

TAB-Fokus Nr. 50 | Januar 2026
zum Arbeitsbericht Nr. 216

Nachhaltige und sichere Konzepte für eine klimaverträgliche Schifffahrt

Worum es geht

Rund 80 % des weltweiten Güterverkehrs entfallen auf die Seeschifffahrt – vor allem auf Container-, Massengut- und Tankschiffe –, die überwiegend mit fossilen Kraftstoffen wie Schweröl und Marinediesel betrieben werden. Trotz ihrer hohen Energieeffizienz verursacht die Schifffahrt somit insgesamt rund **3 % der weltweiten Treibhausgasemissionen**. Wäre sie ein Land, würde die Schifffahrt vor Deutschland auf Platz 5 der größten Emittenten liegen. Sollen die Ziele des Pariser Klimaabkommens erreicht werden, muss deshalb auch die Schifffahrt klimaverträglicher werden.

Die Schifffahrt zählt allerdings, wie beispielsweise auch die Luftfahrt, zu den am schwersten zu dekarbonisierenden Sektoren. Aufgrund der großen Transportdistanzen und des hohen Energiebedarfs ist eine direkte Elektrifizierung über batterieelektrische Antriebe in den meisten Fällen nicht praktikabel. Stattdessen müssen fossile durch **erneuerbare Kraftstoffe** ersetzt werden, deren Herstellung aus erneuerbarem Strom oder Biomasse jedoch mit erheblichem technischem und wirtschaftlichem Aufwand verbunden ist. Der Einsatz dieser Kraftstoffe ist somit deutlich teurer als fossile Alternativen. Deshalb müssen zusätzlich **bauliche und betriebliche Maßnahmen** umgesetzt werden, um den Kraftstoffverbrauch wirkungsvoll zu senken.

Nicht nur technisch, auch regulativ ist die Dekarbonisierung der Schifffahrt eine große Herausforderung. Als globale Branche erfordert sie **klimapolitische Regelungen auf internationaler Ebene**, die angesichts der langen Lebensdauer von Schiffen von 25 bis 30 Jahren auch die Bestandsflotte berücksichtigen müssen. Angesichts der Vielzahl beteiligter Akteure und komplexer internationaler Regelwerke erfolgen viele Entscheidungen noch zu langsam. Derzeit weisen viele Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele noch erhebliche Defizite auf.

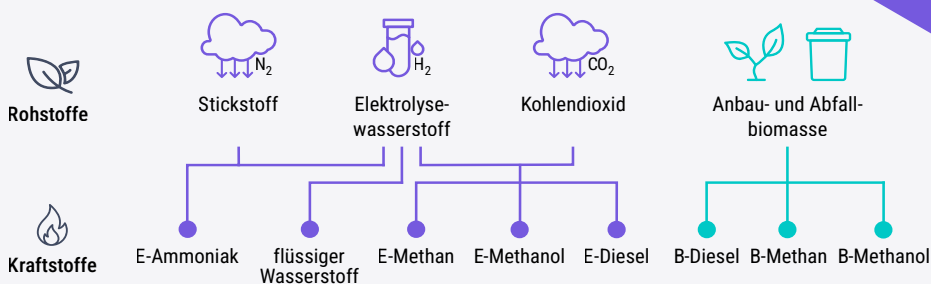
Potenziale und Herausforderungen erneuerbarer Kraftstoffe

Ein zentraler Baustein für eine klimaverträgliche Schifffahrt ist der Umstieg von fossilen auf erneuerbare Kraftstoffe, die entweder **strombasiert als E-Fuels** oder **biogen als B-Fuels** hergestellt werden. E-Fuels werden aus Wasserstoff produziert, der mittels Strom aus Wasser durch Elektrolyse gewonnen wird. Wasserstoff kann verflüssigt direkt als Kraftstoff genutzt oder mit Kohlendioxid zu E-Diesel, E-Methan und E-Methanol bzw. mit Stickstoff zu E-Ammoniak weiterverarbeitet werden. B-Fuels basieren auf Biomasse und umfassen Biodiesel sowie B-Methan und B-Methanol (Abbildung 1).

