



Der wahre Klimaeffekt des deutschen Luft- und Seeverkehrs

Eine Roadmap zur Erreichung der Klimaneutralität

März 2022

Transport & Environment

Veröffentlicht: März 2022

Autorin: Silke Böltz, Aviation Policy Officer

Modellierung: Valentin Simon, Data Analyst

Begleitende Expertin: Jekaterina Boening, Bereichsleiterin Energie, Klima, Kraftstoffe

Herausgeber: William Todts, Exekutivdirektor

© 2022 European Federation for Transport and Environment AISBL

Diesen Bericht zitieren:

Transport and Environment (2022): Der wahre Klimaeffekt des deutschen Luft- und Seeverkehrs. Eine Roadmap zur Erreichung der Klimaneutralität.

Weitere Informationen

Silke Böltz

Aviation Policy Officer

Transport & Environment

silke.boeltz@transportenvironment.org

Mobile: +49(0)17682196664

www.transportenvironment.org | @transenv | fb: Transport & Environment

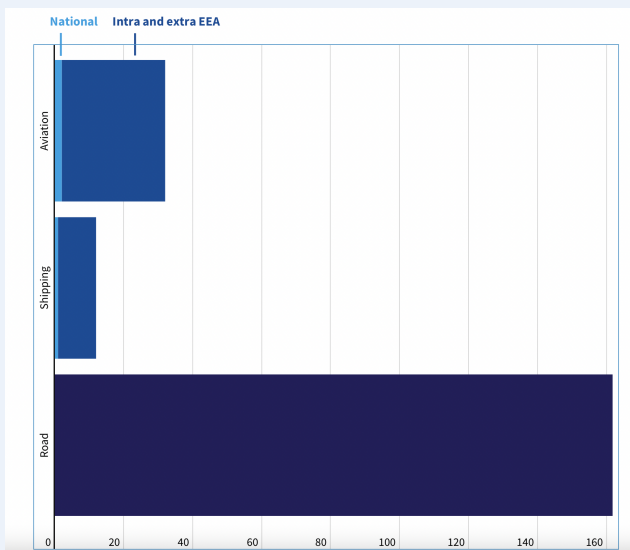
Danksagung

Die Autorin bedankt sich bei Beate Klünder, Christian Kopp und Sönke Diesener vom Naturschutzbund Deutschland (NABU) für ihr wertvolles Feedback bei der Erstellung dieses Berichts. Die in dieser Veröffentlichung dargelegten Ergebnisse und Ansichten liegen in der alleinigen Verantwortung der oben genannten Autorin.

Zusammenfassung

Deutschland ist nicht ehrlich mit seiner Klimabilanz: Unter Berücksichtigung aller Emissionen aus dem Luft- und Seeverkehr fällt das Emissionsbudget für den Verkehrssektor 25 Prozent höher aus. Mit dieser Roadmap wird Transparenz über die Gesamtemissionen des deutschen Luft- und Seeverkehrs geschaffen und zugleich Lösungen dargelegt, wie die Emissionen wirksam adressiert werden können. Dabei sehen wir drei wichtige Hebel:

- Grüne wasserstoffbasierte Kraftstoffe (RFNBOs) für die Luft- und Schifffahrt
- Effizienzsteigerungen in der Luft- und Schifffahrt
- Klimagerechte Bepreisung und Nachfragerückgang für die Luftfahrt



Grafik E.1: Nationale und internationale Emissionen des Luft- und Seeverkehrs im Vergleich mit dem Straßenverkehr

Deutschlands Ziel, bis 2045 klimaneutral zu werden, ist gesetzlich verankert. Um dieses Ziel zu erreichen, hat sich Deutschland einen Emissionsreduktionspfad verschrieben. 2030 sollte der gesamte Verkehrssektor nur noch 85 Mt CO₂-Äquivalente verursachen.

In diesem Emissionsbudget werden allerdings nicht alle Emissionen erfasst, die durch Deutschland verursacht werden. Das Klimaschutzgesetz umfasst heute nur die inländischen Flüge und Schiffsrouten und somit nur 8 Prozent der Gesamtemissionen (3,8 Mt CO₂ von 45,2 Mt CO₂) des deutschen Luft- und Seeverkehrs. Die Gesamtemissionen werden dabei als Summe von nationalen, inhereuropäischen und extra-europäischen Flügen und Schiffsrouten verstanden. Die inhereuropäischen Verkehre werden heute in der europäischen Regulierung berücksichtigt. Die Emissionen von Flugreisen und Schiffsfahrten, die zwar innerhalb Deutschlands starten, aber im (außereuropäischen) Ausland ankommen werden dagegen bisher in keinem Emissionsbudget erfasst. Die lückenhafte Erfassung von Emissionen steht deren effektiven Bekämpfung im Weg.

Die internationalen (intra- und extra-EEA) Emissionen des Luft- und Seeverkehrs machen schon heute 20 Prozent der gesamten Transportemissionen in Deutschland aus. Wenn Deutschland nicht gegensteuert, wird dieser Anteil bis 2030 auf 35,2 Prozent (46,2 Mt CO₂) an Deutschlands gesamten Verkehrsemissionen (131,2 Mt CO₂) steigen und im Jahr 2045 das Erreichen der Klimaneutralität verhindern.

Daher müssen die deutschen Emissionen auf internationalem Gebiet im ersten Schritt mit in die Berichterstattung aufgenommen und im zweiten Maßnahmen auf nationaler, vor allem aber auf europäischer Ebene ergriffen werden, um sie zu adressieren. Die drei wichtigsten Hebel sind dabei grüne wasserstoffbasierte Kraftstoffe (RFNBOs) für die Luft- und Schifffahrt, Effizienzsteigerungen sowie klimagerechte Bepreisung und Nachfragerückgang für die Luftfahrt. Mit dem Fitfor55-Paket der Europäischen Kommission hat die Bundesregierung eine einmalige Chance, bei diesen drei Themen in Zusammenarbeit mit anderen Mitgliedstaaten Fortschritt zu erzielen.

Die Bundesregierung sollte sich bei den europäischen Verhandlungen zum Emissionshandel im Luftverkehr (EU ETS) für die Einbeziehung der internationalen (extra-EEA) Flüge einsetzen. Darüber hinaus sollte die kostenlose Zuteilung der Emissionszertifikate im Luftverkehr früher auslaufen. Einnahmen aus dem Zertifikatehandel sollten für den RFNBO-Markthochlauf verwendet werden. Außerdem sollten die Nicht-CO₂-Effekte mit einem zusätzlichen Emissionsfaktor eingepreist werden.

Bei den Verhandlungen zu ReFuelEU Aviation sind höhere Quoten für die Beimischung von E-Kerosin, ergänzt durch eine Teilquote von 10 Prozent CO₂ aus der Luftabscheidung (Direct Air Capture) am E-Kerosin bis 2030, notwendig. Die Beimischung von fortschrittlichen Biokraftstoffen sollte begrenzt werden, da diese nicht auf nachhaltige Weise in der Produktion skaliert werden können. Eine Kerosinbesteuerung sollte auf europäischer Ebene eingeführt werden und falls dies nicht möglich ist, auf bilateraler Ebene verfolgt werden.

In der Schifffahrt sollte die CO₂-Bepreisung im Rahmen von EU ETS umgehend und nicht erst ab 2026 in vollem Umfang greifen. Zudem muss die Verantwortung für den kraftstoffsparenden Betrieb eines Schiffes beim Betreiber und nicht länger beim Eigentümer liegen, welcher häufig keinen direkten Einfluss hierauf hat.

Im Bereich FuelEU Maritime sollten die Emissionsminderungsziele verschärft werden, sodass bis spätestens 2050 die Klimaneutralität in der Schifffahrt erreicht werden kann. Im Seeverkehr ist die Umstellung auf LNG eine Sackgasse. Investitionen in fossile Energien, wie Flüssiggas, verlängern die Zeit, in der fossile Energieträger genutzt werden. Zudem führt der Methanschlepp zusätzlich zum Anstieg der Treibhausgase. Daher bedarf es einer RFNBO-Unterquote sowie zusätzlicher regulatorischer Anreize für den Einsatz von wirklich nachhaltigen Kraftstoffen in der Schifffahrt.

Alle diese Maßnahmen müssen durch regulatorische Anreize zur Effizienzsteigerung, vor allem in der Schifffahrt und durch einen Nachfragerückgang im Luftverkehr unterstützt werden.

Inhaltsverzeichnis

Paris-konformer Klimaschutz gelingt nur ohne Schlupflöcher	7
Wie werden die Emissionen des Luft- und Seeverkehrs heute berechnet?	9
Das Klimaschutzgesetz umfasst nur 8 Prozent der Gesamtemissionen des Luft- und Seeverkehrs	11
Die europäische Regulierung geht nicht weit genug	11
Die internationalen Emissionen machen den Löwenanteil aus	13
Luft- und Seeverkehr: Ungebremst steigende Emissionen gefährden Deutschlands Klimaziele	16
Emissionen im Luftverkehr: Weit entfernt von Fair Share	17
Schiffsverkehr: Ohne Umsteuern keine Wende in Sicht	19
Internationale Emissionen und das Ziel der Klimaneutralität 2045	20
Strategien zur Dekarbonisierung des Luft- und Seeverkehrs	21
Luftverkehr: Nachfragesteuerung und alternative Kraftstoffe als wichtigste Hebel	21
Einsatz von SAF und Wasserstoff-Flugzeugen	22
Internalisierung des Klimaeffektes des Fliegens	23
Rückgang der Geschäftsreisen	23
Die privaten Reisen bleiben auf 2019-Niveau	24
Schiffsverkehr: Mehr Effizienz und Einsatz von E-Ammoniak als wichtigste Hebel	26
Synthetische Kraftstoffe im Luft- und Seeverkehr: Chancen und Risiken	30
Handlungsempfehlungen	31
Nationale Maßnahmen	32
Internationale Emissionen des Luft- und Seeverkehrs in das Klimaschutzgesetz aufnehmen	32
NDC - Nationally Determined Contributions - Nationale Klimaschutzbeiträge	32
Die Prioritäten der Wasserstoffstrategie richtig setzen	33
Nationales E-Kerosin-Ziel	33
Empfehlungen für die deutsche Position zu "Fit for 55"	33
EU-ETS - Europäisches Emissionshandelssystem	33
Kerosinbesteuerung	36
FuelEU Maritime	37
Alternative Infrastructure Regulation (AFIR) - Betankungsinfrastruktur für alternative Kraftstoffe	39
Anhang	39
Definitionen	40

Tabelle 1: Übersicht - Verteilung der Emissionen aus dem Luft- und Seeverkehr, Kapitel 2 40	
Berechnung der 38,4 Prozent Emissionsanteil (Kapitel 3)	41
Abbildung 3: Deutsche Luftfahrtemissionen bis 2050, Kapitel 3.1	42
Abbildung 4: Deutsche Schifffahrtsemissionen bis 2050, Kapitel 3.2	43
Abbildung 8: Emissionen der deutschen Schifffahrt bis 2050 - Dekarbonisierungsprognose, Kapitel 4.2	43
Literaturverzeichnis	44

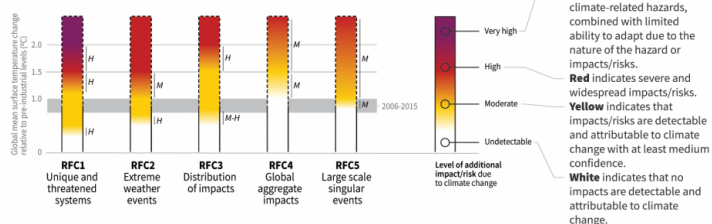
1. Paris-konformer Klimaschutz gelingt nur ohne Schlupflöcher

Die Klima-Uhr des Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) zeigt: Es verbleiben nur noch etwa sieben Jahre, bis das globale CO₂-Budget für das 1,5 Grad Ziel ausgeschöpft ist [1]. Das Erreichen dieses Ziels ist entscheidend für unsere Gesellschaft, denn bei einer weiteren Erwärmung drohen uns noch massivere Ökosystem-Verluste, auf denen unsere Lebensgrundlage aufbaut. Der IPCC¹-Sonderbericht zu 1,5 °C [2] macht den Unterschied zwischen einer Erwärmung von 1,5 °C oder 2 °C deutlich (siehe Abbildung 1). Beispielsweise sind die Auswirkungen auf Landökosysteme bei einem Temperaturanstieg von 1,5°C weitaus geringer als bei 2°C. Das gleiche gilt z. B. auch für das Risiko von Flussüberflutungen.

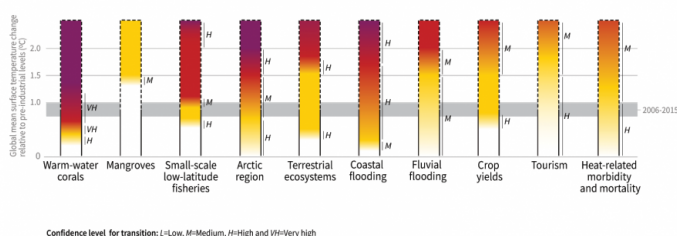
How the level of global warming affects impacts and/or risks associated with the Reasons for Concern (RFCs) and selected natural, managed and human systems

Five Reasons For Concern (RFCs) illustrate the impacts and risks of different levels of global warming for people, economies and ecosystems across sectors and regions.

Impacts and risks associated with the Reasons for Concern (RFCs)



Impacts and risks for selected natural, managed and human systems



Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2045 netto **klimaneutral** zu werden, um seinen Beitrag zur Erreichung der Pariser Ziele zu leisten. Dieses Ziel ist im Klimaschutzgesetz verankert. Es muss garantiert werden, dass **tatsächlich** Klimaschutz erfolgt, damit Deutschland in Solidarität mit bereits heute massiv betroffenen Ländern und mit dem Hintergrund einer historischen Verantwortung seinen fairen Anteil leisten kann. Daher ist es essentiell, dass eine ganzheitliche Betrachtung aller Sektoren sichergestellt wird.

Abbildung 1: Auswirkung des

Klimawandels auf verschiedene Systeme.

Derzeit ist dies jedoch nicht der Fall. Das **Klimaschutzgesetz** ist nicht Paris-konform (1,5 °C), denn es umfasst nicht alle von Deutschland verursachten Emissionen. Derzeit wird der internationale Luft- und Seeverkehr weder im Klimaschutzgesetz noch in der europäischen Regulierung ausreichend berücksichtigt. Die Emissionen der Flüge von z. B. Berlin nach Washington und Schiffsfahrten von z. B. Hamburg nach Shanghai befinden sich in der grauen

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Zone der Regulierung, machen aber zugleich den Großteil der Emissionen des Luft- und Seeverkehrs aus. So zum Beispiel betragen die internationalen (extra-EEA) Emissionen des Luftverkehrs in Deutschland über 70 Prozent an den gesamten Emissionen.

Angesichts der aktuellen globalen Klima-Lage ist dieser Zustand nicht akzeptabel. Wir dürfen keine Zeit mehr verlieren. Nationalstaaten weltweit müssen die Verantwortung für die internationalen Emissionen des Luft- und Seeverkehrs übernehmen und diese in ihre Klimaregulierung aufnehmen. Bislang ist allerdings nur Großbritannien mit gutem Beispiel voran gegangen. Ab 2033 [3] werden die Emissionen des Luft- und Seeverkehrs ganzheitlich im nationalen CO₂-Budget berücksichtigt. Die Europäische Kommission hat hingegen eine wichtige Chance mit ihrem Vorschlag für "Fit-for-55" verpasst, denn insbesondere mit Blick auf den internationalen Luftverkehr ist dieser sehr enttäuschend.

