

Innovative Schiffbaukonzepte: Beitrag zur Nachhaltigkeit

Themenkurzprofil Nr. 57 | Sonja Kind • Lia Meißner | Mai 2022

Die Schifffahrt ist ein entscheidendes Bindeglied im internationalen Welthandel. Angesichts des voranschreitenden Klimawandels und der Dekarbonisierungsbestrebungen in vielen Wirtschaftssektoren stellt sich auch für die internationale Seeschifffahrt die Frage, wie Treibhausgasemissionen substantiell reduziert werden können. Gegenwärtig werden über 80 % des globalen Warenhandels (bezogen auf das Volumen) durch Schiffe transportiert. Die weltweite Handelsflotte wächst und die über den Seeweg transportierten Frachtmengen steigen seit Jahren stetig an. Die internationale Schifffahrt ist weltweit für etwa 3 % der gesamten Treibhausgasemissionen verantwortlich und Prognosen zufolge könnten diese Emissionen – ausgehend von 2012 – bis 2050 um bis zu 250 % ansteigen. Im Zuge der internationalen Klimaabkommen von Kyoto und Paris strebt die International Maritime Organization (IMO) der Vereinten Nationen allerdings eine Halbierung der Treibhausgasemissionen bis 2050 an. In der Branche werden zahlreiche Möglichkeiten diskutiert, wie die Transition des Sektors hin zu mehr Umweltverträglichkeit gelingen kann. Neben der Umstellung auf alternative Treibstoffe, wie Wasserstoff, Ammoniak, Batteriestrom, Methanol und verflüssigtes Biogas, gibt es entlang des Lebenszyklus von Schiffen zahlreiche weitere Ansatzpunkte für Emissionseinsparungen.

Es wird aufgezeigt, wie das Design von Schiffsneubauten, innovative Materialien und alternative Antriebskonzepte einen Beitrag zur CO₂-Einsparung des weltweiten Seeverkehrs leisten können. So können etwa Schiffsneubauten durch die Anpassung der Schiffsform und -größe, geänderte Bugwölbungen, spezielle Rumpfbeschichtungen oder Verbesserungen des Antriebs (z.B. gegenläufige Propeller) umweltfreundlicher gestaltet werden. Darüber hinaus bietet die Leichtbautechnologie, die etwa in der Automobil- oder in der Luftfahrtindustrie bereits zum Standard gehört, auch für maritime

Anwendungen die Möglichkeit, Stahl zu ersetzen oder mittels 3-D-Druck zu minimieren und dadurch Treibhausgasemissionen beim Betrieb zu reduzieren. Nicht zuletzt liegt ein großes Einsparpotenzial von CO₂- und Schadstoffemissionen gegenwärtig in der Substitution bzw. Reduzierung des verbreitet eingesetzten, sehr umweltschädlichen Schweröls durch innovative Antriebstechnologien, beispielsweise mithilfe von Windkraft, Elektroantrieb oder Solarenergie.

Die Umsetzung dieser Maßnahmen ist mit großen Herausforderungen verbunden. Aufgrund der langen Investitionszyklen im Schiffbau von zumeist über 20 Jahren setzen sich selbst schon längst bestehende Neuerungen nur langsam durch. Daher werden eine Regulierung und weitere flankierende politische Maßnahmen als besonders wichtig erachtet. Relevant in diesem Zusammenhang sind die Strategie zur Dekarbonisierung des maritimen Sektors durch die IMO von 2018 sowie das von der EU-Kommission im Juli 2021 vorgelegte Maßnahmenpaket „Fit for 55“ mit dem Ziel einer Treibhausgas-minderung von 55 % bis 2030.

Hintergrund und Entwicklung

Der Bedarf für eine Dekarbonisierung im Schifffahrtssektor steigt

Die Schifffahrt ist ein zentrales Bindeglied in globalen Lieferketten und spielt eine Schlüsselrolle für die weltweite wirtschaftliche Entwicklung. Bezogen auf das Volumen werden derzeit über 80 % des weltweiten Warenhandels auf dem Seeweg transportiert (UN 2020). Bis auf einen kurzzeitigen Einbruch in der Frühphase der Coronapandemie steigen die Frachtmengen seit Jahren kontinuierlich an (Shamika et al. 2021). 2020 ist die weltweite Handels-

flotte um 3 % auf 99.800 Schiffe mit 100 Bruttoreaumzahl (BRZ)¹ und mehr angestiegen (Shamika et al. 2021).

Der Seeverkehr verursacht vielfältige Umweltbelastungen, u.a. durch Havarien und Leckagen, die Entsorgung von Abwässern und Müll ins Meer sowie den Ausstoß von zahlreichen Luftschadstoffen (Engerer 2015). Insbesondere die CO₂-Emissionen stehen in jüngster Zeit im Zentrum der Aufmerksamkeit. Weltweit sind etwa 3 % der gesamten CO₂-Emissionen auf die Seeschifffahrt zurückzuführen (Faber et al. 2021). Für die Zukunft sind ein Anstieg der Seeschifffahrt und die damit verbundenen Umweltauswirkungen zu erwarten. Emissionen aus der Schifffahrt könnten, ausgehend von 2012, um bis zu 250 % bis 2050 zunehmen (Kirchner 2022). Um das 1,5-°C-Szenario des Pariser Klimaabkommens zu erreichen, müsste auch der Schifffahrtssektor durch eine Dekarbonisierung zwischen 2035 und 2050 einen substantziellen Beitrag leisten (Kirstein et al. 2018).