Auf einen Blick

- Die Schifffahrt verursacht rund 3 % der globalen Treibhausgasemissionen und ist einer der am schwersten zu dekarbonisierenden Sektoren.
- Die IMO und die EU streben Klimaneutralität der Schifffahrt bis 2050 an. Die Regulierungen schreiten voran, weisen aber weiterhin relevante Lücken auf.
- Erneuerbare Kraftstoffe wie E-Fuels sind eine Hauptoption für Klimaverträglichkeit. Ihr Einsatz erfordert massive Investitionen in Produktionskapazitäten für grünen Wasserstoff und maritime Infrastrukturen.
- Daneben sind Effizienzsteigerungen – etwa durch optimierte Schiffsrümpfe oder unterstützende Windantriebe – unverzichtbar, um den Kraftstoffbedarf zu senken.
- Deutschland bietet die Transformation zu klimaverträglicher Schifffahrt wirtschaftliche Chancen, die sich durch Innovationsförderung, Infrastrukturausbau sowie Mitwirkung an internationalen Regulierungsprozessen nutzen lassen.

Abbildung 1 Übersicht über erneuerbare Kraftstoffe und jeweils benötigte Rohstoffe

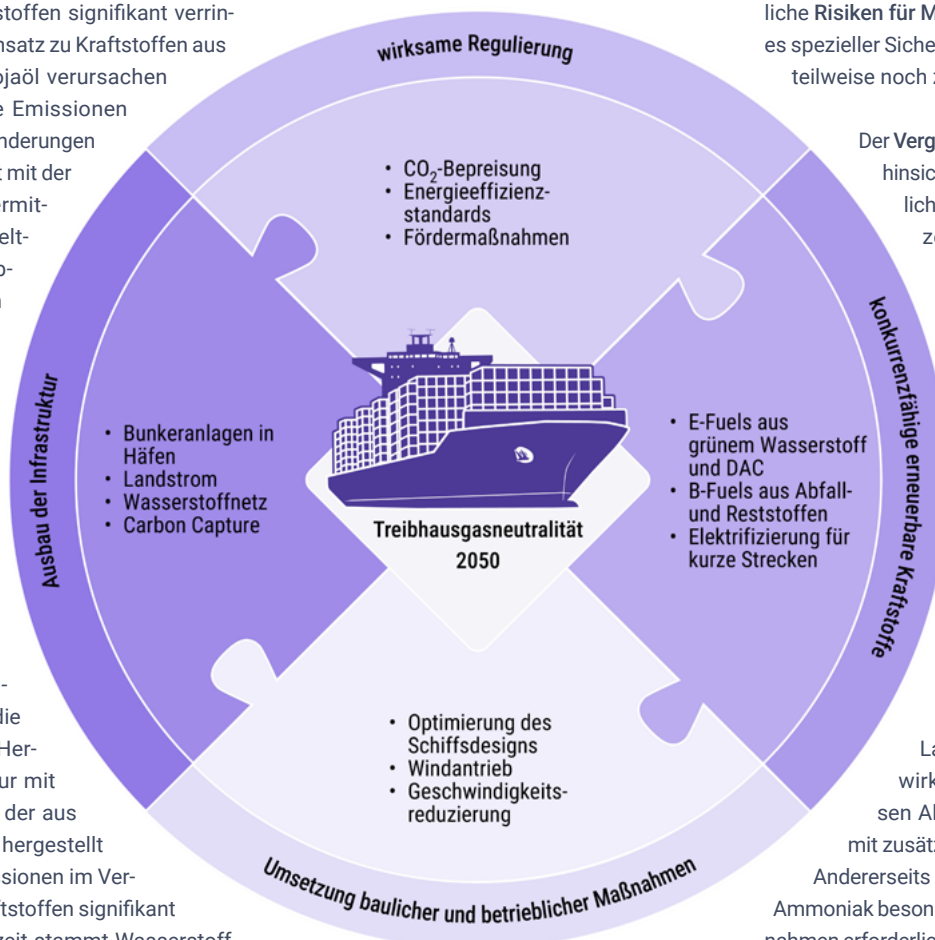


Die **Treibhausgasemissionen erneuerbarer Kraftstoffe** sind geringer als bei Schweröl und Marinediesel: Je nach Kraftstoff können zwischen 30 und fast 100 % der Emissionen fossiler Kraftstoffe vermieden werden. Die Höhe der Emissionen variiert jedoch je nach Herstellungsweg. Daher muss bei einem Vergleich der Kraftstoffe der ganze Lebenszyklus, von der Herstellung bis zur Nutzung an Bord, herangezogen werden (Well-to-Wake-Emissionen). Bei B-Fuels können Emissionen nur durch eine Herstellung aus Abfall- und Reststoffen signifikant verringert werden. Im Gegensatz zu Kraftstoffen aus Palm-, Raps- oder Sojaöl verursachen solche B-Fuels keine Emissionen durch Landnutzungsänderungen und konkurrieren nicht mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Die weltweite Menge von Abfall- und Reststoffen wird allerdings nicht ausreichen, um den prognostizierten Bedarf an erneuerbaren Kraftstoffen zu decken.

