Bericht zur Bestandsaufnahme

Die Rolle der Werften beim Übergang zu einer umweltfreundlichen Schifffahrt

Kontakt

Projekt: InnoFuels

Innovationsschwerpunkt: Schifffahrt

Namen der Autoren: Rust, Thomas[1]; Kurpiers, Hanna[1]; Arndt, Harald[2]; Haack, Markus[2]; Gehring, Clemens[2]; Anggelia, Karina[3]; Schleef, Karsten[3]; Buchholz, Bert[3]

[1]: Ramboll Deutschland GmbH

[2]: Neptun Ship Design GmbH

[3]: Universität Rostock, Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren

E-Mail: lkv.msf@uni-rostock.de

Telefon: +49 381 498 9150

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr

Koordiniert durch: NOW

Projektträger: VDI VDE IT, FNR

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Die Rolle der Werften beim Übergang zu einer umweltfreundlichen Schifffahrt

Grundlage der vorliegenden Publikation bildet eine durch die Ramboll Deutschland GmbH in Zusammenarbeit mit der Neptun Ship Design GmbH erstellte Studie.

Die Universität Rostock (Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren) gibt die ihr im Juli 2025 übergebene Studie inhaltlich nahezu unverändert und lediglich redaktionell angepasst im August 2026 neu heraus.

DOI: https://doi.org/10.18453/rosdok_id00004703

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT, FNR

Executive Summary

Die Studie **„Die Rolle der Werften beim Übergang zu einer umweltfreundlichen Schifffahrt“** untersucht den Status quo sowie mögliche Entwicklungen der nationalen und globalen Werftkapazitäten. Analysiert werden zudem die zu erwartenden Marktverschiebungen infolge des Umbaus der globalen Handelsflotte im Zuge der Dekarbonisierung der Schifffahrt. Die Studie zeigt mögliche Entwicklungen und absehbare Engpässe auf. Hierzu werden folgende Punkte betrachtet:

- Bestehende und sich abzeichnende Werftkapazitäten
- Orderbuchentwicklungen
- Globale Marktentwicklung der Schiffbauindustrie
- Technologieverfügbarkeiten und -neuerungen
- Einfluss von Anpassungs- und Umbaumaßnahmen (Retrofit und Conversion)
- „Ready-Notationen“ und die daraus resultierenden veränderten Anforderungen an Werften

Abschließend werden insbesondere mit Blick auf Deutschland und Europa zentrale Schlussfolgerungen aus den Studienergebnissen abgeleitet.

Im Folgenden wird eine Auswahl besonders wichtiger Ergebnisse der Studie zusammengefasst.

Die verfügbaren absoluten Werftkapazitäten beliefen sich im Jahr 2024 auf rund **63 Mio. Compensated Gross Tonnage (CGT)**, bei tendenziell rückläufiger Entwicklung. Gegenwärtig sind hiervon mindestens **73 %** ausgelastet.

Insbesondere zwischen **2030 und 2040** ist mit einem Nachfrageschwerpunkt bei Schiffsneubauten zu rechnen. So beträgt beispielsweise auf Basis eines Szenarios für das Jahr **2035** der geschätzte Bedarf an Schiffsneubauten bis zu **62 Mio. CGT** (einschließlich Fortschreibung des Flottenwachstumstrends). Da eine durchschnittliche Auslastung der Werften von mehr als **80 %** als nicht realistisch anzusehen ist, deutet dies auf einen zusätzlichen Kapazitätsbedarf hin, um ein Neubauvolumen in dieser Größenordnung realisieren zu können.

Auch die globale Verteilung der Werftkapazitäten wird sich in den kommenden Jahrzehnten voraussichtlich weiter verändern. Aktuell entfallen **92 %** des bestehenden Orderbuchs auf den asiatisch-pazifischen Raum, auf Europa hingegen lediglich **7 %**. Die dominierenden Segmente im Schiffbau (gemessen in CGT) sind Bulker, Tanker und Containerschiffe; sie werden nahezu ausschließlich in China und Südkorea gebaut. Von den analysierten Segmenten (Container, Multi-Purpose Vessels [MPV], General Cargo, Tanker, Bulker, Kreuzfahrtschiffe und Roll-on/Roll-off-[RoRo]-Schiffe) werden gegenwärtig lediglich Kreuzfahrtschiffe überwiegend in Europa gebaut.

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT, FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

Auch im Bereich des Neubaus von Schiffen mit reduzierter Treibhausgas-(THG)-Emission bzw. treibhausgasneutrale Schiffe bestehen in China und Südkorea erkennbare Bestrebungen und Programme, eine weltweite Führungsposition einzunehmen. Im europäischen Raum ist daher mit einem zunehmenden Wettbewerb in den dort vorrangig dominierenden Segmenten wie Kreuzfahrtschiffen, Yachten und Behördenschiffen zu rechnen, während die volumenstarken Schiffbausegmente im asiatischen Raum voraussichtlich weiterwachsen werden.

Für die Erreichung der Ziele der **International Maritime Organization (IMO)** kommt neben dem Neubau treibhausgasarmer und auf Netto-Null ausgerichteter Schiffe auch der Reduktion der **THG-Emissionen** von Bestandsschiffen eine wesentliche Bedeutung zu. Die bestehenden regulatorischen Hebel, etwa **Energy Efficiency Design Index (EEDI)**, **Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI)** und **Carbon Intensity Indicator (CII)**, sind in den kommenden Jahren jedoch nur eingeschränkt geeignet, tiefgreifende Umbauten (Conversion) unmittelbar auszulösen. Ein wesentlicher Grund hierfür liegt darin, dass auch durch operative Maßnahmen und Retrofits (nachträgliche bauliche Maßnahmen zur Emissionsminderung, in der Regel mit Fokus auf einzelne Komponenten) Kraftstoffeinsparungen von **20 bis 30 %** erzielt werden können, sodass ein regelkonformer Betrieb zumindest kurz- bis mittelfristig vielfach möglich bleibt.

Retrofits sind insbesondere für Schiffe von Relevanz, die für einen umfassenden Umbau zur Nutzung eines alternativen Kraftstoffes (Conversion) nicht geeignet oder dafür bereits zu alt sind. Neubauten dürften demgegenüber künftig bereits standardmäßig mit Effizienzmaßnahmen auf aktuellem technologischem Stand ausgestattet sein, sodass nachträgliche Retrofits dort nur eingeschränkt in Betracht kommen.

Die so genannte „Conversion“ eines bestehenden Schiffs auf einen neuen Kraftstoff stellt insgesamt hohe Anforderungen an Werften, unter anderem im Hinblick auf Fachpersonal, Ausstattung, Bauplatzgröße, technisches Know-how und Komponentenverfügbarkeit. Im Bereich dieser Schiffsumbauten ist bereits ab **2025** mit Engpässen bei den Werftkapazitäten zu rechnen. Die steigende Nachfrage wird zusätzlich durch die im Neubaubereich zu erwartenden Kapazitätsengpässe verstärkt. Mittel- bis langfristig können sich daraus auch für Second- und Third-Tier-Werften zusätzliche Marktpotenziale ergeben.

Ein Schiffsumbau auf einen alternativen Kraftstoff betrifft annähernd alle Projektierungsstufen des Schiffbauprozesses sowie zahlreiche Gewerke und ist mit erheblichem Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Kommerzielle Rahmenbedingungen sind daher bei umfangreichen Umbaumaßnahmen ein wesentlicher Faktor für die Wahl der Werft.

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

Aufgrund der hohen Kosten kommt die so genannte Conversion in der Regel insbesondere für Schiffe in Betracht, die noch nicht vollständig abgeschrieben sind (regelmäßig bis zu einem Alter von etwa **10 bis 15 Jahren**). Relevanz besteht zudem in Segmenten, in denen aufgrund des altersbedingten Flottenaustauschs eine vollständige Treibhausgasneutralität bis **2050** nicht realistisch erscheint, sowie bei Neubauten der nächsten Jahre, die gegenwärtig infolge eingeschränkter Marktverfügbarkeiten noch nicht auf alternative Kraftstoffe zurückgreifen können.

Eine frühzeitige Berücksichtigung möglicher späterer Umrüstungen im Neubau kann den Aufwand für eine spätere Conversion erheblich verringern. Kurz- bis mittelfristig stellt der Entwurf und Bau von als **Ready** notierten Schiffen, also Schiffen, deren Auslegung die Möglichkeit einer späteren Conversion bereits vorsieht, ein etabliertes Instrument dar, um eine spätere Umrüstung mit geringerem Aufwand zu ermöglichen.

Die für eine Ready-Notation erforderlichen planerischen und baulichen Maßnahmen variieren stark in Abhängigkeit von der abnehmenden Klassifikationsgesellschaft, dem gewählten zukünftigen Kraftstoff und dem vom Eigner angestrebten Vorbereitungsgrad. Für viele Ready-Notationen ist es dabei nicht erforderlich, über eine Konzept- oder Entwurfsphase hinauszugehen. Eine fallbezogene Bewertung der jeweils vorliegenden Ready-Notation ist daher erforderlich. Ein fortgeschrittener Vorbereitungsgrad kann das Risiko einer späteren Umrüstung verringern. Dies dürfte auch bei der kommerziellen Bewertung entsprechender Umrüstungsprojekte durch Werften berücksichtigt werden.

Welche Umbaumaßnahmen zur Nutzung alternativer Kraftstoffe umgesetzt oder bereits beim Neubau vorgesehen werden, hängt wesentlich von der technologischen Verfügbarkeit und dem Entwicklungsstand der benötigten Komponenten, vom Status der Lieferketten des avisierten Kraftstoffs sowie vom ursprünglich genutzten Kraftstoff ab. Der Kraftstoffmarkt beeinflusst damit auch die Wahl der jeweils verfolgten Ready-Notationen.

Substanziell vorbereitete Ready-Notationen können dazu beitragen, die spätere Umrüstung zu beschleunigen und durch kürzere Werftaufenthalte die Bindung von Werftkapazitäten zu verringern. Darüber hinaus kann ein gut geplanter und vorbereiteter Umbau den finanziellen Aufwand sowie die Opportunitätskosten, die durch Ausfallzeiten während des Werftaufenthalts entstehen, reduzieren. Zugleich erschwert die bestehende Inhomogenität der Notationen eine belastbare Einschätzung von Umfang, Verbindlichkeit und tatsächlicher Umsetzungswahrscheinlichkeit.

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT, FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

Zentrale Ergebnisse der Studie:

1. Die Studie zeigt, dass die globalen Werftkapazitäten in Zukunft möglicherweise nicht ausreichen werden, um die Nachfrage zu decken. Für europäische Marktakteure ist es daher von entscheidender Bedeutung, frühzeitig Baukapazitäten zu sichern, wobei die langen Vorlaufzeiten von Aufträgen zu berücksichtigen sind.
2. Deutschland und Europa haben sich in den letzten Jahrzehnten auf spezifische Segmente wie Yachten, Kreuzfahrtschiffe und Spezialschiffe spezialisiert. Unsere Ergebnisse zeigen jedoch, dass auch andere Bereiche wie Küstenmotorschiffe, Fähren und Binnenschiffe Potenzial für die europäische Schiffbauindustrie bieten, insbesondere im Hinblick auf die Entwicklung umweltfreundlicher Schiffe.
3. Die etablierten Segmente wie Kreuzfahrtschiffe, Yachten, Behördenschiffe und Meerestechnik bleiben für den europäischen Schiffbau von zentraler Bedeutung. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass diese Segmente für die Zukunft des europäischen Schiffbaus von besonderer Relevanz sind.
4. Die Studie unterstreicht die Bedeutung der Wertschöpfungsketten, die mit den in Europa gebauten Schiffssegmenten verbunden sind, für den Erhalt industrieller Wertschöpfungstiefe in Europa.
5. Die Nutzung alternativer Kraftstoffe und die Steigerung der Energieeffizienz bei Neubauten erfordern angepasste Schiffsdesigns. Dies bietet ein relevantes Wettbewerbsfeld für europäische Werften, insbesondere im Bereich von Design, Projektierung und Conversion.
6. Im Bereich der Ready-Notationen besteht ein Bedarf an höherer Transparenz und Vergleichbarkeit. Es ist wichtig, die technischen und planerischen Inhalte sowie den Aufwand und den Zeitpunkt für eine spätere Conversion transparent darzustellen, um eine bessere Planung und Durchführung von Conversionen zu ermöglichen.
7. Die Investitionsbereitschaft von Schiffseignern in Ready-Notationen und Conversionen ist ein wichtiger Faktor für die Wirksamkeit dieser Instrumente und kann die Umsetzung von umweltfreundlichen Schiffsdesigns beschleunigen.
8. Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen beeinflussen die Attraktivität von Schiffsneubauten und Conversionen auf europäischen Werften. Dies betrifft sowohl die Entwicklung des Werftoutputs im Kontext der grünen Schifffahrt als auch die Resilienz der maritimen Wirtschaft in Europa.

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

9. Auch nicht in Betrieb befindliche Werftstandorte in Europa und Deutschland können bei steigender Nachfrage nach Retrofit- und Conversionleistungen zusätzliche Marktpotenziale entwickeln und so die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Schiffbauindustrie stärken.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch:
Projektträger:

Inhalt

Executive Summary **2**

Abbildungsverzeichnis **11**

Tabellenverzeichnis **12**

Abkürzungsverzeichnis **13**

Glossar **15**

1 Einführung **17**

1.1 Hintergrund und Zielstellung 17

1.2 Abgrenzungen 18

2 Werftkapazitäten (global, EU, national, Mecklenburg- Vorpommern) **20**

2.1 Klimapolitische Ziele in der Schifffahrt als Ausgangspunkt der Analyse 20

2.2 Entwicklung der Flotte 21

2.3 Werftkapazitäten 27

2.3.1 Analyse des Status quo *27*

2.3.2 Mögliche Entwicklung der Werftkapazitäten *29*

2.3.3 Globale Verteilung Werftkapazitäten *32*

2.4 Werftenlandschaft Deutschland & Mecklenburg-Vorpommern 36

2.4.1 Deutschland *36*

2.4.2 Mecklenburg-Vorpommern *38*

2.5 Zwischenfazit 41

3 Projektierung klimaneutraler Schiffe **43**

3.1 Projektierung von Schiffsneubauten 43

3.2 Etablierte Prozessabläufe in Schiffbau und typische Zulieferstrukturen 44

3.3 Projektierung klimaneutraler Schiffe - Regulatorischer Rahmen 46

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT, FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

3.4 Einfluss zukünftiger Anforderungen an die Schifffahrt auf die Projektierung und den Bau von Schiffen ... 48

3.5 Zulieferindustrie und Wertschöpfungsketten ... 51

3.6 Zwischenfazit ... 52

4 Retrofit und Conversion ... 54

4.1 Einordnung und Notwendigkeit ... 54

4.2 Regulatorischer Rahmen ... 57

4.2.1 IMO-Regularien ... 57

4.2.2 EEDI ... 57

4.2.3 EEXI ... 58

4.2.4 CII ... 58

4.3 Kritische Diskussion und Ausblick ... 59

4.4 Operative und technische Maßnahmen ... 61

4.4.1 Retrofit Maßnahmen (Auszug) ... 61

4.4.2 Praxisbeispiele ... 65

4.4.3 Exkurs: Slow-Steaming ... 65

4.5 Conversion ... 67

4.5.1 Planungsebenen ... 68

4.5.2 Abgrenzung zum Neubau ... 74

4.5.3 Praxisbeispiele ... 75

4.6 Die Bedeutung von Retrofit und Conversion für Werften ... 77

4.7 Zwischenfazit ... 81

5 Die Bedeutung von Ready-Notationen im Neubau ... 83

5.1 Herausforderungen für Schiffseigner ... 83

5.2 Was bedeutet „E-Fuel ready“? ... 84

5.3 Ready- Notationen in der Welthandelsflotte ... 85

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT, FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

5.4 Praxisbeispiele 87

5.5 Kritische Diskussion 88

5.6 Zwischenfazit 89

6 Die Bedeutung und Entwicklung der Ammoniak- und Methanoltankerflotte für die (maritime) Energiewende 91

6.1 Entwicklung Ammoniak- und Methanol-Seetransporte 91

6.2 Ammoniakflotte 93

6.3 Methanolflotte 97

6.4 Zwischenfazit 102

7 Fazit und Handlungsempfehlungen 105

7.1 Fazit 105

7.2 Handlungsempfehlungen 105

Literaturverzeichnis 108

Anhang A – Ready-Notationen der Klassen ABS, DNV & LR 120

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT, FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: IMO- und EU-Ziele zur Reduzierung der THG-Emissionen in der Seeschifffahrt (Bezugsjahr 2008, bzw. 2020) [2] [3] 21

Abbildung 2: Verhältnis Indienststellungen, Abwrackungen und Gesamtflotte (Mio. CGT*)[1] 22

Abbildung 3: Ausblick Flottenentwicklung Szenario 1 – Stagnierendes Flottenwachstum 25

Abbildung 4: Ausblick Flottenentwicklung Szenario 2 – Fortschreibung Flottenwachstum 26

Abbildung 5: Werftoutput globaler Zonen und kumulierte jährlich prozentual beanspruchte Werftkapazitäten[4] 28

Abbildung 6: Globale Verteilung Orderbuch [%][7] 32

Abbildung 7: Indienststellungen nach Schiffstyp und globalen Region [Mio. CGT*] [8] 34

Abbildung 8: Anteil der fünf größten Werten (inkl. MV Werften) an der Gesamtwerftbeschäftigung [%] in Deutschland (2000 - 2020), basierend auf [9] 37

Abbildung 9: Durchschnittliche Zeitspanne von Order bis zur Indienststellung der Welthandelsflotte, [92] 44

Abbildung 10: Beispielprozess Projektierung Schiffsneubau, basierend auf [12] 45

Abbildung 11: Beispielprozess Projektierung Schiffsneubau, basierend auf [12] 51

Abbildung 12: Berechnungsformel CII und konzeptionelle Darstellung Grenzwertanpassung [18], Eigene Darstellung 59

Abbildung 13: Katalog möglicher Retrofitmaßnahmen 62

Abbildung 14: Vorplanung Conversion 70

Abbildung 15: Georderter Main Bunker Fuel Type der Welthandelsflotte (2010 - 2033) [CGT] 85

Abbildung 16: Georderte Schiffe mit Fuel Ready-Notation der Welthandelsflotte (2010 - 2033) [CGT] 87

Abbildung 17: Import- und Exportländer mit konkreten Projekten und Handelsbeziehungen mit blauem und grünem Ammoniak (Stand Dezember 2023), [76] 92

Abbildung 18: Hauptbauwerften Ammoniaktanker seit 2005 (inkl. Orderbuch) [CGT][11] 98

Abbildung 19: Bauregionen Chemikalientanker seit 2005 (inkl. Orderbuch) je Nation [CGT][13] 100

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nutzungsdauer (Annahme) bis zum Austausch durch einen Neubau [Jahre] 24

Tabelle 2: Orderbuch 2025 bis 2029 in CGT und Anzahl an Schiffen[6] 30

Tabelle 3: Spezifizierung globale Top-Werften 33

Tabelle 4: Regulatorischer Stand alternative Schiffskraftstoffe, basierend auf [83] 47

Tabelle 5: Arbeitsschritte in der Vorplanung 71

Tabelle 6: Arbeitsschritte Basic Design 73

Tabelle 7: Arbeitsschritte Detail Design 74

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Koordiniert durch: NOW

Projektträger: VDI VDE IT FNR

Abkürzungsverzeichnis

ABS	American Bureau of Shipping
BV	Bureau Veritas
CGT	Compensated Gross Tonnage
CII	Carbon Intensity Indicator
CNG	Compressed Natural Gas
DAD	Design Appraisal Documents
DNV	Det Norske Veritas
dwt	Deadweight Tonnage
EEDI	Energy Efficiency Design Index
EEXI	Energy Efficiency Existing Ship Index
EPL	Engine Power Limitation
ESD	Energy Saving Devices
EU	Europäische Union
EWR	Europäischer Wirtschaftsraum
FCU	Flexibility Compliance
FEUM	Fuel EU-Maritime
FSRU	Floating Storage Regasification Unit
GFI	GHG Fuel Intensity
GFS	GHG Fuel Standard
GT	Gross Tonnage (Bruttoraumzahl)
HAZID/ HAZOP	Hazard Identification / Hazard and Operability Study
IBC Code	International Code for the Construction and Equipment of Ships carrying Dangerous Chemicals in Bulk
IGF Code	International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels
IMO	International Maritime Organization
LGC	Large Gas Carrier
LNG	Liquefied Natural Gas (Flüssigerdgas)

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

LPG	Liquefied Petroleum Gas
LR	Lloyd's Register
MARPOL	Marine Pollution
MEPC	Marine Environment Protection Committee
MGC	Medium Size Gas Carrier
MPP	Multi-Purpose-Vessels
MR Tanker	Medium Range Tanker
MRV	Monitoring, Reporting, and Verification
MV	Mecklenburg-Vorpommern
NOx	Stickstoffmonoxid (NO) und/oder Stickstoffdioxid (NO_2)
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
RoRo	Roll-on/Roll-off Schiffe
ROPAX	Roll-On/Roll-Off Passenger Schiffe
S&P Global	Standard & Poor's Global (ein US-börsennotiertes Unternehmen)
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit
THG	Treibhausgase
VLAC	Very Large Ammonia Carrier
VLGC	Very Large Gas Carrier
VLSFO	Very Low Sulphur Fuel Oil

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Glossar

Absolute Werftkapazitäten	Absolute Werftkapazitäten bezeichnen in der vorliegenden Studie die unter der Annahme einer 100 %-igen Auslastung der Werften zur Verfügung stehenden Werftkapazitäten. Da eine 100 %-ige Auslastung unter realen Fertigungsbedingungen nicht zu erreichen ist, handelt es sich um eine theoretische Größe, die insbesondere zur besseren Vergleichbarkeit der globalen Werftentwicklungen genutzt wird.
Abwrackungen	Als Abwrackungen werden ausgediente Schiffe verstanden, die in einen Verschrottungs- oder Recyclingprozess überführt werden.
Conversion	Als Conversion wird der Umbau von Bestandsschiffen auf den Einsatz eines anderen als ursprünglich eingesetzten (alternativen) Kraftstoff verstanden.
Indienststellungen	Indienststellungen bezeichnen Schiffsneubauten, die durch die Werft fertiggestellt und erfolgreich abgenommen sowie durch den Eigner übernommen wurden.
Main-Bunker-Fuel	Das Main Bunker Fuel ist der Kraftstoff, für dessen Einsatz das Schiff hauptschlich ausgelegt wurde und den es daher vornehmlich bunkern wird.
Neubaurate	Als Neubaurate wird die Anzahl der in Dienst gestellten Schiffsneubauten über einen festgelegten Zeitraum hinweg definiert.
Notation	In den Klassifikationsvorschriften werden technische Anforderungen an Schiffe und deren Teilsysteme definiert. Eine Notation ist eine schriftliche Bestätigung der Übereinstimmung eines Systems oder Teilsystems mit den existierenden Bauvorschriften einer bestimmten Klassifikationsgesellschaft. Die Bestätigung besteht aus einer definierten Kombination von Buchstaben und/ oder Zahlen.
Retrofit	Retrofits umfassen alle baulichen Maßnahmen, die an einem Schiff nachträglich vorgenommen werden können, um eine Effizienzsteigerung

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

	und in der Folge einen reduzierten Energiebedarf zu bewirken. Retrofitmaßnahmen sind i. d. R. mit geringerem Aufwand als Conversion durchführbar.
Werftkapazität	Als Werftkapazität wird das maximale Leistungsvermögen von Werften verstanden. Im Rahmen der Studie werden Werftkapazitäten in CGT angegeben und beschreiben daher die maximale CGT-Menge, die unter optimalen Voraussetzungen jährlich von Werften produziert werden könnten.
Werftoutput	Der Werftoutput beschreibt die durch Werften fertiggestellten und ausgelieferten Schiffsneubauten (in CGT) innerhalb eines definierten Zeitraumes.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

1 Einführung

1.1 Hintergrund und Zielstellung

Die internationale Schifffahrt befördert mehr als 80 % des Welthandelsvolumens und ist damit in einer globalisierten Welt ein wesentlicher Enabler für Im- und Exportbewegungen [1]. Darüber hinaus kommt der Schifffahrt eine Vielzahl weiterer Funktionen zu, wie z. B. Reisebewegungen von Personen und Fahrzeugen, Errichtung, Wartung und Versorgung von Offshorestrukturen und die Ausführung von behördlichen und Forschungsaufgaben. In der Summe ihrer Aktivitäten zeichnet sich die globale Schifffahrt für ca. 3 % der globalen CO_2-Emissionen verantwortlich. Sie ist als zentraler Stellhebel zur Reduzierung globaler Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) zunehmend in den politischen und öffentlichen Fokus der Nachhaltigkeitsdebatte gerückt.

Entsprechend wurden in den letzten Jahren regulatorische Rahmenbedingungen auf den Weg gebracht, die fortlaufend konkretisiert werden. Beispielsweise avisiert die International Maritime Organization (IMO) mit ihren Defossilisierungszielen eine klimaneutrale Schifffahrt um das Jahr 2050. Bis 2030 sollen die THG- Emissionen bereits um 20 bis 30 % reduziert werden.

Die Schifffahrt sieht sich vor der Herausforderung, dass die heute in Schiffen verbauten Antriebssysteme sowie die eingesetzten Kraftstoffe zukünftige Emissionsgrenzen für den CO_2- Ausstoß überschreiten. Um die Defossilisierungsziele der Schifffahrt dennoch zu erreichen, ist in den nächsten Dekaden mit einer Vielzahl an Schiffsumrüstungen und -neubauten zu rechnen. Dies erfordert global eine hohe Verfügbarkeit von Werftkapazitäten. Die Auswahl geeigneter Werften ist dabei maßgeblich davon abhängig, ob Um- oder Neubauten beauftragt werden sowie welche Antriebs- und Tanksystemen verbaut werden soll.

Nicht nur die Schifffahrt steht unter Handlungsdruck, das Portfolio der verwendeten Energiequellen zu verändern, sondern die gesamten globalen CO_2-Emissionen aller Sektoren sollen zukünftig gesenkt werden. Deshalb ist ein erhöhter Bedarf an Überseetransporten von alternativen Energieträgern zu erwarten. Der dadurch gesteigerte Bedarf an Tankschiffen strapaziert Werftverfügbarkeiten voraussichtlich zusätzlich.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Das vom Bundesministerium für Verkehr geförderte Verbundprojekt InnoFuels Innovationsschwerpunkt Schifffahrt hat die vorliegende Studie „Die Rolle der Werften beim Übergang zu einer umweltfreundlichen Schifffahrt“ beauftragt, um die beschriebene Schlüsselrolle der Werften für die Defossilisierung genauer zu analysieren. Die Koordination der Studie erfolgt durch den Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren der Universität Rostock.

Die Studie soll ein erstes Verständnis für die nationalen und globalen Werftkapazitäten sowie erwartete zukünftige Marktverschiebungen schaffen. Dabei zeigt sie sowohl mögliche Chancen als auch bereits vorhandene oder zu erwartende Herausforderungen auf.

Die Studie beleuchtet zu erwartenden Entwicklungen und Bottlenecks unter Berücksichtigung von Werftkapazitäten, Marktbedürfnissen, Technologieverfügbarkeiten und -neuerungen sowie unterschiedlicher Anforderungen verschiedener Schiffstypen und Einsatzgebiete.

Um die werftseitigen Herausforderungen im Kontext des nachhaltigen Umbaus der Schifffahrt trennscharf und genau zu analysieren, benötigt die Studie einige Abgrenzungen und Definitionen.

1.2 Abgrenzungen

Zum besseren Verständnis und zur Förderung des Leseflusses werden an dieser Stelle bereits einige Annahmen und Definitionen erläutert, unter deren Voraussetzung die Studie erarbeitet wurde.

Grundsätzlich sind unter klimaneutralen Schiffen jene zu verstehen, deren Treibhausgase -Emissionen gemäß dem Well-to-Wake Ansatz ab Kraftstoffbereitstellung bis hin zu den durch das Schiff erzeugten Abgasen eine netto Nullbilanz aufweisen. Die Bilanzierung der THG-Emissionen vor Kraftstoffübernahme durch das Schiff wird jedoch im Rahmen der vorliegenden Studie vorausgesetzt und wird in der Studie nicht weiter betrachtet.

Das Attribut ‚klimaneutral‘ bezieht sich nicht ausschließlich auf die Vermeidung des Ausstoßes von CO_2, sondern von allen Treibhausgasen (in CO_2-Äquivalenten). Bei abweichender Begriffsanwendung wird dies explizit erwähnt.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Als alternative Kraftstoffe werden in der vorliegenden Veröffentlichung alle Kraftstoffe verstanden, die nicht fossilen Ursprungs sind und die aufgrund ihrer einfachen Molekülstruktur über das beste Potenzial verfügen, synthetisiert oder biogen erzeugt zu werden.

Weiter wurden in den vorliegenden Analysen Schiffe ab einer Gross Tonnage [GT] von 5.000 berücksichtigt. Diese Abgrenzung basiert auf der aktuellen Regulatorik zur Erfassung von durch die Schifffahrt emittierten CO_2-Mengen sowie weiterer spezifischer Daten, die für in Häfen des europäischen Wirtschaftsraums [EWR] anlaufende Schiffe erst ab derselben Größe bindend ist. Für die Studie ist vor allem die EU Monitoring, Reporting, and Verification [MRV]-Verordnung relevant [74].

Als vergleichendes Moment für die Analyse der verfügbaren und benötigten Werftkapazitäten wurde im Rahmen der Studie die dimensionslose Kennzahl Compensated Gross Tonnage [CGT] gewählt. CGT berücksichtigt den mit dem Bau eines Schiffes einhergehenden Arbeitsaufwand. Sie basiert auf der Bruttoraumzahl (Gross Tonnage [GT]), die um einen entsprechenden Ausgleichsfaktor ergänzt wird [52].

Als Conversion wird im Folgenden ein Umbau von Schiffen zum Zwecke der Installation alternativer Kraftstoff- und Antriebssysteme verstanden. Retrofit beschreibt hingegen weniger komplexe Nachrüstungen, die zu einer Effizienzsteigerung des Schiffs hinsichtlich seines Kraftstoffverbrauchs führen.

Der (s. g. graue Schiffbau) Marineschiffbau sowie der Bau von Binnenschiffen wurden in der Studie nicht berücksichtigt, da der Fokus auf die Projektierung von kommerziellen Seeschiffen gelegt wurde. Beide Segmente sind in ihrer Bedeutung für den deutschen und europäischen Schiffbau jedoch nicht zu vernachlässigen und sollten bei weiteren strategischen Entscheidungen mitgedacht werden.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

2 Werftkapazitäten (global, EU, national, Mecklenburg-Vorpommern)

2.1 Klimapolitische Ziele in der Schifffahrt als Ausgangspunkt der Analyse

Um die global verfügbaren sowie zur Etablierung einer klimaneutralen Schifffahrt benötigten Werftkapazitäten bewerten zu können, erörtert die Studie zunächst die grundsätzliche Entwicklung der Welthandelsflotte sowie Marktentwicklungen und -trends von Werftkapazitäten. Anschließend werden die zu erwartenden Weiterentwicklungen der Flotte den Werftkapazitäten gegenübergestellt. Die Entwicklung der Welthandelsflotte wird hierfür in Form von Szenarien gezeichnet. Grundlage der Szenarien bildet eine Flottenentwicklung, die die Erreichung der Klimaziele voraussetzt.

Sowohl die IMO als auch die EU haben Ziele zur Reduzierung der THG-Emissionen in der Schifffahrt beschlossen. Zum einen kann die Reduzierung durch eine Senkung der THG-Intensität je verbrauchter Kraftstoffmenge (Well-to-Wake) erreicht werden. Diese Maßnahme findet sich insbesondere in der Fuel EU-Maritime (FEUM) Regulatorik. Zum anderen kann eine Reduzierung durch einen niedrigeren Gesamtenergieverbrauch bewirkt werden, was vor allem durch den aktuellen Stand der IMO-Regulatorik unterstützt wird. Ergänzungen dieser Regularien befinden sich aktuell in Vorbereitung (siehe 4.2).

Die im Juli 2023 (MEPC 80) überarbeitete IMO-THG-Strategie sieht eine Reduzierung der Well-to- Wake -THG-Emissionen um 30 % bis 2030, 70 % bis 2040 bzw. 100 % um das Jahr 2050 gegenüber dem Jahr 2008 vor [2]. Die in der Fuel-EU-Maritime-Initiative fixierten Ziele der EU für die THG-Emissionsreduktion der Schifffahrt tritt im Januar 2025 in Kraft [55] und sieht eine Reduzierung der THG-Intensität der verwendeten Kraftstoffe um 6 % bis 2030, 31 % bis 2040 bzw. 80 % bis 2050 gegenüber dem Flottendurchschnitt des Jahres 2020 vor].

Die Vorgaben der IMO bilden den Rahmen für den in der Studie angenommenen Flottenaustausch, da als Leitszenario eine klimaneutrale Schifffahrt bis 2050 avisiert wird. Verschiedene Studien zeigen, dass sich die globalen CO_2-Emissionen der Schifffahrt trotz der klimapolitischen Zielsetzungen der Branche und des Inkrafttretens erster Verordnungen im Jahr 2022 auf einem ähnlichen Niveau befinden, wie zehn Jahre zuvor [56, 96]. Um die

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

angestrebte Defossilisierung der Schifffahrt nahe 2050 dennoch zu erreichen, muss der Trend zunächst umgekehrt und der Defossilisierungsprozess beschleunigt werden.

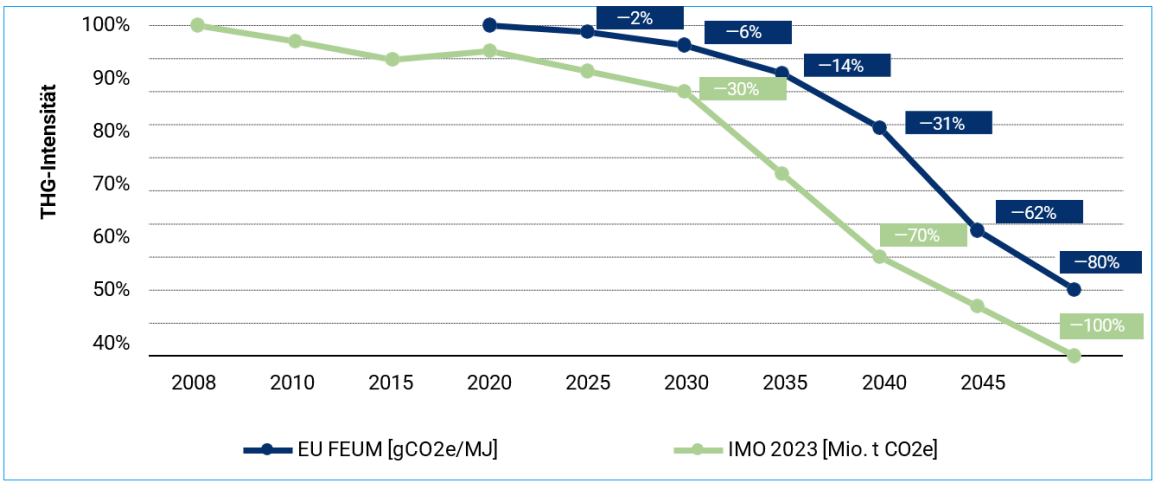

Abbildung 1: IMO- und EU-Ziele zur Reduzierung der THG-Emissionen in der Seeschifffahrt (Bezugsjahr 2008, bzw. 2020) [2] [3]

2.2 Entwicklung der Flotte

Die Entwicklung der globalen Flotte ist Ausgangspunkt für die Erfassung des Status quo der Schiffbaulandschaft. Sie ermöglicht einen Einblick in die Nachfrage an Schiffsneubauten der letzten Dekaden und erlaubt einen darauf basierenden Ausblick über zukünftige Nachfrageverläufe. Die vorgestellten Ausblicke unterliegen Annahmen und sind daher indikativ zu deuten. Insbesondere für Zeiträume nach 2030 ist von steigenden Unsicherheiten auszugehen.

Die Flottenanalyse basiert auf Daten des Weltflottenregisters Clarksons Research (Quelle ‚Clarksons') [15]. Als Basis für die Flottenentwicklung dienen die Indienststellungen und Abwrackungen von Schiffen sowie die kumulierte Gesamtflotte in Compensated Gross Tonnage (CGT*). Weiter wurden Daten für die wesentlichen Schiffstypen Bulker, Gas Tanker, Multi-Purpose (MPP**), General Cargo, Chemikalien-/Öl-/Produktentanker, Kreuzfahrtschiffe, Ro-Ro und Container berücksichtigt, da diese Schiffstypen gemessen in CGT nahezu die gesamte Weltflotte (> 95 %) ausmachen.