Bisherige Dekarbonisierungsbemühungen und Zielsetzungen des maritimen Sektors

Im Zuge des Kyoto-Protokolls wurde die IMO 1997 damit beauftragt, ein Klimaziel sowie eine Strategie zur Dekarbonisierung des maritimen Sektors zu entwickeln (Kirchner 2022). 21 Jahre später (2018) hat die Branche die IMO-Treibhausgasstrategie verabschiedet. Erklärtes Ziel dieser nicht bindenden Resolution ist die Senkung der Emissionen pro Tonnenkilometer bzw. Tonnenmeile um mindestens 40 % bis 2030 und um bis zu 70 % bis 2050 im Vergleich zu 2008. Insgesamt sollen die CO₂-Emissionen um mindestens 50 % bis 2050 sinken, verglichen mit 2008 (IMO 2018). Eine Überarbeitung der Strategie ist für 2023 festgelegt (Abbasov et al. 2019).

Im Juni 2021 verabschiedete die IMO neue verbindliche Vorschriften zur Emissionsreduzierung in der Schifffahrt, die Eigner dazu verpflichtet, Ziele für die Energieeffizienz festzulegen (Shamika et al. 2021). Zudem gab es erste Diskussionen über erforderliche mittel- und langfristige Maßnahmen sowie den Vorschlag aus der Industrie, ein nicht staatliches „International Maritime Research and Development Board“ einzurichten, das durch eine Abgabe auf Schiffskraftstoffe finanziert wird und die Forschung und Entwicklung von CO₂-neutralen Technologien vorantreibt (Shamika et al. 2021).

Wie die Regulationen der IMO mittelfristig gestaltet sein werden, ist demnach noch im Fluss. Zusätzlich erfolgen auch Aktivitäten auf europäischer Ebene. Das im Rahmen des europäischen „Green Deal“ erarbeitete und im Juli 2021 von der Europäischen Kommission (EK 2022) vorgelegte Maßnahmenpaket „Fit for 55“ einen klimafreundlicheren



Ansatz in der europäischen Industrie und Gesellschaft verankern und zu einer Treibhausgasreduzierung gegenüber 1990 von 55 % bis 2030 führen. Zentraler Aspekt dieses Vorschlags ist die Ausweitung des Europäischen Emissionshandels auf den Seeverkehr ab 2023 (Wissner/Cames 2021).

Daneben gibt es freiwillige Zertifizierungssysteme wie den **Clean Shipping Index**² oder den **Environmental Ship Index**³, mit denen eine umweltfreundlichere Schifffahrtsindustrie belohnt werden soll. In Zusammenarbeit mit Häfen sollen Reedereien Preisnachlässe oder andere Vorteile geboten werden. Je besser ein Schiff bewertet ist, desto günstigere Konditionen soll es in den beteiligten Häfen erhalten (gebana 2020).

Auch von der Industrie selbst werden Forderungen an die Politik zur Dekarbonisierung der internationalen Schifffahrt gestellt. Im Zusammenhang mit der Klimakonferenz „COP 26“ in Glasgow 2021 haben mehr als 150 Branchenführer und Unternehmen einen „Call to Action for Shipping Decarbonization“ unterzeichnet, in dem sie die Politik auffordern, die Verkehrswende im Schifffahrtssektor durch politische Maßnahmen zu beschleunigen (Global Maritime Forum 2021). Sie fordern u.a. etwa die Festlegung von nationalen Dekarbonisierungszielen für die inländische Schifffahrt, Anreize für die Einführung emissionsfreier Treibstoffe und Schiffe sowie weitere marktbasierende Maßnahmen (JadeWeserPort-Marketing 2021).

Der Druck auf die Branche steigt also insgesamt, einen Beitrag zur Dekarbonisierung zu leisten, damit die Ziele des Pariser Klimaabkommens erreicht werden können.

Deutschland hat eine bedeutende Rolle in der internationalen Schifffahrtsindustrie

Gemessen am Auftragsbestand war Deutschland 2020, wengleich mit deutlichem Abstand auf China, Südkorea, Japan und Italien, die fünftgrößte Schiffbaunation der Welt

1 Die Bruttoreaumzahl (BRZ) (früher Bruttoregistertonne) ist ein Raummaß für die Größe von Handelsschiffen: 1 BRT = 100 Kubikfuß ≈ 2,83 m³ (Maribus o.J., S.168).

2 <https://www.cleanshippingindex.com/> (20.4.2022)

3 <https://www.environmentalshipindex.org/> (20.4.2022)

(Statista 2021c). Auch in Bezug auf die Größe der Handelsflotte belegt Deutschland einen der vorderen Plätze. Der Anteil an der Welthandelsflotte gemessen an der Transportkapazität in Tonnen beträgt derzeit rund 4%. Damit liegt Deutschland im internationalen Vergleich auf Rang 6 (Shamika et al. 2021). Angeführt wird die Rangliste von Griechenland mit ca. 17%, gefolgt von China und Japan, die jeweils einen Anteil von rund 12% an der globalen Transportkapazität haben. Wird nur die Containerschiffsflotte nach Nationalität der Eigner und Ladekapazität betrachtet (gemessen in 20-Fuß-Standardcontainern), hatte Deutschland im Jahr 2019 sogar die größte Containerschiffsflotte der Welt (Statista 2021b).

Die maritime Wirtschaft wird in Deutschland durch Forschungs- und Förderprogramme unterstützt

Forschungs- und Förderprogramme rund um eine maritime Wirtschaft waren in Deutschland in den vergangenen Jahren in der Verantwortung verschiedener Ressorts. So ist etwa die Maritime Forschungsstrategie 2025 mit dem Schwerpunkt Schiffbau beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klima (BMWK) angesiedelt, das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) verantwortet Forschungsprogramme im Bereich Küsten-, Meeres- und Polarforschung sowie für maritime Sicherheit, und das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) kümmert sich um Förderprogramme für Schifffahrt und Häfen. Das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) unterstützt weitere ressorteigene und auftragsfinanzierte Forschung im Bereich der Marine (Bundesregierung 2021).

