t⁷ Bunkeröle für den

¹) Vgl. Berg, F.; et al.; Schiffsmaschinen, m.w.N., So lag der Wirkungsgrad einmal bei einem thermischen Wirkungsgrad bei Kolbendampfmaschinen in ihrem Höhepunkt bei 13%, und bei der Technik von Hochdruckkesseln mit 70 atü und 460 °C wurde ein um 17% höherer Wirkungsgrad erreicht

²) Vgl. o.V.; Clarkson (Hrsg.); Seaborne Trade Monitor – World Seaborne Trade Summary (Tab. 1: Mio. Tonnes; Tab. 2: Billion Tonne Miles)

³) Vgl. o.V.; 2023 Shipping Market Review - Shipping Intelligence Weekly, 05 January 2024, <https://cyprusshippingnews.com/wp-content/uploads/2024/01/Annual-Review-2023-Analysis.pdf>, abgerufen am 23.08.2024 11:57 Uhr

⁴) Vgl. o.V.; UN (Hrsg.); World Population Prospects 2024, United Nations DESA / Population Division, File GEN/01/REV1: Demographic indicators by region, subregion and country, annually for 1950-2100

⁵) o.V.; UN (Hrsg.); World Population Prospects 2024 (File GEN/01/REV1: Demographic indicators by region, subregion and country, annually for 1950-2100)

⁶) o.V.; bpb (Hrsg.); Globalisierung – Seefracht; Mldg. v.: 24.09.2024; nach anderen Angaben werden 90% und mehr des Warengewichts im grenzüberschreitenden Warenhandel per Seeschiff transportiert. Vgl. o.V.; FiS (Hrsg.); Effizienter Seeverkehr als Triebkraft der Globalisierung; Stand: 12.06.2024

⁷) Eigene Berechnungen, basierend auf Daten von IEA (Hrsg.); World deliveries of oil products to international marine bunkers for selected regions, 1972-2019; Update vom 30. Jul. 2021 sowie Daten von Statistica.com für die Jahre 2020-2021 und sowie shipandbunker.com für die Jahre 2022-2023 (in Summe 7,921 Mrd. t)

Schiffsantrieb verbraucht, die dabei erzeugten Emissionen belaufen sich auf ungefähr 25 Mrd. t CO₂. Die durch die internationale Schifffahrt verursachten jährlichen CO₂-Emissionen haben sich dabei nach Angaben von Statista seit 1970 gegenüber 2022 verdoppelt (1970: 353,8 Mio. t; auf 2022: 709,7 Mio. t CO₂).⁸ Die vorstehend genannten Emissionsmengen stellen jedoch nur die direkten CO₂-Emissionen der Schifffahrt vom Tank zum „Propeller“ dar (Basis einer TTW Betrachtung) und berücksichtigen noch nicht die damit einhergehenden Emissionen aus der Erzeugung der verbrauchten Antriebsstoffe (auf Basis einer WTW Betrachtung). Zudem sind auch noch nicht weitere Klimagasemissionen (neben CO₂) wie Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) etc. berücksichtigt (die gem. dem Kyoto-Protokoll als Klimagase eingestuft werden)⁹. Trotz geringer Emissionsmengen tragen diese (um den Faktor 28 bei Methan und 265 bei Lachgas)¹⁰ als CO₂-Äquivalent signifikant zur Gruppe der von der Schifffahrt emittierten Klimagase bei. Eine Betrachtung der Klimagas-Emissionen auf Basis von Lifecycle-Emissionen¹¹ führt für die Schifffahrt nochmals zu einer Erhöhung der durch diesen Transportsektor tatsächlich verursachten jährlichen Klimagas-Emissionen, wie eine Abschätzung der Japanischen Klassifikationsgesellschaft ClassNK aus dem Jahr 2023 für die Jahre 2018 und 2021 zeigt. Danach sind für die Life Cycle Emissionen der Schifffahrt (auf Basis von WTW inkl. der CO₂ Äquivalente) für 2008 ca. 731 Mio. t CO_{2(eq)} bzw. 798 Mio. t. CO_{2(eq)} 2021 zu veranschlagen.¹²

Die durch die Schifffahrt erzeugten Klimagase stehen verstärkt im Fokus der Öffentlichkeit. So sind bis 2023 in den letzten 50 Jahren knapp 8 Mrd. t Bunkeröle (wie HFO, MDO, MGO inkl. LPG und LNG) für den Schiffsantrieb verbrannt worden, die dabei erzeugten Emissionen belaufen sich allein für CO₂ auf ungefähr 25 Mrd. t.

2 IMO im Kyoto-Protokoll bereits mit Reduktion von Klimagasen in die Pflicht genommen

Aufgrund der zunehmenden weltweiten Warnungen von Wissenschaftlern vor den damit verbundenen Risiken¹³, wurde die Thematik „Klimawandel“ durch Schaffung einer Weltklimakonferenz (WCC) institutionalisiert, die 1979 in Genf¹⁴ ihr Debut hatte. Auf der zweiten Weltklimakonferenz im Jahr 1988 in Toronto wurde der Klimawandel offiziell „anerkannt“.¹⁵ Im Schlusskommuniqué der Klimakonferenz wurde eindringlich darauf hingewiesen, dass die Gefahren für die Erdatmosphäre bereits so gravierend seien, dass sofortiges Handeln unerlässlich sei.¹⁶ Vier Jahre später wurde auf dem Weltgipfel für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro durch 154 Staaten die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen UNFCC gezeichnet¹⁷, die 1994 als multilaterales Übereinkommen in Kraft trat. Mit der Klimarahmenkonvention erkennt die internationale Staatengemeinschaft weltweite Klimaänderungen als ernstes Problem an und verpflichtet sich zum

8) Vgl. o.V.; Statista.com (Hrsg.); Entwicklung der CO₂-Emissionen der weltweiten Schifffahrt in den Jahren 1970 bis 2022; Mldg. v.: 17.07.2024; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1461583/umfrage/weltweite-co2-emissionen-in-der-schifffahrt/>; abgerufen am 23.08.2024; 15:15 Uhr. Anzumerken ist, dass für eine ausgewogene Bewertung die Emissionsmengen jedoch mit der erbrachten Verkehrsleistung (zum Beispiel in der Einheit Tonnenkilometer) in Beziehung gesetzt werden müssen.

9) Vgl. o.V.; UNFCC (Hrsg.); Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen; o.J.; dort Anlage A; S. 28;

10) Vgl. Myhre, G. (et al.); IPCC (Hrsg.); Climate Change 2013 – The Physical Science Basis; Chapter 8 - Anthropogenic and Natural Radiative Forcing; Tab. 8.7, S. 714

11) Vgl. o.V.; IMO (Hrsg.); Resolution MEPC 376(80); Guideline on Life Cycle GHG Intensity of Marine Fuels (LCA Guidelines); MEPC 80/17/Add. 1; Annex 14

12) Vgl. o.V.; Pathway to Zero-Emission in International Shipping – Understanding the 2023 IMO GHG Strategy, S. 3; 2023; https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/info_service/ghg/PathwaytoZero-EmissioninInternationalShipping_ClassNK_EN.pdf; abgerufen am 30.08.2024; 17:15 Uhr

13) Siehe hierzu u.a. J. Hansen et. Al (1981) Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide; https://web.archive.org/web/20111021210222/http://pubs.giss.nasa.gov/docs/1981/1981_Hansen_etal.pdf; abgerufen am 26.08.2024; 15:55 Uhr; sowie: Broecker, W. S.; Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming?; 1975; <https://doi.org/10.1126/science.189.4201.460>; am 26.08.2024; 15:55 Uhr

14) Vgl. o.V.; WMO (Hrsg.); Declaration of the World Climate Conference, Genf, 1979; https://dgvn.de/fileadmin/user_upload/DOKUMENTE/WCC-3/Declaration_WCC1.pdf; abgerufen am 26.08.2024; 16:10 Uhr

15) Vgl. o.V.; WMO (Hrsg.); Proceedings, World conference, Toronto, Canada; <https://digitallibrary.un.org/record/106359?ln=en&v=pdf>; abgerufen am 26.08.2024; 16:15 Uhr

16) Siehe hierzu o.V.; WMO (Hrsg.); Proceeding Acts - The Changing Atmosphere, 1988, Toronto (Canada); S. 296

17) Vgl. o.V.; UN (Hrsg.); United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCC), 1992; <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>; abgerufen am 25.08.2024; 19:00 Uhr

Handeln. Drei Jahre später wurde im Dezember 1997 im Abkommen des Kyoto-Protokolls gem. Art. 2 Abs. 2 die IMO direkt adressiert, eine Begrenzung von Treibhausgasen fortzusetzen.¹⁸

Im gleichen Jahr wie der Gründung des Ausschusses für den Schutz der Meeresumwelt (MEPC)¹⁹ verabschiedete die IMO 1973 das Internationale Übereinkommen zur Vermeidung der Meeresverschmutzung durch Schiffe (MARPOL)²⁰, das Normen für die Minimierung der Umweltverschmutzung durch betriebliche Aktivitäten als auch durch Unfälle, einschließlich Ölverschmutzung, Abwässer und Luftemissionen, festlegt. Das MARPOL-Übereinkommen wurde im Laufe der Jahre durch Änderungen aktualisiert, um verschiedenen Umweltbelangen im Zusammenhang mit der Schifffahrt Rechnung zu tragen. Im Jahr der Verabschiedung des Kyoto Protokolls (1997) wurde die Anlage VI (über Luftverschmutzung) neu aufgenommen (die jedoch erst 2005 in Kraft trat)²¹ welche bis in die Gegenwart immer wieder Änderungen erfährt.²² Der 1973 noch als Unterorgan der Vollversammlung gegründete Ausschuss für den Schutz der Meeresumwelt (MEPC) erhielt 1985 Verfassungsstatus²³ und fungiert seither als Vertragsstaatenkonferenz, der Modifikationen und Ergänzungen an MARPOL beschließen kann.²⁴ Anfänglich lag der Fokus der IMO jedoch nur stark auf der Verringerung bzw. Begrenzung von Luftschadstoffen wie Schwefeldioxid, Stickoxiden und Feinstaub²⁵ sowie der Erstellung von Studien.

Nach Gründung des Ausschusses für den Schutz der Meeresumwelt (MEPC) verabschiedete die IMO 1973 das Internationale Übereinkommen zur Vermeidung der Meeresverschmutzung durch Schiffe (MARPOL). Es bedurfte jedoch knapp eines weiteren Vierteljahrhunderts bis zum Beschluss der Klimakonferenz in Kyoto im Jahr 1997 um die IMO zu adressieren, die durch die Seeschifffahrt erzeugten Treibhausgase zu begrenzen.

3 Der lange Weg der IMO bis zur Klimastrategie

2000 veröffentlichte die IMO ihre erste Studie zu Treibhausgasemissionen der Schifffahrt, in der geschätzt wurde, dass die internationale Seeschifffahrt mit einem Anteil von 1,8% der durch Menschen verursachten CO₂-Emissionen beiträgt.²⁶ Bis 2020 folgten in den Jahren 2009, 2014 und 2020 drei weitere jeweils aktualisierte Studien durch die IMO zum gleichen Thema²⁷ mit steigenden Anteilen auf letztlich 2,89% der CO₂-Emissionen (für das Jahr 2018) die der Schifffahrt zugerechnet wurden²⁸. Die

18) Vgl. o.V.; UNFCCC (Hrsg.); Das Protokoll von Kyoto ..., a.a.O., S. 4

19) Vgl. o.V.; IMCO (Hrsg.); IMCO Resolution A.297(VIII); Establishment of a Marine Environment Protection Committee; [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.297\(8\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.297(8).pdf); abgerufen am 03.09.2024; 14:20 Uhr

20) Vgl. o.V.; IMO (Hrsg.); International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL); [https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx); abgerufen am 29.08.2024; 16:00 Uhr

21) Vgl. IMO (Hrsg.); International Convention for the Prevention of Pollution ..., a.a.O.

22) Siehe hierzu mit weiteren Nachweisen o.V.; IMO (Hrsg.); Index of MEPC Resolutions and Guidelines related to MARPOL Annex VI; o.J.; <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx>; abgerufen am 29.08.2024; 16:35 Uhr

23) Vgl. o.V.; IMO (Hrsg.); Convention on the International Maritime Organization; <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/Convention-on-the-International-Maritime-Organization.aspx>; abgerufen am 29.08.2024; 17:00 Uhr

24) Vgl. o.V.; UBA (Hrsg.); Weitere relevante internationale Abkommen und Vereinbarungen; Mldg. 3553 vom 22.12.2014; <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/arktis/rechtlicher-institutioneller-rahmen-der-arktis/weitere-relevante-internationale-abkommen>; abgerufen am 29.08.2024; 16:30 Uhr

25) Die Vorschriften für Stickoxiden gingen dabei in Regel 13, die für Schwefeldioxid und Feinstaub in Regel 14 der MARPOL Annex VI Regelungen ein. Die Regelungen erfuhren im Laufe der Jahrzehnte ständig weitere Aktualisierungen.