* Compensated Gross Tonnage (CGT): ist ein Maß nicht nur für Bruttoraumzahl, sondern auch die arbeitsbezogene Komplexität von Schiffen.
** Multi-Purpose Vessel (MPP): Mehrzweckfrachtschiffe.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der vorangehend beschriebenen Daten seit 2005. Sie verdeutlicht ein nahezu lineares Wachstum der CGT der Gesamtflotte. Seit 2005 ist die Gesamtflotte von 450 Mio. CGT auf ca. 1.000 Mio. CGT im Jahr 2024 gewachsen. Die Indienstellungen wiesen im Jahr 2010 einen Höhepunkt von 59 Mio. CGT auf. Danach sanken sie bis 2013 wieder, seitdem bewegen sie sich mit leichten Schwankungen um ein Niveau von jährlich 30 bis 40 Mio. CGT*. Für das Jahr 2024 wurden lediglich Daten bis Anfang September einbezogen; entsprechend ist zu erwarten, dass bis Jahresende auch für dieses Jahr mindestens 30 Mio. CGT Schiffsneubauten fertiggestellt und ausgeliefert werden.

Ein Großteil der Indienststellungen von 2005 bis 2022 entfiel auf Tanker, insbesondere auf Chemikalien-/Öl-/Produktentanker. Zwischen 2010 und 2013 wurden zudem viele Bulker fertiggestellt. Jüngste Entwicklungen zeigen, dass seit 2023 Containerschiffe das anteilig größte Segment der neu in Betrieb genommenen CGT einnimmt.

Auch die Schiffsabwrackungen nahmen ab 2005 zunächst zu, verzeichneten ihren höchsten Wert mit 31 Mio. CGT aber 2012. Anschließend nahm das Volumen der Abwrackungen wieder deutlich ab. Seit 2022 bewegt sich die Kennzahl unterhalb von 10 Mio. CGT pro Jahr. Diese Entwicklung zeigt sich u. a. in einem zunehmenden durchschnittlichen Flottenalter und der insgesamt wachsenden Flotte.

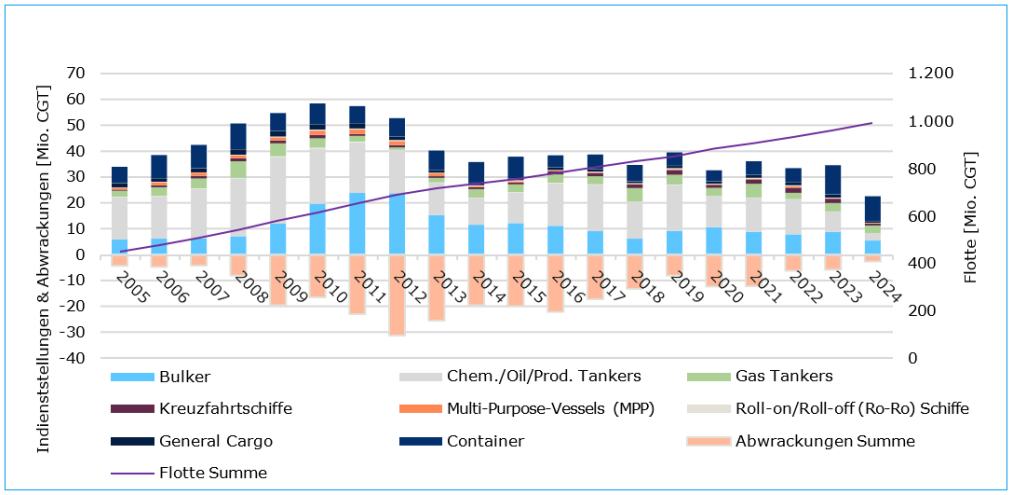

Abbildung 2: Verhältnis Indienststellungen, Abwrackungen und Gesamtflotte (Mio. CGT*)[1]

* Compensated Gross Tonnage (CGT): ist ein Maß nicht nur für Bruttoraumzahl, sondern auch die arbeitsbezogene Komplexität von Schiffen.
** Multi-Purpose Vessel (MPP): Mehrzweckfrachtschiffe.

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

Um von der zurückliegenden Entwicklung ausgehend mögliche Verläufe bis 2050 aufzuzeigen, wurden im Rahmen der Studie zwei grundsätzliche Szenarien in Erwägung gezogen. Das erste Szenario unterstellt dabei ein stagnierendes Flottenwachstum auf dem Niveau der Flottengröße des Jahres 2024. In der Folge werden Schiffsneubauten vornehmlich auf Grund eines Austauschens der Bestandsflotte durch Neubauten geordert.

Die Rate und Geschwindigkeit des Flottenaustausches wird neben dem Schiffsalter durch den zunehmenden regulatorischen Druck hinsichtlich der zulässigen Emissionsgrenzen (siehe Kapitel 2.1) beeinflusst.

Da eine Vielzahl von Marktprognosen ein Wachstum des Gütertransportes über den Seeweg prognostiziert, stellt das zweite Szenario auf eine weiterhin steigende Gesamtflotte (in CGT*) ab.[2] Dabei wird vereinfacht ein lineares Flottenwachstum unterstellt. Als Wachstumsrate wird das durchschnittliche jährliche Wachstum der letzten 10 Jahre, welches sich auf ca. 35,5 Mio. CGT beläuft, festgelegt. Beide Szenarien wurden auf Basis von Stützjahren, in 5-Jahresschritten von 2025 bis 2050, kalkuliert.

Szenariounabhängig wurden für die Kalkulation des altersbedingten Flottenaustausches segmentspezifische Schiffsalter angenommen, bei deren Erreichen eine Abwrackung und Ersetzung durch einen Neubau erfolgt (Nutzungsdauer). Diese Werte liegen leicht unterhalb der aktuellen Realwerte von durchschnittlichen Flottenaltern zum Zeitpunkt der Abwrackung, da bereits berücksichtigt wird, dass der regulatorische Druck in den kommenden Dekaden steigen und eine Erneuerung der Flotte dadurch begünstigt wird.[3] In Übereinstimmung mit dem gewählten Ansatz der Stützjahre, wurden die Nutzungsdauern ebenfalls in 5-Jahresschritten gewählt. Die nachstehende Tabelle 1 gibt die verwendeten Werte für die Nutzungsdauer wieder:

[1] Basierend auf Daten der Schiffsdatenbank *Clarksons Research*, Stand 02.09.2024.
[2] Vgl. z. B.: DNV; Seaborn trade outlook: the energy transition.
[3] Statistiken über das Schiffsalter zum Zeitpunkt der Abwrackung werden beispielsweise durch *UNCTAD* und die *NGO Shipbreaking Platform* ausgegeben
* Compensated Gross Tonnage (CGT): ist ein Maß nicht nur für Bruttoraumzahl, sondern auch die arbeitsbezogene Komplexität von Schiffen.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Schiffstyp	Korrespondierende Schiffstypen	Nutzungsdauer (Annahme) [Jahre]
Tanker	Chemikalientanker	20
	Produkten/Öltanker	
	Gastanker	
	Spezialtanker	
Schüttgutschiff	Bulker	20
Containerschiff		25
Spezialschiff (Fähren)	Roll-On/Roll-Off Passenger (ROPAX)	25
	Roll-On/Roll-Off (RoRo)	
Unspezialisiertes Stückgutfrachtschiff	General Cargo	35
	Multi-Purpose (MPP)	
Kreuzfahrtschiff		20

Tabelle 1: Nutzungsdauer (Annahme) bis zum Austausch durch einen Neubau [Jahre]

Die nachstehenden Abbildungen (Abbildung 3 und Abbildung 4) veranschaulichen die für das Szenario 1 und 2 resultierenden Abwrackungen und die Neubaurate sowie die unterstellte Entwicklung der Gesamtflotte für die Stützjahre bis 2050.

Wobei die Abwrackungen als Resultat der altersbedingten Ausmusterung für beide Szenarien gleich ausfallen.

Im Szenario 1 (Abbildung 3) entsprechen die Abwrackungen aufgrund der gleichbleibenden Flottengröße jeweils der Summe der Neubauten. Beide Werte erreichen in der Periode 2030 – 2035 mit 130 Mio. CGT ihren Maximalwert. Die größte Neubaurate wird in derselben Periode mit knapp 47 Mio. CGT durch das Segment der Bulker erreicht.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

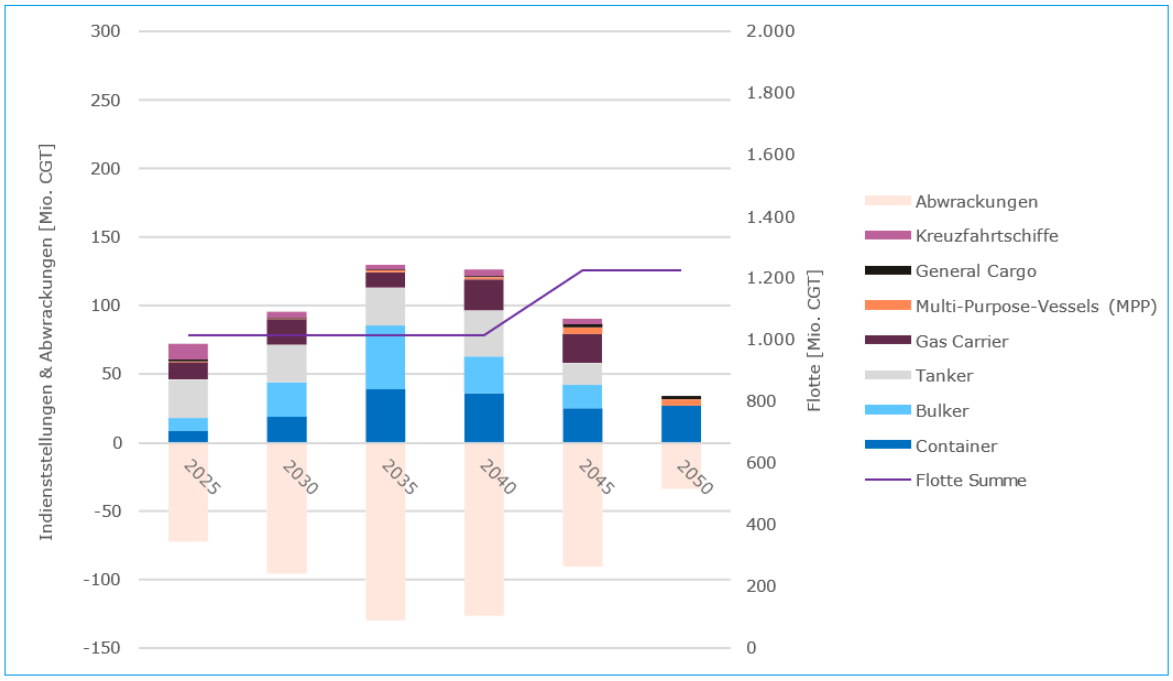

Abbildung 3: Ausblick Flottenentwicklung Szenario 1 – Stagnierendes Flottenwachstum

In Szenario 2 (Abbildung 4) wird hingegen jedem Schiffssegment zusätzlich zu den altersbedingten Abwrackungen und Neubauten eine durch das Flottenwachstum bedingte Neubaurate hinzugefügt. Der für die Neubaurate genutzte Split beruht auf der durchschnittlichen prozentualen Verteilung der Neubauten auf die betrachteten Schiffssegmente in der letzten Dekade.

Auch in diesem Szenario wird die höchste Neubaurate 2030-2035 erwartet. Sie fällt mit knapp 310 Mio. CGT für den Fünfjahreszeitraum aber deutlich höher aus und bleibt bis 2050 auf einem hohen Niveau.

Es ist anzunehmen, dass sich die reale Flottenentwicklung zwischen beiden Szenarien in unterschiedlichen Wachstumsepisoden abspielen wird – vorausgesetzt es treten keine unvorhersehbaren Ereignisse mit starken Auswirkungen auf den Welthandel ein. Um zu eruieren, inwiefern die Flottenentwicklung eine Herausforderung für die verfügbaren Werftkapazitäten darstellen kann, wird im weiteren Verlauf der Studie auf das Maximalszenario – Szenario 2 – abgestellt.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

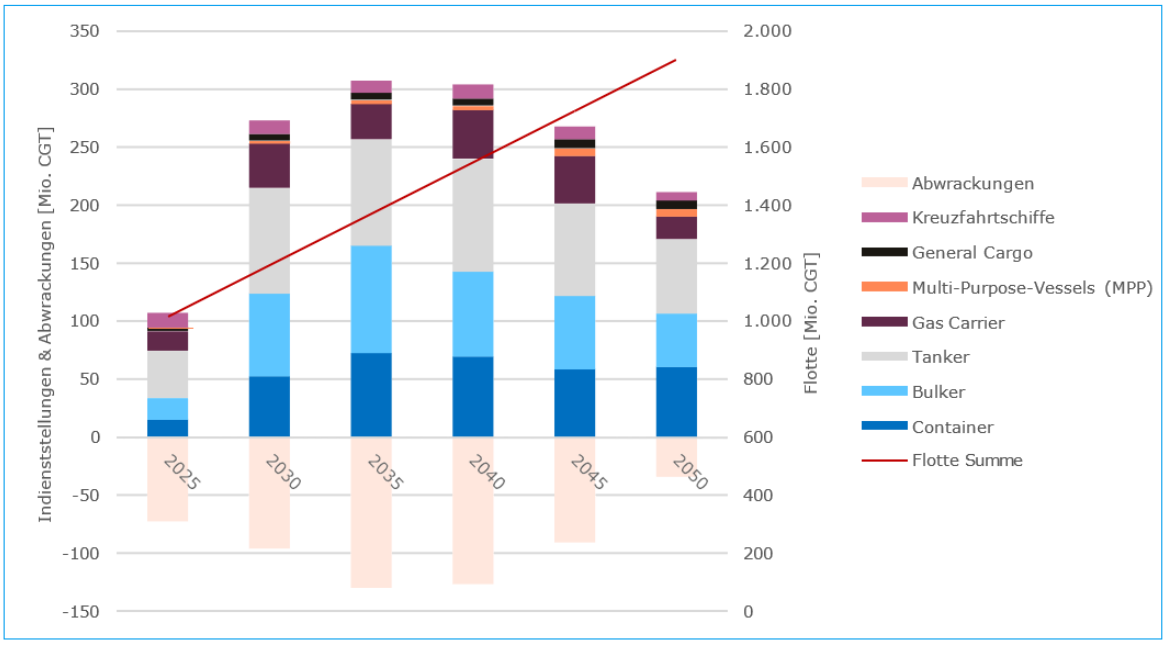

Abbildung 4: Ausblick Flottenentwicklung Szenario 2 – Fortschreibung Flottenwachstum

Die detailliertere Analyse der Austauschgeschwindigkeiten der fokussierten Schiffssegmente Container, Bulker, Tanker, Gas-Carrier, Multi-Purpose (MPP), General-Cargo und Kreuzfahrtschiffe zeigt, dass in den Segmenten der Containerschiffe, Bulker und Tanker (Chemikalien/Öl/Produkten) für die Jahre 2030 bis 2040 hohe Austauschraten zu erwarten sind. Die Gas-Carrier erreicht zwischen 2040 und 2045 einen Peak im benötigten Neubau, die MPP-Flotte zwischen 2045 und 2050. Für die Kreuzfahrtschiffe wird der höchste Wert bereits 2025 erreicht.

Aufgrund des höheren zu erwartenden Austauschalters kann für die MPP- und die General-Cargo- Flotte bis 2050 kein gänzlicher Austausch erreicht werden. Es bleiben über das Jahr 2050 Restbestände der bestehenden Flotte in Höhe von ca. 210 Mio. CGT erhalten. Sogar unter der Annahme, dass ab Q4 2024 alle neu gebauten Schiffe mit klimaneutralen Kraftstoff- und Antriebssystemen ausgestattet werden, ist demzufolge durch einen rein altersbedingten Flottenaustausch eine in Gänze mit alternativen Antrieben ausgestattete Flotte im Neubau nicht zu erreichen. Die IMO-Ziele würden ohne weitere Maßnahmen für Bestandsschiffe oder einen über das Szenario hinaus beschleunigten Flottenaustausch nicht erreicht werden.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

2.3 Werftkapazitäten

Neubauwerften werden in der Regel in zwei Typen unterteilt: Weltweit zählen nach Angaben von Danish Ship Finance ca. 100 Werften zu den sogenannten First-Tier-Werften. Diese erzielen generell eine höhere Auslastung als die restlichen 214 Second-Tier-Werften und verfügen über deutlich größere Flächen, Bauplätze sowie entsprechendes Equipment und höhere Mitarbeiterzahlen [4]. First-Tier-Werften können deutlich größere Schiffe bauen und Schiffsneubauten in höherer Frequenz umsetzten. Unternehmens- und Zulieferstrukturen sind hocheffizient gestaltet. Häufig sind die Heimatstaaten der Unternehmen (Mit-) Eigentümer von First-Tier-Werften.

Auch Second-Tier-Werften sind vornehmlich im Schiffsneubau aktiv. Sie verfügen jedoch über kleinere Werksgrundstücke und können in Größe der gebauten Schiffe und Neubaufrequenz nicht mit First-Tier-Werften mithalten. In der Literatur ist jedoch häufig keine klare Abgrenzung zwischen First- und Second-Tier-Werften formuliert.

Bei den sogenannten Third-Tier-Werften handelt es sich um Werften, die häufig im Bereich Wartung und Reparatur, Umbau oder Spezialschiffbau sowie Yachtbau tätig sind. Gemessen am globalen Gesamtoutput der Werften (in CGT) spielen sie eine lediglich untergeordnete Rolle und finden nahezu keinen Eingang in die Statistiken zu globalen Werftkapazitäten.

2.3.1 Analyse des Status quo

Für die Analyse der globalen Werftkapazitäten und deren Auslastung wurden Daten und statistische Auswertungen zur Auslastung aus den jährlichen Berichten des Welthandelsflottenregisters Clarksons Research sowie des Instituts Danish Ship Finance entnommen [15, 4]. Darüber hinaus vervollständigen weitere Studien, wie etwa die von SEA Europe veröffentliche Analyse „2023 Shipbuilding Market Analysis“, den Dateneingang [6].

Abbildung 5 zeigt den Werftoutput für China, Südkorea, Europa sowie zusammengefasst den Rest der Welt. Die prozentuale globale Werftauslastung (beanspruchte Werftkapazität) der letzten Dekade ist ebenso dargestellt. Die Abbildung belegt eine deutliche Dominanz der Schiffbaunationen China und Südkorea, die den restlichen globalen Output inklusive Europa um ein Vielfaches übersteigt.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

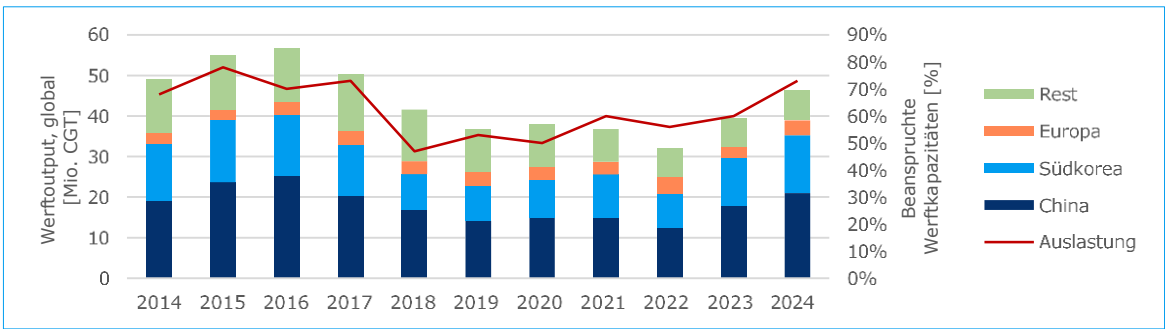

Abbildung 5: Werftoutput globaler Zonen und kumulierte jährlich prozentual beanspruchte Werftkapazitäten[4]

In den letzten zehn Jahren war die jährliche Auslastung der globalen Werftkapazitäten mit 78 % im Jahr 2015 auf dem höchsten verzeichneten Niveau. Nach einem Abfall in den Folgejahren von bis auf 47 % im Jahr 2018 erfolgte insbesondere seit 2020 wieder eine Zunahme der Auslastung. 2024 konnte zum Ende des dritten Quartals bereits eine durchschnittliche Auslastung von 73 % verzeichnet werden. Unter Berücksichtigung der Monate Oktober, November und Dezember ist sogar eine noch höhere Auslastung zu erwarten. Dies bedeutet bis zum Ende des Jahres voraussichtlich ein Rekordhoch, welches sich bei den First-Tier Werften mit einer Auslastung von 90 % äußert.

Auch nach 2025 sind für einige Werften bereits 70 % ihrer Kapazitäten gebucht. Unter Berücksichtigung der noch zu erwartenden Ordern ist daher für diese Werften auch für die kommenden Jahren mit sehr hohen Auslastungen von über 80 % zu rechnen. Die insgesamt global verfügbare Werftkapazität beläuft sich 2024 auf ungefähr 63 Mio. CGT.[5]

Ein Austausch der gesamten registrierten Welthandelsflotte (Stand Q4 2024) von knapp 1.000 Mio. CGT würde unter Annahme einer durchschnittlichen Auslastung der Werften von 80 % mit den o. g. verfügbaren Werftkapazitäten 16 Jahre dauern. Unter Einbeziehung der in Kapitel 2.2 kalkulierten Neu- und Zubauraten (altersbedingter Austausch + Flottenwachstum) würde sich dieser Zeitraum sogar auf 27 Jahre erhöhen. Die Klimaziele der Schifffahrt bis 2050 wären nicht zu erreichen.

[4] Basierend auf Daten von *Danish Ship Finance: Shipping Market Review*, Auswertung der jährlichen Berichte aus dem Monat Mai.

[5] Diese Zahl beruht auf der Auswertung von Daten und Berichten der Schiffsdatenbank Clarksons Research. Die Angaben in den durch Danish Ship Finance veröffentlichten Berichten weichen leicht ab. Hier wird für 2024 eine globale Kapazität von 59 Mio. CGT angegeben.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

2.3.2 Mögliche Entwicklung der Werftkapazitäten

Um den vorangehend beschriebenen Entwicklungen der Welthandelsflotte gerecht zu werden und Engpässe zu vermeiden, wird im folgenden Unterkapitel antizipiert, in welchem Umfang ein Zubau nötig ist und welche Trends sich derzeit bereits abzeichnen.

Generell sollte für die Bewertung zukünftiger Werftkapazitäten als Rahmenbedingung eine durchschnittliche globale Auslastung von 80 % der Werftkapazitäten nicht überschritten werden. Eine höhere Auslastung wurde in den letzten zehn Jahren nie erreicht. Da es sich um eine durchschnittliche Auslastung handelt, können einzelne Betriebe höhere Auslastungen aufweisen, andere werden unterhalb des Wertes liegen.

Für die Kalkulation zukünftig benötigter Werftkapazitäten wurde auf die Ergebnisse aus Kapitel 2.2 zurückgegriffen. Das dargestellte Szenario 2 (siehe Abbildung 4) stellt die durch den altersbedingten Austausch und Wachstum der Flotte der betrachteten Schiffssegmente benötigten Schiffsneubauten bis 2050 dar. Insbesondere für die Zeiträume 2030 – 2035 und 2035 – 2040 werden Neubaupeaks von 300 – 310 Mio. CGT erreicht.

Werden die in 5-Jahres-Abschnitten kumulierten benötigten Neubauten (310 Mio. CGT) aus Szenario 2 gleichmäßig innerhalb der fünf Jahre verteilt, werden jährlich Schiffsneubauten mit einem Gesamtvolumen von 62 Mio. CGT fällig. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Auslastung der Werftkapazitäten sollten bei einer Nachfrage von 62 Mio. CGT mindestens 77,5 Mio. CGT (62 Mio. CGT = 80 % * 77,5 Mio. CGT = 100 %) globale Werftkapazität verfügbar sein.2 Im Vergleich zu heute (63 Mio. CGT = 100 % verfügbare Werftkapazität) wäre ein Ausbau der Kapazitäten für den Neubaubereich um ca. 25 % notwendig.

Der Blick in das Orderbuch weist für die nächsten Jahre bereits auf eine hohe Werftauslastung hin und lässt für das Jahr 2025 wenig Spielraum für zusätzliche Schiffsordern. Das derzeitige (Stand September 2024) globale Orderbuchvolumen beträgt ca. 140 Mio. CGT [15]. Mehr als 99 % der georderten Schiffe sollen in den Jahren 2024 bis 2029 gebaut und indienstgestellt werden. Die Verteilung der Gesamtordern auf die Jahre gestaltet sich wie folgt:

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

		Jahr				
		2025	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**
		Mio. CGT				
Gesamtorderbuch	Mio. CGT	44	40	35	14	3.6
Davon mit alternativem Main Bunker Fuel Type	[%]	44	47	60	71	79
		Anzahl an Schiffen				
Gesamtorderbuch	n	2270	1.600	1.020	320	60
Davon mit alternative Main Bunker Fuel Type	[%]	20	28	41	53	66

Tabelle 2: Orderbuch 2025 bis 2029 in CGT und Anzahl an Schiffen[6]

Tabelle 2 verdeutlicht den Unterschied zwischen den georderten Schiffen mit potenziell klimaneutralen Main-Bunker-Fuels in CGT und in tatsächlicher Anzahl an Schiffen. Der prozentuale Anteil jener Schiffe fällt gemessen an der Anzahl im Orderbuch deutlich geringer aus als der prozentuale Anteil gemessen in den georderten CGT. Eine geringere Anzahl an georderten Schiffen mit alternative Main Bunker Fuel zeichnet daher für einen größeren Anteil der georderten CGT verantwortlich. Bei diesen Schiffen handelt es sich folglich um Schiffe hoher CGT, die aktuell, wie bereits dargelegt, vornehmlich in China und Südkorea gebaut werden.

Die Verteilung der georderten Schiffe auf die Jahre zeigt einen bereits jetzt schon hohen Belegungsgrad der globalen Werftkapazitäten an. Als Referenzwert wird dabei von den absoluten Werftkapazitäten des Jahres 2024 (63 Mio. CGT) ausgegangen.

2025 | 43 Mio. CGT → 68 % der globalen Werftkapazität (Stand Q3 2024)
2026 | 40 Mio. CGT → 63 % der globalen Werftkapazität (Stand Q3 2024)
2027 | 37 Mio. CGT → 59 % der globalen Werftkapazität (Stand Q3 2024)
2028 | 17 Mio. CGT → 27 % der globalen Werftkapazität (Stand Q3 2024)
2029 | 5 Mio. CGT → 8 % der globalen Werftkapazität (Stand Q3 2024)

Da die typische Zeitspanne von einer Order bis hin zur Indienststellung im Schiffbau i. d. R. drei Jahre nicht überschreitet, ist eine belastbare Prognose der Nachfrage ab dem Jahr 2027 auf Basis des Orderbuchs nicht möglich. Die Auftragsverteilung der letzten Jahre und der Ausblick im Orderbuch legen nahe, dass der Neubau der volumenstärksten Schiffssegmente Bulker, Container und Tanker überwiegend durch die größten First Tier Werften ausgeführt wird. Da die durchschnittliche Auslastung dieser Werften teils deutlich

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

über dem globalen Durchschnittswert liegt, wird es bei den kleineren Werftstandorten entsprechend geringere Auslastungen geben.

Laut des im Mai 2024 veröffentlichen Shipping Market Reviews von Danish Ship Finance wird davon ausgegangen, dass trotz der bereits hohen Neubauordern in den nächsten Jahren bis zu 30 % der 314 First- und Second- Tier Werften schließen werden [4]. Diese Schließungen werden den Auslastungsprognosen folgend voraussichtlich nicht im Bereich der großen First- Tier Werften im asiatisch-pazifischen Raum abspielen, sondern insbesondere bereits angeschlagene Werftstandorte mit weniger guten Wettbewerbsbedingungen, wie etwa höhere Preisniveaus oder kleinere Bauplätze (Second Tier Werften), treffen.

Eine Chance insbesondere für Second und Third Tier Werften könnte zukünftig hingegen in den zusätzlich zu den für den Neubau klimaneutraler Schiffe benötigten Werftkapazitäten für den Umbau von Bestandsschiffen hin zu klimafreundlicheren Schiffen, den sogenannten Retrofits oder auch Conversion, bestehen. Insbesondere für den Einbau von alternativen Kraftstoff- und entsprechenden Antriebssystemen wird ein längerer Werftaufenthalt nötig. Die dabei an die ausführenden Werften gestellten Anforderungen sind hoch. So sind die Auslegung und Umsetzung besonders sensibel und individuell abzustimmen. Zudem muss die Werft dazu fähig sein, entsprechende Monitoring-, Sicherheits- und Automatisierungstechnik zu verbauen, sowie Kapazitäten im Umgang mit alternativen Kraftstoffen mit ggf. potenziell gefährdenden Eigenschaften aufweisen, um nötige Systemtests durchzuführen (siehe Kapitel 4 und 5).

Eine durch Lloyd's Register veröffentlichte Studie zum Thema Retrofit von Schiffen hat auf Basis einer durchgeführten Modellierung 16 Werften identifiziert, die für großskalige Umbaumaßnahmen (im Folgenden Conversion genannt) zum Einbau alternativer Kraftstoffsysteme geeignet sind. Um das Erreichen der Klimaziele sicherzustellen, liegt die benötigte Kapazität für solche Umbauten laut des Berichts schon ab 2025 um ein Vielfaches über der Anzahl an Conversion, die realistisch durch 16 Werften abgebildet werden können. Zwischen den Jahren 2030 und 2035 könnten die benötigten Kapazitäten für Umbauten sogar bei mehr als dem Zehnfachen liegen [5]. Da für Conversion aufgrund der Komplexität dieser Umbaumaßnahmen lange Werftaufenthalte, eine geeignete Werftausstattung sowie dem Schiff entsprechend dimensionierte Bauplätze nötig sind, eignen sich Second Tier Werfen besonders für ihre Durchführung. Wenn diese

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

prognostizierte Entwicklung der Nachfrage nach Conversion eintritt, würde es auch im Bereich für Conversion geeigneter Second Tier Werften bis 2050 zu Engpässen führen.

2.3.3 Globale Verteilung Werftkapazitäten

Europäische Werften sind in den vergangenen 20 Jahren vermehrt durch Konkurrenten aus dem asiatischen Raum aus dem Markt gedrängt worden. Heute konzentriert sich die globale Schiffbauindustrie insbesondere auf China und Südkorea. Südkorea ist global der Akteur, der über die Werftstandorte mit der höchsten Einzelkapazität verfügt. Unter Berücksichtigung aller betrieblichen Werftkapazitäten ist hingegen der chinesische Staatskonzern China State Shipbuilding Corporation an der Weltspitze. Die beiden Länder konnten im vergangenen Jahr 80 % der Bestellungen für sich verbuchen – während Europa gerade einmal auf 7 % kam.

Das aktuelle Orderbuch der Welthandelsflotte zeichnet ein ähnliches Bild. Über 90 % der Ordern entfallen auf den asiatisch-pazifischen Raum, davon ca. 80 % auf China und Südkorea. Die nachstehende Tabelle 3 verdeutlicht zudem, dass auf einzelne Werftstandorte besonders hohe Ordervolumina entfallen. Dazu zählen insbesondere Hyundai Heavy Industries (Ulsan), Samsung Heavy Industries und Hanwha Ocean.

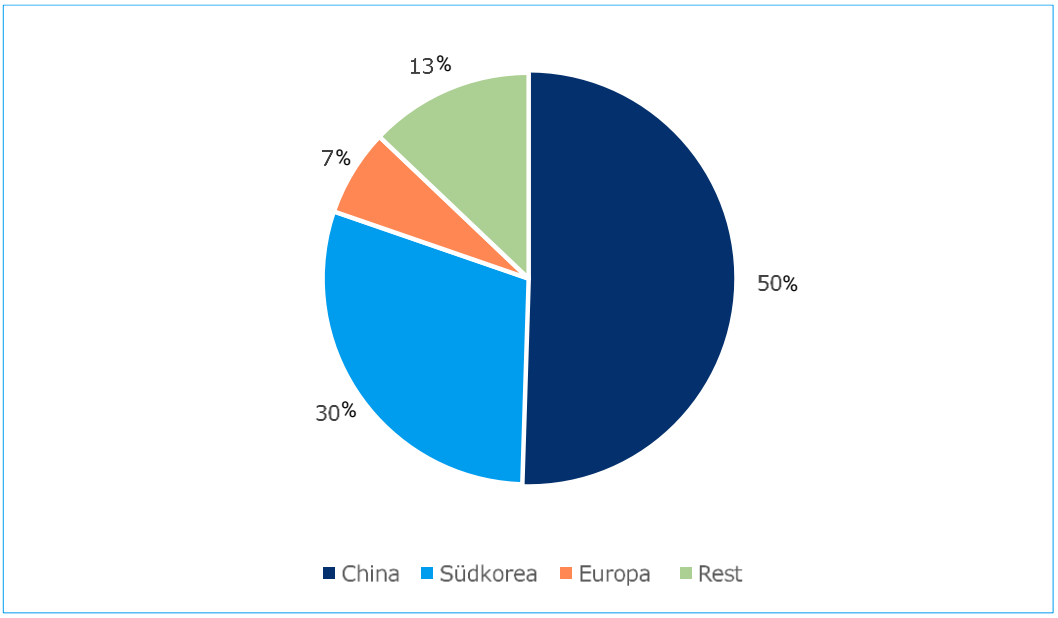

Abbildung 6: Globale Verteilung Orderbuch [%][7]

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Die nachstehende Tabelle 3 verdeutlicht zudem, dass auf einzelne Werftstandorte besonders hohe Ordervolumina entfallen. Dazu zählen insbesondere Hyundai Heavy Industries (Ulsan), Samsung Heavy Industries und Hanwha Ocean. Das Orderbuch gibt zwar keine konkrete Auskunft über die vorhandenen und zukünftigen Werftkapazitäten, da Ordern z. B. bereits vor der tatsächlichen Verfügbarkeit der Kapazitäten ausgelöst werden können, es ist aber wesentlicher Bestandteil für die Kapazitätsplanungen der Werften.

Eine detailliertere Auswertung der Indienststellungen von 2005 bis 2024 nach Schiffssegmenten zeigt eine besonders hohe Neubaumenge im Bereich der Bulker, Tanker und Container. Diese Schiffstypen, ebenso wie Gas Carrier, Multi Purpose (MPP)- und General Cargo-Schiffe wurden über den gesamten Zeitraum hinweg zum Großteil im pazifisch-asiatischen Raum gebaut, welcher somit den Schiffbau in allen nachfrage- und volumenstarken (in CGT) Segmenten dominiert (siehe Abbildung 7).

Name	Standort	Mutterkonzern	Hauptschiffstypen	Anzahl Order [Mio CGT]
Hyundai Heavy Industries (Ulsan)	South Korea	HD Hyundai	Tanker, Container, LNG Carrier, LNG*, FSRU**, LPG***	9,7
Samsung Heavy Industries	South Korea	Samsung	Container, Schweröltanker, Tanker, LNG Carrier	9,5
Hanwha Ocean	South Korea	Hanwha Group		8,5
Hyundai Samho HI	South Korea	HD Hyundai		6,1
Hudong Zhonghua	China	CSSC (China State Shipbuilding Company)	Grauer Schiffbau, large LNG Carrier, ultra-large Container, Spezialschife	6
Jiangnan SY Group	China	CSSC		3,5
New Times SB	China	Private		3,4
Shanghai Waigaoqiao	China	CSSC		3
Jiangsu New YZJ	China	Private		2,7
Hyundai Mipo	South Korea	HD Hyundai	medium-sized kommerzielle und Spezialschiffe	2,7

Tabelle 3: Spezifizierung globale Top-Werften

* LNG: Liquified Natural Gas
** FSRU: Floating Storage Regasification Unit
*** LPG: Liquified Petroleum Gas

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Gerade im Bereich Bulker und Gas Carrier spielt Europa als Bauregion nahezu keine Rolle. In den anderen betrachteten Segmenten nahm der vor 2010 bereits geringe europäische Anteil danach noch weiter ab, und ist nun auch kaum von Relevanz. Lediglich der Bau von Kreuzfahrtschiffen ist hauptsächlich in Europa zu verorten, nimmt aber nur einen geringfügigen Teil der globalen Schiffsneubauten in Anspruch.