Im Koalitionsvertrag der im Herbst 2021 neu gewählten Bundesregierung steht, dass der Schiffbau „über die gesamte Wertschöpfungskette inklusive des Schiffsrecyclings als industrieller Kern in Deutschland“ gestärkt werden soll. Geplante Aktivitäten sind u.a. die Entwicklung einer Nationalen Hafenstrategie, die Förderung von Landstromtechnik sowie alternative Antriebe und Kraftstoffe, eine klimafreundliche Schifffahrt und die Sanierung der Infrastruktur. Zudem wird angedeutet, die aus dem EU-Maßnahmenpaket „Fit for 55“ resultierenden Gesamtbelastungen für das Gewerbe zu begrenzen.

Unter dem Schlagwort Sustainable Shipping werden in der Branche Möglichkeiten der Emissionsreduzierung diskutiert. Eine nachhaltige oder umweltfreundliche Schifffahrt zielt darauf ab, die zahlreichen Umweltbelastungen der Seeschifffahrt zu verringern (Engerer 2015). Im Vordergrund steht derzeit vor allem die Reduzierung von Schadstoffemissionen mithilfe innovativer Treibstoffe wie Wasserstoff, Ammoniak, Methanol und Flüssigerdgas (Liquefied Natural Gas – LNG) (Getting to Zero Coalition 2022). Dies lässt sich an den zahlreichen politischen Bemühungen auf nationaler und europäischer Ebene sowie den Forschungsvorhaben in Richtung Landstromterminals in Häfen, alternative Kraftstoffe und elektrische Antriebe ablesen.

Entlang des Lebenszyklus von Schiffen bieten sich darüber hinaus zahlreiche weitere Ansatzpunkte, um CO₂- und Schadstoffemission zu reduzieren: Auch innovatives Design und die Verwendung leichter Materialien bei Schiffsneubauten, die Nachrüstung bestehender Flotten, der umweltfreundliche Betrieb von Schiffen (z.B. durch langsameres Fahren), infrastrukturelle Anpassungen in den Häfen sowie Recycling und umweltbewusste Abwrackung können einen entscheidenden Beitrag leisten. Im Folgenden wird der Schwerpunkt daher auf innovatives Design, Leichtbaumaterialien sowie alternative Antriebskonzepte unabhängig von elektrischen Antrieben und alternativen Kraftstoffen gelegt.

Design: umweltfreundlichere Schiffe entwerfen

Wie bei anderen Verkehrsmitteln auch nimmt der Energieverbrauch mit der Geschwindigkeit zu. Eine Möglichkeit, den Treibstoffbedarf für den Antrieb eines Schiffes zu senken, ist die Verringerung des Wasserwiderstands durch **schlankere Schiffsrümpfe**. Hierdurch kann der Treibstoffverbrauch pro Seemeile im Vergleich zu Standarddesigns bei niedrigen Geschwindigkeiten (unter 15 Knoten) um 10 bis 15% und bei hohen Geschwindigkeiten (ca. 15 bis 20 Knoten) um bis zu 25% gesenkt werden (Lindstad/Eskeland 2015). Für ein optimales Verhältnis zum Transportvolumen wird zusätzlich zu einer Verschlanung der Schiffsförmung das Schiff insgesamt verlängert. Zwischen Verschlanung einerseits und Länge des Schiffes andererseits muss ein Kompromiss gefunden werden, da längere Schiffe eine größere Oberfläche und dadurch wiederum einen erhöhten Reibungswiderstand erzeugen. Zudem wird für längere Schiffe und die damit verbundene größere Fläche mehr Stahl benötigt, was den Neubaupreis erhöht (Kirstein et al. 2018).

Überdies kann durch die **Erhöhung der Schiffsgröße** CO₂ eingespart werden, da die Beziehung zwischen Schiffsgröße und verbrauchtem Treibstoff nicht linear ist. Beispielsweise nimmt bei einer Verdopplung der Ladekapazität eines Schiffes die erforderliche Leistung nur um zwei Drittel der Schiffsgröße zu (Kirstein et al. 2018). Das bedeutet, mit zunehmender Schiffsgröße sinkt der Kraftstoffverbrauch pro Frachteinheit, also größere Schiffe bieten Skalenvorteile (Lindstad 2013). Allerdings sind der Größe von Schiffen praktische Grenzen gesetzt. Während große Schiffe auf hoher See keine Raumprobleme haben, können sie bei der Durchfahrt von Häfen oder Kanälen ein Risiko für die Schifffahrt darstellen. Ein prominentes Beispiel ist die wochenlange Blockade des Suezkanals durch das Containerschiff „Ever Given“ im Jahr 2021.

Eine weitere Maßnahme zur Minimierung des Antriebsbedarfs sind verschiedene Bugformen. Ein **Wulstbug** erzeugt eine Welle, welche die vom Schiffsrumpf erzeugte Welle aufhebt und so den Wellen- und Wasserwiderstand reduziert. Der tropfenförmige Vorbau kann bei allen Schiffstypen angewendet werden und ist auf eine bestimmte

Rumpfform und einen bestimmten Geschwindigkeitsbereich ausgelegt. Laut einer Umfrage ist er aktuell bei 32 bis 47% aller kommerziellen Schiffe zu finden (Rehmatulla et al. 2017). Da ein Wulstbug insbesondere bei kleineren Schiffen den Widerstand im Wasser erhöht, ist er vor allem für große Schiffe geeignet (Kirstein et al. 2018). Obwohl eine spätere Nachrüstung wenig komplex ist, wird sie dann oftmals nicht durchgeführt, wenn die entgangenen Einnahmen während der Liegezeit im Trockendock überwiegen (Kirstein et al. 2018). Daher findet diese Maßnahme vor allem bei Schiffsneubauten Anwendung.

