

Internationale Schifffahrt: Klimaneutrale Antriebe und Treibstoffe

Christopher Hecht, Thomas Hild und das Wasserstoff-Kompass-Team

Internationale Schifffahrt

Executive Summary

- Die spezifischen CO₂-Emissionen pro Tonnen-km sind bei der Überseeschifffahrt deutlich unter Land- oder Luftfracht. Gründe dafür sind langsame Geschwindigkeit und Schiffsgröße.
- Historisch war das Frachtvolumen stark mit dem weltweiten BIP gekoppelt, was eine Steigerung nahelegt. Internationale Entflechtung und Digitalisierung von Dienstleistungen könnten diesen Trend allerdings bremsen. Kreuzfahrten kommen hinzu.
- Neben CO₂ erzeugen Seeschiffe lokale Luft- und Wasseremissionen wie Ölschlamm, SO_x, NO_x, FCKWs oder Abfälle. Internationalen Konsens herzustellen, um eine verbindliche Regulierung zur Emissionsminderung zu schaffen, ist dabei oft sehr herausfordernd.
- Als alternative Treibstoffe werden vor allem Wasserstoff, Ammoniak und Methanol erprobt. LNG hat sich in den letzten Jahren stark verbreitet. Durch Methanschlupf im Schiffsmotor (insb. bei 4-Takt-Motoren) entsteht aber auch hiermit eine hohe Klimawirkung.