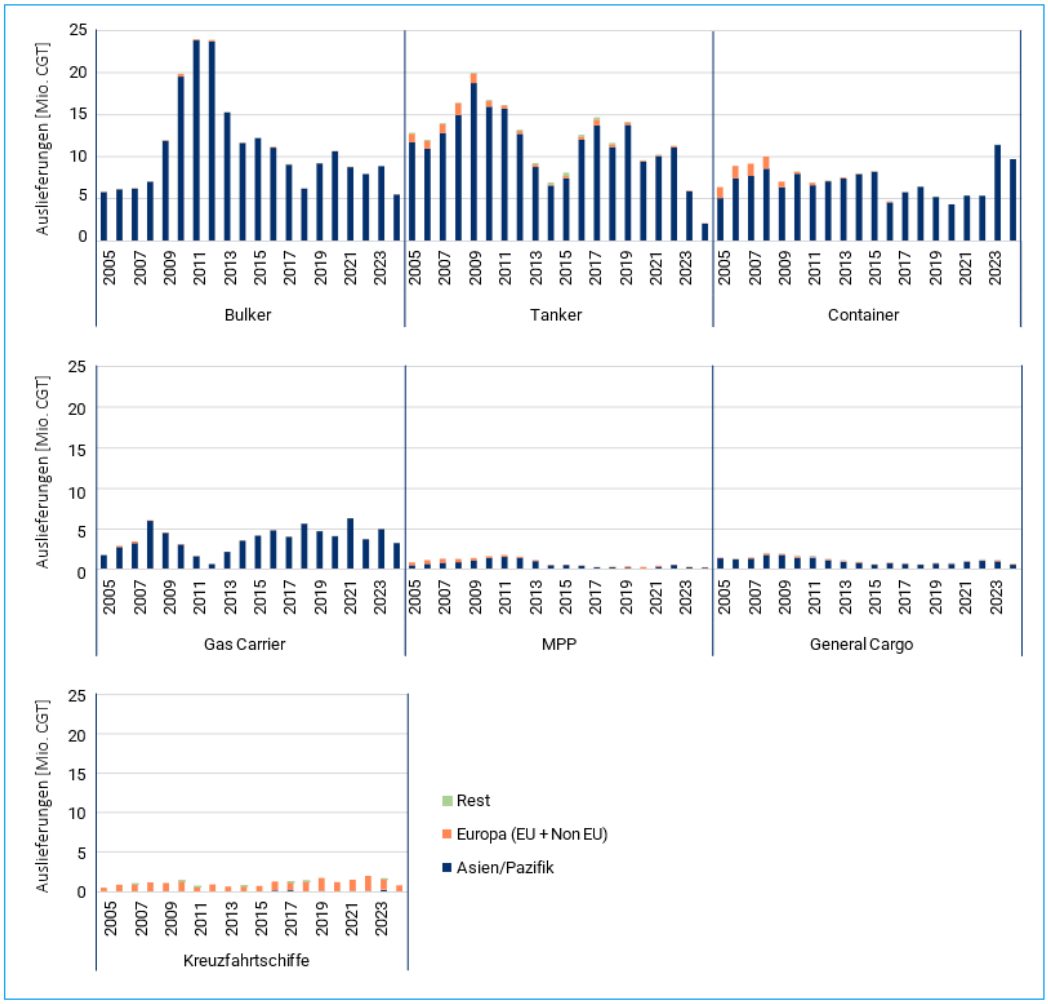

Abbildung 7: Indienststellungen nach Schiffstyp und globaler Region [Mio. CGT*] [8]

[8] Basierend auf Daten der Schiffsdatenbank *Clarksons Research*, Stand 02.09.2024.
[*] Compensated Gross Tonnage (CGT): ist ein Maß nicht nur für Bruttoraumzahl, sondern auch die arbeitsbezogene Komplexität von Schiffen.
[**] Multi-Purpose Vessel (MPP): Mehrzweckfrachtschiffe.

Technologisch anspruchsvollere Schiffstypen werden tendenziell in Südkorea oder Japan geordert. Beide Länder rufen durchschnittlich höhere Neubaupreise als China auf. China durchdringt insbesondere stark den Markt in Segmenten, bei denen eine geringere Komplexität der Konstruktion erforderlich ist, wie z. B. der Bau von Bulkern oder Tankern.

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT, FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Die globalen Lohnpreisentwicklungen der letzten Jahre und der Mangel an Fachkräften lassen das Wachstum der Werftkapazitäten in China jedoch in jüngster Zeit stagnieren. Nachdem die großen Werftstandorte über Effizienzsteigerungen zusätzlichen Output generieren konnten, stellt der Ausbau weiterer Kapazitäten aus den genannten Gründen auch in China eine Herausforderung dar.

Der europäische Schiffbaumarkt konnte sich lange durch komplexe Schiffstypen wie zum Beispiel Schiffe für die Offshoreindustrie, Forschungsschiffe, Marine- und Passagierschiffe und vor allem Kreuzfahrtschiffe gegenüber China und Südkorea behaupten. Inzwischen holen die asiatischen Werften auch hier immer weiter auf. So liegt der europäische Schiffbau beispielsweise im Offshorebereich bereits abgeschlagen hinter China und Südkorea. [6].

Auch im Bereich Forschung und Entwicklung sowie dem Bau von Schiffen, bei denen alternative Kraftstoffe und neue Antriebs- und Kraftstoffsysteme zum Einsatz kommen, streben China und Südkorea zunehmend Richtung Weltspitze. So hat die chinesische Regierung im Dezember 2023 eine Erklärung mit den Zielen ihrer Strategie für den Schiffbausektor für den Zeitraum 2024 bis 2030 veröffentlicht. Kern der Strategie ist die

rasche Entwicklung neuer Schiffe mit niedrigem oder gar keinem Kohlendioxidausstoß.

Bereits bis 2025 soll mehr als 50 % des chinesischen Marktes für umweltfreundliche Schiffe gesichert werden. Bis 2030 sieht der chinesische Plan vor, dass die chinesische Schiffbauindustrie weltweit führend in der umweltfreundlichen Schifffahrt ist.

China plant die Umsetzung dieser Strategie u. a. durch ein staatlich gefördertes Entwicklungsprogramm für mit Methanol und Ammoniak betriebene Neubauten sowie die Beschleunigung der Forschung und Entwicklung von Flüssigwasserstoffträgern und Brennstoffzellen. Auch ein umfassendes System zum Management und der Entwicklung grüner Lieferketten für den chinesischen Schiffbausektor ist Teil des ganzheitlichen nationalen Branchenaufbauplans [7].

Um die gesetzten Ziele zu erreichen, sieht die Strategie trotz der stagnierenden Zuwachsraten vor, die Kapazitäten großer Bestandswerften auszubauen und bereits stillgelegte Werftstandorte wieder in Betrieb zu nehmen. Insgesamt wird eine Erhöhung um bis zu 80 % der nationalen Schiffbaukapazitäten bis 2027 gegenüber 2024 avisiert [93].

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Basierend auf dem aktuellen jährlichen Output chinesischer Werften könnte dies bis zu weitere 20 Mio. CGT nationaler Schiffbaukapazität bedeuten.

Laut chinesischem Ministerium für Industrie und Informationstechnologie setzt sich der Plan auch in die Praxis um: Das Ministerium veröffentlichte im Oktober 2024 eine Statistik, laut der China in den ersten drei Quartalen 2024 mehr als 70 % der weltweiten Aufträge für umweltfreundliche Schiffe erhalten und eine vollständige Abdeckung aller gängigen Schiffstypen erreicht hat [8].

Auch die südkoreanische Regierung ergreift aktiv Maßnahmen, um das Wachstum des Schiffbausektors weiter anzukurbeln. Im November 2023 wurde die „K-Shipbuilding Strategy for Next-Generation Market Dominance“ vorgestellt, in der das Ziel formuliert wurde, mehr als 80 % des künftigen Schiffbaus auf ökologische und intelligente Schiffe zu konzentrieren. Im März 2024 stellt das Ministerium für Handel, Industrie und Energie dann die „K-Shipbuilding Next Generation Initiative“ vor. Bei der Initiative handelt es sich um eine Plattform, die die Zusammenarbeit zwischen dem öffentlichen und privaten Sektor im Schiffbau fördern soll. Es sind insgesamt Investitionen von fast 7 Mrd. USD vorgesehen, um die Werften des Landes bei der Entwicklung von Spitzentechnologien, wie autonome und emissionsfreie Schiffe, einen Vorsprung vor aufstrebenden Konkurrenten, insbesondere aus China, zu verschaffen.

Des Weiteren wurde eine Vereinbarung mit den drei größten Schiffbauunternehmen des Landes unterzeichnet (HD Korea & Shipbuilding & Offshore Engineering, Samsung Heavy Industries, Hanwha Ocean). Diese sieht vor, dass auch sie in den kommenden fünf Jahren 6,8 Mrd. USD investieren werden, um Südkorea als weltweit führende Schiffbaunation zu etablieren [58]. Die kapazitätssteigernde Wirkung dieser Investitionen lässt sich hier nicht belastbar herleiten.

2.4 Werftenlandschaft Deutschland & Mecklenburg-Vorpommern

2.4.1 Deutschland

Im Gegensatz zu vielen anderen Ländern ist der Schiffbau in Deutschland privatwirtschaftlich organisiert und erfährt daher keine direkte Subvention durch den Staat. Auch befinden sich deutsche Werften i. d. R. nicht in staatlichem Eigentum. Diese

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

unterschiedliche Marktorganisation erschwert die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Werften [9].

Die deutsche Werftenlandschaft wird derzeit insbesondere durch die vier Unternehmensgruppen ThyssenKrupp Marine Systems GmbH, Meyer Werft Gruppe, Fr. Lürssen Gruppe und German Naval Yards geprägt. Viele der Gruppen sind mit Standorten in mehreren Bundesländern vertreten, und bündeln zum Teil eine Vielzahl von Subfirmen. Von 2016 bis 2022 war zudem die Gruppe MV Werften ein wichtiger Bestandteil des deutschen Schiffbaus.

Die größte deutsche Werftengruppe, die Meyer Werft Gruppe, geriet im Jahr 2024 in ein starkes finanzielles Ungleichgewicht und wurde infolgedessen zeitlich begrenzt zu rund 80 % vom Bund und dem Land Niedersachsen übernommen. Dieses Vorgehen ist im deutschen Schiffbau ein Einzelfall und kann als Widerspruch zu der grundsätzlich privatwirtschaftlichen Organisation des Schiffbaus wahrgenommen werden, unterstreicht aber die nach wie vor hohe Bedeutung des Unternehmens und der Branche für Staat und Region.

Trotz einiger Branchen- und Wirtschaftskrisen sowie weiterer Marktschwankungen bestehen alle vier deutschen Werftgruppen bereits seit über 20 Jahren. Ihr kumulierter Anteil (inklusive des Anteils der im Jahr 2022 insolvent gegangenen MV-Werften) an der deutschen Gesamtwerftbeschäftigung beträgt deutlich mehr als 50 % (siehe Abbildung 8).

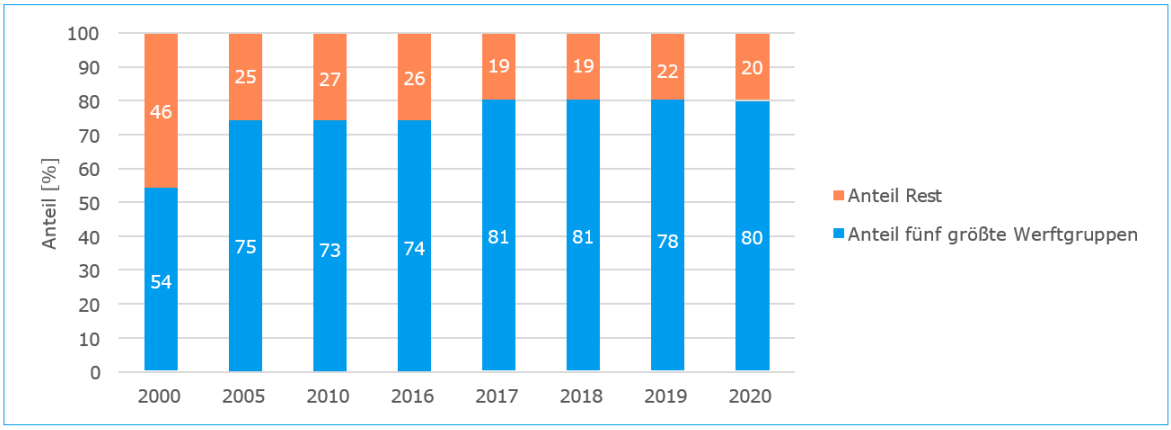

Abbildung 8: Anteil der fünf größten Werften (inkl. MV Werften) an der Gesamtwerftbeschäftigung [%] in Deutschland (2000 - 2020), basierend auf [9]

Neben den vier genannten Unternehmensgruppen sind in Deutschland zudem kleinere, meist im Spezialschiffbau, Yachtbau, Umbau oder in der Reparatur tätige, Werften ansässig

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

[9]. Der Gesamtoutput deutscher Werften beträgt im Jahr 2024 voraussichtlich ca. 1,1 Mio. CGT und ist damit für ca. 2,4 % des globalen Outputs verantwortlich (siehe Kapitel 2.3.3).

Die maritime Zulieferindustrie ist für über 70 % des Umsatzes im deutschen Schiffbau verantwortlich. Ihr Umsatz lag zwischen 2011 und 2019 immer zwischen 11 und 12 Mrd. €, wobei im Schnitt 75 % des Umsatzes im Ausland erzielt wurden [94]. Sie ist daher wichtiger Bestandteil der deutschen Schiffbauindustrie und sollte ebenso bei einer zukunftsfähigen Entwicklung der Branche mitgedacht werden [10]. Eine konkurrenzfähige Zulieferindustrie sollte als ein Pfad verstanden werden, Deutschlands Partizipation am globalen Schiffbau zu erhalten oder sogar zu bestärken.

2.4.2 Mecklenburg-Vorpommern

Der Schiffbau sowie die maritime Zulieferindustrie gehören zu den Schlüsselindustrien Mecklenburg-Vorpommerns und sind mit langer Tradition und Geschichte verbunden. Die Werften gehörten generationsübergreifend zu den größten regionalen Arbeitgebern im verarbeitenden Gewerbe. In den letzten Jahren wurde der deutsche Schiffbausektor aber zunehmend in eine Krise gestürzt, die auch Mecklenburg-Vorpommern getroffen hat.

Zum Schiffbau in Mecklenburg-Vorpommern zählen etwa 2.400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den größeren Schiffbaubetrieben. Zu diesen gehören die NEPTUN Werft (Rostock), das Marinearsenal Warnow-Werft (Rostock) und Tamsen Maritim (Rostock), die Wolgaster Peene- Werft sowie thyssenkrupp Marine Systems (Wismar), Meyer-Wismar (Wismar) sowie die Stralsunder Unternehmen Ampereship, und Strela Shiprepair. Der Standort des Unternehmens Fosen Yards in Stralsund hat im August 2024 Insolvenz angemeldet [11].

Bis 2022 waren die zum Kreuzfahrt- und Touristikkonzern Genting Hong Kong gehörenden MV Werften an den Standorten Wismar, Rostock und Stralsund mit bis zu 3.000 Mitarbeitenden die größte Schiffbaugruppe im Land. Insbesondere infolge der Auswirkungen der COVID-19-Pandemie auf die Kreuzfahrtbranche meldeten die MV Werften im Januar 2022 Insolvenz an.

Die Wismarer Werft wurde von einem Tochterunternehmen des Konzerns thyssenkrupp, dem Kieler Marineschiffbauer thyssenkrupp Marine Systems übernommen. Das Werftgelände in Rostock-Warnemünde erwarb die Bundesanstalt für Immobilienaufgaben

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

für den Bund (Bundesministerium der Verteidigung). Dort wird nun ein Standort des Marinearsenals betrieben. Das Stralsunder Werftgelände wurde durch die Hansestadt Stralsund übernommen und soll zum maritimen Industrie- und Gewerbepark Volkswerft entwickelt werden.

Die Entwicklungen des Schiffbaus in Mecklenburg-Vorpommern lassen auf vermehrte Entwicklungspotenziale bei der Entwicklung und dem Bau von Konverterplattformen für Offshorewindparks und weiterer Spezialplattformen, wie etwa zur Entsorgung von Munitionsaltlasten schließen. Darüber hinaus spielen weiterhin der Spezialschiffbau, der Bau von Behördenschiffen und Yachten und die Entwicklung und der Bau von Modulen für Kreuzfahrtschiffe sowie von Flusskreuzfahrtschiffen und Fähren eine wichtige Rolle. Auch die Wartung und Reparatur von Schiffen und der Service für Versorgungsschiffe der Offshore-Windparks sind insbesondere in Rostock und Barth etabliert.

Die maritime Zulieferindustrie in Mecklenburg-Vorpommern setzt sich aus in unterschiedlichen Bereichen tätigen Unternehmen zusammen. Sowohl Hersteller von Komponenten und Massenbauteilen als auch Anbieter spezialisierter Software oder Dienstleister für Entwurf und Planung sind regional ansässig. Auch relevant sind Anbieter von Produkten und Dienstleistungen, die nicht für das Finalprodukt Schiff bestimmt sind, sondern für die maritime Industrie im weiteren Sinne, wie etwa für maritime Anlagen für den Hafen- und Logistikbetrieb, Umwelt- und Sicherheitstechnik und Offshore- und Meerestechnik.

Die Firmen aus Mecklenburg-Vorpommern bedienen dabei den regionalen und nationalen Markt ebenso wie den internationalen Markt. Dennoch besteht das Risiko, dass sich einige Unternehmen und ihre Fachkräfte durch den Wegfall renommierter Werften in Mecklenburg-Vorpommern dauerhaft hin zu neuen Tätigkeitsfeldern und Kundenbranchen orientieren.

Die Entwicklungen der Werften der letzten Jahre in Mecklenburg-Vorpommern sind durch eine starke Dynamik gekennzeichnet. Der Wechsel von Eigentümern, Insolvenzen und die Teilung von Betriebsgrundstücken sind nicht spurlos an den einstig großen Werftstandorten des Bundeslandes vorbeigegangen. In der Folge ist es derzeit nicht möglich, ohne deutliche Umstrukturierungsmaßnahmen in den Bestandswerften Mecklenburg-Vorpommerns wieder einzelne Standorte mit großen Kapazitäten zu etablieren.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Das Bundesland beheimatet einige Unternehmen im Zuliefererbereich, die sich auch international etablieren konnten. Viele der Unternehmen haben sich aber auch auf die Belieferung der in unmittelbarer Nähe ansässigen Werften spezialisiert. Dies beinhaltete sowohl Standardprodukte als auch hoch technologisierte/spezialisierte Produkte.

Die Entwicklungen der letzten Jahre in der Schiffbauindustrie zeigen deutlich, dass vor allem Standardprodukte von Zulieferern nahe der Werftstandorte bezogen werden. Sie kommen demzufolge für die großen aktiven Werften direkt aus dem asiatischen Raum. Die verbleibende Marktchance für deutsche Zulieferunternehmen besteht im Verkauf technologisch anspruchsvoller Produkte.

Die Unternehmen Deutschlands und Mecklenburg-Vorpommerns sollten gezielte Unterstützung erfahren, um der maritimen Branche erhalten zu bleiben. Dies beinhaltete sehr wahrscheinlich die Hilfe bei der Etablierung von Zulieferern in den asiatischen Werftmarkt für z. B. die Entwicklung und Herstellung von Komponenten für Conversion.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

2.5 Zwischenfazit

- Die verfügbaren Werftkapazitäten belaufen sich 2024 auf ca. 63 Mio. CGT, wovon mindestens 73 % ausgelastet sind.
- Der szenariobasierte Bedarf an Werftkapazitäten beläuft sich 2035 auf bis zu 62 Mio. CGT (inkl. Fortschreibung des Flottenwachstumstrends). Da eine Auslastung der globalen Werftkapazitäten von mehr als 80 % nicht anzustreben ist, wird ein Zubau der absoluten Werftkapazitäten um ca. 25 % benötigt.
- Insbesondere zwischen 2030 und 2040 ist mit einem Peak der Nachfrage nach Schiffsneubauten zu rechnen.
- Die dominantesten Segmente im Schiffbau (in CGT) sind Bulker, Tanker und Container. Sie werden nahezu ausschließlich in China und Südkorea gebaut. Von den analysierten Segmenten werden lediglich Kreuzfahrtschiffe hauptsächlich in Europa gebaut.
- China und Südkorea planen sich auch im Bau klimaneutraler Schiffe an der Weltspitze zu positionieren. Hierfür wurden staatliche Strategien und Förderprogramme, teils mit großer Unterstützung aus der Wirtschaft veröffentlicht.
- 92 % des aktuellen Orderbuchs entfallen auf den asiatisch-pazifischen Raum, auf Europa hingegen nur 7 %.
- First Tier Werften weisen in 2024 und 2025 eine Auslastung von über 90 % und danach bereits über 70 % aus. Es ist eine zunehmende Konzentration im Neubaubereich auf große First Tier Werften zu beobachten. Die prognostizierten kurzfristigen Werftschließungen von 30 % der Werften werden daher insbesondere auf die Second Tier- Werften entfallen.
- Im Conversionbereich ist hingegen bereits ab 2025 mit Engpässen der Werftkapazitäten zu rechnen; ab 2030 werden ggf. mehr als das Zehnfache der aktuell verfügbaren Kapazitäten benötigt. Mittel- bis langfristig ergeben sich daher auch für Second- und Third- Tier Werften neue Marktchancen.

Mögliche Entwicklungen:

1. Die Fortsetzung des Trends der Verschiebung des Neubaumarktes in den asiatischen Raum ist wahrscheinlich. Alle Massenmärkte sind in allen anderen globalen Regionen bereits verloren gegangen.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

2. Im europäischen Raum wird ein zunehmender Wettbewerb um die verbleibenden Segmente Kreuzfahrtschiffe, Yachten und Behördenschiffe entstehen.

3. Europäische Werften könnten durch Fokussierung auf technologisch und ausführungstechnisch anspruchsvolle Schiffbauarbeiten ihre Ressourcen bezüglich Ausstattung und Know-how nutzen, um diese Marktsegmente zu erhalten und tangierende Bereiche zu erschließen (z. B komplexe Retrofit und Conversionmaßnahmen).

4. Aufgrund des voraussichtlich zunehmenden Handlungsdrucks und der Agglomeration von Ordern klimafreundlicher Neubauten zwischen 2030 und 2040 sind Engpässe in den Werftkapazitäten zu erwarten. Die Folge kann eine Befeuerung des Retrofit- und Conversionmarktes sein, der vornehmlich durch Second Tier und Third Tier Werften bedient werden kann.

5. Der Bau klimafreundlicher Schiffe sowie die zu erwartenden Nachfragepeaks zwischen 2030 und 2045 erhöhen zudem auch den Handlungsdruck auf die Zulieferindustrie sowie auf die Entwicklung der benötigten technologisch innovativen Komponenten

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

3 Projektierung klimaneutraler Schiffe

3.1 Projektierung von Schiffsneubauten

Im Schiffbau sind für eine erfolgreiche und zeitgerechte Beschaffungsstrategie für Neubauten unbedingt Vorlaufzeiten mitzudenken. Im Idealfall sollte der Beschaffungszyklus 5 Jahre vorher angestoßen werden. Dazu gehören die Konzeptentwicklungs- und Designphase, die Vorbereitung und Durchführung der Ausschreibungs- und Angebotsphase, die Vertragsverhandlungen sowie die Ausführungs- und Abnahmephase. Weniger umfangreiche Kaufprozesse, z. B. wenn Standarddesigns von einer bereits vorausgewählten Werft geordert werden (weitestgehender Entfall der in Abbildung 10 dargestellten Designphase), nehmen von der Beauftragung bis zur Indienststellung mindestens zwei Jahre in Anspruch. Abweichungen nach unten sind in Einzelfällen möglich.

Insbesondere für die Projektierung klimaneutraler Schiffe ist in der Ramp-up Phase dieser Schiffe mit hohem Zeitaufwand für Planungen und Vorbereitungen im Vorfeld der tatsächlichen Bauphase zu rechnen. Auch die Abnahme bedarf in der Marktetablierungsphase mehr Zeit, als es bei bereits etablierten Designs der Fall ist. Die reine Bauphase auf der Werft ist mit ähnlichem Zeitaufwand anzusetzen wie für ein Schiff ohne alternativen Antrieb.

Die in Abbildung 9 dargestellte Entwicklung der durchschnittlichen Dauer von der Order bis zur Auslieferung der Welthandelsflotte zeigt, dass die Werftaufenthalte von Schiffen unterschiedlicher Größe (in CGT) in einem nahezu gleichen Zeitrahmen variieren können. Die Werte, in deren Rahmen sich die Varianz für große Schiffe bewegt, sind nur geringfügig höher als für kleinere Schiffe. Der Zeitaufwand, den Werften für den Bau von Schiffen kalkulieren, ist folglich nur geringfügig von der Größe des georderten Schiffs abhängig.

Für die Planung der Werftauslastung sind die maßgeblichen Kriterien, nach denen Bauslots vergeben werden, in anderen Bereichen zu verorten, wie z. B. kommerziellen Vorteilen oder der maximalen Auslastung von Bauslots. In einigen Schiffssegmenten, in denen eher niedrigpreisige Schiffe mit Standarddesigns z. B. zum Transport von Massengütern üblich sind, ist es laut Aussagen von Akteuren aus der Branche üblich, dass Werften Bauslots für bereits festgelegte Schiffsneubauten in der Branche anbieten.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Der potenzielle Käufer hat während der Verhandlungen die Möglichkeit lediglich geringste Anpassungen einzubringen. Hierbei werden häufig etablierte Designs verwendet, die nicht als modern bezeichnet werden können.

Für den Bau klimaneutraler Schiffe bedeutet dies, dass ihr Bau dann attraktiv für Werften werden kann, wenn Vorplanungen und Lieferketten den Bau in einem ähnlichen Zeitrahmen ermöglichen, wie es aktuell für Neubauten der Fall ist. Zudem muss insbesondere in der Ramp-up-Phase der klimaneutralen Schifffahrt eine Werft so ausgestattet und das Personal so geschult sein, dass nach wie vor eine Flexibilität gegeben ist, unterschiedliche Schiffbauprojekte umzusetzen und die hohe Auslastung der Werftstandorte zu gewährleisten.

Abbildung 9: Durchschnittliche Zeitspanne von Order bis zur Indienststellung der Welthandelsflotte, basierend auf [92]

3.2 Etablierte Prozessabläufe in Schiffbau und typische Zulieferstrukturen

Die Projektierung von Schiffsneubauten kann sich je nach gebautem Schiff und ausführender Bauwerft stark unterscheiden. Im Schiffbau ist ein standardisierter Bauprozess, der auf einer Vielzahl von Werften Anwendung findet, bisher nicht typisch. Dennoch haben sich auch in der Schiffsbaubranche übergeordnete, strategisch sinnvolle und effektive Planungs- und Bauprozesse insbesondere infolge der zunehmenden

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

Globalisierung und des damit einhergehenden Wissenstransfers herauskristallisiert, entlang derer eine Vielzahl der Projektierungen von Schiffen der dominanten Segmente erfolgt.

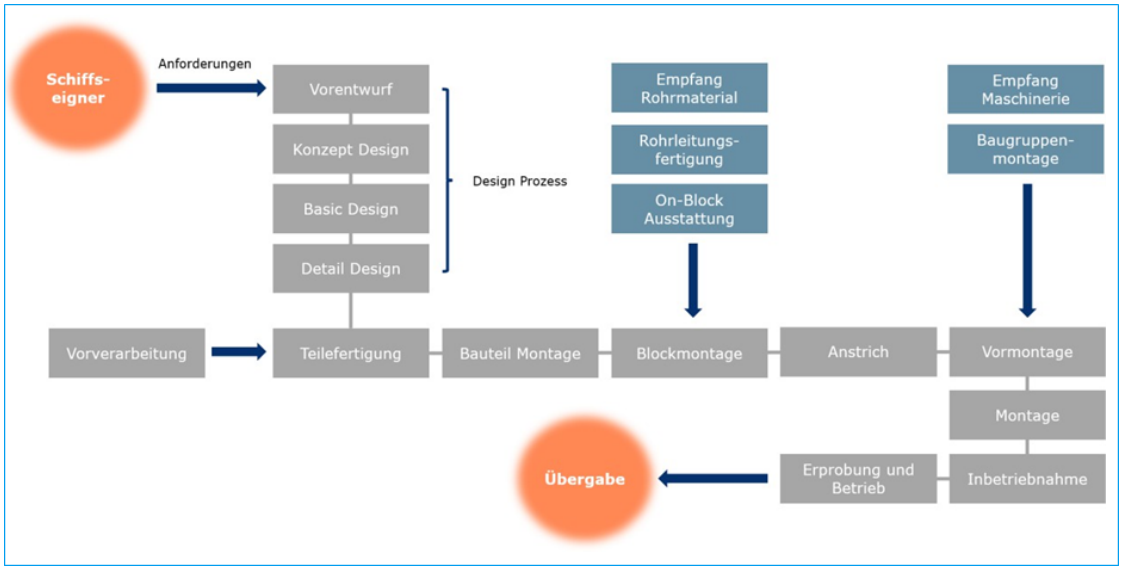

Abbildung 10: Beispielprozess Projektierung Schiffsneubau, basierend auf [12]

Im Schiffbau wird üblicherweise ein hoher Anteil der Wertschöpfung durch Vorleistungen anderer Industrien erzielt. So wird bis zu 70 % des Produktionswertes eines Schiffs innerhalb der vorgelagerten Lieferkette generiert. Der Trend weg von einer umfassenden Produktion aller wichtigen Ausrüstungsgegenstände auf der Bauwerft hin zu sogenannten ‚Montagewerften' hat sich innerhalb der letzten Jahrzehnte immer stärker etabliert. Damit gewinnen das Beschaffungswesen und die Struktur der Zulieferindustrie deutlich an Wichtigkeit [13].

Die Lieferkette im Schiffbau lässt sich entsprechend dem Montageprozesses in folgende Hauptsegmente unterteilen: Schiffswerft, Lieferanten von Komponenten (insbesondere Hersteller von Schiffsausrüstung), Lieferanten von Materialien (z. B. Stahl) und Unterauftragnehmer, die unterschiedliche Dienstleistungen abdecken können. Die Strukturen der Lieferkette im Schiffbau sind weitverzweigt. Es gibt nicht nur direkte Zulieferer, sondern auch zahlreiche Sub-Zulieferer, die häufig global ex- und importieren. Die Projektierung und der Bau eines Schiffes ist aufgrund der Anzahl der an der Lieferkette und dem Wertschöpfungsprozess beteiligten Firmen und der Beschaffungsstrukturen als äußerst komplex zu bezeichnen [13].

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Infolge der engen Verzahnung mit dem Schiffbausektor folgte die Entwicklung der Zulieferindustrie in der Vergangenheit meist der Schiffbaukonjunktur. Aufgrund der verzögerten Auswirkungen von Ereignissen entlang der Wertschöpfungskette sind starke Schwankungen im Werftsektor jedoch i. d. R. mit deutlicher Verspätung spürbar. Diese Responsivität kann mitunter verheerende Folgen haben, und die Bereitschaft einer Umorientierung einiger Firmen verstärken.

3.3 Projektierung klimaneutraler Schiffe - Regulatorischer Rahmen

Mit welchem Aufwand Schiffe mit alternativen Antriebs- und Kraftstoffsystemen gebaut und in Betrieb genommen werden, wird u. a. von den zur Verfügung stehenden Regularien bestimmt.

Immer dann, wenn für den Einsatz eines Kraftstoffs noch keine etablierte Regulatorik verfügbar ist, müssen umständliche individuelle Abnahmen der Schiffdesigns und aller Einzelkomponenten des Kraftstoff- und Sicherheitssystems erfolgen. Sie gehen mit hohem Aufwand v. a. bezüglich der entstehenden Kosten und der aufzuwendenden Zeit einher. Abgesehen von einzelnen Leuchtturmprojekten und Forschungsvorhaben ist die Order von Schiffen, die mit alternativen Kraftstoffen betrieben werden ohne verfügbare Regulatorik, die einen komplikationsarmen Bau- und Abnahmeprozess gewährleistet, für Eigner und Werften nicht attraktiv.

LNG/ Flüssigerdgas verfügt bereits über eine Zulassung als Schiffskraftstoff. Für Methanol liegen vorläufige Richtlinien für die Sicherheit von Schiffen, die Methanol als Kraftstoff einsetzen, vor. Für beide Kraftstoffe ist daher bereits heute eine Klassifizierung gemäß standardisierter Vorgaben möglich. Für Ammoniak als Schiffskraftstoff wurde bereits ein Entwurf für eine vorläufige Richtlinie erarbeitet, sodass zeitnah mit einem Beschluss durch die IMO gerechnet werden kann. Ähnliches gilt für den Einsatz von Wasserstoff als Schiffskraftstoff (siehe Tabelle 4).

Für Schiffseigner ist daher derzeit die Beauftragung von Schiffen, die mit LNG oder Methanol betrieben werden, im Bereich der alternativen Kraftstoffe hinsichtlich des Planungs- und Klassifizierungsprozesses mit den geringsten Hürden verbunden.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

	IMO* SAFETY – SOLAS**	IMO* ENVIRONMENT – MARPOL***
LNG	SOLAS-Kapitel II regelt Methan (LNG) als Brennstoff durch SOLAS-Kapitel II-1 Teil G (flüssiger Brennstoff oder Gas mit niedrigem Flammpunkt) und den IGF-Code.	MARPOL-Anlage VI regelt die Emissionen von CO_2 und NOx Flüchtige Methanemissionen sind derzeit in der MARPOL-Anlage VI nicht geregelt.
Methanol	SOLAS-Kapitel II reguliert Kraftstoffe mit niedrigem Flammpunkt (< 60°C) durch: • SOLAS-Kapitel II-1 Teil G (flüssiger Brennstoff oder Gas mit niedrigem Flammpunkt) und den IGF-Code • SOLAS Ch II-1 Part F (Alternative Konstruktion und Anordnung) - MSC.1/Circ.1212/Rev.1 und MSC.1/circ.1455 Der IGF-Code berücksichtigt Methanol als Kraftstoff nicht, aber es wurden vorläufige Richtlinien für die Sicherheit von Schiffen, die Methyl-/Ethylalkohol als Kraftstoff verwenden, entwickelt (MSC.1/Circ.1621).	Methanol ist im IBC-Code der Kategorie Y zugeordnet, was bedeutet, dass es eine Gefahr für die Meeresressourcen oder die menschliche Gesundheit darstellt. Die Anforderungen des MARPOL-Anhangs II gelten nicht für das Auslaufen und Einleiten von Methanol als Kraftstoff. MARPOL-Anlage VI regelt die Emissionen von CO_2 und NOx
Ammoniak	SOLAS-Kapitel II reguliert Kraftstoffe mit niedrigem Flammpunkt (< 60°C) durch: • SOLAS Kapitel II-1 Teil G (flüssiger Brennstoff oder Gas mit niedrigem Flammpunkt) und den IGF-Code • SOLAS Ch II-1 Part F (Alternative Konstruktion und Anordnung) - MSC.1/Circ.1212/Rev.1 und MSC.1/Circ.1455 Der IGC-Code weist Ammoniak als giftiges Produkt aus und verbietet die Verwendung giftiger Ladung als Brennstoff. Der IGF-Code berücksichtigt Ammoniak als Brennstoff nicht. Ein Entwurf für vorläufige Leitlinien für die Sicherheit von Schiffen, die Ammoniak als Brennstoff verwenden, wird derzeit erarbeitet.	„Ammoniak wässrig" wird im IBC-Code der Kategorie Y zugeordnet, was bedeutet, dass es eine Gefahr für die Meeresressourcen oder die menschliche Gesundheit darstellt. Die Anforderungen der MARPOL-Anlage II gelten nicht für das Austreten und Einleiten von Ammoniak als Brennstoff. Die MARPOL-Anlage VI regelt die NOx-Emissionen Andere Verbrennungsprodukte, z.B. N_2O, sind derzeit nicht durch MARPOL Anlage VI geregelt.
Wasserstoff	SOLAS-Kapitel II reguliert Kraftstoffe mit niedrigem Flammpunkt (< 60°C) durch: • SOLAS Kapitel II-1 Teil G (flüssiger Brennstoff oder Gas mit niedrigem Flammpunkt) und den IGF-Code • SOLAS Ch II-1 Part F (Alternative Konstruktion und Anordnung) - MSC.1/Circ.1212/Rev.1 und MSC.1/Circ.1455 Der IGF-Code berücksichtigt Wasserstoff als Kraftstoff nicht. MSC.420(97) enthält jedoch vorläufige Empfehlungen für die Beförderung von flüssigem Wasserstoff als Massengut. Der Entwurf vorläufiger Richtlinien für die Sicherheit von Schiffen, die Wasserstoff als Brennstoff verwenden, wird derzeit ausgearbeitet.	Die MARPOL-Anlage VI regelt die NOx-Emissionen

Tabelle 4: Regulatorischer Stand alternative Schiffskraftstoffe, basierend auf [83]

* IMO: International Maritime Organization

** SOLAS: International Convention for the Safety of Life at Sea

*** MARPOL: Marine Polution

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

3.4 Einfluss zukünftiger Anforderungen an die Schifffahrt auf die Projektierung und den Bau von Schiffen

Um den Einfluss zunehmender Emissionsregulierung durch die Schifffahrt auf die Branche und den Schiffbauprozess marktnah zu verifizieren und Einflussbereiche innerhalb der Lieferketten herausstellen zu können, wurden im Rahmen der Studie Experteninterviews mit Akteuren aus den folgenden Bereichen geführt.

- Werften
- Reedereien
- Ingenieurbüros
- Zulieferer (produzierendes Gewerbe) und
- Verbände

Alle gewonnenen Informationen wurden in anonymisierter Form verarbeitet und werden nachfolgend lediglich inhaltlich aufgegriffen. Die gewonnenen Einblicke konnten eine Vielzahl von Herausforderungen offenlegen, mit denen die Schifffahrts- und Schiffbaubranche konfrontiert wird.