Eine Verringerung des Wasserwiderstands zur Treibstoffeinsparung kann durch weitere Technologien erreicht werden. So können die Verwendung von härteren und glatteren **Rumpfbeschichtungen** sowie häufiges Reinigen des Rumpfes dazu beitragen, den Treibstoffbedarf zu reduzieren (Kirstein et al. 2018). Bei der aktiven **Luftschmierung** wird Druckluft unter den Schiffsrumpf gepumpt, wodurch ein Teppich aus Luftblasen entsteht, auf dem das Schiff mit weniger Reibungswiderstand fährt (Kirstein et al. 2018).

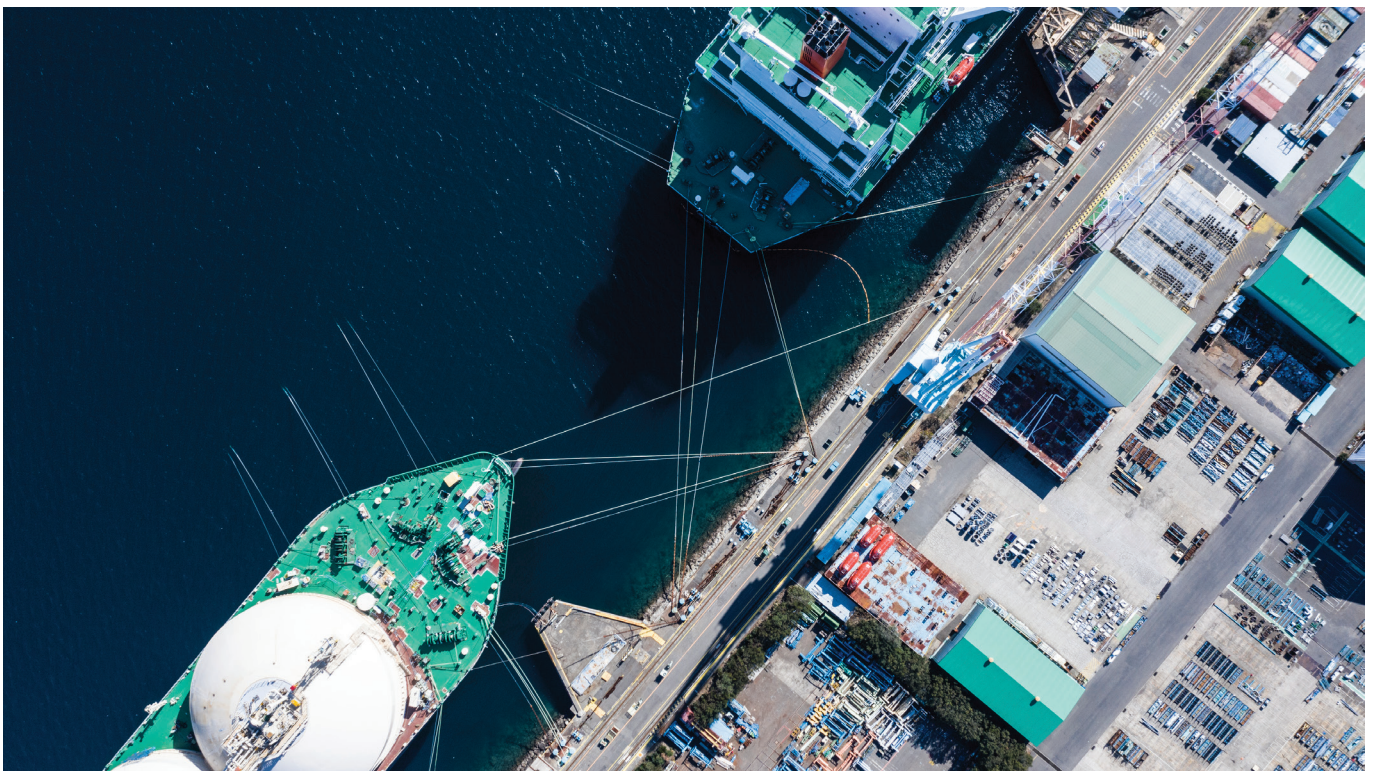
Darüber hinaus bietet die Verbesserung der Antriebseffizienz Einsparpotenziale für Treibstoff und damit für Emissionen. So ermöglichen etwa **gegenläufige Propeller** Einsparungen von 8 bis 15% (Smith et al. 2016). Diese bestehen aus zwei Propellern, die hintereinander angeordnet sind und sich in entgegengesetzte Richtungen drehen (Royal Academy of Engineering 2013). Obwohl diese Lösung bei kleineren Schiffen erfolgreich eingesetzt wird und sie zudem die Manövrierfähigkeit des Schiffes erhöht, hat sie sich in der kommerziellen Großschifffahrt aufgrund mechanischer Probleme bisher nicht in der Breite durchge-

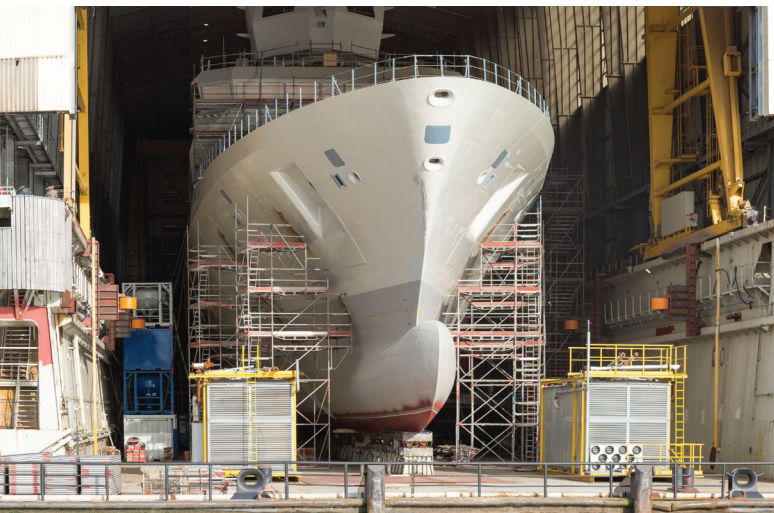
setzt (Royal Academy of Engineering 2013). Da die Nachrüstung gegenläufiger Propeller kostspielig und schwierig zu realisieren ist, kommen sie vor allem bei Neubauten zum Einsatz (Kirstein et al. 2018).