Langfristig ist die **Verfügbarkeit von E-Fuels** daher entscheidend für das Erreichen der Klimaziele. Auch hier sind die Emissionen von der Herstellung abhängig: Nur mit grünem Wasserstoff, der aus erneuerbarem Strom hergestellt wird, können die Emissionen im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen signifikant gesenkt werden. Derzeit stammt Wasserstoff überwiegend aus fossilen Quellen wie beispielsweise der Gasförderung und die Produktion von grünem Wasserstoff müsste in den nächsten Jahren massiv ausgebaut werden. Laut aktuellen Analysen der Internationalen Energieagentur

wird die bis 2030 geplante Elektrolysekapazität den Bedarf der Schifffahrt bei weitem nicht decken (Stand Oktober 2024). Zusätzlich erfordert die Produktion von E-Diesel, E-Methan und E-Methanol auch große Mengen an Kohlendioxid. Dessen Gewinnung direkt aus der Luft durch Direct Air Capture (DAC) wird langfristig in Fachkreisen eine hohe Bedeutung zugeschrieben, bislang ist die Technologie jedoch nicht ausreichend verfügbar.

beitragen werden, hängt neben den **Treibhausgasemissionen** – außer Kohlendioxid sind insbesondere Methan und Lachgas relevant – auch von ihrer **Wettbewerbsfähigkeit** gegenüber fossilen Kraftstoffen ab. Aufgrund komplexer Herstellungsprozesse und knapper Ressourcen sind erneuerbare Kraftstoffe derzeit deutlich teurer als Schweröl oder Marinediesel. Zudem erfordern einige Kraftstoffe kostenintensive Anpassungen bei Schiffen und Infrastruktur. Und schließlich bergen die Kraftstoffe unterschiedliche **Risiken für Mensch und Umwelt**, weshalb es spezieller Sicherheitsvorschriften bedarf, die teilweise noch zu entwickeln sind.



Der **Vergleich erneuerbarer Kraftstoffe** hinsichtlich Emissionen, Wirtschaftlichkeit sowie Sicherheitsrisiken zeigt, dass Ammoniak und Methanol besonders vielversprechend sind. **Ammoniak** ist von allen erneuerbaren Kraftstoffen am kostengünstigsten herzustellen, da kein Kohlendioxid benötigt wird und die Produktion in der Chemieindustrie etabliert ist. Nachteilig sind allerdings die erheblichen, teils noch ungelösten Umwelt- und Sicherheitsrisiken: Einerseits kann bei der Verbrennung Lachgas frei werden, ein hoch wirksames Treibhausgas, dessen Abscheidung aus dem Abgas mit zusätzlichen Kosten verbunden ist.