Der bevorstehende Anstieg benötigter Schiffsneu- und -umbauten, der mit einem Wandel hin zu einer klimaneutralen Flotte und zu der Nutzung alternativer Energien verbunden ist, kann ein Enabler für steigende Auftragszahlen im Schiffbau- und Zuliefersektor sein – vorausgesetzt, die benötigen Produkte und Dienstleistungen können angeboten werden. Dadurch können aber auch die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte fortgesetzt und die mittlerweile größten Schiffbaunationen China und Südkorea weiter bestärkt werden.

Welche Unternehmen und Länder letztendlich von den steigenden Auftragszahlen profitieren könnten, hängt maßgeblich vom technologischen Know-how, der Verfügbarkeit leistungsfähiger Lieferketten benötigter Komponenten, sowie der Ausstattung der Werften und Zulieferbetriebe sowie von den zur Verfügung stehenden Modellen zur Finanzierung und Absicherung von Schiffbauprojekten ab.

Die chemisch-physikalischen Eigenschaften alternativer Kraftstoffe beeinflussen die Anforderungen an das gesamte Schiffsdesign sowie eine Vielzahl der verbauten Komponenten. So sind z. B. Wasserstoff und dessen Derivate deutlich korrosiver als herkömmliche Schiffskraftstoffe und/oder werden z. T. bei deutlich kälteren Temperaturen

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

und/oder höheren Drücken gelagert, weshalb Tank- und Kraftstoffsysteme stoffabhängig aus anderen Materialien (z. B. beschichtete legierte Stähle oder Edelstähle) gefertigt werden müssen. Des Weiteren sind kraftstoffabhängig unterschiedliche Sicherheitsanforderungen einzuhalten. Auch unterschiedliche volumetrische Energiedichten der Kraftstoffe unter Berücksichtigung der Lagerparameter an Bord können größere Tankvolumina und/oder engmaschigere Bunkerzyklen notwendig machen.[9]

Die Bauwerften müssen nicht nur in der Lage sein, andere Designs umzusetzen und unterschiedliche Materialien zu verbauen, sondern es handelt sich bei vielen der alternativen Kraftstoffe auch um Gefahrstoffe, für deren Handling teils Genehmigungsverfahren sowie entsprechend hohe Sicherheitsanforderungen notwendig sind. Neben veränderten Baumaterialien und resultierenden Anforderungen an Arbeitsprozesse (z. B. an Fügetechniken) werden Genehmigungen sowie Arbeitsbedingungen notwendig, die z. B. Tests der Leitungen und Ähnliches mit alternativen Kraftstoffen zulassen.

Trotz der potenziellen stofflich bedingten Anpassungen im Schiffsneubau steht für die Schiffseigner nach wie vor der wirtschaftliche Betrieb ihrer Flotte im Vordergrund. Neben akzeptablen Neubaupreisen sind auch die maximale Zuladung der Schiffe sowie der Einfluss des Designs auf die nötige Bunkerfrequenz ausschlaggebend.

Erste Designanpassungen im Segment der Containerschiffe schaffen mehr Raum für die Unterbringung zusätzlicher Tanks für alternative Kraftstoffe bei gleichzeitiger Optimierung der maximalen Containeranzahl an Bord.10 Die Kraftstoff- und Bunkerinfrastrukturverfügbarkeit beeinflusst ebenfalls die Wahl des Kraftstoffs und des Schiffsdesigns aus Eignersicht erheblich. Das Bunkern sollte sich ohne große Einflussnahme in den operativen Betrieb des Schiffes integrieren lassen.

[9] Weitere Informationen hierzu finden sich z. B. in den von Ramboll erstellten und vom DMZ veröffentlichten Studien:
Kraftstoffanalyse in der Schifffahrt nach Segmenten (https://dmz-maritim.de/wp-content/uploads/2022/06/20220601-Kraftstoffanalyse-in-der-Schifffahrt-nach-Segmenten-final.pdf) ; veröffentlicht Juni 2022.

Bunker Guidance für alternative Kraftstoffe in deutschen Seehäfen (https://dmz-maritim.de/bunker-guidance-fuer-alternative-kraftstoffe-in-deutschen-seehaefen/); veröffentlicht Februar 2021.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Einige große Reedereien verfügen über eigene Schiffskonstruktionsabteilungen, die Designs so entwerfen und an Werften übermitteln, dass sowohl die durch alternative Kraftstoffe entstehenden Anforderungen als auch die Bedarfe der Reederei berücksichtigt werden. Reedereien und Eigner, die über kleinere Flottengrößen verfügen, können diese Leistung nicht in Eigenleistung erbringen. Sie sind auf ein ‚Gesamtpaket' der Werften oder

die Zuarbeit von freien Konstruktionsbüros angewiesen. Der finanzielle Mehraufwand für den Bau klimaneutraler Schiffe liegt so nicht nur in den deutlich teureren Komponenten (z.B. Motoren, Tanksysteme, Sicherheitssysteme) sondern auch in den Dienstleistungen im Vor- und Nachlauf der Projektierung, wie etwa der Entwicklung des Designs und dem Abnahmeprozess.

Neben der Flottengröße eines Eigners ist zudem das Schiffssegment der Flotte ausschlaggebend. Für Neubauten in hochpreisigen Segmenten (z. B. Spezialtanker, Kreuzfahrtschiffe) ist der Mehraufwand für den Bau eines klimaneutralen Schiffs im Verhältnis zu den Gesamt „Capital Expenses" [CapEx] (Kapitalausgaben) geringer als für Schiffe (z. B. Bulker, Öltanker), die günstiger sind. Diese Feststellung gilt ebenso für die „Operational Expenses" [OpEx] (Betriebsausgaben). Schiffstypen, die hohe Chartern einfahren können, sind affiner für Zusatzinvestitionen in Klimaneutralität.

Bereits heute ist zu erkennen, dass im Kreuzfahrtschiffs- oder Containerbereich viele Pilotprojekte annonciert werden und Neubauten standardmäßig mit einer Vielzahl von modernen Energieeffizienzsystemen ausgestattet sind. Segmente wie Bulker machen hingegen wenig in der Öffentlichkeit durch Planung klimaneutraler Schiffe auf sich aufmerksam. Indikativ kann festgehalten werden, dass die Marktentwicklung zunächst von ‚Early Movern' geprägt wird, die sich durch große Flotten und hochpreisige Schiffssegmente sowie im Vergleich hohe Charterraten auszeichnen.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

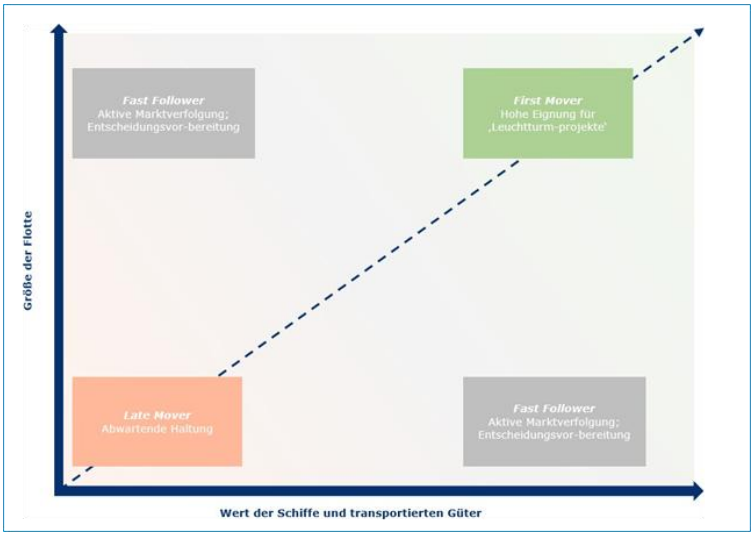

Abbildung 11: Beispielprozess Projektierung Schiffsneubau, basierend auf [12]

Reedereien, die über kleinere Flotten und einfachere Schiffstypen, die geringere Chartern einfahren, verfügen, verhalten sich zunächst abwartend und folgen dem Markt, sobald der Business Case klimaneutrales Schiff für sie attraktiv wird (‚Late Mover'). Sobald dies der Fall ist, ist zu erwarten, dass die Auswahl der Werft, die mit Neubauten beauftragt wird, vor allem zugunsten des günstigsten Angebots getroffen wird. Entsprechend der sich aktuell abzeichnenden Entwicklungen sind chinesische gefolgt von südkoreanischen Werften hier im Vorteil.

3.5 Zulieferindustrie und Wertschöpfungsketten

Auch die Zulieferindustrie reagiert bereits seit vielen Jahren auf die starke Verschiebung des Schiffbaus nach Asien. Sogar Schiffbau- und Zuliefersparten, die nach wie vor in Europa oder Deutschland aktiv sind, ordern häufig Materialien und Komponenten aus dem asiatischen Raum. Auch werden im Zulieferbereich Lizenzen an asiatische Firmen verkauft, um eine Fertigung nahe der großen Werftstandorte zu gewährleisten. Die Ansiedlung der Zulieferindustrie in regionaler Nähe zu besonders aktiven Werftstandorten wird auch als ‚Nearshoring' bezeichnet.

Um ihre Lieferketten kurz zu halten, wird Nearshoring durch die Werften gefördert. Brancheneindrücke spiegeln, dass die meisten Werften hingegen kein Interesse daran haben, viele der Zulieferbetriebe zu übernehmen und alles aus eigenem Haus zu beziehen. Entscheidend für diese Haltung ist das Abwägen und Outsourcen von Risiken.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Global aktive Akteure der Zulieferindustrie geben an, dass sich viele der Unternehmen in der Lage sehen, auch für den Bau klimaneutraler Schiffe Komponenten und Dienstleistungen bereitstellen zu können. Der technologische Entwicklungsstand der für den Einsatz vieler alternativer Kraftstoffe benötigten Komponenten und das Know-how sind bereits verfügbar. Die Herausforderung besteht vielmehr darin, den bereits heute entstehenden Mehraufwand für die Entwicklung von Komponenten und das Erschließen von Wissen einer aktuell noch nicht ausreichend vorhandenen Nachfrage gegenüberzustellen.

Dennoch sehen deutsche Unternehmen gerade in der Entwicklung von technologischen Lösungen ein Tätigkeitsfeld, in dem sich die deutsche Zulieferindustrie auch zukünftig behaupten kann. Die Stärkung der fertigenden Industrie und Erhöhung der Wertschöpfungstiefe kann ein Schlüsselelement sein, um die noch in Deutschland und Europa ansässigen Schiffbaubereiche zu stützen und unabhängiger zu machen. Da es sich hierbei i. d. R. um hochpreisigen Schiffbau handelt, ist die Bereitschaft für den Bau klimaneutraler Schiffe vorhanden, was eine Chance auch für den ansässigen Zulieferermarkt ist. Enabler für eine stabile fertigende Industrie ist eine verlässliche Nachfrage. Die Förderung von Werften in Europa in konkurrenzfähigen Segmenten (z. B. Spezialschiffbau, Behördenschiffbau, Yachtschiffbau und Kreuzfahrtschiffbau) würde somit auch die nachgelagerte fertigende Industrie indirekt unterstützen.

3.6 Zwischenfazit

- Für die Projektierung von Schiffsneubauten sind 2 bis 5 Jahre zu kalkulieren. Die Zeitspanne hängt dabei nur geringfügig von der Größe der Schiffe (in CGT) ab. Für klimaneutrale Schiffe ist zunächst insbesondere mit langen Vor- und Nachlaufzeiten zur eigentlichen Bauphase zu rechnen.
- Bis zu 70 % der Wertschöpfung wird im Schiffbau durch die Zulieferindustrie generiert. Große Werftstandorte betreiben daher sogenanntes ‚Nearshoring', um kurze Lieferketten zu sichern und Risiken im eigenen Unternehmen zu minimieren.
- Notwendige Bestandteile/Assets bei der Entwicklung und dem Bau klimaneutraler Schiffe sind insbesondere: technologisches Know-how, Verfügbarkeit von Lieferketten, Ausstattung Werft und Zulieferbetriebe, Fachpersonal, attraktive Finanzierungs- und Absicherungsmodelle (z. B. Absicherung durch staatliche Gelder).

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

- Wann und welche klimaneutralen Schiffe geordert und gebaut werden, hängt von dem Segment, der Eigner-/Betreiberstruktur und der Verfügbarkeit und Zulassung von alternativen Antriebssystemen, regulatorisch bedingtem Handlungsdruck, gesellschaftlichem Druck sowie Bereitstellungsinfrastrukturen für die Kraftstoffe und deren Preis ab.

Mögliche Entwicklungen:

1. Deutsche Betriebe können sich zunehmend auf die Vermarktung von Know-how in verschiedenen Bereichen der Schifffahrt fokussieren und so Synergien schaffen (z. B. Binnenschiffbau).

2. Die Wertschöpfungstiefe im Zuliefermarkt kann wieder erhöht werden. Deutschland oder auch Europa können sich nicht nur als Exporteure von Know-how positionieren, sondern Komponenten auch wieder produzieren.

3. Der Vorteil durch Lohnniveaus für China wird zunehmend geringer, was sich auch auf die monopolistische Stellung, die aktuell durch hohe Auslastung aufrechterhalten wird, auswirkt. Georderte klimaneutrale Schiffe werden so nicht nur durch den neuen Kraftstoff und steigende Nachfrage teurer, sondern auch durch die Lohnkosten. Der Preisvorteil Chinas geht so nach und nach verloren.

4. Das Nearshoring wird durch zunehmende Handelsrestriktionen bestärkt, sodass Zulieferer aus der EU noch stärker als bisher Produktionen in naher Umgebung der Werftstandorte aufbauen bzw. Lizenzen an Unternehmen vor Ort verkaufen.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

4 Retrofit und Conversion

Um die IMO-Klimaziele zu erreichen, wird es neben dem erforderlichen Neubau von Schiffen mit alternativen Kraftstoffen, wenn technisch und kommerziell sinnvoll, auch nötig sein, Schiffe nach- und umzurüsten. Diese Nach- und Umrüstungen umfassen einen ganzen Maßnahmenkatalog, und werden meist unter dem Begriff ‚Retrofit' zusammengefasst.

4.1 Einordnung und Notwendigkeit

Die Ziele der IMO zur Reduzierung von THG-Emissionen in der Schifffahrt erfordern eine zeitnahe Umstellung der weltweiten Flotte hin zu einer klimaneutralen Schifffahrt. Auch wenn neue Generationen von Schiffen immer effizienter werden (vor allem in Bezug auf THG-Emissionen im Verhältnis zur Ladekapazität), steigen die absoluten THG-Emissionen durch das stetige Wachstum der Branche weiter an [18,19]. Für eine nahezu ausschließlich noch mit konventionellen Kraftstoffen betriebene Weltflotte stellen die IMO-Emissionsziele eine erhebliche Herausforderung dar [20].

Der nötige Pioniergeist der Schiffseigner wird aktuell noch stark von regulatorischen, finanziellen, infrastrukturellen, technologischen und Sicherheitsbedenken beeinträchtigt. Auch der politische Pfad, um die Branche bei der Transformation zu begleiten, ist noch nicht hinreichend ausgestaltet. Die unabhängige wissenschaftliche Plattform Climate Action Tracker bewertet die aktuellen politischen Maßnahmen und die Entwicklung der Schiffbaubranche hinsichtlich der Ziele des Pariser Klimaabkommens als „Highly Insufficient". Die aktuelle Markt- und Politikbeobachtung der Forschungsvereinigung prognostiziert der Schifffahrt bis 2050 keine sinkenden THG-Emissionen [21]. Auch eine von der IMO in Auftrag gegebene Studie kommt zu dem Ergebnis, dass selbst unter Einbezug der 2023 eingeführten Maßnahmen Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) und Carbon Intensity Indicator (CII) die Emissionsreduktionsziele weit verfehlt werden. [19].

Die Defossilisierung der Schifffahrt ist trotz der aktuell unzulänglichen Regulatorik nicht aussichtslos. Die von der IMO angekündigten Verschärfungen der Gesetzeslage (siehe Kapitel 4.3) sollen maritime Kraftstoffe standardisieren sowie klimaschädliche Emissionen neu bepreisen [22]. Zudem wurden zahlreiche Studien durchgeführt, in denen zu dem Netto-Null-Emissionen-Ziel im Jahr 2050 führende Szenarien beschrieben werden [23, 20, 19, 24].

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Eine wichtige Erkenntnis nahezu aller Studien ist, dass die Defossilisierung technisch umsetzbar ist. Nötige Technologien zur Kraftstoffproduktion, Energiespeicherung, Energieeffizienz, Motoren- und Antriebstechnik sind bereits verfügbar oder in der Entwicklung. Zudem wäre ein zeitnaher Beginn von Schiffsumbauten und dem Einsatz neuer Technologien ökonomisch betrachtet langfristig von Vorteil. So könnten zu erwartende Probleme in der Erprobungs- und frühen Markteinführungsphase rechtzeitiger erkannt und beseitigt werden. Des Weiteren könnte die Branche zeitnah kostengünstige Produktions- und Betriebsverfahren entwickeln [19].

Das höchste Potential zur Reduzierung der THG-Emissionen von Schiffen ist dem Einsatz alternativer Kraftstoffe zuzuordnen, durch deren Einsatz es möglich ist, beinahe 100 % der THG- Emissionen zu vermeiden (Well-to-Wake Emissionen) [24].

Erste Schiffe sind bereits mit alternativen Kraftstoff- und Motorensystemen ausgestattet. Diese bilden allerdings die absolute Minderheit der globalen Flotte. Als prominentestes Beispiel ist die Maersk Reederei zu nennen, die im September 2023 ihr erstes methanolfähiges Containerschiff in Betrieb genommen hat. Bis 2027 will die Reederei 24 weitere mit Methanol betreibbare Containerschiffe in Dienst stellen. Alle Schiffe sind mit Dual-Fuel-Maschinen ausgestattet, können also Methanol oder konventionelle Kraftstoffe nutzen. Für die Beschaffung von grünem Methanol hat die Reederei Lieferverträge mit unterschiedlichen Energielieferanten abgeschlossen. Das befähigt Maersk nach eigenen Angaben dazu, schon 2027 ca. 50 % ihres Methanolbedarfs abzudecken [25, 26].

Für die Erreichung der IMO-Ziele ist es auch zwingend notwendig, die THG-Emissionen von Bestandsschiffen zu senken. Die Entscheidung, ob eine Conversion oder weniger umfangreiche Retrofitmaßnahmen zum Einsatz kommen, hängt dabei insbesondere vom Schiffsalter, dem Schiffsdesign, der Vorausrüstung und letztendlich dem Business Case des Eigners und Betreibers ab.

Für die Schiffseigner ist es vor allem wichtig, vorausschauend den Zeitpunkt und den Umfang von Umbauten zu planen. Bei einem Neubau auf Basis von fossilen Kraftstoffen sollte von Beginn an eine potenzielle Umrüstung mitgeplant und durch vorbereitende Maßnahmen begleitet werden. Dabei können Fuel-Ready-Notationen der Klassen hilfreich sein (siehe Kapitel 5).

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Für einen wirtschaftlich sinnvollen Umbau sollte das Schiffsalter sowie der Inspektionsrhythmus der Schiffe berücksichtigt werden. Eine kostspielige Umrüstung amortisiert sich für Schiffe mit einer begrenzten Restbetriebszeit mit geringerer Wahrscheinlichkeit. Daher sollten Schiffe beim Umbau im Idealfall nicht älter als zehn Jahre sein [27]. Neubauten aus den 2020er Jahren sollten entsprechend bereits in den 2030er Jahren umgebaut werden. Die heute schon größtenteils ausgereiften Technologien für einen Umbau sollten Werften zu dem Zeitpunkt vor keine Herausforderung mehr stellen.

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, ist bis 2050 nicht mit einem altersbedingten Austausch der gesamten aktuellen Bestandsflotte zu rechnen. Insbesondere für diese Bestandsschiffe, die zwischen 2020 und 2024 gebaut wurden und noch lange fahren werden, ist die Conversion eine zielführende und wirtschaftlich sinnvolle Maßnahme.

Ältere Schiffe können hingegen durch Retrofits oder operative Anpassungen optimiert werden, um sie bis zum Ende ihrer Lebenszeit möglichst emissionsarm zu betreiben. Solche Maßnahmen sind insbesondere dann interessant, wenn das Schiff so konform mit den geltenden Emissionsgrenzen bis zum Ende seiner Einsatzzeit betrieben werden kann und der Kosten-Nutzen-Effekt der Retrofitmaßnahme positiv bilanziert werden kann. Retrofitmaßnahmen sollten sich i. d. R. innerhalb weniger Jahre amortisieren. Derzeit werden noch häufig ältere Standarddesigns für Schiffsneubauten genutzt. Optimalerweise sollte jedoch bereits heute jeder Schiffsneubau von Beginn an zumindest mit den effizienzsteigernden Maßnahmen wie sie bei Retrofits verbaut werden, ausgestattet werden. Mit zunehmendem Flottenaustausch durch moderne Neubauten sollte der Bedarf an Retrofits nach einem starken Anstieg in den kommenden zehn Jahren bis 2050 daher wieder sinken.

Politische Mechanismen wie z. B. das im Fuel EU-Maritime (FEUM) verankerte Pooling zielen darauf ab, einerseits klimaneutrale Neubauten zu fördern und gleichzeitig kostenaufwändige Umbauten von alten Schiffen, wenn überhaupt technisch sinnvoll, zu vermeiden. Reedern wird so die Möglichkeit eingeräumt, kurz- bis mittelfristig emissionseinsparende Maßnahmen bzw. emissionsoptimierte Neubauten dort einzusetzen, wo hinsichtlich Schiffsalter, Schiffstyp, Einsatzgebiet etc. die größten Vorteile zu erwarten sind und dennoch Vorteile der Emissionsbilanz für ihre gesamte Flotte zu erzielen. Da Pooling sogar flottenübergreifend möglich ist, können die für

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

emissionsreduzierende Maßnahmen oder Neubauten entstandenen Kosten so zusätzlich amortisiert werden.

4.2 Regulatorischer Rahmen

4.2.1 IMO-Regularien

Zur Umsetzung der eigenen Ziele (siehe Kapitel 2.1) und der damit einhergehenden Reduktion von THG-Emissionen von Schiffen reguliert die IMO seit 2013 Aspekte der Branche. 2013 wurde der Energy Efficiency Design Index (EEDI) eingeführt, um Benchmarks für energieeffizientes Schiffsdesign im Neubaubereich zu setzen. Zehn Jahre später wurde das Konzept im Rahmen des Energy Efficiency Existing Ships Index (EEXI) auch auf den Rest der Flotte ausgeweitet. Der 2023 implementierte Carbon Intensity Indicator (CII) soll zudem den Kraftstoffverbrauch und dadurch die Intensität von THG-Emissionen eines Schiffes bewerten [28, 29].

4.2.2 Energy Efficiency Design Index (EEDI)

Der EEDI wurde als erste regulatorische Maßnahme, die zur Minderung der CO_2-Emissionen führen soll, vom Marine Environment Protection Committee (MEPC) der IMO eingeführt. Der EEDI muss seitdem für jeden Neubau kalkuliert werden und darf bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Die Berechnungsformel setzt für jedes Schiff den CO_2-Ausstoß ins Verhältnis zur Ladungskapazität. Der CO_2-Ausstoß wird dabei über den Kraftstoffverbrauch des Schiffes bestimmt. Eine Verbesserung des EEDIs ist technologieoffen durch jede Maßnahme möglich, die den Kraftstoffverbrauch senkt [30].

In den Jahren 2015 und 2020 erfolgte eine sukzessive Verschärfung der EEDI-Grenzwerte. 2025 soll die vorerst letzte Phase der EEDI-Anpassung stattfinden. Der EEDI-Grenzwert wird dann bei 30 % unter dem errechneten durchschnittlichen Referenzwert von 2008 liegen [31].

Der jeweilige EEDI jedes Schiffes wird in dem Internationalen Zeugnis über die Energieeffizienz (IEE) festgehalten. Das IEE wird vom jeweiligen Flaggenstaat ausgestellt. In Deutschland übernimmt die Ausstellung beispielsweise die Dienststelle Schiffssicherheit der Berufsgenossenschaft (BG) Verkehr. Voraussetzung ist die Zertifizierung der Berechnung durch eine Klassifikationsgesellschaft [32].

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

4.2.3 Energy Efficiency Existing Ships Index (EEXI)

Der EEXI wurde eingeführt, um auch für bereits in Dienst stehende Schiffe Effizienzmaßnahmen attraktiver zu machen. Dieser Index ist von der Berechnung und daher auch von der Wirkungsweise identisch mit dem EEDI. Bei der EEXI-Implementierung Anfang 2023 wurde für alle bestehenden Schiffe (über 400 GT) der EEXI berechnet.

Wird der erforderliche EEXI-Wert überschritten, müssen technische oder operative Veränderungen vorgenommen werden, die zu einem reduzierten Kraftstoffverbrauch führen. Begleitet und zertifiziert wird dieser Prozess von den Klassifikationsgesellschaften [30].

4.2.4 Carbon Intensity Indicator (CII)

Sowohl der EEDI als auch der EEXI werden lediglich einmalig für ein Schiff berechnet und geprüft. Um eine bessere und dauerhafte Überwachung der operativen CO_2-Emissionen eines Schiffes zu gewährleisten, wurde daher der CII eingeführt.

Die Formel zur Berechnung des CII und dessen Bestandteile ist in Abbildung 12 aufgeführt. Der Kraftstoffverbrauch jedes Schiffes wird über das IMO Data Collection System erfasst. Diese Werte bilden die Berechnungsgrundlage für die Menge der CO_2-Emissionen, die pro Jahr ausgestoßen werden. Die Menge der CO_2-Emissionen wird ins Verhältnis zu der theoretisch möglichen Transportarbeit des Schiffes gesetzt. Diese berechnet sich aus der Tragfähigkeit des Schiffes und der jährlich zurückgelegten Distanz.

Für einen möglichst niedrigen CII-Wert (je niedriger, desto besser) muss ein geringer Kraftstoffverbrauch bei hoher Tragfähigkeit und weiter Fahrstrecke erreicht werden. Je nach errechnetem CII-Wert wird jedes Schiff mit den Buchstaben A bis E in absteigender Reihenfolge bewertet. Sollte ein Schiff ein E-Rating oder drei Jahre hintereinander ein D-Rating erhalten, muss ein Aktionsplan erstellt werden, der beschreibt, wie mindestens ein C-Rating erreicht werden kann. Jedoch drohen Besitzern, auch wenn im Folgejahr erneut ein schlechtes Rating erzielt wird, aktuell keine Konsequenzen.

Die CII-Referenzwerte werden über die Zeit verschärft, sodass ein Schiff, das heute ein A-Rating hat, bei gleichen Bedingungen in Zukunft schlechter bewertet wird. Derzeit gibt es zwar noch keine direkten finanziellen Nachteile für schlecht bewertete Schiffe, allerdings erwartet die IMO, dass sich zukünftig Banken, Versicherungen, Häfen und Charterkunden

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

zunehmend an dem CII orientieren und so der Wert des Schiffes an den Index angepasst wird [34]. Dadurch könnte es zu höheren Gebühren, Zinsen oder niedriger Nachfrage für schlecht bewertete Schiffe kommen. Durch den kurzen Bestandszeitraum des CII kann aber noch keine Aussage über die Effektivität des CII getroffen werden.

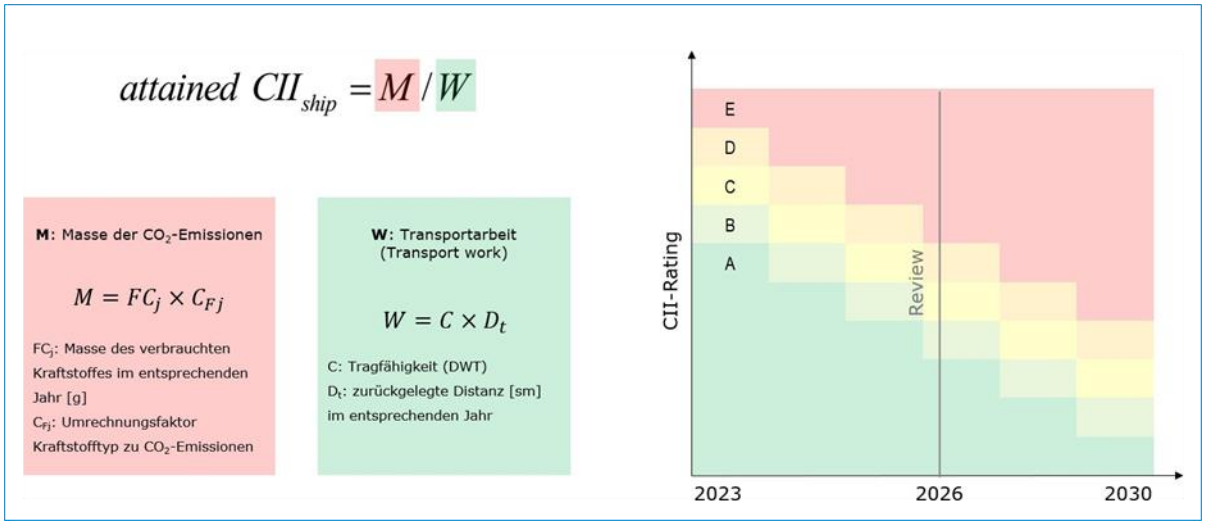

Abbildung 12: Berechnungsformel CII und konzeptionelle Darstellung Grenzwertanpassung [18], Eigene Darstellung

4.3 Kritische Diskussion und Ausblick

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass aktuell ausreichend Maßnahmen verfügbar sind, um die geltenden Regularien zu erfüllen. Es sind aber nicht genug Anreize und Sanktionen für die tatsächliche Durchführung von Conversion vorhanden. Derzeit können die Anforderungen noch durch operative und technische Maßnahmen mit geringem Aufwand erfüllt werden. In der Praxis ist es letztendlich aber immer eine Einzelfallentscheidung, welche Maßnahme zielführend ist, da die Indikatoren schiffsindividuell berechnet werden.

Einer der Hauptkritikpunkte am EEDI und am EEXI ist, dass deren Wirkungsweise nicht ausreichend Handlungsdruck erzeugt, um die Defossilisierung der Schifffahrt entsprechend der Emissionsziele zu beschleunigen. Insbesondere den CII kritisieren Schiffseigner deutlich: So forderten z. B. sechs große internationale Vereinigungen von Reedereien die IMO in einem Statement dazu auf, die Berechnung des CII anzupassen. In ihrer Erklärung schrieben sie dem aktuellen „one-size-fits-all-instrument“ erhebliche Mängel zu, insbesondere bei der Beurteilung der tatsächlichen Effizienz der bewerteten Schiffe [36].

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

Beispielsweise bezieht der CII die tatsächlich zurückgelegte Distanz jedes Schiffes in die Berechnung ein, ohne durch Hafenliegezeiten oder schlechten Wetterbedingungen hervorgerufene, unvorhersehbare Verzögerungen zu berücksichtigen. Das kann in einer nicht nachvollziehbaren Verzerrung des Ratings resultieren.

Jedoch wäre der CII auch mit einer bereinigten Erfassung der CO_2-Intensität jedes Schiffes kaum wirksam. Grund dafür sind die fehlenden Sanktionsmechanismen infolge schlechter Ratings. Entsprechend wurden im Marine Environment Protection Committee (MEPC) Anfang Oktober 2024 erneut die Short-Term-Measures (EEDI, EEXI, CII) sowie noch zu definierende Mid-Term- Measures diskutiert und weiterentwickelt. Im April 2025 wird das MEPC das Ergebnis der Verhandlungen und Neuheiten präsentieren, welche anschließend von den Mitgliedstaaten der IMO ratifiziert werden müssen. Demnach liegen noch keine endgültigen Gesetzesvorlagen und Maßnahmen vor. Zwischenergebnisse und Zukunftspläne wurden jedoch bereits veröffentlicht. Es ist mit folgenden Entwicklungen zu rechnen:

- Der EEDI und EEXI werden vorerst nicht grundlegend angepasst, der CII wird aufgrund der starken Kritik allerdings überarbeitet.
- Anfang 2026 sollen Änderungen des CII in Kraft treten, welche unter anderem die Reduktion des CII bis 2030 beschreiben, Leerfahrten, Kurzstrecken und Hafenwartezeiten berücksichtigen und die Durchsetzung des CII verschärfen. Auch langfristig sind bereits klare, meist schiffstypspezifische Anpassungen vorgesehen, aber z. B. auch ein Pooling-Mechanismus für den CII [38, 39]. Das Pooling bedeutet in diesem Fall, dass die geforderten Werte als Durchschnittswert für alle Schiffe der Flotte eines Eigners erreicht werden müssen. Bei vergleichbarer Flottenstruktur hinsichtlich Schiffssegment, Schiffsalter und Zustand führt dieser Ansatz zu einer Bevorteilung von Eignern, die über große Flotten verfügen. Pooling kann zudem den Neubau einzelner Schiffe mit sehr guten Effizienzwerten fördern, die nicht erfolgende Maßnahmen bei den Bestandsschiffen ausgleichen.
- Für die diskutierten Mid-Term-Measures zeichnet sich wegen größerer Meinungsverschiedenheiten der Mitgliedsstaaten derzeit kein klares Ergebnis ab. Zur Diskussion steht vor allem der GHG Fuel Standard (GFS). Der GFS limitiert die durchschnittlich zugelassene THG-Intensität von Kraftstoffen (GHG Fuel Intensity - GFI),

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

die mit der Zeit sinkt. Es ist geplant, dass die Mid-Term-Measures 2025 beschlossen werden und ab 2027 in Kraft treten.

Wenn Kraftstoffe genutzt werden, die unterhalb des geforderten GFIs liegen (also klimafreundlicher sind), werden dem Eigner Flexibility Compliance Units (FCU) ausgestellt. Schiffe, deren Kraftstoff oberhalb des GFI liegen, müssen entsprechend FCUs zukaufen oder können überschüssige FCUs aus der eigenen Flotte nutzen [40]. Das System balanciert also Pönale und Anreize zur klimafreundlichen Entwicklung.

- Neben dem beschriebenen FCU wird über zusätzliche Kosten pro ausgestoßener Tonne CO_2 (bzw. CO_2-Equivalent) diskutiert. Streitig bleiben die Bewertung der CO_2-Emissionen von Kraftstoffen (Well-to-Wake oder Tank-to-Propeller), die Geschwindigkeit, mit welcher der GFI vermindert wird, die Höhe der CO_2-Bepreisung sowie die Eintreibung, Verwaltung und Verteilung der CO_2-Gelder [39].

4.4 Operative und technische Maßnahmen

Die aktuellen IMO-Regularien zielen hauptsächlich auf die Verbesserung der Energieeffizienz pro transportierte Tonne und transportierte Strecke ab. Vor allem ältere Schiffe stehen daher vor der Herausforderung, betriebliche oder bauliche Veränderungen vorzunehmen, um den EEXI zu erfüllen. Die ausgestoßenen CO_2-Emissionen eines Schiffes werden für den EEXI mit Hilfe der Antriebsleistung und den Kraftstoffeigenschaften berechnet. Eine Verbesserung des EEXIs ist durch alle Maßnahmen zu erreichen, die zu einer verringerten Antriebsleistung führen oder den Kraftstoffverbrauch pro transportierte Tonne reduzieren. Dies wird bspw. mit einer Erhöhung der Tragfähigkeit erreicht (durch Tiefgangserhöhung oder Schiffsverlängerung).

4.4.1 Retrofit Maßnahmen (Auszug)

Retrofits können an unterschiedlichen Bereichen des Schiffes vorgenommen werden. Dabei kommen unterschiedliche Wirkungsansätze wie die Reduktion der Leistung, die Einsparung von Energie durch Optimierung des Propulsionssystems, das Einbringen erneuerbar erzeugter Energie oder auch die Widerstandsminderung durch Oberflächenoptimierung des Rumpfes zum Einsatz. Auch die Kombination mehrerer Maßnahmen ist möglich und zielführend. Nachfolgend wird eine Auswahl an Retrofitmaßnahmen und deren Wirkweise sowie, wo bekannt, das Energieeinsparungspotenzial dargelegt.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

4.4.1.1 Energy Saving Devices (ESD)

Effizienzgewinne im Propulsionsstrang können durch Energy Saving Devices (ESD) erzielt werden. Dabei handelt es sich im Allgemeinen um bauliche Maßnahmen, welche die Strömung vor oder hinter dem Propeller optimieren. An der Propellernabe kommt es zu Verwirbelungen (Nabenwirbel). Die Erzeugung dieses Wirbels erfordert Kraft, die jedoch keinen Schub erzeugt, und führt daher zu Energieverlusten. Propellerhauben oder Ruderwulste verringern oder eliminieren diese Verwirbelungen und können dadurch zu Kraftstoffersparnissen von etwa 1-3 % führen [42, 43].