Ob ein Schiff die vom Design her möglichen CO₂-Einsparungen auch tatsächlich realisiert, hängt in entscheidendem Maße davon ab, wie es operativ betrieben wird. Wie in vielen anderen Anwendungsbereichen neuer Technologien ist auch hier oftmals eine Leistungslücke zu beobachten, d.h. die laut Bauweise theoretisch mögliche Effizienz wird in vielen Fällen unter realen Betriebsbedingungen nicht erreicht (Abbasov et al. 2019).

Materialien: leichtere Materialien für maritime Anwendungen

Weitere CO₂-Einsparpotenziale ergeben sich durch die Verwendung leichter Materialien. Während in der Automobil- und Luftfahrtindustrie **Leichtbaumaterialien** bereits zum Standard gehören, ist Stahl heutzutage weiterhin der dominierende Werkstoff beim Bau von Tankern, Container- und Kreuzfahrtschiffen (Siebel 2020). Neben einem geringeren Treibstoffverbrauch haben leichtere Schiffe den Vorteil, dass sie höhere Nutzlasten transportieren können oder über einen geringeren Tiefgang verfügen, wodurch neue Schiffsrouten erschlossen werden können (Siebel 2020). Darüber hinaus bieten Schiffskonstruktionen aus Verbundwerkstoffen gegenüber traditionellen Stahlkonstruktionen weitere Vorteile, welche die Energieeffizienz und Rentabilität von Schiffen erhöhen: höhere Geschwindigkeiten, bessere mechanische Stabilität, geringerer Wartungsaufwand sowie die Kombination all dieser Eigenschaften (Sánchez-Heres 2015).





Die **Leichtbautechnologie** für maritime Anwendungen hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht (Hamburg Marketing 2019). Dabei identifiziert Siebel (2020) vier Entwicklungsstränge: die Verbindung von Stahl mit Aluminium, Aluminiumlegierungen, Faserkunststoffverbunde sowie Sandwichbauweisen aus Stahl und Kunststoffen. Ein Teil des für die Schiffskonstruktion benötigten schweren Stahls kann durch leichteres Aluminium ersetzt werden (Kirstein et al. 2018).

Trotz der zu verzeichnenden Fortschritte haben sich die Leichtbautechnologien in der Seeschifffahrt noch nicht in der Breite durchgesetzt (Hamburg Marketing 2019). Gründe dafür sind u. a. langandauernde Zulassungsverfahren, in der Vergangenheit bestehende strikte Brandschutzregeln, die erst vor wenigen Jahren gelockert wurden (Siebel 2020), sowie höhere Anschaffungskosten (Sánchez-Heres 2015).

Volle Fahrt voraus: innovative Antriebstechnologien

Mitte des 19. Jahrhunderts wurde die traditionelle Segelschifffahrt von Dampfmaschinen abgelöst und nach dem Zweiten Weltkrieg durch den Dieselmotor ersetzt (IMMH 2020). Bis heute werden Seeschiffe meist noch mit Schweröl bzw. einer Mischung aus Schwer- und Dieselöl, betrieben (Engerer 2015). Bei kleineren Seeschiffen wird darüber hinaus Marinedieselöl verwendet, ein Gemisch aus verschiedenen Mitteldestillaten (Engerer 2015). 2030 soll der Anteil von Schwer- und Marinedieselöl am Energieverbrauch der globalen Schiffsflotte voraussichtlich noch knapp 80 % betragen, während er bis 2050 auf rund 33 % sinken soll. Gleichzeitig wird der Anteil CO₂-neutraler Antriebe, etwa durch Windkraft und elektrische Antriebe, zunehmen, wengleich das nicht CO₂-neutrale LNG einen großen Anteil hat (Statista 2021c). Neben dem Umstieg auf alternative Kraftstoffe, wie Wasserstoff, Ammoniak, Methanol und LNG (Getting to Zero Coalition 2022), werden die folgenden innovativen Antriebskonzepte für Containerschiffe aktuell erprobt und diskutiert:

Seit einigen Jahren wird daran geforscht, wie auch die kommerzielle Seeschifffahrt von der **Windkraft** profitieren

könnte. Nelissen et al. (2016) beschreiben sechs verschiedene Windantriebstechnologien für Schiffe. Dazu zählen flexible Segel (**Softsegel**), die traditionellen Segeln ähneln und weitestgehend automatisiert betrieben werden. **Starrsegel/Flügelsegel** sind flügelartig geformt und funktionieren nach dem gleichen Prinzip wie aerodynamische Tragflächen. Bei einem **Rumpsegel** ist der Rumpf des Schiffes wie eine symmetrische Tragfläche geformt, die sich im Wind bewegt und aerodynamischen Auftrieb erzeugt. **Vertikal rotierende Zylinder**, auch Flettnerrotoren genannt, nutzen die Antriebskraft, die durch den Druckunterschied auf dem Zylinder orthogonal zur Windrichtung entsteht (Magnuseffekt). Zudem können **Windturbinen** auf Schiffen installiert werden, um Strom zu erzeugen bzw. den elektrischen Antrieb zu unterstützen.