26) Vgl. IMO (Hrsg.); Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships; 2000; <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/First%20IMO%20GHG%20study.pdf>; abgerufen am 25.08.2024; 22:30 Uhr

27) Vgl. IMO (Hrsg.); Second IMO GHG Study 2009; <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>; abgerufen am 25.08.2024; 22:30 Uhr; sowie: o.V.; IMO (Hrsg.); Third IMO GHG Study 2014; <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>; abgerufen am 25.08.2024; 22:35 Uhr; und Faber, J., (et. Al.); Fourth IMO GHG Study; 2020; <https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2020/08/MEPC-75-7-15-Fourth-IMO-GHG-Study-2020-Final-report-Secretariat.pdf>; abgerufen am 25.08.2024; 22:30 Uhr

28) Vgl. o.V.; IMO (Hrsg.); Reduction of GHG Emissions from Ships; Fourth IMO GHG Study 2020 – Final Report; Summary; Annex 1, S. 1; Publ. MEPC 75/7/15

zuletzt skizzierten möglichen Zukunftsszenarien gehen dabei von einem weiteren Anstieg in den kommenden Jahrzehnten aus.

Bereits 2003 beauftragte die Vollversammlung der IMO mit der Resolution A.963(23) den Ausschuss für den Schutz der Meeresumwelt (MEPC), Mechanismen zur Reduzierung der Klimagasemissionen von Schiffen zu entwickeln. Jedoch erst 2011 verabschiedete die IMO mit MEPC Resolution 203(62)²⁹ die ersten international verbindlichen Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von Schiffen durch eine Regelung zum Energy Efficiency Design Index (EEDI), die jedoch nur an Schiffsneubauten adressiert war. Regelungen zum SEMP und zum EEOI folgten.³⁰ All diese Maßnahmen wurden jedoch selbst durch die IMO nur als technische und betriebliche Reduktionsmaßnahmen eingestuft³¹ und stellten noch keine Strategie zur Reduzierung von Klimagasen im maritimen Sektor dar. Im April 2013 stellte die Europäische Kommission die EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel im Rahmen eines Strategiepaketes vor³² und schlug Anfang 2014 vor, für die EU-internen Treibhausgasemissionen ein Minderungsziel von 40 % bis 2030 gegenüber dem Niveau von 1990 festzulegen.³³ Bereits im Dezember 2015 verabschiedete die Staatengemeinschaft in dem Übereinkommen von Paris (auf der UN-Klimakonferenz (COP 21) mit 195 Staaten und der Europäischen Union), die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C gegenüber der vorindustriellen Zeit zu begrenzen und Anstrengungen für eine Begrenzung auf 1,5°C zu unternehmen.³⁴ Um für dieses ambitionierte Ziel auch mit der Seeschifffahrt beizutragen, verabschiedete die IMO in April 2018 mit MEPC Resolution 304(72) erstmals eine (vorläufige) eigene Strategie zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen, mit der die Treibhausgasemissionen der Schifffahrt bis 2050 um mindestens 50% gegenüber 2008 gesenkt werden sollten.³⁵ Das Erreichen der Klimaneutralität der Schifffahrt wurde dabei durch die IMO noch für das Jahr 2100 angestrebt und vom VDR bekräftigt.³⁶

Noch im Oktober desselben Jahres genehmigte die IMO durch MEPC 73 ein Nachfolgeprogramm, das als Planungsinstrument diente, um kurzfristige Maßnahmen (bis 2023) festzulegen und einen Zeitrahmen für mittelfristige Maßnahmen bis Ende 2030 und langfristige über 2030 hinaus terminierte.³⁷ Im Juli 2021 veröffentlichte die EU mit dem Programm „Fit for 55“ jedoch deutlich ambitioniertere Ziele, welche sich an dem im Vormonat verabschiedeten Europäischen Klimagesetz (Verordnung (EU) 2021/1119)³⁸ orientieren. Mit dem „Paket“ soll das im Europäischen Klimagesetz verankerte Ziel erreicht werden, den Ausstoß von Treibhausgasen in der EU bis 2030 um mindestens 55% gegenüber der ausgestoßenen Menge von 1990 zu reduzieren und Europa bis 2050 klimaneutral zu machen.³⁹

²⁹⁾ Vgl. o.V.; IMO (Hrsg.); Resolution MEPC 203(62) – MEPC 62/24/Add.1 – Annex 19; <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Technical%20and%20Operational%20Measures/Resolution%20MEPC.203%2862%29.pdf>; abgerufen am 29.08.2024; 22:45 Uhr

³⁰⁾ Vgl. o.V.; IMO (Hrsg.); Resolution MEPC 213(63) – 2012 Guidelines for the development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP); MEPC 63/23, Annex 9; der seither vielemal erweitert wurde; sowie: vgl. o.V.; MEPC (Hrsg.); MEPC.1/Circ. 684; Guidelines for Voluntary use of the Ship Energy Efficiency Indicator (EEOI)

³¹⁾ Siehe hierzu o.V.; MEPC (Hrsg.); Report on the Maritime Environment Protection Committee on the 59 Session; S. 33, Nr. 4.41; MEPC 59/24, v. 27.07.2009

³²⁾ Vgl. o.V.; Europäische Kommission (Hrsg.); Mitteilungen der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen; Eine EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel; COM(2013) 216 final; vom 16.4.2014

³³⁾ Vgl. o.V.; Europäische Kommission (Hrsg.); Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Ein Rahmen für die Klima- und Energiepolitik im Zeitraum 2020-2030; COM(2014) 15 final vom 22.01.2014; dort: 2.1 Treibhausgasemissionsziel, S. 6³⁴⁾ Vgl. o.V.; UN (Hrsg.); Paris Agreement; 2015; https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf; abgerufen am 26.08.2024; 17:35 Uhr

³⁴⁾ Vgl. o.V.; UN (Hrsg.); Paris Agreement; 2015; https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf; abgerufen am 26.08.2024; 17:35 Uhr

³⁵⁾ Vgl. o.V.; IMO (Hrsg.); Resolution MEPC 304(72); Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships; dort: Level of Ambition and Guiding Principles, Punkt 3.1.3, S. 35

³⁶⁾ Vgl. o.V.; VDR (Hrsg.); IMO auf Kurs für konkrete CO₂-Reduktionsmaßnahmen; Meldg. v.: 15.11.2019; <https://www.reedereverband.de/de/imo-auf-kurs-fuer-konkrete-co2-reduktionsmassnahmen>; abgerufen am 30.08.2024; 14:45 Uhr

³⁷⁾ Vgl. o.V.; IMO (Hrsg.); Marine Environment Protection Committee (MEPC 73) approves programme to follow up on the initial IMO strategy on the reduction of greenhouse gas emissions from ships.; Mldg. v.: 22.10.2018; siehe hierzu auch: MEPC 73/19; Report on the Marine Environment Protection Committee on its Seventy-Third Session, vom 26.10.2018, dort Section 7, Reduction of GHG Emissions from Ships, S. 35 ff.

³⁸⁾ Vgl. o.V.; EUR-lex (Hrsg.); Verordnung (EU) 2021/1119 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 2021 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 401/2009 und (EU) 2018/1999 (Europäisches Klimagesetz)

³⁹⁾ Vgl. o.V.; Europäischer Rat (Hrsg.); „Fit for 55“; o.J.; <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/fit-for-55/>; abgerufen am 05.09.2024; 17:20 Uhr

Die IMO war damit mit ihrem 50% Ziel der Dekarbonisierung bis zum Jahr 2050 deutlich ins Hintertreffen geraten. Der VSM hatte der IMO daher vorgeworfen, dass sie beim Klimaschutz „auf Schleichfahrt“ wäre.⁴⁰ Im Juli 2023 verabschiedeten die IMO-Mitgliedsstaaten jedoch endlich mit der Resolution 377(80) die IMO-Strategie-2023 zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen von Schiffen mit deutlich verschärften Zielen zur Bekämpfung schädlicher Klimagas-Emissionen mit dem ambitionierten Ziel, bis 2050 Netto-Null Emissionen zu erreichen⁴¹. Damit zog die IMO mit den Vorgaben der EU gleich.

Mit kurzem Abstand folgte im September 2023 die Verabschiedung der EU-Verordnung 2023/1805 über die Nutzung erneuerbarer und kohlenstoffarmer Kraftstoffe im Seeverkehr (auch bekannt als FuelEU Maritime), die ab 2025 in der EU in Kraft tritt.⁴² Die EU-Verordnung regelt dabei, dass die durchschnittliche Menge an Klimagasen (THG), die durch den Energieverbrauch eines Schiffes pro Jahr entsteht einen festgelegten Grenzwert nicht überschreiten darf. Der Grenzwert wird dabei sukzessive in sechs Zeitpunkten um anfänglich 2% in 2025 bis 80% in 2050 immer stärker reduziert. Zudem müssen ab 2030 Schiffe, die für mehr als zwei Stunden an einem Liegeplatz des Transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-V) anlegen, Landstrom oder emissionsfreie Technologien wie Energiespeicher oder die Bordstromversorgung aus Wind, Solar oder Brennstoffzellen nutzen. Die EU hat damit erneut die Bestrebungen zur Klimaneutralität bis 2050 gegenüber den Bestrebungen der IMO intensiviert.

Nach der Verabschiedung des Kyoto Protokolls in 1997 war der Fokus der IMO bis weit in die Gegenwart im Wesentlichen einzig auf die Reduzierung von Luftschadstoffen und der Erstellung von Treibhausgasstudien ausgerichtet. Die Klimaneutralität der Branche wurde anfangs auf das Ende des 21ten Jahrhunderts vertagt. Erst die massiven Bestrebungen der EU zum Erreichen der Klimaneutralität bereits bis Mitte des Jahrhunderts führten zu einer Neuorientierung hinsichtlich der Ziele der IMO mit einer Verabschiedung einer Klimastrategie, gleichfalls bis 2050 im Seeverkehr eine Klimaneutralität erreichen zu wollen.

4 Flottenausbau mit alternativen Antriebsstoffen

Durch den Beschluss der EU und der IMO, für den Seeverkehr bis zum Jahr 2050 klimaneutral zu sein, wurden zudem durch beide Akteure Zwischenziele beschlossen. Im internationalen Seeverkehr strebt die IMO danach an, bis 2030 eine Reduktion der Klimagasemissionen von mindestens 20% (angestrebt werden 30%) gegenüber den durch die Schifffahrt verursachten Emissionen von 2008 zu erreichen.⁴³ Für das Jahr 2040 soll das Reduktionsniveau gemäß den Vorgaben der IMO bei mindestens 70 % liegen (angestrebt sind jedoch 80%).⁴⁴

Zur Erreichung der Zwischenziele haben die Akteure flankierende Maßnahmen ergriffen, die einerseits die empirische Datenlage verbessern (z.B. durch die EU-Verordnung 2015/757 zur Überwachung von Kohlendioxidemissionen aus dem Seeverkehr (MRV)⁴⁵, sowie durch MEPC Resolution 278(70) zum Data collection system for fuel oil consumption of ships [DSC]⁴⁶) und andererseits Einfluss auf die Quantität

⁴⁰ Vgl. o.V.; Tagesschau (Hrsg.); Klimaneutral bis 2050 "oder kurz danach"; Stand: 07.07.2024 14:25 Uhr; <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/weltwirtschaft/imo-schifffahrt-klima-100.html>; abgerufen am 30.08.2024; 11:30 Uhr

⁴¹ Vgl. o.V.; IMO (Hrsg.); Resolution MEPC 377(80); 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships; dort 3.3.4, S. 6

⁴² Vgl. o.V.; ABI (Hrsg.); Verordnung (EU) 2023/1805 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Sept. 2023 über die Nutzung erneuerbarer und kohlenstoffarmer Kraftstoffe im Seeverkehr und zur Änderung der Richtlinie 2009/16/EG; in ABl: L 234/48 vom 22.09.2023

⁴³ Vgl. o.V.; IMO (Hrsg.); Resolution MEPC 377(80); 2023 IMO Strategy, a.a.O.; Nr. 3.4.1, S. 6

⁴⁴ Vgl. Ebenda, Nr. 3.4.2, S. 6

⁴⁵ Vgl. o.V.; ABI (Hrsg.); Verordnung (EU) 2015/757 Des Europäischen Parlaments und des Rates über die Überwachung von Kohlendioxidemissionen aus dem Seeverkehr, die Berichterstattung darüber und die Prüfung dieser Emissionen und zur Änderung der Richtlinie 2009/16/EG

⁴⁶ Vgl. o.V.; MEPC (Hrsg.); Resolution MEPC 278(70); Amendments to the Annex of the Protocol of 1978 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as Modified by the Protocol of 1978 relating thereto – Amendments to MARPOL Annex VI (Data collection system for fuel oil consumption of Ships; MEPC 70/18/Add. 1, Annex 3

der Klimagasemissionen derart nehmen sollen, dass in Summe die Reduktionsziele erreicht werden (z.B. durch Regelungen zum EEDI⁴⁷, EEXI⁴⁸, CII⁴⁹ etc.).