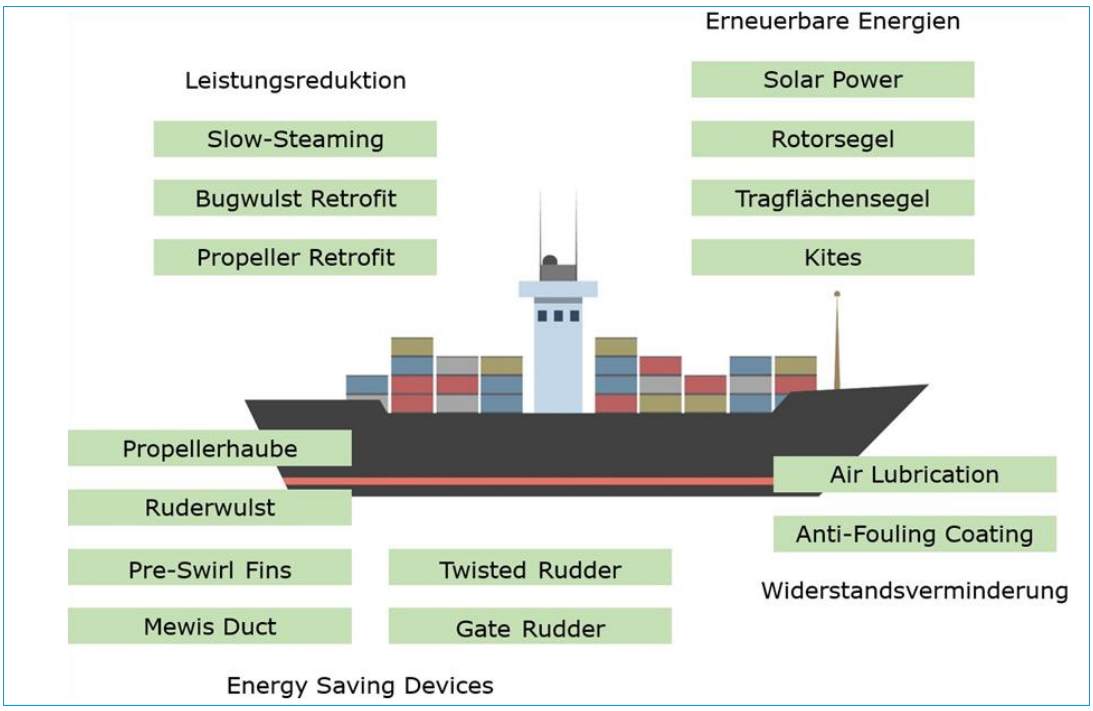

Abbildung 13: Katalog möglicher Retrofitmaßnahmen

Statische Pre-Swirl Fins vor dem Propeller werden genutzt, um das Nachstromfeld des Schiffsrumpfes zu verbessern. Hierbei wird die Zuströmung des Propellers dahingehend optimiert, dass über den gesamten Umfang des Propellers annähernd gleiche Anströmgeschwindigkeiten und Anströmwinkel herrschen. Dadurch wird die Belastung der Propellerblätter erhöht/verstetigt, sodass bei gleichbleibendem Drehmoment zusätzlicher Schub erzeugt wird. So können die Drehgeschwindigkeit und dadurch die Motorenleistung reduziert werden, ohne dass das Schiff an Geschwindigkeit verliert.

Da die Finnen auch den Widerstand des Schiffes erhöhen, muss geprüft werden, ob die Effizienzgewinne des Propellers den höheren Widerstand übersteigen. Je nach Anwendung

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

können so 2 - 6 % an Kraftstoff eingespart werden [44]. Der Becker Mewis Duct nutzt die gleichen Effekte der Pre-Swirl Fins zur Homogenisierung von Anströmgeschwindigkeit und -richtung des Propellers. Die zusätzliche Düse erhöht zudem die Anströmgeschwindigkeit, was zu weiterer Effizienzsteigerung führen kann. Das hydrodynamische Energiesparsystem für Schiffspropeller, genannt Becker Mewis Duct, ist eines der meistgenutzten Energy Saving Devices und führt durchschnittlich zu einer Reduktion der aufzubringenden Leistung von ca. 6 % [45].

Ein weiterer die Effizienz des Antriebs beeinflussender Faktor ist das Ruder. Klassische Ruder sind symmetrisch im Querschnitt. Durch alternative Ruderformen kann sich sowohl die Manövrierfähigkeit des Schiffes, als auch dessen Effizienz verbessern. Durch Unterdruckgebiete am Ruder, die durch die Anströmung des Propellers und die Drallströmung des Wassers erzeugt werden, kommt es häufig zu Kavitation am Ruderblatt. Dadurch wird die Wirksamkeit des Ruders eingeschränkt, und es entstehen Vibrationen im Ruder sowie Beschädigungen an der Oberfläche.

Eine veränderte Ruderform kann dazu beitragen, Kavitation zu vermeiden. Das Ruder im Propellerstrom reduziert zudem den Drall, wodurch die Propulsion verbessert wird. Eine optimierte Ruderform kann diesen Effekt verstärken. Die Ruderformen sind dabei je nach Hersteller und Schiff unterschiedlich, werden aber häufig als Twisted Rudder bezeichnet [46]. Angaben zu genauen Einsparungen der Antriebsleistung für Twisted Rudders sind nicht bekannt.

Das Gate Rudder stellt eine gänzlich neue Ruderform dar. Die neue Ruderform bestehent aus zwei unsymmetrischen Ruderflossen, die seitlich vom Propeller angeordnet sind. Sie richten den Propellerstrahl in die gewünschte Richtung. Durch die Anordnung seitlich vom Propeller entsteht ein Düseneffekt, welcher die Effizienz des Propulsionssystems stark steigern kann. Die Ruder erzeugen zudem weniger Widerstand als konventionelle Ruder.

Gate Rudder sind als noch neue Technologie zu bezeichnen und daher derzeit nur in geringer Anzahl verbaut. In der Regel wird von 6 – 8 % Leistungs-/Kraftstoffersparnis ausgegangen [47]. Aufgrund der geringen Praxiserfahrung beim Einsatz von Gate Ruddern ist es allerdings schwer, den tatsächlichen Effekt valide zu belegen. Außerdem wird der Drall vom Nachstrom des Propellers beim Gate Rudder nicht wie beim konventionellen Ruderblatt teilweise relativiert, sondern führt zu Energieverlusten.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Darüber hinaus ist durch die doppelte Ausführung der Rudermaschine mit hohen Investitionskosten zu rechnen.

4.4.1.2 Air Lubrication / Coating

Neben Maßnahmen zur Anpassung der Dienstgeschwindigkeiten und der Propulsionen können Effizienzsteigerungen auch durch Minimierung des Schiffswiderstandes erreicht werden. Einer der Hauptbestandteile des Schiffswiderstandes ist der Reibungswiderstand im Wasser. Dieser Reibungswiderstand ist stark von der Beschichtung und dem Bewuchs des Schiffes abhängig. Sogenannte Anti-Fouling-Beschichtungen für Schiffe verlangsamen das Wachstum von Algen und anderen Lebewesen am Rumpf. Es werden Vorbilder aus der Natur genutzt, um besonders glatte und widerstandsfreie Oberflächen zu erzeugen. Dabei erfolgt beispielsweise eine Orientierung an der Haut von Delfinen und Thunfischen [48, 49]. Eine allgemeine Aussage zur Kraftstoffersparnis durch effizientere Beschichtungen lässt sich wegen der hohen Produktvielfalt nicht treffen.

Eine weitere Technologie, die den Reibungswiderstand verringert, ist das „Air Lubrication System“. Dabei werden durch Kompressoren kleine Luftblasen erzeugt, die unter dem Schiffsrumpf entlangströmen. Die Effizienz solcher Systeme hängt stark von der Luftblasenverteilung an der Rumpfunterseite ab. Zudem verbrauchen die Kompressoren zusätzliche Energie, die den Energieersparnissen im Antrieb gegengerechnet werden müssen. Bei Testfahrten konnten Leistungsersparnisse des Antriebs von bis zu 20 % gemessen werden. In der Regel ist jedoch mit einer realen Ersparnis von etwa 5 % zu rechnen [50].

4.4.1.3 Wind / Solar

Neben den bereits aufgeführten effizienzsteigernden Technologien werden auch erneuerbare Energien direkt auf dem Schiff erzeugt und genutzt. So werden z. B. Solarzellen direkt auf elektrisch betriebenen Fähren installiert, um Strom zu produzieren. Begrenzte freie Flächen und Schattenwurf sorgen allerdings dafür, dass Solarkraft zwar unterstützend wirken kann, im Gesamtenergiebedarf des Schiffes aber nur einen kleinen Anteil ausmacht.

Im Vergleich zu Solarinstallationen sind Windantriebe tendenziell wirksamer. Grundlegend wird bei den Windantrieben zwischen Rotorsegeln, Tragflächensegeln und Kite-ähnlichen Zugdrachensystemen unterschieden.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Am häufigsten kommen Rotorsegel (Flettner-Rotoren) zum Einsatz. Der Rotorturm wird durch einen Elektromotor gedreht. Dadurch entstehen Windgeschwindigkeits- und in der Folge Druckunterschiede, die Vortrieb erzeugen. Wichtig beim Einsatz von Flettnerrotoren ist, dass der Wind im Optimalfall bei 90° zur Fahrtrichtung des Schiffes steht. Ein Rotorsegel kann daher nur wirklich effektiv in Fahrtgebieten genutzt werden, die passende Windverhältnisse aufweisen. Bei guten Windbedingungen kann so je nach Schiffseigenschaften sowie Anzahl und Positionierung der Rotoren von einer Kraftstoffersparnis von etwa 5 – 9 % ausgegangen werden [51, 52].

Ob die Nutzung von Windunterstützung tatsächlich zu einer deutlichen Reduktion des Kraftstoffverbrauchs führt, ist sehr stark vom Schiffstyp und der Fahrtroute (typische Wetterkonditionen) abhängig. Es ist für jeden Anwendungsfall vorab eine detaillierte Einzelfallprüfung nötig.

4.4.2 Praxisbeispiele

An den beiden Ostseefähren Copenhagen und Berlin der Reederei Scandlines wurden mehrere Retrofitmaßnahmen zu Steigerung der Energieeffizienz durchgeführt. Gebaut wurden die Schwesterschiffe 2012 in Stralsund. Da nach der Fertigstellung der Fähren unerwartete Gewichtsprobleme aufgetreten sind, mussten sie allerdings noch vor der Indienststellung umgebaut werden. In diesem Zuge wurde auch der diesel-mechanische Antriebsstrang in einen dieselelektrischen Antrieb umgebaut. Ein Batteriespeicher von 1,6 MWh dient als Zwischenspeicher für die durch Generatoren erzeugte Energie. Bei niedriger Antriebsleistung werden die Batterien geladen und bei hoher Antriebsleistung unterstützen die Batterien. Dadurch können die Generatoren bei konstanter und effizientester Belastung laufen. 2020 - 2022 wurden beide Fähren zudem mit je einem Flettnerrotor ausgerüstet. 2019 wurde bereits bei routinemäßigen Wartungsarbeiten das Stahlfundament eingebaut. Die Rotortürme konnten schließlich innerhalb eines Tages im Hafen Rostock installiert werden [27, 73, 90].

4.4.3 Exkurs: Slow-Steaming

Die meistgenutzte Methode zur Effizienzsteigerung ist aktuell das Slow-Steaming - die Verminderung der Dienstgeschwindigkeit. Um einen verminderten CO_2 Ausstoß zu erreichen, wird die Maschinenleistung reduziert. Dafür wird in Voruntersuchungen geprüft,

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

welchen Einfluss eine Motordrosselung (Engine Power Limitation [EPL]) auf den Kraftstoffverbrauch hat. Wird die gewünschte Emissionsminderung erreicht, ergibt sich aus der so bestimmten Antriebsleistung die entsprechende Dienstgeschwindigkeit. Für die EPL wird die Einspritzmenge des Kraftstoffes limitiert. Es handelt sich um eine semipermanente Drosselung der Hauptmaschine, da das Limit in Ausnahmesituationen aufgehoben werden kann.

Slow-Steaming wird insbesondere deshalb häufig eingesetzt, weil durch minimale technische Veränderungen ein hoher Effekt erzielt werden kann. Viele Schiffe fahren im üblichen Betrieb ohnehin langsamer als es die installierte Antriebsleistung erlauben würde.

Insgesamt verringert sich durch die EPL in der Regel der auf die Transportleistung (t.km) bezogene Kraftstoffverbrauch des Schiffes. Die längere Fahrzeit, die mit der Geschwindigkeitsverminderung einhergeht, kann den Gesamtkraftstoffverbrauch des Schiffes allerdings auch erhöhen. Es wird daher davon ausgegangen, dass erst bei einer hohen EPL (über 50 % der installierten Leistung) signifikante Emissionseinsparungen erzielt werden [41].

Bei Verminderung der Dienstgeschwindigkeit ist es zudem meist sinnvoll, auch den Propeller neu auszulegen. Propeller sind für eine angestrebte Dienstgeschwindigkeit optimiert, und können bei einer Änderung jener an Effizienz verlieren. Ein Propeller-Retrofit wirkt sich durch den verbesserten Wirkungsgrad des Propulsionsstranges insgesamt positiv auf den EEXI und CII aus. Durch Rückkaufangebote der Gießereien und Kraftstoffersparnissen von ca. 3 % wird außerdem ein schneller Return on Investment ermöglicht [42].

Durch eine verringerte Dienstgeschwindigkeit wird auch der Widerstand des Schiffes beeinflusst: Der Wellenwiderstand kann durch eine Neuauslegung oder Austausch des Bugwulstes optimiert werden. Ein solcher Umbau ist vor allem bei großen Containerschiffen im Zusammenhang mit Slow-Steaming Maßnahmen zielführend.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

4.5 Conversion

Um Emissionseinsparung oberhalb der Einsparungspotenziale der klassischen Retrofitmaßnahmen zu erreichen und ein Schiff im Optimalfall klimaneutral zu betreiben, ist es nötig, den Einsatz fossiler Kraftstoffe zu reduzieren bzw. in Gänze zu vermeiden.

Beim Wechsel zu alternativen Kraftstoffen in Bestandsschiffen, einer Conversion, sind meist aufwendige Umbaumaßnahmen nötig. Insbesondere der erhöhte Platzbedarf vieler Tanksysteme für alternative Kraftstoffe und veränderte Material- sowie Sicherheitsanforderungen machen Conversion aktuell noch zeitaufwändig und kostenintensiv. Jede Conversion ist eine stark individualisierte Einzelmaßnahme. Standardisierte Ausführungen sind am Markt noch nicht zu verzeichnen.

Eine der Schlüsselkomponenten bei der Umrüstung auf alternative Kraftstoffe ist der Hauptmotor. Viele Motorenhersteller bieten bereits Umrüstungspakete für ihre Motoren an oder werden diese zukünftig im Angebot haben [27]. 4-Takt-Motoren wurden bereits erfolgreich auf einen Methanolbetrieb umgerüstet. Weitere Umrüstpakete werden voraussichtlich erst dann am Markt verfügbar sein, wenn die Motorenhersteller bereits erfolgreich im Einsatz befindliche Neubaumaschinen für entsprechende alternative Kraftstoffe anbieten.

Mehrere Hersteller entwickeln bereits für unterschiedliche alternative Kraftstoffe sowohl 2- als auch 4-Takt-Motoren. Aufgrund des erschwerten Zündverhaltens vieler alternativer Kraftstoffe wird allerdings meist Diesel als Pilotkraftstoff genutzt [27]. Darüber hinaus sind derzeit sowohl die meisten Neubaumotoren als auch die Umrüstvarianten als Dual-Fuel Motoren ausgelegt, mit der Möglichkeit, jeweils auch im klassischen Dieselbetrieb zu operieren. Ein maßgeblicher Grund, warum sich für diese Motoren Diesel als Pilotkraftstoff im Betrieb mit einem alternativen Hauptkraftstoff anbietet.

Weitere wesentliche Komponenten des neuen Kraftstoffsystems sind die Kraftstofftanks. Deren Umbau gestaltet sich häufig schwierig: Ammoniak z. B. wird flüssig unter Druck oder bei etwa -33 °C gelagert, und stellt hohe Materialanforderungen. So sind lediglich LNG-Tanks materialbeständig genug, um mit Ammoniak als Kraftstoff weitergenutzt werden zu können. Auch Methanol ist sehr korrosiv, und erfordert deshalb entweder Edelstahltanks oder spezielle Tankbeschichtungen.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Darüber hinaus sind für einige alternative Kraftstoffe erhöhte Anforderungen zur Positionierung der Tanks im Schiff einzuhalten, da es sich oftmals um toxische, leicht entzündliche oder stark korrosive Kraftstoffe handelt. Es wird in den meisten Fällen nicht möglich sein, vorhandene Kraftstofftanks für alternative Kraftstoffe nachzunutzen. Der Bau und Einsatz von Tanksystemen für Methanol oder Ammoniak ist jedoch im Schiffbau grundsätzlich nicht neu. Zwar werden die Chemikalien üblicherweise als Schiffsladung transportiert, die Tankbauweisen lassen sich aber auf den Kraftstofftankbau übertragen.

Auf die technischen Details von Motoren, Tanks, Kraftstoffsystemen und Peripheriesystemen wird im Weiteren nur grundlegend eingegangen, da die Umrüstungsprozesse kraftstoffunabhängig beschrieben werden. Detaillierte Ausführungen können einer Vielzahl spezifischer Publikationen entnommen werden [27, 53, 54]. Insgesamt erkennt die Schifffahrts- und Schiffbaubranche Relevanz und Notwendigkeit des Einsatzes alternativer Kraftstoffe größtenteils an. Diese Auffassung zeigt sich in der stetigen Entwicklung neuer Motoren- und Schiffssysteme. Auch wird beispielsweise auf Fachmessen eine steigende Anzahl von Einzelkomponenten für alternative Kraftstoffsysteme vorgestellt.

Der Aufwand und die Kosten für eine Conversion-Maßnahme sind jedoch nicht pauschal bestimmbar, sondern variieren von Umbau zu Umbau. Um dennoch einen Überblick über den zu erwartenden Aufwand, Umfang und die Herausforderungen für den Umbau eines Schiffes von der Nutzung herkömmlicher Kraftstoffe hin zum Einsatz alternativer Kraftstoffe zu geben, wird nachstehend die allgemeine Vorgehensweise der Planung sowie resultierende Änderungen an Schiffssystemen beschrieben.

Die Darstellung des Projektablaufes basiert auf Erfahrungen aus dem Entwurf und der Projektierung konventioneller Schiffe. Die beschriebenen Design-Phasen entsprechen den bereits in Abbildung 10 dargestellten und im Rahmen des Kapitels 4.5.1 verwendeten Projektierungsphasen

4.5.1 Planungsebenen

In der Konzept- und Basic-Planung eines Conversion-Projektes und letztlich auch in der Umsetzung sind Schiffe im Vorteil, die bereits von Beginn an mit einem ganzheitlichen Umbaukonzept ausgeliefert wurden (siehe Kapitel 5). Dennoch bedarf die Durchführung von

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Conversion in jedem Fall einiger vorab getätigter Entscheidungs- und Planungsschritte, von der Konzeptionierung bis zur Beauftragung (siehe Abbildung 14).

Jede Fuel Conversion ist eine umfangreiche Umbaumaßnahme mit hohem planerischem Aufwand und klassebezogenen Abstimmungs- und Zertifizierungsverfahren. Am Anfang des Prozesses steht der konzeptionelle Planungsentwurf, wenn nicht weitestgehend im Schiffsentwurf berücksichtigt. Es wird eine Bewertung des technischen Ist-Zustandes des Schiffes benötigt sowie eine Einschätzung der avisierten Umgestaltungs- und Umbaumaßnahmen.

Erfolgt eine positive Bewertung in Übereinstimmung mit einem (angepassten) Geschäftsmodell wird eine Basic-Planung angestrebt. Es müssen alle vorhandenen Basic-Unterlagen des Schiffes noch einmal abgestimmt, überarbeitet und durch eine Klassifikationsgesellschaft geprüft werden, was für den Eigner mit entsprechenden Kosten verbunden ist. Zudem ist eine detaillierte Umbauspezifikation mit einer Makersliste für neues Hauptequipment zu erstellen.

Die überarbeiteten und geprüften Basic-Unterlagen legen zusammen mit der Umbauspezifikation die technische Ausstattung und den Umfang der Änderungsarbeiten fest. Sie bilden somit die Grundlage für ein valides, kommerzielles Budgetangebot von Werften sowie für die Kalkulation der voraussichtlichen Dauer des Werftaufenthaltes. Die nachfolgenden Unterkapitel eruieren die technisch-planerischen Schritte, die im Rahmen des beschriebenen Prozesses durchzuführen sind detaillierter, um den Aufwand für Konstruktionsbüros, Werften und Schiffseigner darzustellen.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

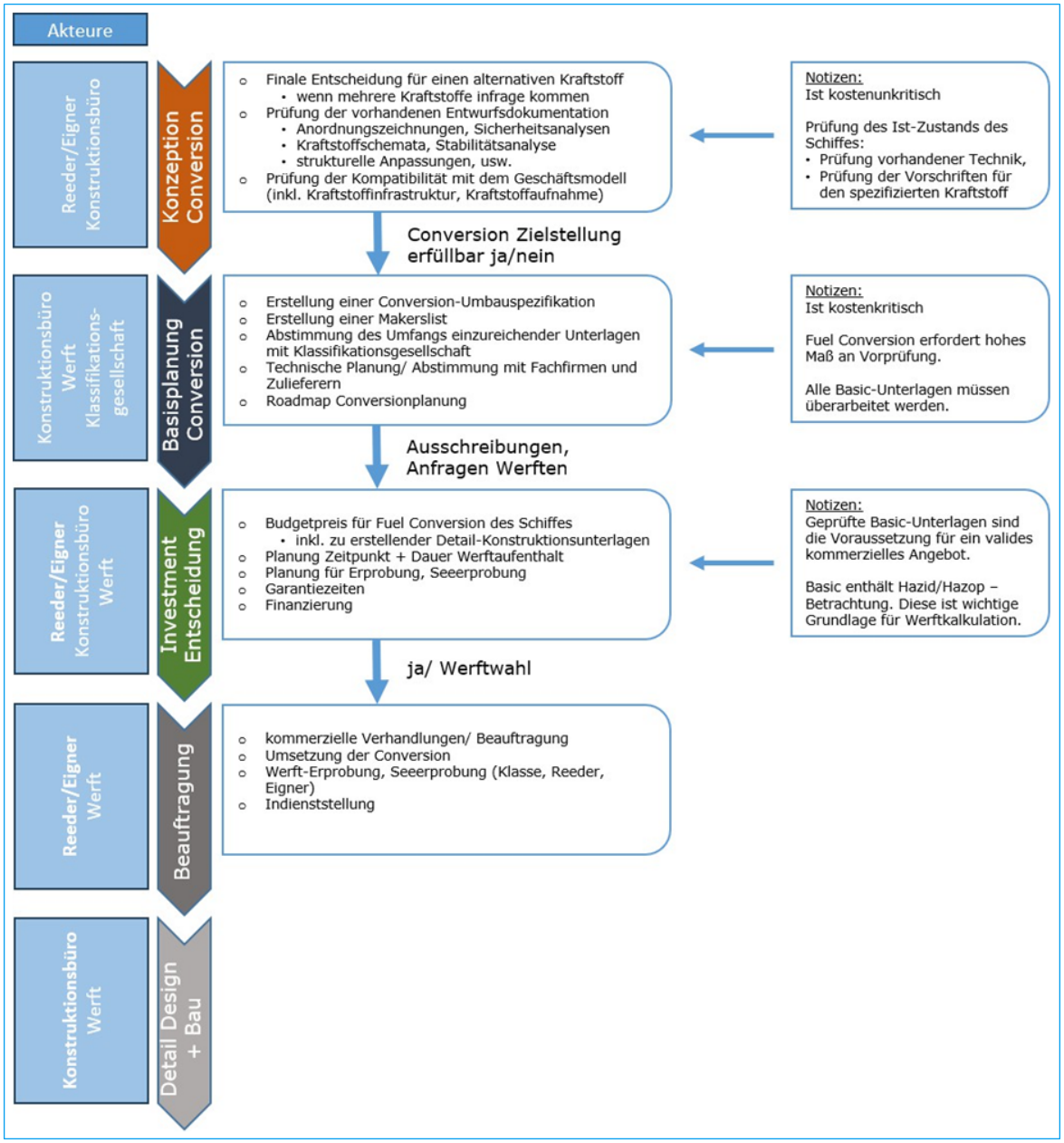

Abbildung 14: Vorplanung Conversion

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

4.5.1.1 Strategische Vorplanung

Entschließt sich ein Schiffseigner, ein Schiff vom Betrieb mit konventionellen auf alternative Kraftstoffe umzurüsten, muss vor der technischen Umsetzung zunächst die strategische Entscheidung getroffen werden, welcher Kraftstoff zukünftig genutzt werden soll.

Arbeitsschritte in der Vorplanung
Auswahl neuer Kraftstoff • Sichtung vorhandener Basic Design Unterlagen des Bestandschiffes • Erstellung der Energiebilanzrechnung (Hotel- und Antriebslasten) basierend auf den bekannten Betriebsdaten. • Analyse der verfügbaren Bunkerinfrastruktur entlang der Routen • Definition der längsten zu fahrenden Route zwischen Bunkerstandorten (optimiert auf eine möglichst geringe Tankgröße) • Ermittlung der benötigten Kraftstoffkapazität entsprechend der Gesamtenergiemenge (für verschiedene alternative Kraftstoffe) • Definition des Platzbedarfes für die Kraftstofflagerung an Bord • Prüfung der Verträglichkeit von Platzbedarf und vorhandenem Raum an Bord • Prüfung von möglicherweise weiter nutzbaren Strukturen und Ausrüstung mit alternativen Kraftstoffen (Tank-, Motoren Refit, usw.) • Strategische Abwägung von Vor- und Nachteilen der Kraftstoffe und Quantifizierung des Impacts (Kraftstoffkosten, Verfügbarkeit, CO_2-Intensität, technische Lösungen, Sicherheit, regulatorische Vorgaben, Bankability, Geschäftsmodell usw.) • Auswahl des Kraftstoffes durch den Schiffseigner anhand der ermittelten kommerziellen Argumente

Tabelle 5: Arbeitsschritte in der Vorplanung

Ziel der Vorplanung ist es, alle wichtigen Rahmenbedingungen und Anforderungen an das Schiff für ein Basic Design zu sammeln. Die gewählte Klassifikationsgesellschaft erstellt schließlich eine Liste von Unterlagen, die im Zuge des Basic Designs eingereicht werden müssen.

4.5.1.2 Basic Design

Das Basic Design ist die erste Planungsphase eines Schiffbau- oder Umbauprojektes, in welcher die technische Auslegung des Schiffes (Stahlstruktur, Antrieb, Energiebereitstellung, Peripheriesysteme, usw.) entwickelt und von der Klasse geprüft wird. Ein reibungsloser Ablauf im Basic Design ist bei Umbauprojekten stark von den vorhandenen Unterlagen des Schiffes abhängig. Grundlegende Informationen zum Entwurf (Generalplan, Tankplan, usw.) aber auch detaillierte Unterlagen zum Antrieb, Energiebedarf, Massenverteilung, Schwimmlage, Stabilität usw. werden für das Basic Design benötigt. Für einen Umbau auf alternative Kraftstoffe kann die Planung allgemein in drei Schritte unterteilt werden:

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

1. Ausbau der nicht mehr nutzbaren Technik und Stahlstruktur
2. Einbau neuer Stahlstruktur und Tanks
3. Installation des neuen Equipments, Definition und Planung der Abnahmeprozeduren

Schon bei dem Ausbau der alten Technik können große Herausforderungen auftreten. Wenn nicht ausreichend große Wartungsluken im Schiff vorhanden sind, müssen neue Öffnungen geschaffen werden. Da sich über dem Maschinenraum eines Schiffes meist das Deckshaus befindet, wird dadurch der Ausbau größerer Teile erschwert.

Beim Umbau des Schiffes geht es vorerst um die neue räumliche Aufteilung. Alternative Kraftstoffe haben eine geringere Energiedichte als fossile Kraftstoffe, wodurch mehr Platz für Tanks geschaffen werden muss, wenn durch den an Bord vorgehaltenen Kraftstoff die gleiche Reichweite sichergestellt werden soll. Die benötigte Tankkapazität wird im Rahmen der Voruntersuchung ermittelt.

Auch die Gefahrenzonen (durch Explosionsgefahr und Toxizität alternativer Kraftstoffe) definieren die neue Raumaufteilung des Schiffes maßgeblich. Als besondere Herausforderung kommt hinzu, dass die neue Aufteilung den Masseschwerpunkt des Schiffes verändern kann. Dies wirkt sich auf die Festigkeit des Schiffes (sowohl lokal als auch global), dessen Stabilität und die Schwimmlage aus. Wird das Schiff durch einen Umbau schwerer, ist durch den höheren Tiefgang mit einem erhöhten spezifischen Kraftstoffverbrauch zu rechnen.

Die Installation des neuen Equipments kann in das Kraftstoff- und Antriebssystem und seine vielfältigen Peripheriesysteme unterteilt werden. Beide Equipment-Gruppen werden von den neuen Kraftstoffeigenschaften und den damit einhergehenden Sicherheitsanforderungen beeinflusst. So müssen alle kraftstoffführenden Komponenten von der Bunkerstation bis zum Abgasschacht hinsichtlich Materialverträglichkeit und Dichtigkeit auf den neuen Kraftstoff abgestimmt sein. Ohne die Berücksichtigung dieser Faktoren im initialen Entwurf des Schiffes wird eine Weiternutzung des bestehenden Kraftstoff- und Abgassystems beim Einsatz alternativer Kraftstoffe nicht möglich sein.

Gleiches gilt für die Peripherie. Erhöhte Sicherheitsanforderungen an Lüftung, Elektrik, Feuerlöschsystem usw. erfordern in der Regel eine Neuanschaffung der Komponenten und können zu einem erhöhten Platzbedarf führen.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Um all diesen Herausforderungen gerecht zu werden, ist ein umfangreiches Basic Design nötig. Durch die aktuell begrenzte Erfahrung mit alternativen Kraftstoffen in der Schiffbauindustrie kann es ansonsten schnell zu hohen unvorhergesehenen Kosten und Bauverzögerungen kommen. Die geprüften Basic-Design Unterlagen inklusive der Umbauspezifikation sind die nötigen Dokumente für den Reeder zur Anfrage an die Werften für ein kommerzielles, technisches Umbauangebot.

Arbeitsschritte im Basic Design
Systemauslegung • Schematische Darstellung des neuen Tank-, Kraftstoff-, und Maschinensystems • Schematische Darstellung weiterer Schiffsysteme (Bunkerstation, Lüftung, Elektrik, Abgas, Feuerlösch, Bilge, usw.) • Ermittlung von Platzbedarfen für neue Komponenten • Definition von Sicherheits- und Gefahrenzonen
Raumaufteilung • Sichtung der Entwurfsunterlagen des Bestandschiffes (Generalplan, Tankplan, usw.) • Definition der freiwerdenden Räume (Tanks, Kraftstoffaufbereitungssystem, Maschinenraum, usw.) • Neuaufteilung des Schiffes anhand der ermittelten Platzbedarfe und Gefahrenzonen • Ermittlung der neuen Massenverteilung im Schiff • Schifftheoretische Bewertung der neuen Raumaufteilung (Schwimmlage, Stabilität, Festigkeit, usw.)
Risikoanalyse (HAZID / HAZOP) • Ermittlung von möglichen Gefahrenquellen anhand der neuen Systemschemata • Ermittlung der Konsequenzen von Gefahrenquellen auf betroffene Räume • Auslegung des Sicherheits- und Automationssystems für die Reaktion auf ermittelte Gefahrenquellen • Einbeziehung der Konsequenzen des Sicherheitssystems in die Systemauslegung • Einbeziehung der Konsequenzen des Sicherheitssystems in die Raumaufteilung und Raumeinrichtung • Erstellung von Sicherheitsanweisungen, Wartungsprozeduren und dem Sicherheits-Automationssystem • Controlling und Dokumentation
Definition der Umbaumaßnahmen • Auflistung aller auszubauenden Equipments unter Berücksichtigung von möglicherweise nötigen Eingriffen in die Schiffstruktur • Definition der Umbaumaßnahmen der Schiffsstruktur für die neue Raumaufteilung • Auflistung der neu zu installierenden Equipments und deren Anordnung im Schiff (Tank-, Kraftstoff-, und Maschinensystem) • Umbaumaßnahmen in Bezug auf Subsysteme (Bunkerstation, Lüftung, Elektrik, Abgas, Feuerlösch, Bilge, usw.) Optional: Umbaumaßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz des Schiffes (siehe Abschnitt Retrofit klassisch)
Klassifikation • Erstellung der erforderlichen Zeichnungen und Dokumente • Berücksichtigung der Klassenkommentare und Revision der Unterlagen Erhalt der Design Appraisal Documents (DAD) zu jeder Zeichnung / jedem Dokument

Tabelle 6: Arbeitsschritte Basic Design

4.5.1.3 Detail Design

Wird nach dem Basic Design eine positive Investitionsentscheidung getroffen, wird das Projekt in ein Detail Design überführt. Die technischen Unterlagen aus dem Basic Design werden vom Schiffseigner genutzt, um Angebote von Werften für die Umsetzung des Umbaus einzuholen. Die beauftragte Werft ist schließlich dafür zuständig, sowohl die benötigten Komponenten zu beschaffen und die detaillierten Fertigungszeichnungen

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR
GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

anzufertigen als auch die baulichen Maßnahmen umzusetzen. Die Umsetzung des Detail Designs von der Werft erfolgt in Kooperation mit den Zulieferern des Spezialequipments und gegebenenfalls mit Unterstützung von Konstruktionsbüros.

Arbeitsschritte im Detail Design
Procurement • Sichtung der Unterlagen aus dem Basic Design • Abfrage der am Markt verfügbaren Komponenten und Systeme inklusive Budgetpreise, Lieferzeiten, technischer Dienste, Erprobung und Garantie • Einholung der technischen Unterlagen von Zulieferern zur Integration im Schiff
Planung • Konstruktive Umsetzung des Basic Designs (Fundamentierung von Komponenten usw.) • Erstellung von Stücklisten, Fertigungszeichnungen usw. • Definition eines realistischen Bauablaufplanes nach technischen Aspekten und Zwängen • Definition von zu erstellenden Prozeduren für das Qualitätsmanagement und die Erprobung
Fertigung • Umrüstung des Schiffes nach den technischen Unterlagen aus dem Basic und Detail Design • Integration der neuen Komponenten, eventuell in Zusammenarbeit mit Zulieferern • Test von Equipments, Klassenabnahme und Probefahrt

Tabelle 7: Arbeitsschritte Detail Design

4.5.2 Abgrenzung zum Neubau

Die Planungsphasen für ein Neubauprojekt mit alternativen Kraftstoffen entsprechen zunächst denen einer Umrüstung. Auch bei der Entwicklung des Tank- und Kraftstoffsystems gibt es viele Überschneidungen, insbesondere hinsichtlich der Zertifizierung durch die Klassifikationsgesellschaften (HAZID / HAZOP, DAD usw.).

Im Vergleich zur Conversion weisen Neubauten inhärente Vorteile bei der effizienten Nutzung von Raum und Energie auf. Durch den freien Schiffsentwurf – ohne die Berücksichtigung bestehender Rahmenbedingungen – können vor allem große Komponenten wie Kraftstofftanks einfacher und platzsparender im Schiff integrieren werden. Auch die nötigen Gefahrenzonen können konzentriert werden und dadurch möglichst klein ausfallen. Weil elektrisches Equipment für explosionsgeschützte Bereiche sehr aufwendig in der Herstellung und dadurch kostenintensiv ist, ist eine effiziente Raumaufteilung auch für das Sicherheitskonzept als ökonomisch sinnvoll zu bewerten.

Bei der Konzipierung von Schiffsneubauten ist die Energieeffizienz sehr wichtig. Angefangen bei stromsparender Beleuchtung bis hin zum effizienten Propulsionssystem kann im Neubau durch Optimierung im Basic Design ein möglichst geringer Energiebedarf

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

erreicht werden. Durch eine iterative Verbesserung der Energiebilanzrechnung (unter Berücksichtigung aller an Bord befindlichen Verbraucher, Schiffswiderstand, Energy Saving Devices, Windassistenzsysteme usw.) kann die benötigte Maschinenleistung so weit wie möglich reduziert werden. Schlussendlich können so Betriebskosten gespart und ökonomische Vorteile (niedrigere Kosten pro transportierter Tonne) erzielt werden.

Ein weiterer Vorteil der optimalen Abstimmung der Maschinenleistung im Neubau auf die benötigten Energiebedarfe ist der so ermöglichte effizientere Motorbetrieb und schonendere Betrieb des Antriebssystems. Es kann ein dem Betriebsprofil entsprechendes Antriebs- und Motorensystem installiert werden.

Sofern unterschiedliche Motorenhersteller für Haupt- und Hilfsmaschinen gewählt wurden, kann dies bei einer Conversion zu zusätzlichen Herausforderungen führen. Die Umrüstung der Maschinen unterscheidet sich von Hersteller zu Hersteller. Dadurch können komplexe Anforderungen an die Kraftstoffaufbereitung, z.B. unterschiedliche Drücke und Temperaturen, auftreten.