Agenda

Aktuelle Trends

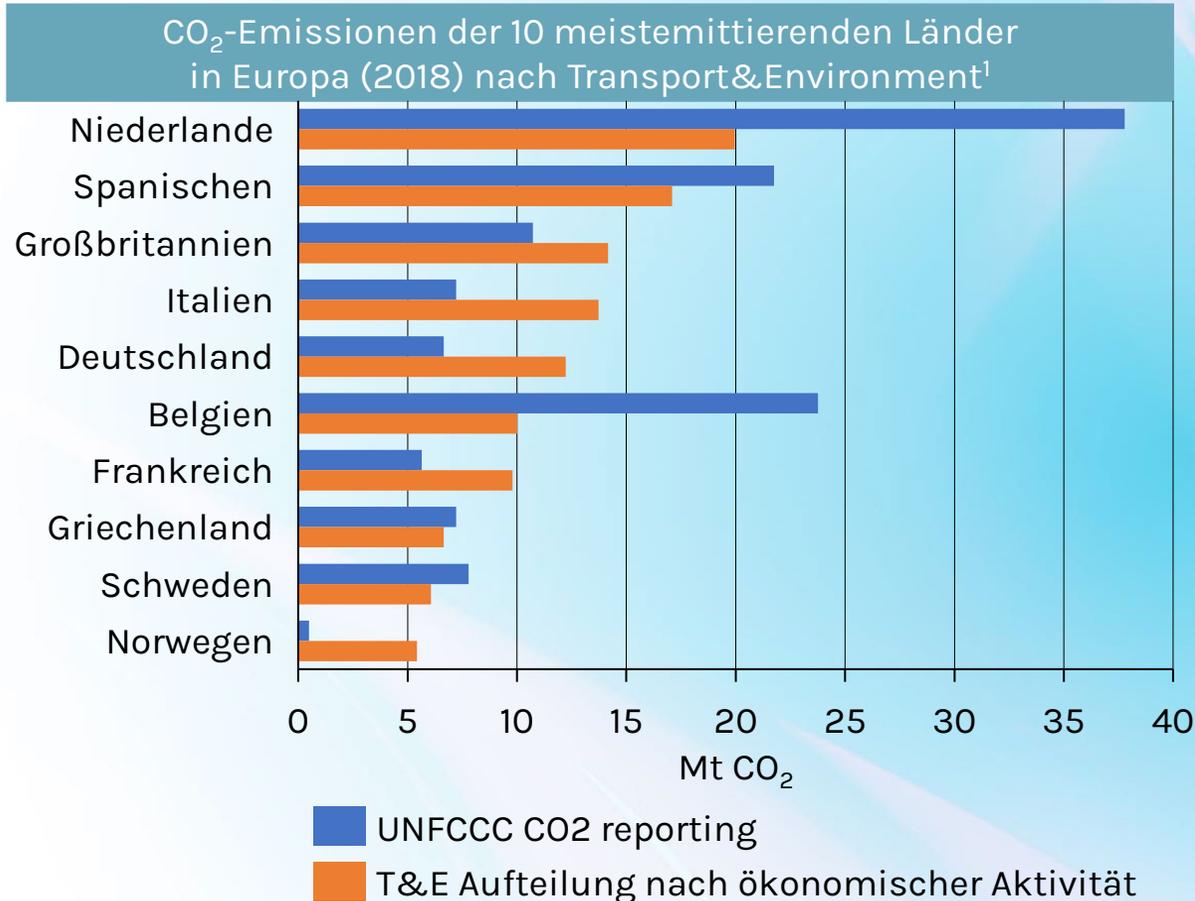
Alternative Energieträger

Prognose

Round-Table

Emissionen

CO₂-Emissionen von nationalem und internationalem Verkehr

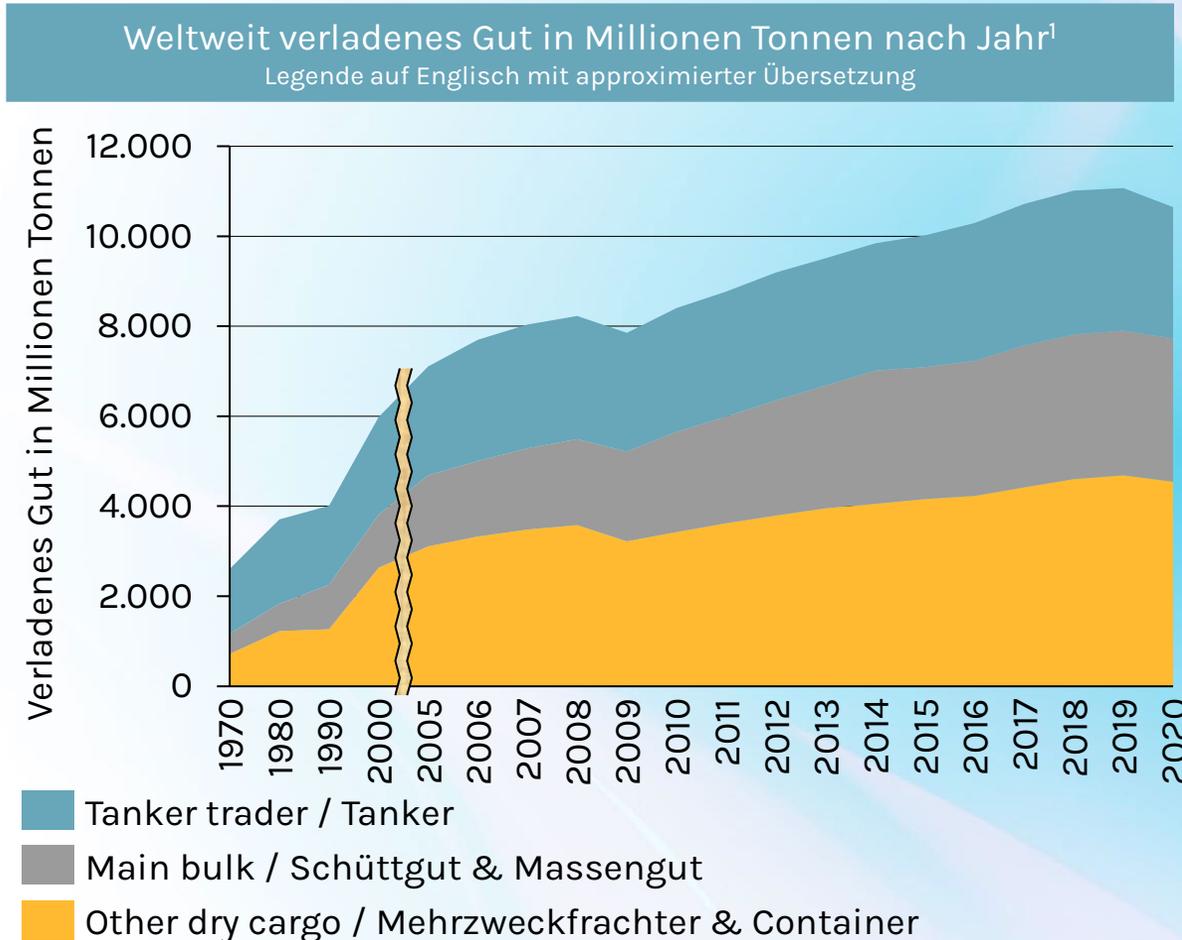


- Die Zuordnung von Emissionen zu Ländern ist nicht eindeutig. UNFCCC² nutzt die lokal verkauften Treibstoffmengen als Basis. Dadurch werden Länder mit niedrigen Treibstoffkosten überschätzt.
- Transport&Environment schreibt Deutschland auf Basis ökonomischer Aktivitäten 12,3 Mt CO₂-Emissionen in 2018 zu. Zum Vergleich: 2020 betragen die Gesamtemissionen des Verkehrs 146 Mt³.
- Etwa 7% der deutschen Schifffahrts-emissionen entstammen aus dem maritimen Transport von fossilen Energieträgern. Der EU-Durchschnitt dieses Werts liegt bei 20%¹.

1: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/Study-EU_shippings_climate_record_20191209_final.pdf ; 2: United Nations Framework Convention on Climate Change - Rahmenabkommen und angedockte Klimaorganisation der Vereinten Nationen ; 3: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschonender-verkehr-1794672>

Trends

Verkehrsleistung



- Die weltweite Verkehrsleistung im Schiffsverkehr hat sich seit 1970 etwa verdreifacht. Mit den Verwerfungen durch Corona ist die Verkehrsleistung abgesunken und Lieferketten sind weiterhin gestört.
- Inwieweit es durch die aktuelle geopolitische Situation zu einer Verschiebung des internationalen Transports kommt, bleibt abzuwarten.
- Durch die Reduktion von Transporten fossiler Energieträger könnte ein Teil der Transportleistung wegfallen. In der EU entfallen von der Gesamttransportleistung 3% auf LNG, 13% auf Öl und 4% auf Kohle. Hinzukommen werden Energieimporte wie Wasserstoff oder e-Fuels.