Andererseits macht die hohe Toxizität von Ammoniak besonders strenge Sicherheitsmaßnahmen erforderlich. **Methanol** hat eine günstige Emissionsbilanz, die Herstellungskosten liegen im Mittelfeld der erneuerbaren Kraftstoffe und es sind nur relativ geringe Anpassungen bei Antriebssystemen und Infrastruktur erforderlich. Entsprechend steigt die Zahl methanolbetreiber

Welche Kraftstoffe realistischerweise am meisten zu einer klimaverträglichen Schifffahrt

Schiffsneubauten weltweit. **Verflüssigter Wasserstoff** weist zwar die beste Emissionsbilanz auf, aufgrund seiner geringen Energiedichte benötigt er jedoch sehr viel Speicherplatz und ist daher vor allem für Kurzstrecken geeignet. Die übrigen Kraftstoffe, erneuerbare Diesel und Methan, sind aus Kostengründen teilweise weniger attraktiv als Methanol und Ammoniak, fungieren aber durch ihre Ähnlichkeit zu fossilen Kraftstoffen als Drop-in-Fuel: **Methan** kann in bestehenden Schiffen genutzt werden, die mit erdgasbasiertem verflüssigtem Methan (Liquefied Natural Gas – LNG)

betrieben werden. E-Diesel dürfte hauptsächlich als Zündkraftstoff, der für Wasserstoff, Methanol und Ammoniak benötigt wird, oder in bestehenden schweröl- und marinedieselbetriebenen Schiffen eingesetzt werden.

Bisher werden aufgrund der knappen Verfügbarkeit der Kraftstoffe erst sehr wenige Schiffe erneuerbar betrieben. Um diesen Anteil in den kommenden Jahren zu steigern, müssten die Produktionskapazitäten für Wasserstoff, DAC und E-Fuels ausgebaut und die Wettbewerbsfähigkeit der

erneuerbaren Kraftstoffe gegenüber Schweröl und Marinediesel durch Instrumente wie CO₂-Preise gestärkt werden. Ebenso wichtig ist der Aufbau von passenden Infrastrukturen für die Lieferung und das Bunkern der Kraftstoffe sowie die Weiterentwicklung entsprechender Sicherheitsvorschriften.

Optionen bei Effizienzmaßnahmen

Aufgrund der absehbaren Knappheit erneuerbarer Kraftstoffe ist es für eine klimafreundliche

Regulierungsrahmen

Bis 2018 war die Seeschifffahrt weitgehend von internationalen Klimaverpflichtungen ausgenommen. Inzwischen gilt auch für sie das Pariser Klimaabkommen mit dem Ziel, die Treibhausgasemissionen bis 2050 auf netto null zu senken. Die zentrale Regulierungsinstanz ist die Internationale Seeschifffahrtsorganisation (International Maritime Organization – IMO) der Vereinten Nationen. Ihre Vorschriften sind für alle Mitgliedstaaten weltweit bindend und setzen an verschiedenen Stellschrauben an: Der Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) verpflichtet Reeder, Betriebspläne zur Reduktion des Energieverbrauchs nach IMO-Vorgaben zu erstellen, während der Energy Efficiency Design Index (EEDI) und der Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) fortlaufend strengere entwurfstechnische Effizienzgrenzwerte für neue und bestehende

Schiffe festlegen. Mit dem Green House Gas Fuel Standard (GFS, Inkrafttreten 2028) bereitet die IMO zudem erstmals eine globale CO₂-Bepreisung vor, die die Treibhausgasintensität von Schiffskraftstoffen schrittweise senken soll.