4.5.3 Praxisbeispiele

RoRo/RoPAX-Fähre:

Im Jahr 2015 wurde die Ostseefähre Stena Germanica auf Methanol Dual Fuel-Betrieb umgerüstet. Hierfür wurden alle Antriebsmaschinen einem Umbau unterzogen und vorhandene Ballastwassertanks im Doppelboden wurden zu Methanol-Tanks umgerüstet. Die Umrüstzeit betrug ca. 3 Monate (Investitionskosten ~22 Mio. €) und beschränkte sich vorwiegend auf den Umbau des Maschinenraums. Das Projekt wurde zu 50 % mit EU-Geldern gefördert (Programm „Motorways of the sea“).

Im Jahr 2020 wurde von der Reederei der Methanol-Betrieb weitestgehend eingestellt. Als Grund hierfür wurde angegeben, dass Methanol aus Kosten- und Logistikgründen keine wettbewerbsfähige Alternative zu traditionellen Treibstoffen ist [84, 85, 86].

Containerschiff:

Eines der bekanntesten Beispiele für eine Fuel Conversion ist die Brüssel Express. Das 15.000 TEU Containerschiff wurde 2020/2021, als Pilotprojekt, auf LNG- Dual Fuel -Betrieb umgerüstet. Das ursprünglich unter dem Namen Sajir gebaute Schiff wurde 2014 mit einer

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

LNG-fuel ready Notation ausgeliefert (die genaue Notation ist nicht bekannt). Dennoch beinhaltete die Umrüstung zahlreiche Herausforderungen, von der Planung bis zur Umsetzung [87]. Die Fuel Conversion der Brüssel Express dauerte 8 Monate und wurde ursprünglich mit 35 Mio. USD veranschlagt [88, 89]. Dies entspricht ungefähr 20 % der Neubaukosten von 174 Mio. USD [90].

Die Flotte von Hapag-Lloyd umfasst eine Vielzahl von Schwesterschiffen der Brüssel Express, welche baugleich für die Umrüstung auf LNG-Dual Fuel-Betrieb konzipiert wurden. Es wurden bisher jedoch keine weiteren Ambitionen seitens der Reederei bekannt, weitere LNG Fuel Conversion durchzuführen. Stattdessen sollen bis 2026 fünf 10.000 TEU Containerschiffe auf einen Methanol-Dual Fuel-Betrieb umgerüstet werden [91].

Bulker:

Im Zuge der Recherche wurden keine Fuel Conversion Projekte von Bulkern ermittelt. Es handelt sich in Anbetracht der typischen Schiffsgrößen, Einsatzgebiete und transportierten Gütermengen um einen niedrigpreisigen Schiffstyp. Allgemein kann angenommen werden, dass die Kosten für Conversion von Bulkern zwischen 25 % und 50 % der Neubaukosten liegen. Sie sind damit aktuell im Regelfall als kommerziell unattraktiv für den Eigner zu bewerten.

Darüber hinaus ist der Bulkermarkt ein sehr agiler Markt, der häufig auf kurzfristige Bedarfe reagiert. Feste Routen sind nicht die Regel, sondern es werden unterschiedlichste Häfen mit unterschiedlichen Gütern angelaufen. Einschränkungen infolge geringerer Reichweiten oder schlechterer Kraftstoffverfügbarkeiten durch den Einsatz alternativer Kraftstoffe sind meist ein Ausschlusskriterium.

Bulker werden hauptsächlich in Asien gebaut, kurzfristig vorhandene Bauslots bei den Werften werden auf Nachfrage bei den bekannten Bulker-Reedereien geschlossen. Die Reedereien und Werften greifen hierfür auf erprobte Designs zurück, konzeptionelle Neuentwicklungen wie sie die ernsthafte Berücksichtigung von zukünftigen Conversion in Neubauten erfordert, sind i. d. R. nicht gefragt.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

4.6 Die Bedeutung von Retrofit und Conversion für Werften

Retrofits:

Retrofits werden bereits heute häufig und in ganz unterschiedlichem Umfang von Werften ausgeführt. Das Geschäftsmodell eignet sich besonders für sogenannte ‚Reparaturwerften'. Reparaturwerften sind i. d. R. Third Tier Werften. Sie bedienen häufig Nachfragen aus den Gewässerregionen, an denen sie ansässig sind. Für die Durchführung von Standard- Retrofitmaßnahmen, wie z. B. Propeller- oder Bugwulst-Retrofit ist kein marktunübliches Spezialwissen im Schiffbau erforderlich, sodass das vorhandene Personal und Equipment auf Reparaturwerften in der Lage sein sollte, diese Maßnahmen durchzuführen.

Sollten jedoch größere Nachrüstungen, wie z. B. die Installation von Segeln oder die Integration von technologisch sehr anspruchsvollen und noch unerprobten Maßnahmen, wie z. B. Air Lubrication, erfolgen, schränkt sich der Kreis der infrage kommenden Werften ein. Als Bottlenecks können insbesondere das Spezialwissen aber auch die Verfügbarkeit von Bauteilen genannt werden. Das benötigte Equipment und Werkzeug unterscheiden sich i. d. R. nicht von der üblicherweise im Schiffbau eingesetzten Ausrüstung. Sollten z. B. Kräne zum Einsatz kommen, die vor Ort nicht verfügbar sind, können diese angemietet werden. Der richtige Einbau von Retrofitmaßnahmen ist jedoch Voraussetzung für eine korrekte Funktionsweise. Neben der korrekten Vorplanung der Maßnahme durch z. B. Ingenieure ist auch geschultes Werftpersonal zur Bauausführung notwendig.

Nach Angaben einer von Lloyd's Register in 2024 veröffentlichten Studie bedarf die Mehrheit der Retrofitmaßnahmen zudem den Aufenthalt des Schiffs in einem Trockendock. Auch die Größe der vorhandenen Bauplätze muss zu den Schiffen, an denen Retrofitmaßnahmen durchgeführt werden sollen, passen. Retrofits für große Seeschiffe anzubieten kann daher für deutsche Werften zu einer Herausforderung werden.

Für einen Bulker ab 50.000 dwt gibt die o. g. Studie Kosten für die Maßnahmen zwischen 0,75 und 2,5 Mio. USD sowie Energieeinsparungspotenziale von 1,5 bis 10 % an [96]. Folglich führt, wenn überhaupt, die Kombination vieler Retrofitmaßnahmen zu der durch die IMO geforderten Reduktion der THG-Emissionen um 30 % bis 2030. Für eine Vielzahl der Bestandsschiffe kann dies entweder mehrere Werftaufenthalte oder verlängerte

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Aufenthalte, um mehrere Maßnahmen einzubauen, bedeuten. Um lange Ausfälle der Schiffe zu vermeiden, werden Retrofits meist bei geplanten Werftaufenthalten für Renovierungen oder im Zuge der Fünfjahresdockung durchgeführt.

Conversion:

Bei Conversion handelt es sich hingegen in jedem Fall um umfangreiche Baumaßnahmen, die Stand heute ein tiefgreifendes Spezialwissen und über einen längeren Zeitraum verfügbare Bauplätze auf Werften erfordern. Die in Kapitel 4.4.2 angeführten Beispiele weisen Werftaufenthalte von drei bis neun Monaten aus. Die unterschiedlich lange Zeitspanne lässt den Schluss zu, dass der Aufwand, die Dauer und die Kosten, um Conversion durchzuführen, maßgeblich von den bereits beim Neubau des Schiffs vorbereitenden Einbauten und dem Grad der Berücksichtigung einer Conversion bei der Auslegung des Schiffs abhängt (Ready Notation).

Aufgrund der umfangreichen Baumaßnahmen am Schiff beinhaltet eine Conversion meist eine Änderung der Schiffsdokumente und Konstruktionsunterlagen, auf deren Basis das betreffende Schiff von der Klassifikationsgesellschaft ursprünglich zugelassen wurde. Der Umbau erfordert somit die neuerliche Prüfung durch die Klassifikationsgesellschaft. Typischerweise betroffene Bereiche sind bei einer Conversion unter anderem der Tank- und Generalplan, die Stabilitätsunterlagen, die Struktur- und Ladefallberechnungen, die Energiebilanz, das

Schiffssicherheitskonzept, die Automation, das Feuerlöschsystem, die Maschinenraumanordnung sowie das Lüftungssystem. Dabei ist der Aufwand für den Austausch von Komponenten im Maschinenraum im Gegensatz zum Austausch der Tanks und der Kraftstoffkette im Schiff erfahrungsgemäß als geringer zu bewerten, da die Zugänglichkeit des Maschinenraums besser ist.

Mit dem erhöhten Bauumfang von Conversion wird eine umfangreiche Basis- und Detail-Planung notwendig. Die Planung muss die aktuellen Vorschriften genau befolgen, um sicherzustellen, dass das Schiff nach der Conversion reklassifiziert wird. Nur erfolgreich re-klassifizierte Schiffe in Fahrt können als Referenz für weitere potenzielle Kunden dienen. Der im Vorfeld einer Conversion notwendige Planungsaufwand ist hoch. Neben Zeit-verursacht er auch Kostenaufwand. Diese sekundären Kosten sollten bei der Entscheidung für eine Conversion berücksichtigt werden. Werften, die bereits über Erfahrungswerte im

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Bereich des Engineerings von Conversion verfügen, können diesen Vorsprung als Preisvorteil geltend machen.

Um sich erfolgreich in diesem Markt behaupten zu können, sind daher vor allem gut ausgebildete, erfahrene Mitarbeitende entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Konstruktion, Produktions- und Projektplanung bis hin zum Einkauf und der Durchführung unabdingbar. Diese

„Conversionteams“ spielen eine wichtige Rolle in der Weitergabe von Erfahrungswerten, um langfristig einen Branchenstandard zu erarbeiten. Europäische Werften verfügen häufig über gut ausgebildetes Fachpersonal. Auch eigene Entwicklungsteams oder gute Kontakte zu Designbüros sind weit verbreitet. Das Know-how um solche Teams aufzubauen ist vorhanden, was einen Standortvorteil gegenüber anderen globalen Regionen bedeuten kann.

Aus kommerzieller Sicht ist für Conversion mit hohen Kosten zu rechnen. Diese werden je nach Maßnahme und Quelle derzeit mit 20 – 40 % des Neubaupreises angegeben. Wie hoch dieses Verhältnis ausfällt, hängt neben der gewählten Conversion insbesondere von dem Neubaukostenniveau des jeweiligen Schiffssegmentes ab. Kreuzfahr- oder Containerschiffe sind beispielsweise i. d. R. hochpreisiger als Tanker oder Bulker (bei vergleichbarer Größe). Der finanzielle Aufwand für eine Conversion ist für Schiffe aus günstigeren Segmenten gemessen an ihrem Neubaupreis deutlich höher. Die Affinität für solche Schiffe eine solche Maßnahme tatsächlich umzusetzen kann in der Folge sinken.

Daher spielt auch der Preis für den angebotenen Umbau eine wichtige Rolle bei der Entscheidung für einen Werftstandort. Dafür wird unter Umständen auch eine weite Fahrt der Schiffe zur Werft in Kauf genommen. Betriebswirtschaftlich bedarf es einer strukturierten Kostenakquise sowohl für das Material als auch für die Durchführung des Umbaus. Insbesondere alternative Designs können den benötigten Aufwand, auch in finanzieller Hinsicht, positiv beeinflussen, erfordern jedoch von den Werften und den von ihnen beauftragten Ingenieurbüros entsprechende Erfahrungen sowie eigene Referenzen in der Anwendung alternativer Kraftstoffe. Bislang ist dieser Wissensumfang und das Know-how kein branchenüblicher Standard, sodass Conversion ein komplett neues Geschäftsmodell für einen Großteil der Werften darstellen.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Ein weiterer Faktor für die Entwicklung des Retrofit- und Conversionmarktes ist, welche Varianten sich bei Eignern und Betreibern durchsetzen werden, um den Emissionsregularien zu entsprechen. Neben der Zahlung von Strafen bei unzulässig hohen Emissionen gibt es durch EU Emissions Trading System (EU ETS) die Möglichkeit Überschreitungen der CO_2-Emissionsgrenzen durch den Kauf von Zertifikaten zu kompensieren. Alternativ kann ein Schiff so ausgelegt oder umgerüstet wird, dass es konform zu den Regularien betrieben wird, oder es kann auf das Konzept des Poolings zurückgegriffen werden. Bei Letzterem werden mehrere Schiffe gemeinsam hinsichtlich ihrer Emissionen bewertet.

D. h., ein Schiff, das deutlich unter den maximal zulässigen Emissionen bleibt, kann Schiffe, die schlechter abschneiden, ausgleichen. Pooling ist nicht nur innerhalb der Flotte eines Eigners möglich, sondern kann auch unter bestimmten Voraussetzungen flottenübergreifend erfolgen. Ob ein Eigner sich für einen Neubau, Retrofits, Conversion oder den Kauf von Zertifikaten entscheidet, wird dabei primär vom individuellen Business Case getrieben. Für Werften könnte dies bedeuten, dass anstelle einer Vielzahl von Retrofits oder Conversion eher vereinzelt Neubauten mit signifikant geringeren Emissionswerten oder auch Conversion mit hohem Emissionsminderungspotenzial beauftragt werden. Die tatsächlichen Auswirkungen lassen sich im Rahmen dieser Studie und zum aktuellen Zeitpunkt jedoch noch nicht abschließend bewerten.

Insgesamt ist zu erwarten, dass sowohl Conversion als auch Retrofits für Werften einen neuen, potenziell lukrativen Business Case darstellen können. Gerade für Second und Third Tier Werften kann dieser neue Markt dem aktuellen Trend der Werftschließungen entgegenwirken und ein neues Tätigkeitsfeld erschlossen werden. Die komplette Restrukturierung bestehender Werften für Conversion und/oder Retrofit ist grundsätzlich möglich, bedarf aber auch einer anfänglichen Investition - insbesondere in Fachkräfte. Für die Markterschließung ist es zudem für Werften ratsam, sich zunächst auf einen Schiffs- oder Kraftstofftyp zu spezialisieren, um sich dort einen Wissensvorsprung aneignen zu können.

Es ergeben sich derzeit drei Hebel für den erfolgreichen Markteintritt von Werften in den Retrofit- und Conversionmarkt: **Wissensvorsprung**, **Kosteneffizienz** und **Qualität** der Conversion.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

4.7 Zwischenfazit

- Die regulatorischen Hebel durch Energy Efficiency Design Index (EEDI), Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) und Carbon Intensity Indicator (CII) sind in den nächsten Jahren nur bedingt wirksam, um weitreichende Umbauten an Schiffen zu forcieren, da durch operative und Retrofitmaßnahmen 20 – 30 % Kraftstoffersparnis erzielt werden können.
- Retrofits sind daher für Schiffe interessant, die zu alt oder/und nicht geeignet für Conversion sind. Sie sind ein etabliertes Mittel, um die regulatorischen Anforderungen mittelfristig mit Bestandsschiffen zu erfüllen.
- Conversions sind hingegen für Schiffe geeignet, die noch nicht in Gänze abgeschrieben sind (max. Alter 10- 15 Jahre) und insbesondere für Segmente, die aufgrund des altersbedingten Flottenaustauschs keine Klimaneutralität bis 2050 erfahren können, sowie für Neubauten der nächsten Jahre, die aktuell aufgrund von Marktverfügbarkeiten noch nicht auf alternative Kraftstoffe zurückgreifen können.
- Eine Conversion betrifft nahezu alle Projektierungsstufen des Schiffbauprozesses und viele Gewerke. Mit einer Conversion ist ein hoher Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Eine gute Vorausplanung im Neubau kann den benötigten Aufwand für die spätere Maßnahme erheblich minimieren.
- Welche Conversionsmaßnahmen durchgeführt werden oder beim Neubau mitgedacht werden, hängt deutlich von der technologischen Verfügbarkeit oder/und Entwicklungsreife der benötigten Komponenten sowie dem Status der Lieferketten des avisierten Kraftstoffes sowie dem gewählten Kraftstoff vor der Conversion ab.

Mögliche Entwicklungen:

1. Retrofits können insbesondere in einer ‚Maßnahmentimeline' kurz- bis mittelfristig Mittel der Wahl zur Erreichung der regulatorischen Vorgaben für Bestandsschiffe sein.
2. Neubauten sollten standardmäßig mit Effizienzmaßnahmen auf aktuellem technologischem Stand ausgestattet sein, sodass Retrofits für sie zukünftig nur bedingt in Frage kommen.
3. Durch ein CII-Poolingsystem können Eigner von großen Flotten bevorteilt werden.
4. Retrofits können von Second und Third Tier Werften durchgeführt werden und greifen damit zum Teil auf ein anderes Werftsegment zurück als der Neubau von Seeschiffen,

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

sofern die baulichen Gegebenheiten es zulassen. Da in Europa viele der ansässigen Werften dem Second oder Third Tier Werften zuzuordnen sind, können durch die Durchführung von Retrofits neue Marktchancen entstehen. Da i. d. R. keine weiten Strecken zurückgelegt werden, um solche Maßnahmen vornehmen zu lassen.

5. Conversionsmaßnahmen stellen hohe Anforderungen an Werften (Fachpersonal, Ausstattung, Größe der Bauplätze, techn. Know-how, Komponenten etc.). Wenige Werften sind aktuell dafür geeignet. Aufgrund der benötigten Ausstattung, Bauplätze und der Länge der nötigen Werftaufenthalte sind First und Second Tier Werften voraussichtlich diejenigen, die diesen Markt für sich gewinnen können. Kommerzielle Rahmenbedingungen sind bei großen Umbaumaßnahmen wesentlicher Entscheidungsfaktor für die Wahl der Werft.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

5 Die Bedeutung von Ready-Notationen im Neubau

Ready-Notationen können ein Werkzeug sein, spätere Fuel Conversion vorzubereiten und damit zur Erreichung der Reduzierung der THG-Emissionen der internationalen Schifffahrt beizutragen.

5.1 Herausforderungen für Schiffseigner

Schiffseigner stehen vor dem Problem, dass Neubauten für Hochseeschiffe zukünftig im Einklang mit den IMO-Zielen für 2050 entwickelt werden sollten, um Pönalen zu vermeiden. Diese Planung gestaltet sich komplex, da nach heutigem Stand kein Kraftstoff und keine Technologie die Marktvorhersagen dominiert [61]. Ein Eigner muss sich mit den unterschiedlichen Kraftstoffen, deren Handhabung und der Kraftstoffbeschaffung auseinandersetzen. Dabei muss sich trotz beschriebener Unsicherheit bereits in der Planungsphase auf einen bestimmten Kraftstoff festgelegt und Gespräche mit geeigneten Marinekraftstoffproduzenten gesucht werden. Weiter wirken sich die Entscheidungen bei der Auswahl alternativer Kraftstoffe in Neubauten teils unvorhersehbar auf Bunkern, Betrieb, Personal und entscheidend auf den Business-Case sowie monetäre Aufwendungen aus.

Es ist daher aktuell für die meisten Eigner noch keine Option, Schiffe zu ordern, die ausschließlich alternative Kraftstoffe nutzen. Bei einer Nutzungsdauer von 20-30 Jahren sehen Eigner sich dennoch bereits mit der Herausforderung konfrontiert, zukünftige regulatorische und Marktentwicklungen bei der Order mitzudenken. Ein Mittel der Wahl ist die Order von Schiffen, deren Designs bereits den zukünftigen Einsatz alternativer Kraftstoffe berücksichtigen. Auch hier ist die Wahl der richtigen Kraftstoffalternative mit vielen Unsicherheiten aufgrund der unklaren preislichen Entwicklungen und Verfügbarkeiten der Kraftstoffe verbunden. Der Umfang, in dem Eigner sich aktuell in der Lage sehen, diese Entscheidung in der Order von Neubauten zu berücksichtigen, variiert stark. Sogenannte, von Klassifikationsgesellschaften angebotene, Ready-Notationen bieten Eignern die Möglichkeit sich die Erwägung und je nach Notation auch Vorbereitung einer späteren Conversion im Neubau bescheinigen zu lassen.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

5.2 Was bedeutet „E-Fuel ready“?

Die Conversion von Schiffen auf den Betrieb mit alternativen Kraftstoffen geht über den Retrofit (siehe Abschnitt 4.5) als Anpassung, Modifikation oder Ergänzung einzelner Komponenten eines Schiffs, hinaus. Sie bedeutet einen Eingriff in zahlreiche, wenn nicht alle, Komponenten des Kraftstoffversorgungssystems eines Schiffes. Betroffen sind typischerweise Bunkerstation, Tank, Kraftstoffleitungen, Handling, Elektronik und Automation, Sicherheitsbetrachtung, Verbraucher und Abgassysteme. Der Begriff ready suggeriert, dass ein Schiff auf die beschriebene Umstellung vorbereitet ist. Mit der Klassifizierung soll die Zukunftsfähigkeit und Einsatzfähigkeit des Betriebsmittels sichergestellt und somit das Risiko für Eigner, Charterer, Schiffsfinanzierer und Versicherer verringert werden [71].

Tatsächlich gibt es unter den Klassifikationsgesellschaften kein einheitliches Verständnis des Labels E-Fuel ready. Die Klassifikationsgesellschaften haben eigene Notationen zur Bescheinigung der Konvertierbarkeit einzelner Komponenten erarbeitet. Exemplarisch wurden die Ready- Notationen dreier führender Klassifikationsgesellschaften hinsichtlich ihrer Merkmale gegenübergestellt (siehe Anhang A). Die Notationen lassen sich, analog zum Schiffsentwurfsprozess, in verschiedene Designphasen kategorisieren: Eine Konzept-Entwurfsphase, eine Phase zur Basis- und Detailplanung einzelner Komponenten, sowie eine Phase zur Installation spezifizierter Komponenten.

In der Konzept-Entwurfsphase ist es möglich, gleichzeitig unterschiedliche alternative Kraftstoffe zu berücksichtigen. So können für ein Schiff bspw. Pläne für den Betrieb mit Methanol und Ammoniak erstellt und ggf. notifiziert werden. Diese Phase umfasst mindestens eine Entwurfsprüfung zur grundsätzlichen Eignung mit Blick auf die kraftstoffspezifischen Klassifikationsvorschriften. Es sind u. a. Anordnungsübersichten auf Generalplanbasis zu Tanks, Rohrleitungen, Equipments, räumlichen Aufteilungen von Bereichen zum Kraftstoffhandling einzureichen sowie ein vorläufiges Sicherheitskonzept inkl. Gefahrenzonenplan zu erstellen. Auch Berechnungen zur Stabilität und notwendige strukturelle Anpassungen sind zu übermitteln. Welche Dokumente genau gefordert werden, ist in den jeweiligen Notationsvorschriften angegeben.

In der Basis-/ Detail-Entwurfsphase können bei allen betrachteten Klassifikationsvorgaben einzelne Komponenten des Kraftstoffversorgungssystems (z.B. Tank, Tankstruktur,

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Kraftstoffsystem, Verbraucher) einer genaueren Prüfung unterzogen werden. Welche Komponenten geprüft und damit ready sein sollen, obliegt dabei dem Auftraggeber. Für einige Ready-Notationen ist in der Detailplanung kein geprüfter Konzeptentwurf notwendig.

Es besteht keine Notwendigkeit in einem Ready-Design über die Konzept-Entwurfsphase hinauszugehen. Es besteht demnach die Möglichkeit Schiffe ohne eine detaillierte Auseinandersetzung mit der erforderlichen Komplexität einer Conversion als „ready“ auszuweisen.

5.3 Ready- Notationen in der Welthandelsflotte

Die Entwicklung der Ordern und Indienststellungen seit 2010 zeigt, dass der prozentuale Anteil der jährlich ausgelieferten bzw. für das Jahr bestellten (Orderbuch ab 2025 berücksichtigt) Flotte, die für den Betrieb mit alternativen Kraftstoffen ausgelegt ist, seit 2013 stetig zunimmt. Deutlich über die Hälfte der Schiffe mit alternativen Antriebs- und Kraftstoffsystemen entfallen auf LNG/CNG (siehe Abbildung 15). Die Betrachtung berücksichtigt die georderten in Schiffe in CGT.

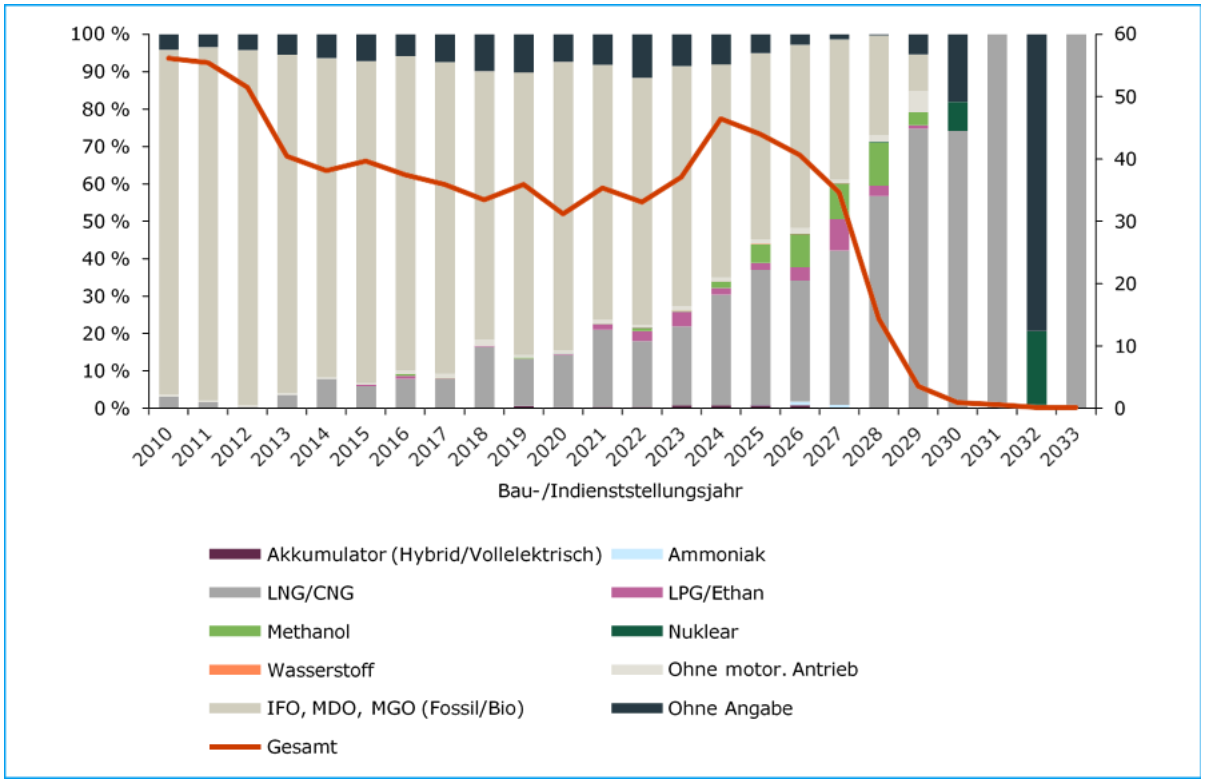

Abbildung 15: Georderter Main Bunker Fuel Type der Welthandelsflotte (2010 - 2033) [CGT]

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Die Entwicklung der Schiffe, die mit Ready-Notationen geordert wurden, weist hingegen eine weniger stetige Entwicklung auf. Nach einem moderaten Anstieg der Ordern seit 2014 stiegen sie 2022 geradezu sprunghaft an. Für die Jahre 2024 und 2027 wurden bereits ungefähr 14 % der insgesamt für diese Jahre georderten Neubauten mit Fuel-Ready-Notationen bestellt – ein deutlicher Hinweis, dass die Akzeptanz der Notationen im Markt gestiegen ist (siehe Abbildung 16). Über 2027 hinaus sind die Daten des Orderbuchs als nicht aussagekräftig zu bewerten.

Auch die Art der georderten Ready-Notationen hat sich mit dem Anstieg seit 2022 geändert. Entfielen zuvor noch nahezu alle Ready-Notationen auf LNG, so nahmen seit 2022 die Notationen mit der Bezeichnung ‚Ammoniak-ready' bzw. ‚Ammoniak & LNG-ready' sowie ‚Methanol-ready' zu. Ab 2024 überwiegen die Notationen für LNG nicht mehr.

Diese Entwicklung spiegelt, dass in der Schifffahrtsbranche Methanol oder Ammoniak hohe Chancen als zukünftige Kraftstoffe zugerechnet werden. Ein klarer Trend hin zu einem Kraftstoff zeichnet sich hingegen noch nicht ab, was die Ordern von bereits für alternative Kraftstoffe ausgerüstete Schiffe ebenfalls zeigen, da die Anzahl der für den tatsächlichen Methanol- oder Ammoniakbetrieb georderten Schiffe nach wie vor sehr gering ist.

Die sich in den Daten abzeichnende Marktunsicherheit findet sich auch in den teilweise für mehrere Kraftstoffe gleichzeitig ausgestellten Notationen wieder. Sie decken teilweise bis zu drei Kraftstoffe ab, die letztendlich sehr unterschiedliche tatsächliche Anforderungen an das Kraftstoff- und Antriebssystem stellen. Vor allem die Notation ‚Ammoniak & Methanol-ready' wurde vermehrt geordert und verdeutlicht die Unsicherheit der Marktakteure, welcher von beiden alternativen Kraftstoffen zukünftig für den geplanten Einsatz sinnhafter sein wird.

Für die Werften bedeutet die geschilderte Entwicklung zum einen, dass zeitnah Kompetenzen in der Konzeption und im Einbau von Methanol und Ammoniak Kraftstoff- und Antriebssystemen notwendig sind, um konkurrenzfähig zu bleiben. Zum anderen weist die steigende Anzahl an Ready-Notationen darauf hin, dass der Markt das Tool der Notation zunehmend annimmt.

Sollten die geplanten Umbaumaßnahmen tatsächlich durchgeführt werden, ist in zehn bis fünfzehn Jahren mit einer gesteigerten Nachfrage nach Bauslots für Conversion zu rechnen. Werften, die bis dahin entsprechende Kapazitäten und Kompetenzen frühzeitig

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

ausgebaut haben, verfügen über einen Vorteil im Wettbewerb um dieses neue Schiffbausegment.

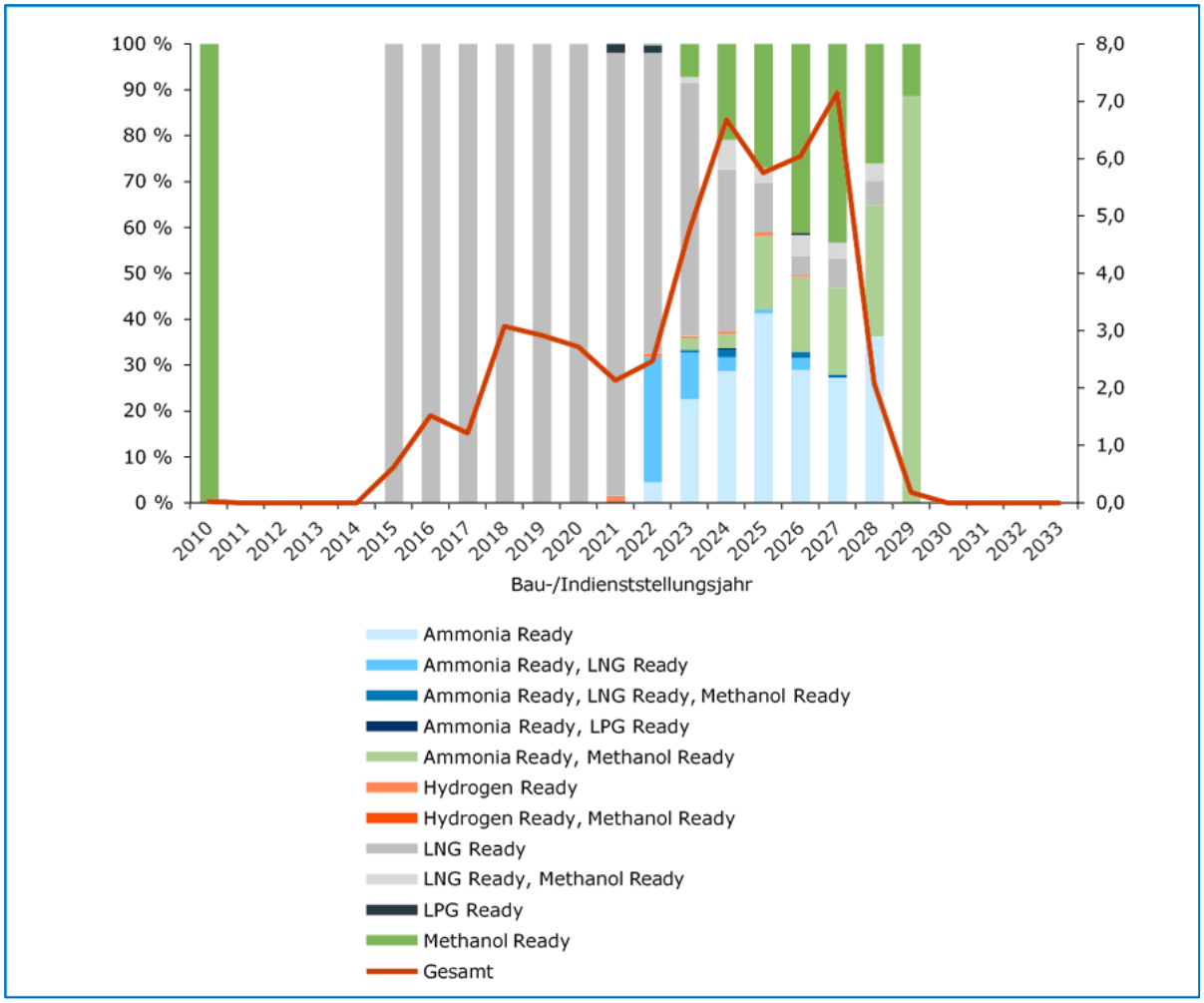

Abbildung 16: Georderte Schiffe mit Fuel Ready-Notation der Welthandelsflotte (2010 - 2033) [CGT]

5.4 Praxisbeispiele

„Methanol Fuel Ready Level 2D (S)“:

Diese Notation bedeutet, dass Unterlagen zum vorgesehenen alternativen Kraftstofftank (u. a. Abmessungen, Volumen, Material, Berechnungen (Temperatur, Spannungsanalysen) erstellt und geprüft wurden. Entsprechend der Berechnungen wurde eine Unterkonstruktion ausgelegt und deren Integration in die Schiffsstruktur geprüft. Bei dieser Notation sind

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

weder Tank noch Unterkonstruktion physisch vorhanden. Für die Notation ist keine Konzept-Entwurfsprüfung notwendig.

„Fuel Ready (Ammonia (MEc))“:

Diese Notation sagt aus, dass die einzubauende Hauptmaschine auf den Kraftstoff Ammoniak umrüstbar ist. Dafür werden weder ein Prototyp noch ein Approval benötigt. Der Motorlieferant stellt lediglich eine Bescheinigung aus, dass die gelieferte Maschine künftig auf den Kraftstoff Ammoniak umgerüstet und betrieben mit ihm werden kann. Auch für diese Notation ist keine Prüfung des Konzeptentwurfs erforderlich.

Die aufgeführten Beispiele führen mit geringem Mehraufwand zu erlangende Ready-Notationen für eine zukünftige Conversion auf. Diese beinhaltet jedoch lediglich eine Komponente. Bei einer tatsächlich folgenden Conversion können erhebliche Probleme auftreten z. B. durch fehlende räumliche oder bauliche Vorkehrungen. Das kann dazu führen, dass das gesamte Schiffs- und Maschinenraumkonzept inkl. des alternativen Kraftstoffsystems und zugehöriger Komponenten neu konzipiert werden muss. Die Motivation aus einer Notation tatsächlich zum Betrieb eines Schiffes mit einem alternativen Kraftstoff zu gelangen ist bei der Wahl eines solchen Ansatzes zu hinterfragen.

Die Überführung einer Ready-Notation in eine Conversion ist derzeit nicht verpflichtend. Weiter gelten die kraftstoffbezogenen Bauvorschriften zum Zeitpunkt der Fuel-Conversion. Das kann dazu führen, dass genehmigte, vorläufige Unterlagen (z.B. Kraftstoffsystem, Abluftsysteme, Sicherheitskonzepte) bis zum Zeitpunkt der Conversion nicht mehr dem Regelwerk (den Mindestanforderungen) entsprechen, was die zusätzliche Investition in eine Ready-Notation mit hohen Unsicherheiten versieht und unattraktiv macht.

5.5 Kritische Diskussion

Die Bescheinigung der Umrüstbarkeit auf einen alternativen Kraftstoff ist dann sinnvoll, wenn sie mit einer umfänglichen Betrachtung des Schiffsentwurfs einhergeht. Die aktuelle Markt- und Prognosesituation macht es aber für Schiffseigner schwierig abzusehen, welche Kraftstoffpfade für ihr Schiffssegment in Zukunft tatsächlich am Markt verfügbar sein werden. Diese Unsicherheit kann ein entscheidendes Kriterium für die Zurückhaltung in der Umfänglichkeit der Etablierung von Vorkehrungsmaßnahmen für Conversion im Neubau sein.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Klassifikationsgesellschaften argumentieren damit, dass einem Schiffsneubau durch die Ready- Notation, bei gleichzeitiger Reduktion der späteren Investitionskosten für die Durchführung der Conversion, eine gewisse Flexibilität und Zukunftsfähigkeit bescheinigt wird. Die Bescheinigung kann somit bei Eignern, Reedern, Konstrukteuren und Schiffsfinanzierern Vertrauen und Anerkennung schaffen, auch wenn sie nur Teilaspekte des Entwurfs berücksichtigt. Es sollte jedoch auch offen kommuniziert werden, dass bei der tatsächlichen Durchführung der durch eine Ready-Notation avisierten Conversion neben den für die Maßnahme anfallenden CAPEX die Werftaufenthaltsdauer zu berücksichtigen ist, da das Schiff in dem Zeitraum keine Einnahmen generieren kann.