1: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2021_en_0.pdf

Trends

Spezifischer Energiebedarf

Energiebedarf nach Schiffsklasse und Geschwindigkeit pro nautischer Meile und Frachttonne¹



— Bulk 87m 4200 DWT
— Tanker 124m 9000 DWT
— LNGC 290m 70000 DWT
— Tanker 325m 320000 DWT
— Cont 160m 2000TEU
— Tanker 223m 75000 DWT

- Der Energiebedarf pro transportierter Tonne kann in der Schifffahrt vor allem durch größere Schiffe oder langsamere Reisegeschwindigkeit („Slow Steaming“) gesenkt werden. Geschwindigkeiten müssen aber ebenfalls innerhalb des effizienten Drehzahlbereichs des Schiffsmotors liegen.
- Verbesserungsmöglichkeiten sind der Strömungswiderstands des Schiffsrumpfs, Motoren, Ruder und Propeller sowie Energieerzeugung und -Rückgewinnung.
- Schlechte Wartung, nicht-ideales Rumpf-Design und mangelhafter Betrieb führen zu Effizienzverlusten von 30% oder mehr über die Lebensdauer eines Schiffs².

1: <https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/STUDY-ON-THE-OPTIMIZATION-OF-ENERGY-CONSUMPTION-AS-PART-OF-IMPLEMENTATION-OF-A-SHIP-ENERGY-EFFICIENCY-MANAGEMENT-PLAN-SEEMP.pdf> ; 2: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36053/1/FAL-324-WEB-ENG_es.pdf