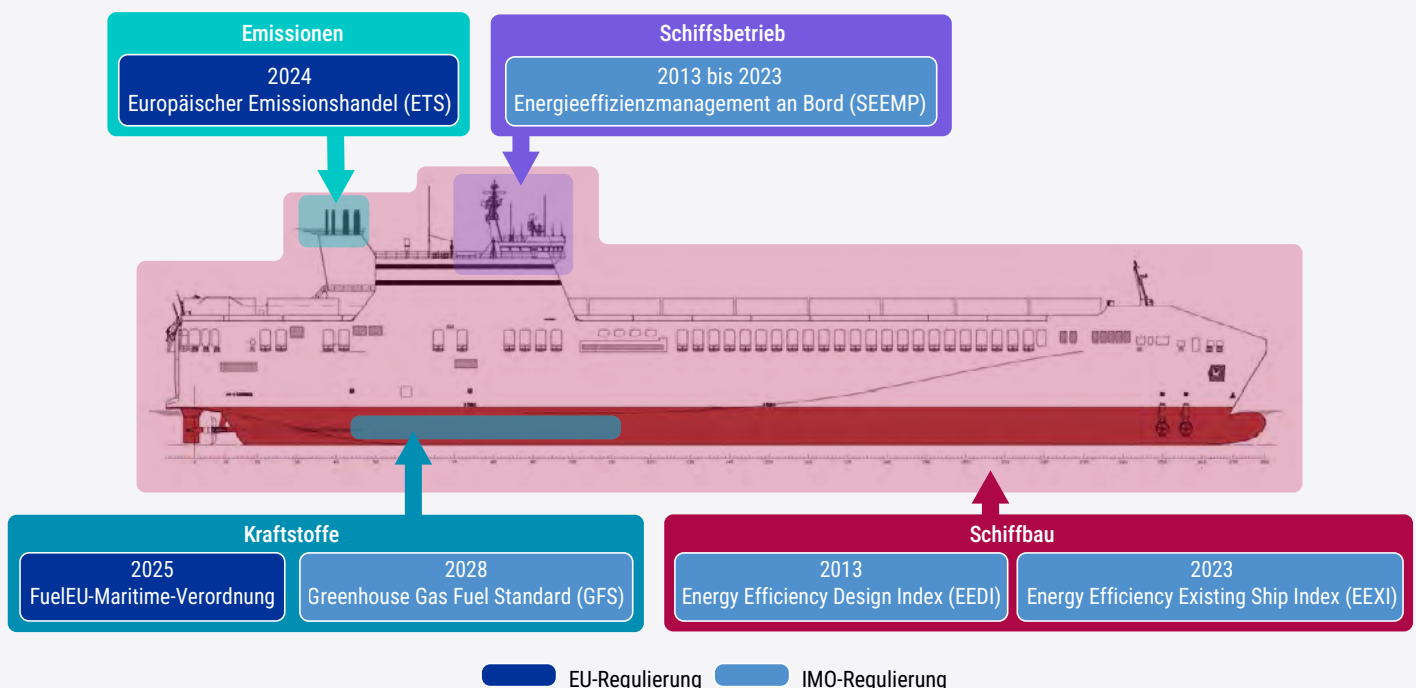
Auch die Europäische Union beeinflusst die Regulierung der Schifffahrt maßgeblich (Abbildung 2): Die seit 2025 geltende FuelEU-Maritime-Verordnung schreibt Obergrenzen für die Treibhausgasintensität der an Bord verbrauchten Energie vor, um erneuerbare und kohlenstoffarme Kraftstoffe zu fördern. Zudem ist die Schifffahrt seit 2024 Teil des EU-Emissionshandelssystems (ETS). Betroffen sind Schiffe ab einer Bruttoreaumzahl von 5.000, unabhängig von ihrer Flagge, sobald sie Häfen der EU anlaufen.

Dennoch bestehen weiterhin Schwächen im regulatorischen Rahmen. Viele Maßnahmen

erfassen nur die Momentanemissionen an Bord und vernachlässigen Emissionen der Vorkette. Außerdem konzentrieren sich die Maßnahmen der IMO – abgesehen vom GFS – fast ausschließlich auf CO₂, während andere klimawirksame Gase wie Methan und Lachgas, die durch alternative Kraftstoffe entstehen können, oft unberücksichtigt bleiben. Dadurch entstehen Anreize, die zu Fehlsteuerungen führen können.

Zwischen den EU- und IMO-Maßnahmen im Klimaschutz der Seeschifffahrt bestehen Synergien und Konflikte aufgrund unterschiedlicher Zuständigkeiten und Geltungsbereiche. Das birgt Risiken ineffizienter Doppelregulierung. Eine enge Abstimmung zwischen EU und IMO ist daher für einen wirkungsvollen Klimaschutz im internationalen Schiffsverkehr unerlässlich.

Abbildung 2 Überblick über Maßnahmen der IMO sowie der EU zur Dekarbonisierung der Schifffahrt



Quelle: nach Hohmeyer et al. (2023, S. 259)

Schifffahrt unerlässlich, sämtliche Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz zu nutzen. Der Energiebedarf von Schiffen lässt sich durch verschiedene **bauliche und betriebliche Maßnahmen** verringern, etwa durch optimierte Rumpfformen, Leichtbaumaterialien, effizientere Propeller und Ruder, unterstützende Windantriebe oder die Reduktion der Geschwindigkeit. Die Einsparpotenziale hängen jedoch von vielen Faktoren ab und sind daher schwierig abzuschätzen; die Umsetzbarkeit variiert je nach Schiffstyp.

Während die meisten baulichen Maßnahmen den Kraftstoffverbrauch nur geringfügig senken, ermöglicht eine **schlankere Rumpfform** mit größeren Hauptabmessungen ein Einsparpotenzial von 10 bis 20 %. Dies ist allerdings nur bei Neubauten möglich. Vielversprechend ist außerdem der Einsatz von **Windantrieben**: Nachrüstbare Windzusatzantriebe wie Rotorsegel können den Energiebedarf um bis zu 15 % senken, Hauptantriebe auf Windbasis bieten perspektivisch sogar noch größere Potenziale, sind jedoch derzeit technisch für Handelsschiffe kaum umsetzbar. Beide Windantriebskonzepte setzen freie Decksflächen voraus, weshalb sie vor allem für Tanker und teilweise für Massengutfrachter geeignet sind.

Bei den betrieblichen Maßnahmen wirkt sich vor allem eine **reduzierte Geschwindigkeit** sowie die regelmäßige **Reinigung von Rumpf und Propeller** positiv auf den Energieverbrauch aus – jeweils mit Einsparpotenzialen im zweistelligen Prozentbereich. Es ist allerdings zu beachten, dass effektive Maßnahmen wie die Geschwindigkeitsreduzierung oder optimierte Rumpfformen die Transportkapazität verringern können, was unter Umständen zum Einsatz zusätzlicher Schiffe führt. Zudem lassen sich die eingesparten Prozentwerte einzelner Maßnahmen nicht einfach addieren, da zwischen diesen Wechselwirkungen bestehen.

Bei Neubauten sollten energetische Aspekte daher bereits in der Entwurfsphase umfassend berücksichtigt werden. Nachrüstungen sind zwar oft teurer und weniger effizient, aufgrund der langen Lebensdauer von Schiffen (ca. 25 bis 30 Jahre) aber dennoch entscheidend für die Dekarbonisierung. Ein Großteil des Einsparpotenzials kann mit vorhandenem Know-how ausgeschöpft werden. Weitere Technologieinnovationen – etwa beim Windantrieb – sind jedoch nötig und erfordern eine starke Schiffbauindustrie. Deutschland ist hier gut aufgestellt: Die deutsche maritime Zulieferindustrie zählt international zu den führenden Anbietern und liefert zentrale Komponenten wie optimierte Ruder, Propeller oder Rotorsegel für eine energieeffizientere Schifffahrt.

Handlungsmöglichkeiten für die deutsche Politik

Eine erfolgreiche Dekarbonisierung der Schifffahrt bis 2050 basiert auf drei wesentlichen Voraussetzungen: ausreichende Produktionskapazitäten für E-Fuels, der Ausbau maritimer Infrastruktur (insbesondere in den Häfen) und eine verlässliche sowie ambitionierte Regulierung. Deutschland zählt zu den führenden maritimen Nationen und kann in allen Feldern entscheidend mitgestalten.

Für mehr Unabhängigkeit von Energieimporten ist der Aufbau inländischer **Produktionskapazitäten für grünen Wasserstoff und E-Fuels** sinnvoll. Die industrielle Herstellung steht erst am Anfang und benötigt eine durchgängige Verzahnung erneuerbarer Stromerzeugung, Wasser- und CO₂-Bereitstellung (etwa per DAC) sowie fortschrittlicher Syntheseverfahren. Weil der Strombedarf für E-Fuels enorm ist, ist ein beschleunigter Ausbau erneuerbarer Energien unabdingbar. Auch bei der Wasserstoffelektrolyse bestehen technologische Engpässe, da diese Verfahren noch skaliert und weiterentwickelt werden müssen. Besonders DAC spielt für die großindustrielle E-Fuel-Produktion eine Schlüsselrolle. Ein industrieller Hochlauf verlangt verbesserte Verfahren, umfassende Demonstrationsprojekte und deutliche Kostensenkungen. Weltweit geplante Produktionsanlagen für E-Fuels würden derzeit nur einen Bruchteil des deutschen Bedarfs decken; die Verfügbarkeit ist eine zentrale Herausforderung.

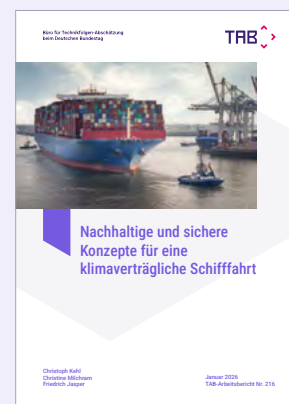
Parallel dazu sind grundlegende **Infrastrukturmaßnahmen in deutschen Häfen** nötig. Die Nationale Hafenstrategie der Bundesregierung sieht eine Modernisierung vor – etwa die Erweiterung von Bunkieranlagen für erneuerbare Kraftstoffe und die Versorgung mit grünem Landstrom zur Emissionsminderung und zum Laden batterieelektrischer Schiffe vor. Die 2023 auf EU-Ebene beschlossene Landstromverpflichtung ab 2030 erhöht den Druck auf Hafenbetreiber, entsprechende Infrastruktur zu schaffen. Dies erfordert erhebliche Investitionen, die durch gezielte Förderprogramme flankiert werden müssen.

Die für die vollständige Dekarbonisierung erforderlichen Gesamtinvestitionen sind sehr hoch. Innovative **Finanzierungsinstrumente**, wie Blue Bonds, können privates Kapital mobilisieren. Gleichzeitig entstehen für die maritime Industrie Chancen, sich im Wachstumsmarkt alternativer Antriebe und Effizienztechnologien zu positionieren. Doch lange Entwicklungszyklen und unsichere Absatzmärkte sorgen aktuell für Investitionsrisiken. Verlässliche Rahmenbedingungen,

langfristige Förderprogramme und klare Zielvorgaben sind daher notwendig, um Planungs- und Investitionssicherheit zu schaffen.

Deutschland könnte eine koordinierte **Förderstrategie** entwickeln, die den gesamten Innovationszyklus abdeckt, und parallel dazu auf EU-Ebene auf eine stärkere Harmonisierung der verschiedenen Förderprogramme hinwirken. In den kommenden Jahren hat Deutschland die Chance, durch koordiniertes Handeln sowohl zur globalen Dekarbonisierung der Schifffahrt beizutragen als auch die eigene maritime Industrie zu stärken.

TAB-Arbeitsbericht Nr. 216



Nachhaltige und sichere Konzepte für eine klimaverträgliche Schifffahrt
Christoph Kehl, Christine Milchram,
Friedrich Jasper

Projektinformationen
www.tab-beim-bundestag.de/xxx

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

Bildnachweis
Jonas Weinitschke/Adobe Stock (S. 1)

ISSN: 2364-2629
DOI: 10.5445/IR/1000190011