Durch die Aufnahme von internationalen Emissionen des Luft- und Seeverkehrs in das nationale Klimaschutzgesetz kann Deutschland ein wichtiges Zeichen dafür setzen, dass diese Emissionen dringend adressiert werden müssen. Die Dekarbonisierung der internationalen Mobilität ist eine große Herausforderung, die aber zugleich neue Potenziale für die deutsche Industrie, insbesondere für den Anlagen- und Maschinenbau, eröffnet. Erst mit signifikanten Kapazitäten an Elektrolyse, Synthesanlagen und Speicher kann Klimaneutralität auch im Luft- und Seeverkehr gelingen.

Diese Roadmap für die Luft- und Schifffahrt legt dar, warum wirksamer Klimaschutz nur gelingen kann, wenn alle Transportemissionen mit in nationale Kohlenstoffbudgets aufgenommen werden. Die nationalen sowie internationalen Emissionen eines Landes sollten gleichermaßen für die sie betreffenden Regulierungen gelten, wie in dieser Roadmap erklärt. Sie zeigt ebenfalls auf, warum die Emissionen sinken müssen und wie dies geschehen kann.

In Kapitel 2 wird zunächst erläutert, wie die Emissionen des Luft- und Seeverkehrs heute angerechnet werden. Dies wird für Deutschland, die europäische und internationale Ebene dargestellt. Im dritten Kapitel wird die prognostizierte Entwicklung der Emissionen bis 2030 und 2050 gezeigt. In Kapitel 4 wird auf die Gesetzesebene eingegangen, bevor Kapitel 5 Möglichkeiten zur Dekarbonisierung aufzeigt. Abgeschlossen wird mit unseren Handlungsempfehlungen.

2. Wie werden die Emissionen des Luft- und Seeverkehrs heute berechnet?

Aktuell werden die internationalen Emissionen des Luft- und Seeverkehrs nicht ausreichend adressiert. In diesem Kapitel werden die verschiedenen Berichts- und Darstellungsvorgaben auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene vorgestellt.

Unter die **nationalen Emissionen** fallen die Inlandsflüge sowie die Schiffsrouten in Binnengewässern. Im Rahmen der **europäischen Regulierung** werden derzeit Flüge und Schiffsrouten nur innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraumes (EEA) berücksichtigt. Die Flüge und Schiffsrouten aus der EEA in Drittländer unterliegen derzeit keiner europäischen oder nationalen Regulierung.

Die **Gesamtemissionen des Luft- und Seeverkehrs** für Deutschland ergeben sich daher aus drei Komponenten: National, europäisch, extra-EEA, wobei man die europäischen und extra-EEA-Emissionen als internationale Emissionen des deutschen Luft- und Seeverkehrs bezeichnen kann.

Die UNFCCC² berechnet die Gesamtemissionen des Luft- und Seeverkehrs eines Landes anhand des in diesem Land abgesetzten Kraftstoffes. Während dies eine verlässliche Methode für die Berechnung der Gesamtemissionen des Luftverkehrs in Deutschland darstellt, zeigt sie ein verzerrtes Bild für den Seeverkehr, da die Schiffe nicht immer an den Häfen tanken, zu denen sie ihre Waren transportieren. Die routenbasierte Methode bietet hier daher eine verlässlichere Alternative (siehe INFO BOX 1 für weitere Informationen).

	Luftfahrt	Schifffahrt
National	2,2 Mt (7 %)	1,6 Mt (12 %)
Intra-EEA	7,1 Mt (22 %)°	11,4 Mt (88 %)
Extra-EEA	22,9 Mt (71 %)*	
Gesamt	32,2 Mt (100 %)	13 Mt (100 %)

Tabelle 1: Übersicht - Verteilung der Emissionen aus dem Luft- und Seeverkehr, 2019

* Laut UNFCCC: alle abgehenden Flüge

° T&Es eigene Berechnung

Schifffahrt: T&Es eigene Berechnung auf Basis des Gütertransportes als Annäherung an den routenbasierten Ansatz analog zum MRV (EU Verordnung zur Überwachung, Berichterstattung und Prüfung der CO₂-Emissionen aus dem Seeverkehr (MRV-System)). Für Intra-EEA sind keine Daten verfügbar, da aufgrund der Berechnungsmethode keine Routen-basierte Allokation möglich ist, wie in INFO BOX 2 erläutert wird .

² United Nations Framework Convention on Climate Change.

2.1. Das Klimaschutzgesetz umfasst nur 8 Prozent der Gesamtemissionen des Luft- und Seeverkehrs

Für Deutschland gilt seit 2019 ein Klimaschutzgesetz, welches 2021 reformiert wurde. Es beinhaltet Reduktionsziele für CO₂-Emissionen für alle Wirtschaftssektoren, darunter auch Verkehr. Für das Jahr 2030 wird die erlaubte Emissionsmenge im Verkehrssektor auf 85 Mio. t CO₂equ. begrenzt. Im Klimaschutzgesetz werden nur die Inlandsflüge sowie die inländischen Schiffsrouten berücksichtigt³. D. h. nur 3,8 Mt CO₂ (2,2 Mt CO₂ Luftverkehr und 1,6 Mt CO₂ Seeverkehr) oder 8 Prozent von insgesamt 45,2 Mt CO₂, die von Luft- und Seeverkehr in Deutschland verursacht werden.

Das bedeutet zugleich, dass das Klimaschutzgesetz keine "echte" Klimaneutralität Deutschlands im Jahr 2045 sicherstellen kann.

2.2. Die europäische Regulierung geht nicht weit genug

Die europäische Regulierung umfasst derzeit nur den See- und Luftverkehr innerhalb der EEA. Die internationalen Emissionen werden zwar erfasst, sind jedoch nicht Gegenstand der Reduktionsverpflichtungen.

Der Kommissionsvorschlag, das "Fit for 55"-Paket, sieht einige Änderungen vor. So werden ab 2024 50 Prozent der internationalen Emissionen aus dem Seeverkehr in den Europäischen Emissionshandel (EU ETS) aufgenommen werden. Die internationalen Flugemissionen bleiben jedoch unberücksichtigt.

Derweil werden Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr im EU-ETS nicht erfasst, sind jedoch im europäischen Klimaschutzbeitrag (NDC) erwähnt. Die Hälfte aller internationalen Luftverkehrsemissionen (also z. B. alle abgehenden Flüge) fallen dort in die Reduktionsverpflichtung von 55 Prozent gegenüber 1990.

Während internationale Schiffsemissionen also in "Fitfor55" enthalten sind, aber keine Luftverkehrsemissionen, sieht es im NDC genau andersherum aus. Dieses Vorgehen ist inkonsistent und sollte vereinheitlicht werden, indem alle internationalen Emissionen mindestens zur Hälfte sowohl in die Reduktionsverpflichtungen als auch in den europäischen Emissionshandel aufgenommen werden.

³ Im deutschen Klimaschutzgesetz ist explizit nur der "zivile[m] inländische[n] Luftverkehr" und der "inländische[] Schiffsverkehr" enthalten (KSG, Anlage 1) und muss in den Jahren der Anwendung nach den Quellkategorien 1.A.3.a (für inländischen Luftverkehr) und 1.A.3.d (für inländischen Schiffsverkehr) des Common Reporting Formats (CRF) des UNFCCC aufgeschlüsselt werden.

INFO BOX 1:

Luft- und Seeverkehr in deutscher und europäischer Gesetzgebung

Deutscher Kontext

- Nationales Gesamtziel: Netto-null bis 2045; -65 Prozent bis 2030 ggü. 1990
- Verkehrssektor: auf absolutes Ziel 85 Mt CO₂ bis 2030 reduzieren
- Binnenschifffahrt und inländische Flüge sind vom Ziel abgedeckt

EU-ETS

- Emissionen aus Intra-EEA Flügen werden im ETS gehandelt. D. h. Emissionen aus deutsch-deutschen und deutsch-intra-EEA-Flügen ebenfalls.
- Extra-EEA Flüge werden nicht im EU-ETS gehandelt, sondern in ICAO/CORSIA verwaltet.
- Die Schifffahrt ist bisher nicht im EU ETS enthalten.

EU NDC

Es gibt keine nationalen oder kein deutsches NDC. Das europäische NDC [4] wird per Effort-Sharing-Regulation [5] auf die verschiedenen Nationalstaaten aufgeteilt. Es gibt das erste oder "initiale" NDC eines Landes, welches 2015 erst als "Intended Nationally Determined Contribution" (INDC) veröffentlicht wurde und dann bei der entsprechenden Ratifizierung des Pariser Abkommens durch das jeweilige Land in ein NDC (ohne intended) überging. In der Zwischenzeit haben viele Länder ihre NDCs, wie gefordert, überarbeitet und einige Länder haben bereits ihr zweites NDC (nach erneuerten Berichtsstandards) veröffentlicht. Dabei muss das folgende NDC immer ambitionierter als das vorherige sein (Ratcheting-up Mechanismus).

- - 55 Prozent GHG bis 2030 ggü. 1990, netto-null bis 2050
- Deckt Intra-EEA-Flüge und 50 Prozent der Extra-EEA-Flüge ab sowie die Intra-EEA-Binnenschifffahrt

UN-Berichtsvorschriften

In den IPCC Richtlinien für nationale THG-Inventare von 2006 [13] ist festgelegt, dass internationale Emissionen (z. B. aus der Luft- und Schifffahrt) oder gemeinsame Emissionen als Vermerke ("memo items") aufgeführt werden dürfen, jedoch nicht der nationale Gesamtmenge ("national total") zugerechnet werden.

Kommissionsvorschlag "Fit for 55" (Ff55), Juni 2021

Luftfahrt

- EU-ETS
 - Die kostenlose Zuteilungen für den Luftverkehr im EU-ETS sollen bis 2027 auslaufen.

- Cap: die absolute Zahl der Zertifikate für intra-EEA-Flüge bleibt auf das aktuelle Niveau begrenzt.
- Der lineare Reduktionsfaktor wird auf 4,2 Prozent erhöht: Dadurch sinkt die absolute Zahl der Zertifikate stetig.
- Die neu eingeführte Marktstabilitätsreserve passt die Zertifikatenmenge im Markt an, sodass der Preis der Zertifikate nicht zu sehr absinkt.
- ReFuelEU Aviation
 - Beimischungsziele für nachhaltige Kraftstoffe: 2 Prozent Sustainable Aviation Fuels (SAF) in 2025 und 5 Prozent 2030. Davon 0,7 Prozent E-Kerosin 2030. Biokraftstoffe der ersten Generation sind ausgeschlossen.

Schifffahrt

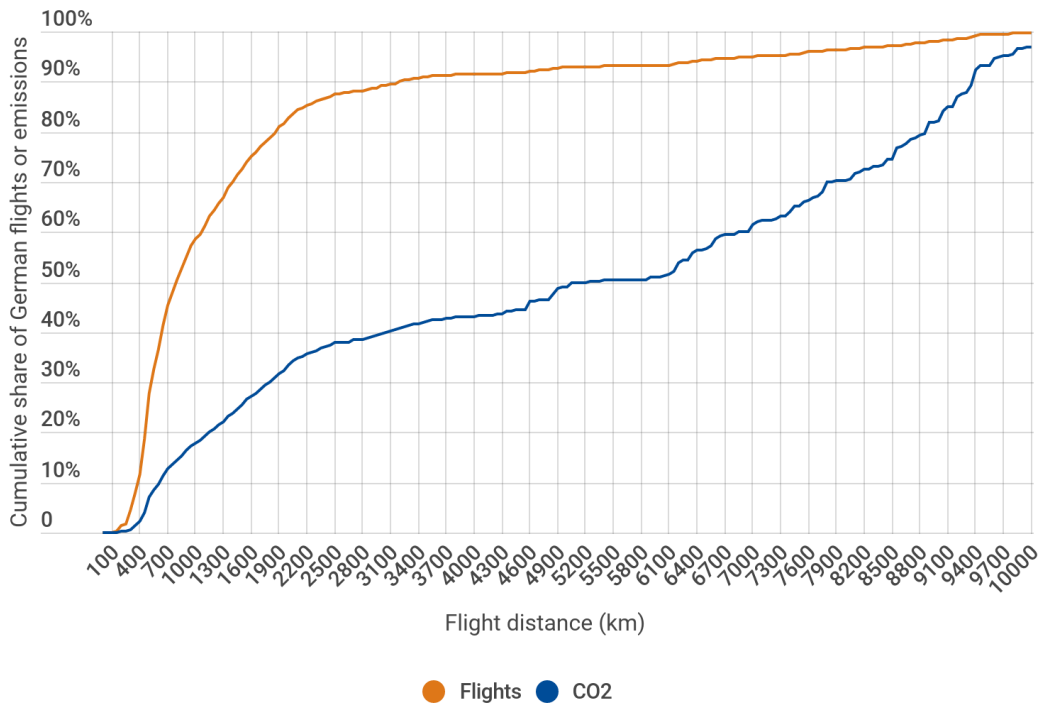
- EU-ETS: Wird auch auf die Schifffahrt ausgeweitet:
- Schiffe ab 5000 t werden ab 2023 im EU-ETS berücksichtigt. Die EEA-Binnenschifffahrt und 50 Prozent der internationalen Emissionen sind erfasst. Die Bepreisung wird über drei Jahre hinweg steigend eingeführt. Das erste Mal muss 2027 berichtet werden.
- FuelEU Maritime
 - Emissionseinsparreduktionsziele für die Schifffahrt von - 2 Prozent CO₂ 2025 bis -75 Prozent 2050 sollen erreicht werden durch. LNG soll als eine Erfüllungsoption gelten. Keine besonderen Anreize für nachhaltige alternative Kraftstoffe.
 - Treibstoffstandards
 - Landverkabelung am Liegeplatz im Hafen oder andere Null-Emissionstechnologien für die umweltschädlichsten Schiffe
 - Angleichung an weitere ETS und MRV-Verpflichtungen

2.3. Die internationalen Emissionen machen den Löwenanteil aus

Die Flüge aus Berlin nach Washington oder Schiffsfahrten von Hamburg nach Istanbul werden heute weder von der nationalen noch von der europäischen Regulierung adressiert. Dabei machen diese Flüge/Routen den Löwenanteil der Gesamtemissionen aus (s. Tabelle 1).

Im Luftverkehr machen die Flüge aus Deutschland zu extra-EEA-Zielen mit 22,9 Mt CO₂ 71 Prozent der Gesamtemissionen des Luftverkehrs aus. Rechnet man die intra-EEA Flüge mit, die von deutschem Boden starten, so machen die internationalen Emissionen des Luftverkehrs in Deutschland 30 Mt CO₂ oder 93 Prozent aus.

Dass die internationalen Emissionen so viel höher sind als die inländischen, zeigt auch das Verhältnis von Emissionen zu Fluglänge. Nur 7 Prozent der Flüge, in diesem Fall die sehr langen Langstreckenflüge, machen bereits 50 Prozent der durch Deutschland verursachten Emissionen aus. Zum Vergleich ein Flug von 5200 km entspricht in etwa der Strecke von Berlin nach Peking.