Agenda

Aktuelle Trends

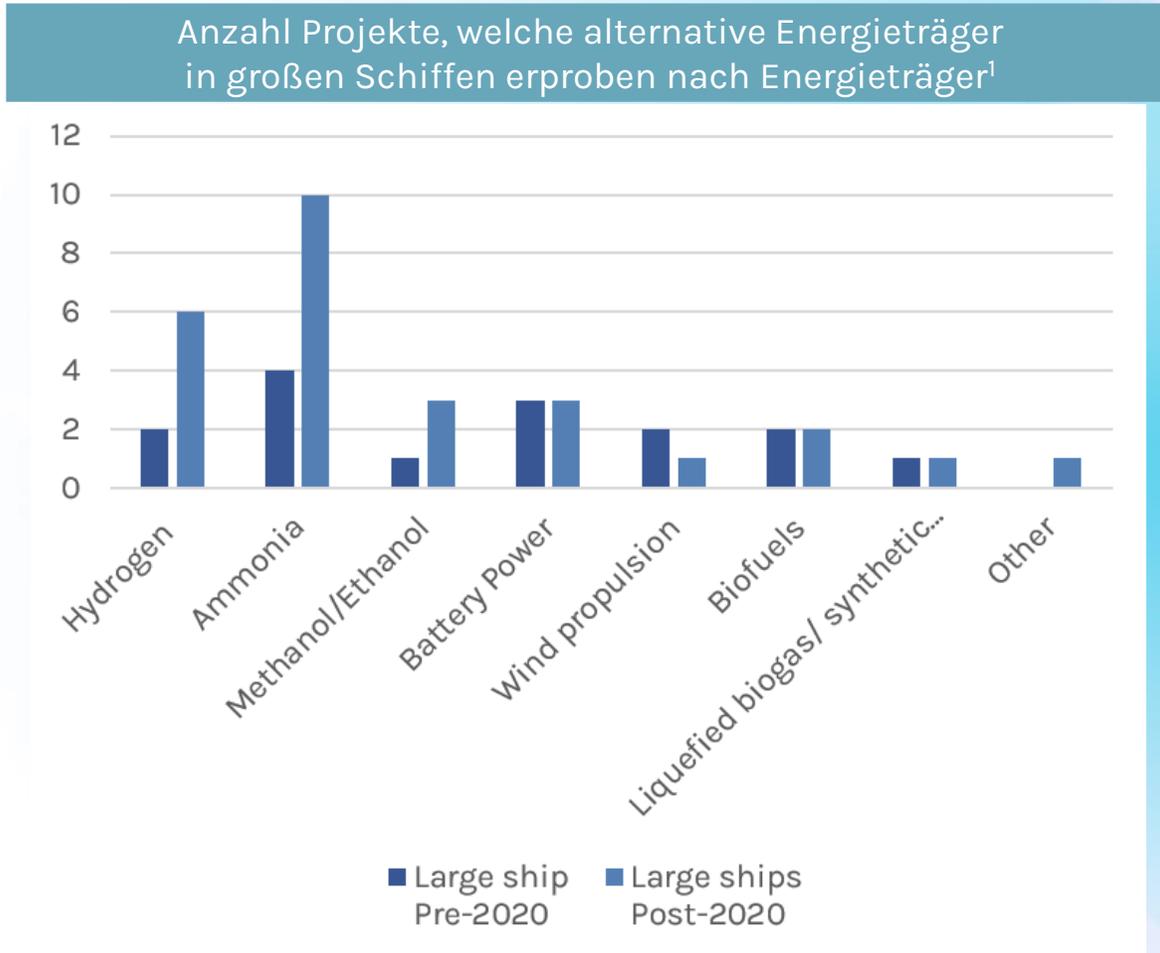
Alternative Energieträger

Prognose

Round-Table

Alternative Energieträger

Aktuell eingesetzte alternative Energieträger



- Im letzten Jahrzehnt wurden viele Schiffe auf LNG umgerüstet, da weniger CO₂ und Feinpartikelemissionen als bei Schweröl entstehen. Allerdings führt unverbranntes Methan in den Abgasen sowie in den Vorketten („Methanschluß“) zu einer z.T. höheren Klimawirkung als Diesel².
- Verschiedene Kraftstoffe werden aktuell erprobt. Eine Elektrifizierung wäre zwar energetisch am effizientesten, ist aufgrund der Energiedichte von Batterien nur über kürzere Distanzen möglich.
- Noch hat sich kein Energieträger komplett durchgesetzt und eine Koexistenz, gerade im küstennahen Bereich, ist wahrscheinlich.

1: <https://www.globalmaritimeforum.org/content/2021/03/Mapping-of-Zero-Emission-Pilots-and-Demonstration-Projects-Second-edition.pdf> ; 2: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/LNG-as-marine-fuel-working-paper-02_FINAL_20200416.pdf

Alternative Energieträger

Wasserstoff

- Wasserstoff wird in den meisten Projekten weltweit als nachhaltiger Energieträger für Schiffe eingesetzt (47 von 66 analysierten Projekten)¹. Allerdings sehen unsere Expert:innen aus dem Round Table sowie verschiedene Studien wenig Potential für Wasserstoff in der Hochseeschifffahrt.
- Aktuelle Projekte in Küstennähe setzen auf gasförmigen Wasserstoff, z.T. kombiniert mit fossilen Kraftstoffen². Für die Langstrecke ist ggfls. flüssiger Wasserstoff aufgrund der Energiedichte sinnvoll. Problematisch sind hier aber die hohen Anforderungen an die Kühlung sowie Isolierung der Tanks.
- Das Frachtvolumen reduziert sich durch die niedrige volumetrische Energiedichte von Wasserstoff z.T. deutlich. Studien errechnen hier aber unterschiedliche Werte.

1: <https://www.globalmaritimeforum.org/content/2021/03/Mapping-of-Zero-Emission-Pilots-and-Demonstration-Projects-Second-edition.pdf> ; 2: Siehe beispielsweise Projekte BeHydro und CTV Hydrogen Ship

Alternative Energieträger

Vergleich von Ammoniak und Methanol

Ammoniak und Methanol sind aktuell die wahrscheinlichsten Kraftstoffe für die Hochseeschifffahrt. In dieser Folie werden die Eigenschaften beider kurz beleuchtet.

	Ammoniak	Methanol
Effizienz	<ul style="list-style-type: none">• Alle notwendigen Ausgangsstoffe sind leicht verfügbar.• Die Synthese von Ammoniak ist ein etablierter und effizienter Prozess.	<ul style="list-style-type: none">• Direct-Air-Capture für die Bereitstellung des CO₂ ist energieintensiv.• Notwendige CO-H₂-Gemische sind industriell erprobt.
Sicherheit	<ul style="list-style-type: none">• Vergiftungserscheinungen reichen von Augenbrennen bis zu Organschäden oder Tod.• Ammoniak bildet unter Normalbedingungen ein Gas, welches leichter ist als Luft. Entlüftung ist notwendig.	<ul style="list-style-type: none">• Vergiftungserscheinungen sind Reizungen, Kopfschmerzen, Blindheit und selten der Tod.• Symptome können bei flüssiger Einnahme oder bei wiederholtem Einatmen von Dämpfen entstehen.
Umwelt	<ul style="list-style-type: none">• Ammoniak formt in Wasser Ammoniakwasser, was in geringen Dosen für maritimes Leben tödlich ist• Eine Leckage würde mehrere Quadratkilometer Meer vergiften, danach sich aber verdünnen und abbauen	<ul style="list-style-type: none">• Methanol verdünnt sich schnell und kann biologisch abgebaut werden.• Eine Leckage verursacht geringere Schäden als bei Diesel oder Benzin.



Ammoniak ist aufgrund seiner Effizienz ein guter Kraftstoff für die Hochseeschifffahrt, wenn sicherheitsrelevante Herausforderungen gelöst sind.



Methanol ist in der Nachrüstung einfacher umzusetzen, allerdings sind die höheren Energiekosten langfristig herausfordernd.

