



Deutsches
Maritimes
Zentrum

Juli 2023

02 | Working Paper

Aktuelle Nachfrageentwicklung nach alternativen
Kraftstoffen in der Hochseeschifffahrt

Johannes Puckelwald

Working Paper
Hamburg, Juli 2023

Autor:
Johannes Puckelwald

Redaktion und Lektorat:
Runa Jörgens
Dr. Regine Klose-Wolf
Michael Zuch

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	4
1. Einleitung.....	5
2. Handelsschiffflotte und Orderbuch.....	6
3. Einsatz von Biofuels und E-Fuels.....	10
4. Einflussfaktoren auf die Nachfrage nach alternativen Kraftstoffen.....	11
4.1 Verfügbarkeit alternativer Kraftstoffe.....	11
4.2 Kosten alternativer Kraftstoffe.....	12
4.3 Regulatorik.....	13
4.4 Zahlungsbereitschaft und Nachfrage für nachhaltigen Transporten.....	15
5. Nachfrageentwicklung und Handlungsfelder.....	17
Quellen.....	19

Abkürzungsverzeichnis

AFID	Alternative Fuels Infrastructure Directive
BtL	Biomass-to-Liquid
CII <i>Carbon Intensity Indicator</i>	
coZEV	Cargo Owners for Zero Emission Vessels
DMZ	Deutsches Maritimes Zentrum
EEDI	Energy Efficiency Design Index
EEXI	Energy Efficiency Existing Ship Index
EU ETS	EU Emission Trading System
FAME	Fatty Acid Methyl Ester
HSFO	High-Sulfur Fuel Oil
HVO	Hydroprocessed Vegetable Oil
IBC-Code	International Code for the Construction and Equipment of Ships carrying Dangerous Chemicals in Bulk
IGC-Code	International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk
IGF-Code	International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels
IMO	International Maritime Organization
LNG	Liquefied Natural Gas, Flüssigerdgas
LPG	Liquefied Petroleum Gas, Flüssiggas, Autogas
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
MGO	Marine-Gasöl
MEPC	Marine Environment Protection Committee
MWh	Megawattstunde
TWh	Terawattstunde
VLSFO	Very Low Sulfur Fuel Oil

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kraftstoffpreisspannen	12
---	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Methodik und Abgrenzung	5
Tabelle 2: Alternative Kraftstoffe nach Schiffstypen	6
Tabelle 3: Alternative Kraftstoffe nach Baujahr	6
Tabelle 4: Schiffskraftstoffe	7
Tabelle 5: Kraftstoffe im Orderbuch nach Schiffstypen	8
Tabelle 6: „Fuel-Ready-Zertifikate“ für alternative Kraftstoffe	9

1. Einleitung

Die maritime Branche steht vor einer großen Herausforderung: Beim 80. Treffen des IMO-Ausschusses für den Schutz der Meeresumwelt (MEPC) der International Maritime Organization (IMO) im Juli 2023 wurde beschlossen, dass die Seeschifffahrt ihre Treibhausgasemissionen um das Jahr 2050 herum auf null reduzieren muss. Auf dem Weg dahin gibt es Zwischenziele für die Jahre 2030 und 2040. Außerdem sieht der Plan einen Preis für den Ausstoß von Treibhausgasen wie CO₂ ab 2027 und globale Standards für klimafreundliche Treibstoffe vor. Um das Ziel zu erreichen die Emissionen von Treibhausgasen drastisch zu reduzieren und damit den nötigen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, wird aktuell intensiv über den Einsatz alternativer Kraftstoffe in der Schifffahrt diskutiert.

Diese Diskussion kommt keineswegs überraschend, denn in der Schifffahrtsbranche werden alternative Kraftstoffe bereits eingesetzt. Hierbei etabliert sich LNG immer stärker als alternativer Kraftstoff. Einige Reedereien sehen in Methanol den nächsten zukunftsweisenden Kraftstoff oder erproben, wie die CO₂-Bilanz des Schiffsbetriebs durch den Einsatz nachhaltiger Biokraftstoffe verbessert werden kann. Derzeit ist die Zahl der Schiffe, die mit emissionsreduzierten Kraftstoffen fahren, noch gering. Jedoch haben bei den Schiffsneubestellungen Antriebe, die für alternative Kraftstoffe geeignet sind, bereits einen deutlich höheren Anteil. Dieser Trend wird sich in den nächsten Jahren zwangsläufig verstärken, wenn durch wirtschaftliche Anreize und zunehmend strenger werdende Vorgaben der Einsatz alternativer Kraftstoffe forciert werden wird.

Die aktuelle Flottenstruktur und das Orderbuch dokumentieren die Schiffstechnik der nächsten Jahre und erlauben eine Einschätzung darüber, welche Kraftstoffe zukünftig zum Einsatz kommen könnten und wie sich die Nachfrage nach ihnen entwickeln könnte. Vor allem am Orderbuch zeigt sich auch, welche Entwicklungen Reedereien für die Zukunft erwarten bzw. wie sie die Veränderungen mitgestalten wollen. Am Beispiel der Handelsschiffe in der Hochseeschifffahrt als wichtigste maritime Kraftstoffverbraucher stellen wir die mögliche Entwicklung im Einzelnen dar. Neben den technischen Voraussetzungen der Schiffsflotte beeinflussen weitere Marktfaktoren den Einsatz alternativer Kraftstoffe. (Details zu Methodik & Abgrenzung, Tabelle 1)

Tabelle 1

Methodik und Abgrenzung
Betrachtet werden ausschließlich Handelsschiffe und Passagierschiffe der Hochseeschifffahrt ab einer Bruttoreaumzahl von 500. Die Fahrzeuge in diesem Segment haben die größte Tonnage, legen die längsten Strecken zurück und verzeichnen dadurch den größten Kraftstoffverbrauch. Sie sind entscheidend für die Nachfrageentwicklung nach alternativen Schiffskraftstoffen. In den anderen Segmenten (z.B. Fischerei, Binnenschifffahrt) kommen durch kürzere Strecken und geringere Maschinenleistung andere Antriebskonzepte als in der Hochseeschifffahrt in Frage.
Die Entscheidung einer Reederei für einen Schiffsantrieb mit alternativem Kraftstoff hat eine größere Aussagekraft für die Entwicklung des Kraftstoffmarktes als das Volumen des Schiffes. Daher ist bei allen vergleichenden Angaben dieser Untersuchung die Anzahl der Schiffe ohne Unterscheidung ihrer Größe relevant. ¹ Im Fokus stehen die Nachfrage nach alternativen Kraftstoffen und die dafür relevanten Marktfaktoren. Nicht vertiefend dargestellt werden hingegen die Eigenschaften der Kraftstoffe (Emissionen, Gefahren, stoffliche Spezifikation etc.), deren Produktion und weitergehende Angebotsfaktoren. ²
Konventionelle Kraftstoffe werden definiert als die in der Schifffahrt überwiegend eingesetzten erdölbasierten Schweröl- und Destillatkraftstoffe. Alternative Kraftstoffe sind die übrigen eingesetzten oder sich in Planung und Entwicklung befindlichen Schiffskraftstoffe mit in der Regel niedrigeren Emissionen.
Der Betrachtungszeitrahmen umfasst die heutige Flotte und die Entwicklung der nächsten Jahre bis 2030. Für diesen Zeitraum ist die Entwicklung auf dem Kraftstoffmarkt anhand der bestehenden Flotte, des Orderbuchs und des daraus ersichtlichen technischen Stands relativ gut abschätzbar.
Datengrundlage für die Handelsschiffsflotte und das Orderbuch ist die Datenbank Sea-web Ships von S&P Global. Die Daten wurden am 23.04.2023 abgerufen. Aufgrund der Größe des globalen Schifffahrtssektors, der unterschiedlichen Marktteilnehmer sowie möglicher Fehler, Verzögerungen und Definitionsunterschiede bei der Erfassung, Weitergabe und Verarbeitung von Informationen können die Daten zu Flotte und Orderbuch Fehler und Abweichungen zu anderen Quellen aufweisen.

¹ Tatsächlich werden alternative Kraftstoffe häufiger bei größeren Handelsschiffen eingesetzt, weshalb ihr Anteil gemessen am Schiffsvolumen (z.B. Bruttoreaumzahl) höher ausfällt als bei der Zählung der Schiffe ohne Berücksichtigung ihrer Größe.

² Siehe hierzu DMZ (2022).

2. Handelsschiff flotte und Orderbuch

Die aktive Handelsschiff flotte zählt weltweit rund 64.000 Schiffe. Zu 48.766 Schiffen ist der Primärkraftstoff angegeben, von ihnen können 823 Schiffe mit einem alternativen Kraftstoff fahren (Tabelle 2):³ 701 Schiffe (85%) mit LNG, 73 Schiffe mit LPG, 25 mit Methanol, 21 mit Ethan und 2 mit Wasserstoff. Von den 823 Schiffen wurden 271 Schiffe vor 2018 und alle anderen danach gebaut (Tabelle 3). LNG ist aktuell der einzige alternative Kraftstoff, der in der Schifffahrt bereits etabliert für unterschiedliche Schiffstypen eingesetzt wird.⁴ 54% der 701 Schiffe sind Flüssiggastanker, die LNG als Ladung transportieren und das auf der Fahrt verdunstende Gas (*Boil-off*) als Kraftstoff nutzen. LPG und Ethan kommen ausschließlich auf Flüssiggastankern zum Einsatz, die wie die LNG-Tanker das jeweilige Gas transportieren und mit Boil-off fahren.

Tabelle 2

Alternative Kraftstoffe nach Schiffstypen

Schiffstyp	Ethan	Wasserstoff	LNG	LPG	Methanol
Insgesamt	21	2	701	73	25
Bulker	-	-	28	-	-
Produkten- und Chemikaliertanker	-	-	46	-	24
Containerschiffe	-	-	52	-	-
General Cargo	-	-	15	-	-
Flüssiggastanker	21	-	379	73	-
Öltanker	-	-	60	-	-
Kreuzfahrtschiffe	-	-	13	-	-
Autotransporter	-	-	12	-	-
Andere Passagier-/RoRo-/Frachtschiffe	-	2	96	-	1

Alternative Kraftstoffe als primärer Kraftstoff angegeben

Handelsschiffe insgesamt: 64.031, davon Primärkraftstoff angegeben: 48.766, davon alternative Kraftstoffe 823

Quelle: S&P Global (2023)

Methanol wird mit Ausnahme eines RoRo-Schiffes nur auf Chemikaliertankern eingesetzt. Möglicherweise sind Unternehmen, die mit ihren Tankern Methanol transportieren und Erfahrung im Umgang damit haben, eher motiviert, Methanol als flüssigen Kraftstoff zu erproben. Die weiteren mit Wasserstoff betriebenen Schiffe sind zwei RoRo-Fähren in Norwegen. Der Einsatz alternativer Schiffskraftstoffe befindet sich also noch in einer frühen Entwicklungsphase mit geringer Nachfrage. Über 98% der Schiff flotte werden mit Rückstandsölen mit hohem Schwerölanteil oder Destillaten betrieben. Die Schiffe, die alternative Kraftstoffe nutzen, fahren zu über 95% mit Destillaten als Sekundärkraftstoff für Dual-Fuel-Motoren und Hilfsmaschinen. Dennoch zeigt die Flottenentwicklung einen Trend zu alternativen Kraftstoffen.

Tabelle 3

Alternative Kraftstoffe nach Baujahr

Primärer Kraftstoff	bis 2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Insgesamt	271	67	70	61	130	156	67
Ethan	2	-	2	2	6	7	2
Wasserstoff	-	-	-	-	2	-	-
LNG	245	67	64	59	108	114	44
LPG	15	-	-	-	12	26	20
Methanol	9	-	4	-	2	9	1

Handelsschiffe insgesamt: 64.031, davon Primärkraftstoff angegeben: 48.766, davon alternative Kraftstoffe 823

Quelle: S&P Global (2023)

³ Eine Übersicht der untersuchten Kraftstoffe bietet Tabelle 1.

⁴ Übersicht zu Schiffstypen siehe <https://dmz-maritim.de/hintergrund-schiffstypen/>.

Tabelle 4

Schiffskraftstoffe⁵

Schweröl (auch Rückstandsöl, **HSFO** – High-Sulfur Fuel Oil) war lange der am häufigsten verwendete und günstigste Schiffskraftstoff. Es ist ein dicker, viskoser Brennstoff, der aus Rohöl gewonnen wird und einen hohen Schwefelgehalt aufweist. Die Verbrennung von Schweröl erzeugt erhebliche Mengen an Schwefeloxiden (SO_x) und Partikelemissionen. Seit 2020 darf HSFO nur noch in Schiffen verwendet werden, die Scrubber installiert haben, um die Emissionen zu reduzieren.

Destillate umfassen verschiedene Arten von Schiffskraftstoffen, darunter Marine-Gasöl (**MGO**) und Very Low Sulfur Fuel Oil (**VLSFO**). MGO hat einen niedrigeren Schwefelgehalt als Schweröl und erzeugt daher weniger SO_x-Emissionen. VLSFO ist ein neuerer Kraftstofftyp mit einem sehr niedrigen Schwefelgehalt, der den Anforderungen der IMO (International Maritime Organization) entspricht.

LPG (*Liquefied Petroleum Gas*, Flüssiggas, Autogas), besteht hauptsächlich aus Propan (C₃H₈) und Butan (C₄H₁₀) und wird vorwiegend als Kraftstoff für Kfz eingesetzt, kann aber auch von Schiffen verwendet werden. Es fällt als Nebenprodukt bei der Ölförderung und in Ö Raffinerien an bzw. bei der Herstellung von Biofuels (**Bio-LPG**). LPG verbrennt sauberer als herkömmliche fossile Brennstoffe und erzeugt weniger Schwefeloxide (SO_x), Stickoxide (NO_x) und Partikelemissionen. Es besteht aber eine mit Methan vergleichbare Schlupfproblematik, da Propan und Butan ebenfalls Treibhausgase sind. Das Funktionsprinzip für Motoren zum Einsatz von LPG in der Schifffahrt basiert i. d. R. auf den bereits etablierten LNG-Konzepten.

LNG (*Liquefied Natural Gas*, Flüssigerdgas) ist ein Kraftstoff, der aus verflüssigtem Methan besteht. Er wird durch Kühlung von Erdgas auf sehr niedrige Temperaturen (-162 Grad Celsius) bei atmosphärischem Druck gewonnen. LNG bietet eine deutliche Reduzierung von SO_x- und Partikelemissionen im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen. Methan weist einen niedrigeren Kohlenstoffgehalt als konventionelle Brennstoffe auf und verursacht bei der Verbrennung weniger Treibhausgasemissionen. Beim Einsatz von LNG kann jedoch unverbranntes Methan entweichen, das einen stärkeren Treibhauseffekt als CO₂ besitzt. Es ist erforderlich, spezielle LNG-Tanksysteme und Motoren an Bord zu installieren, um LNG zu nutzen. Ebenso braucht es eine spezifische Lager-, Transport- und Bunkerinfrastruktur. Statt aus Erdgas kann das Methan auch aus biologischen Quellen, wie Biomasse, Abfällen oder landwirtschaftlichen Produkten, gewonnen werden. Das daraus entstehende **Bio-LNG** bietet eine nachhaltigere Alternative zu konventionellem LNG.

Methanol ist ein flüssiger, toxischer, farbloser, hoch entzündlicher und leicht flüchtiger Brennstoff. Es wird daher als Gefahrstoff eingestuft. Es enthält keinen Schwefel und kann daher zur Reduzierung von SO_x- und Partikelemissionen beitragen. Das für die Herstellung eingesetzte Synthesegas besteht größtenteils aus Wasserstoff und CO₂. Es stammt entweder aus fossilen Quellen (**graues Methanol**) oder aus Biomasse (**Biomethanol**). Aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften benötigt es besondere Lager- und Versorgungssysteme an Bord und an Land und bedeutet damit eine besondere Herausforderung.

Ethan ist neben Methan einer der Hauptbestandteile von Erdgas. Es wird zum Heizen, zum Kochen, als chemischer Rohstoff oder auch als Kältemittel in Klimaanlage verwendet. In der Schifffahrt wird es ausschließlich als Boil-off von Ethantankern als Kraftstoff eingesetzt.

Biodiesel und **Bioliquids** sind Kraftstoffe, die aus erneuerbaren Quellen wie pflanzlichen Ölen, Tierfetten oder Bio-masse hergestellt werden. Es gibt verschiedene Varianten, darunter Hydroprocessed Vegetable Oil (**HVO**), Fatty Acid Methyl Ester (**FAME**), **Biofuel Oil** und Biomass-to-Liquid (**BtL**). Sie haben unterschiedliche Herstellungsverfahren und chemische Eigenschaften, haben jedoch alle den Vorteil einer reduzierten Treibhausgasemission im Vergleich zu herkömmlichen fossilen Kraftstoffen. Biokraftstoffe werden oft als Beimischung zu konventionellen Kraftstoffen verwendet. Sie können in herkömmlichen Dieselmotoren verwendet werden, ohne dass größere Modifikationen erforderlich sind.

Ammoniak ist eine chemische Verbindung, die aus den Elementen Stickstoff (N) und Wasserstoff (H) besteht und bei Normalbedingungen gasförmig ist. Es kann unter Druck verflüssigt werden, um als Schiffskraftstoff verwendet zu werden. Ammoniak hat eine hohe Energiedichte, die es zu einer effizienten Energiequelle macht. Bei der Verbrennung werden praktisch keine Kohlenstoffemissionen verursacht. Es entsteht jedoch Lachgas (N₂O), das einen hohen Treibhauseffekt hat. Ammoniak ist giftig und erfordert daher strenge Sicherheitsvorkehrungen, um das Risiko von Unfällen und Lecks zu minimieren. Für den Einsatz von Ammoniak ist daher eine geeignete Infrastruktur, wie Anlagen für die Lagerung, den Transport und die Handhabung, notwendig.

Wasserstoff (H₂) kann durch Verbrennung oder mittels Brennstoffzellentechnologie als Strom zum Antrieb von Schiffen genutzt werden. Das Potenzial eines emissionsfreien Antriebs bieten beide Verwendungen jedoch nur, wenn der Wasserstoff mithilfe grünen Stroms erzeugt wird. Bisher wird er hauptsächlich durch die Dampfreformierung von Erdgas gewonnen, was mit CO₂-Emissionen verbunden ist. Die weltweite Wasserstoffgewinnung ist derzeit zu gering, um den Bedarf der Branche zu decken und die Kosten für grünen Wasserstoff sind im Vergleich zu konventionellen Schiffskraftstoffen um ein Vielfaches höher. Herstellung, Transport, Lagerung und Handhabung sind für die Hochseeschifffahrt noch nicht ausgereift und machen eine aufwendige, herausfordernde Infrastruktur in den Häfen und Umrüstungen von Schiffen notwendig.

Diese Entwicklung setzt sich im Orderbuch fort (Tabelle 5). Von 3.575 Handelsschiffen im Orderbuch sollen mit 1.864 nur noch knapp die Hälfte der Schiffe mit Destillaten als Primärkraftstoff betrieben werden. Etwa 21% (743) der bestellten Schiffe werden

⁵ Für weitere Informationen zu den Kraftstoffen siehe etwa DMZ (2022), International Chamber of Shipping (2022).

LNG nutzen können, wobei der prozentuale Anteil der mit LNG angetriebenen Flüssiggastanker mit 284 Schiffen deutlich geringer ist als bei der aktuell bestehenden Flotte. LNG wird künftig zunehmend auch für andere Schiffstypen wie Autotransporter, Kreuzfahrtschiffe, Containerschiffe und Öltanker eingesetzt.⁶ Aus dem Orderbuch ergibt sich, dass Reedereien beginnen, nicht nur LNG, sondern auch andere alternative Kraftstoffe für unterschiedliche Schiffstypen einzusetzen. Zwar wird LPG und Ethan weiterhin nur für Flüssiggastanker genutzt. Aber unter den 60 mit Methanol betriebenen Schiffen im Orderbuch sind nur zwei Chemikalien-tanker. Die übrigen 58 sind Containerschiffe, die in den letzten zwei Jahren bestellt wurden. Sie markieren den Beginn der Nutzung von Methanol als kommerziellen Schiffskraftstoff. Weiterhin wurden drei Kreuzfahrtschiffe bestellt, für die Wasserstoff als Primärkraftstoff genannt wird: das Kreuzfahrtschiff Icon Of The Seas und seine beiden Schwesterschiffe. Diese Schiffe sollen mit Brennstoffzellentechnologie ausgestattet werden, fahren aber primär mit einem Dual-Fuel-Antrieb für LNG und Destillat.⁷ Bemerkenswert ist der Einsatz von Brennstoffzellen trotzdem. Kreuzfahrtschiffe stehen hinsichtlich des Klimaschutzes stärker in der öffentlichen Wahrnehmung und Kritik als die anderen hier betrachteten Schiffstypen. Es besteht daher ein gesteigertes öffentliches Interesse, ihre Klimabilanz durch den Einsatz emissionsärmerer Kraftstoffe und Technologien zu verbessern.⁸

Tabelle 5

Kraftstoffe im Orderbuch nach Schiffstypen

Schiffstyp	Destillat	Ethan/LPG	Wasserstoff	LNG	Methanol	Keine Angabe
Insgesamt	1.864	96	3	744	60	783
Bulker	529	-	-	35	-	274
Produkten- und Chemikalien-tanker	223	-	-	30	2	24
Containerschiffe	575	-	-	183	58	54
General Cargo	135	-	-	11	-	311
Flüssiggastanker	39	96	-	284	-	2
Öltanker	145	-	-	42	-	11
Autotransporter	18	-	-	112	-	-
Kreuzfahrtschiffe	41	-	3	22	-	5
Andere Passagier-/RoRo-/Frachtschiffe	159	-	-	25	-	102

Orderbuch insgesamt: 3.575, Schiffstyp nicht angegeben: 25

Alternative Kraftstoffe als primärer Kraftstoff angegeben

Quelle: S&P Global (2023)

Möglicherweise fällt der tatsächliche Anteil von Schiffen, die LNG oder andere alternative Kraftstoffe einsetzen können, höher aus, denn bei 789 Schiffen im Orderbuch sind noch keine Angaben zum Primärkraftstoff enthalten. Dies ist überproportional häufig bei neueren Bestellungen im Orderbuch der Fall (2021: 15%, 2022: 27%, 2023: 40%), einem Zeitraum in dem sich die Bestellungen von Schiffen mit alternativen Kraftstoffen erhöht haben.

Trotz des Trends zu alternativen Kraftstoffen werden bekannte und etablierte Kraftstoffsysteme, also Destillate, weiterhin flächendeckend zum Einsatz kommen, denn in praktisch allen angegebenen Fällen sollen sie zusätzlich verwendet werden. Dies hat vor allem drei Gründe.⁹ Erstens bestehen noch immer Unsicherheiten bei der Verfügbarkeit, der Regulatorik und den technischen Standards der unterschiedlichen alternativen Kraftstoffe. Zweitens verlangen IMO-Regularien zusätzliche redundante Kraftstoffsysteme, um die Manövrierfähigkeit bei Ausfällen zu gewährleisten. Drittens erfordert die Antriebstechnik ein Pilot Fuel, das in die Brennkammer injiziert wird, um die Zündung auszulösen.¹⁰

⁶ In wenigen Fällen wird im Orderbuch auch „verflüssigtes Biogas“ als Kraftstoff angegeben. Diese Angabe muss unter Vorbehalt betrachtet werden und ist hier nicht ausgewiesen, da es technisch für den Schiffsantrieb keinen Unterschied macht, ob Methan aus fossilen Quellen (LNG) oder aus Biogas zum Einsatz kommt. Es kann jedoch ein Hinweis darauf sein, dass vermehrt Biogas eingesetzt werden soll.

⁷ Vgl. <https://www.offshore-energy.biz/first-of-six-multi-fuel-engines-started-on-lng-powered-icon-of-the-seas/> (Stand: 03.07.2023), S&P Global (2023).

⁸ Der dadurch prinzipiell bestehende Anreiz für die Reeder, in diesem Segment eine Vorreiterrolle beim Einsatz alternativer Kraftstoffe einzunehmen, reicht laut NABU aber nicht für ein effektives Umdenken. Vgl. Durth (2020), <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/verkehr/schifffahrt/kreuzschifffahrt/32650.html> (Stand: 03.07.2023).

⁹ Vgl. S&P Global (2023).

¹⁰ Vgl. DMZ (2022).

Viele Schiffe besitzen sogenannte, von Schiffsklassifikationsgesellschaften ausgestellte Fuel-Ready-Zertifikate. Sie belegen, dass beim Bau eines Schiffes bereits die technischen Voraussetzungen für eine spätere Umrüstung auf alternative Kraftstoffe geschaffen wurden. Wenn sich Reedereien für diese mit Mehrkosten verbundene Ausrüstung und Zertifizierung entscheiden, werden sie in der Regel eine Strategie verfolgen. Ob diese Option eines Umbaus später auch genutzt wird, ist damit nicht gesagt, auch weil mitunter noch gar nicht alle technischen Anforderungen für einen Kraftstoff in der offiziellen Regulatorik definiert sind. Für die Ausgestaltung der Zertifikate sind die Klassifikationsgesellschaften verantwortlich. Daher können je nach Aussteller Unterschiede zwischen den technischen Anforderungen bestehen und es ist nicht gewährleistet, dass sie den offiziellen Vorgaben entsprechen werden. Trotzdem können die Fuel-Ready-Zertifikate als Indikator betrachtet werden, welche Kraftstoffe zukünftig verstärkt zum Einsatz kommen werden.

Tabelle 6
„Fuel-Ready-Zertifikate“ für alternative Kraftstoffe

Schiffstyp	Ammoniak Ready		Methanol Ready		LNG Ready	
	Flotte	Orderbuch	Flotte	Orderbuch	Flotte	Orderbuch
Insgesamt	32	114	4	66	343	91
Bulker	4	24	-	-	79	4
Produkten- und Chemikalientanker	-	12	4	4	55	10
Containerschiffe	2	39	-	51	127	61
General Cargo	-	5	-	3	3	-
LPG-Tanker	6	10	-	-	3	1
Öltanker	20	1	-	-	61	12
Autotransporter	-	23	-	8	-	-
Kreuzfahrtschiffe	-	-	-	-	-	-
Andere Passagier-/RoRo-/Frachtschiffe	-	-	-	-	15	1

LNG ready: Als „Gas ready“ in Sea-web Ships ausgewiesen
 Orderbuch insgesamt: 3.575; Handelsschiffe insgesamt: 64.031
 Quelle: S&P Global (2023)

Bei den Fuel-Ready-Zertifikaten wird neben LNG und Methanol auch Ammoniak als zukünftiger Kraftstoff berücksichtigt.¹¹ Insgesamt besitzen 32 bereits in Dienst gestellte Schiffe und 114 Schiffe im Orderbuch ein Ammoniak-Ready-Zertifikat. Mit dem Methanol-Ready-Zertifikat sind bislang nur vier Produkten- und Chemikalientanker ausgestattet. Im Orderbuch sind es hingegen 66, darunter 51 Containerschiffe. LNG ist als Kraftstoff schon länger etabliert. Daher sind bereits 343 mit einem LNG-Ready-Zertifikat ausgestatteten Schiffe unterschiedlichen Typs in der Gesamtflotte. Dies zeigt jedoch auch, dass die Zertifizierung nicht zwangsläufig eine schnelle Umrüstung bedeutet, denn einige der Schiffe sind bereits seit 2015 im Betrieb. Obwohl mittlerweile viele Schiffe von vornherein mit LNG als Kraftstoff bestellt werden, befinden sich auch 91 Schiffe im Orderbuch, die das LNG-Ready-Zertifikat tragen, darunter hauptsächlich Containerschiffe (61).

Insgesamt sind weniger als 2% der Schiffe mit Antrieben für alternative Kraftstoffe ausgestattet. Jedoch ist besonders in den letzten Jahren eine Zunahme von Schiffen unterschiedlichen Typs mit LNG-Kraftstoff in der Flotte zu beobachten. Dieser Trend spiegelt sich auch im Orderbuch wider. Etwa 21% der geordneten Schiffe sollen primär mit LNG fahren können. Diese 743 Schiffe stellen nach ihrer Fertigstellung in den kommenden Jahren mehr als eine Verdoppelung der bestehenden, mit LNG betriebenen Schiffe dar.¹² Dazu kommen die ersten 58 in den letzten zwei Jahren bestellten Containerschiffe, die mit Methanol betrieben werden sollen. Andere Kraftstoffe wie LPG, Ethan und Methanol werden nur auf dafür spezialisierten Transportschiffen verwendet und spielen daher nur eine Nischenrolle. Erste Schiffe in der Flotte und zahlreiche Schiffe im Orderbuch sind aber mit Fuel-Ready-Zertifikaten für Methanol und auch Ammoniak ausgestattet.

Diese Ergebnisse zeigen, dass sich die Schifffahrt derzeit an einem Wendepunkt befindet. In den nächsten Monaten und Jahren wird also die Nachfrage nach alternativen Schiffskraftstoffen spürbar ansteigen, derzeit vor allem nach LNG, absehbar aber auch

¹¹ Andere „Fuel-Ready“-Zertifikate wie beispielsweise „Hydrogen-Ready“ sind in der Sea-web Ships Datenbank von S&P Global nicht aufgeführt. Clarksons Research weist in seinem *Green Technology Tracker Report* vom Mai 2023 neun „Hydrogen-Ready“ Schiffe aus.

¹² Summe der Fertigstellungen laut Orderbuch: 2024: 395; 2025: 612; 2026: 717.

nach Methanol. Antriebstechnologien für Ammoniak befinden sich derzeit noch in der Testphase¹³, sollen aber perspektivisch ab 2024 erprobt werden.¹⁴ Die Entwicklung bekräftigt die Einschätzung vieler Branchenvertreter, dass sich in absehbarer Zukunft kein alternativer Kraftstoff exklusiv durchsetzen wird, sondern es einen Mix aus unterschiedlichen Kraftstoffen und Antriebstechnologien geben wird.¹⁵ Da aber 98% der Flotte mit konventionellen Kraftstoffen fahren, wird diese Nachfrage weiterhin eine dominierende Rolle in der Schifffahrt spielen. Verstärkt wird dies durch den Umstand, dass alternative Kraftstoffe fast exklusiv im Zusammenhang mit Dual-Fuel-Antrieben eingesetzt werden und Schiffe dadurch weiterhin auch konventionelle Kraftstoffe nutzen können.

3. Einsatz von Biofuels und E-Fuels

Die dargestellten Antriebstechnologien geben an, mit welcher Art Kraftstoff Schiffe angetrieben werden. Aktuell und in den kommenden Jahren sind dies hauptsächlich Motoren für konventionelle Kraftstoffe sowie für LNG und Methanol, perspektivisch auch für Ammoniak. Für alle diese Antriebe existieren auch sogenannte Biofuels und E-Fuels, also aus Biomasse bzw. mittels elektrischer Energie aus Wasser und CO₂ gewonnene Kraftstoffe. Sie sind CO₂-arm bis -neutral, weitestgehend mit den bestehenden Antriebstechnologien und der dazugehörigen Infrastruktur kompatibel und können daher alternativ zu Kraftstoffen aus fossilen Quellen verwendet werden. Damit entfallen Kosten für Umrüstungen und zusätzliche Infrastruktur. Zu fossilen Kraftstoffen beigemischt, verbessern sie deren Klimabilanz, um etwa strenger werdende Emissionsvorgaben zu erfüllen.

Am verbreitetsten sind derzeit Biofuels auf Basis von Nutzpflanzen sowie von pflanzlichen und tierischen Fetten. Sie stehen jedoch zum Teil in der Kritik, mit der Nahrungsproduktion zu konkurrieren, Monokulturen sowie ineffiziente Landnutzung zu fördern und damit nicht nachhaltig zu sein.¹⁶ Neue Verfahren versuchen diese Kritik aufzugreifen und Biofuels aus organischen Abfällen und Rückständen bestehender Nutzpflanzen herzustellen. Um im größeren Maßstab als Kraftstoffalternative zur Verfügung zu stehen, bedarf es allerdings erheblicher Investitionen zum Ausbau der Kapazitäten.¹⁷

Auch wenn Biofuels prinzipiell mit bestehenden Antriebstechnologien kompatibel sind, muss für den Einsatz an Bord getestet werden, ob es durch die stofflichen Unterschiede zu technischen Beeinträchtigungen kommen kann. Durch den organischen Ursprung von Biofuels kann es, besonders bei längerer Lagerung, zu Bakterien- und Schimmelwachstum kommen. Außerdem können die Kraftstoffe empfindlicher auf Temperaturunterschiede und aggressiver mit anderen Stoffen reagieren. In Folge kann es zu Ablagerungen, Korrosion und Verklumpungen kommen. Dies kann den Schiffsmotor direkt betreffen, aber auch Rohrleitungen, Schläuche, Dichtungen, Filter und Beschichtungen. Für Reedereien ist es daher unerlässlich zu überprüfen, ob diese Komponenten ihrer Schiffe mit Biokraftstoffen kompatibel sind oder ersetzt bzw. häufiger gewartet werden müssen.¹⁸

E-Fuels sind aktuell in der Herstellung sehr teuer und kommerziell nicht verfügbar, da grüner Strom nur begrenzt hergestellt wird und eine CO₂-Lieferkette fehlt. Sie werden aus diesem Grund hier nicht weiter betrachtet. In den nächsten Jahren sind erste Pilotprojekte zu erwarten. Unter anderem verfolgt Maersk mehrere Projekte, mit denen ab 2025 bis zu 900.000 Tonnen E-Methanol pro Jahr für ihre Flotte produziert werden sollen.¹⁹

¹³ Vgl. <https://www.thedcn.com.au/news/containers-and-container-shipping/companies-to-design-ammonia-dual-fuelled-ship-for-msc/> (Stand: 03.07.2023).

¹⁴ Vgl. <https://www.hellenicshippingnews.com/how-long-before-ammonia-sets-sail/> (Stand: 03.07.2023).

¹⁵ Vgl. Global Maritime Forum (2023a).

¹⁶ Vgl. Jeswani, Chilvers, Azapagic (2020).

¹⁷ Vgl. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/insight/business-insights/biofuels-transitional-marine-fuel/> (Stand: 03.07.2023).

¹⁸ Vgl. <https://www.dnv.com/news/use-of-biofuels-in-shipping-240298> (Stand: 03.07.2023).

¹⁹ Vgl. Transport & Environment (2023), <https://www.maersk.com/news/articles/2022/03/10/maersk-engages-in-strategic-partnerships-to-scale-green-methanol-production> (Stand: 03.07.2023).

4. Einflussfaktoren auf die Nachfrage nach alternativen Kraftstoffen

Die Entwicklung der Schiffsflotte zeigt, dass zunehmend Antriebstechnologien für alternative Kraftstoffe eingesetzt werden. Zugleich steigt die Anzahl der eingesetzten Technologien. Wie Tabelle 5 zeigt, ist LNG als Kraftstoff am weitesten etabliert, gefolgt von Methanol und Ammoniak. Dazu kommen Biofuels, die in zunehmender Menge als nachhaltigere Alternativen zu fossilen Brennstoffen zur Verfügung stehen werden. Gleichzeitig werden die konventionellen Kraftstoffe über Dual-Fuel-Motoren weiterhin auch für Schiffe, die mit alternativen Kraftstoffen fahren, als Option zur Verfügung stehen müssen. Damit wird zukünftig eine große Bandbreite an Kraftstoffen nachgefragt werden, die in Art und Menge von unterschiedlichen Marktfaktoren beeinflusst sein wird. Ende 2022 wurden Reedereien in einem Survey zu ihrer Einschätzung zum Kraftstoffeinsatz auf dem Weg zur Dekarbonisierung der Schifffahrt befragt.²⁰ Vier Einflussfaktoren wurden als wichtigste Kriterien für den Einsatz alternativer Kraftstoffe genannt:

- Verfügbarkeit alternativer Kraftstoffe,
- Verringerung der Kosten alternativer Kraftstoffe,
- Anpassung der Regulatorik,
- Zahlungsbereitschaft der Kunden für einen „grünen Aufschlag“.

Diese zentralen Einflussfaktoren für die aktuelle Nachfrageentwicklung werden im Folgenden näher analysiert.

4.1 Verfügbarkeit alternativer Kraftstoffe

Damit ein alternativer Kraftstoff verfügbar ist, müssen die nötigen Ressourcen zur Herstellung, die Produktionskapazitäten und Bunkermöglichkeiten vorhanden und gesichert sein. Nur dann werden Schiffe mit entsprechender Antriebstechnologie bestellt und der Kraftstoff auch eingesetzt. Abhängig vom Reifegrad der Technologie und der Etablierung am Markt sind diese Voraussetzungen für viele alternative Kraftstoffe noch nicht gegeben und die Verfügbarkeit entsprechend unsicher bzw. begrenzt.

LNG ist der am stärksten etablierte alternative Kraftstoff und entsprechend gut verfügbar. Anfang 2023 war LNG weltweit verteilt in 161 Häfen erhältlich. Bis Ende 2024 sollen es 242 (+50%) Häfen sein.²¹ Für das bis jetzt erst sehr begrenzt eingesetzte Methanol zählt DNV weltweit 118 Lagerinfrastrukturen in Häfen und parallel dazu 116 Bunkermöglichkeiten. Sie sind jedoch ausschließlich per Tank-Lkw verfügbar, zumal die tatsächliche Verfügbarkeit und Ausgestaltung der Bunkerservices nicht verifiziert sind. Andere Bunkermöglichkeiten sind bis heute nur in Planung, unter anderem planen Rotterdam und Singapur den Einsatz entsprechender Bunkerschiffe.²² Für Ammoniak bestehen bisher nur potenzielle Lagerinfrastrukturen, Bunkermöglichkeiten sind, ebenso wie Schiffe, die Ammoniak nutzen, nicht verfügbar, sondern nur in Planung.²³ So plant etwa Hapag-Lloyd zusammen mit Mabanaf, Bunkermöglichkeiten im Hamburger Hafen zu entwickeln.²⁴

Die Verwendung von Biofuels stieg 2022 merklich an. Rotterdam und Singapur verzeichneten Bunkermengen von ca. 280 Tsd. Tonnen Biofuels, überwiegend als Beimischung (Biodiesel) zu konventionellem Kraftstoff. Dies entspricht etwa 0,1% des gesamten jährlichen Kraftstoffverbrauchs der Schifffahrt. Insgesamt existieren 2023 weltweit etwa 5.000 Produktionsanlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 11 Mio. Tonnen nachhaltiger Biofuels.²⁵ Bis 2026 ist ein Anstieg auf 23 Mio. Tonnen durch eine Vielzahl entsprechender Projekte zu erwarten. Trotz dieses starken Anstiegs wird damit keine ausreichende Menge an Biofuel zur Verfügung stehen, um einen signifikanten Einfluss auf die Schiffsemissionen zu haben, da die Schifffahrt bei der Nutzung der Kraftstoffe in direkter Konkurrenz mit dem Luft- und Straßenverkehr steht. Für eine Erhöhung der verfügbaren Mengen ist ein Ausbau sowohl der Produktionskapazitäten als auch der verwendbaren nachhaltigen Biomasse nötig.²⁶

²⁰ Anzahl der teilnehmenden Redereien: 29. Befragungszeitraum Oktober bis November 2022. Vgl. Global Maritime Forum (2023a).

²¹ Vgl. Clarksons Research (2023).

²² Vgl. DNV Alternative Fuels Insight (2023).

²³ Ebd.

²⁴ Vgl. <https://hansa-online.de/2023/01/featured/208318/hapag-loyd-und-mabanaf-pruefen-ammoniak-bunkerung/> (Stand: 03.07.2023).

²⁵ Definiert als Kraftstoffe aus Biomasse aus Abfallprodukten.

²⁶ Vgl. DNV (2023).

Bio-LNG ist kommerziell verfügbar, jedoch bislang nur in sehr geringen Mengen.²⁷ Doch parallel zur Zunahme LNG-betriebener Schiffe steigt derzeit auch die Produktion von Bio-LNG. Laut EBA Statistical Report 2022 gab es in Europa bis Ende 2021 15 Anlagen zur Bio-LNG-Produktion. Für die kommenden Jahre wird ein deutlicher Anstieg erwartet. Bis 2025 sollen 100 neue Anlagen entstehen. Dies entspricht einem Anstieg der jährlichen Produktionskapazität von etwa 0,6 TWh in 2020 auf 12,4 TWh.²⁸ Biomethanol ist noch nicht in kommerziellen Mengen verfügbar, sondern wird bislang nur in ersten Projekten erprobt.²⁹ Mit den ersten Methanol-containerschiffen im Orderbuch wird erwartet, dass Biomethanol ab 2024 oder 2025 erstmals für den normalen Betrieb als Schiffskraftstoff verfügbar ist und eingesetzt wird, wenn auch in geringen Mengen.³⁰ Ein Treiber der Entwicklung ist Maersk, die bereits daran arbeitet, Partnerschaften und Vereinbarungen mit Produktions- und Bunkeranbietern für ihre neuen Methanolcontainerschiffe abzuschließen, um unter anderem Biomethanol produzieren zu lassen. Dadurch sollen Kapazitäten von 130.000 Tonnen Biomethanol bis Ende 2024 und 630.000 Tonnen pro Jahr nach 2025 geschaffen werden.³¹

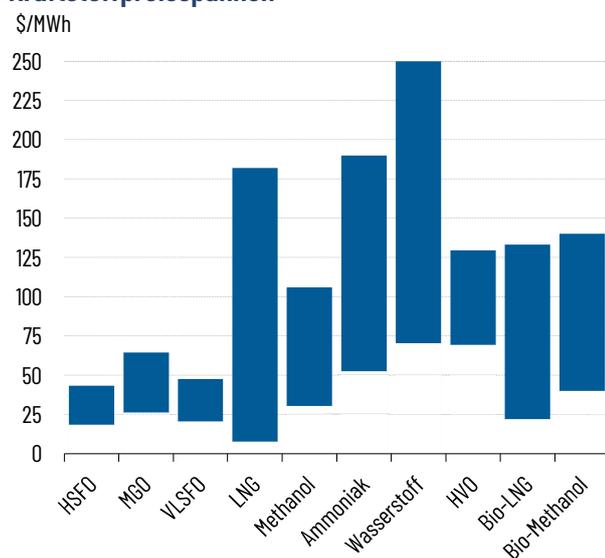
4.2 Kosten alternativer Kraftstoffe

Der Kraftstoffpreis ist ein wesentlicher Kostenfaktor in der Schifffahrt. Abhängig vom Schiffstyp und dem Einsatz macht der Kraftstoffverbrauch 50%–60% der gesamten Betriebskosten aus. Die Nachfrage nach alternativen Kraftstoffen wird also maßgeblich von deren Preisen bzw. den Preisen für andere infrage kommende Kraftstoffe bestimmt.

Abbildung 1 zeigt die Preisspannen für einige wichtige konventionelle und alternative Kraftstoffe.³² Die Preisdarstellung erfolgt zur besseren Vergleichbarkeit als US-Dollar pro Megawattstunde (MWh). Die Preisspannen ergeben sich zum einen aus Preisschwankungen im Zeitverlauf, zum anderen können sie, besonders bei Kraftstoffen, für die noch kein etablierter Markt besteht, auch Ausdruck unterschiedlicher Hypothesen, Datengrundlagen und Methodiken in den verwendeten Quellen sein. Sie sind damit auch Ausdruck der Unsicherheit, mit denen Aussagen zu den Kosten behaftet sind.

Abbildung 1

Kraftstoffpreisspannen



Quellen: DMZ (2022), IEA (2020), Methanol Institute (2023), SEA-LNG (2022), Solakivi et al. (2022), T&E (2022)

²⁷ Vgl. International Energy Agency (2020).

²⁸ Vgl. European Biogas Association (2022), Goedhart (2022), <https://www.europeanbiogas.eu/bio-lng-can-support-europes-journey-towards-sustainable-mobility-by-2050/> (Stand: 03.07.2023).

²⁹ Vgl. Methanol Institute (2023).

³⁰ Vgl. DNV (2022).

³¹ Vgl. <https://www.maersk.com/news/articles/2022/03/10/maersk-engages-in-strategic-partnerships-to-scale-green-methanol-production> (Stand: 03.07.2023).

³² Keine Darstellung von LPG und Ethan, da diese fast ausschließlich in entsprechenden Tankern eingesetzt werden. Methanol, Ammoniak und Wasserstoff aus fossilen Quellen.

Die Preise für konventionelle Kraftstoffe liegen nahe beieinander, weisen geringe Spannen auf und sind im Vergleich zu den alternativen Kraftstoffen niedrig. Die geringe Preisspanne ist Ausdruck eines etablierten Marktes mit bekannten Preismechanismen. Konventionelle Schiffskraftstoffe sind speziell für den Einsatz in Schiffsmotoren ausgelegt. Theoretisch können sie zwar auch in einigen Industriefahrzeugen und Lokomotiven zum Einsatz kommen, praktisch gibt es jedoch kaum Nutzungskonkurrenz. Damit variiert der Preis primär mit den weltweiten Erdölfördermengen und der konjunkturell bedingten Transportnachfrage.

Der Markt für LNG ist ebenfalls bereits etabliert. Er weist allerdings auch eine im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen sehr große Preisspanne auf, wobei der untere Preisbereich niedriger ansetzt. Dies hängt mit den teilweise sehr niedrigen LNG-Preisen der letzten Jahre in den USA zusammen. Der obere Preisbereich liegt hingegen bei etwa 180 US-Dollar pro MWh, mehr als 20-mal höher als der niedrigste Preis und deutlich höher als die angegebenen Höchstpreise für Methanol und Biokraftstoffe. Die Preisspitzen hängen mit der hohen Nachfrage nach LNG in der Energiekrise im Zuge des Ukrainekriegs zusammen. Der Wegfall russischer Erdgaslieferungen 2022 führte in Europa zum Aufkauf großer LNG-Mengen und damit zu einem starken Preisanstieg. Zuvor lagen die Höchstpreise bei knapp 40 US-Dollar pro MWh. Dieses Beispiel zeigt, wie andere Verwendungsbereiche einen starken Einfluss auf die Preisdynamik von Kraftstoffen haben können. Die hohe Nachfrage aus einem anderen Sektor führte dazu, dass der Betrieb von Schiffen mit LNG deutlich unrentabler wurde. In der Folge entschieden sich mehrere Reedereien wie Aida und Costa, ihre LNG-fähigen Schiffe mit konventionellen Kraftstoffen fahren zu lassen.³³

Der Preisbereich für graues Methanol liegt etwas höher als für die konventionellen Kraftstoffe, wobei der untere Bereich von 30 bis 40 US-Dollar pro MWh vergleichbar mit den LNG-Preisen der letzten Jahre in vielen Regionen ist. Die Höchstpreise hängen mit Preisspitzen im Jahr 2021 zusammen, die jedoch im Vergleich zu LNG weniger kräftig ausfielen. Ammoniak und Wasserstoff weisen sehr große Preisspannen auf. Sie sind noch nicht als Schiffskraftstoffe etabliert, wodurch keine belastbaren Marktpreise vorliegen. Da es sich um Kraftstoffe aus fossilen Quellen handelt, hängen die hohen Preise im oberen Bereich mit den hohen Kosten für Erdgas als Rohstoff zusammen. HVO ist unter den Biofuels am stärksten etabliert. Seine Preisspanne liegt im Vergleich zu MGO etwas doppelt so hoch. Bio-LNG und Biomethanol sind bis heute nur in geringen Mengen verfügbar. Die Preisspannen beschreiben daher eher einen Möglichkeitsraum als tatsächliche Preisentwicklungen. Im oberen Bereich liegen sie leicht über HVO. Die unteren Preisbereiche deuten jedoch darauf hin, dass bei der Herstellung aus Biomasse auch Preise möglich sein können, die einen Einsatz rentabel machen. Auf eine Darstellung von synthetischen E-Fuels wird verzichtet, da sie aktuell und in den nächsten Jahren wahrscheinlich kaum eine Rolle spielen. Aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie gehen Schätzungen von aktuellen Preisen zwischen 300 und 500 US-Dollar pro MWh aus.

4.3 Regulatorik

Die Etablierung alternativer Kraftstoffe erfordert einen sicheren Rechtsrahmen für Eigner und Betreiber von Schiffen. Nur mit verlässlichen Vorgaben für die Konstruktion von Schiffen mit Antrieben für alternative Kraftstoffe und die Handhabung dieser Kraftstoffe besteht die nötige Rechtssicherheit, dass solche Schiffe und Kraftstoffe nachgefragt, finanziert und eingesetzt werden. Darüber hinaus können gezielte Regelungsmechanismen den Einsatz alternativer Kraftstoffe fördern, insbesondere durch die Vorgabe von Emissionsgrenzwerten und die Bepreisung von Emissionen, etwa durch Besteuerung, Abgaben oder Zertifikathandel.³⁴

Ein wichtiges internationales Regelwerk für den Einsatz alternativer Kraftstoffe ist der IGF-Code der IMO.³⁵ Er ergänzt andere internationale Regelwerke wie SOLAS³⁶ und enthält spezifische Anforderungen für den Bau, die Ausrüstung und den Betrieb von Schiffen, die alternative Brennstoffe nutzen. Der Zweck des IGF-Codes besteht darin, einen internationalen Standard für Schiffe bereitzustellen, die nicht vom IGC-Code abgedeckt sind und mit Gas oder Flüssigkeiten mit niedrigem Flammpunkt als Kraftstoff betrieben werden. LNG ist bereits in den IGF-Code aufgenommen. Für Methanol und den Einsatz von Wasserstoff in Brennstoffzellen bestehen Übergangsrichtlinien, die Grundlage für eine Implementation in den IGF-Code sind. Für LPG und Ammoniak gibt es

³³ Vgl. <https://www.abendblatt.de/hamburg/article237299237/Hohe-Preise-Kreuzfahrtschiffe-fahren-mit-Diesel-statt-LNG.html> (Stand: 03.07.2023).

³⁴ Für eine Übersicht internationaler und nationaler Regularien siehe European Maritime Safety Agency (2022).

³⁵ IGF: International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels.

³⁶ SOLAS: International Convention for the Safety of Life at Sea, eine UN-Konvention zur Schiffssicherheit.

noch keine detaillierten Anforderungen. Sie könnten sich an bestehenden Regularien für den Transport (v. a. IGC- und IBC-Code³⁷) dieser Kraftstoffe und an Klassennotationen orientieren.³⁸ Auch Biofuels sind bislang nicht im IGF-Code enthalten. Sicherheitstechnisch gibt es jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen Biofuels und ihren fossilen Gegenstücken, wodurch eine Adaption problemlos möglich sein sollte.³⁹

Auf den internationalen Regelungen basieren üblicherweise die lokalen Vorschriften für den Umschlag, den Transport und das Bunkern von Kraftstoffen in Häfen. Sie sind Voraussetzung, wenn in einem Hafen ein bestimmter Kraftstoff zum Bebunkern von Schiffen verfügbar sein soll. Da Bunkerregularien auf nationaler Ebene oder auch kommunal oder hafenspezifisch erlassen werden, ist eine weltweit breite Umsetzung essenziell für die Entscheidung der Reedereien, ob sie mit alternativen Kraftstoffen fahren und entsprechende Schiffe bestellen.⁴⁰ Ein Schritt für die Umsetzung in der EU ist der Alternative Fuels Infrastructure Directive (AFID) im Rahmen von *Fit for 55*⁴¹. In diesem Gesetzespaket sind die Regelungen für die geplante Bunkerinfrastruktur für Wasserstoff, Ammoniak, Methanol und LNG in EU-Häfen bis 2025 bzw. 2030 enthalten.⁴²

Die besprochenen Kraftstoffe verbrennen sauberer und verursachen weniger Treibhausgasemissionen bzw. sind durch nachhaltige Erzeugung emissionsreduziert oder -neutral. Diese Vorteile kommen jedoch nur voll zum Tragen, wenn die Kraftstoffe und ihre Eigenschaften in den einschlägigen Vorschriften und Regularien, die die Emissionen von Schiffen betreffen, berücksichtigt werden. Auf internationaler Ebene sind die Strategie der IMO zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und die zur Erreichung der Ziele eingesetzten Werkzeuge im regulatorischen Rahmen des Übereinkommens zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe (MARPOL) von besonderer Bedeutung. Die Strategie der IMO wurde im Juli 2023 überarbeitet und umfasst jetzt das Ziel die Treibhausgasemissionen der Schifffahrt bis etwa 2050 auf null zu senken.⁴³ Darüber hinaus wurden Zwischenziele festgelegt. Bis 2030 sollen die Emissionen um 20% bis 30% gegenüber 2008 sinken. Außerdem soll die CO₂-Intensität (Emissionen pro Tonnen-Meile) um 40% gesenkt werden, weitere 5 % bis 10 %, des Energieverbrauchs der internationalen Schifffahrt sollen durch Technologien, Kraftstoffe oder Energiequellen erfolgen, die keine oder nahezu keine Treibhausgasemissionen verursachen. 2040 sollen die Emissionen um 70% niedriger ausfallen. Grundlage für die Reduzierung soll eine Lebenszyklus-Betrachtung der Emissionen von Kraftstoffen sein.

Diese Ziele haben keinen rechtlich bindenden Charakter. Die IMO hat jedoch eine Reihe von Maßnahmen entwickelt, die auf die Umsetzung der Treibhausgas-Strategie abstellen. Unter diesen Werkzeugen zielen mehrere Vorgaben (EEDI, EEXI, CII)⁴⁴ direkt auf die Reduzierung von Treibhausgasemissionen ab. Sie sind so angelegt, dass die Anforderungen an die Schifffahrt schrittweise verschärft werden, um bis 2050 eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen auf null zu erreichen. Der Energy Efficiency Design Index (EEDI) und der Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) geben Ratings auf Basis der Energieeffizienz des Schiffdesigns neuer und bestehender Schiffe an, die ein Fahrzeug mindestens erreichen muss. Gemessen wird die Energieeffizienz über den CO₂-Ausstoß im Verhältnis zur Kapazität und Geschwindigkeit. Die Messung erfolgt auf der sogenannten Tank-to-Wake-Basis, also anhand der Emissionen am Schornstein durch den Kraftstoffverbrauch. EEDI und EEXI sind statische Ratings aufgrund der technischen Ausstattung von Schiffen und technischer Hypothesen. Der Carbon Intensity Indicator (CII) ist hingegen ein operatives Effizienzmaß. Er berechnet sich über den tatsächlichen Kraftstoffverbrauch, Warentransport und die zurückgelegte Strecke. Darüber hinaus hat die IMO die Einführung eines Standards für die Treibhausgasintensität von Kraftstoffen und einer Emissionsabgabe bis zum Jahr 2027 beschlossen.⁴⁵

³⁷ IGC: Internationale Sicherheitsvorschrift für Bau und Ausrüstung von Schiffen zur Beförderung verflüssigter Gase als Massengut auf Seeschiffen, IBC: Internationale Code für den Aufbau und die Ausrüstung von Schiffen, die gefährliche Chemikalien befördern.

³⁸ Vgl. DMZ (2022).

³⁹ Vgl. European Maritime Safety Agency (2022).

⁴⁰ Im Auftrag des DMZ wurde ein Leitfaden entwickelt, für den bestehende rechtliche Regelungen, die auf Bundes-, Landes- und Hafenebene in Deutschland und in ausgewählten EU-Mitgliedsstaaten gelten, miteinander verglichen wurden, und der dazu beitragen soll, die unterschiedlichen Regelungen und Genehmigungsabläufe der einzelnen Bundesländer an den Hafenstandorten zu vereinfachen und zu harmonisieren. Darin werden auch noch in der Entwicklung oder Erprobung befindliche alternative Kraftstoffe berücksichtigt. Vgl. DMZ (2021).

⁴¹ Fit for 55: Ein Paket reformierter und neuer Richtlinien und Verordnungen der Europäischen Kommission zur Klimapolitik der Europäischen Union.

⁴² Vgl. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/sustainability/fit-for-55/alternative-fuels-infrastructure-regulation> (Stand: 03.07.2023).

⁴³ IMO (2023).

⁴⁴ Die IMO hat beschlossen diese Werkzeuge im Rahmen der neuen Strategie der IMO zur Verringerung der Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahren zu überprüfen und anzupassen.

⁴⁵ Die Ausgestaltung dieser Maßnahmen ist noch nicht beschlossen und soll bis 2025 erfolgen.

Auf EU-Ebene existiert eine solche Abgabe bereits. Die Schifffahrt soll in das EU Emission Trading System (EU ETS) aufgenommen werden.⁴⁶ Demnach müssen ab 2024 für den Betrieb größerer Schiffe Emissionsrechte, ebenfalls auf Tank-to-Wake-Basis, erworben werden. Im Rahmen des Fit-for-55-Programms der EU gibt es zudem weitere Initiativen, Schiffsemissionen zu reduzieren. Die FuelEU-Maritime-Verordnung sieht vor, dass größere Schiffe zunehmend strengere Vorgaben in Bezug auf die Treibhausgasintensität erfüllen sollen. Dabei soll eine Well-to-Wake-Betrachtung zugrunde gelegt werden, also die Einbeziehung aller Emissionen, die im Zusammenhang mit Produktion, Transport und Nutzung von Kraftstoffen entsteht. Angestrebt ist eine schrittweise Reduzierung der Emissionen von 6% bis 2030 zu 75% bis 2050.

Die Summe aller Regularien im Zusammenhang mit dem Einsatz alternativer Kraftstoffe ergibt ein komplexes Bild, das besonders für neue Kraftstoffe noch Lücken und Unsicherheiten aufweist. Diese Regelungslücken müssen beseitigt werden, um den Einsatz alternativer Kraftstoffe zu fördern und Sicherheitsstandards für den Einsatz aller Kraftstoffe zu schaffen. Die größten Lücken bestehen für Ammoniak und Wasserstoff, deren Einsatzreife jedoch auch am weitesten in der Zukunft liegt.⁴⁷ Laut EMSA besteht für einige Biofuels noch abschließender Regelungsbedarf.⁴⁸ Sobald die Sicherheitsstandards vervollständigt sind, müssen sie zügig adaptiert werden, damit die rechtlichen Voraussetzungen für das Bunkern aller wichtigen Kraftstoffe in den Häfen geschaffen sind.

Da viele alternative Kraftstoffe um ein Vielfaches teurer als konventionelle Kraftstoffe sind, wäre es hilfreich, wenn der Einsatz emissionsarmer Kraftstoffe durch Anreize gefördert würde. Mit der Einführung und schrittweisen Verschärfung unterschiedlicher Regularien ist zu erwarten, dass der Druck, alternative Kraftstoffe zu nutzen, in den kommenden Jahren ohnehin stetig steigen wird. Bei der Ausgestaltung von Grenzwerten und Preisen für Emissionen wird es darauf ankommen, eine gute Balance zwischen Wirtschaftlichkeit und Anreizsetzung zu finden. Die Emissionsmessung auf der Tank-to-Wake-Basis ist aber problematisch, da damit etwa der Herstellungsprozess von Biofuels und die damit verbundene CO₂-Einsparung nicht berücksichtigt werden. Hier hat die IMO in ihren jüngsten Beschlüssen eine Übergangsregelung beschlossen, damit Biofuels unter bestimmten Voraussetzungen einen CO₂-Umwandlungsfaktor verwenden können, der den Treibhausgasemissionen nach der Well-to-Wake-Betrachtung entspricht. Außerdem sollten neben CO₂ auch weitere Treibhausgase berücksichtigt werden, um falsch Anreize zu vermeiden. Ziel muss eine vollumfängliche Lebenszyklusanalyse bei der Bewertung der Umwelt- und Klimaauswirkungen von Kraftstoffen sein, von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und den Transport bis zur Nutzung. Durch diese sogenannte Well-to-Wake-Betrachtung wird eine objektive Quantifizierung und Bewertung der Emissionen verschiedener Kraftstoffarten möglich. Die Ergebnisse einer Lebenszyklusanalyse können dazu beitragen, die klimaschonenden Potenziale von alternativen Kraftstoffen richtig einzuschätzen und Schwachstellen zu identifizieren. So wird etwa die Bindung von CO₂ durch die Rohstoffe von Biofuels erfasst und mit den Emissionen beim Verbrennen verrechnet. Es würde aber auch das Entweichen von unverbranntem Methan beim Transport und bei der Nutzung von LNG gemessen und den gesamten Emissionen zugerechnet.

Damit strengeren Vorschriften die Kosten in der Schifffahrt steigen werden, sollte bei den Regularien eine intermodale Perspektive eingenommen werden. Zahlreiche Kraftstoffe werden auch in anderen Verkehrssektoren genutzt. Es sollte daher darauf geachtet werden, dass es durch Regularien für die Schifffahrt nicht zu signifikanter Wettbewerbsverzerrung bei der Kraftstoffnachfrage kommt. Außerdem sollte auch eine Verschiebung von Transporten von der Schifffahrt auf andere Verkehrsträger vermieden werden. Durch ihr großes Fassungsvermögen können Schiffe große Mengen an Waren und Rohstoffen laden und sind daher trotz des Einsatzes konventioneller Kraftstoffe pro transportierter Tonne energieeffizienter und emissionsärmer als Lkws, Flugzeuge oder Eisenbahnen. Dieser Vorteil sollte durch den Einsatz alternativer Kraftstoffe ausgebaut werden.

4.4 Zahlungsbereitschaft und Nachfrage für nachhaltigen Transporten

Mit Blick auf die Betriebskosten bietet der Preisvergleich der Kraftstoffe wenig Anreize, alternativen Kraftstoffe zu verwenden. Allerdings besteht aufgrund wachsender Sorgen über den Klimawandel eine höhere Nachfrage nach Gütertransporten und Personenbeförderung mit geringerer Klimawirkung. Verbraucher legen zunehmend Wert auf umweltfreundliche Optionen und bevorzugen Unternehmen, die sich für Nachhaltigkeit engagieren. Laut dem Global Consumer Insights Survey 2023 sind 75% der

⁴⁶ Vgl. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7796 (Stand: 03.07.2023).

⁴⁷ Vgl. DMZ (2022).

⁴⁸ Vgl. European Maritime Safety Agency (2022).

Konsumenten bereit, für eine bessere CO₂-Bilanz bei der Produktion und der Lieferkette bis zu 5% höhere Güterpreise zu zahlen. Fast ein Drittel würde eine Preiserhöhung von mehr als 10% akzeptieren.⁴⁹ Gleichzeitig sehen Unternehmen die Vorteile einer nachhaltigen Lieferkette, da sie ihre eigene Umweltbilanz verbessern und den steigenden Erwartungen der Verbraucher gerecht werden können. Die Konsumentennachfrage ist also ein entscheidender Faktor für die Etablierung und Nutzung alternativer Kraftstoffe in der Schifffahrt. Obwohl diese Kraftstoffe im Vergleich zu konventionellen erdölbasierten Kraftstoffen teurer sind, wird somit der kommerzielle Einsatz ermöglicht. Die internationale Schifffahrt ist nur schwer durch nationale Regelungen zu lenken. Internationale Abkommen brauchen erfahrungsgemäß längere Zeit zur Umsetzung und fallen mitunter weniger ambitioniert aus.

Die Initiative Cargo Owners for Zero Emission Vessels (coZEV) bietet ein Beispiel, wie marktmächtige Unternehmen Einfluss auf die Nachfrage nach emissionsfreien Schiffstransporten nehmen können. Die Mitglieder, unter anderem Firmen wie Amazon, IKEA und Unilever, streben an, ein deutliches Signal für zu senden und bis 2040 ihren Warentransport komplett nachhaltig abwickeln zu wollen.⁵⁰ IKEA hat bereits 2019 in Zusammenarbeit mit GoodShipping, der Reederei CMA CGM und dem Rotterdamer Hafen die erste Containerschifflieferung mit Biofuel durchgeführt.⁵¹ Weitere Beispiele sind die Vereinbarung zwischen DHL Global Forwarding und Hapag-Lloyd sowie zwischen DB Schenker und MSC über die Verwendung moderner Biokraftstoffe für Seetransporte.⁵² Neben dem Warentransport nutzen verschiedene Kreuzfahrtslinien wie MSC Cruises, Aida Cruises und Viking Line teilweise Biokraftstoffe für ihre Schiffe bzw. bieten ihren Kunden dies als Option an.⁵³

Wie die Beispiele zeigen, betrifft der Einsatz alternativer Kraftstoffe vor allem Warentransporte für Endkunden oder Personentransporte. Die oben genannte Kundennachfrage nach klimafreundlicheren Transporten tangiert also vor allem die Kraftstoffnachfrage durch Containerschiffe und Kreuzfahrtschiffe. Bei den Kunden erhöht die direkte Verbindung zwischen der in Anspruch genommenen Transportleistung und der transportierten Ware die Bereitschaft, für eine bessere Klimabilanz des eigenen Konsums einen höheren Preis zu akzeptieren. Es ist zu erwarten, dass diese Entwicklung anhält bzw. weiter zunehmen wird. Dies bietet der maritimen Branche die Möglichkeit, Erfahrungen bei der Produktion und beim Einsatz noch nicht etablierter alternativer Kraftstoffe zu sammeln, auch bei vorerst geringen verfügbaren Mengen. Darüber hinaus hilft es, Akzeptanz für neue Kraftstoffe bei Reedereien und Kunden aufzubauen. Die steigende Nachfrage führt zu einer schnelleren Verbreitung alternativer Kraftstoffe, was wiederum über Skaleneffekte durch Mehrproduktion niedrigere Kraftstoffpreise zeitigt.

Zur Förderung der Nachfrage sind Informationen und Zugänglichkeit zu den entsprechenden Angeboten von hoher Bedeutung. Dafür sollte ein hohes Maß an Transparenz bzgl. des Einsatzes und der Emissionen von Kraftstoffen sichergestellt werden. Um die Zugänglichkeit zu erhöhen, besonders so lange nur begrenzte Kraftstoffkapazitäten verfügbar sind, ist es möglich, ein Book-and-Claim-System anzubieten, bei dem für den Kunden die Möglichkeit besteht, den Einsatz nachhaltiger Kraftstoffe zu buchen, ohne dass der Einsatz zwangsläufig für den Transport der eigenen Ware stattfinden muss. Diese Form der CO₂-Kompensierung fördert direkt die Dekarbonisierung der Schifffahrt.⁵⁴

⁴⁹ Vgl. PwC (2023).

⁵⁰ Vgl. COZEV (2022).

⁵¹ Vgl. <https://www.goodshipping.com/partnerships/ikea> (Stand: 03.07.2023).

⁵² Vgl. <https://logistik-heute.de/news/seefracht-dhl-und-hapag-lloyd-setzen-auf-nachhaltigen-schiffskraftstoff-37390.html> (Stand: 03.07.2023), <https://www.msc.com/en/newsroom/press-releases/2023/db-schenker-and-msc-seal-important-biofuel-deal-to-help-reduce-supply-chain-emissions> (Stand: 03.07.2023).

⁵³ Vgl. <https://maritime-executive.com/article/msc-cruises-commits-to-e-lng-and-shore-power-use> (Stand: 03.07.2023), <https://www.zeit.de/news/2022-07/22/aida-cruises-setzt-erstmal-biokraftstoff-ein> (Stand: 03.07.2023), <https://maritime-executive.com/article/viking-line-passengers-reduce-carbon-footprint-by-paying-for-biogas> (Stand: 03.07.2023).

⁵⁴ Vgl. Global Maritime Forum (2023b).

5. Nachfrageentwicklung und Handlungsfelder

Wie die oben beschriebene Entwicklung der Schiffsflotte zeigt, nimmt die Anzahl der Schiffe mit Antrieben für alternative Kraftstoffe deutlich zu. Somit wird auch die potenzielle Nachfrage nach entsprechenden Kraftstoffen zunehmen, wobei aktuell eine beginnende Auffächerung beim Einsatz unterschiedlicher Kraftstoffe zu beobachten ist. Nach Einschätzung vieler Reedereien werden sich bis 2030 drei oder mehr Kraftstoffarten am Markt etablieren.⁵⁵ LNG wird in den nächsten Jahren deutlich der verbreitetste alternative Kraftstoff bleiben. Als nächster wichtiger Kraftstoff zeichnet sich Methanol ab, besonders, da Maersk zusätzlich zu seinen bestellten Containerschiffen mit Methanolantrieb starke Aktivitäten beim Ausbau der Produktions- und Bunkerinfrastruktur zeigt. Ammoniak und wasserstoffbasierte Antriebstechnologien werden in den nächsten Jahren zunächst eine Testphase durchlaufen, bevor sie sich im kommerziellen Einsatz langsam etablieren können. Biofuels werden in den kommenden Jahren weiter an Bedeutung gewinnen. Dies liegt an der Möglichkeit, mit bestehender Antriebstechnologie potenziell klimaneutrale Kraftstoffe einsetzen zu können, und an der zunehmenden Nachfrage nach nachhaltigen Transporten.

Insgesamt ergibt sich damit eine Situation, die als Wendepunkt oder Pilotphase auf dem Weg zum Ziel *Zero-Emission-Shipping* bezeichnet werden kann. Die Zunahme des Einsatzes alternativer Kraftstoffe beschleunigt sich, auch wenn die Verbrauchsmengen noch gering sind. Es können Erfahrungen gesammelt und die notwendige Technik und Infrastruktur eingeführt werden.⁵⁶ Der Prozess kann als der untere Bereich einer S-Kurven-Entwicklung visualisiert werden. Bei weiterer Verfolgung von Klimaschutzplänen ist im Anschluss an diese Pilotphase eine Wachstumsphase zu erwarten, in der Einsatzmengen und Infrastruktur deutlich zunehmen und konventionelle Kraftstoffe schrittweise verdrängt werden.

Bei den diskutierten Marktfaktoren gibt es Treiber und Hindernisse für den Einsatz alternativer Kraftstoffe. Positive Impulse werden in den nächsten Jahren vor allem von den regulatorischen Rahmenbedingungen und der Nachfrage nach nachhaltigen Transporten ausgehen. Die bereits eingeleiteten Maßnahmen auf internationaler und EU-Ebene werden zunehmend Druck ausüben, klimaschonende Schiffstechnik und Kraftstoffe einzusetzen. Die Entscheidungsträger*innen sollten bei der weiteren Ausgestaltung der einschlägigen Regulatorik darauf achten, dass bestehende Lücken geschlossen werden und alle relevanten Eigenschaften von eingesetzten Kraftstoffen berücksichtigt sind. Hierzu gehört auch der Herstellungsprozess von Biofuels, um deren verringerte Klimawirkung korrekt zu erfassen. Der Tank-to-Wake-Ansatz greift dabei zu kurz. Wenn der Einsatz von Biofuels nicht mehr nur die Klimabilanz von Unternehmen verbessert, sondern auch die Kostenbilanz, ist zu erwarten, dass die Nachfrage nach nachhaltigen Transporten und damit nach entsprechenden Kraftstoffen zusätzlich steigen wird. Die IMO hat hierfür in ihrer letzten Entscheidung die Weichen gestellt. Weiter sollte verhindert werden, dass rechtliche Vorgaben für die maritime Branche signifikante Wettbewerbsverzerrungen erzeugen, sei es auf internationaler Ebene zwischen maritimen Marktteilnehmern oder auch zwischen unterschiedlichen Verkehrssektoren. Auf nationaler Ebene sollte auf eine schnelle Umsetzung internationaler Standards geachtet werden, damit die Schifffahrt sich auf ein hohes Maß an Standardisierung beim Einsatz und Bunkern alternativer Kraftstoffe verlassen kann. Auch dies würde deren Einsatz weiter fördern.

In den nächsten Jahren wird die mangelnde Verfügbarkeit vieler alternativer Kraftstoffe der zentrale limitierende Faktor für deren Einsatz bleiben. Dies und auch die höheren Preise wird die Nachfrage negativ beeinflussen. Fehlende Marktreife und hohe Produktionskosten halten potenzielle Kraftstoffanbieter vielfach noch ab. Das Wissen darum hemmt wiederum Reedereien, in Schiffe mit Antrieben für neue Kraftstoffe zu investieren. Um neben dem bereits recht etablierten LNG auch die Verfügbarkeit weiterer Kraftstoffe wie Methanol, Biofuels und perspektivisch Ammoniak in den nächsten Jahren auszuweiten, ist es entscheidend, den Ausbau der Infrastruktur und der Produktionskapazitäten voranzutreiben. Frühzeitig die Weichen zu stellen, kann sinnvoll sein, denn das Partizipieren und aktive Mitgestalten der Entwicklung bietet potenzielle Vorteile, sogenannte First-Movers Advantages. Ein früher Einstieg in eine Technik ermöglicht einen weichen Übergang in der eigenen Flotte, die Sicherung erster begrenzter Kraftstoffkapazitäten, die strategische Mitgestaltung der Entwicklung an den eigenen Interessen und die Schaffung eines Erfahrungsvorsprungs. Ein Beispiel für einen First-Mover ist die Reederei Maersk, die mit der Bestellung methanolbetriebener Containerschiffe und dem gleichzeitigen Aufbau von Bunkermöglichkeiten und Produktionskapazitäten die Entwicklung dieses Schiffskraftstoffs vorantreibt.

⁵⁵ 81% der befragten Unternehmen gaben an, dass bis 2030 drei (36%) oder vier (45%) und mehr Kraftstoffarten benutzt werden. Vgl. Global Maritime Forum (2023a).

⁵⁶ Vgl. DMZ (2022).

Eine besondere Bedeutung für die Verfügbarkeit alternativer Kraftstoffe kommt den Häfen zu. Sie sind als Bunkerstandorte die Verteiler für die Kraftstoffe. Dabei sind die sieben wichtigsten Bunkerhäfen für knapp 60% der globalen Bunkermengen verantwortlich.⁵⁷ Die gezielte Etablierung einer Lieferkette für einen alternativen Kraftstoff an einem dieser Häfen würde bereits eine große Anzahl an Schiffen erreichen. Wie wäre es mit Rabatten bei den Hafengebühren für Schiffe, die mit nachhaltigen Kraftstoffen fahren?

Ein weiteres Problem bei der Verfügbarkeit ist die Konkurrenz der Nutzer alternativer Kraftstoffe. Biofuels etwa werden auch für den Luft- und Straßentransport genutzt. Es braucht eine intermodale Betrachtung und Koordinierung, um eine optimale Allokation dieser knappen Ressourcen zu gewährleisten.

Neben der begrenzten Verfügbarkeit ist der Preis für alternative Kraftstoffe ein großes Hemmnis für ihren Einsatz. Viele Kraftstoffe sind in der Herstellung teurer als die konventionellen Kraftstoffe, vor allem, wenn die Produktion noch nicht in großem und etabliertem Maßstab erfolgt. Es muss sich erweisen, ob es durch gesetzliche Vorgaben gelingt, finanzielle Anreize zu setzen, die die Nachfrage nach alternativen Kraftstoffen signifikant erhöhen.

Anders als bei den konventionellen Kraftstoffen ist der Preismechanismus bei alternativen Kraftstoffen noch nicht etabliert und unterliegt weiteren Einflussfaktoren. Die mitunter geringen verfügbaren Mengen machen die Preise anfällig für starke Schwankungen bei Nachfrageveränderungen. Außerdem kann es durch die Kraftstoffnutzung in anderen Sektoren zu zusätzlichen Schwankungen kommen. Dies wurde zum Beispiel durch den starken Preisanstieg von LNG im Zuge des Nachfrageanstiegs in vielen europäischen Ländern nach dem Wegfall russischer Erdgaslieferungen deutlich. Solche Preisschwankungen bilden ein hohes Unsicherheitspotenzial für die Nachfrage nach alternativen Kraftstoffen in der Schifffahrt. In solchen Fällen werden Schiffe auch wieder auf konventionelle Kraftstoffe zurückgreifen, was durch den Einsatz von Dual-Fuel-Motoren problemlos möglich ist.

⁵⁷ Vgl. International Energy Agency (2020).

Quellen

<https://www.abendblatt.de/hamburg/article237299237/Hohe-Preise-Kreuzfahrtschiffe-fahren-mit-Diesel-statt-LNG.html>, (Stand: 03.07.2023)

Cargo Owners for Zero Emission Vessels (COZEV), 2022: Leading Cargo Owners Stand Together for Maritime Decarbonization – Our Shared Ambition and Call for Policy Action, <https://www.cozev.org/img/2022-version-of-Ambition-Statement.pdf>, (Stand: 03.07.2023)

Clarksons Research Services Limited, 2023, LNG Sector Update, Volume 5, Nr. 5, <https://sin.clarksons.net/>, (Stand: 03.07.2023)

Deutsches Maritimes Zentrum e.V. (DMZ), 2022: Kraftstoffanalyse in der Schifffahrt nach Segmenten – Abschlussbericht, <https://dmz-maritim.de/20220601-kraftstoffanalyse-in-der-schifffahrt-nach-segmenten-final/>, (Stand: 30.06.2023)

Deutsches Maritimes Zentrum e.V. (DMZ), 2021: Bunker Guidance für alternative Kraftstoffe in deutschen Seehäfen- Abschlussbericht, <https://dmz-maritim.de/20220601-kraftstoffanalyse-in-der-schifffahrt-nach-segmenten-final/>, (Stand: 30.06.2023)

DNV Alternative Fuels Inside, 2023, <https://afi.dnvgl.com/map>, (Datenabruf: 22.06.2023)

DNV, 2023: Exploring the potential of biofuels in shipping, <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Exploring-the-potential-of-biofuels-in-shipping.html>, (Stand: 03.07.2023)

DNV, 2022: Alternative Fuels for Containerships: Methanol and LNG, https://www.dnv.com/maritime/publications/alternative-fuels-for-containerships-methanol-download.html?utm_campaign=MA_2203_PROM_Alternative%20fuels%20for%20containerships_Methanol, (Stand: 03.07.2023)

<https://www.dnv.com/news/use-of-biofuels-in-shipping-240298> (Stand: 03.07.2023)

<https://www.dnv.com/maritime/hub/decarbonize-shipping/key-drivers/regulations/imo-regulations/ghg-vision.html> (Stand: 03.07.2023)

Rainer Durth, 2020: Sustainable Shipping: Seeschifffahrt und Klimaschutz, KfW Research Fokus Volkswirtschaft, Nr. 279, <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2020/Fokus-Nr.-279-Februar-2020-Sustainable-Shipping.pdf>, (Stand: 30.06.2023)

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7796 (Stand: 03.07.2023)

European Biogas Association (EBA), 2022: Statistical Report 2022, <https://www.europeanbiogas.eu/SR-2022/EBA/>, (Stand: 30.06.2023)

<https://www.europeanbiogas.eu/bio-lng-can-support-europes-journey-towards-sustainable-mobility-by-2050/> (Stand: 03.07.2023)

European Maritime Safety Agency (EMSA), 2022: Update on potential of biofuels in shipping, Lisbon, <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/download/7321/4834/23.html>, (Stand: 03.07.2023)

Global Maritime Forum, 2023a: The shipping industry's fuel choices on the path to net zero, https://www.globalmaritimeforum.org/content/2023/04/the-shipping-industrys-fuel-choices-on-the-path-to-net-zero_final.pdf, (Stand: 30.06.2023)

Global Maritime Forum, 2023b: Accelerating Maritime Decarbonisation: A Book and Claim Chain of Custody System for the early transition to Zero-emission Fuels in Shipping, https://www.globalmaritimeforum.org/content/2023/03/Insight-brief_Accelerating-Maritime-Decarbonisation-A-Book-and-Claim-Chain-of-Custody-System.pdf, (Stand: 30.06.2023)

F. S. Goedhart: Sustainable mobility in Europe: Potential market share for liquefied biomethane (bio-LNG) in the heavy-duty transport and maritime sectors in 2050, <https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/12/Summary-Floris-Goedhart-Thesis-Sustainable-mobility-in-Europe.pdf>, (Stand: 30.06.2023)

<https://www.goodshipping.com/partnerships/ikea> (Stand: 03.07.2023)

<https://hansa-online.de/2023/01/featured/208318/hapag-lloyd-und-mabanaft-pruefen-ammoniak-bunkerung/> (Stand: 03.07.2023)

<https://www.hellenicshippingnews.com/how-long-before-ammonia-sets-sail/> (Stand: 03.07.2023)

International Chamber of Shipping (ICS), 2022: Fuelling the Fourth Propulsion Revolution – An Opportunity for All, https://www.ics-shipping.org/wp-content/uploads/2022/05/Fuelling-the-Fourth-Propulsion-Revolution_Full-Report.pdf, (Stand: 30.06.2023)

International Energy Agency (IEA), 2020: Renewables 2020 – Analysis and forecast to 2025, https://iea.blob.core.windows.net/assets/1a24f1fe-c971-4c25-964a-57d0f31eb97b/Renewables_2020-PDF.pdf, (Stand: 30.06.2023)

International Maritime Organization (IMO), 2023: Annex 1 - Resolution MEPC.377(80) - 2023 IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS, <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/PressBriefings/Documents/Clean%20version%20of%20Annex%201.pdf>, (Stand: 15.07.2023)

Harish K. Jeswani, Andrew Chilvers, Adisa Azapagic, 2020: Environmental sustainability of biofuels: a review, Proceedings of the Royal Society A, 2020, Jg. 476, Nr. 2243, <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.5208549.v1>, (Stand: 30.06.2023)

<https://logistik-heute.de/news/seefracht-dhl-und-hapag-lloyd-setzen-auf-nachhaltigen-schiffskraftstoff-37390.html> (Stand: 03.07.2023)

<https://www.maersk.com/news/articles/2022/03/10/maersk-engages-in-strategic-partnerships-to-scale-green-methanol-production> (Stand: 03.07.2023).

<https://marine-offshore.bureauveritas.com/insight/business-insights/biofuels-transitional-marine-fuel> (Stand: 03.07.2023)

<https://marine-offshore.bureauveritas.com/sustainability/fit-for-55/alternative-fuels-infrastructure-regulation> (Stand: 03.07.2023)

<https://maritime-executive.com/article/msc-cruises-commits-to-e-lng-and-shore-power-use> (Stand: 03.07.2023)

<https://maritime-executive.com/article/viking-line-passengers-reduce-carbon-footprint-by-paying-for-biogas> (Stand: 03.07.2023)

Methanol Institute, 2023: Marine Methanol: Future-Proof Shipping Fuel, https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf, (Stand: 30.06.2023)

<https://www.msc.com/en/newsroom/press-releases/2023/db-schenker-and-msc-seal-important-biofuel-deal-to-help-reduce-supply-chain-emissions> (Stand: 03.07.2023)

<https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/verkehr/schifffahrt/kreuzschifffahrt/32650.html> (Stand: 03.07.2023).

<https://www.offshore-energy.biz/first-of-six-multi-fuel-engines-started-on-lng-powered-icon-of-the-seas/> (Stand: 03.07.2023),

PwC, 2023: June 2023 Global Consumer Insights Pulse Survey – Decision points: Sharpening the pre-purchase consumer experience, <https://www.pwc.com/gx/en/industries/consumer-markets/consumer-insights-survey.html>, (Stand: 30.06.2023)

SEA-LNG Ltd., 2022, Role of bio-LNG in shipping industry decarbonisation, https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2022/10/Sea-LNG-Role-of-bio-LNG-in-shipping-industry-decarbonisation-2022_10.pdf, (Stand: 30.06.2023)

Tomi Solakivi, Aleksii Paimander, Lauri Ojala, 2022: Cost competitiveness of alternative maritime fuels in the new regulatory framework, Transportation Research Part D: Transport and Environment 113 (2022), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920922003261>, (Stand: 30.06.2023)

S&P Global, 2023: Sea-web Ships, <https://maritime.ihs.com/>, Datenabruf: 23.04.2023

<https://www.thedcn.com.au/news/containers-and-container-shipping/companies-to-design-ammonia-dual-fuelled-ship-for-msc/>
(Stand: 03.07.2023).

Transport & Environment (T&E), 2023: Why an e-fuel mandate for ships? Questions & Answers (FuelEU Maritime Regulation), https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2023/01/202301_TE-Briefing-Why-an-e-fuel-mandate-for-shipping.pdf, (Stand: 30.06.2023)

Transport & Environment (T&E), 2022: Cost of clean shipping is negligible – Case study for 6% green e-fuels and stringent ETS, https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2022/06/Cost-of-clean-shipping-is-negligible-_-Case-study-for-6-green-e-fuels-and-stringent-ETS_Final-1.pdf, (Stand: 30.06.2023)

<https://www.zeit.de/news/2022-07/22/aida-cruises-setzt-erstmal-biokraftstoff-ein> (Stand: 03.07.2023)