Gleichzeitig hat die EU durch Novellierung der Emissionshandelsrichtlinie (EHRL) im Mai 2023 beschlossen, den Seeverkehr ab 2024 mit in den Emissionshandel (EU ETS 1) einzubinden⁵⁰, was zu einer sukzessiven Verteuerung je eingesetzter Tonne Kraftstoff bei den Schiffsbetreibern auf europäischen Destinationen führt.⁵¹ Jedoch wurden weder durch die EU noch die IMO Vorgaben gemacht, durch welche individuellen Maßnahmen die Akteure die gewünschten Reduktionsziele zu erreichen haben. Dies zeigt sich auch im heterogenen Mix der Reeder, die einerseits kraftstoffreduzierende Maßnahmen durch Optimierung im Schiffbau und Betrieb, z.B. durch Verringerung des Widerstands, durch Erhöhung des Wirkungsgrads und Maßnahmen im Operation (slow steaming bzw. ultra slow steaming)⁵² betreiben, aber auch auf die Nutzung alternativer Kraftstoffe setzen, die letztlich klimaneutral sein müssen. In Sachen Kraftstoff der Zukunft herrscht hingegen große Unsicherheit in der Branche.⁵³

LNG-Dual-Fuel Betrieb

Eine Analyse des Flottenbestands auf Basis der genutzten Schiffsmotoren (basierend auf Angaben von Clarkson) zeigt, dass bis Mitte 2024 weltweit 1.409 Schiffe (entsprechend 116,8 Mio. gt) mit alternativen Antriebsstoffen wie z.B. LNG, Ethan, Ammoniak, Wasserstoff, Methanol, Biokraftstoff sowie Nuklear-Antrieb, bzw. in Kombination als Dual Fuel operieren können. Den größten Anteil stellen dabei mit 78,3% Schiffe, die mit LNG betrieben werden können. Der Einsatz von LNG-Kraftstoff im Schiffsantrieb wird dabei vielfach als Brückentechnologie positiv bewertet.⁵⁴ Im Auftragsbestand waren zudem 1.442 Schiffe mit alternativen Antriebsstoffen (116,8 Mio. gt), von denen 942 Schiffe für die Nutzung von LNG gelistet sind. Dies entspricht immer noch gut 65,3 % (85,7 Mio. gt) der Schiffe (inkl. LNG) mit alternativem Kraftstoffantrieb. Der Motorenhersteller MAN erwartet jedoch einen deutlichen Rückgang der Orderzahlen im LNG Bereich, da er schätzt, dass bis 2030 nur noch etwa 23% der geordneten Leistung bei den 2-Takt Motoren auf LNG entfallen werden.⁵⁵

Hinsichtlich Schiffs-kraftstoff ist LNG noch ein Nischen-Markt. Im Jahr 2023 lagen die LNG Bunkerverkäufe in den drei großen Bunker-Umschlagsplätzen (Singapur, Rotterdam und Fujeira) noch bei 0,39 Mio. t und steigerten sich allein bis zum ersten Halbjahr 2024 auf knapp 0,42 Mio. t.⁵⁶ Dies entspricht gut einer Verdoppelung in 2024 gegenüber dem Vorjahr. Der Anteil der aktuellen LNG-Bunkerverkäufe liegt dabei bei den drei größten Bunkerplätzen der Welt noch bei durchschnittlich 1,2%

⁴⁷ Vgl. o.V.; MEPC (Hrsg.); Resolution MEPC.364(79); 2022 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI for New Ships); MEPC 79/15/Add.1 Annex 9

⁴⁸ Vgl. o.V.; MEPC (Hrsg.); Resolution MEPC 334(76); 2021 Guidelines on Survey and Certification on the Attained Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI); MEPC 76/15/Add.2; Annex 8

⁴⁹ Vgl. o.V.; MEPC (Hrsg.); Resolution MEPC.339(76); 2021 Guidelines on the Operational Carbon Intensity Rating of the Ships (CII Rating Guidelines, G4); MEPC 76/15/Add.2; Annex 13

⁵⁰ Vgl. o.V.; ABI (Hrsg.); Richtlinie (EU) 2023/959 Des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union und des Beschlusses (EU) 2015/1814 über die Einrichtung und Anwendung einer Marktstabilitätsreserve für das System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union; Amtsblatt der Europäischen Union; L130/134

⁵¹ Vgl. hierzu Hollmann, M.; DVZ (Hrsg.); Warum CO₂-Emissionen in der Schifffahrt zum Kostenfaktor werden; Mldg. v.: 13.12.2022; <https://www.dvz.de/unternehmen/see/detail/news/warum-co2-emissionen-in-der-schifffahrt-zum-kostenfaktor-werden.html>; abgerufen am 08.09.2024; 22:45 Uhr

⁵² Vgl. Hübscher, A., Ansätze zur Realisierung von Green-Shipping, in Maritime Wirtschaft – Theorie, Empirie und Politik – Festschrift zum 65. Geburtstag von Manfred Zachial, 2010, S. 177 f.

⁵³ Vgl. o.V.; VDR (Hrsg.); Auf Kurs Klimaneutralität; in: Deutsche Seeschifffahrt; 01/23, S. 37; https://www.reederverband.de/sites/default/files/publikationen/deutsche_seeschifffahrt/deutsche_seeschifffahrt_-_ausgabe_q1-2023.pdf; abgerufen am 04.09.2024; 16:20 Uhr

⁵⁴ Siehe hierzu u.a.: o.V.; DVZ (Hrsg.); LNG als Treibstoff; Schifffahrt braucht viel Zeit; Mldg. v.: 18.06.2019; ; <https://www.dvz.de/unternehmen/see/detail/news/lng-als-treibstoff-schifffahrt-braucht-viel-zeit.html>; abgerufen am 03.09.2024; 17:30 Uhr; sowie: o.V.; IHK-Nord (Hrsg.); FuelEU Maritime - Nutzung kohlenstoffarmer Treibstoffe in der Schifffahrt; sowie: o.V.; Wissenschaftlicher Dienst (WD 8) – Deutscher Bundestag; Maßnahmen zur Minderung von Emissionen in der Schifffahrt; Stand: 04.05.2018; S. 13 m.w.N.; <https://www.ihk-nord.de/produktmarken/schwerpunkte/maritime-wirtschaft-infrastruktur-seeverkehr/stellungnahme-fueeu-maritime-2020-5438130>; abgerufen am 03.09.2024; 17:35 Uhr; <https://www.bundestag.de/resource/blob/559626/b136948e9897d506d321fb4fca5ca00c/wd-8-032-18-pdf-data.pdf>; abgerufen am 03.09.2024; 17:45 Uhr

⁵⁵ Vgl. Hansel, G.; Heise.de (Hrsg.); Klimaneutrale Schifffahrt: Im Fahrwasser von Ammoniak und Methanol; Meld. v.: 04.04.2024; <https://www.heise.de/news/Schifffahrt-Ammoniak-oder-Methanol-was-kommt-nach-dem-Schwermetall-9674269.html>; abgerufen am 05.09.2024; 14:45 Uhr

⁵⁶ Eigene Berechnungen auf Basis der Bunkerverkäufe der Häfen Singapur, Rotterdam und Fujeira

und hat sich gegenüber 2023 verdoppelt. Der Verkauf von (klimaneutralem) Bio-LNG erreicht jedoch bisher nur eine marginale Menge von knapp 1.000 t. Kritiker, wie das International Council on Clean Transportation, führen an, dass der Einsatz von LNG insgesamt nicht zur Verminderung von Treibhausgasen beiträgt, da entlang der Lieferkette und bei der Verbrennung austretendes Methan einen weitaus klimaschädlicheren Effekt hat als das eingesparte Kohlenstoffdioxid.⁵⁷ Der (insbesondere durch 4-Takt Motoren verursachte) Methanschluß bei der Nutzung von LNG ist hingegen nach einer aktuellen Studie vom ICCT aus dem Jahr 2024 deutlich größer als bisher gedacht.⁵⁸

Zudem rückt die Art der Förderung des Gases im Fall von Fracking, als auch der benötigte Energieaufwand für die Kühlung zur Verdichtung, sowie ein eventuelles Boil-off beim Transport verstärkt in den Fokus. Dadurch wird die alternative Nutzung von LNG zur klimaschädlichen Variante.⁵⁹ In den USA führte das im Jan. 2024 daz, dass der amtierende Präsident Biden beantragte, zusätzliche Exporte von LNG in Ländern ohne Freihandelsabkommen zu pausieren, um deren Energiekosten, Amerikas Energiesicherheit und die Auswirkungen auf die Umwelt durch das Energieministerium prüfen zu lassen.⁶⁰

Methanol-Dual-Fuel

Bereits im Jahr 2015 nahm das Fährschiff *Germanica* der Stena Line nach der Umrüstung auf den Dual-Fuel-Einsatz als erstes Fährschiff weltweit erfolgreich den Betrieb mit Methanol auf.⁶¹ Seit Dez. 2020 besteht durch Verabschiedung einer IMO Richtlinie für die Nutzung von Methyl/Ethyl-Alkohol ein klares Regelwerk für die Nutzung von Methanol als Schiffskraftstoff.⁶² Zudem bestehen Regelungen der Klassifikationsgesellschaften zum Bunkern.⁶³ Der aktuelle Betrieb von Schiffen mit Methanol ist mit weltweit 30 Schiffen (1,2 Mio. gt) derzeit dennoch mehr als überschaubar. Der Auftragsbestand zeigt jedoch mit 246 Schiffen (18,8 Mio. gt) eine rasante Entwicklung. Von den Motorenherstellern werden 4-Takt und 2-Takt Motoren als Dual-Fuel-Motoren, die mit Methanol betrieben werden können, angeboten bzw. für die Jahre 2025 und 2026 angekündigt. Die dänische Reederei A.P. Møller-Mærsk setzt mit dem im Jan. 2024 fertiggestellten Containerschiff *ANE MAERSK* (16.592 TEU) den weltweit größten 2-Takt Dual-Fuel Methanol-Motor im Schiffsbetrieb ein. Rein äußerlich unterscheidet sich das Schiff von den gängigen Containerfrachtern, weil die Tanks für Methanol mehr Platz brauchen als beim Betrieb mit MGO, befindet sich die Brücke ganz vorne am Bug.⁶⁴ In den kommenden Jahren will Maersk noch 24 weitere Containerschiffe mit Methanol-Antrieb in Betrieb nehmen.⁶⁵ Hapag Lloyd und Seaspan rüsten fünf Containerschiffe je 10.000 TEU auf Methanol Antrieb um.⁶⁶ Der Motorenhersteller MAN erwartet, dass bis 2030 etwa 35% der geordneten Leistung bei den 2-Taktmotoren auf Methanol entfallen werden.⁶⁷

Ein wesentlicher Vorteil bei Einsatz von Methanol als Kraftstoff ist, dass bestehende Tanklagerkonzepte für HFO und/oder MDO/MGO im Neubau und für die Umrüstung genutzt werden können. Jedoch ist eine angepasste Dimensionierung der Kraftstofftanks (bei gleicher Reichweite um den Faktor 2,4)⁶⁸ nötig, wegen dem vergleichsweise geringeren Energiegehalt gegenüber konventionellen Kraftstoffen.⁶⁹

⁵⁷ Vgl. Pavlenko, N. (et al.); International Council on clean Transport (Hrsg.); The climate implications of using LNG as a marine fuel; 2020

⁵⁸ Vgl. o.V.; Hansa (Hrsg.); Methanschluß bei LNG-Schiffen größer als gedacht; Mldg. v.: 26. Jan. 2024

⁵⁹ Vgl. Howarth, R. W.; The greenhouse gas footprint of liquefied natural gas (LNG) exported from the United States; Energy Sci. Eng. 2024;1-17