Alternative Energieträger

Weitere Energieträger

Bewertung der Einsetzbarkeit von alternativen Kraftstoffen in der Schifffahrt¹

	Brennstoff	Verfügbarkeit	Infrastruktur & Speicherung	Technische Reife	Energiedichte	Preis	Nachhaltigkeit
Fossil	VLSFO/MGO	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Schlecht
	LNG	Gut	Mittel	Gut	Mittel	Gut	Mittel
Erneuerbar	E-MFO/MGO	Schlecht	Gut	Mittel	Gut	Schlecht	Annahme: Nachhaltige Energiequelle. Ansonsten wird die Bilanz gerade bei energieintensiven Stoffen deutlich schlechter.
	E-LNG	Schlecht	Gut	Mittel	Mittel	Schlecht	
	E-Methanol	Schlecht	Anpassungen für Nutzung als Treibstoff z.T. noch notwendig		Mittel	Mittel	
	Biogen	Mittel	Gut	Gut	Gut	Mittel	
	Wasserstoff	Schlecht	Schlecht	Schlecht	Schlecht	Gut	
	E-Ammoniak	Schlecht	Mittel	Schlecht	Mittel	Mittel	

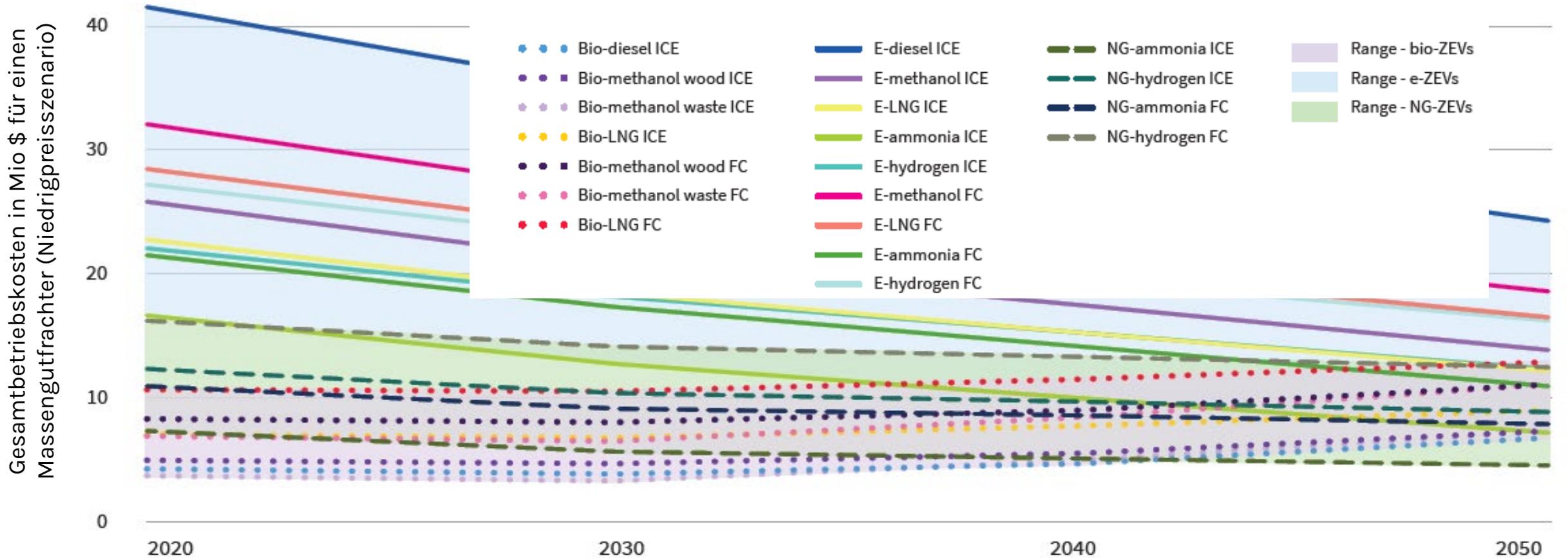
■ Schlecht
 ■ Mittel
 ■ Gut

- Die linke Grafik zeigt eine mögliche Einschätzung, welche Kraftstoffe in der Schifffahrt attraktiv sein könnten.
- Es gibt keinen Treibstoff, der in allen Kategorien den anderen überlegen ist.
- Die Gewichtung und Einschätzung der einzelnen Kategorien ist von starken Unsicherheiten geprägt.

¹: Nach Powerfuels in Maritime Transport, Global Alliance Powerfuels, prepared by dena