Source: in-house calculation of emissions based on ICAO emission calculator methodology, using AIS aircraft data purchased to PlaneFinder.

Abbildung 2: Kumulierter Anteil der Emissionen und Flüge ab Deutschland im Jahr 2019 in Abhängigkeit von der Flugstrecke.

Bei der **Schifffahrt** sieht es ähnlich aus. Auch hier wird der Großteil der durch Deutschland verursachten Emissionen durch internationale Fahrten verursacht. So machen die intra- und extra-EEA-Emissionen des Seeverkehrs in Deutschland mit 11,4 Mt CO2 87 Prozent aus (für die Berechnungsmethode s. INFO BOX 2).

Rechnet man also den gesamten Klimaeffekt des Verkehrssektors zusammen - Straßenverkehr, nationaler und internationaler (intra- und extra EEA) Luft- und Seeverkehr - betrug der CO2-Ausstoß 2019 insgesamt 205,2 Mt CO2. Davon entfallen 163,8 Mt CO2 auf den Straßenverkehr und den nationalen Luft- und Seeverkehr sowie 41,4 Mt CO2 oder 20 Prozent der gesamten Transportemissionen auf den internationalen See- und Luftverkehr. Wie in dem nächsten Kapitel dargestellt, wird dieser Anteil stetig wachsen, wenn Deutschland und die EU nicht gegensteuern.

INFO BOX 2 - Methodik zur Berechnung von internationalen Emissionen des Seeverkehrs

Sowohl die Verordnung zur Messung, Berichterstattung und Überprüfung (MRV) der THG-Emissionen für den Seeverkehr als auch der Vorschlag für das Emissionshandelssystem für den Seeverkehr verwenden routenbasierte Methoden, um die Emissionen den verschiedenen Ländern zuzuordnen. Der präziseste Weg, die Emissionen des Seeverkehrs Deutschland zuzuordnen, wäre daher die Erstellung eines Bottom-up-Modells zur Berechnung der Schiffsemissionen anhand von Daten des Automatischen Identifikationssystems (AIS)⁴, wie dies in der Vierten Treibhausgasstudie der IMO [6] geschehen ist, und die Zuordnung der Emissionen eines Teils der Fahrten zu Deutschland.

Nach dem in der MRV verwendeten Ansatz sollten die Emissionen aller Fahrten zwischen deutschen Häfen, die Emissionen von Fahrten, die von deutschen Häfen ausgehen, und die Emissionen von Fahrten, die in deutschen Häfen ankommen, Deutschland zugerechnet werden. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts hat Transport & Environment (T&E) jedoch keine derartigen Berechnungen durchgeführt, so dass ein anderer Weg zur Schätzung der deutschen Schiffsemissionen gefunden werden musste.

Das UNFCCC berichtet über die Emissionen der inländischen und internationalen Schifffahrt pro Land, aber da diese auf dem Treibstoffverkauf basieren und die Schiffe dort leicht auf Vorrat tanken können, wo der Treibstoff am billigsten ist, geben die UNFCCC-Emissionen kein genaues Bild der routenbasierten Emissionen der deutschen Schifffahrt.

Die UNFCCC-Emissionen für die deutsche Schifffahrt haben sich zwischen 2010 (10,0 Mt CO₂) und 2019 (5,2 Mt CO₂) halbiert, während das Frachtaufkommen in den deutschen Häfen in diesem Zeitraum ungefähr konstant blieb. Um die Emissionen näher an denen des routenbasierten Ansatzes zu schätzen, haben wir uns entschieden, Fracht- und Passagierdaten in Europa zu verwenden. Dadurch kann der Anteil der MRV-Emissionen berechnet werden, der jedem Land zugeordnet werden kann.

⁴ Das Automatische Identifikationssystem (AIS), ist ein Funksystem zur Verbesserung der Sicherheit und Lenkung des Schiffsverkehrs.

Weitere Informationen zur verwendeten Methodik finden Sie in der früheren Veröffentlichung von T&E "EU shipping's climate record" [17]. Wir haben berechnet, dass 8,8 Prozent der MRV-Emissionen Deutschland zugeschrieben werden können, und diese Annahme wird für den Rest der Analyse verwendet. Wir sind uns der Grenzen dieses Ansatzes bewusst, aber wir halten dies dennoch für eine vernünftige Schätzung.

3. Luft- und Seeverkehr: Ungebremst steigende Emissionen gefährden Deutschlands Klimaziele

In diesem Kapitel werden die Emissionsentwicklungen in der Luft- und Schifffahrt bis 2050 modelliert. Dabei werden das Business-as-Usual-Szenario, einem möglichen Pfad mit stärkeren Effizienzsteigerungen und erforderlichen Fair-Share-Pfad⁵ für Deutschland gegenübergestellt.

Es wird deutlich, dass das gesetzlich verankerte Ziel der Klimaneutralität nicht ohne zusätzliche Maßnahmen erreicht werden können.

Die internationalen (intra- und extra-EEA) Emissionen des Luft- und Seeverkehrs machen schon heute 20 Prozent der gesamten Transportemissionen in Deutschland aus. Wenn Deutschland nicht gegensteuert, wird dieser Anteil bis 2030 auf 38,4 Prozent (50,3 Mt CO₂)⁶ an Deutschlands gesamten Verkehrsemissionen (131,2 Mt CO₂) kontinuierlich steigen und im Jahr 2045 das Erreichen der Klimaneutralität verhindern.

⁵ "Fair Share" bezieht sich hier auf die Lastenteilungsverordnung zur Reduzierung der CO₂-Emissionen der EU. Hierbei werden verbindliche Zielvorgaben zur Reduzierung des Emissionsausstoßes der Mitgliedstaaten in den Sektoren festgelegt, die nicht unter das EU-Emissionshandelssystem fallen.

⁶ Für eine genauere Erläuterung siehe Anhang.

3.1. Emissionen im Luftverkehr: Weit entfernt von Fair Share

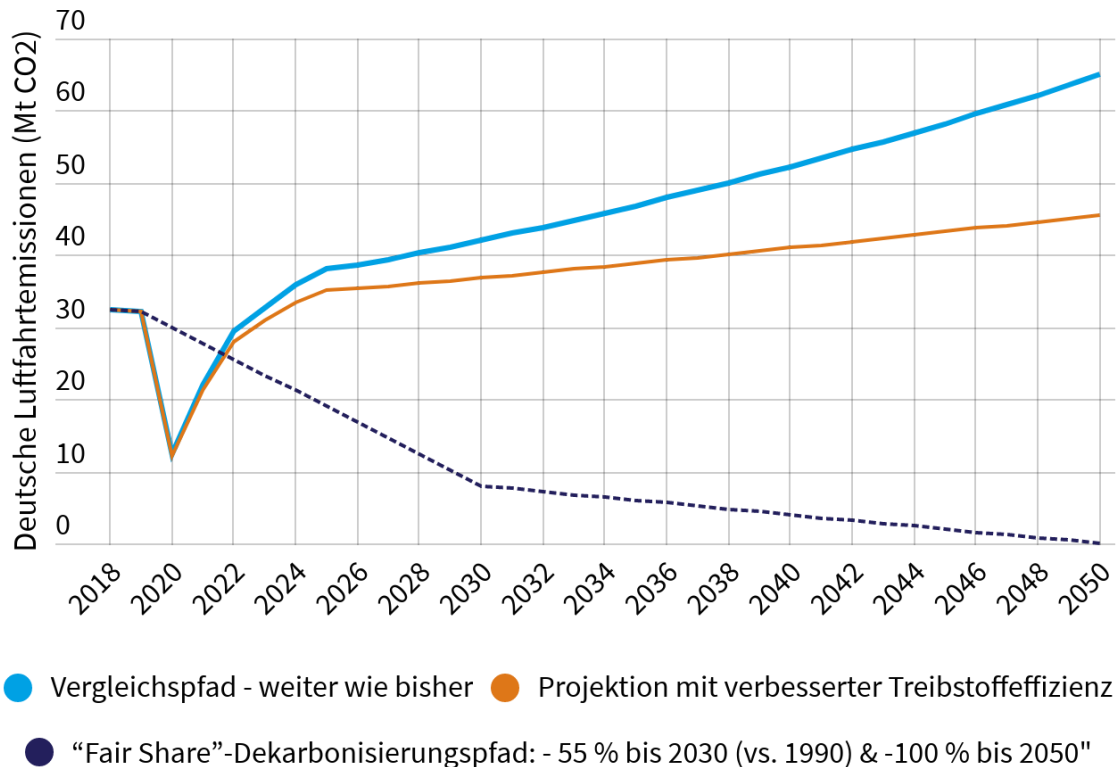


Abbildung 3⁷: Deutsche Luftfahrtmissionen bis 2050 - Referenzkurve blau (weiter ohne jegliche Verbesserungen), Referenzkurve orange (weiter mit erwartbarer Steigerung der Treibstoffeffizienz)

Die Abbildung 3 zeigt die projizierte Entwicklung der deutschen Gesamtemissionen im Luftverkehr bis 2050 (national, intra- und extra-EEA). Nach dem Pandemie-induzierten Rückgang der Passagierzahlen im Jahr 2020, lag das Flugaufkommen 2021 immer noch bei 69 Prozent unter dem von 2019 [7]. Eine Erholung (d. h. zurück auf das Niveau von 2019) wird erst für die Jahre 2023/2024 erwartet [8]. Mit einem extrapolierten Wachstum [9] steigen die deutschen Luftverkehrsemissionen im Business-as-Usual-Szenario bis 2030 auf 42 Mt CO₂ und bis zum Jahr 2050 auf knapp 65 Mt CO₂.

Ein für Deutschland unter der "Fair Share"-Lastenteilungsverordnung der EU angemessenes Reduktionsziel ist in der Abbildung in Schwarz gestrichelt abgebildet. Demnach müssten die deutschen Luftverkehrsemissionen bis 2030 auf maximal 7,96 Mt CO₂ sinken und bis 2050 netto null erreicht haben. Laut aktueller Prognose liegen die erwarteten und die benötigten

⁷ Mehr Informationen zur Berechnung im Anhang.

Emissionsmengen jedoch weit auseinander. Daher benötigt es nun ein Umsteuern, um noch den angestrebten Kurs zu erreichen.

Im Luftverkehr sind jedoch weitere Effizienzgewinne technisch möglich und erwartbar. Es ist aufgrund des großen Kostenfaktors des Treibstoffes auch anzunehmen, dass Fluggesellschaften dieses Potenzial ausschöpfen werden. Mögliche Quellen der Treibstoffeffizienz sind u. a. ein verbesserter organisatorischer Ablauf, eine erhöhte Aerodynamik und leichtere Verbundwerkstoffe.

Sollten diese Verbesserungen tatsächlich eingesetzt werden, würde der extrapolierte Emissionsanstieg etwas geringer ausfallen. Anstelle der 42,02 Mt CO₂ 2030 (64,94 Mt CO₂ 2050) ganz ohne Effizienzsteigerungen (blaue Kurve), würden die deutschen Luftverkehrsemissionen auf "nur" noch stattliche 36,80 Mt CO₂ im Jahr 2030 und 45,58 Mt CO₂ 2050 anwachsen, wie in der orangenen Kurve dargestellt. Das sind 14,42 (2030) bzw. 41,72 (2050) Prozent mehr als in 2019 (32,16 Mt CO₂).

Die Entwicklung mit den beschriebenen Effizienzsteigerungen entspricht im Rahmen dieser Studie der Baseline für die Berechnung von CO₂-Einsparungen durch weitere Instrumente (s. Kapitel 4). Die Annahmen für die Effizienzsteigerungen basieren auf Analysen der EU Kommission [10] und Eurocontrol [11].

3.2. Schiffsverkehr: Ohne Umsteuern keine Wende in Sicht

Die Abbildung 4 zeigt die prognostizierte Entwicklung der deutschen Gesamtemissionen in der Schifffahrt bis 2050 (national, intra- und extra-EEA). Mit einem extrapolierten Wachstum steigen die deutschen Schifffahrtsemissionen im Business-as-Usual-Szenario (blaue Kurve) bis 2030 auf 13,51 Mt CO₂ und bis zum Jahr 2050 auf 14,21 Mt CO₂.

Der vorübergehende Rückgang der MRV-Emissionen aufgrund der Covid19-Pandemie wurde nicht modelliert, da seine Auswirkungen viel geringer sind als im Luftverkehr. Die Emissionen für 2020 liegen nur 13 Prozent unter denen von 2019, was hauptsächlich auf Kreuzfahrtschiffe zurückzuführen ist. Fahrten von Schiffstypen mit den höchsten Emissionen (Container und Öltanker) reduzierten sich nur um weniger als 10 Prozent. Es wird angenommen, dass das Verkehrsaufkommen schnell wieder auf das Niveau von 2019 zurückkehren wird.

In der Schifffahrt sind Treibstoffeffizienzmaßnahmen technisch möglich. Allerdings gibt es bisher keine Vorschriften, die deren Implementierung vorschreiben würden. Sollte sich dies ändern, könnten signifikante Emissionseinsparungen erzielt werden. Aufgrund der fehlenden Vorschriften zur Treibstoffeinsparung, wird in der folgenden Modellierung vom Business-as-Usual-Szenario für die Schifffahrt ausgegangen.

Unabhängig davon stehen die modellierten Entwicklungen im Kontrast zu den notwendigen Emissionsreduktionen für die Einhaltung der Klimaziele. Ein für Deutschland unter der "Fair Share"- Lastenteilungsverordnung der EU angemessenes Reduktionsziel ist in der Abbildung in Schwarz gestrichelt abgebildet. Demnach müssten die deutschen Schifffahrtsemissionen bis 2030 auf maximal 4,1 Mt CO₂ sinken und bis 2050 netto null erreicht haben.

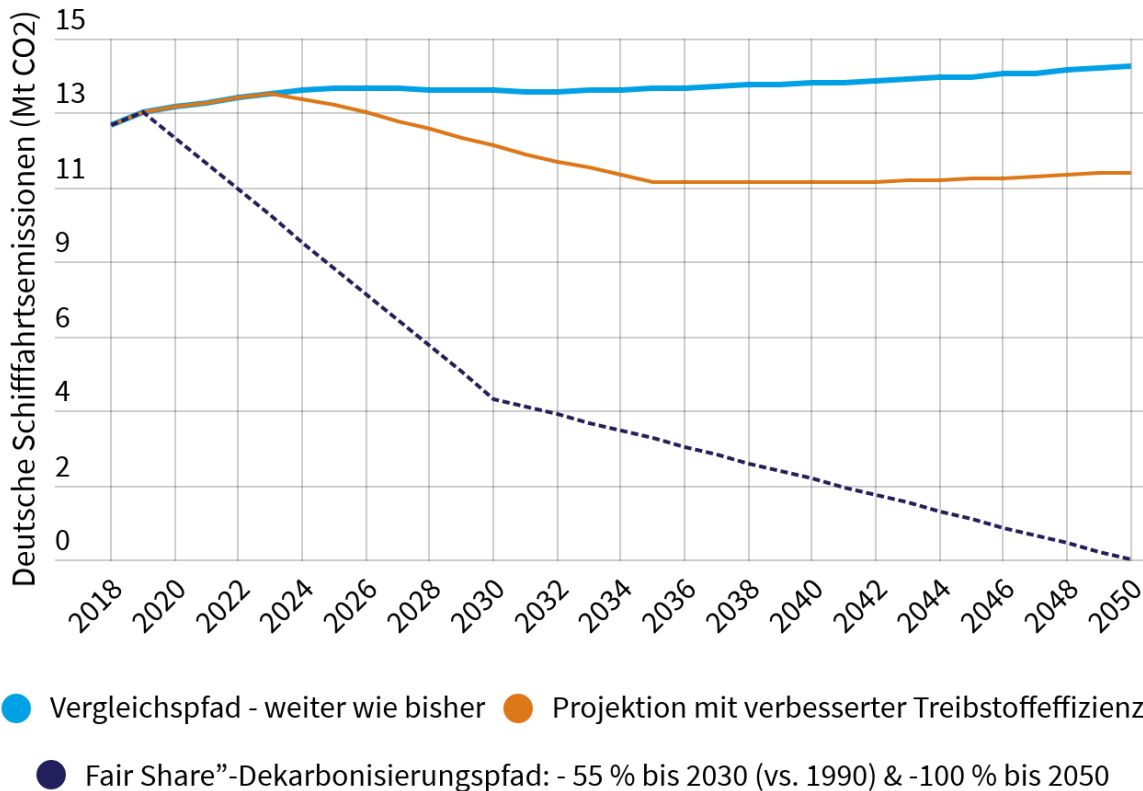


Abbildung 4⁸: Deutsche Schifffahrtsemissionen bis 2050 - Referenzkurve in Blau (weiter wie bisher) und Kurve in Orange (Emissionen nach Verbesserung der Kraftstoffeffizienz)

3.3. Internationale Emissionen und das Ziel der Klimaneutralität 2045

Bis 2045 will Deutschland klimaneutral werden. Wie in den vorherigen Kapiteln bereits betont, kann dieses Ziel allerdings objektiv nur erreicht werden, wenn die internationalen Emissionen aus dem Luft- und Seeverkehr adressiert werden. Während Deutschland sich bei den innereuropäischen Flügen und Routen innerhalb der EU für Reduktionsmaßnahmen einsetzen kann, befinden sich die extra-EEA-Flüge mit ineffizienten Systemen von IATA (CORSIA) und IMO

⁸ Mehr Informationen zur Berechnung im Anhang.

in einer gefährlichen Grauzone der Regulierung und werden höchstwahrscheinlich nicht wirksam reduziert werden können, wenn auf der nationalen und europäischen Ebene nicht gehandelt wird.

Beim Ziel der Klimaneutralität ist eine Kompensation der internationalen Emissionen des Luft- und Seeverkehrs durch die Übererfüllung in anderen Wirtschaftssektoren nicht möglich. Auch eine Kompensation durch Offsetting, wie derzeit im Rahmen von CORSIA praktiziert wird, ist nicht wünschenswert, da auch andere Länder bis Mitte des Jahrhunderts ihre Emissionen auf Null bringen müssen.

Deutschland muss daher sowohl national Maßnahmen zur Dekarbonisierung *aller* Emissionen des Luft- und Seeverkehrs einführen, z. B. durch ambitionierte Quoten für E-Kerosin, Förderung des Aufbaus einer Hafeninfrastruktur für E-Ammoniak, Einführung von Flughafen-Landengebühren für internationale Airlines ohne Klimaschutzvorgaben, sowie auf der europäischen Ebene sich für eine Ausweitung der Regulierung auf internationale Routen einsetzen. Nur so kann das Ziel der Klimaneutralität sowohl auf nationaler als auch europäischer Ebene wirklich erreicht werden.

In dem folgenden Kapitel wird dargelegt, mit welchen Maßnahmen die Gesamtemissionen des Luft- und Seeverkehrs adressiert werden können.

4. Strategien zur Dekarbonisierung des Luft- und Seeverkehrs

T&E hat im Rahmen einer Modellierung analysiert, welche Maßnahmen notwendig sind, um den Luft- und Seeverkehr in Deutschland⁹ vollständig zu dekarbonisieren (national und international). Insgesamt müssen in der Schifffahrt kumulativ über den Zeitraum von 2022 bis 2050 **182 Mt CO₂** eingespart werden, um Klimaneutralität in diesem Sektor zu erreichen. Im Bereich Luftverkehr sind es **456 Mt CO₂** ggü. Baseline (in der Baseline werden die Effizienzsteigerungen berücksichtigt). Im Folgenden werden sowohl die verwendeten Annahmen als auch der vollständige vorgeschlagene Maßnahmenmix zur Dekarbonisierung des Luft- und Seeverkehrs vorgestellt.

4.1. Luftverkehr: Nachfragesteuerung und alternative Kraftstoffe als wichtigste Hebel

Grünes Fliegen ist nur durch den Einsatz von Sustainable Aviation Fuels (SAF) sowie durch die Markteinführung von wassertoffbetriebenen Flugzeugen möglich. Die technologischen Lösungen reichen allerdings laut durchgeführter Modellierung nicht aus, um die notwendigen

⁹ Für die gesamteuropäische Analyse s. T&E [Aviation Roadmap](#) und [Shipping Roadmap](#).

Einsparungen bis 2045 zu erzielen. Während die SAF voraussichtlich erst Anfang der 2030er im Industriemaßstab, also in großen Mengen, verfügbar sein werden, sind Wasserstoffflugzeuge laut Industrieankündigungen erst nach 2035 zu erwarten (s. Tabelle 2) [1]. Daher wird das Mobilitätsverhalten im Luftverkehr sich stärker an Nachhaltigkeitszielen orientieren müssen, um die notwendigen Emissionsminderungen bereits bis 2030 zu erzielen.

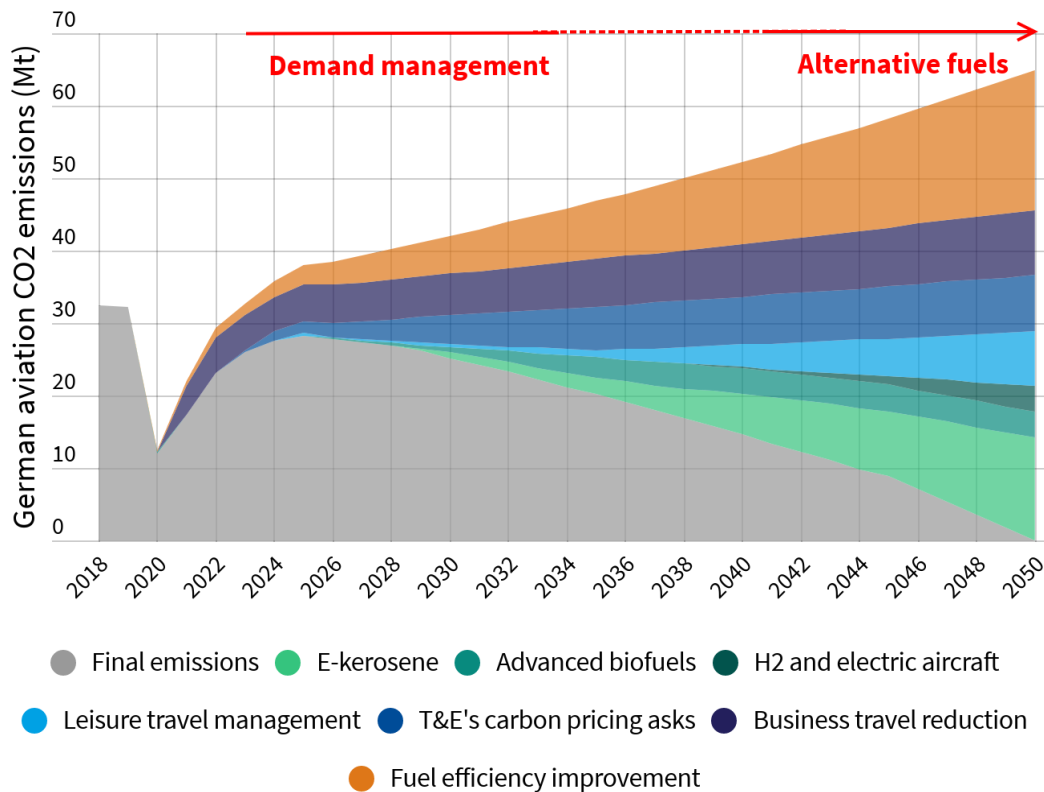


Abbildung 5: Deutsche Luftverkehrsemissionen (national + international) nach Reduktionsmaßnahmen.

Einsatz von SAF und Wasserstoff-Flugzeugen

Die Nutzung fossiler Kraftstoffe ist mit dem Ziel der Klimaneutralität nicht vereinbar. In der vorliegenden Studie wird fossiles Kerosin bis 2050 vollständig durch E-Kerosin (73 %), fortschrittliche Biokraftstoffe (20 %) sowie grünen Wasserstoff und Strom (7 %), der in Wasserstoff- und batteriebetriebenen Flugzeugen zum Einsatz kommt, ersetzt.

Das E-Kerosin leistet dabei den größten Beitrag und führt zu einer Reduktion von insgesamt 130 Mt CO₂ bis 2050 ggü. Baseline¹⁰. Die fortschrittlichen Kraftstoffe sind aus Sicht von T&E unter Einhaltung von Nachhaltigkeitsanforderungen nur begrenzt skalierbar. Die Bedeutung von

¹⁰ In der Baseline werden die zu erwartenden Effizienzverbesserungen berücksichtigt (s. Kapitel 3.1.).

Wassertoffflugzeugen und somit der Anteil von grünem Wasserstoff am Kraftstoffmix könnte nach 2050 weiter zunehmen.

Damit die geschilderten Mengen von nachhaltig hergestellten SAF rechtzeitig verfügbar sind, muss der Markthochlauf bereits in dieser Dekade stark an Fahrt aufnehmen. In der vorliegenden Modellierung werden 9,5 PJ E-Kerosin 2030 eingesetzt. Ohne des in dieser Studie angenommenen Nachfragerückgangs würde diese Menge rund 2 Prozent an dem gesamten Flugtreibstoff ausmachen, also entsprechend der aktuellen Vorgaben der Bundesregierung. Mit angenommenen Nachfragerückgang sind es 3,6 Prozent. 2035 steigt dieser Anteil auf 32 PJ und erreicht 77,5 PJ 2040.

Luftverkehr-Segment	EU27+UK 2019 Emissionsanteil	Voraussichtliche Inbetriebnahme	Marktdurchdringungszeit
Regional (<80 Passagiere, <1000km)	2.3%	2035	20 Jahre
Kurze Reichweite (80-165 Passagiere, 1000-2000 km)	14.9%	2040	
Mittlere Reichweite (165-250 Passagiere, 2000-7000 km)	35.0%	2045	
Lange Reichweite (250-325 Passagiere, 7000-10,000 km)	28.5%	2050	
Sehr lange Reichweite (mehr als 325 Passagiere und 10.000 km)	19.3%	Nach 2050	

Tabelle 2: Voraussichtliche Inbetriebnahme und Marktdurchdringungszeit von Null-Emissions-Flugzeugen für die verschiedenen Flugzeugsegmente der EU27+UK-Flotte.

Internalisierung des Klimaeffektes des Fliegens

Die Internalisierung des Klimaeffektes des Fliegens in den Ticketpreisen durch eine Verschärfung der CO₂-Bepreisung im EU ETS sowie durch die Einführung einer Kerosinsteuer kann die Nachfrage nach Flugreisen steuern.

In der vorliegenden Analyse erreicht der CO₂-Preis im EU ETS 100 Euro t/CO₂ im Jahr 2030 und 200 Euro t/CO₂ im Jahr 2050. Zugleich wird angenommen, dass ab 2025 eine Kerosinbesteuerung in Höhe von 0,33 Cent pro Liter eingeführt wird. Im Ergebnis werden die Flugreisen weniger nachgefragt, was zu einer Gesamtreduktion von rund 149 Mt CO₂ ggü.

Baseline bis 2050 führt. Das sind 24 Prozent der gesamten Emissionseinsparungen im deutschen Luftverkehr bis 2050 durch die verschiedenen Maßnahmen.

Rückgang der Geschäftsreisen

In der vorliegenden Analyse wurde angenommen, dass sich die Geschäftsreisen ggü. 2019 halbieren. Diese Annahme stützt sich darauf, dass die Corona-Krise gezeigt hat, wie sich Dienstreisen vielfach durch digitale Kommunikation ersetzen lassen [12]. Die Autoren der Studie gehen davon aus, dass sich dieser Trend fortsetzen wird. Dafür spricht auch, dass immer mehr Unternehmen sich ambitionierte Klimaschutzziele setzen¹¹, die häufig auch Scope 3 Emissionen und somit die Geschäftsreisen umfassen.

Durch den Rückgang der Geschäftsreisen können bis 2050 insgesamt rund 199 Mt CO₂ im Vergleich zur modellierten Baseline eingespart werden. Das sind 22 Prozent der gesamten Emissionseinsparungen im deutschen Luftverkehr zwischen 2020 bis 2050.

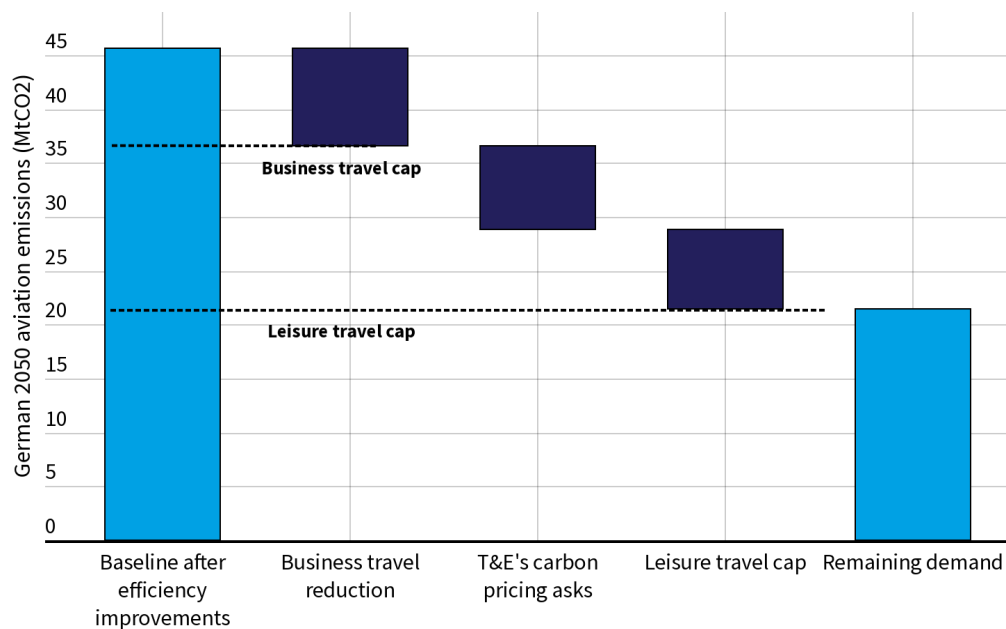


Abbildung 6: Emissionseinsparung durch Veränderung des Mobilitätsverhaltens bei Flugreisen im Jahr 2050.

Die privaten Reisen bleiben auf 2019-Niveau

Für Freizeitreisen wird indes eine Stagnation des bisherigen Wachstums angenommen, sodass das Aufkommen der Flüge aus privatem Grund bis 2050 auf dem Niveau von 2019 bleibt. Eine

¹¹ Siehe z. B. die [Science Based Target Initiative](#).

solche Stabilisierung des Freizeitflugverkehrs könnte u. a. durch eine nationale Entscheidung erreicht werden, die vorhandene Flughafenkapazität nicht weiter zu erhöhen. Die sowohl von der Bundesregierung¹² als auch von der EU Kommission angestrebte Verbesserung des Bahnnetzes soll zudem dazu beitragen, dass europäische Ziele immer besser ohne Flugreisen zu erreichen sein werden. Eine weitere Möglichkeit für die Stabilisierung des Freizeitflugverkehrs könnte die Einführung eines Ticketmindestpreises¹³ darstellen.

Die Stabilisierung des Freizeitflugverkehrs auf dem Niveau von 2019 führt bis 2050 zu einer kumulierten CO₂-Minderung von 71,45 Mt CO₂ ggü. Baseline. Das sind 11 Prozent der gesamten Emissionseinsparungen im deutschen Luftverkehr zwischen 2020 bis 2050 durch die verschiedenen Maßnahmen.

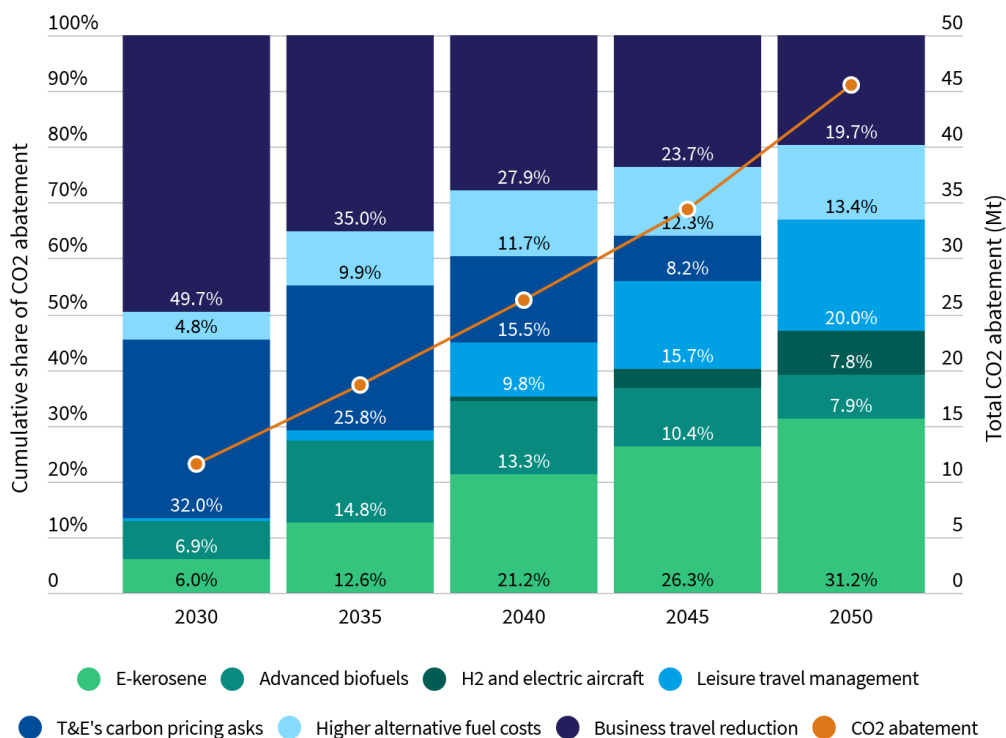


Abbildung 7: Absolute und relative CO₂-Reduktionspotenziale im Flugverkehr nach Kategorie nach Abzug von Effizienzverbesserungen bei Flugzeugen.

Wie in den oberen Absätzen beschrieben führen verschiedene Maßnahmen zusammen in der Modellierung zur vollständigen Reduktion der CO₂-Emissionen des deutschen Luftverkehrs bis 2050. Dies steht unter der Prämisse, dass aus heutiger Sicht zu erwartende Effizienzsteigerungen

¹² So z. B. wurde im Koalitionsvertrag der Ampel- Regierung eine Verdopplung der Verkehrsleistung der Bahn im Personenverkehr vereinbart.

¹³ Dieses Instrument wurde im Sommer 2021 im Rahmen des Wahlkampfes von Bundeskanzler Scholz ins Gespräch gebracht (siehe Z. B. [diesen Beitrag](#)).

bei Flugzeugen realisiert werden. Im Folgenden werden die Maßnahmen und ihr Potenzial einzeln zur Übersicht aufgeführt:

	Kumulative Einsparung betrachteter Maßnahmen	
	2030	2050
E-Kerosin (PtL)	1,3 Mt CO2 (1,8 %)	129,6 Mt CO2 (20,5 %)
Fortschrittliche Biokraftstoffe	2,3 Mt CO2 (3,2 %)	64,5 Mt CO2 (10,2 %)
Wasserstoff-betriebene und elektrische Luftfahrt	-	17,4 Mt CO2 (2,7 %)
Nachfragerückgang	70,6 Mt CO2 (95 %)	419,2 Mt CO2 (66,5 %)
Effizienzsteigerungen bei Flugzeugen	30,3 Mt CO2*	269,8 Mt CO2*

*Ohne Prozentangabe, da nicht als zusätzliche Einsparung gewertet. Das Eintreten der Effizienzsteigerungen ist Teil der Baseline.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bis 2035 der überwiegende Anteil der CO2-Einsparung durch einen Rückgang der Flugreisen erzielt wird. Ab 2035 steigt der Beitrag von technologischen Lösungen, die "grünes Fliegen" ermöglichen (s. Abbildung 7). Dies verdeutlicht die Notwendigkeit, die begrenzten Ressourcen von grünen Kraftstoffen für die Sektoren zu priorisieren, die keine Alternativen haben. Andernfalls müsste die Nachfrage nach Fliegen noch stärker zurückgehen, was aus gesellschaftlicher Sicht nicht wünschenswert wäre. Zugleich könnten technologische Durchbrüche, wie z. B. eine frühere Markteinführung von Wasserstoffflugzeugen, den Beitrag von technologischen Lösungen insgesamt erhöhen.

4.2. Schiffsverkehr: Mehr Effizienz und Einsatz von E-Ammoniak als wichtigste Hebel

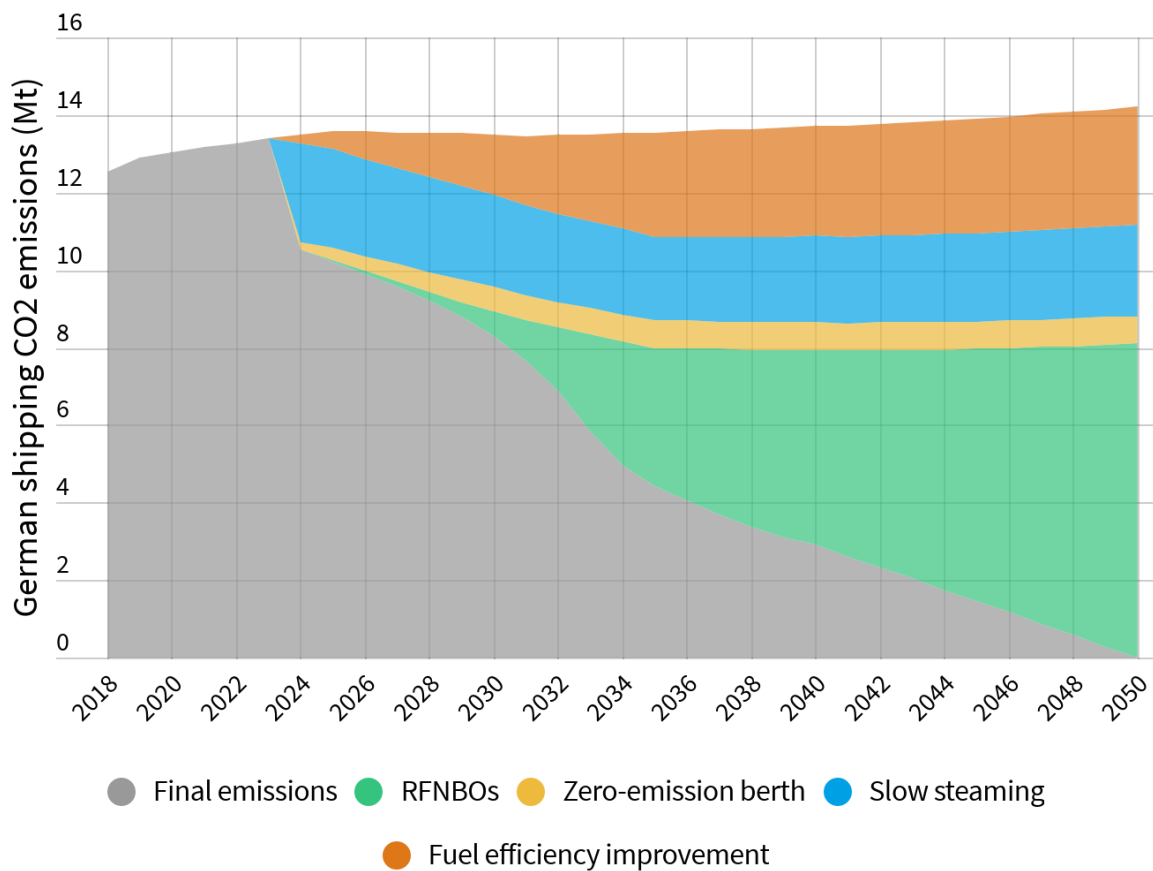


Abbildung 8: Emissionen der deutschen Schifffahrt bis 2050 - Dekarbonisierungsstrategie¹⁴

Im Schiffsverkehr machen die Containerschiffe, die das Rückgrat des globalen Handelns bilden, den Großteil an den Emissionen aus. Ein Rückgang in der Emissionsintensität des globalen Handelns ist aus heutiger Sicht nicht zu erwarten. Daher wurde in der Modellierung hauptsächlich auf technische Lösungen gesetzt. Dazu gehört einerseits der Einsatz von grünen Kraftstoffen und andererseits Steigerung der Effizienz.

Steigerung der Kraftstoffeffizienz und “Slow Steaming” als Low Hanging Fruits

Weitere Steigerungen in der Kraftstoffeffizienz bei Schiffen sind möglich und durchsetzbar. Bisher wurden sie aufgrund mangelnder Anreize unterlassen. Zu den wichtigsten Effizienzmaßnahmen gehören verbesserte Antriebe und Motoren, schiffbauliche Adaptation des Rumpfes, effektivere Propeller sowie verschiedene technische Lösungen um die Antriebsenergie

¹⁴ Hinweise zur Berechnungsmethode und verwendete Annahmen befinden sich im Anhang.

des Windes zu nutzen (z. B. Flettner Rotoren, Kite-Drachen oder moderne Segel). Bereits bis 2035 kann durch eine gesteigerte Effizienz kumuliert 17,3 Mt CO₂ eingespart werden.

Insgesamt kann eine gesteigerte Energieeffizienz zu Einsparungen von bis zu 61,1 Mt CO₂ führen (kumuliert für 2023 - 2050).

Durch eine verringerte Fahrtgeschwindigkeit ("Slow Steaming") können zusätzlich 64,7 Mt CO₂ zwischen 2023 und 2050 eingespart werden, da der Kraftstoffverbrauch bei erhöhter Geschwindigkeit überproportional zunimmt. Eine Verringerung der Geschwindigkeit um 10 Prozent würde daher in etwa 30 bis 33 Prozent weniger CO₂-Emissionen resultieren.

Positiver Klimaeffekt durch Landstrom

Durch eine emissionsfreie Energieversorgung von Liegeplätzen können weitere Einsparpotenziale erzielt werden. Zur Nutzung von Landstrom müssen die Schiffe jedoch erst mit dem entsprechenden Anschluss ausgerüstet sein. Der Netzanschluss lohnt sich insbesondere für Kreuzfahrt- und Containerschiffe, welche besonders viel Energie am Liegeplatz verbrauchen. Insgesamt könnten durch diese Maßnahme bis 2050 kumuliert etwa 7,5 Mt CO₂ eingespart und die Luftqualität in den Häfen signifikant verbessert werden.

Umstellung auf E-Ammoniak als größter Hebel

Den größten Hebel stellt die Umstellung der Schiffe auf grüne Kraftstoffe (RFNBOs)¹⁵. Grundsätzlich kommen dabei verschiedene Kraftstoffarten in Frage, die jeweils mit ihren Vor- und Nachteilen verbunden sind. So z. B. kann E-Diesel zum fossilen Diesel beigemischt werden, was einen sofortigen Klimaeffekt verspricht, ohne dass das Schiff umgerüstet werden muss. Auch die Hersteller von LNG-Schiffen werben damit, dass die Schiffe künftig mit synthetischem Methan und/oder grünem Wasserstoff betrieben werden können. Das Problem bei diesen synthetischen Kraftstoffen ist der niedrige Wirkungsgrad in der Herstellung. Bei E-Diesel liegt dieser bei rund 13 Prozent.

Im Gegensatz dazu weist grünes, synthetisches E-Ammoniak mit Brennstoffzelle mit 32 Prozent den höchsten Wirkungsgrad unter den in Frage kommenden RFNBOs für die Schifffahrt auf. Auch die direkte Nutzung von grünem Wasserstoff mit Brennstoffzelle bietet eine effiziente Option. Der hohe Wirkungsgrad wirkt sich zudem positiv auf die Herstellungskosten der Kraftstoffe (s. Abbildung 9) und somit auch künftig auf die Wettbewerbsfähigkeit von Reedereien aus. Zudem kann E-Ammoniak auch in Verbrennungsmotoren auf Schiffen eingesetzt werden.

¹⁵ Der Einsatz von batterieelektrischen Antrieben kommt aus heutiger Sicht nur für kleine Schiffe (z. B. Touristenfähren) in Betracht und wurde im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet.

Shipping e-fuel cost

(Source: Ricardo EAE LCOE estimation)

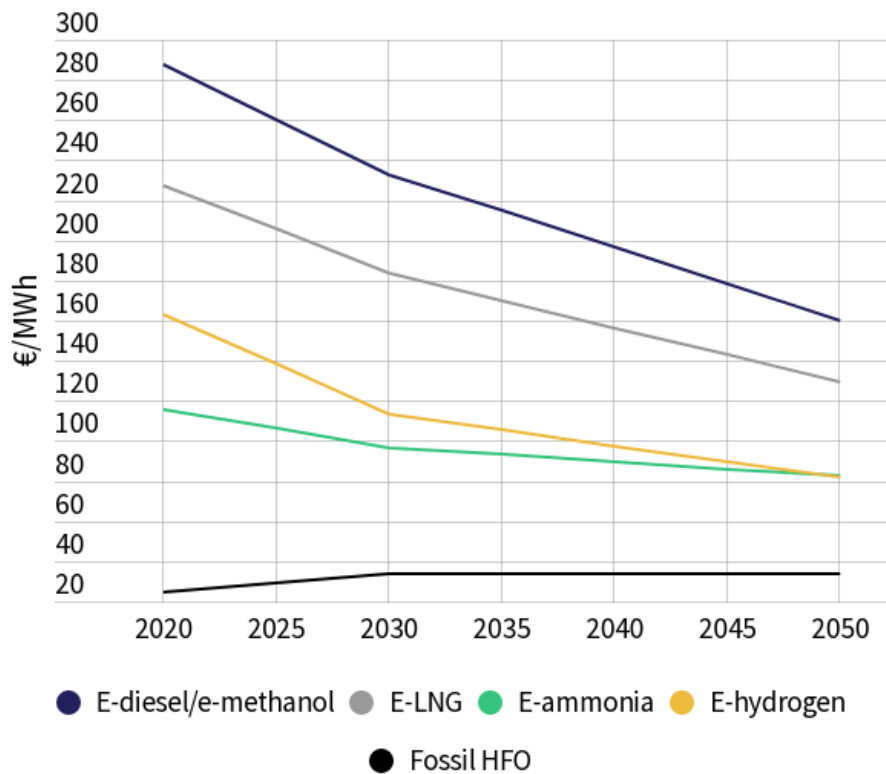


Abbildung 9: Kraftstoffkosten im Vergleich. Quelle: Eigene T&E-Analyse.

Aufgrund der in Kapiteln 4.1. und 5 beschriebenen Problematik bei der Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom für die Herstellung von RFNBOs liegt der Fokus dieser Studie auf dem Einsatz von E-Ammoniak. Eine Herausforderung dabei ist der erforderliche Austausch der Schiffsflotte, der mit hohen Investitionen einhergeht. Neben regulatorischen Anreizen für die Nutzung von E-Ammoniak bedarf es daher auch einer zusätzlichen Förderung für die Reedereien, die in neue Schiffe investieren. Da die operativen Kraftstoffkosten (und nicht die Kapitalkosten) die größte Kostenkomponente für die Reedereien darstellen, sichern Investitionen in Schiffe mit Brennstoffzelle (E-Ammoniak oder grüner Wasserstoff) einen künftigen wirtschaftlichen Vorteil im Vergleich zu anderen Technologien.

Um die Klimaneutralität spätestens 2050 zu erzielen, muss der Markthochlauf von E-Ammoniak bereits in dieser Dekade beginnen. In der vorliegenden Modellierung macht E-Ammoniak mit 8,4 PJ 7 Prozent des Kraftstoffverbrauchs im Jahr 2030 aus. Im Jahr 2040 bedarf es 66,9 PJ um 63 Prozent des fossilen Kraftstoffes zu ersetzen und schließlich 107,6 PJ um 2050 bei 100 Prozent anzukommen. Hierbei werden die oben beschriebenen Effizienzverbesserungen bei Schiffen bereits berücksichtigt. Bei einer niedrigeren Effizienz wäre ein höheres Volumen an E-Ammoniak für dieselben Anteile notwendig.

5. Synthetische Kraftstoffe im Luft- und Seeverkehr: Chancen und Risiken

Wie in Kapitel 4 gezeigt, stellen erneuerbare synthetische Kraftstoffe nicht biologischen Ursprungs - kurz RFNBOs¹⁶ - den wichtigsten Hebel für die Dekarbonisierung des Luft- und Seeverkehrs dar. In der Schifffahrt kann E-Ammoniak als die effizienteste RFNBO-Option fossile Kraftstoffe bis 2050 zu 100 Prozent ersetzen. Für kleinere Schiffe und Verkehre auf festen Routen, wie etwa Fähren, ist der batterieelektrische Antrieb die effizienteste Lösung. Dies wird bei derzeitiger Batteriekapazität jedoch nur für weniger als 5 Prozent des Schiffsverkehrs eine Lösung sein. In der Luftfahrt muss bereits bis zur Mitte des Jahrhunderts der überwiegende Teil des Treibstoffes durch grünes E-Kerosin sowie direkte Wasserstoffnutzung ersetzt werden, um die Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen. Nur ein kleiner Teil der Treibstoffmischung entfällt 2050 laut Berechnung von T&E auf fortschrittliche Biokraftstoffe.

Insgesamt werden im Jahr 2030 9,5 PJ (0,2 Mt) E-Kerosin und 8,4 PJ (0,4 Mt) E-Ammoniak benötigt, 2050 sind es 193 PJ (4,4 Mt) E-Kerosin sowie 43 PJ (0,4 Mt) grünen Wasserstoffs für den Luftverkehr und 107,6 PJ (5,7 Mt) E-Ammoniak für den Seeverkehr. Für die Herstellung dieser Kraftstoffe sind 151 TWh erneuerbaren Strom notwendig, was ca. 25 Prozent des heutigen gesamten Strombedarfs Deutschlands entspricht. Würde diese Strommenge nur aus Windkraftanlagen bezogen werden, wäre eine Menge von 57,5 GW notwendig oder alternativ 134 GW Photovoltaikanlagen. Hierbei wird der im Kapitel 4.1. erläuterte Nachfragerückgang im Luftverkehr berücksichtigt.

Würde die Nachfrage im Luftverkehr nicht wie angenommen zurückgehen, wäre eine signifikant höhere Menge an grünen synthetischen Kraftstoffen im Luftverkehr erforderlich. So würde der E-Kerosin-Bedarf 2050 von 193 PJ (4,4 Mt) auf 399 PJ (9,0 Mt) sich mehr als verdoppeln und die Nachfrage nach grünem Wasserstoff ebenfalls von 43 PJ (0,4 Mt) auf 80 PJ (0,7 Mt) stark steigen. Entsprechend würde der gesamte Strombedarf (Luft- und Seeverkehr) von insgesamt 151 TWh auf 266 TWh steigen.

Dasselbe gilt auch für den Effizienzgedanken in der Schifffahrt. Wie im Kapitel 4.2. erläutert, wird in dieser Studie angenommen, dass fossile Kraftstoffe nahezu zu 100 Prozent durch E-Ammoniak, also durch den synthetischen Kraftstoff mit dem höchsten Wirkungsgrad, ersetzt

¹⁶ Renewable Fuels of Non-Biologic Origin (RFNBOs), erneuerbare Kraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs.

werden. Beim Einsatz von E-Diesel oder E-LNG würde der Strombedarf für die Produktion der Kraftstoffe entsprechend signifikant ansteigen.

Angesichts des im Zuge der Dekarbonisierung in allen Sektoren steigenden Strombedarfs, stellt die Herstellung von nahezu 300 TWh für den Luft- und Seeverkehr allein eine große Herausforderung für die deutsche, europäische und die globale Energiewende dar. Denn auch bei einer erfolgreichen Entwicklung von globalen Wasserstofflieferketten ist von Nutzungskonkurrenzen zwischen verschiedenen Sektoren und Ländern auszugehen. Die Verbesserungen bei Kraftstoffeffizienz, der Einsatz von RFNBOs mit dem höchsten Wirkungsgrad wo immer möglich sowie der Nachfragerückgang im Luftverkehr sind daher für die Dekarbonisierung des Luft- und Seeverkehrs unumgänglich.

	2030	2050
Benötigte gesamte Elektrolyseurkapazität	1,9 GW	36,7 GW
E-Ammoniak Haber-Bosch-Synthese	0,9 GW	10,9 GW
E-Kerosin Fischer-Tropsch-Synthese	1,1 GW	22,0 GW

Tabelle 3: Benötigte Anlagenkapazität für die Nachfrage in Deutschland zur Herstellung von RFNBOs unter Berücksichtigung des angenommenen Nachfragerückgangs im Luftverkehr.¹⁷

Trotz der geschilderten Herausforderung in Bezug auf den Bedarf von erneuerbarer Energie für eine nachhaltige Produktion von RFNBOs, stellt der Einsatz dieser Kraftstoffe im Luft- und Seeverkehr auch eine wichtige Chance für die deutsche und die europäische Industrie dar. Tabelle 3 schildert die notwendige Anlagenkapazität und somit die zu erwartende Marktgröße für die Anlagenbauer. Die Aufnahme von internationalen Emissionen des Luft- und Seeverkehrs (intra- und extra-EEA) in die nationalen Klimaziele gekoppelt an ein klares Bekenntnis zu einer vollständigen Dekarbonisierung dieser Sektoren würde Planungssicherheit für die deutsche und europäische Wasserstoffindustrie schaffen.

¹⁷ Als Auslastungsfaktor für die Elektrolyse wird 4000 Stunden im Jahr angenommen. Für Jahr 2030 wird mit einer Elektrizitätsnachfrage von 8,0 TWh gerechnet. Das wären umgerechnet entweder 3,0 GW in Windrädern oder 7,1 GW in Photovoltaik (EU) oder entsprechend eine Mischung derselben.

6. Handlungsempfehlungen

Aus den vorangegangenen Kapiteln wird deutlich, dass der Klimaeffekt des Luft- und Seeverkehrs in Deutschland massiv ist - Tendenz weiter steigend. Schon heute betragen die Gesamtemissionen (national, intra-EEA, extra-EEA) des Luft- und Seeverkehrs in Deutschland 45,2 Mt CO₂. Ohne eine konsequente Dekarbonisierungsstrategie werden die Gesamtemissionen dieser Bereiche in Deutschland laut Berechnungen von T&E im Jahr 2030 auf 50,3 Mt CO₂ und im Jahr 2050 auf knapp 60 Mt CO₂ steigen. Das bedeutet zugleich, dass diese Emissionen das Erreichen der Klimaneutralität faktisch verhindern werden.

In Kapitel 4 wurden die Dekarbonisierungsstrategien für den Luft- und Seeverkehr erläutert. Für den Erfolg der notwendigen Maßnahmen ist ein ambitioniertes Vorgehen sowohl auf der nationalen als auch auf der europäischen Ebene erforderlich. Es ist unbestritten, dass der internationale Transport auf der europäischen Ebene viel effektiver adressiert werden kann als von den einzelnen Mitgliedstaaten. Zugleich ist das Engagement einzelner Mitgliedstaaten erforderlich, um derzeit politisch umstrittene und dennoch dringend erforderliche Maßnahmen wie eine Kerosinbesteuerung oder der Aufbau einer Hafeninfrastuktur für RFNBOs EU-weit durchzusetzen.

Die Aufnahme von internationalen Emissionen des Luft- und Seeverkehrs in die nationale Klimaregulierung wäre daher ein wichtiger Schritt und ein Zeichen für andere Länder, dass der Klimaschutz im Luft- und Seeverkehr nicht mehr mit dem Ansatz "not-in-my-backyard" adressiert werden kann. Zugleich bietet der Vorschlag der EU Kommission "Fit for 55" im Rahmen des europäischen Green Deals eine einmalige Chancen, die Weichen für die Dekarbonisierung des Luft- und Seeverkehrs richtig zu stellen. Die aktuellen Gesetzesvorschläge müssen hierfür dennoch nachgebessert werden.

6.1. Nationale Maßnahmen

Internationale Emissionen des Luft- und Seeverkehrs in das Klimaschutzgesetz aufnehmen

In dieser Roadmap wurde dargestellt, wie hoch die internationalen (intra- und extra-EEA) des Luft- und Seeverkehrs heute sind und wie sie sich bis 2050 entwickeln werden. Jede Problembekämpfung beginnt damit, dass das Problem anerkannt und klar definiert wird. Die Bundesregierung muss daher angesichts ihrer eigenen Klimaschutzverpflichtungen und des globalen Ziels von 1,5 Grad die bisher unsichtbaren Emissionen in seine Klimaschutzberichterstattung aufnehmen und somit ein wichtiges Zeichen auch für andere Länder - innerhalb und außerhalb der EU - setzen.

NDC - Nationally Determined Contributions - Nationale Klimaschutzbeiträge

Ungeachtet eines Aktualisierungsbedarfes der Berichtsrichtlinien, steht es den einzelnen Staaten schon heute frei, internationale Transportemissionen im NDC aufzuführen. Daher sollte Deutschland die Europäische Union auffordern, ihr NDC für die Klimakonferenz COP27 im November 2022 nachzuschärfen und auch die internationalen Emissionen, nicht nur für den internationalen Luftverkehr, sondern auch für die internationale Schifffahrt darin mit aufzunehmen.

Die Prioritäten der Wasserstoffstrategie richtig setzen

In dieser Roadmap wurde dargestellt, wie hoch der Bedarf von wasserstoffbasierten synthetischen Kraftstoffen für die Dekarbonisierung des Luft- und Seeverkehrs ist. Ohne diese Kraftstoffe werden grüne Schiffe und Flugzeuge nicht möglich sein. Die Prioritäten der deutschen Wasserstoffstrategie im Verkehr müssen daher klar auf dem Markthochlauf von RFNBOs für den Luft- und Seeverkehr liegen. Der von vielen Stakeholdern propagierte Einsatz von E-Fuels im Straßenverkehr würde die Dekarbonisierungspotenziale von Luft- und Seeverkehr einschränken und somit die Notwendigkeit eines Nachfragerückgangs im Luftverkehr weiter verschärfen.

Nationales E-Kerosin-Ziel

Das nationale E-Kerosin-Ziel von 2 Prozent in 2030 inkl. Zwischenzielen muss auch im Fall eines schwachen Ergebnisses im Rahmen der Verhandlungen von ReFuelEU beibehalten werden. Eine Anhebung des Zieles sollte zudem geprüft werden.

6.2. Empfehlungen für die deutsche Position zu “Fit for 55”

Luftverkehr

EU-ETS - Europäisches Emissionshandelssystem

Die Europäische Kommission hat einen Vorschlag für eine Reform des EU ETS im Luftverkehr im Rahmen von “Fit for 55” vorgelegt. Der Vorschlag ist aus Sicht von T&E nicht ausreichend, um den klimapolitischen Zielen der EU und einzelner Mitgliedstaaten gerecht zu werden. Deutschland sollte sich für folgende Anpassungen einsetzen:

EU ETS auch auf extra-EEA Flüge anwenden: Die Flüge aus dem Europäischen Wirtschaftsraum in Drittländer und umgekehrt müssen zu mindestens 50 Prozent im EU ETS berücksichtigt werden, wie es bereits für die Schifffahrt vorgeschlagen wurde. Das aktuell für internationale Flüge geltende System - CORSIA - erwies sich bislang als ineffizient und verspricht in seiner derzeitigen Umsetzung keine wesentlichen CO₂-Einsparungen.

Kostenlose Zuteilung sofort abschaffen: Die kostenlose Zuteilung der Emissionszertifikate an Fluggesellschaften sollte sofort abgeschafft werden, anstatt diese erst bis 2027 schrittweise zu

reduzieren. Aktuell bekommen die Airlines ca. 2/3 ihrer Emissionsrechte kostenlos zugeteilt. Dieser Missstand darf nicht für die weiteren fünf Jahre fortgeführt werden.

Einnahmen aus dem EU ETS für den Markthochlauf von E-Kerosin einsetzen: Ein Teil der Einnahmen aus dem Emissionshandel im Luftverkehr sollten für den Markthochlauf von E-Kerosin verwendet werden. Insbesondere eignet sich dafür das Instrument Carbon Contracts for Difference, das sowohl auf europäischer Ebene als auch national umgesetzt werden kann.

Ein zusätzlicher Emissionsfaktor sollte die Nicht-CO2-Effekte einpreisen: Die nicht-CO2-Effekte sind für etwa zwei Drittel der Klimawirkung des Luftverkehrs verantwortlich, unterliegen derzeit jedoch keiner Regulierung. Gemäß des aktuellen Stands der wissenschaftlichen Erkenntnisse sollte aus Sicht von T&E ein zusätzlicher Emissionsfaktor im EU ETS eingeführt werden, der die Berücksichtigung von nicht-CO2-Effekten erlaubt.

INFO BOX 3: CORSIA

Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund der Ineffizienz des CORSIA-Systems wichtig. CORSIA, auf UN-Ebene in ICAO im Konsensverfahren verhandelt, wird nicht zu den notwendigen Emissionsreduktionen führen. Stattdessen sind die als Ausgleichsmechanismus genutzten Offsetting-Projekte nicht qualitätsgesichert: Die Maßnahmen binden nicht zuverlässig und vor allem nicht dauerhaft Kohlenstoff und oftmals kann eine Anrechnung der CO₂-Minderung für verschiedene Projekte nicht verlässlich ausgeschlossen werden. Zudem ist der Preis pro Tonne CO₂ zu niedrig angesetzt. Daher ist es für Fluggesellschaften zum Teil attraktiver, den Offsetting-Preis zu zahlen, anstatt in effizientere, Treibstoff sparende Technologien zu investieren. Zudem wird mit CORSIA der Luftverkehr nicht dekarbonisiert; ein weiteres CO₂-intensives Wachstum wird gefördert. Ein weiterer Nachteil ist, dass gar nicht alle Länder am CORSIA-System teilnehmen und so nicht alle Emissionen abgedeckt sind.

Mit dem Pariser Abkommen hat sich die Weltgemeinschaft verpflichtet, international und absolut die CO₂-Emissionen auf netto null bis zur Mitte des Jahrhunderts zu begrenzen. Zu Kyoto-Zeiten war Offsetting noch angebracht, aber in der post-Paris Welt funktioniert Offsetting nicht mehr. Denn alle Sektoren müssen ihre Emissionen eliminieren.

ReFuelEU Aviation

SAF-Beimischungsziele erhöhen, E-Kerosin priorisieren:

Wie in dieser Studie bereits beschrieben, ist der Markthochlauf von erneuerbaren synthetischen Kraftstoffen (RFNBOs) bereits in den 2020ern erforderlich, um den Luftverkehr bis 2050 vollständig zu dekarbonisieren. Vor diesem Hintergrund ist es zu begrüßen, dass Deutschland 2021 ein nationales Beimischungsziel für E-Kerosin in Höhe von 2 Prozent im Jahr 2030 (inkl. Zwischenziele Ende der 202er) eingeführt hat.

Der Vorschlag der EU Kommission zu ReFuelEU bleibt dennoch hinter den Erwartungen deutlich zurück. Positiv ist, dass die Beimischungsverpflichtungen für alle in der EU startende Flüge gelten (also auch von internationalen Airlines). Enttäuschend bleibt dennoch die vorgeschlagene Höhe der SAF-Ziele, insbesondere in Hinsicht auf E-Kerosin. Im Fall seiner Umsetzung würde der Kommissionsvorschlag ggf. die bereits beschlossene Ambition für das nationale Beimischungsziel unterminieren. Es ist daher im Interesse der Bundesregierung sich für höhere Beimischungsziele für SAF, insbesondere aber für E-Kerosin einzusetzen. Folgende Zielvorgaben sind laut Berechnungen von T&E erforderlich, um den Luftverkehr bis 2050 zu dekarbonisieren (s. Tabelle 4):

- Ein initiales Beimischungsziel von 1,6 Prozent SAF, inkl. 0,4 Prozent E-Kerosin, sollte bereits 2025 greifen.
- 2030 bedarf es eines Gesamtziels von 5,7 Prozent inkl. 2 Prozent E-Kerosin. Die von der EU Kommission vorgeschlagene Unterquote von 0,7 Prozent müsste also auf 2 Prozent erhöht werden.
- Den Anteil von fortschrittlichen Kraftstoffen Annex B RED II aufgrund von begrenzt verfügbaren Ausgangsstoffen auf ein absolutes Volumen von 0,65 Mtoe begrenzen.
- Für 2050 bedarf es eines Ziels von 100 Prozent SAF. E-Kerosin und grüner Wasserstoff machen dabei mit 88,6 Prozent den überwiegenden Anteil im Kraftstoffmix aus.

Mtoe (% Kraftstoffbedarf)	Summe	Fortschrittliche Biokraftstoffe		Synthetisches Kerosin (PtL) und Wasserstoff
		Annex A*	Annex B°	
2025	0,81 (1,6 %)	0,14 (0,3 %)	0,65 (1,3 %)	0,016 (0,04 %)
2030	3,00 (5,7 %)	1,30 (2,5 %)	0,65 (1,2 %)	1,05 (2,0 %)
2035	12,36 (22,6 %)	4,50 (8,2 %)	0,65 (1,2 %)	7,21 (13,2 %)
2040	28,91 (51,8 %)	5,70 (10,2 %)	0,65 (1,2 %)	22,56 (40,4 %)
2045	43,37 (77,3 %)	5,84 (10,4 %)	0,65 (1,2 %)	36,88 (65,8 %)
2050	56,88 (100,0 %)	5,85 (10,3 %)	0,65 (1,1 %)	50,38 (88,6 %)

* Annex A umfasst (u. a.): Algen, Haus- und Biomüll, Stroh, tierischer Dung, Klärschlamm, Spezlen und Schalen, etc.

° Annex B umfasst: Altspeiseöle (UCO) und Tierfette

Tabelle 4: Position von T&E zur Überarbeitung der ReFuelEU Regulierung.

Fortschrittliche Biokraftstoffe können, im Gegensatz zu E-Kerosin nicht nachhaltig skaliert werden, da ihre Verfügbarkeit begrenzt ist. Schädliche Nebeneffekte und Marktverzerrungen durch eine erhöhte Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen müssen verhindert werden und strenge Nachhaltigkeitskriterien gewährleistet werden. Andernfalls könnten organische Rohstoffe für andere Nutzungszwecke fehlen und dort zu nachteiligen Ausweichbewegungen führen.

First-Mover fördern

Sollten die Verhandlungen im EU Rat zu einem gesamteuropäisch höheren Ambitionsniveau bei Beimischungszielen im Rahmen von ReFuel EU scheitern, bedarf es einer Öffnungsklausel in der Regulierung, die einzelnen Mitgliedstaaten die Umsetzung von ambitionierteren Zielen ermöglicht, sofern diese Nachhaltigkeitsanforderungen der EU entsprechen.

Anti-Tankering-Regeln stärken

Durch Anti-Tankering-Vorschriften kann verhindert werden, dass Fluggesellschaften außerhalb des Europäischen Wirtschaftsraumes volltanken. Auf Vorrat zu tanken, ist in diesem Fall doppelt schädlich für das Klima: Es wird weniger nachhaltiger Kraftstoff aufgenommen und zusätzlich steigt der Treibstoffverbrauch durch ein erhöhtes Transportgewicht durch einen sehr vollen Tank.

Der Vorschlag der EU Kommission, innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraumes mindestens 90 Prozent des verwendeten Kraftstoffes zu tanken, gilt daher zu unterstützen. Hierdurch werden außerdem auch Marktverzerrungen mit zwischen europäischen und internationalen Airlines z. T. vermieden.

Kerosinbesteuerung

Wie in dieser Roadmap demonstriert, ist eine Kerosinbesteuerung ein wichtiges Element einer effektiven Dekarbonisierungsstrategie für den Luftverkehr. Im Gegensatz zu allen fossilen Kraftstoffen genießt der Flugtreibstoff seit Jahrzehnten eine Sonderstellung. Was früher aus politischen Überlegungen angebracht war, ist heute mit der Bekämpfung des Klimawandels nicht länger vereinbar.

Daher sollte eine Kerosinbesteuerung spätestens ab 2023 eingeführt werden. Sollte die Kerosinsteuer auf europäischer Ebene nicht zustande kommen, sollten die Möglichkeit von bilateralen Abkommen genutzt werden. So könnte Deutschland gemeinsam mit anderen Ländern wie Frankreich und den Niederlanden eine Kerosinbesteuerung auf Flügen zwischen diesen Ländern einführen.

Seeverkehr

EU ETS - Europäisches Emissionshandelssystem

Im Rahmen von Fit for 55 hat die EU Kommission vorgeschlagen, die Emissionen des Seeverkehrs in den europäischen Emissionshandel aufzunehmen. Dabei sollen auch 50 Prozent der Emissionen zwischen europäischen und nicht-europäischen Häfen berücksichtigt werden. Als T&E begrüßen wir diesen Vorschlag ausdrücklich. So werden die internationalen Emissionen des Seeverkehrs effektiv adressiert. Folgende Elemente müssen dennoch an dem Vorschlag noch verbessert bzw. gestärkt werden:

Einnahmen aus dem EU ETS für den Markthochlauf von RFNBOs einsetzen: Ähnlich wie für den Luftverkehr (siehe S. 29) soll ein Teil der Einnahmen aus dem Emissionshandel im Seeverkehr für den Markthochlauf von grünen synthetischen Kraftstoffen wie E-Ammoniak und grünen Wasserstoff verwendet werden. Insbesondere eignet sich dafür das Instrument Carbon Contracts for Difference, das sowohl auf europäischer Ebene als auch national umgesetzt werden kann.

Phase-In-Period abschaffen: Laut Kommissionsvorschlag soll die CO₂-Bepreisung erst ab 2026 in vollem Umfang im Seeverkehr greifen, zwischen 2023 und 2026 ist eine Phase-In-Phase vorgesehen. Somit werden wertvolle Jahre für den Klimaschutz im Seeverkehr verloren. Diese Übergangsphase muss dringend abgeschafft werden. Die CO₂-Bepreisung ist u. A. ein wichtiger Hebel für die Verbesserung der Kraftstoffeffizienz bei Schiffen, die auch ohne technische Verbesserung durch "Slow Steaming" erreicht werden kann. Diese CO₂-Minderungspotenziale müssen schnellstmöglich erschlossen werden.

Polluters-Pays Principle umsetzen: Laut Vorschlag der EU Kommission ist der Schiffseigner und nicht der Schiffsbetreiber die verpflichtete Partei im EU ETS. Der Schiffseigner hat jedoch häufig keinen Einfluss auf die tatsächliche Effizienz beim Betrieb seines Schiffes (u. a. Geschwindigkeit). Daher sollten der kommerzielle Schiffsbetreiber die verpflichtete Partei im EU ETS sein.

FuelEU Maritime

Wie in dieser Studie dargestellt, ist der Einsatz von erneuerbaren synthetischen Kraftstoffen (RFNBOs) einer der wichtigsten Hebel für das Erreichen der Klimaneutralität im Seeverkehr. Der Markthochlauf muss dabei bereits in der aktuellen Dekade stark an Fahrt aufnehmen. Der Anteil von E-Ammoniak am Kraftstoffverbrauch für Deutschland erreicht in der vorliegenden Modellierung 7 Prozent im Jahr 2030 (siehe Seite 28).

Vor diesem Hintergrund ist der Vorschlag der EU Kommission für FuelEU Maritime sehr enttäuschend. Es zementiert die klimaschädliche Option von fossilem LNG für die nächsten zwei Dekaden und liefert keinerlei Anreize für den Einsatz von wirklich nachhaltigen Kraftstoffen. Die Bundesregierung sollte sich daher für eine umfangreiche Überarbeitung des Kommissionsvorschlags einsetzen:

Der vorgeschlagene THG-Minderungspfad muss verschärft werden: Der vorgeschlagene Minderungspfad ist viel zu schwach und führt zu keinen nennenswerten CO₂-Einsparungen 2030

und schließlich zum Verfehlen der Klimaneutralität 2050. Die vorgeschlagenen Ziele müssen daher um 5 Jahre nach vorne vorgezogen werden. Das bedeutet konkret ein THG-Minderungsziel von 6 Prozent 2025, 13 Prozent 2030, 75 Prozent 2045 und 100 Prozent 2050.

LNG als Erfüllungsoption streichen: Der Kommissionsvorschlag lässt fossiles LNG als eine Erfüllungsoption zu. Dies ist fatal für den Klimaschutz, denn LNG bietet nur sehr geringe Emissionseinsparpotenziale. Zudem ist der Betrieb von LNG-Schiffen mit Methanschleup verbunden¹⁸. Methan verbleibt nicht so lange in der Atmosphäre wie CO₂ (durchschnittlich 20 Jahre), ist dabei viel klimaschädlicher als Kohlendioxid. Da die Schiffe eine sehr lange Lebensdauer haben (30 - 40 Jahre), belastet jede Investition in ein LNG-Schiff heute das Klima für mehrere Jahrzehnte.

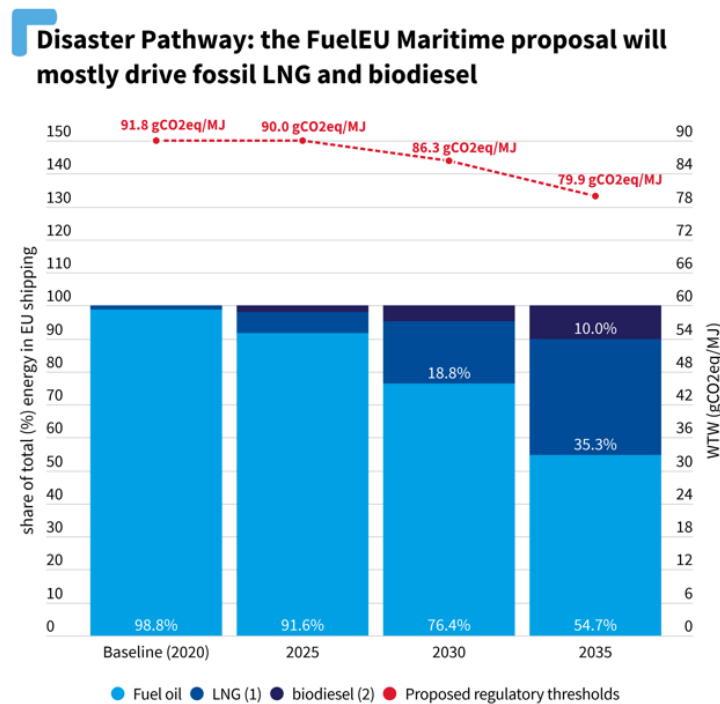


Abbildung 8: Der existierende Vorschlag zu FuelEU Maritime wird die erforderlichen Reduktionsziele verfehlen.

Eine Quote für RFNBOs einführen: Heute sind RFNBOs wie E-Ammoniak noch viel teurer im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen. Zudem erfordert der Einsatz von RFNBOs Investitionen in neue Schiffstechnologien. D. h. die finanziellen Hürden einer Umstellung auf RFNBOs in der Schifffahrt sind sehr hoch. Daher bedarf es für die Umstellung einer Kombination aus regulativen Anreizen und stringenten Vorgaben, die in der aktuellen Ausgestaltung von FuelEU Maritime komplett fehlen. Die Bundesregierung muss sich daher für eine RFNBO-Unterquote von 6 Prozent (bis 2030) des Gesamtenergiebedarfes einsetzen. Die Erreichung der Unterquote sollte mit einem Anrechnungsfaktor sowie mit weiteren Instrumenten wie CCfDs unterstützt werden.

¹⁸ Für weitere Informationen dazu siehe Dossier von Transport & Environment: transportenvironment.org/discover/europes-dirty-secret-at-sea

Anti-Tankering sicherstellen: Ähnlich wie in ReFuelEU muss im Rahmen von FuelEU Maritime sichergestellt werden, dass Schiffe nicht außerhalb der EU auf Vorrat tanken. Noch mehr als Flugzeuge können Schiffe den Treibstoff sehr leicht bunkern. Dies muss regulatorisch verhindert werden.

Alternative Infrastructure Regulation (AFIR) - Betankungsinfrastruktur für alternative Kraftstoffe

LNG-Mandat abschaffen, Hafeninfrastuktur für RFNBOs fördern: Wie bereits im Kontext von FuelEU Maritime dargelegt, ist fossiles LNG eine Technologie, die mit dem Ziel einer Klimaneutralität bis 2050 in der Schifffahrt nicht kompatibel ist. Zwar reduziert es die Schadstoffbelastung in der Luft, mindert aber nicht den Einfluss auf das Klima. Die Kommission hat dennoch im Rahmen der Überarbeitung der AFIR verpflichtende Vorgaben für die Entwicklung einer LNG-Betankungsinfrastruktur in den europäischen Häfen vorgeschlagen. Dieser Schritt hätte fatale Folgen fürs Klima, da es zu Lock-In-Effekten für fossiles LNG für mehrere Jahrzehnte führen würde. Die von der Industrie propagierte Option, fossiles LNG künftig durch Bio-LNG oder Verflüssigtes Biogas (LBG) zu ersetzen, stellt aufgrund von begrenzt verfügbaren Biomassepotenzialen keine ernstzunehmende Alternative dar. Das verpflichtende LNG-Mandat muss daher abgeschafft werden. Stattdessen muss AFIR den Aufbau einer Hafeninfrastuktur für RFNBOs wie E-Ammoniak incentivieren.

Elektrifizierungspotenziale in den Häfen schon früher nutzen: Es ist positiv, dass die EU Kommission mit dem AFIR-Vorschlag eine Verpflichtung für Stromversorgung von Schiffen in den Häfen vorgeschlagen hat. Die Verpflichtung betrifft allerdings nicht alle Schiffskategorien. Aus Sicht von T&E sollte der Vorschlag der EU Kommission in diesem Punkt wie folgt angepasst werden: ab 2025 für alle Passagier-Terminals, ab 2030 für alle Cargo-Terminals (inkl. Containerschiffe und Öltanker), ab 2035 für alle verbleibende Schiffe.

Anhang

Definitionen

Emissionen des deutschen Inlandsflugverkehrs	Emissionen von Flügen innerhalb Deutschlands
Emissionen des deutschen internationalen Luftverkehrs	Emissionen von Flügen, die von Deutschland aus in die EU oder in nicht-EU-Staaten starten
Emissionen der deutschen Binnenschifffahrt	Emissionen von Schiffen auf deutschen Binnenwasserstraßen und zwischen deutschen Häfen
Emissionen der deutschen internationalen Schifffahrt	Emissionen, die anhand der Methodologie in INFO BOX 1 ermittelt wurden. Die Berechnung basiert auf den Volumina von Gütern, die über deutsche Häfen transportiert werden, und ist an den streckenbasierten Ansatz von MRV angelehnt.
MRV-Teilnehmerländer	EU27 (einschließlich äußerste Randlage) +UK+NO+IS
MRV-Emissionen	Emissionen von Fahrten zwischen Häfen, die Teil der Verordnung sind (siehe oben) + Fahrten, die von diesen Häfen ausgehen + Fahrten, die in diesen Häfen ankommen
Vorgeschlagener Geltungsbereich des ETS für Emissionen (bei T&E manchmal als "halbvoll" oder 50:50 bezeichnet)	Emissionen von Fahrten zwischen Häfen, die Teil der Verordnung sind + die Hälfte der Emissionen von Fahrten, die von diesen Häfen abfahren + die Hälfte der Emissionen von Fahrten, die in diesen Häfen ankommen

Berechnung der 38,4 Prozent Emissionsanteil (Kapitel 3, S. 17)

Annahmen:

Bei Erreichung der nationalen Klimaziele sollen die Emissionen des nationalen Verkehrs, einschließlich nationaler Luft- und Seefahrt, 85 Mt CO₂ im Jahr 2030 betragen. Für diese Studie haben wir berechnet, wie hoch die nationalen und internationalen Emissionen aus der Luft- und

Seefahrt im Jahr 2030 sein werden, und wie hoch der Anteil des nationalen bzw. internationalen Luft- und Seeverkehrs ist:

- Inländischer Verkehr 2030 (Ziel, alle Verkehrsmittel) = 85 Mt CO₂,
- Inländischer Verkehr + internationale Emissionen aus der Luft- und Seefahrt = 131,2 Mt CO₂ (unten "Gesamtverkehr" genannt)
- Anteil der inländische Luft- und Seefahrt an den Emissionen = 3,2 Prozent (4,1 Mt CO₂) der gesamten Verkehrsemissionen
- Anteil der internationalen Luft- und Seefahrt an den Emissionen = 35,2 Prozent (46,2 Mt CO₂) der Gesamtemissionen des Verkehrs
- Luft- und Seefahrt = 38,4 Prozent (50,3 Mt CO₂) der gesamten Verkehrsemissionen

Für den Luftverkehr gilt die Annahme, dass die Verbesserungen der Treibstoffeffizienz mit den derzeitigen Raten fortgesetzt werden (1,1 Prozent/Jahr im Durchschnitt).

Für die Schifffahrt gilt die Annahme, dass neue Schiffe nach der "besten Praxis" gebaut werden (d.h. mit der gleichen Effizienz wie die Schiffe der letzten 5 Jahre).

Abbildung 3: Deutsche Luftfahrtemissionen bis 2050, Kapitel 3.1

Auszug aus der [Roadmap to Climate Neutral Aviation in Europe](#): "Die Referenzemissionen wurden anhand der dem UNFCCC bis 2019 gemeldeten Luftverkehrsemissionen abgeleitet. Für die Projektion der künftigen Emissionen bis 2050 wurden die kurzfristige (Post-Covid-)Prognose der International Air Transport Association (IATA) und die langfristige jährliche Steigerungsrate der CO₂-Emissionen aus dem europäischen Branchenbericht "Destination 2050", d. h. 2,2 Prozent [5, 6], verwendet. Diese Zahl schließt jegliche Verbesserung des Treibstoffverbrauchs von Flugzeugen bis 2050 aus. Dies ist kein realistischer Blick in die Zukunft, sondern ein Referenzwert für die Prognose, mit dem alternative Szenarien und Maßnahmen verglichen werden können. Das Ergebnis ist, dass sich die Referenzemissionen des Luftverkehrs zwischen 2019 und 2050 verdoppeln und 64,9 Mt CO₂ erreichen werden, wie in Abbildung 3 ersichtlich ist.

Da Deutschland ein reiferer Luftverkehrsmarkt als andere EU-Länder ist, könnte das Verkehrswachstum in Deutschland etwas geringer ausfallen als die durchschnittliche EU-Wachstumsrate, aber der Einfachheit halber wird die EU-Wachstumsrate beibehalten.

Zu den Effizienzverbesserungen gehören: Aerodynamik (Wölbung, Riblets, Winglets und Flügelspitzen), Werkstoffe und Strukturen (fortschrittliche und leichte Verbundwerkstoffe) sowie Ausrüstungen und Systeme (Überwachung, fortschrittliche Steuerung usw.), verbesserte oder neue Antriebstechnologien (Triebwerke mit ultrahohem Nebenstromverhältnis, offener Rotor, Grenzschichtaufnahme), revolutionäre Konstruktionen auf längere Sicht (nicht vor 2040). Weitere Informationen in der Veröffentlichung "Roadmap to Climate Neutral Aviation", Kapitel 6.2.1.

Abbildung 4: Deutsche Schifffahrtsemissionen bis 2050, Kapitel 3.2

Zur Ableitung der MRV-Emissionen der EU bis zum Jahr 2050 wurde ein Flottenumschlagsmodell verwendet. Die Projektionen für die Verkehrsaktivität wurden der 4. THG-Studie der IMO [6] im Wachstumsszenario SSP2_RCP2.6_G entnommen, das als vereinbar mit dem 2°C-Ziel des Pariser Abkommens angesehen wird. Wenn das Wachstum des Seeverkehrs unkontrolliert bleibt, könnten die Referenzemissionen schneller ansteigen als in diesem Szenario. Der Einfluss der COVID-Pandemie auf den Schiffsverkehr in den nächsten Jahren wurde nicht modelliert.

Es wird von der "besten Praxis" ausgegangen, d. h. neue Schiffe haben eine ähnliche Effizienz wie die in den letzten 5 Jahren gebauten. Im Seeverkehr ist es keine Selbstverständlichkeit, dass neue Schiffe genauso effizient sind wie ältere oder sogar besser, und es sollten entsprechende Anreize geschaffen werden, um sicherzustellen, dass dies der Fall ist.

Basisszenario, wichtiger Hinweis: Während die "Referenz"-Emissionen des Luftverkehrs (blaue Kurve) kein realistisches Bild von der Zukunft zeichnen, weil die Luftfahrtindustrie ihre Flugzeuge in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich verbessert hat, gilt dies nicht für die "Referenz"-Emissionen der Schifffahrt in Abb. 4 (ebenfalls blaue Kurve). Die sehr niedrigen Treibstoffkosten im Vergleich zu den Gewinnspannen der Schiffe haben für die Schiffseigner keinen Anreiz geschaffen, die Treibstoffeffizienz zu verbessern, auch nicht mit kosteneffizienten Lösungen [3]. Es ist klar, dass politische Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die Effizienzverbesserungen zu erreichen, die wir in unserer ursprünglichen [Roadmap "Decarbonising European Shipping"](#) modelliert haben [13].

Zu den möglichen Effizienzverbesserungen in der Schifffahrt gehören: Verbesserungen der Haupt- und Hilfsmotoren für neue Schiffe, Propelleroptimierung, Optimierung des Schiffsrumpfes, Windunterstützung. Weitere Informationen im Anhang der Shipping Roadmap.

Die MRV-"Fair-Share-Emissionen" werden als 55 Prozent der "MRV"-Emissionen von 1990 berechnet. Da das System vor 2018 nicht existierte, wurden die MRV-Emissionen von 1990 durch Skalierung der MRV-Emissionen von 2018 mit dem Faktor $(\text{UNFCCC EU28 Emissionen von 1990}) / (\text{UNFCCC EU28 Emissionen von 2018})$ geschätzt. Das Ziel für Deutschland wird mit demselben Faktor (8,8 Prozent, siehe INFO BOX 2) berechnet wie seine Emissionen.

Abbildung 8: Emissionen der deutschen Schifffahrt bis 2050 - Dekarbonisierungsstrategie, Kapitel 4.2

Für die vorgeschlagene Dekarbonisierungsstrategie wurde angenommen, dass die auf EU-Ebene beschlossenen Maßnahmen (z. B. Effizienzstandards) einen Teil der in Abb. 8 gezeigten Emissionssenkungen bewirken würden. Darunter fallen die Verbesserung der Kraftstoffeffizienz und das "Slow Steaming" (verringerte Fahrgeschwindigkeit wo sinnvoll und möglich). Deutschland kann darüber hinaus verpflichtende emissionsfreie Liegeplätze einführen und die Beimischung von RFNBOs fördern.

Die im Folgenden dargestellten Annahmen wurden zur Berechnung der Schifffahrtsdaten getroffen:

Measure [IMO technology group, table 77 p278]	2030			2050		
	IMO 4 th GHG study MAC (USD/tonne -CO ₂)	IMO 4 th GHG study CO ₂ abatement potential (%)	CO ₂ abatement (%), this study	IMO 4 th GHG study MAC (USD/tonne -CO ₂)	IMO 4 th GHG study CO ₂ abatement potential (%)	CO ₂ abatement (%), this study
New ship main and auxiliary engine improvements [12,2,1,7]	25.4	2.8%	1.0%	18.2	4.9%	4.0%
Propeller optimisation [6,5]	-54.2	3.6%	3.4%	-56.6	6.3%	5.7%
Hull optimisation [10,9,8]	-89.5	5.3%	4.8%	-88.8	9.2%	7.8%
Wind assist [13]*	6.0	0.9%	2.5%	2.0	1.7%	4.0%
Speed reduction [16]*	43.0	7.4%	17.5%	26.0	7.5%	16.5%
Zero-emission berth (plug-in at port) [-]*	5.4		4.7%	-33.4		5.0%
Use of e-ammonia [-]*,[§]	280.0		7.0%	221.8		100.0%

Beim Treibstoffpreis im Schiffsverkehr ist zu beachten, dass die Schwerölpreise bis 2030 steigen werden. Alle anderen Treibstoffe werden im Preis abnehmen. E-Diesel und E-Methanol werden günstiger: Von 145 Mrd. Euro pro Jahr im Jahr 2020, wird dieser Preis 2050 auf etwa 82 Mrd. Euro pro Jahr gesunken sein. E-LNG, E-Ammoniak und E-Flüssigwasserstoff werden sich auch vergünstigen, wie in Abbildung 9 zu sehen ist.

Literaturverzeichnis

1. So schnell tickt die CO₂-Uhr. (n.d.). *Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC)*. Retrieved March 22, 2022, from <https://www.mcc-berlin.net/forschung/co2-budget.html>
2. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (Ed.). (2018). Summary for Policymakers. In *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*.
3. Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2021, April 20). UK enshrines new target in law to slash emissions by 78% by 2035. *GOV.UK*. Retrieved March 26, 2022, from <https://www.gov.uk/government/news/uk-enshrines-new-target-in-law-to-slash-emissions-by-78-by-2035>
4. European Union. (2020, December 17). SUBMISSION BY GERMANY AND THE EUROPEAN COMMISSION ON BEHALF OF THE EUROPEAN UNION AND ITS MEMBER STATES. Retrieved from https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Germany%20First/EU_NDC_Submission_December%202020.pdf
5. European Union. (2019, June 19). Regulation (EU) 2018/842 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030 contributing to climate action to meet commitments under the Paris Agreement and amending Regulation (EU) No 525/2013. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018R0842>
6. Faber, J., Kleijn, A., Hanayama, S., Zhang, S., Pereda, P., Comer, B., ... Xing, H. (2020). *Fourth IMO*

Greenhouse Gas Study. Retrieved from <https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=125134>

7. Statista. (2022). Passagiere auf deutschen Flughäfen. Retrieved from <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/77928/umfrage/passagiere-auf-deutschen-flughaefen/>
8. IATA. (2020, July 30). IATA Economics' Chart of the Week - 30 July 2020. Retrieved from <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/Five-years-to-return-to-the-pre-pandemic-level-of-passenger-demand/>
9. Royal NLR, SEO Amsterdam Economics. (2020). *Destination 2050 - A route to net zero European aviation*. Retrieved from https://www.destination2050.eu/wp-content/uploads/2021/03/Destination2050_Report.pdf
10. Capros, P., De Vita, A., Tasios, N., Siskos, P., Kannavou, M., Petropoulos, A., ... Others. (2016). EU Reference Scenario 2016-Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050. Retrieved from http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13656/1/REF2016_report_FINAL-web.pdf
11. Think Paper #4 - The aviation network - Decarbonisation issues. (n.d.). *Eurocontrol*. Retrieved March 26, 2022, from <https://www.eurocontrol.int/publication/aviation-network-decarbonisation-issues>
12. Barbara, E. (2021, October 1). Kaum Dienstreisen während Corona: Unternehmen sparen 11 Mrd. Euro. Retrieved March 26, 2022, from <https://www.iwkoeln.de/studien/barbara-engels-kaum-dienstreisen-waehrend-corona-unternehmen-sparen-11-mrd-euro.html>
13. Transport & Environment. (2021). *Roadmap to decarbonising European shipping*.