⁶⁰ Vgl. Gardener, T.; Reuters (Hrsg.); Biden pauses LNG export approvals after pressure from climate activists; Meld. v. 26. Jan. 2024

⁶¹ Vgl. Prospich, P.; Methanol – der unterschätzte Kraftstoff; Meld. v.: 15.05.2021; <https://veus-shipping.com/2021/05/methanol-der-unterschaetzte-kraftstoff/>; abgerufen am 06.09.2024; 12:00 Uhr

⁶² Vgl. o.V.; MSC (Hrsg.); Interim Guidelines for the Safety of Ships using Methyl/Ethyl Alcohol as Fuel; 2020; MSC.1/Circ. 1621

⁶³ Vgl. o.V.; ABS (Hrsg.); Methanol Bunkering: Technical and operational Advisory; 2024; <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/methanol-bunkering-advisory.pdf>; abgerufen am 05.09.2024; 14:15 Uhr

⁶⁴ Vgl. o.V.; NDR (Hrsg.); Methanol-betriebener Frachter "Ane Maersk" erstmals in Hamburg; Stand 28.03.2024

⁶⁵ Vgl. o.V.; Maersk (Hrsg.); Maersk to deploy first large methanol-enabled vessel on Asia - Europe trade lane; Mldg. v.: 07.12.2023

⁶⁶ Vgl. o.V.; Hapag-Lloyd (Hrsg.); Hapag-Lloyd und Seaspan rüsten fünf Schiffe auf Methanol-Antrieb um; Pressemeldung vom 16.04.2024

⁶⁷ Vgl. Hansel, G.; Heise.de (Hrsg.); Klimaneutrale Schifffahrt; a.a.O.; <https://www.heise.de/news/Schifffahrt-Ammoniak-oder-Methanol-was-kommt-nach-dem-Schwermetall-9674269.html>; abgerufen am 05.09.2024; 14:45 Uhr

⁶⁸ Vgl. o.V.; MAN ES (Hrsg.); MAN B&W two-stroke engine operating on ammonia; 2020; S. 7; https://www.man-es.com/docs/default-source/document-sync/man-b-w-two-stroke-engine-operating-on-ammonia-eng.pdf?sfvrsn=c4bb6fea_5; abgerufen am 06.09.2024; 11:35 Uhr

⁶⁹ Vgl. o.V.; inwl (Hrsg.); Potenzialanalyse Methanol als emissionsneutraler Energieträger für Schifffahrt und Energiewirtschaft; 2018; S. 19

Die Anwenderzahlen für den Einsatz von Methanol als Schiffskraftstoff werden jedoch auch durch die Möglichkeit der Umrüstung ansteigen, da bspw. MAN als größter Anbieter von Schiffsmotoren ab 2025 ein Methanol-Retrofit für Viertaktmotoren der 48/60 Motoren-Serie auf Methanol-Dual-Fuel-Betrieb anbietet.⁷⁰ Der Einsatz von Brennstoffzellen auf Methanolfbasis im maritimen Sektor befindet sich hingegen noch in der Entwicklungs- und Testphase, daher gibt es derzeit nur wenige Projekte.⁷¹

Ammoniak-Dual-Fuel Betrieb

Dem Kraftstoff Ammoniak kommt im Bestreben um die Reduzierung von Klimagasen weltweit große Aufmerksamkeit zu. MAN als weltweit größter Schiffsmotorenhersteller erwartet, dass bereits 2030 etwa 40% der geordneten Leistung bei den 2-Takt-Motoren auf Ammoniak entfallen werden.⁷² Langfristig erwartet man bei MAN ES, dass der Anteil von Ammoniak bei großen Handelsschiffen bis zum Jahr 2050 rund 35 % des Kraftstoffs ausmachen wird.⁷³ Im aktuellen Bestand der Handelsflotte sind derzeit jedoch keine Schiffe mit Ammoniak-Antrieb gemeldet. Anders im aktuellen Orderbook (Anfang Sept. 2024): hier waren bereits 26 Handelsschiffe sowie zwei Schlepper gelistet (basierend auf Daten von Clarkson Research) mit vornehmlich 25 Bestellungen bei Massengutschiffen und dem Feeder-Containerschiff *Yara Eide* (Kapazität 1.400 TEU).

Neben MAN kündigte der Schweizer Motorenhersteller WinGD an, seinen ersten ammoniakbetriebenen Schiffsmotor für den Antrieb eines Flüssiggas- und Ammoniak-Tankers (für Exmar LPG) 2025 auszuliefern.⁷⁴

Bei der Nutzung von Ammoniak als zukünftigem Schiffskraftstoff ist das Ziel der Motorenhersteller, das Brennverfahren in den Motoren so zu optimieren bzw. auszulegen, dass auftretende Lachgasemissionen (wegen deren hohem GWP) zu vernachlässigen sind. Zudem muss der motorische Schlupf eng begrenzt werden.⁷⁵ Wie bereits beim Betrieb mit Methanol wird auch bei Betrieb mit Ammoniak eine angepasste Dimensionierung der Kraftstofftanks (hier um den Faktor 2,8 bis 3,4)⁷⁶ nötig werden (wegen des vergleichsweise geringeren Energiegehaltes von Ammoniak gegenüber konventionellen Kraftstoffen).

Brennstoffzellen

Nach mehr als zehn Jahren Entwicklungsarbeit hat die IMO Mitte 2022 durch den Schiffssicherheitsausschuss (MSC) eine Sicherheitsvorschrift für die Zulassung von Schiffen mit Brennstoffzellenantrieb verabschiedet⁷⁷. Dadurch wurden die Rahmenbedingungen für eine breite Anwendung in der kommerziellen Schifffahrt gesetzt, um mit effizienten Energiewandlern und klimaneutralen Treibstoffen emissionsfreie Schifffahrt realisieren zu können und einen erfolgreichen Markthochlauf für den Einsatz von Brennstoffzellensystemen im maritimen Sektor zu ermöglichen.⁷⁸ Brennstoffzellen gelten mithin als Technologie der Zukunft.⁷⁹ Konzeptionell können Brennstoffzellen zwischen Niedertemperatur-Brennstoffzellen (die in der Regel mit reinem Wasserstoff betrieben werden) und Hochtemperatur-Brennstoffzellen (die neben Wasserstoff auch mit anderen Brennstoffen, wie z.B. Methanol, Ammoniak, Erdgas oder schwefelarmem Dieselkraftstoff, betrieben werden können) unterschieden werden.⁸⁰

⁷⁰) Vgl. o.V.; MAN ES (Hrsg.); MAN PrimeServ bietet ab 2025 Methanol-Retrofit für MAN Viertaktmotoren an; Mldg. v.: 26.07.2024; <https://www.man-es.com/de/unternehmen/pressemitteilungen/press-details/2024/07/26/man-primerserv-bietet-ab-2025-methanol-retrofit-f%C3%BCr-man-viertaktmotoren-an>; abgerufen am 05.09.2024; 14:30 Uhr

⁷¹) Vgl. Wissner, N. (et al.); Öko-Institut (Hrsg.); Methanol as a marine fuel; 2023; S. 17; <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Methanol-as-a-marine-fuel.pdf>; abgerufen am 17.09.2024; 11:55 Uhr

⁷²) Vgl. Hansel, G.; Heise.de (Hrsg.); Klimaneutrale Schifffahrt: ..., a.a.O.

⁷³) Vgl. o.V.; MAN ES (Hrsg.); Immer mehr Schiffbauprojekte mit Ammoniakmotoren; Mldg. v.: 11.04.2024; <https://www.man-es.com/de/unternehmen/pressemitteilungen/press-details/2024/04/11/immer-mehr-schiffbauprojekte-mit-ammoniakmotoren>; abgerufen am 08.09.2024; 23:00 Uhr

⁷⁴) Vgl. o.V.; WinGD (Hrsg.); WinGD expands X-DF-A segment reach with AET's first ammonia aframax order; Mldg. v.: 07.05.2024

⁷⁵) Vgl. o.V.; UBA (Hrsg.); Kurzeinschätzung von Ammoniak als Energieträger und Transportmedium für Wasserstoff; Mldg. v.: 28.02.2022; S. 3 f.

⁷⁶) Vgl. o.V.; MAN ES (Hrsg.); MAN B&W two-stroke engine operating on ammonia; a.a.O., S. 7

⁷⁷) Vgl. o.V.; MSC (Hrsg.); Interim Guidelines for the Safety of Ship using Fuel Cell Power Installations; MSC. 1/Circ. 1647 vom 15.06.2022

⁷⁸) Vgl. o.V.; Now-GmbH.de (Hrsg.); e4ships – Brennstoffzellen im Einsatz; o.J.; <https://www.now-gmbh.de/aktuelles/pressemitteilungen/brennstoffzellen-duerfen-endlich-an-bord/>; abgerufen am 19.09.2024; 16:10 Uhr

⁷⁹) Vgl. o.V.; Fraunhofer (Hrsg.); Weltweit erste Hochtemperatur-Brennstoffzelle mit Ammoniak für Schiffe; Mldg. v.: 01.03.2022; <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/maerz-2021/weltweit-erste-hochtemperatur-brennstoffzelle-mit-ammoniak-fuer-schiffe.html>; abgerufen am 20.09.2024; 11:30 Uhr

⁸⁰) Vgl. o.V.; DKE (Hrsg.); Brennstoffzellen in der Schifffahrt; Mldg. v.: 27.06.2022; <https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/energy/news/brennstoffzellen-in-der-schifffahrt>; abgerufen am 19.09.2024; 16:20 Uhr;

Der Vorteil des Einsatzes von Brennstoffzellen liegt in deren hohem Wirkungsgrad, den deutlich geringeren Emissionen von Luftschadstoffen und geringeren Lärmemissionen.⁸¹ Als Nachteil werden noch immer die damit verbundenen hohen Kosten gesehen.⁸² Beim Schiffsantrieb auf Basis von Wasserstoff handelt es sich in der Mehrzahl der Fälle um einen Elektromotor im Antriebsstrang⁸³, wobei vielfach Brennstoffzellen zum Einsatz kommen. Aber auch das kohlenstofffreie Ammoniak und Methanol (welches sich in naher Zukunft als grünes Methanol aus regenerativen Energiequellen herstellen lässt), kann in Brennstoffzellen genutzt werden. Die Stromerzeugung mit Ammoniak funktioniert dabei ähnlich wie bei Anlagen auf Wasserstoff-Basis.

In der aktiven Flotte bestehen bisher weniger als 30 Schiffe (Stand 2022), die mit Brennstoffzellen (teil)betrieben werden.⁸⁴ Gegenwärtig stehen jedoch nach Angaben von Clarkson Research 33 weitere Schiffe (inkl. Optionen; mit knapp 774.200 gt) im Orderbook, die Wasserstoff als alternativen Kraftstoff für den Antrieb mit Brennstoffzellen nutzen wollen, wovon die Kreuzschifffahrt mit 13 Schiffen (590.000 gt) sowie die Gruppe der Non-Merchant Vessels (mit 43.000 gt) dabei die größten Anteile stellen.

Im Bereich der Nutzung alternativer Kraftstoffe stellen Wasserstoff-, Biokraftstoff- und Nuklearantrieb (wovon derzeit 13 russischen Eisbrecher mit gut 330.000 gt operativ mit Nuklearantrieb im Einsatz sind und sieben weitere russische Eisbrecher mit gleicher Technologie mit nochmals gut 330.000 gt im Orderbook gelistet sind) die kleinste Gruppe, was einerseits in der bisher geringen Verfügbarkeit des „Kraftstoffs“, den hohen Kosten und den hohen Risiken (insbes. bei den Versicherern für Schiffe mit Nuklearantrieb) begründet sein dürfte.

Die deutliche Mehrheit der Schiffe im Seeverkehr operiert nach wie vor mit konventionellen Kraftstoffen. Auch bei den Neubauten dominieren diese Kraftstoffe, besonders wenn die Antriebe berücksichtigt werden, die noch nicht mit klimaneutralem LNG betrieben werden. Ein kleiner Teil der Neubauten ist jedoch für den Betrieb mit alternativen Kraftstoffen wie Ammoniak und Methanol in Dual-Fuel-Motoren ausgelegt, die zudem weiterhin konventionelle Kraftstoffe nutzen können. Der Großteil der verfügbaren Kraftstoffe für diese Schiffe ist derzeit jedoch noch nicht klimaneutral, so dass in Summe eine Entlastung aus dem Bereich der Seeschifffahrt hinsichtlich Klimagasemissionen derzeit keine sichtbaren Mengen aufweist. Das Erreichen der inzwischen ambitionierten Ziele der IMO und der EU bis 2050 klimaneutral zu sein, steht und fällt mit der (frühzeitigen) Verfügbarkeit von klimaneutralen Kraftstoffen. Deshalb müssen die Produktionskapazitäten für grünen Wasserstoff als Grundlage der Produktion von alternativen Kraftstoffen wie Methanol und Ammoniak schnell ausgebaut werden, um den Bedarf zeitnah zu decken. Einen Lichtblick stellt jedoch die sich abzeichnende Entwicklung zur Nachrüstbarkeit der Motoren der bestehenden Flotte auf alternative Antriebsstoffe wie Methanol und Ammoniak dar.

⁸¹⁾ Vgl. o.V.; TWI Ltd. (Hrsg.); Was sind die Vor- und Nachteile von Wasserstoff-Brennstoffzellen; <https://www.twi-global.com/locations/deutschland/was-wir-tun/haeufig-gestellte-fragen/was-sind-die-vor-und-nachteile-von-wasserstoff-brennstoffzellen/>; abgerufen am 19.09.2024; 16:30 Uhr

⁸²⁾ Vgl. o.V.; DLR (Hrsg.); DLR belegt Marktpotenzial und Nachhaltigkeit von Fähren mit Brennstoffzellen-Antrieb; Mldg. v.: 9.09.2022

⁸³⁾ Vgl. o.V.; Baumüller (Hrsg.); Wasserstoff Schiffsantrieb – emissionsfreie Zukunft mariner Mobilität; o.J.; <https://www.baumueller.com/de/branchen/schiffbau/wasserstoff-schiffsantrieb/>; abgerufen am 19.09.2024; 15:30 Uhr

⁸⁴⁾ Vgl. Elkafas, A. G. (et al.); Fuel Cell Systems for Maritime: A Review of Research Development, Commercial Products, Applications, and Perspectives; 2023; mit weiteren Ausführungen

5 Verfügbarkeit von alternativen Kraftstoffen

Deutschland⁸⁵, die EU⁸⁶ und viele Staaten der Welt⁸⁷ setzen zunehmend auf Wasserstoff als Energieträger der Zukunft. Der zukünftige Energieträger Wasserstoff soll dabei in direkter Form oder als strombasierte synthetische Kraftstoffe in Form von E-Fuels (chemisch zusammengesetzte Kraftstoffe) genutzt werden. Die dabei synthetisch generierten Kraftstoffe (Ammoniak, Methanol, e-Diesel, e-Kerosin, etc.) sind alle wasserstoffhaltig. Bei der Erzeugung von Kohlenstoff-basierten zukünftigen Kraftstoffen muss das Kohlenstoffatom direkt der Luft⁸⁸ oder aus eingelagertem CO₂ aus CCS-Abscheidungen entnommen werden. Die Nutzung von E-Fuels stellt damit eine Form der indirekten Elektrifizierung des Energiesystems dar. Ein grundlegendes Problem bei der Herstellung von E-Fuels sind dabei die verlustintensiven Umwandlungsstufen. Abhängig von der konkreten Anwendung werden nur etwa 16% bis 48 % der eingesetzten elektrischen Energie in Nutzenergie umgewandelt⁸⁹, wodurch in Abhängigkeit von den Mengen der zu nutzenden E-Fuels überproportional nachhaltig erzeugte Mengen elektrischer Energie bereitgestellt werden müssen. E-Fuels, soweit sie heute in Deutschland hergestellt werden, haben derzeit noch eine deutlich negative Klimabilanz gegenüber der fossilen Referenz.⁹⁰ Nach Angaben von DNV werden im Jahr 2030 weltweit 44 bis 63 Mio. t (Öläquivalente) kohlenstoffneutraler Kraftstoffe zur Verfügung stehen, wovon die Schifffahrt allein (in Abhängigkeit von den bis dahin erreichten Reduzierungen des Kraftstoffverbrauchs) 10% bis 100% benötigt⁹¹, um das Ziel der IMO zu erreichen, die gesamten CO₂-Emissionen der Schifffahrt bis 2030 um 20% gegenüber dem Stand von 2008 zu senken.⁹²

Nach einer aktualisierten Zielvorgabe aus dem REPowerEU-Plan der EU-Kommission werden in der EU bis 2030 ca. 20 Mio. t grüner Wasserstoff (10 Mio. t eigene Produktion und 10 Mio. t Import) erwartet.⁹³ Jedoch kommt eine gesonderte Modellrechnung der Kommission aus 2023 zu dem Schluss, dass die Wasserstoffimporte bis 2040 relativ bescheiden ausfallen werden und unter 10 Mio. t liegen werden.⁹⁴ Ein Bericht des Europäischen Rechnungshofs aus Mitte 2024 kommt daher zu dem Ergebnis, dass die für 2030 angepeilten Ergebnisse für den Import und die Produktion von nachhaltig erzeugtem Wasserstoff zu ehrgeizig seien und die Ziele nicht auf einer soliden Analyse beruhen, sondern von einem politischen Willen geleitet seien. In eigener Analyse geht der Rechnungshof davon aus, dass das Produktionsziel von 10 Mio. t, das bis zu 140 GW an Elektrolyseurkapazität (Input) erfordern könnte, wahrscheinlich bis 2030 nicht erreicht wird.⁹⁵

Eine Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) aus Feb. 2024 sieht wenig Hoffnung für die Ausbaupläne der Deutschen Regierung. Bislang beläuft sich die Leistung aller

⁸⁵ Vgl. o.V.; Bundesregierung (Hrsg.); Nationale Wasserstoffstrategie - Energie aus klimafreundlichem Gas; Mldg. v.: 26.07.2023; m.w.N

⁸⁶ Vgl. o.V.; Europäische Kommission (Hrsg.); Mitteilungen der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, der Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Eine Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa; Mldg. v.: 08.07.2020

⁸⁷ Für China: Vgl. o.V.; WEF (Hrsg.); Green Hydrogen in China: A Roadmap for Progress – White Paper; June 2023; 2.2, S. 21; für Indien: vgl. o.V.; India.gov.in (Hrsg.); National Green Hydrogen Mission; o.J.; für die USA: vgl. Thielges, S.; bpb (Hrsg.); Die energiepolitische Agenda der Biden-Administration; Mldg. v.: 05.07.2024; m.w.N.

⁸⁸ Vgl. o.V.; Bundesregierung (Hrsg.); Klimaneutrale Kraftstoffe Sprit aus Luft und Ökostrom; Mldg. v.: 4.12.2019; <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/sprit-aus-luft-und-energie-1691506>; abgerufen am 01.10.2024; 23:10 Uhr

⁸⁹ Vgl. Ueckerdt, F. (et al.) (PIK); Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation; 2021; S. 4 https://www.researchgate.net/publication/351376346_Potential_and_risks_of_hydrogen-based_e-fuels_in_climate_change_mitigation; abgerufen am 01.10.2024; 22:10 Uhr; nach Angaben von DNV liegt der Anteil bei ca. 22,4% im Seeverkehr; vgl. o.V.; DNV (Hrsg.); Energy Transition Outlook 2024 – Maritime Forecast to 2050, 2024; Fig. 1-5, S. 8; beziehbar über: <https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-forecast/>; abgerufen am 01.10.2024; 15:55 Uhr; und bei 27% nach Angaben von Meyer-Larsen, N. (et al.); DMZ (Hrsg.); Die Rolle der maritimen Wirtschaft bei der Etablierung einer deutschen Wasserstoffwirtschaft; 4.4.2, S. 92; https://dmz-maritim.de/studie-wasserstoff_2021/; abgerufen am 01.10.2024; 22:50 Uhr

⁹⁰ Vgl. Witschel, M. (et al.); Fraunhofer (Hrsg.); Diskussionsbeitrag - Eine kritische Diskussion der beschlossenen Maßnahmen zur E-Fuel-Förderung im Modernisierungspaket für Klimaschutz und Planungsbeschleunigung der Bundesregierung vom 28.03.2023; S. 4 m.w.N

⁹¹ Die von DNV avisierte Breite von 10% bis 100% resultiert dabei auf dem Grad der realisierten Umsetzung von kraftstoffreduzierenden Maßnahmen in der Schifffahrt

⁹² Vgl. o.V.; DNV (Hrsg.); Energy Transition Outlook 2024 ...; a.a.O.; S. 37

⁹³ Vgl. o.V.; Europäische Kommission (Hrsg.); Hydrogen; o.J.; https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en; abgerufen am 02.10.2024; 14:00 Uhr

⁹⁴ Vgl. o.V.; ECA (Hrsg.); Sonderbericht 11 – 2024; Die Industriepolitik der EU im Bereich erneuerbarer Wasserstoff: Rechtsrahmen weitgehend angenommen – Zeit für einen Realitätscheck; 2024; Pkt. 28, S. 27; mit Bezug auf o.V.; EU-Kommission (Hrsg.); SWD(2024) 63; Commission Staff Working Document – Impact Assessment Report – Part 3; v.: 6.02.2024; S. 28

⁹⁵ Vgl. o.V.; ECA (Hrsg.); Sonderbericht 11 – 2024 ...; a.a.O.; Pkt. 39, S. 32

Elektrolyseure auf etwas über 0,1 GW. Dabei muss Deutschland weltweit mit den höchsten Preisen rechnen – die Nachfrage ist hoch, die mögliche Kapazität in Deutschland jedoch gering.⁹⁶

Erschwerend kommt hinzu, dass der norwegische Energiekonzern Equinor jüngst ein milliardenschweres Wasserstoff-Projekt für den Export von Norwegen nach Deutschland gestoppt hat, da die Kosten zu hoch sind. Via einer Offshore-Pipeline sollte blauer Wasserstoff (erzeugt aus Erdgas unter Abscheidung und Einlagerung des anfallenden CO₂ mit einem CCS-Verfahren) von Norwegen nach Deutschland geliefert werden.⁹⁷ Gleichfalls pausiert auch die norwegische Tochtergesellschaft von Shell ihre Pläne zur Herstellung von jährlich 450.000 t blauem Wasserstoff für Deutschland aus Gründen einer mangelnden Kosteneffizienz und der fehlenden Marktreife für blauen Wasserstoff.⁹⁸ Im Ergebnis passen alle diese Nachrichten zusammen in die jüngste Analyse von McKinsey aus dem Herbst 2024 wonach für die Versorgung von „sauberem“ Wasserstoff weltweit gerade einmal 12-18 Mio. t p.a. (basierend auf der Fertigstellungsrate von Projekten im Bereich erneuerbarer Energien) der angekündigten Nachfrage von 48 Mio. t p.a. bis 2030 bereitgestellt werden können.⁹⁹ Zwei Drittel werden davon aus erneuerbaren Energien stammen und das verbleibende Drittel aus kohlenstoffarmer Wasserstofferzeugung.¹⁰⁰ Unter diesen „Mangelszenarien“ ist es jedoch fraglich, ob die weltweit avisierten Projekte für alternative Kraftstoffe im benötigten Umfang zur Verfügung stehen werden. Zumindest ist das Erreichen der angestrebten Zielgrößen für die Herstellung von nachhaltigem Wasserstoff, die Produktion von (synthetischen) alternativen Kraftstoffen und das Erreichen der Dekarbonisierungsziele in den verschiedensten Sektoren der Wirtschaft und damit auch in der Seeschifffahrt gegenwärtig weiterhin mehr als ambitioniert.

Die höheren Kosten der alternativen Kraftstoffe werden versorgungstechnisch nicht zu Engpässen im Seeverkehr führen, wie die jüngsten Entwicklungen am Beispiel der Preisentwicklungen der Charterraten im Containerverkehr in Folge von Umroutungen angesichts massiver Angriffe auf Seeschiffe am Horn von Afrika durch Rebellen von Verkehren nach Europa weg von der Suez-Kanal-Passage durch das Mittelmeer um Südafrika zeigten.¹⁰¹ Zudem haben die Reeder Steigerungen der Kraftstoffkosten durch ihre Regularien (Bunker Adjustment Charge¹⁰², Bunker Adjustment Factor¹⁰³, Bunker Recovery Charge¹⁰⁴, Fuel Recovery Surcharge¹⁰⁵, etc.) bisher an ihre Kunden weitergegeben.

Eine Ende 2023 veröffentlichte PwC-Reederstudie zeigt, dass neun von zehn deutschen Reedereien unverändert auf den Einsatz von schwefelarmen Schiffsdieseln wie MGO (Marine Gasoil) und VLSFO (Very Low Sulphur Fuel Oil) setzen. Die Botschaft zwischen den Zeilen zeigt, dass die Akzeptanz, auf alternative Treibstoffe zu setzen, zurückgegangen ist.¹⁰⁶ Ein differenzierteres Bild zeigt sich jedoch bei den Neubauten.

⁹⁶ Vgl. o.V.; Fraunhofer.de (Hrsg.); Globaler H2-Potenzialatlas: Wie entwickelt sich die internationale Wasserstoffwirtschaft in Zukunft?: Pressemitteilung vom 6. Dez. 2024

⁹⁷ Vgl. o.V.; Energynews (Hrsg.); Equinor to stop supplying blue hydrogen to Germany; Mldg. v.: 23.09.2024; <https://energynews.pro/en/equinor-to-stop-supplying-blue-hydrogen-to-germany/>; abgerufen am 02.10.2024; 14:20 Uhr

⁹⁸ Vgl. o.V.; Blackout-news.de (Hrsg.); Shell stoppt Pläne für Wasserstoff in Norwegen, Mldg. v.: 01.10.2024

⁹⁹ Vgl. o.V.; McKinsey (Hrsg.); Hydrogen Insides 2024; Stand Sept. 2024; S. 4; <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2024/09/Hydrogen-Insights-2024.pdf>; abgerufen am 02.10.2024; 13:40 Uhr

¹⁰⁰ Vgl. Ebenda, S. 12

¹⁰¹ Vgl. Jann, T.; THB (Hrsg.); Huthi-Attacken verändern den Welthandel; Meld. v.: 18. Dez. 2023

¹⁰² Vgl. o.V.; Evergreen-Shipping; <https://www.cma-cgm.com/assets/public/documents/Q1%202025%20BAF%20with%20CMA%20trades%20031224.pdf>; (Hrsg.); Bunker Adjustment Charge (B.A.C.); , o.J.

¹⁰³ Vgl. o.V.; Maersk (Hrsg.); Bunker Adjustment Factor (BAF); Meld. v.: 2. Sept. 2024; vgl. o.V.; CNC (Hrsg.); Intra-Asia Market: Bunker Adjustment Factor (BAF) Update Effective 1 January 2025; vgl. o.V.; CMA-CGM (Hrsg.); Australia, New Zealand and Sofrana ANL: Bunker Adjustment Factor (BAF) Effective 1 January 2025

¹⁰⁴ Vgl. o.V.; MSC (Hrsg.); EU Price Announcement – Trade From India & Pakistan To Europe; Meld. v. 18. Jan. 2024; <https://www.msc.com/en/newsroom/customer-advisories/2024/january/price-announcement-india-pakistan-to-europe>; <https://www.cma-cgm.com/assets/public/documents/Q1%202025%20BAF%20with%20CMA%20trades%20031224.pdf>; <https://www.cnc-line.com/news/285/intra-asia-market-bunker-adjustment-factor-baf-update-effective-1-january-2025>

¹⁰⁵ Vgl. o.V.; Hapag-Lloyd (Hrsg.); Globale Preis-Ankündigung – Marine Fuel Recovery Surcharge (MFR) (Q1 2025)

¹⁰⁶ Vgl. o.V.; PwC (Hrsg.); Schifffahrt in Zeiten geopolitischer Veränderung; Nov. 2023; <https://www.pwc.de/de/content/7e913553-2c8e-4f15-9499-56630b4e93c9/pwc-reederstudie-2023.pdf>

Für eine auf nachhaltige alternative Kraftstoffe setzende Politik bedarf es deutlicher Anstrengungen zur Bereitstellung der benötigten Kraftstoffe, um die gesetzten Klimaziele fristgerecht zu erreichen.

6 Fazit

Nachdem es nach der grundsätzlichen Erkenntnis hinsichtlich einer menschengemachten Klimakrise und der Bedeutung der Klimagas-Emissionen in diesem Zusammenhang lange dauerte, bis es zu ersten politischen Maßnahmen kam, dauerte es noch einmal länger, bis der IMO eine maßgebliche Rolle im Bereich der CO₂-Reduktion in der Seeschifffahrt zugewiesen wurde. Erst seit wenigen Jahren setzt die IMO sich und den Mitgliedsstaaten Ziele zu Reduktion des CO₂-Ausstoßes und formuliert Richtlinien und Instrumente, die die Erreichung dieser Ziele unterstützen sollen. Getrieben auch durch die strengen Ziele und Vorgaben der EU hat sich die IMO auf eine Klimaneutralität der Schifffahrt bis 2050 festgelegt und auch Zwischenziele auf dem Weg dorthin formuliert. Allerdings zeigt die Auswertung bspw. von Flotte und Orderbuch durch das ISL, dass bei allen positiven Anstrengungen eine Zielerreichung noch in sehr weiter Ferne ist. Hinzu kommt die Tatsache, dass es mit sehr großer Wahrscheinlichkeit von keinem der alternativen Kraftstoffe ausreichende Mengen geben wird, um die Nachfrage aus der Schifffahrt, geschweige denn aus allen konkurrierenden Bereichen zu decken. Dabei kann nicht unterstellt werden, dass die Schifffahrt sich auf nur einen oder zwei alternative Kraftstoffe festlegt. Vielmehr wird es einen Mix aus den verschiedenen oben beschriebenen Möglichkeiten geben. Den meisten dieser Alternativen ist gemeinsam, dass sie wirklich „grün“ nur bei Herstellung unter Nutzung von grünem Strom und unter Vermeidung von fossilen Energieträgern (bspw. Erdgas) sein können und dass die Wirkungsgrade bei der Transformation vom grünen Strom zu PtX (e-Fuels, e-LNG, etc.) gering sind. Es wird daher ein Vielfaches der elektrischen Energie aus erneuerbaren Quellen benötigt, um die zu erwartende Nachfrage nach nachhaltigem Strom (direkt verbraucht bspw. durch elektrisches Heizen, E-Mobilität, Energiewende in der Produktion, etc.) und Wasserstoff und seinen Derivaten zu decken. Diesen Strom wird man in Deutschland nur in Teilen produzieren können, aber selbst dazu fehlt es an Kapazitäten bzw. den erforderlichen Rahmenbedingungen und Genehmigungen.

II Literaturverzeichnis

- Berg, F.**; et al.; Schiffsmaschinen, m.w.N.; <https://hochhaus-schiffsbetrieb.jimdo.com/schiffsmaschinen-156/>; abgerufen am 05. Aug. 2024; 15:50 Uhr
- Elkafas, A. G.** (et al.); Fuel Cell Systems for Maritime: A Review of Research Development, Commercial Products, Applications, and Perspectives; 2023; mit weiteren Ausführungen; https://www.researchgate.net/publication/366688173_Fuel_Cell_Systems_for_Maritime_A_Review_of_Research_Development_Commercial_Products_Applications_and_Perspectives/download?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6Il9kaXJlY3QlLCJwYVdlIjoX2RpcmVjdCJ9fQ; abgerufen am 20.09.2024; 16:00 Uhr
- Faber, J.**, (et. Al.); Fourth IMO GHG Study; 2020; <https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2020/08/MEPC-75-7-15-Fourth-IMO-GHG-Study-2020-Final-report-Secretariat.pdf>, abgerufen am 25.08.2024; 22:30 Uhr
- Gardener, T.**; Reuters (Hrsg.); Biden pauses LNG export approvals after pressure from climate activists; Meld. v. 26. Jan. 2024; <https://www.reuters.com/business/energy/biden-pauses-approval-new-lng-export-projects-win-climate-activists-2024-01-26/>; abgerufen am 10.12.2024; 15:00 Uhr
- Hansel, G.**; Heise.de (Hrsg.); Klimaneutrale Schifffahrt: Im Fahrwasser von Ammoniak und Methanol; Meld. v.: 04.04.2024; <https://www.heise.de/news/Schifffahrt-Ammoniak-oder-Methanol-was-kommt-nach-dem-Schwermetall-9674269.html>; abgerufen am 05.09.2024; 14:45 Uhr
- Hansen, J.** (et al.) (1981) Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide; https://web.archive.org/web/20111021210222/http://pubs.giss.nasa.gov/docs/1981/1981_Hansen_et_al.pdf; abgerufen am 26.08.2024; 15:55 Uhr
- Hollmann, M.**; DVZ (Hrsg.); Warum CO₂-Emissionen in der Schifffahrt zum Kostenfaktor werden; Mldg. v.: 13.12.2022; <https://www.dvz.de/unternehmen/see/detail/news/warum-co2-emissionen-in-der-schifffahrt-zum-kostenfaktor-werden.html>; abgerufen am 08.09.2024; 22:45 Uhr
- Howarth, R. W.**; The greenhouse gas footprint of liquefied natural gas (LNG) exported from the United States; Energy Sci. Eng. 2024;4843-4859; <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ese3.1934>; abgerufen am 10.12.2024; 15:10 Uhr
- Hübscher, A.**, Ansätze zur Realisierung von Green-Shipping, in Maritime Wirtschaft – Theorie, Empirie und Politik – Festschrift zum 65. Geburtstag von Manfred Zachlial, 2010, S. 177 f.
- Jann, T.**; THB (Hrsg.); Huthi-Attacken verändern den Welthandel; Meld. v.: 18.12.2023; <https://www.thb.info/rubriken/maritime-sicherheit/detail/news/huthi-attacken-veraendern-den-welthandel.html>; abgerufen am 10.12.2024; 14:45 Uhr
- Meyer-Larsen, N.** (et al.); DMZ (Hrsg.); Die Rolle der maritimen Wirtschaft bei der Etablierung einer deutschen Wasserstoffwirtschaft; 4.4.2, S. 92; https://dmz-maritim.de/studie-wasserstoff_2021/; abgerufen am 01.10.2024; 22:50 Uhr
- Myhre, G.** (et al.); IPCC (Hrsg.); Climate Change 2013 – The Physical Science Basis; Chapter 8 – Anthropogenic and Natural Radiative Forcing; Tab. 8.7, S. 714; https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf; abgerufen am 30.08.2024; 16:45 Uhr
- Pavlenko, N.** (et al.); International Council on clean Transport (Hrsg.); The climate implications of using LNG as a marine fuel; 2020; https://theicct.org/sites/default/files/publications/Climate_implications_LNG_marinefuel_01282020.pdf; abgerufen am 04.09.2024; 14:20 Uhr
- Prospich, P.**; Methanol – der unterschätzte Kraftstoff; Meld. v.: 15.05.2021; <https://veus-shipping.com/2021/05/methanol-der-unterschaetzte-kraftstoff/>; abgerufen am 06.09.2024; 12:00 Uhr
- Thielges, S.**; bpb (Hrsg.); Die energiepolitische Agenda der Biden-Administration; Mldg. v.: 05.07.2024; m.w.N. <https://www.bpb.de/themen/nordamerika/usa/550069/die-energiepolitische-agenda-der-biden-administration/>; abgerufen am 01.10.2024; 14:35 Uhr
- Ueckerdt, F.** (et al.) (PIK); Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation; 2021; S. 4 https://www.researchgate.net/publication/351376346_Potential_and_risks_of_hydrogen-based_e-fuels_in_climate_change_mitigation; abgerufen am 01.10.2024; 22:10 Uhr
- Wissner, N.** (et al.); Öko-Institut (Hrsg.); Methanol as a marine fuel; 2023; S. 17; <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Methanol-as-a-marine-fuel.pdf>; abgerufen am 17.09.2024; 11:55 Uhr
- Witschel, M.** (et al.); Fraunhofer (Hrsg.); Diskussionsbeitrag – Eine kritische Diskussion der beschlossenen Maßnahmen zur E-Fuel-Förderung im Modernisierungspaket für Klimaschutz und Planungsbeschleunigung der Bundesregierung vom 28.03.2023; S. 4 m.w.N.; <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2023/Diskussionspapier%20final.pdf>; abgerufen am 01.10.2024; 13:55 Uhr

Ohne Verfasser

ABI (Hrsg.); Richtlinie (EU) 2023/959 Des Europäischen Parlaments und des Rates zur zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union und des Beschlusses (EU) 2015/1814 über die Einrichtung und Anwendung einer Marktstabilitätsreserve für das System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union; Amtsblatt der Europäischen Union; L130/134; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L0959>; abgerufen am 03.09.2024; 10:00 Uhr

Verordnung (EU) 2015/757 Des Europäischen Parlaments und des Rates über die Überwachung von Kohlendioxidemissionen aus dem Seeverkehr, die Berichterstattung darüber und die Prüfung dieser Emissionen und zur Änderung der Richtlinie 2009/16/EG; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0757>; abgerufen am 02.09.2024; 22:50 Uhr

Verordnung (EU) 2023/1805 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Sept. 2023 über die Nutzung erneuerbarer und kohlenstoffarmer Kraftstoffe im Seeverkehr und zur Änderung der Richtlinie 2009/16/EG; in ABl: L 234/48 vom 22.09.2023; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1805>; abgerufen am 05.09.2024; 17:25 Uhr

ABS (Hrsg.); Methanol Bunkering: Technical and operational Advisory; 2024; <https://www2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/methanol-bunkering-advisory.pdf>; abgerufen am 05.09.2024; 14:15 Uhr

Baumüller (Hrsg.); Wasserstoff Schiffsantrieb – emissionsfreie Zukunft mariner Mobilität; o.J.; <https://www.baumueller.com/de/branchen/schiffbau/wasserstoff-schiffsantrieb>; abgerufen am 19.09.2024; 15:30 Uhr

Blackout-news.de (Hrsg.); Shell stoppt Pläne für Wasserstoff in Norwegen, Mldg. v.: 01.10.2024, abgerufen am 10.12.2024; 16:00 Uhr

bpb (Hrsg.); Globalisierung – Seefracht; Mldg. v.: 24.09.2024; <https://www.bpb.de/kurz-knapp/zahlen-und-fakten/globalisierung/52531/seefracht/>; abgerufen am 01.10.2024; 14:00 Uhr

Bundesregierung (Hrsg.); Klimaneutrale Kraftstoffe Sprit aus Luft und Ökostrom; Mldg. v.: 4.12.2019; <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/sprit-aus-luft-und-energie-1691506>; abgerufen am 01.10.2024; 23:10 Uhr

Nationale Wasserstoffstrategie – Energie aus klimafreundlichem Gas; Mldg. v.: 26.07.2023; m.w.N.; <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/wasserstoff-technologie-1732248>; abgerufen am 01.10.2024; 12:25 Uhr

Clarkson (Hrsg.); Seaborne Trade Monitor – World Seaborne Trade Summary (Tab. 1: Mio. Tonnes; Tab. 2: Billion Tonne Miles)

ClassNK (Hrsg.); Pathway to Zero-Emission in International Shipping – Understanding the 2023 IMO GHG Strategy, S. 3; 2023; https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/info_service/ghg/PathwaytoZero-EmissioninInternationalShipping_ClassNK_EN.pdf; abgerufen am 30.08.2024; 17:15 Uhr

CMA-CGM (Hrsg.); Australia, New Zealand and Sofrana ANL: Bunker Adjustment Factor (BAF) Effective 1 January 2025; <https://www.cma-cgm.com/assets/public/documents/Q1%202025%20BAF%20with%20CMA%20trades%20031224.pdf>; abgerufen am 10.12.2024; 15:50 Uhr

CNC Line (Hrsg.); Intra-Asia Market: Bunker Adjustment Factor (BAF) Update Effective 1 January 2025; <https://www.cnc-line.com/news/285/intra-asia-market-bunker-adjustment-factor-baf-update-effective-1-january-2025>; abgerufen am 10.12.2024; 14:40 Uhr

- Cyprusshippingnews.com** (Hrsg.); 2023 Shipping Market Review - Shipping Intelligence Weekly, 05 January 2024, <https://cyprusshippingnews.com/wp-content/uploads/2024/01/Annual-Review-2023-Analysis.pdf>, abgerufen am 23.08.2024 11:57 Uhr
- DKE** (Hrsg.); Brennstoffzellen in der Schifffahrt; Mldg. v.: 27.06.2022; <https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/energy/news/brennstoffzellen-in-der-schifffahrt>; abgerufen am 19.09.2024; 16:20 Uhr
- DLR** (Hrsg.); DLR belegt Marktpotenzial und Nachhaltigkeit von Fähren mit Brennstoffzellen-Antrieb; Mldg. v.: 9.09.2022; o.J.; <https://www.dlr.de/de/aktuelles/nachrichten/2022/03/dlr-belegt-marktpotenzial-nachhaltigkeit-faehren-mit-brennstoffzellen>; abgerufen am 20.09.2024; 16:40 Uhr
- DNV** (Hrsg.); Energy Transition Outlook 2024 – Maritime Forecast to 2050, 2024; Fig. 1-5, S. 8; beziehbar über: <https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-forecast/>; abgerufen am 01.10.2024; 15:55 Uhr
- DVZ** (Hrsg.); LNG als Treibstoff: Schifffahrt braucht viel Zeit; Mldg. v.: 18.06.2019; <https://www.dvz.de/unternehmen/see/detail/news/lng-als-treibstoff-schifffahrt-braucht-viel-zeit.html>; abgerufen am 03.09.2024; 17:30 Uhr
- ECA** (Hrsg.); Sonderbericht 11 – 2024; Die Industriepolitik der EU im Bereich erneuerbarer Wasserstoff: Rechtsrahmen weitgehend angenommen – Zeit für einen Realitätscheck; 2024; Pkt. 28, S. 27; mit Bezug auf o.V.; EU-Kommission (Hrsg.); SWD(2024) 63; Commission Staff Working Document – Impact Assessment Report – Part 3; v.: 6.02.2024; S. 28
- Energynews** (Hrsg.); Equinor to stop supplying blue hydrogen to Germany; Mldg. v.: 23.09.2024; <https://energynews.pro/en/equinor-to-stop-supplying-blue-hydrogen-to-germany/>; abgerufen am 02.10.2024; 14:20 Uhr
- Europäische Kommission** (Hrsg.); Hydrogen; o.J.; https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en; abgerufen am 02.10.2024; 14:00 Uhr
- Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Ein Rahmen für die Klima- und Energiepolitik im Zeitraum 2020-2030; COM(2014) 15 final vom 22.01.2014; dort: 2.1 Treibhausgasemissionsziel, S. 6; <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2014:0015:FIN:DE:PDF>; abgerufen am 28.08.2024; 12:00 Uhr
- Mitteilungen der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen; Eine EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel; COM(2013) 216 final; vom 16.4.2014; <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0216:FIN:DE:PDF>; abgerufen am 26.08.2024; 17:45 Uhr
- Mitteilungen der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, der Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Eine Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa; Mldg. v.: 08.07.2020; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301>; abgerufen am 01.10.2024; 14:15 Uhr
- Europäischer Rat** (Hrsg.); „Fit for 55“; o.J.; <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/fit-for-55/>; abgerufen am 05.09.2024;
- EUR-lex** (Hrsg.); Verordnung (EU) 2021/1119 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 2021 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 401/2009 und (EU) 2018/1999 (Europäisches Klimagesetz); <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj?locale=de>; abgerufen am 28.08.2024; 11:45 Uhr
- Evergreen-Shipping**; <https://www.cma-cgm.com/assets/public/documents/Q1%202025%20BAF%20with%20CMA%20trades%20031224.pdf>; (Hrsg.); Bunker Adjustment Charge (B.A.C.); o.J.; <https://www.evergreen-shipping.com.ph/file/282/download?token=j0VdXrHj>; abgerufen am 10.12.2024; 16:15 Uhr
- FIS** (Hrsg.); Effizienter Seeverkehr als Triebkraft der Globalisierung; Stand: 12.06.2024; <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/250423/>; abgerufen am 23.08.2024 14:10 Uhr
- Fraunhofer** (Hrsg.); Globaler H2-Potenzialatlas: Wie entwickelt sich die internationale Wasserstoffwirtschaft in Zukunft?: Pressemeldung vom 6. Dez. 2024; <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2024/presseinfo-26-internationale-wasserstoffwirtschaft-h2-potenzialatlas.html>; abgerufen am 10.12.2024; 15:45 Uhr
- Weltweit erste Hochtemperatur-Brennstoffzelle mit Ammoniak für Schiffe; Mldg. v.: 01.03.2022; <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/maerz-2021/weltweit-erste-hochtemperatur-brennstoffzelle-mit-ammoniak-fuer-schiffe.html>; abgerufen am 20.09.2024; 11:30 Uhr
- Hansa-Online.de** (Hrsg.); Methanschlepp bei LNG-Schiffen größer als gedacht; Mldg. v.: 26. Jan. 2024; <https://hansa-online.de/2024/01/schiffstechnik/226506/methanschlepp-icct/>; abgerufen am 04.09.2024; 14:30 Uhr
- Hapag-Lloyd** (Hrsg.); Globale Preis-Ankündigung – Marine Fuel Recovery Surcharge (MFR) (Q1 2025); [https://www.hapag-lloyd.com/content/dam/website/downloads/press_and_media/publications/MFR_Marine_Fuel_Recovery_Surcharge_\(MFR\)_Q1_2025_Hapag-Lloyd.pdf](https://www.hapag-lloyd.com/content/dam/website/downloads/press_and_media/publications/MFR_Marine_Fuel_Recovery_Surcharge_(MFR)_Q1_2025_Hapag-Lloyd.pdf); abgerufen am 10.12.2024; 16:50 Uhr
- Hapag-Lloyd und Seaspan rüsten fünf Schiffe auf Methanol-Antrieb um; PresseMldg. v.: 16.04.2024; <https://www.hapag-lloyd.com/de/company/press/releases/2024/04/hapag-lloyd-and-seaspan-to-retrofit-five-vessels-to-methanol-pro.html>; abgerufen am 06.09.2024; 10:15 Uhr
- IEA** (Hrsg.) World deliveries of oil products to international marine bunkers for selected regions, 1972-2019; Update vom 30. Jul. 2021; <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-deliveries-of-oil-products-to-international-marine-bunkers-for-selected-regions-1972-2019>; abgerufen am 23.08.2024; 15:20 Uhr
- IHK-Nord** (Hrsg.); FuelEU Maritime - Nutzung kohlenstoffarmer Treibstoffe in der Schifffahrt; <https://www.ihk-nord.de/produktmarken/schwerpunkte/maritime-wirtschaft-infrastruktur-seeverkehr/stellungnahme-fueu-maritime-2020-5438130>; abgerufen am 25.09.2024; 10:25 Uhr
- IMO** (Hrsg.); Convention on the International Maritime Organization; <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/Convention-on-the-International-Maritime-Organization.aspx>; abgerufen am 29.08.2024; 17:00 Uhr
- Index of MEPC Resolutions and Guidelines related to MARPOL Annex VI; o.J.; <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx>; abgerufen am 29.08.2024; 16:35 Uhr
- International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL); [https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx); abgerufen am 29.08.2024; 16:00 Uhr
- Marine Environment Protection Committee (MEPC 73) approves programme to follow up on the initial IMO strategy on the reduction of greenhouse gas emissions from ships.; Mldg. v.: 22.10.2018; <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/18-MEPCGHGprogramme.aspx>; abgerufen am 26.08.2024; 16:50 Uhr
- MEPC 73/19; Report on the Marine Environment Protection Committee on its Seventy-Third Session, vom 26.10.2018, dort Section 7, Reduction of GHG Emissions from Ships, S. 35 ff.; [https://www.mpa.gov.sg/docs/mpalibraries/mpa-documents-files/shipping-division/mepc-reports/mepc-73-19---report-of-the-marine-environment-protection-committee-on-its-seventy-third-session-\(secretariat\).pdf?sfvrsn=99600650_2](https://www.mpa.gov.sg/docs/mpalibraries/mpa-documents-files/shipping-division/mepc-reports/mepc-73-19---report-of-the-marine-environment-protection-committee-on-its-seventy-third-session-(secretariat).pdf?sfvrsn=99600650_2); abgerufen am 27.08.2024; 17:20 Uhr
- Reduction of GHG Emissions from Ships; Fourth IMO GHG Study 2020 – Final Report; Summary; Annex 1, S. 1; Publ. MEPC 75/7/15; <https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2020/08/MEPC-75-7-15-Fourth-IMO-GHG-Study-2020-Final-report-Secretariat.pdf>; abgerufen am 26.08.2024; 17:20 Uhr
- Resolution MEPC 213(63) – 2012 Guidelines for the development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP); MEPC 63/23, Annex 9; [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.213\(63\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.213(63).pdf); abgerufen am

28.08.2024

Resolution MEPC 203(62) – MEPC 62/24/Add.1 – Annex 19;
<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Technical%20and%20Operational%20Measures/Resolution%20MEPC.203%2862%29.pdf>; abgerufen am 29.08.2024; 22:45 Uhr

Resolution MEPC 278(70); Amendments to the Annex of the Protokoll of 1977 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as Modified by the Protokoll of 1978 relating thereto – Amendments to MARPOL Annex VI (Data collection system for fuel oil consumption of Ships; MEPC 70/18/Add. 1, Annex 3; <https://www.irclass.org/media/3845/mepc-278-70.pdf>); abgerufen am 03.09.2024; 09:45 Uhr

Resolution MEPC 304(72); Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships; dort: Level of Ambition and Guiding Principles, Punkt 3.1.3, S. 35; [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.304\(72\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.304(72).pdf); abgerufen am 26.08.2024; 16:45 Uhr

Resolution MEPC 334(76); 2021 Guidelines on Survey and Certification on the Attained Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI); MEPC 76/15/Add.2; Annex 8; [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.334\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.334(76).pdf); abgerufen am 03.09.2024; 14:35 Uhr

Resolution MEPC.339(76); 2021 Guidelines on the Operational Carbon Intensity Rating of the Ships (CII Rating Guidelines, G4); MEPC 76/15/Add.2; Annex 13; [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.339\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.339(76).pdf); abgerufen am 02.09.2024; 22:35 Uhr

Resolution MEPC.364(79); 2022 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI for New Ships; MEPC 79/15/Add.1 Annex 9; <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.364%2879%29.pdf>); abgerufen am 02.09.2024; 22:25 Uhr

Resolution MEPC 376(80); Guideline on Life Cycle GHG Intensity of Marine Fuels (LCA Guidelines); MEPC 80/17/Add. 1; Annex 14; <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/annex/MEPC%2080/Annex%2014.pdf>; abgerufen am 30.08.2024; 16:20 Uhr

Resolution MEPC 377(80); 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships; dort 3.3.4, S. 6; [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/PressBriefings/Documents/Resolution%20MEPC.377\(80\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/PressBriefings/Documents/Resolution%20MEPC.377(80).pdf); MEPC 80/WP.12; Annex 1; abgerufen am 26.08.2024; 16:50 Uhr

Second IMO GHG Study 2009; 2009; <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>; abgerufen am 12.09.2024; 15:30 Uhr

Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships; 2000; <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/First%20IMO%20GHG%20study.pdf>; abgerufen am 25.08.2024; 22:30 Uhr

Third IMO GHG Study 2014; 2014; <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>; abgerufen am 12.09.2024; 16:00 Uhr

IMCO (Hrsg.); IMCO Resolution A.297(VIII); Establishment of a Marine Environment Protection Committee; [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.297\(8\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.297(8).pdf); abgerufen am 03.09.2024; 14:20 Uhr

India.gov.in (Hrsg.); National Green Hydrogen Mission; o.J.; <https://www.india.gov.in/spotlight/national-green-hydrogen-mission>; abgerufen am 01.10.2024; 14:35 Uhr

inwl (Hrsg.); Potenzialanalyse Methanol als emissionsneutraler Energieträger für Schifffahrt und Energiewirtschaft; 2018; S. 19; https://www.maritimes-cluster.de/fileadmin/user_upload/Potenzialanalyse_Methanol_in_der_Schifffahrt_und_Energiewirtschaft.pdf; abgerufen am 05.09.2024; 11:10 Uhr

Maersk (Hrsg.); Bunker Adjustment Factor (BAF); Meld. v.: 2.09.2024; <https://www.maersk.com/news/articles/2024/09/02/bunker-adjustment-factor>; abgerufen am 10.12.2024; 15:40 Uhr

Maersk to deploy first large methanol-enabled vessel on Asia - Europe trade lane; Mldg. v.: 07.12.2023; <https://www.maersk.com/news/articles/2023/12/07/maersk-to-deploy-first-large-methanol-enabled-vessel-on-asia-europe-trade-lane>; abgerufen am 05.09.2024; 22:00 Uhr

MAN ES (Hrsg.); Immer mehr Schiffbauprojekte mit Ammoniakmotoren; Mldg. v.: 11.04.2024; <https://www.man-es.com/de/unternehmen/pressemitteilungen/press-details/2024/04/11/immer-mehr-schiffbauprojekte-mit-ammoniakmotoren>; abgerufen am 08.09.2024; 23:00 Uhr

MAN B&W two-stroke engine operating on ammonia; 2020; S. 7; https://www.man-es.com/docs/default-source/document-sync/man-b-w-two-stroke-engine-operating-on-ammonia-eng.pdf?sfvrsn=c4bb6fea_5; abgerufen am 06.09.2024; 11:35 Uhr

MAN PrimeServ bietet ab 2025 Methanol-Retrofit für MAN Viertaktmotoren an; Meldung vom 26.07.2024; <https://www.man-es.com/de/unternehmen/pressemitteilungen/press-details/2024/07/26/man-primerserv-bietet-ab-2025-methanol-retrofit-f%C3%BCr-man-viertaktmotoren-an>; abgerufen am 05.09.2024; 14:30 Uhr

McKinsey (Hrsg.); Hydrogen Insides 2024; Stand Sept. 2024; S. 4; <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2024/09/Hydrogen-Insights-2024.pdf>; abgerufen am 02.10.2024; 13:40 Uhr

MEPC (Hrsg.); MEPC.1/Circ. 684; Guidelines for Voluntary use of the Ship Energy Efficiency Indicator (EEOI); <https://gmn.imo.org/wp-content/uploads/2017/05/Circ-684-EEOI-Guidelines.pdf>; abgerufen am 03.09.2024; 15:00 Uhr

Report on the Maritime Environment Protection Committee on the 59 Seccion; S. 33, Nr. 4.41; MEPC 59/24, v. 27.07.2009; https://www.mpa.gov.sg/docs/mpalibraries/mpa-documents-files/shipping-division/mepc-reports/mepc59-24-final-report.pdf?sfvrsn=2241d47a_2; abgerufen am 25.08.2024; 23:40 Uhr

MSC (Hrsg.); Interim Guidelines for the Safety of Ship using Fuel Cell Power Installations; MSC. 1/Circ. 1647 vom 15.06.2022; <https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2023/02/MS-C.1-Circ.1647-Interim-Guidelines-For-The-Safety-Of-Ships-Using-Fuel-Cell-Power-Installations-Secretariat.pdf>; abgerufen am 19.09.2024; 16:00 Uhr

Interim Guidelines for the Safety of Ships using Methyl/Ethyl Alcohol as Fuel; 2020; MSC.1/Circ. 1621; <https://www.register-iri.com/wp-content/uploads/MS-C.1-Circ.1621.pdf>; abgerufen am 05.09.2024; 11:30 Uhr

- MSC.com** (Hrsg.); EU Price Announcement – Trade From India & Pakistan To Europe; Meld. v. 18. Jan. 2024; <https://www.msc.com/en/newsroom/customer-advisories/2024/july/eu-price-announcement-trade-india-pakistan-to-europe>; abgerufen am 10.12.2024; 16:15 Uhr
- NDR** (Hrsg.); Methanol-betriebener Frachter "Ane Maersk" erstmals in Hamburg; Stand 28.03.2024; <https://www.ndr.de/nachrichten/hamburg/Methanol-betriebener-Frachter-Ane-Maersk-erstmals-in-Hamburg,anemaersk100.html>; abgerufen am 10.09.2024; 13:30 Uhr
- Now-GmbH.de** (Hrsg.); e4ships – Brennstoffzellen im Einsatz; o.J.; <https://www.now-gmbh.de/aktuelles/pressemitteilungen/brennstoffzellen-duerfen-endlich-an-bord/>; abgerufen am 19.09.2024; 16:10 Uhr
- PwC** (Hrsg.); Schifffahrt in Zeiten geopolitischer Veränderung; Nov. 2023; <https://pages.pwc.de/content-form?qs=dc7fcb176550eba6d1e950e3a1ac396b5c08c8064100f9d7340ba2417c51ff729ead2ec6a819a82828b04991d53e0fd2795ac92bfb382cc413fe389becbc83e4bc262fd1fd57247f978cf5f81cde6e6>; abgerufen am 10.12.2024; 17:00 Uhr
- Statista.com** (Hrsg.); Entwicklung der CO₂-Emissionen der weltweiten Schifffahrt in den Jahren 1970 bis 2022; Mldg. v.: 17.07.2024; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1461583/umfrage/weltweite-co2-emissionen-in-der-schifffahrt/>; abgerufen am 23.08.2024; 15:15 Uhr
- Tagesschau** (Hrsg.); Klimaneutral bis 2050 "oder kurz danach"; Stand: 07.07.2024 14:25 Uhr; <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/weltwirtschaft/imo-schifffahrt-klima-100.html>; abgerufen am 30.08.2024; 11:30 Uhr
- TWI Ltd.** (Hrsg.); Was sind die Vor- und Nachteile von Wasserstoff-Brennstoffzellen; o.J.; <https://www.twi-global.com/locations/deutschland/was-wir-tun/haeufig-gestellte-fragen/was-sind-die-vor-und-nachteile-von-wasserstoff-brennstoffzellen>; abgerufen am 19.09.2024; 16:30 Uhr
- UBA** (Hrsg.); Kurzeinschätzung von Ammoniak als Energieträger und Transportmedium für Wasserstoff; Mldg. v.: 28.02.2022; S. 3 f.; https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/uba_kurzeinschaetzung_von_ammoniak_als_energietraeger_un_d_transportmedium_fuer_wasserstoff.pdf; abgerufen am 07.10.2024; 10:40 Uhr
- Weitere relevante internationale Abkommen und Vereinbarungen; Mldg. 3553 vom 22.12.2014; <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales-arktis/rechtlicher-institutioneller-rahmen-der-arktis/weitere-relevante-internationale-abkommen>; abgerufen am 29.08.2024; 16:30 Uhr
- UN** (Hrsg.); Paris Agreement; 2015; https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf; abgerufen am 26.08.2024; 17:35 Uhr
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 1992; <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>; abgerufen am 25.08.2024; 19:00 Uhr
- World Population Prospects 2024, United Nations DESA / Population Division, File GEN/01/REV1: Demographic indicators by region, subregion and country, annually for 1950-2100; <https://population.un.org/wpp/Download/>; abgerufen am 23.08.24; 13:50 Uhr
- UNFCC** (Hrsg.); Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen; o.J.; dort Anlage A; S. 28; <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf>; abgerufen am 25.08.2024; 20:15 Uhr
- VDR** (Hrsg.); Auf Kurs Klimaneutralität; in: Deutsche Seeschifffahrt; 01/23, S. 37; https://www.reederverband.de/sites/default/files/publikationen/deutsche-seeschifffahrt/deutsche-seeschifffahrt_-_ausgabe_q1-2023.pdf; abgerufen am 04.09.2024; 16:20 Uhr
- IMO auf Kurs für konkrete CO₂-Reduktionsmaßnahmen; Meldg. v.: 15.11.2019; <https://www.reederverband.de/de/imo-auf-kurs-fuer-konkrete-co2-reduktionsmassnahmen>; abgerufen am 30.08.2024; 14:45 Uhr
- WEF** (Hrsg.); Green Hydrogen in China: A Roadmap for Progress – White Paper; June 2023; 2.2, S. 21; https://www3.weforum.org/docs/WEF_Green_Hydrogen_in_China_A_Roadmap_for_Progress_2023.pdf; abgerufen am 01.10.2024; 14:30 Uhr
- WinGD** (Hrsg.); WinGD expands X-DF-A segment reach with AET's first ammonia aframax order; Mldg. v.: 07.05.2024; <https://www.wingd.com/en/news-media/press-releases/wingd-expands-x-df-a-segment-reach-with-aet%E2%80%99s-first-ammonia-aframax-order/>; abgerufen am 06.09.2024; 16:30 Uhr
- Wissenschaftlicher Dienst (WD 8) – Deutscher Bundestag**; Maßnahmen zur Minderung von Emissionen in der Schifffahrt; Stand: 04.05.2018; S. 13 m.w.N.; <https://www.ihk-nord.de/produktmarken/schwerpunkte/maritime-wirtschaft-infrastruktur-seeverkehr/stellungnahme-fuelev-maritime-2020-5438130>; <https://www.bundestag.de/resource/blob/559626/b136948e9897d506d321fb4fca5ca00c/wd-8-032-18-pdf-data.pdf>; abgerufen am 03.09.2024; 17:45 Uhr
- WMO** (Hrsg.); Declaration of the World Climate Conference, Genf, 1979; https://dgvn.de/fileadmin/user_upload/DOKUMENTE/WCC-3/Declaration_WCC1.pdf; abgerufen am 26.08.2024; 16:10 Uhr
- Proceeding Acts - The Changing Atmosphere, 1988, Toronto (Canada); S. 296; <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/29980>; abgerufen am 23.08.2024; 18:15 Uhr
- Proceedings, World conference, Toronto, Canada; <https://digitallibrary.un.org/record/106359?ln=en&v=pdf>; abgerufen am 26.08.2024; 16:15 Uhr



Institut für
Seeverkehrswirtschaft
und Logistik