Alternative Energieträger

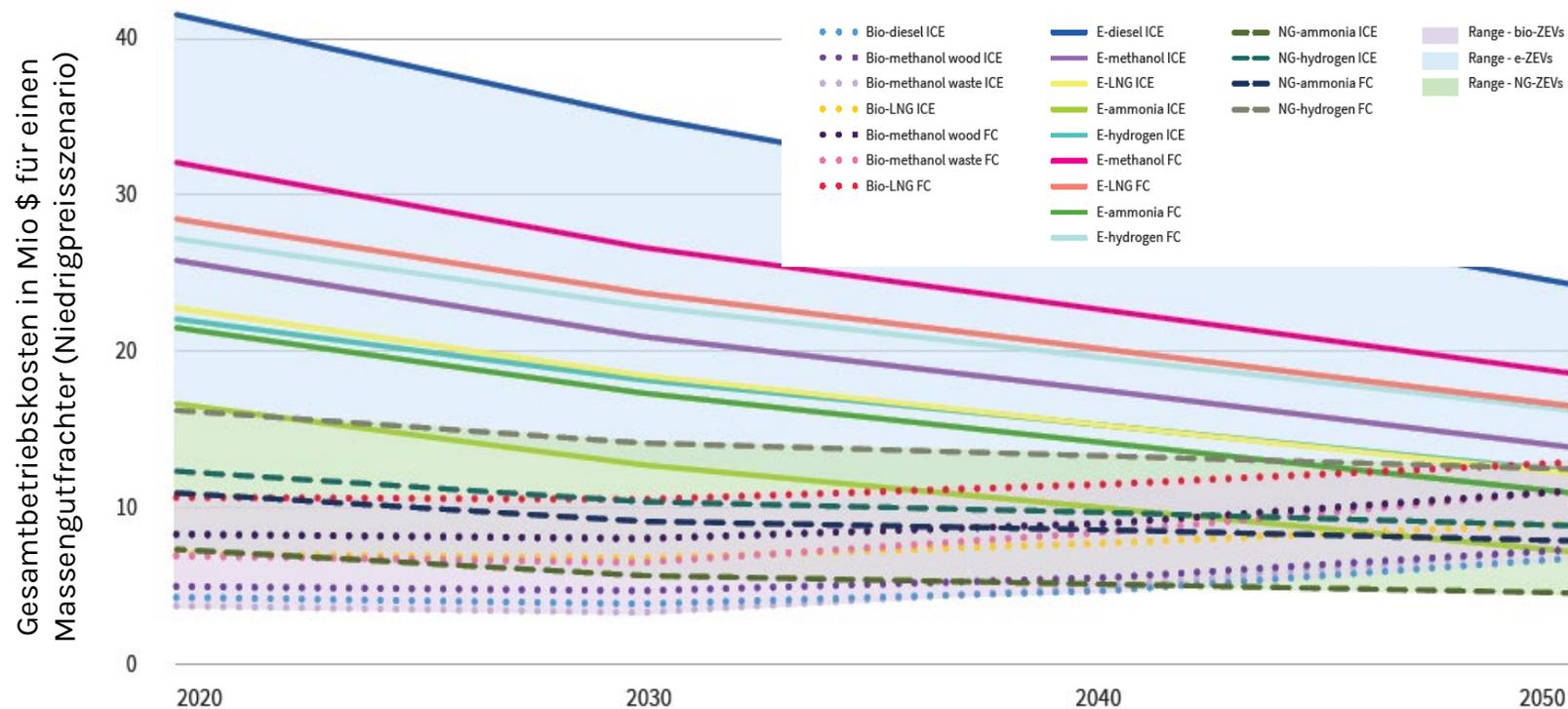
Kostenvergleich für einen Massengutfrachter (Bulk Carrier)



Quelle: <https://www.methanol.org/techno-economic-assessment-of-zero-carbon-fuels/>; ICE: Internal combustion engine, FC: Fuel cell, NG: Natural gas, ZEV: Zero emission fuel, LNG: Liquefied natural gas.

Alternative Energieträger

Kostenvergleich für einen Massengutfrachter (Bulk Carrier)



- Rein nach Kosten wären Kraftstoffe aus Biomasse die günstigsten alternativen Kraftstoffe. Allerdings sind die verfügbaren biogenen Quellen vermutlich nicht ausreichend.
- Kraftstoffe auf Basis von Erdgas in Kombination mit Carbon Capture and Storage waren 2020 kompetitiv, allerdings sind seitdem die Gaspreise stark gestiegen (nicht in Grafik).
- Bei synthetischen Kraftstoffen liegt eine starke Spreizung vor, wobei Ammoniak von den Gesamtbetriebskosten deutlich günstiger ist, sofern technische Herausforderungen gelöst werden.

Quelle: <https://www.methanol.org/techno-economic-assessment-of-zero-carbon-fuels/>