Solarmodule können Strom für den Bordbedarf liefern und entweder horizontal an Deck oder vertikal in Kombination mit bestimmten Segeltypen angebracht werden (Kirstein et al. 2018). Aufgrund ihrer begrenzten Kapazität zur Deckung des Strombedarfs von Schiffen eignen sich Photovoltaikanlagen gegenwärtig vor allem für die ergänzende Stromerzeugung. Wo aber sehr viel Sonnenschein vorherrscht, zum Beispiel in Äquatornähe, kann sich der Einsatz von Solarmodulen lohnen (Kirstein et al. 2018). Allerdings ist auch bei dieser Technologie, ebenso wie bei den aktuell verfügbaren Windtechnologien, davon auszugehen, dass eine zusätzliche flüssige Brennstoffquelle zur Gewährleistung des Antriebs erforderlich bleibt (Kirstein et al. 2018).

Bei der **Abwärmerückgewinnung** wird thermische Energie aus dem Verbrennungsmotor oder dem Abgas zurückgewonnen und in nutzbare Energie umgewandelt. Es werden Treibstoffeinsparungen von bis zu 9 % erwartet (Orcan Energy 2018). Dabei ist zu beachten, dass diese Anwendung in besonderem Maße mit anderen Maßnahmen interagiert. So führen eine verbesserte Motoreffizienz und verringerte Geschwindigkeit zu weniger Abwärme und folglich auch zu einem geringeren Rückgewinnungspotenzial (Kirstein et al. 2018).

Gesellschaftliche und politische Relevanz

Die aufgeführten innovativen Schiffbaukonzepte weisen einen unterschiedlichen Entwicklungsstand auf. Während einige schon lange vorhanden sind und theoretisch direkt einsetzbar wären, wie etwa Bugformen und Doppelpropeller, befinden sich andere noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. In einer Metaanalyse von 150 Studien kommen Bouman et al. (2017) zu dem Ergebnis, dass sich die Emissionen aus der Schifffahrt auf Grundlage der gegenwärtig bekannten Technologien und ihrer Kombination um 75 % senken ließen.

Die Handelsschifffahrt ist für Deutschland von **ökonomischer Relevanz**, da Deutschland eine der größten Han-



delsflotten besitzt und zu den größten Schiffbaunationen weltweit gehört. Zugleich befindet sich die in Deutschland ansässige maritime Wirtschaft aktuell im Wandel. Insgesamt ist die Größe der deutschen Handelsflotte (gemessen in BRZ) in den vergangenen 10 Jahren stetig gesunken: von 15,5 Mio. BRZ im Jahr 2011 auf 7,1 Mio. BRZ im Jahr 2020. Ab der Schifffahrtskrise im Jahr 2009 reduzierte sich die deutsche Handelsflotte insbesondere aufgrund von Konsolidierungen und Umstrukturierungen von 571 Schiffen unter deutscher Flagge im Jahr 2010 auf 302 Schiffe im Jahr 2019. Auch die Zahl der Beschäftigten im deutschen Schiffbau sank nach zwei stärkeren Jahren 2019 und 2020 zuletzt deutlich von 20.668 im Jahr 2000 auf 16.653 im Jahr 2021 (Statista 2021a).

Schiffe gelten als der am schwierigsten zu dekarbonisierende Verkehrsträger (Energy Transitions Commission 2018). Die Schifffahrt ist eine sehr kapitalintensive Branche, die durch große, langlebige Anlagen und geringe Gewinnspannen gekennzeichnet ist (Shell 2020). Die Erneuerungszyklen von Schiffen sind mitunter sehr lang. In der Regel haben Frachtschiffe ein Durchschnittsalter von 20 und mehr Jahren (Statista 2020), sodass Schiffe, die heute die Werften ohne nachträgliche Modernisierungsmaßnahmen verlassen, die CO₂-Emissionen für 2 bis 3 Jahrzehnte festschreiben (Delgado/Villasana 2021). Da die Umrüstung auf klimafreundliche Energie- und Antriebssysteme mit hohen Kosten in Relation zur potenziellen Einsparung pro Tonne CO₂-Emissionen verbunden sind (Delgado/Villasana 2021), erfolgt diese eher zögerlich. Die geschätzten Gesamtkosten der Branche für die Realisierung von Dekarbonisierungsmaßnahmen zur Erreichung der Klimaziele werden bis 2050 auf 1,65 Billionen US-Dollar geschätzt (Raucci et al. 2020). Aufgrund der Besonderheiten

der Schifffahrtsbranche, Marktversagen und anderen Hindernissen wäre eine verstärkte **politische Unterstützung** erforderlich, um die vielseitigen Innovationspotenziale der beschriebenen Schiffbaukonzepte zu heben.

Mögliche vertiefte Bearbeitung des Themas

Eine weitere Bearbeitung des Themas ist in Form einer Kurzstudie oder auch einer Innovationsanalyse denkbar. Neben den technologischen Innovationen könnte auf operative Aspekte zum nachhaltigen Betrieb der kommerziellen Flotte sowie neben dem Schiffsneubau auch auf Emissionseinsparpotenziale in der zweiten Hälfte des Schiffslebenszyklus eingegangen werden, wie etwa die Nachrüstung bestehender Schiffe sowie die Entsorgung alter Schiffe. Es erscheint sinnvoll, die Analyse nicht ausschließlich auf eine nationale oder europäische Perspektive zu beschränken, sondern auch nachhaltige Lösungen aus dem globalen Kontext einzubeziehen.

In weiterer Konkretion bietet sich die Betrachtung folgender Aspekte bzw. Fragen an:

- Welche Ansatzpunkte für eine Steigerung der Nachhaltigkeit und klimaneutrale Schifffahrt bestehen im Lebenszyklus von kommerziellen Schiffen (Herstellung, Nutzung, Entsorgung) und welche Chancen und Herausforderungen ergeben sich hieraus für Deutschland?
 - Herstellung: Wie ist der aktuelle Stand der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in den noch nicht technisch ausgereiften Bereichen Leichtbau, Solarmodule, Windkraftantriebe, Abwärmerückgewinnung sowie elektrische Antriebe und alternative

Kraftstoffe für die Schifffahrt? Wie ist der Nutzungsgrad der ausgereiften Technologien, z.B. Wulstbug, gegenläufige Propeller? Was sind wesentliche Implementierungshemmnisse?

- Nutzung: Welche Möglichkeiten gibt es für die Nachrüstung? Welche Potenziale haben nicht technologische Lösungen wie eine Verlangsamung der Transportgeschwindigkeit oder effiziente Routenführung? Welche Rolle kommt Häfen für den nachhaltigen Betrieb von Schiffen zu?
- Entsorgung: Wie können Schiffe umweltgerecht entsorgt oder recycelt werden?
- Wie lassen sich die deutsche Innovationslandschaft und die Akteure der Wertschöpfungskette Schiffbau charakterisieren und wie sind diese im internationalen Vergleich aufgestellt?
- Wie ist die politische Rahmensetzung, wie ist der Status quo der Regulierungsbemühungen und welche neuen Regulierungsbedarfe gibt es?

Literatur

- ▶ Abbasov, F.; Earl, T.; Dardenne, J.; Afonso, F.; Gilliam, Lucy, Calvo Ambel, Carlos; Egal, J. (2019): EU shipping's climate record. Maritime CO₂ emissions and real-world ship efficiency performance. Transport & Environment, https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/Study-EU_shippings_climate_record_20191209_final.pdf (24.5.2022)
- ▶ Bouman, E.; Lindstad, E.; Rialland, A.; Strømman, A. (2017): State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment 52, S.408–421
- ▶ Bundesregierung (2021): Forschungsmittel und Förderbeträge des Bundes in alternative Kraftstoffe und Antriebe in der See- und Binnenschifffahrt. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Claudia Müller, Kai Gehring, Sven-Christian Kindler, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 19/30898 –. Deutscher Bundestag, Drucksache 19/31644, Berlin
- ▶ Delgado, I.; Villasana, F. (2021): Science-based Target Setting for the Maritime Transport Sector. World Wide Fund for Nature, <https://sciencebasedtargets.org/resources/files/SBT-transport-guidance-Final.pdf> (24.5.2022)
- ▶ Energy Transitions Commission (2018): Mission Possible. Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors
- ▶ Engerer, H. (2015): Green Shipping. Institut für Deutsche Wirtschaftsforschung, https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.517376.de/diw_roundup_81_de.pdf (24.5.2022)
- ▶ EK (Europäische Kommission) (2022): Reducing emissions from the shipping sector. Climate Action. 10.5.2022, https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-shipping-sector_en (16.5.2022)
- ▶ Faber, J.; Hanayama, S.; Zhang, S.; Pereda, P.; Comer, B.; Hauerhof, E. (2021): Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020. IMO, London
- ▶ Gebana (2020): Schiffe unter die Lupe genommen. 6.8.2020, <https://www.gebana.com/de/blog/2020/08/06/schiffe-fur-okobilanz-kaum-relevant/> (20.4.2022)
- ▶ Getting to Zero Coalition (2022): Mapping of Zero Emission Pilots and Demonstration Projects. Global Maritime Forum; World Economic Forum
- ▶ Global Maritime Forum (2021): Call to Action for Shipping Decarbonization. <https://www.globalmaritimeforum.org/content/2021/09/Call-to-Action-for-Shipping-Decarbonization.pdf> (1.6.2022)
- ▶ Hamburg Marketing (2019): Ramsses – Leichtbau-Revolution im Schiffbau. <https://future.hamburg/artikel/ramsses-leichtbau-revolution-im-schiffbau> (26.2.2022)
- ▶ IMMH (Internationales Maritimes Museum Hamburg) (2020): Deck 3 – Geschichte des Schiffbaus: Vom Handwerk zur Wissenschaft –. 27.8.2020, <https://www.imm-hamburg.de/museum/ausstellungsrundgang/deck-3-geschichte-des-schiffbaus/> (22.2.2022)
- ▶ IMO (International Maritime Organization) (2018): Initial IMO GHG Strategy. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx> (12.5.2022)
- ▶ JadeWeserPort-Marketing (2021): Unternehmen fordern konkrete Maßnahmen zur Dekarbonisierung der Schifffahrt. 30.9.2021, <https://www.mehrcontainerfuerdeutschland.de/oekologie/unternehmen-fordern-konkrete-massnahmen-zur-dekarbonisierung-der-schifffahrt/> (20.4.2022)
- ▶ Kirchner, S. (2022): Klimaneutrale Schiffe gibt es nicht umsonst. 21.1.2022, <https://www.fr.de/wissen/klimaneutrale-schiffe-gibt-es-nicht-umsonst-91251536.html> (27.1.2022)
- ▶ Kirstein, L.; Halim, R.; Merk, O. (2018): Decarbonising Maritime Transport. Pathways to zero-carbon shipping by 2035. ITF/OECD (Hg.), Paris, <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/decarbonising-maritime-transport-2035.pdf> (20.4.2022)
- ▶ Lindstad, H. (2013): Strategies and measures for reducing maritime CO₂ emissions. Doktorarbeit, Trondheim, <http://hdl.handle.net/11250/238419> (1.6.2022)
- ▶ Lindstad, H.; Eskeland, G. (2015): Low carbon maritime transport: How speed, size and slenderness amounts to substantial capital energy substitution. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment 41, S.244–256
- ▶ Maribus gGmbH (o.J.): Mit den Meeren leben. (Lehmköster, J.; Schröder, T.). World ocean review, Hamburg, https://worldoceanreview.com/wp-content/downloads/wor1/WOR1_de.pdf (16.5.2022)
- ▶ Nelissen, D.; Traut, M.; Köhler, J.; Mao, W.; Faber, J., Ahour, S. (2016): Study on the analysis of market potentials and market barriers for wind propulsion technology

gies for ships. CE Delft, Delft

- ▶ Orcan Energy (2018): Orcan Energy bringt neue Effizienz-lösung für Schiffe. 10.7.2018, <https://www.orcan-energy.com/de/details/orcan-energy-bringt-neue-effizienz-l%C3%B6sung-f%C3%BCr-schiffe.html> (20.4.2022)
- ▶ Raucci, C.; R.; Bonello, J.; Suarez de la Fuente, S.; Smith, T.; Søgaard, K. (2020): Aggregate investment for the decarbonisation of the shipping industry. UMAS, <https://www.globalmaritimeforum.org/content/2020/01/Aggregate-investment-for-the-decarbonisation-of-the-shipping-industry.pdf> (24.5.2022)
- ▶ Rehmatulla, N.; Calleya, J.; Smith, T. (2017): The implementation of technical energy efficiency and CO₂ emission reduction measures in shipping. In: Ocean Engineering 139, S.184–197
- ▶ Royal Academy of Engineering (2013): Future Ship Powering Options. Exploring alternative methods of ship propulsion July 2013. <https://www.semanticscholar.org/paper/FUTURE-SHIP-POWERING-OPTIONS-Exploring-alternative/2d4294d734371e2c957e2e249a492e655c9a1ed0> (24.5.2022)
- ▶ Sánchez-Heres, L. (2015): Opportunities for weight reduction in composite marine structures. Doktorarbeit, Göteborg
- ▶ Shamika, N.; Hoffmann, J.; Regina, R.; Ayala, G.; Assaf, M.; Bacrot, C.; Benamara, H.; Chantrel, D.; Cournoyer, A. (2021): Review of Maritime Transport 2021. UNCTAD, New York
- ▶ Shell International B.V. (2020): Decarbonising Shipping: All Hands On Deck. Industry Perspectives. https://www.shell.com/promos/energy-and-innovation/decarbonising-shiping-all-hands-on-deck/_jcr_content.stream/1594141914406/b4878c899602611f78d36655ebff06307e49d0f8/decarbonising-shiping-report.pdf (24.5.2022)
- ▶ Siebel, T. (2020): Mit neuer Füge-technik zu leichteren Schiffen. Springer Professional, 15.7.2020, <https://www.springerprofessional.de/leichtbau/verbindungstechnik/mit-neuer-fuegetechnik-zu-leichteren-schiffen/18185586> (23.2.2022)
- ▶ Smith, T.; Raucci, C.; Hosseinloo, S.; Rojon, I.; Calleya, J.; Suárez de la Fuente, S.; Wu, P.; Palmer, K. (2016): CO₂ Emissions from International Shipping. Possible reduction targets and their associated pathways. <https://www.u-mas.co.uk/wp-content/uploads/2020/11/Smith-et-al-2016-Co2-emissions-in-shiping-targets-pathways.pdf> (20.4.2022)
- ▶ Statista (2020): Age distribution of the world merchant fleet in 2019-2020, by vessel type. <https://www.statista.com/statistics/1102442/age-of-world-merchant-fleet-by-vessel-type/> (20.4.2022)
- ▶ Statista (2021a): Schiffbau. <https://de.statista.com/statistik/studie/id/15321/dokument/schiffbau-statista-dossier/> (24.5.2022)
- ▶ Statista (2021b): Seeschiffahrt und Häfen. <https://de.statista.com/statistik/studie/id/6760/dokument/see-schiffahrt-und-haefen-statista-dossier/> (24.5.2022)
- ▶ Statista (2021c): Trends im Schiffbau. <https://de.statista.com/statistik/studie/id/85394/dokument/trends-im-schiffbau/> (24.5.2022)
- ▶ UN (United Nations) (2020): Review of Maritime Transport 2020. New York
- ▶ Wissner, N.; Cames, M. (2021): Ausweitung des EU-ETS auf den Seeverkehr. Zentrale Aspekte des Vorschlags der EU-Kommission vom 14.7.2021. Umweltbundesamt (Hg.), Dessau-Roßlau

Das Horizon-Scanning ist Teil des methodischen Spektrums der Technikfolgenabschätzung im TAB.

Mittels Horizon-Scanning werden neue technologische Entwicklungen beobachtet und diese systematisch auf ihre Chancen und Risiken bewertet. So werden technologische, ökonomische, ökologische, soziale und politische Veränderungspotenziale möglichst früh erfasst und beschrieben. Ziel des Horizon-Scannings ist es, einen Beitrag zur forschungs- und innovationspolitischen Orientierung und Meinungsbildung des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung zu leisten.

In der praktischen Umsetzung werden im Horizon-Scanning softwaregestützte Such- und Analyseschritte mit expert/innenbasierten Validierungs- und Bewertungsprozessen kombiniert.

Horizon
SCANNING

Herausgeber: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

Gestaltung und Redaktion: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Bildnachweise: © richard johnson/iStock (S. 1); © AvigatorPhotographer/iStock (S. 2); © kokouu/iStock (S. 4); © Sabine Wagner/iStock (S. 5); © Kittikorn/iStock (S. 6)

ISSN-Internet: 2629-2874