Anstatt tatsächliche Umbaumaßnahmen zu avisieren können Ready-Notationen unter den aktuellen Anforderungen dazu verleiten, sie als PR-Maßnahme zu nutzen. Kritiker sehen daher in diesem Mechanismus ein potenzielles Werkzeug zum ‚Greenwashing', denn ohne eine tatsächliche Umrüstung tragen Ready-Notationen nicht zu einer Reduktion der THG-Emissionen und der Erreichung der IMO-Ziele bei.

Es liegen aktuell keine belastbaren Informationen vor, ob Schiffe mit Ready-Notationen darüber hinaus höhere Charterraten einfahren oder zu vorteilhafteren Konditionen bei der Schiffsfinanzierung führen.

5.6 Zwischenfazit

- Kurz- bis mittelfristig ist für die Etablierung alternativer Kraftstoffe in Schiffsneubauten der Entwurf und Bau von ready-notierten Schiffen ein akzeptiertes Mittel, um zu einem späteren Zeitraum eine Conversion (aufwandsoptimiert) zu ermöglichen.
- Die für eine Ready-Notation erforderlichen Planungs- und baulichen Maßnahmen variieren je nach abnehmender Klasse, gewähltem zukünftigen Kraftstoff und gewünschtem Aufwand durch den Eigner stark.
- Für viele Ready-Notationen ist es nicht notwendig über eine Konzept-Entwurfsphase hinauszugehen

Mögliche Entwicklungen:

1. Welche Conversionmaßnahmen durchgeführt werden oder beim Neubau mitgedacht werden, hängt deutlich von der technologischen Verfügbarkeit oder/und Entwicklungsreife der benötigten Komponenten sowie dem Status der Lieferketten des

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

avisierten Kraftstoffes sowie dem gewählten Kraftstoff vor der Conversion ab. Der Kraftstoffmarkt beeinflusst daher die gewählten Ready-Notationen und zukünftig die Durchführung von Conversion.

2. Eine fortgeschrittene Ready Notation minimiert das Risiko für die spätere Umrüstung. Die kommerziellen Angebote und die Bereitschaft von Werften für die Durchführung von Umrüstungen werden dies berücksichtigen.
3. Ernst gemeinte Notationen (bereits hoher Ausrüstungsgrad, mindestens gemäß Level 3 für Kraftstoffe mit entsprechender technologischer Reife, für andere Kraftstoffe mindestens Level 2) können ein Tool sein, um die Überführung der Flotte zur Klimaneutralität etwas zu beschleunigen und weniger Werftkapazitäten dafür zu binden.
4. Je besser die Vorbereitung für eine Conversion durch eine Ready-Notation ist, desto geringer sind der finanzielle Aufwand und die Opportunitätskosten, die durch Verzicht auf Gewinne während des Werftaufenthalts entstehen.
5. Der Anstieg der Notationen weist auf ein steigendes Verständnis im Markt hin.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

6 Die Bedeutung und Entwicklung der Ammoniak- und Methanoltankerflotte für die (maritime) Energiewende

6.1 Entwicklung Ammoniak- und Methanol-Seetransporte

Die globale Energienachfrage wird gängigen Prognosen zufolge bis 2050 zwischen 10 und 20 % steigen. Dieses Wachstum wird insbesondere durch die industrielle Entwicklung in heutigen Schwellenländern begründet [75].

Im Rahmen der angestrebten Energiewende ist darüber hinaus von einem sehr hohen globalen Bedarf an alternativ erzeugter Energie auszugehen. Für die Erzeugung dieser Energien sind primär Länder geeignet, die über ein hohes Erzeugungspotenzial von Solar- oder Windenergie verfügen. Die globale Verteilung von Energieerzeugung und -bedarf wird sich demzufolge deutlich verschieben. Wie viele europäische Länder wird Deutschland große Mengen Energie importieren müssen. Als alternativer Energieträger für Speicher und Transport werden vor allem Wasserstoff und seinen Derivaten Schlüsselfunktionen zugesprochen.

Viele der zu erwartenden Import- und Exportbewegungen alternativer Energieträger über lange Strecken hinweg werden auf die Schifffahrt entfallen. Sie ist damit ein wesentlicher Enabler für die globale Energiewende. Da auch die Schifffahrt selbst klimaneutral werden soll, werden ebenso große Mengen von alternativen Energieträgern für die Bereitstellung von Bunkerstoffen transportiert werden müssen. Aktuelle Entwicklungen zeigen, dass insbesondere Ammoniak und Methanol als Bunkerstoffe der Zukunft für die Handelsschifffahrt gelten.

Aufgrund ihrer zukünftig zu erwartender Bedeutung sowohl für die Schifffahrt als auch für viele weitere Sektoren wird im Folgenden die Bedeutung der Seetransporte von Ammoniak und Methanol für die Schifffahrt mit Fokus auf der Entwicklung der Schiffsflotte erläutert.

Abbildung 17 stellt die wichtigsten zukünftigen Beschaffungsmärkte für Ammoniak sowie die inhärenten globalen Handelsbeziehungen dar (Stand 2023). Insbesondere Mittel- und Nordeuropa sind als Importeure gekennzeichnet. Wichtige Bezugsquellen sind vor allem die MENA-Region und Australien. Weitere Projektkonkretisierungen und Entwicklungen von Handelsbeziehungen in den nächsten Jahren befinden sich vielerorts in Planung.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Die Darstellung verdeutlicht, dass Ammoniak Gas Carrier häufig weite Strecken zurücklegen. Um dennoch ausreichende Mengen für den Import bereitstellen zu können und die Transportkosten gering zu halten, ist der Einsatz von großen Schiffen attraktiv (LGC, VLGC). Es ist daher mit einem Wachstum der LGC/VLGC-Tankerflotte zu rechnen.

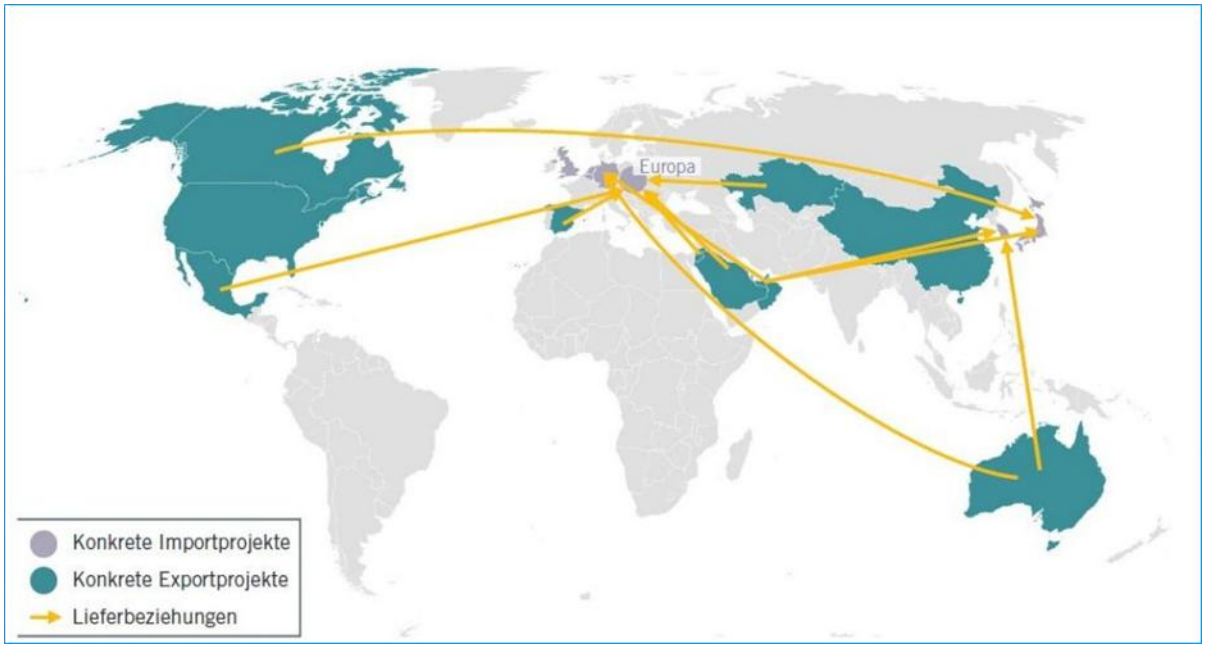

Abbildung 17: Import- und Exportländer mit konkreten Projekten und Handelsbeziehungen mit blauem und grünem Ammoniak (Stand Dezember 2023), [76]

Die prognostizierte Marktgröße für Ammoniak liegt 2050 laut einer Studie der TÜV Nord Group (2023) bei ca. 600 Mio. t/a [76]. Dies liegt in der Range einer Vielzahl weiterer Analysen (siehe z. B. auch Prognosen von Standard & Poor's (S&P) Global oder das Sustainable Development Scenario der International Energy Agency [IEA]). Für das Jahr 2024 wird die Marktgröße mit ca. 190 Mio. t/a angegeben [77]. Ein Großteil des erwarteten Marktwachstums entfällt voraussichtlich auf die Produktion von grünem Ammoniak.

Auch für den Methanolmarkt ist eine Steigerung der globalen Nachfrage und damit einhergehende Erhöhung der Im- und Exportbewegungen zu erwarten. Zwar ist grünes Methanol in der Synthese aufwendiger und damit auch kostenintensiver als die Synthese von grünem Ammoniak, es ist aufgrund seiner geringeren Anforderungen an Lagerung und Handling für einige Einsatzzwecke, wie etwa als alternativer Kraftstoff, dennoch sehr attraktiv.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Als derzeitige jährliche globale Produktionskapazität von Methanol werden vom Methanol Institute 120 Mio. t (hauptsächlich graues Methanol) bei einer globalen Nachfrage von ca. 100 Mio. t angegeben. Das Institut gibt für das Jahr 2050 eine mögliche globale Produktionskapazität von grünem Methanol von 250 Mio. t an [78]. Das produktionsseitige Marktwachstum wird demzufolge auch für Methanol zu einem deutlich gesteigerten Bedarf an Methanol-Seetransporten führen.

Rund ein Drittel des produzierten Methanols wird über die Meere transportiert, was derzeit ungefähr 40 Mio. t pro Jahr entspricht. Der größere Teil wird nahe den Produktionsstätten abgenommen.

Als Reaktion auf die zunehmende Bedeutung grünen Methanols entstehen global viele Erzeugungsprojekte für Bio-, E- oder Low-carbon Methanol. In Europa sind zwar viele kleinvolumige Projekte zu verorten, die großen Produzenten werden sich aber in China, Indien sowie Nord- und Südamerika befinden, sodass gerade aus diesen Regionen Exportbewegungen auf dem Seeweg entstehen werden.

6.2 Ammoniakflotte

Im Allgemeinen wird Ammoniak meist mit drei verschiedenen Gas Carrier-Typen transportiert, die sich bezüglich der installierten Speichertechnologie an Bord unterscheiden:

1. Kalt verflüssigt/kryogen: typischerweise bei -50°C und nahe des Umgebungsdrucks
2. Druck verflüssigt: typischerweise mit 17 bar, was dem Dampfdruck von Ammoniak bei etwa 45°C entspricht
3. Kombination beider: typischerweise bei -10°C und 4 - 8 bar Druck

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Bislang haben sich fünf verschiedene Schiffsgrößensegmente für den Transport (verflüssigter) Gase etabliert, die über die zugehörige Ladetankkapazität definiert werden:

SGC (Small Gas Carrier)	< 15.000 m^3
Handy Size	: 15.000 – 29.999 m^3
MGC (Medium Gas Carrier)	: 30.000 – 49.999 m^3
LGC (Large Gas Carrier)	: 50.000 – 69.999 m^3
VLGC (Very Large Gas Carrier)	> 69.999 m^3

Im Segment der SGC dominiert das Drucktanksystem. Die Kombination aus erhöhtem Druck und niedriger Temperatur wird überwiegend für Schiffe des Größensegments Handy Size verwendet. Nahezu alle Ammoniaktransportschiffe ab dem Segment MGC aufwärts sind mit einem vollgekühlten Ladetanksystem ausgestattet [16].

Insbesondere Schiffe des Segments LGC aufwärts sind von besonderem Interesse für den globalen Transport großer Mengen alternativer Energieträger. So wurden seit Mitte 2023 mehr als 50 Very Large Ammonia Carrier (VLACs) bestellt [17]. Die Gas-Carrier sind i. d. R. nicht als spezielle Ammoniak-Transportschiffe im Einsatz, sondern auch für den Transport weiterer, physikalisch grundsätzlich ähnlicher Chemikalien ausgerüstet und zertifiziert. Das Transportportfolio der Schiffe umfasst z. B. oft auch Ethylen und/oder Ethan, Butan, Propan, Propylen usw. Fast alle Ammoniak Carrier sind daher als LPG Carrier deklariert und zum Teil mit einer Eignungsnotiz für den Transport von Ammoniak versehen.

Die Kosten für Schiffsneubauten sind in den letzten Jahren stark gestiegen; gleiches zeichnet sich für die Ammoniaknachfrage ab. Entsprechend fällt der zusätzliche Finanzaufwand, der zur Ausrüstung eines LPG-Tankers für eine Ammoniakeignung nötig ist, im Kontext des Gesamtinvestments prozentual geringer aus und nimmt an Attraktivität zu. So kostet laut DNV der Bau eines 93.000 m3 LPG Carriers im Jahr 2024 rund 125 Mio. USD und die Umrüstung dieser Schiffe für den Transport von Ammoniak rund 1,5 Mio. USD, was ca. 1 % finanziellen Mehraufwand bedeutet. Es ist zu berücksichtigen, dass die Gas Carrier dennoch vornehmlich für den Transport von LPG optimiert sind. Werden sie zum Ammoniaktransport eingesetzt, ist u. a. mit geringeren Befülllimits der Ladetanks zu rechnen. Dieser Trend könnte sich ob der Ammoniakbedarfsprognosen in den nächsten Jahrzehnten umdrehen, was eine zunehmende Marktdurchdringung von für den

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Ammoniaktransport optimierten Gas-Carriers (mit LPG-Eignung) zur Folge haben würde [17].

Derzeit sind in der Welthandelsflotte ca. 1.680 LPG Carrier ab 5.000 GT registriert, von denen in der Datenbank von Clarksons Research lediglich 517 LPG Carrier mit einer Eignung für den Transport von Ammoniak versehen sind (Stand 20.11.24) [15]. Es ist davon auszugehen, dass jedoch ein weitaus größerer Teil der Flotte über die entsprechende Eignung verfügt, da die Erfassung solcher Zusatzdaten in den Datenbanken erfahrungsgemäß unvollständig erfolgt.

Da die nachstehende Flottenanalyse insbesondere auf Größenentwicklungen der Tanker und Bauregionen fokussiert, die sich für reine LPG Carrier und LPG Carrier mit Ammoniakeignung gleich verhalten sollten, wird die gesamte LPG-Tankerflotte in der Analyse berücksichtigt.

Die Größenentwicklung der LPG-Tankerflotte zeigt insbesondere seit 1990 einen starken Anstieg der durchschnittlichen Deadweight Tonnage (dwt) der gebauten Schiffe. Bereits um 1990 erreichten einzelne Schiffe eine dwt von über 60.000. Die seit 2020 zunehmende Agglomeration von Neubauten in diesem dwt-Bereich sowie die insgesamt steigende durchschnittliche dwt deuten auf einen starken Anstieg der Schiffsgrößen und insbesondere der Tankvolumina an Bord in den nächsten 25 Jahren hin. Schiffsneubauten mit einer Größe von mehr als 100.000 dwt sind 2050 nicht unwahrscheinlich.

Aktuell wird ein Großteil des produzierten Ammoniaks unmittelbar vor Ort weiterverarbeitet und z. B. zur Produktion von Düngern verwendet [80]. Mit einer zunehmenden Nachfrage von Ammoniak als grünem Energieträger geht ein Anstieg des am Markt gehandelten und global transportierten Ammoniaks einher. Entsprechend wird trotz steigender Transportkapazität der eingesetzten Schiffe ein markantes Flottenwachstum nötig sein, um den globalen Bedarf an Ammoniaktransporten auf dem Seeweg abdecken zu können.

Da weder klar abgegrenzt werden kann, wie viele Schiffe der LPG-Flotte regelmäßig für den Transport von Ammoniak eingesetzt werden und welche Mengen des Ammoniaks genau per Schiff transportiert werden, ist es nicht möglich aufgrund der aktuellen Transporte und

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Flotte abzuleiten, welcher Flottenzuwachs zukünftig nötig sein wird, um der steigenden Nachfrage gerecht zu werden.

Einigen Annahmen und Daten folgend, wie etwa

- Nur ein geringer Teil des produzierten Ammoniaks wird heute per Schiff transportiert (Annahme: 50 Mio. t/a)
- Bis 2050 wird die globale Nachfrage nach Ammoniak um 400 Mio. t/a steigen, wovon aufgrund neuer Einsatzgebiete ein deutlich größerer Anteil verschifft wird (Annahme: 75 % * 300 Mio. t/a)
- Um ein Schiff dauerhaft für den Transport von Ammoniak zu nutzen, werden zukünftig zunehmend explizite Ammoniaktanker gebaut
- Die durchschnittliche dwt der LPG-Tanker mit Ammoniakeignung beträgt aktuell rund 33.000 bei einer durchschnittlichen Ladetankkapazität von ca. 29.000 t
- Alle derzeit in der Flotte registrierten Tanker mit Ammoniakeignung müssen bis 2050 altersbedingt ausgetauscht werden.
- Bis 2050 werden Ammoniak-Tanker hauptsächlich im Bereich der VLGC bewegen und eine durchschnittliche Größe von 70.000 dwt bei einer Ladetankkapazität von 65.000 t zu verorten sein.
- Die durchschnittliche Reisezeit der Ammoniaktransporte per See beträgt 15 Tage.

können Überlegungen zu der Anzahl der benötigten Schiffe und Werftkapazitäten angenommen werden. Für den Transport der angenommenen Ammoniakmenge werden beim Einsatz der aktuell durchschnittlichen Schiffsgröße 115 Schiffe benötigt. Für den Transport der in 2050 angenommenen Ammoniakmenge werden ca. 310 Schiffe mit 70.000 dwt benötigt, was einer Belegung von ungefähr 19 Mio. CGT Werftkapazitäten entspricht (bei linearer Übertragung des durchschnittlichen Verhältnisses dwt - CGT der aktuellen Flotte).

Gemessen an den derzeit verfügbaren globalen Werftkapazitäten und dem betrachteten Zeitraum erscheint die Zahl gering, es handelt sich jedoch um Kapazitäten, die zusätzlich zum Austausch der aktuellen Welthandelsflotte aufgrund der steigenden Nachfrage nötig werden. Um das global gehandelte Ammoniak von den großen Importterminals weiter zu

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

distribuieren, werden neben den großen Tankern für die Überseetransporte auch kleinere Einheiten benötigt.

Bei den genannten Zahlen handelt es sich um eine indikative Schätzung auf Basis der getroffenen Annahmen und Entwicklungen der letzten Jahre. Es ist ratsam, derartige Annahmen in den kommenden Jahren iterativ zu überprüfen und entsprechend aktueller Entwicklungen anzupassen.

Um das benötigte Wachstum der Ammoniaktankerflotte abbilden zu können, sollten frühzeitig entsprechende Werftkapazitäten aufgebaut und gesichert werden. Es ist naheliegend hierfür Standorte in Erwägung zu ziehen, die routiniert im Bau von Gas Carriern sind und über ausreichend große Bauplätze verfügen. Als Orientierung dient der Bau von LPG Carriern.

In den Jahren 2020 bis 2024 wurden global LPG Carrier mit einer jährlich CGT zwischen 86.000 und 6,1 Mio. durch Werften ausgeliefert. Die Schwankung der Ordern ist daher als sehr hoch zu bewerten. Im Orderbuch sind für das Jahr 2026 bereits 1,2 Mio. CGT und für 2027 2,8 Mio. CGT bestellt, was auf eine hoch bleibende bzw. steigende Nachfrage hinweist.

Neubauten von LPG Carrier ab 5.000 GT wurden seit 2005 vorzugsweise bei südkoreanischen Werften in Auftrag gegeben (7,4 Mio. CGT), gefolgt von China (3,8 Mio. CGT) und Japan (0,6 Mio. CGT). Für in anderen Ländern beheimatete Werften ist nahezu kein Marktanteil zu verzeichnen. Die führenden Bauwerften des Segments gemessen in CGT seit 2005 sind Hyundai Mipo und Hyundai HI (Ulsan) aus Südkorea sowie Jiangnan Shipyard aus China (siehe Abbildung 18).

Die derzeit aktive Ammoniaktankerflotte ist insbesondere für den Transport von Ammoniak für die Agrarindustrie eingechartert. Es ist darüber hinaus kaum mit in der derzeitigen Flotte verfügbaren Kapazitäten für den zusätzlichen Transport von Ammoniak als Energieträger zu rechnen.

6.3 Methanolflotte

Methanol ist bei Umgebungsdruck und Temperatur flüssig und ähnelt in diesen Eigenschaften konventionellen Kraftstoffen. Es ist daher naheliegend, eine Nachnutzung bestehender Produkten- und Rohöltanker für den Transport von Methanol zu überprüfen.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Methanol ist als Gefahrgut der Klasse 3, entzündbare flüssige Stoffe gelistet und bedarf bei Lagerung, Transport und Nutzung regulatorisch festgelegter Sicherheitsanforderungen, die u. a. in IMO-Regularien verankert sind. Für die Beförderung einer bestimmten Chemikalie muss der Reeder prüfen, ob diese Ladung den Fähigkeiten des Tankschiffs entspricht [82]. Methanol ist bei Umgebungsdruck und Temperatur flüssig und ähnelt in diesen Eigenschaften konventionellen Kraftstoffen. Es ist daher naheliegend, eine Nachnutzung bestehender Produkten- und Rohöltanker für den Transport von Methanol zu überprüfen.

Methanol ist als Gefahrgut der Klasse 3, entzündbare flüssige Stoffe gelistet und bedarf bei Lagerung, Transport und Nutzung regulatorisch festgelegter Sicherheitsanforderungen, die u. a. in IMO-Regularien verankert sind. Für die Beförderung einer bestimmten Chemikalie muss der Reeder prüfen, ob diese Ladung den Fähigkeiten des Tankschiffs entspricht [82].

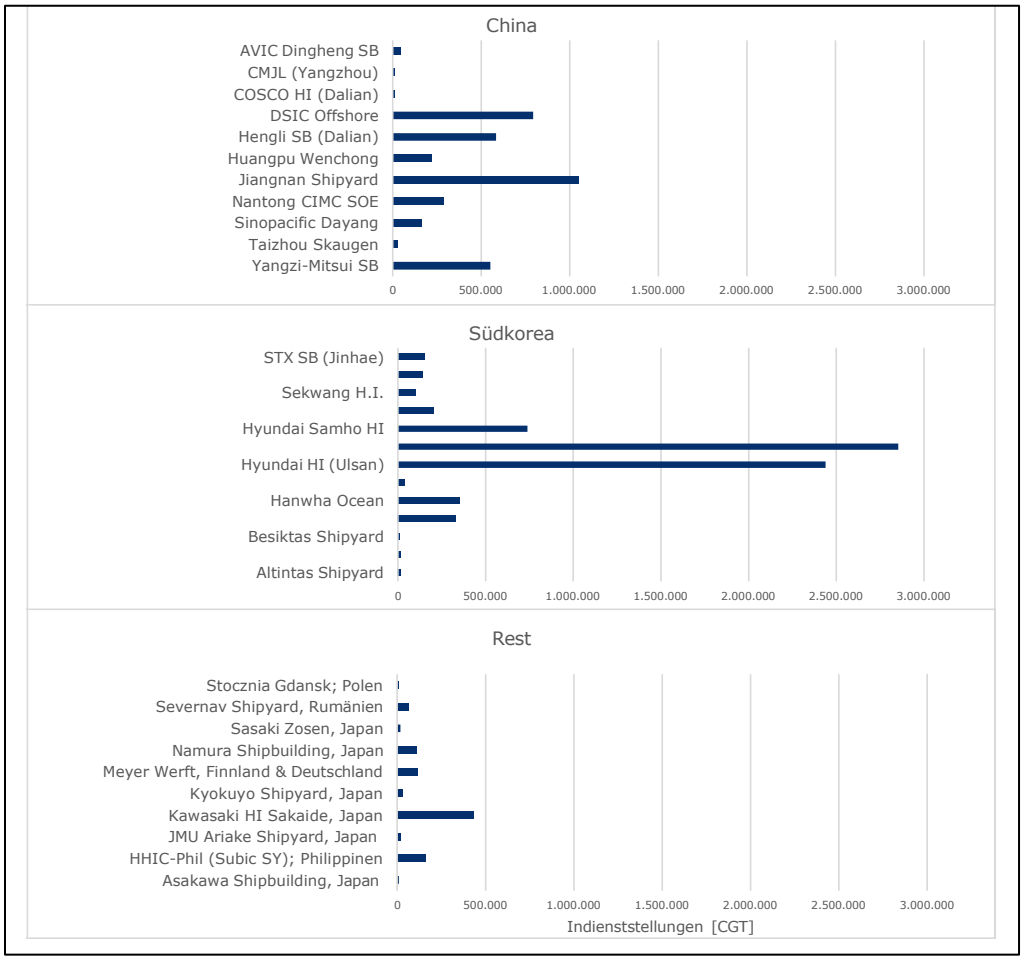

Abbildung 18: Hauptbauwerften Ammoniaktanker seit 2005 (inkl. Orderbuch) [CGT][11]

[11] Basierend auf Daten der Schiffsdatenbank *Clarksons Research*, Stand 17.10.2024.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Da Chemikalientanker i. d. R. für bestimmte Chemikalien (-gruppen) ausgelegt werden, wird die Größe der benötigten Schiffe neben dem avisierten Fahrtgebiet auch durch den jeweiligen Markt und die Eigenschaften der Chemikalien bestimmt. Die hohe Varianz in den georderten Schiffsgrößen spiegelt die Vielfalt jener Chemikalien wider. Auch die Komplexität des verbauten Tanksystems sowie der Schiffsausrüstung, insbesondere der Sicherheitsausrüstung, variiert deutlich je nachdem für welche Chemikalien (-gruppen) ein Schiff gebaut wird

Die registrierte Flotte der Chemikalientanker ist seit 1940 stark gewachsen. Sie beläuft sich aktuell für Schiffe ab 5.000 GT auf ungefähr 2.660 Schiffe. Neben einem Anstieg an Indienststellungen von Schiffen wurde seit 1990 ein deutlicher Anstieg der maximalen dwt der georderten Schiffe verzeichnet. Dabei wurden vereinzelt Werte von über 70.000 dwt erreicht. Dennoch wird weiterhin auch eine Vielzahl kleinerer Schiffe geordert. Für den Überseetransport von Methanol werden meist Schiffe zwischen 25.000 und 45.000 dwt (s. g. Medium Range (MR)- Tanker) eingesetzt.[12] Welche der Chemikalientanker für den Transport von Methanol geeignet sind, ist den öffentlich verfügbaren Datenbanken nicht zu entnehmen. Auch Reedereien, die unter anderem Methanol transportieren, geben meist nicht an, welche Schiffe ihrer Flotte dafür zum Einsatz kommen.

Da die aktuell für den Einsatz von Methanol eingesetzte Anzahl an Schiffen nicht bekannt ist, können Aussagen zur Flottengröße und deren Entwicklung auf Basis von Bestandsdaten nicht getroffen werden. Unter ähnlichen Annahmen wie bereits für die Ammoniakflotte erfolgt, wird davon ausgegangen, dass zukünftig ein höherer Anteil des global produzierten Methanols per Seeschiff transportiert wird. Sollten von den prognostizierten Produktionsmengen im Jahr 2050 von 150 Mio. t Methanol 75 % über den Seeweg transportiert werden, entspräche dies ca.

112 Mio. t. Bei einer durchschnittlichen Schiffsgröße von 45.000 dwt und einer Ladetankkapazität von 40.000 t wären ungefähr 185 Schiffe für den Methanoltransport nötig. Werftkapazitäten von bis zu 6,5 Mio. CGT würden durch den Bau dieser Schiffe bis 2050 belegt. Die am stärksten auf dem Markt vertretene Bauregion für Chemikalientanker seit 2005 ist China (12,4 Mio. CGT), gefolgt von Japan (10,4 Mio. CGT) und Südkorea (6,7 Mio. CGT), aber auch in der Türkei gebaute Chemikalientanker wurden in Dienst gestellt.

[12] Vgl. z. B. Flotte *Waterfront Shipping Limited,* Reederei mit einer global größten Methanoltankerflotten.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

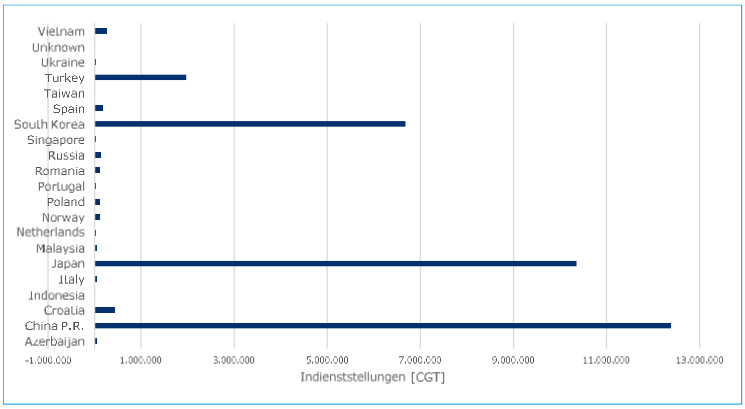

Abbildung 19: Bauregionen Chemikalientanker seit 2005 (inkl. Orderbuch) je Nation [CGT][13]

Da die Flotte der Chemikalientanker stark abhängig von konkreten Bedarfen und für sehr spezifische Einsatzgebiete gebaut und betrieben wird, werden für den zukünftig stark steigenden Seehandel von Methanol zusätzliche Flottenkapazitäten benötigt. Im

Gegensatz zum aktuellen Markt, wird aufgrund der neuen Einsatzmöglichkeiten als Kraftstoff und Energieträger ein deutlich größerer Teil des grünen Methanols ex- und importiert.

Die Verdopplung der globalen Produktionskapazität bis 2050 bedarf folglich mehr als einer Verdopplung der Transportkapazitäten über See. Dafür kann neben Schiffsneubauten auch der Umbau und die Umwidmung möglicher freiwerdender Kapazitäten aus der Produkten- bzw. Rohöltankerflotte geprüft werden. Zudem ist zu berücksichtigen, dass für die Produktion von Methanol und weiterer E-Fuels große Mengen CO_2 zu den Produktionsstätten transportiert werden müssen. Neben Exportbewegungen sind an den Herstellungsorten daher auch vorgelagerte Importtransporte per Tanker abzusehen.

Größere Umbaumaßnahmen, zu denen - je nach bereits vorhandener Ausstattung des Schiffs - die Umwidmung von Produkten- oder Rohöltankern zu Methanoltankern gehören, sind nur zu empfehlen, wenn das Schiff ein Alter von ca. 10 Jahren noch nicht überschritten hat und die Abschreibung des Schiffes noch nicht beendet ist.

[13] Basierend auf Daten der Schiffsdatenbank *Clarksons Research*, Stand 17.10.2024.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Die Verteilung des Flottenalters der Produkten- und Rohöltanker zeigt, dass der größte Teil beider Flotten zwischen 7 und 18 Jahren alt ist. Im Schnitt bewegt sich das Alter der Flotten zwischen 13 und 14 Jahren [15]. Aufgrund der Alterststruktur sind beide Flotten damit zum größeren Teil nicht für größere Umbaumaßnahmen und Investments geeignet.

Sollte ein Schiff aufgrund seines Alters und Zustandes für einen Umbau geeignet sein, muss darüber hinaus geprüft werden, in welchem Umfang Umbaumaßnahmen durchgeführt werden müssen, um den im IBC Code geforderten Anforderungen für Methanol gerecht zu werden und eine Zulassung durch eine Klasse für den Transport von Methanol zu erhalten.

Methanol darf laut IMO in Tankern des Typs 3 transportiert werden. Dieser Tankertyp ist für den Transport von Produkten bestimmt, die einen mäßigen Grad an Containment erfordern. Es gibt keine Befülllimits für Chemikalien, die dem Schiffstyp 3 zugeordnet sind. Chemikalientanker bestehen i. d. R. aus verschiedenen Tanks oder Tanksegmenten, die mit speziellen Beschichtungen wie Phenol-Epoxid, Edelstahl oder Zinkfarbe versehen sind. Die Art der Beschichtung der Tanks hängt von der Ladung ab. Methanol wird in Edelstahltanks

oder Strukturtanks mit Zinksilikat-Beschichtung transportiert. Methanoltanker müssen zudem während des Be- und Entladens Inertgas verwenden, um ein explosives Luftgemisch in den Ladetanks zu verhindern. Heute wird empfohlen, dass alle neu gebauten Methanoltanker mit einer N_2- Inertisierungsanlage ausgestattet werden sollten [82].

Rohöltanker sind Spezialtanker, die für den Transport von unraffiniertem Öl konzipiert sind. Sie werden nach ihrer Größe kategorisiert, was sich direkt auf ihre Handelsrouten, Betriebskosten und Lade-/Löschkapazitäten auswirkt. Die Mehrzahl der Rohöltanker verfügt über mehr als 60.000 dwt. Die Ladetanks der Rohöltanker bestehen aus beschichtetem Stahl, um Korrosion zu vermeiden.

Produktentanker sind Spezialtankschiffe für den Transport von raffinierten Erdölprodukten wie Benzin, Diesel, Kerosin und Schmierölen. Produktentanker sind meist deutlich kleiner als Rohöltanker. Insbesondere Medium Range (MR) Produktentanker sind häufig als IMO-Schiffstyp 2 oder 3 klassifiziert. Die Tanks der MR-Produktentanker sind häufig mit Innenbeschichtungen versehen, die das Kontaminationsrisiko beim Wechsel zwischen verschiedenen Produkten minimieren und den Transport von empfindlichen Chemikalien erlauben. Noch kleinere Produktentanker sind sogar häufig mit Edelstahltanks

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

ausgestattet. Chemikalientanker werden dennoch anders klassifiziert, da sie sich in ihrer Bauweise deutlich von den Produktentankern unterscheiden.

Produktentanker können aber im Gegensatz zu Rohöltankern bereits eine Eignung für den Transport von Methanol aufweisen. Der Umbau von Schiffen ohne Eignung ist als sehr zeit- und kostenaufwendig zu bewerten. Beispielhaft sei hier das Aufbringen der Zinksilikat-Beschichtung auf die Tanks zu nennen. Ein fachgemäßes Aufbringen der Beschichtung erfordert glatte Oberflächen ohne scharfe Kanten. Tanks, die beschichtet werden sollen, sollten daher eine externe Struktur aufweisen und auf Streben etc. im Innenraum verzichten. Zudem müssen die Schiffe mit Intertgassystemen und Ventilationssystemen ausgestattet werden. Das vorhandene Rohrsystem muss ausgetauscht werden, da eine Reinigung extrem aufwendig ist und das Rohrmaterial methanolverträglich sein muss.

Ob tatsächlich Kapazitäten aus der Produkten- und Rohöltankerflotte für den Transport von Methanol genutzt werden können, hängt im Endeffekt maßgeblich von der Entwicklung der Nachfrage nach raffinierten und unraffinierten Ölprodukten ab. Viele jüngste Veröffentlichungen prognostizieren einen bis 2050 nur leicht sinkenden globalen Ölbedarf.[14] Den Prognosen folgend ist die aktuelle Flotte der Produkten- und Rohöltanker daher weiterhin hauptsächlich für den Transport beider Produkte gebunden. Solange die Nachfrage sich nicht deutlich ändern wird, ist ein kosten- und zeitaufwendiger Umbau für den Transport von Methanol nicht wirtschaftlich.

[14] Siehe z. B.: IEA: World Energy Outlook 2023, Zusammenfassung; https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive- summary?language=de.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

6.4 Zwischenfazit

- Die Nachfrage nach Ammoniak und Methanol wird bis 2050 voraussichtlich stark steigen (Verdreifachung, Verdopplung).
- Die Erzeugermärkte werden vornehmlich in Asien, Australien und Amerika zu verorten sein. Daher sind Ex-/Importe per Seeschiff in großem Umfang nötig.
- Die aktuellen Flotten sind für ihre derzeitigen Einsatzzwecke gebunden, Kapazitäten für zusätzliche Transporte sind nicht absehbar.
- LPG-Carrier für Ammoniak werden vornehmlich in Südkorea, gefolgt von China gebaut; Chemikalientanker für Methanol hingegen hauptsächlich in China, gefolgt von Japan.
- Die Altersstruktur der Rohöl- und Produktentankerflotte zeigt eine grundsätzliche Eignung für den Umbau zum Transport von Methanol, jedoch ist insbesondere bei Öltankern davon auszugehen, dass sie die durch den IBC geforderten Bedingungen für den Transport nicht erfüllen. Ein Umbau wäre mit erheblichem Aufwand verbunden. Einige Produktentanker verfügen über die grundsätzlich geforderte Ausstattung und kommen für einen Umbau in Frage.

Mögliche Entwicklungen:

1. Zusätzliche Kapazitäten für den Seetransport von Methanol können in einem begrenzten Umfang durch die Umwidmung oder den Umbau einzelner geeigneter, jüngerer Produktentanker entstehen. Für den Seetransport von Ammoniak zeichnet sich demgegenüber aufgrund der spezifischen Anforderungen an Schiffstyp, Tanktechnik und Flottenbindung überwiegend ein neubaugestützter Flottenaufbau ab.
2. Viele Prognosen weisen jedoch eine nur leicht sinkende Nachfrage nach Ölprodukten bis 2050 aus. Freie Kapazitäten in der Flotte und der Anreiz Umbauten vorzunehmen sind daher unwahrscheinlich.
3. Als plausibler Entwicklungspfad erscheint daher bis 2050 ein überwiegend durch Schiffsneubauten getragener Kapazitätsaufbau, ergänzt um einzelne Umwidmungen geeigneter Produktentanker im Methanolsegment.
4. Für den Transport von Ammoniak und Methanol könnten dadurch in den nächsten 25 Jahren insgesamt rund 20 bis 30 Mio. CGT an zusätzlichen Werftkapazitäten gebunden werden; diese Größenordnung ist ausdrücklich als Annahmen basierte Abschätzung zu verstehen.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

5. Die Konkurrenz um Werftkapazitäten für den Bau von Tankern wird deutlich zunehmen. Neben dem Bau von Ammoniak- und Methanol-Tankern wird sie auch durch die Nachfrage nach CO_2- und weiteren Tankern zum Transport von alternativen Energieträgern und E-Fuels erhöht.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

7 Fazit und Schlussfolgerungen

7.1 Fazit

Die vorliegenden Daten zu zurückliegenden und noch unter Order befindlichen Schiffsneubauten zeigen, dass alle Massenmärkte des Schiffbaus im letzten Jahrzehnt nahezu in Gänze in den asiatischen Markt, vor allem nach China und Südkorea, abgewandert sind. Europa und somit auch Deutschland können sich nur noch im Bau von Kreuzfahrtschiffen, Yachten, Spezial- und Behördenschiffen sowie durch die ansässige Zulieferindustrie behaupten. Von den im globalen Orderbuch vorliegenden Aufträgen entfallen lediglich 7 % auf Europa.

Trotz eines aufgrund der zunehmend strengeren Regulatorik für die zulässigen THG-Emissionen von Schiffen zu erwartenden Peaks in der Nachfrage nach Schiffsneubauten und damit einhergehenden Engpässen der verfügbaren Werftkapazitäten kann nicht davon ausgegangen werden, dass der europäische Schiffbau die verlorengegangenen Märkte zurückgewinnen wird. Vielmehr planen die größten Schiffbaunationen ihre Kapazitäten weiter auszubauen sowie durch strategische Maßnahmen den Bau von Schiffen mit einer Netto-Null-THG-Emission zu unterstützen. Für den europäischen und deutschen Schiffbausektor ergeben sich dennoch durch den anstehenden Transformationsprozess der Schifffahrt mögliche Tätigkeitsfelder, um den Markt wieder zu stärken bzw. keine weitere Marktanteile zu verlieren.

7.2 Zentrale Schlussfolgerungen

1. Die Studie weist auf absehbare Engpässe bei den globalen Werftkapazitäten hin. Für Marktakteure in Europa gewinnt damit die frühzeitige Verfügbarkeit von Baukapazitäten an Bedeutung; hierbei sind die langen Vorlaufzeiten von Aufträgen zu berücksichtigen.
2. Deutschland und Europa haben sich in den vergangenen Jahrzehnten insbesondere auf Spezialsegmente wie Yachten, den grauen Schiffbau und Kreuzfahrtschiffe sowie auf Technologieentwicklung konzentriert. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse, dass auch in anderen produktionsnahen Bereichen mit vergleichbaren Rahmenbedingungen — etwa Küstenmotorschiffen, Fähren, Binnenschiffen,

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Conversion und Retrofit — Anknüpfungspunkte bestehen, um vorhandenes Know-how industriell zu nutzen. Besondere Bedeutung kommt dabei der Projektierung umweltfreundlicher Schiffe zu.

3. Für den europäischen Schiffbau kommt den bereits etablierten Segmenten — insbesondere Kreuzfahrtschiffen, Yachten, Behördenschiffen und Teilen der Meerestechnik — weiterhin eine zentrale Rolle zu. Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass diese Marktsegmente für die künftige Positionierung Europas von besonderer Relevanz sind.
4. Darüber hinaus unterstreichen die Ergebnisse die Bedeutung der mit den in Europa gebauten Schiffssegmenten verbundenen Wertschöpfungsketten für den Erhalt industrieller Wertschöpfungstiefe im europäischen Raum.
5. Die Nutzung alternativer Kraftstoffe und die Steigerung der Energieeffizienz bei Neubauten erfordern angepasste Schiffsdesigns. Daraus ergibt sich insbesondere im Bereich von Design, Projektierung und der frühzeitigen Berücksichtigung späterer Anforderungen für die Nutzung eines alternativen Kraftstoffes (Conversion) ein relevantes Wettbewerbsfeld.
6. Im Bereich der Ready-Notationen zeigt sich ein Bedarf an höherer Transparenz und Vergleichbarkeit. Von besonderer Bedeutung ist dabei die nachvollziehbare Darstellung, welche technischen und planerischen Inhalte jeweils umfasst sind, welcher Aufwand mit einer späteren Conversion verbunden ist und in welchem Zeitraum des Schiffslebenszyklus diese typischerweise vorgesehen wird.
7. Die Bereitschaft von Schiffseignern, in belastbar vorbereitete Ready-Notationen und in einen konsequenten späteren Umbau für den Einsatz alternativer Kraftstoffe zu investieren, stellt einen wesentlichen Einflussfaktor für die tatsächliche Wirksamkeit dieses Instruments dar.
8. Auch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen beeinflussen die Attraktivität von Schiffsneubauten und Umbauten auf europäischen Werften. Dies betrifft sowohl die Entwicklung des Werftoutputs im Kontext der grünen Schifffahrt als auch die Resilienz der maritimen Wirtschaft in Europa.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

9. Darüber hinaus können auch derzeit nicht in Betrieb befindliche Werftstandorte in Europa und Deutschland bei steigender Nachfrage nach Retrofit- und Conversionleistungen zusätzliche Marktpotenziale entwickeln.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Literaturverzeichnis

[01] **United Nations (UN):** REVIEW OF MARITIME TRANSPORT, 2023; veröffentlicht 2023.

https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023_en.pdf

[02] **International Maritime Organization (IMO):** Revised GHG reduction strategy for global shipping adopted; veröffentlicht Juli 2023.

https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/Revised-GHG-reduction-strategy-for-global-shipping-adopted-.aspx

[03] **Det Norske Veritas (DNV):** FuelEU Maritime; zuletzt abgerufen Oktober 2024.

https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/fueleu-maritime/

[04] **Danish Ship Finance:** Shipping Market Review; veröffentlicht Mai 2024.

[05] **Lloyd's Register (LR):** Engine Retrofit Report 2023: Applying alternative fuels to existing ships; veröffentlicht Oktober 2023.

[06] **SEA Europe:** 2023 Shipbuilding Market Analysis; veröffentlicht April 2023.

https://blue-economy-observatory.ec.europa.eu/publications/green-shipbuilding-and-blue-economy_en

[07] **Kuehne+Nagel:** China sets out strategy to dominate green shipbuilding; veröffentlicht Januar 2024.

https://mykn.kuehne-nagel.com/news/article/china-sets-out-strategy-to-dominate-green-shi-05-Jan-2024

[08] **The State Council The People's Republic of China:** China gets most orders for green ships; veröffentlicht Oktober 2024.

https://english.www.gov.cn/news/202410/11/content_WS670897a3c6d0868f4e8ebb19.html

[09] **Hans Böckler Stiftung:** Branchenmonitor Schiffbau (ohne Boots- und Yachtbau); veröffentlicht Dezember 2020.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

https://kueste.igmetall.de/dam/jcr:f8a81b9c-37a3-4645-98ae-8c3cb52d3a12/DMASSET_7707.pdf

[10] **Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz der Bundesrepublik Deutschland (BMWK):** Maritime Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland; veröffentlicht Mai 2021.

https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Maritime%20Wirtschaft/Maritime-Wertsch%C3%B6pfung-Studie-Endbericht.pdf?blob=publicationFile&v=8

[11] **Norddeutscher Rundfunk (NDR):** Nach Insolvenz der Fosen Werft: Unruhe in Stralsund und Greifswald; zuletzt abgerufen September 2024.

https://www.ndr.de/nachrichten/mecklenburg-vorpommern/Nach-Insolvenz-der-Fosen-Werft-Unruhe-in-Stralsund-und-Greifswald,fosen112.html

[12] **Hongtae Kim:** Applying digital manufacturing technology to ship production and the maritime environment; veröffentlicht 2002.

https://www.researchgate.net/publication/238325620_Applying_digital_manufacturing_technology_to_ship_production_and_the_maritime_environment

[13] **Organization for Economic Co-operation and Development (OECD):** Analysis of the maritime equipment industry and its challenges; veröffentlicht Januar 2023.

https://one.oecd.org/document/C/WP6(2022)15/FINAL/en/pdf

[14] **Bureau Veritas (BV):** Marine & Offshore, Reduce, Reuse, Retrofit: Futureproofing today's fleet;

zuletzt abgerufen Oktober 2024.

https://marine-offshore.bureauveritas.com/insight/business-insights/reduce-reuse-retrofit-futureproofing-todays-fleets

[15] **Clarksons Research:** World Fleet Register; zuletzt abgerufen November 2024.

https://www.clarksons.net/wfr/

[16] **Nippon Yusen Kabushiki Kaisha (NYK) Line:** Issues in Ammonia Supply Chain from the Perspective of the Shipping Industry; veröffentlicht Oktober 2021.

https://www.icfa-conference.org/archive/2021/doc/5_nihonyuusei.pdf

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

[17] **DNV:** Investing in future ammonia markets; veröffentlicht Oktober 2024.

https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/investing-in-future-ammonia-markets/

[18] **IMO:** Fourth IMO Greenhouse Gas Study; veröffentlicht 2020.

https://maritimecyprus.com/wp-content/uploads/2021/03/4th-IMO-GHG-Study-2020.pdf

[19] **Schmidt et al.:** International Maritime Decarbonisation Transition; veröffentlicht 2022.

[20] **DNV:** Energy Transition Outlook 2024 - Maritime Forecast to 2050; veröffentlicht 2024.

[21] **Climate Action Tracker:** International Shipping; zuletzt abgerufen September 2024.

https://climateactiontracker.org/sectors/shipping/

[22] **IMO:** IMO on track to adopt mid-term measures to cut emissions from ships; zuletzt abgerufen September 2024.

https://www.imo.org/en/MediaCentre/Pages/WhatsNew-2055.aspx

[23] **ClassNK:** ClassNK Alternative Fuel Insight; veröffentlicht 2024.

https://download.classnk.or.jp/documents/ClassNKAlternativeFuelsInsight_e.pdf

[24] **American Bureau of Shipping (ABS):** Beyond the Horizon - Carbon Neutral Fuel Pathways and Transformational Technologies; veröffentlicht 2024.

https://ww2.eagle.org/en/publication-flip/outlook-2024.html

[25] **A.P. Moller - Maersk:** Maersk Signs Long-Term Methanol Sourcing Deal; veröffentlicht 2024.

https://www.maersk.com/news/articles/2024/10/30/maersk-signs-long-term-methanol-sourcing-deal

[26] **A.P. Moller - Maersk:** EU Commission President Names Landmark Methanol Vessel "Laura Maersk"; veröffentlicht 2023.

https://www.maersk.com/news/articles/2023/09/14/eu-commission-president-names-landmark-methanol-vessel-as- laura-maersk

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Koordiniert durch: NOW

Projektträger: VDI VDE IT FNR

[27] **Scandlines:** Eine Flotte von Hybridfähren; zuletzt abgerufen Dezember 2024.

https://www.scandlines.de/uber-uns/unsere-grune-agenda/eine-flotte-von-hybridfahren/

[28] **IMO:** EEXI and CII - ship carbon intensity and rating system; zuletzt abgerufen September 2024.

https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEXI-CII-FAQ.aspx

[29] **IMO:** IMO's work to cut GHG emissions from ships; zuletzt abgerufen September 2024.

https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx

[30] **IMO:** Improving the energy efficiency of ships; zuletzt abgerufen Oktober 2024.

https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Improving%20the%20energy%20efficiency%20of%20ships.aspx

[31] **Sustainable Ships:** EEDI; zuletzt abgerufen Oktober 2024.

https://www.sustainable-ships.org/rules-regulations/eedi

[32] **Deutsche Flagge:** Energieeffizienz; zuletzt abgerufen Oktober 2024.

https://www.deutsche-flagge.de/de/umweltschutz/luft-energieeffizienz/energieeffizienz/energieeffizienz

[33] **IMO:** 2022 guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships; veröffentlicht 2022.

https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/annex/RESOLUTION%20MEPC.364(79).pdf

[34] **DNV:** EEXI and CII calculations - DNV's way forward; veröffentlicht 2021.

https://www.dnv.com/maritime/webinars-and-videos/on-demand-webinars/EEXI-and-CII-calculations-DNVs-way-forward/

[35] **IMO:** 2022 guidelines on operational carbon intensity indicators and the calculation methods; veröffentlicht 2022.

https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.352(78).pdf

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

[36] **BIMCO, CLIN, INTERCARGO, InterManager, International Chamber of Shipping, INTERTANKO:** Policy Statement - Carbon Intensity Indicator (CII); veröffentlicht 2024.

https://www.intertanko.com/images/newsdesk/2024/Joint%20CII%20Policy%20Statement.pdf

[37] **Oldendorff Carriers GmbH & Co. KG:** CII is not the answer - What do we do now?; veröffentlicht 2022.

https://www.oldendorff.com/news/imos-cii-regulations

[38] **BV:** Summary Report - Marine environment protection committee - 82nd session; veröffentlicht 2024.

https://cdn1-marine-offshore.bureauveritas.com/sites/g/files/zypfnx136/files/media/document/MEPC%2082_BV%20MO%20Summary.pdf

[39] **LR:** IMO Marine Environment Protection Committee (MEPC 82) Summary Report; veröffentlicht 2024.

https://www.lr.org/en/knowledge/regulatory-updates/imo-meetings-and-future-legislation/mepc-82-summary-report/

[40] **IMO:** Comparative Analysis of candidate mid-term measures; veröffentlicht Mai 2023.

https://www.imo.org/en/MediaCentre/Pages/WhatsNew-1896.aspx

[41] **Rutherford et al.:** Limiting engine power to reduce CO_2 emissions from existing ships; veröffentlicht 2020.

[42] **Mecklenburger Metallguss GmbH:** Retrofitpropeller für die Optimierung ihrer Flotte; zuletzt abgerufen Oktober 2024.

https://mecklenburger-metallguss.com/produkte-services/produkte/redesign

[43] **Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam (SVA):** ESD - Energy Saving Devices; zuletzt abgerufen Oktober 2024.

https://www.sva-potsdam.de/en/energy-saving-devices/

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

[44] **Stefano Gaggero, Mattia Martinelli:** Pre-swirl fins design for improved propulsive performances: application to fast twin-screw passenger ships; veröffentlicht 2022.

[45] **Dipl.-Ing. Friedrich Mewis:** 12 Jahre Becker Mewis Duct; veröffentlicht Oktober 2021.

https://friedrich-mewis.de/publications/all-publications.html?file=files/odd/img/Mewis/Publications/Download%20Publication%20No.%2054.pdf&cid=1373

[46] **Becker Marine Systems:** Becker Twist Rudder; zuletzt abgerufen Oktober 2024.

https://becker-marine-systems.com/de/produkte/manoevriersysteme/becker-twist-rudder

[47] **S. Turkmen et al.:** A New Energy Saving Twin Rudder System - Gate Rudder; veröffentlicht Oktober 2016.

[48] **AkzoNobel:** Optimizing Vessel Performance for Decarbonization Goals - The Role of Tailored Coating Recommendations; veröffentlicht 2024.

https://mmp-mmp-email.s3.eu-west-2.amazonaws.com/AkzoNobel/flipbooks/CU-869439p1g/index.html#p=1

[49] **Nippon Paint Marine:** FASTAR - The Advanced Antifouling; veröffentlicht 2024.

https://www.nipponpaint-marine.com/products/fastar/

[50] **ABS:** Air Lubrication Technology; veröffentlicht 2019.

https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/Air%20Lubrication%20Technology.pdf

[51] **Ruihua Lu, Jonas W. Ringsberg:** Ship energy performance study of three wind-assisted ship propulsion technologies including a parametric study of the Flettner rotor technology; veröffentlicht 2020.

https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/17445302.2019.1612544?needAccess=true

[52] **Universidade de São Paulo**: Energy Efficiency Retrofit Report 2024: Applying Wind-Assisted Propulsion to ships; veröffentlicht 2024.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

[53] **LR:** Fuel for Thought - Methanol; veröffentlicht 2023.

[54] **LR:** Fuel for Thought - Ammonia; veröffentlicht 2024.

[55] **European Commission:** Decarbonising maritime transport – FuelEU Maritime; zuletzt abgerufen November 2024.

https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime_en

[56] **International Energy Agency (IEA):** International Shipping; veröffentlicht Juli 2023.

https://www.iea.org/energy-system/transport/international-shipping#trackin

[57] **Methanol Institute:** Methanol Technical Data Sheet; zuletzt abgerufen November 2024.

https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2016/06/Methanol-Technical-Data-Sheet.pdf

[58] **Kuehne+Nagel:** South Korea unveils $7bn strategy to maintain shipbuilding edge over China; veröffentlicht März 2024.

https://mykn.kuehne-nagel.com/news/article/south-korea-unveils-7bn-strategy-to-maintain-22-Mar-2024#:~:text=The%20ramped-up%20strategy%20comes%20after%20Seoul%20first%20outlined,future%20shipbuilding%20centred%20on%20%E2%8%200%9Ceco%E2%80%9D%20and%20smart%20vessels.

[59] **DNV:** Tanker; Fit for the future; veröffentlicht Februar 2018.

https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Fit-for-the- future/

[60] **Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUV):** Was sind E-Fuels?; abgerufen Oktober 2024.

https://www.bmuv.de/faq/was-sind-e-fuels

[61] **IMO:** Study on the readiness and availability of low- and zero-carbon technology and marine fuels; veröffentlicht 2023.

https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2023/08/Readiness-of-Low-Zero-Carbon-Marine-Fuels-Technology-Full-Report-v1.pdf

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

[62] **ABS:** Beyond the horizon: carbon neutral fuel pathway and transformational technologies; veröffentlicht 2024.

https://ww2.eagle.org/en/interactive/interactive-publications/current/outlook-2024.html

[63] **Europäische Kommission:** Der europäische Grüne Deal; veröffentlicht 2019.

https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de

[64] **IMO:** Marine Environment Protection Committee 81st session (MEPC 81); veröffentlicht 2024.

https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-81.aspx#:~:text=MEPC%2081%20highlights.%20Tackling%20climate%20change%20-%20cutting%20GHG%2.

[65] **ABS:** News Brief MEPC 82; veröffentlicht 2024.

https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/regulatory-news/2024/ABS-Regulatory-News-MEPC-82-Brief.pdf

[66] **IMO:** 2023 IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS, RESOLUTION MEPC.377(80); veröffentlicht 2023.

https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx

[67] **IMO:** IMO's work to cut GHG emissions from ships; zuletzt abgerufen Oktober 2024.

https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-81.aspx#:~:text=MEPC%2081%20highlights.%20Tackling%20climate%20change%20-%20cutting%20GHG%2.

[68] **ABS:** Guide for Gas and other low-flashpoint fuel ready Vessels; zuletzt abgerufen September 2024.

https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2020/09/ABS-gas-and-other-low-flashpoint-fuel-ready-vessels-2020_09.pdf.

[69] **DNV:** Alternative Fuels - Fuel Ready; veröffentlicht Juli 2024.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Koordiniert durch: NOW

Projektträger: VDI VDE IT FNR

Rules for classification: Ships - DNV-RU-SHIP Pt.6 Ch.2 Sec. 8 "Alternative Fuels - Fuel Ready"

[70] **LR:** LR-RU-012 Rules and Regulations for the Classification of Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels - Part A – 2; veröffentlicht Juli 2024.

[71] **LR:** Zero Ready Framework; veröffentlicht 2022.

https://maritime.lr.org/l/941163/2022-11-07/5lmq1/941163/1667866963cDihSJwU/LR_Zero_Ready_Framework_Whitepaper.pdf

[72] **Mærsk Mc-Kinney Møller Center:** Preparing Container Vessels for Conversion to Green Fuels; veröffentlicht September 2022.

https://www.zerocarbonshipping.com/publications/preparing-container-vessels-for-conversion-to-green-fuels

[73] **Scandlines:** Wind im Rotorsegel; zuletzt abgerufen Dezember 2024.

https://www.scandlines.de/uber-uns/unsere-grune-agenda/wind-im-rotorsegel/

[74] **DNV:** MRV – Monitoring, Reporting and Verification (EU and UK); zuletzt abgerufen November 2024.

https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/mrv/

[75] **McKinsey & Company:** Global Energy Perspective 2024, veröffentlicht September 2024.

https://www.mckinsey.com/industries/energy-and-materials/our-insights/global-energy-perspective

[76] **TÜV Nord Group:** Ammoniak als Energieträger für die Energiewende; veröffentlicht Dezember 2023.

https://www.weltenergierat.de/wp-content/uploads/2023/12/Ammoniak-Studie_Weltenergierat-Praesentation-EE-Energy-Engineers-14.12.2023.pdf

[77] **Mordor Intelligence:** Ammoniak-Marktgrößen- und Anteilsanalyse – Wachstumstrends und - prognosen (2024 – 2029); zuletzt abgerufen November 2024.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

https://www.mordorintelligence.com/de/industry-reports/ammonia-market

[78] **Methanol Institute:** Marine Methanol, Future-Proof Shipping Fuel; veröffentlicht 2023.

https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf

[79] **Methanol Institute:** Renewable Methanol; zuletzt abgerufen November 2024.

https://www.methanol.org/renewable/

[80] **Standard & Poor's (S&P) Global:** Ammonia Market to Triple by 2050 with Nearly All Growth Coming from Low- Carbon Supply; zuletzt abgerufen November 2024.

https://press.spglobal.com/2023-07-11-Ammonia-Market-to-Triple-by-2050-with-Nearly-All-Growth-Coming-from-Low-Carbon-Supply

[81] **IMO:** Fuel Consumption (DCS), Fuel Consumption and Carbon Intensity; zuletzt abgerufen November 2024

https://futurefuels.imo.org/home/latest-information/fuel-consumption-dcs/

[82] **Advanced Polymer Coatings:** Methanol Safety: How to Carry Methanol in Cargo Tanks; zuletzt abgerufen Oktober 2024.

https://www.adv-polymer.com/blog/methanol-safety-cargo-tanks

[83] **Green Voyage 2050:** Alternative marine fuels: Regulatory mapping; zuletzt abgerufen November 2024.

https://greenvoyage2050.imo.org/alternative-marine-fuels-regulatory-mapping/

[84] **Der Tägliche Hafenbericht (THB):** Verhaltenes Fazit zum Methanol-Antrieb; veröffentlicht April 2020.

https://www.thb.info/rubriken/umwelt/detail/news/verhaltenes-fazit-zum-methanol-antrieb.html

[85] **Hansa International Maritime Journal:** Methanol – emissionsarm, aber als Kraftstoff zu teuer; zuletzt abgerufen Oktober 2024.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

https://hansa-online.de/2020/04/featured/150448/methanol-emissionsarm-aber-als-kraftstoff-zu-teuer/

[86] **Schiff & Hafen:** „Stena Germanica“ erhält Methanol-Antrieb; zuletzt abgerufen Oktober 2024.

https://www.schiffundhafen.de/nachrichten/schifffahrt/detail/stena-germanica-erhaelt-methanol-antrieb.html

[87] **Hapag-Lloyd:** Weltweit erstes auf LNG umgerüstetes Großcontainerschiff kommt nach Hamburg; veröffentlicht Juli 2021.

https://www.hapag-lloyd.com/de/company/press/releases/2021/06/world-s-first-large-container-ship-converted-to-lng-to-arrive-in.html?msockid=00a5365645366b9705eb2228449a6ad6

[88] **Hapag-Lloyd:** 1.300 Tonnen schwerer LNG-Tank an Bord der “Sajir“ gehievt; veröffentlicht August 2020.

https://www.hapag-lloyd.com/de/company/press/releases/2020/09/1-300-tonne-lng-tank-hoisted-on-board-the--sajir--.html?msockid=00a5365645366b9705eb2228449a6ad6

[89] **Clarkson Research:** Vessel Details Brüssel Express; zuletzt abgerufen November 2024.

https://www.clarksons.net/n/#/portal

[90] **Rostock-Heute:** Scandlines installiert Rotorsegel auf der Hybridfähre „Copenhagen”; veröffentlicht August 2019.

https://www.rostock-heute.de/scandlines-faehre-copenhagen-rotorsegel/108289

[91] **Hapag-Lloyd:** Hapag-Lloyd und Seaspan rüsten fünf Schiffe auf Methanol-Antrieb um; veröffentlicht April 2024.

https://www.hapag-lloyd.com/en/company/press/releases/2024/04/hapag-lloyd-and-seaspan-to-retrofit-five-vessels-to-methanol-pro.html#:~:text=Hapag-%20Lloyd%20and%20Seaspan%20Corporation%20enter%20into%20a%20partnership,to%20dual-

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

fuel%20engines%20capable%20of%20operating%20on%20methanol.?msockid=00a5365645366b9705eb2228449a6ad6

[92] **AXSData:** Build Time for New Vessels Continues Rising; veröffentlicht November 2024.

https://public.axsmarine.com/blog/build-time-for-new-vessels-continues-rising

[93] **Maritime Compass:** China's Rising Shipbuilding Dominance Sparks Global Concerns; veröffentlicht September 2024.

https://maritimecompass.com/2024/09/13/chinas-rising-shipbuilding-dominance-sparks-global-concerns/

[94] **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE):** Siebter Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung und Zukunftsperspektiven der maritimen Wirtschaft in Deutschland; veröffentlicht Juni 2021.

https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Maritime%20Wirtschaft/maritime-wirtschaft- bericht.pdf?blob=publicationFile&v=1

[95] **OECD:** A New Compensated Gross Ton (CGT) System; veröffentlicht Oktober 2006.

https://one.oecd.org/document/C/WP6(2006)7/en/pdf

[96] **LR:** Applying wind-assisted propulsion to ships; veröffentlicht August 2022.

[97] **OECD:** CO_2 emissions from global shipping: A new experimental database; veröffentlicht April 2023. CO_2 emissions from global shipping | OECD

[98] **LR:** The future of maritime fuels; What you need to know; veröffentlicht September 2023.

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

Anhang A – Ready-Notationen der Klassen ABS, DNV & LR

	ABS	**DNV**	**LR**
Klasse-Dokument	Guide for Gas and Other Low-Flashpoint Fuel Ready Vessels	DNV-RU-SHIP Pt.6 Ch.2 Sec.8	LR-RU-012 Pt. A-2
Datum	09.2024	07.2024	07.2024
Gültigkeit	u. A. LNG, LPG, Ethan, Methanol, Ammoniak, Wasserstoff	LPG, LNG, Ammonia, LFL fuels (Methanol + Ethanol)	LNG, LPG, Ethan, Methanol, Ethanol, Ammoniak, Wasserstoff
Anmerkung	Es handelt sich um eine Klassenotation, die in drei Abstufungen unterteilt wird: • Level 1C • Level 2D • Level 3 Notifikationen von Level 2 und Level 3 werden durch spezifische Kennbuchstaben ergänzt, die die geprüfte Komponente oder das geprüfte System kennzeichnen	Es handelt sich um eine Klassenotation, die mit sogenannten Notations Attributen arbeitet. Spezifischen Komponenten des Kraftstoffversorgungssystems wird ein Kennbuchstabe bzw. eine Buchstabenkombination zugewiesen, welche Aufschluss über die "readiness" des Schiffes bzw. der spezifischen Komponenten und Systeme geben. Eine Zuordnung zu den unterschiedlichen Design-Phasen wird über zusätzliche Notations Attributen kenntlich gemacht.	Im Gegensatz zu den anderen beiden Klassen ist die GR-Bezeichnung bei LR keine Notation, sondern eine Anmerkung im Registerbuch und dient lediglich der Information. LR arbeitet mit sogenannten Identifiern für einzelne Komponenten oder Systeme, teilweise in Kombination mit einer Kennziffer, welche Aufschluss die "readiness" der spezifischen Komponenten und Systeme gibt.
Konzept-Entwurfsphase	**LEVEL 1C** (C=Concept Design Review) bezieht sich ausschließlich auf den Entwurf Überprüfung der Entwurfsunterlagen auf Konformität mit den geltenden Notationsvorgaben für den spezifischen Kraftstoff Prüfung auf grundsätzliche Eignung des Schiffentwurfs beinhaltet eine geometrische, strukturelle Anordnung der Hauptkomponenten für das Handling des alt. Kraftstoffs inkl. Sicherheitsbetrachtung und vorgesehener Materialien AiP kann optional beantragt werden Beispiele: "Ammonia Fuel Ready Level 1C" "Methanol Fuel Ready Level 1C" "LNG Fuel Ready Level 1C"	NOTATION ATTRIBUT **D** (D=Design) bezieht sich ausschließlich auf den Entwurf Überprüfung der Entwurfsunterlagen auf Konformität mit den geltenden Notationsvorgaben für den spezifischen Kraftstoff Prüfung auf grundsätzliche Eignung des Schiffentwurfs beinhaltet eine geometrische, strukturelle Anordnung der Hauptkomponenten für das Handling des alt. Kraftstoffs inkl. vorgesehener Materialien Dokumentation notwendiger baulicher Veränderungen für das Kraftstoffrückhaltesystem (zeigt, dass Tankentwurf durchführbar ist) es wird ein Bericht der notwendigen baulichen Veränderungen bei Conversionn verlangt Beispiele: '"Fuel Ready (Ammonia [D], LPG [D])" "Fuel Ready (LFL [D])"	IDENTIFIER **A** (A=Approval) bezieht sich ausschließlich auf den Entwurf Überprüfung der Entwurfsunterlagen auf Konformität mit mit den geltenden Notationsvorgaben für den spezifischen Kraftstoff Prüfung auf grundsätzliche Eignung des Schiffentwurfs beinhaltet eine geometrische, strukturelle Anordnung der Hauptkomponenten für das Handling des alt. Kraftstoffs inkl. vorgesehener Materialien Sicherheitsbetrachtung, Durchführung einer Risikoanalyse des Entwurfs (RBC - Risk Based Certifcation) beinhaltet eine Gefahrenzonenbetrachtung, eine vorl. Stabilitätsbetrachtung und Krafstoffschemen bei Bestätigung wird ein AiP für den Entwurf erteilt Beispiele: "GR (HY, A)" "GR (ML, A)"

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR

	ABS	DNV	LR
Basis-/Detail-Entwurfsphase	**LEVEL 2D** (D=Detail Design Review) detaillierte Prüfung von Unterlagen zu einzelnen Komponenten oder Systemen des Schiffsentwurfs keine physische Installation der geprüften Komponenten bedeutet nicht, dass Equipment installiert ist zusätzliche Unterlagenprüfung zu Level 1D **S** → Unterbauten für Kraftstofftank in Struktur (auch ohne Level 1C-Notation beantragt werden) **TA** →Struktur & Anordnung Kraftstofftank **BK** → Bunkersystem & -anordnung **FS** → Kraftstoffversorgungssystem **ME** → Hauptmaschine(n) **AE** → Hilfsmotor(en) **MB, AB** → Haupt- bzw. Hilfsboiler **GT** → Gasturbine(n) **FC** → Brennstoffzelle(n) Beispiele: "Ammonia Fuel Ready Level 2D (S)" "Methanol Fuel Ready Level 2D (TA, BK)" "LNG Fuel Ready Level 2D (ME)"	NOTATION ATTRIBUTE: **S** → Unterbauten für Kraftstofftank in Struktur **Tc** → Tank installiert, umrüstbar auf alt. Kraftstoff **P** → Leitungssystem, bauliche Gegebenheiten Bunkerstation, Platzbedarf für Gasregelstrecke **MEc** → Hauptmaschine ist laut Hersteller umrüstbar (ohne Approval, d.h. Bescheinigung durch Hersteller) **MEca** → Hauptmaschine ist umrüstbar (mit Appr.) **AEc** → Hilfsmaschine ist laut Hersteller umrüstbar (ohne Approval, d.h. Bescheinigung durch Hersteller) **AEca** → Hilfsmaschine ist umrüstbar (mit Approval) **Bc** → Boiler ist umrüstbar (nicht approved) **Bca** → Boiler ist umrüstbar (approved) bedeutet nicht, dass Equipment installiert ist eine Prüfung des Konzeptentwurfs (Attribut D) wird nicht vorausgesetzt Beispiele: '"Fuel Ready (Ammonia [D; S; MEc])" "Fuel Ready (LFL [MEc; AEc])" "Fuel Ready (LFL [D; Tc; P; MEca])"	IDENTIFIER: **T1** → Tank installiert, umrüstbar auf alt. Kraftstoff **E1** → Equipment und Maschinenanlagen können auf alt. Kraftstoff umgerüstet werden → **(M)** Hautptmaschine → **(A)** Hilfsmaschine → **(B)** Boiler → **(I)** Abfallverbrennungsanlage → **(T)** Gas Turbine → **(F)** Brennstoffzelle bedeutet nicht, dass Equipment installiert ist eine Prüfung des Konzeptentwurfs (IDENTIFIER A) wird nicht vorausgesetzt die geforderten, einzureichenden Unterlagen für jeden IDENTIFIER werden in den entsprechenden Klasseunterlagen beschrieben Beispiele: '"GR (AM, T1, E1(M))" "GR (HY, A, T1)" "GR (ML, A, T1, E1(M), E1(A))"
Installation (Zufriedenheit des Besichtigers vorausgesetzt)	**Level 3** Installation der spezifizierten Ausrüstung an Bord des Schiffes Voraussetzung sind genehmigte Zeichnungen von Level 2 **S** → Unterbauten für Kraftstofftank in Struktur **TA** → Struktur & Anordnung Kraftstofftank **BK** → Bunkersystem & -anordnung **FS** → Kraftstoffversorgungssystem **ME** → Hauptmaschine(n) **AE** → Hilfsmotor(en) **MB, AB** → Haupt- bzw. Hilfsboiler **GT** → Gasturbine(n) **FC** → Brennstoffzelle(n) Beispiele: "Ammonia Fuel Ready Level 3 (S,ME)" "Methanol Fuel Ready Level 3 (TA, BK, FS)" "LNG Fuel Ready Level 3 (S, FS, ME, AE, MB)"	NOTATION ATTRIBUTE: **Ti** → Tank installiert, geeignet für alt. Kraftstoff **MEi** → Hauptmaschine geeignet für alt. Kraftstoff **AEi** → Hilfsmaschine geeignet für alt. Kraftstoff **Bi** → Boiler installiert, geeignet für alt. Kraftstoff die hier aufgeführten Notation Attributes bescheinigen, dass das installierte Equipment getestet und geprüft ist Notations-Attribute Ti beinhaltet die Installation von Notations-Attribute S eine Prüfung des Konzeptentwurfs (Attribut D) wird nicht vorausgesetzt Beispiele: '"Fuel Ready (Ammonia [D; S; MEi])" "Fuel Ready (LFL [MEi; AEi])" "Fuel Ready (LFL [D; Ti; MEi; Bi])"	IDENTIFIER: **S** → Strukturelle Installation von Tankunterbauten **T2** → Kraftstofftank, Ventile, Leitungen und ggf. Aufstellraum, baulicher Brandschutz, zug. Lüftung **P** → zum Kraftstoffsystem gehörenden Rohrleitungen und Ausrüstungen inkl. Bunkersystem **E2** → Equipment und Maschinenanlagen installiert → **(M)** Hautptmaschine → **(A)** Hilfsmaschine → **(B)** Boiler → **(I)** Abfallverbrennungsanlage → **(T)** Gas Turbine → **(F)** Brennstoffzelle Prüfung des Konzeptentwurfs wird nicht vorausgesetzt Beispiele: "GR (HY, S, T2)" "GR (ML, A, S, E2(M), E2(A))"

GESAMTKONZEPT ERNEUERBARE KRAFTSTOFFE
Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Koordiniert durch: NOW
Projektträger: VDI VDE IT FNR