Agenda

Aktuelle Trends

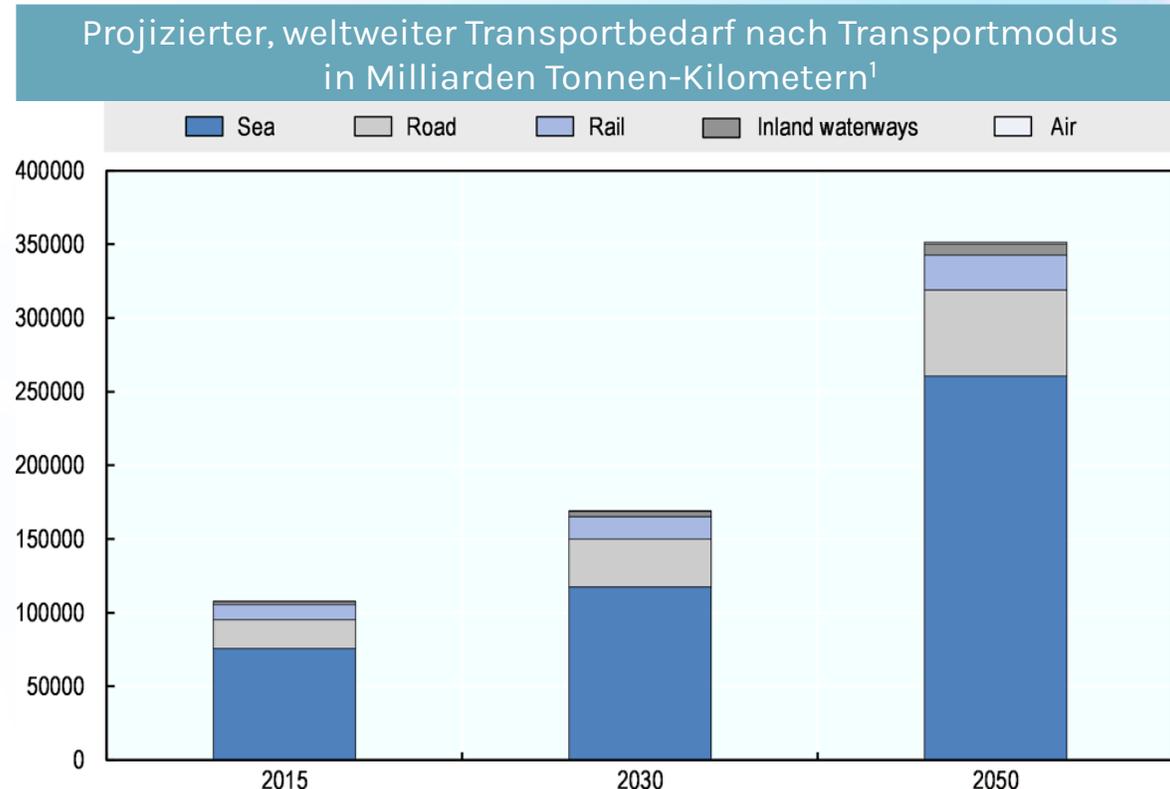
Alternative Energieträger

Prognose

Round-Table

Prognose

Verkehrsleistung



- Internationaler Güterverkehr wird in großen Teilen über Schifffahrt abgewickelt und ist gleichzeitig stark mit dem Welt-Bruttoinlandsprodukt (BIP) korreliert.
- Mit weltweit steigendem BIP steigt ebenfalls der Bedarf nach internationalem Transport.
- Schätzungen zum Transportvolumen unterliegen allerdings einer großen Unsicherheit, besonders mit Blick auf die Auswirkung der aktuellen Krisen in globalen Handelsketten. Aus diesem Grund gehen einige Akteure von einer Verlangsamung des Wachstums im globalen Frachtvolumen aus².

1: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/57f51e1e-en/index.html?itemId=/content/component/57f51e1e-en>. Flugverkehr ist gezeigt, allerdings aufgrund der Geringen Bedarfe kaum sichtbar ; 2: Quelle sind persönliche Gespräche mit Industrievertretern unter Chatham House Rules.

Prognose

CO₂-Emissionen

- Die Internationale Maritime Organisation (IMO) erwartet weiterhin einen jährlich wachsenden Bedarf an seegebundenem Gütertransport. Bei gleichbleibender Technologie ergeben sich daraus analog wachsende CO₂-Emissionen.
- Bei der Emissionsintensität hat sich die IMO folgende Ziele relativ zu 2008 gegeben: -40% bis 2030, -70% bis 2050 und -100% bis spätestens 2100¹. Verschärfungen sind aber in Planung.
- Die absoluten CO₂-Emissionen sollen 2050 ein Maximum erreichen und „Bemühungen fortgesetzt werden, dass die Reduktion im Einklang mit den Pariser Temperaturzielen ist“¹.

1: https://theicct.org/sites/default/files/publications/IMO_GHG_StrategyFinalPolicyUpdate042318.pdf

Agenda

Aktuelle Trends

Alternative Energieträger

Prognose

Round-Table

Beschreibung Konzept

Round-Table

- Der Wasserstoff-Kompass veranstaltet sog. Round-Tables, zu denen Expert:innen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung geladen werden, um bei ungeklärten Fragen ein Meinungsbild einzuholen. Zum Thema der Nachhaltigkeit im Schiffsverkehr wurde ein solcher RoundTable einberufen.
- Zwei Repräsentant:innen von Reedereien, fünf aus Wissenschaft/Thinktanks, zwei von Häfen und drei von Werften/Maschinenherstellern waren beim Round-Table anwesend. Zusätzlich wurden zwei Vorgespräche mit einem Wissenschaftler und einem Vertreter einer Reederei geführt.
- Die folgenden Thesen wurden auf Basis der Gespräche erstellt und allen Teilnehmer:innen zur Korrektur vorgelegt. Sie spiegeln somit die Kernergebnisse des RoundTables wieder.

Thesen (1/2)

- Flüssiger und gasförmiger **Wasserstoff** werden auf der Langstrecke eine **untergeordnete Rolle** einnehmen (Ausnahme: Schiffe, die Wasserstoff transportieren), sofern es zu keinem technischen Durchbruch kommt, welcher die niedrige volumetrische Energiedichte von Wasserstoff adressiert.
- **Ammoniak** weist nach aktueller Abschätzung **hohe Kostenvorteile** gegenüber anderen erneuerbaren Kraftstoffen auf. Für einen großflächigen Einsatz sind aber noch **technische und sicherheitsrelevante Herausforderungen** zu lösen. In der Passagierschifffahrt ist die Toxizität von Ammoniak eine besonders große Herausforderung.
- **Methanol** ist deutlich **einfacher** in der Handhabung als Ammoniak, wenn auch **teurer**. In der Nachrüstung ist der Wechsel zu Methanol absehbar mit geringeren Investitionen verbunden.
- **Synthetisches Methan** kann als **Drop-In-Fuel** bei LNG-Schiffen genutzt werden. **Methanschlupf** in der gesamten Produktionskette ist eine Herausforderung. Zweitaktmotoren haben einen sehr geringen Schlupf und sind bei Betrieb mit synthetischem Methan somit nahezu klimaneutral; Viertaktmotoren schneiden aktuell noch deutlich schlechter ab.

Thesen (2/2)

- Unterschiedliche Anwendungsfelder gerade in Küstennähe erfordern weiterhin **unterschiedliche Kraftstoffe**, z.B. für den Fährbetrieb oder die Binnenschifffahrt.
- **Häfen** können mit **verschiedenen Kraftstoffen** umgehen und diese gleichzeitig bereitstellen. Schon heute werden Schiffe mit verschiedenen Energieträgern (Schweröl, Schiffsdiesel, Strom, etc.) versorgt.
- Ein Wechsel zu alternativen Kraftstoffen kann über „**Green Corridors**“¹, wie bei der COP26 beschlossen, angeregt werden. Aufgrund der **bisher geringen Dynamik** ist das Ziel der IMO einer Emissionsreduktion um 40% bis 2030 gegenüber 2008 herausfordernd, auch aufgrund der geringen Verfügbarkeit alternativer Kraftstoffe.
- Regulatorisch ist verschiedenes denkbar. Beispiele sind **Quotenregelungen**, Marktsysteme wie das ETS oder die Verknüpfung der Anlandeerlaubnis an Nachhaltigkeitsstandards. Aufgrund der Dimension des Wandels ist eine **gute Planung** mit fundierten Studien notwendig.
- Die **Verfügbarkeit** von emissionsarmen Kraftstoffen muss gesichert werden, damit nicht Kraftstoffe mit schlechterer Klimabilanz genutzt werden (z.B. e-Fuels aus Kohlestrom).

1: Siehe dazu <https://www.gov.uk/government/publications/cop-26-clydebank-declaration-for-green-shipping-corridors/cop-26-clydebank-declaration-for-green-shipping-corridors>. Es handelt sich um Routen auf denen schon früh ein erstes Netzwerk von Häfen und vielbefahrenen Routen, auf denen nachhaltige Kraftstoffe zuerst eingeführt werden können.

Kontakt

Ansprechpartner*innen:

Christopher Hecht

Christopher.Hecht@isea.rwth-aachen.de

Thomas Hild

Thomas.Hild@dechema.de

Dr. Andrea Lübcke

luebcke@acatech.de

www.wasserstoff-kompass.de

acatech – Deutsche Akademie
der Technikwissenschaften
Geschäftsstelle
Karolinenplatz 4
80333 München

Hauptstadtbüro
Pariser Platz 4a
10117 Berlin
T +49 (0)30/2 06 30 96-0
F +49 (0)30/2 06 30 96-11

info@acatech.de
www.acatech.de

DECHEMA Gesellschaft für
Chemische Technik und
Biotechnologie e.V.
Theodor-Heuss-Allee
2560486 Frankfurt am Main
T +49 (0)69 75 64-0

info@dechema.de
www.dechema.de

Impressum

- „Internationale Schifffahrt: Klimaneutrale Antriebe und Treibstoffe“
- Herausgeber: acatech, Berlin, und DECHEMA, Frankfurt am Main, 2022 V.i.S.d.P.: Christoph Uhlhaas
- Geschäftsführendes Gremium des Präsidiums: Prof. Dr. Ann-Kristin Achleitner, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Dr. Stefan Oschmann, Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner
- Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, Manfred Rauhmeier
- Redaktion: Christopher Hecht/acatech, Thomas Hild/DECHEMA, Damien Rolland/DECHEMA, Michaela Löffler/acatech, Dr. Andrea Lübcke/acatech, Layout-Konzeption: Lars Ole Reimer
- Empfohlene Zitierweise: acatech, DECHEMA (Hrsg.): Internationale Schifffahrt - Klimaneutrale Antriebe und Treibstoffe, Berlin 2022.
<https://www.wasserstoff-kompass.de/news-media/dokumente/internationale-schifffahrt>

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages