

Schwere Lasten. Große Aufgabe. Ein Ziel.

Umweltschonender Güterverkehr:
international, national, lokal

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Autorinnen und Autoren:

Martyn Douglas, Juliane Bopst, Wolfram Calvet, Miriam Dross, Katrin Dziekan, Katharina Koppe, Martin Lambrecht, Martin Lange, Juliane Schicketanz, Frank Wetzel

unter Mitarbeit von

Percy Appel, Anna Chanin, Christian Fabris, Andrea Fechter, Kilian Frey, Detlef Gebauer, Michael Golde, Detlef Grimski, David Hartmann, Olaf Hölzer-Schopohl, Helge Jahn, Andrea Kolodziej, Christine Kornher, Anja Leskovar, Benjamin Lünenbürger, Thomas Myck, Elke Örtl, Maximilian Pagel, Carola Pahl, Ulrike Pirntke, Katja Purr, Inke Schauser, Ulrike von Schlippenbach, Martin Schmied, Dana Shilton, Annett Steindorf, Doris Tharan, Julia Treichel, Christoph Töpfer, René Weinandy, Jan Weiß

Kapitel 7 wurde mit fachlicher Zuarbeit des Fraunhofer IML durch Daniela Kirsch, Arnd Bernsmann, Andreas Gade, Konstantin Horstmann und Sebastian Stütz erstellt.

Überarbeitung:

Dipl.-Ing. Christa Friedl, Wissenschaftsjournalistin, Krefeld

Visionsdarstellung:

Die Grüne Film Agentur GmbH, Berlin

Satz und Layout:

www.3fdesign.de, Darmstadt

Diese Publikation ist kostenfrei zu beziehen beim Umweltbundesamt. Der Weiterverkauf ist untersagt. Bei Zuwerhandlung wird eine Schutzgebühr von 15 Euro/Stück erhoben.

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen

Stand: Mai 2024

ISSN 2363-832X

Danksagung:

Wir danken den Teilnehmerinnen*Teilnehmern am Expertenworkshop im Oktober 2023 für ihre Vorschläge und Hinweise: Axel Blume, Dr. Holger Busche, Anita Demuth, Meike Friedrich, Prof. Dr. Markus Hecht, Jens Hilgenberg, Dr. Heike van Hoorn, Dr. Axel Jakob, Michael Kadow, Bernhard Knierim, Kim Kohlmeyer, Lutz Könnner, Prof. Dr. Andrea Lochmahr, Dr. Jan-Marcus Lückhof, Dr. Urs Maier, Uta Maria Pfeiffer, Dr. Dirk Schreckenberger, Kerstin Wendt-Heinrich, Neele Wesseln und Anja Wollert.

Bildquellen:

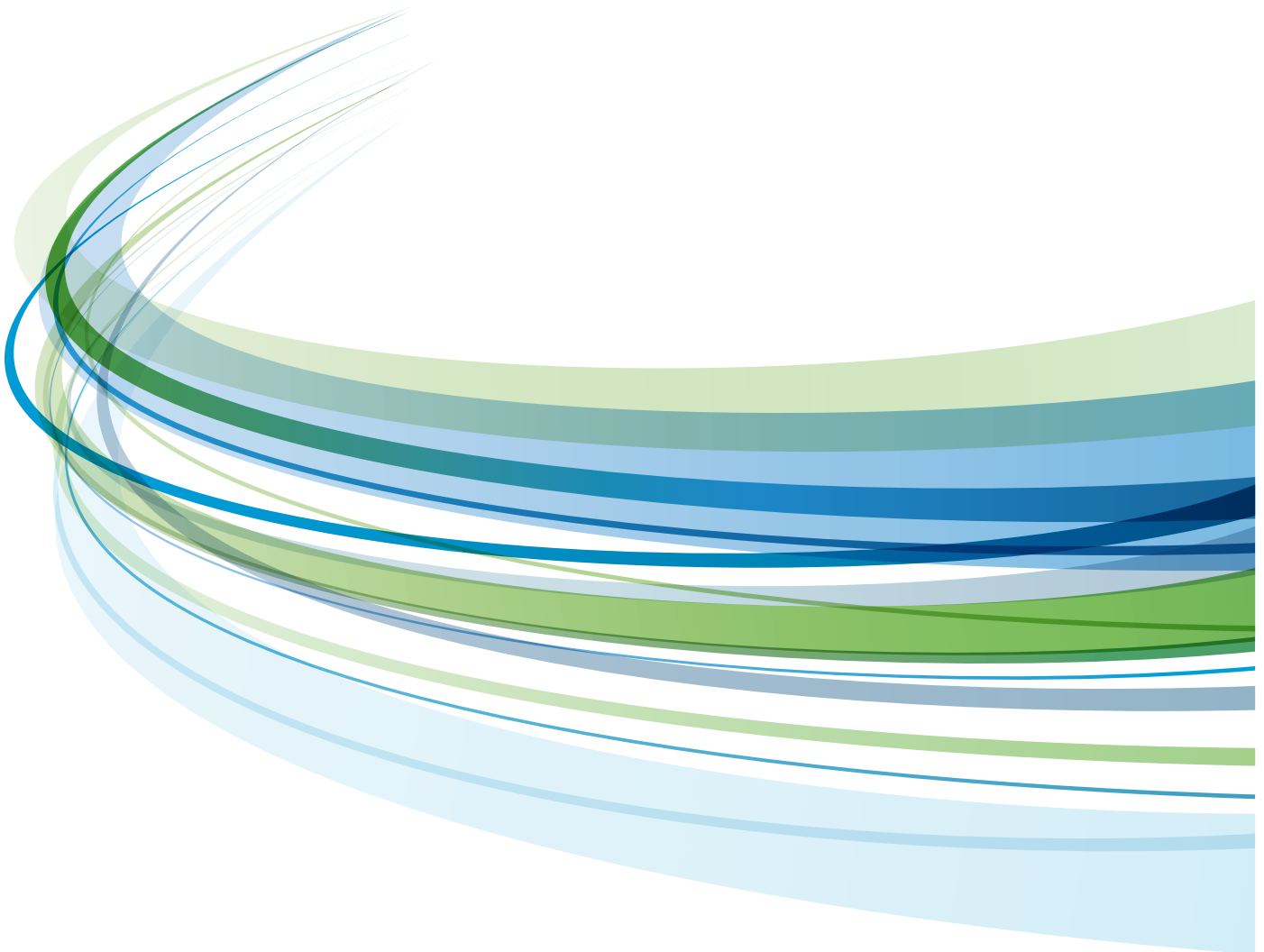
S. 1 © Ana/stock.adobe.com
S. 4/5 © Ilja (KI)/stock.adobe.com
S. 6/7 © pjjaruwan (KI)/stock.adobe.com
S. 8, S. 31_6 © Max Safaniuk/stock.adobe.com
S. 10/11 © Tatjana Balzer/stock.adobe.com
S. 12 © Adobe Contributor (KI)/stock.adobe.com
S. 14 © d.pix/stock.adobe.com
S. 15, S. 31_7 © ansi29/stock.adobe.com
S. 18/19 © Orbon Alija/iStock.com
S. 31_1 © Andrii Yalanskyi (KI)/stock.adobe.com
S. 31_2 © David Fuentes/stock.adobe.com
S. 31_3, S. 40 © Sesaon/stock.adobe.com
S. 31_4, S. 46 © Pierre-Yves Babelon/stock.adobe.com
S. 31_5 © Jammy Jean (KI)/stock.adobe.com
S. 38 © Andrea Fechter/Umweltbundesamt
S. 41 © Thomas/stock.adobe.com
S. 57 © Uwe/stock.adobe.com
S. 60 © Marco2811/stock.adobe.com
S. 61 © Ronald Rampsch/stock.adobe.com
S. 64 © Cheetose (KI)/stock.adobe.com
S. 69 © M. Weber/Umweltbundesamt
S. 78 © velishchuk/stock.adobe.com
S. 80 © Christopher Pfannebecker/pfannebecker kommunikationsdesign
S. 83 © TTstudio/stock.adobe.com

**Schwere Lasten.
Große Aufgabe.
Ein Ziel.**

UBA Forum 2024

Umweltschonender Güterverkehr

**klimaneutral, resilient, emissionsarm,
bezahlbar, generationengerecht**



Inhalt



6 **1** | Einleitung

Zügig neu navigieren!

10 **2** | Lasten für Gesundheit, Umwelt und Klima

18 **3** | Wohin steuert der Güterverkehr?

24 **4** | Vision für einen umwelt-schonenden Güterverkehr

Strategien und Ziele:
Der Rahmen muss stimmen

Internationaler See- und Luftverkehr: Schiffe auf Effizienz trimmen, Flüge vermeiden

Nationaler Güterverkehr: Güter aufs Gleis setzen, Antriebe umstellen

Urbane Logistik: Der Stadt wieder Luft verschaffen

34 **5** | Internationaler See- und Luftverkehr

GÜTER AUF HOHER SEE

Klimaschutzmaßnahmen im Seeverkehr

Klimaschutzinstrumente im Seeverkehr

INTERNATIONALE LUFTFRACHT

Klima- und Umweltschutzmaßnahmen in der Luftfracht

Klimaschutzinstrumente in der Luftfracht



48 **6** | Nationaler Güterverkehr

Tempo für Antriebswende auf der Straße

**Verkehrsinfrastruktur:
Damit Güter richtig liegen**

**Mehr Güter auf die Bahn!
Potenziale und Hemmnisse**

Logistik digital

**Nachhaltige Logistik-
konzepte**

**Binnenschifffahrt vor
neuen Aufgaben**

72 **7** | Urbane Logistik: Transporte für den Alltag vor Ort


**Ein guter Plan ist
aller Anfang**

**Stoffströme bündeln,
Touren konsolidieren,
Akteure vernetzen**

**Umweltverträgliche
Fahrzeugkonzepte**

82 **8** | Umweltschonender Güterverkehr: ein Ausblick

86 **9** | Literaturverzeichnis



Einleitung:
Zügig neu navigieren!





Einleitung: Zügig neu navigieren!

Güterverkehr hält die Welt am Laufen. Würden nicht in jeder einzelnen Sekunde des Tages Güter verpackt, verladen, transportiert, umgeladen, verteilt, sortiert und zugestellt, würde dem globalen Wirtschaftssystem der Stecker gezogen. Fabriken könnten nicht mehr produzieren, Baustellen ständen still, Abfälle würden nicht mehr abgeholt, Ladenregale blieben leer.

Die Coronajahre 2020 bis 2022 haben gezeigt, wie stark Gesellschaft und Wirtschaftssysteme rund um die Welt von Warentransporten abhängig sind. Doch mittlerweile ist Corona vorbei, die Logistik boomt, die Lieferketten sind wieder fest geknüpft. Also künftig wieder *Business-as-usual*?

Keine Rede. Güterverkehr muss sich – wie andere Wirtschaftssektoren auch – den Herausforderungen von Klima- und Umweltschutz stellen. Und zwar zügig: Das derzeitige deutsche Klimaschutzgesetz legt für den gesamten Verkehrssektor einen Rückgang der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 auf 85 Mio. t CO₂-Äquivalente fest. Bis 2045 will Deutschland treibhausgasneutral wirtschaften. Der Verkehrssektor hat im Jahr 2023 das dritte Mal in Folge seine Minderungsziele verfehlt. Seine Treibhausgasemissionen lagen bei 146 Mio. t und damit um 13 Mio. t zu hoch.

Der Güterverkehr muss seine Emissionen deutlich mindern – international, national, urban. Einfach wird das nicht. Die Nachfrage nach Dienstleistungen der Logistik wächst weltweit. Emissionsminderungen beispielsweise durch effizientere Lkw-Motoren, optimierte Schiffsantriebe und verbesserte Flugzeugturbinen sind dadurch schnell überkompensiert. Daher schlägt technischer Fortschritt auf die Emissionen nicht ausreichend durch.

Was oft vergessen wird: Güterverkehr ist aktuell eine maßgeblich aus ökonomischen Aktivitäten abgeleitete Größe. Je besser die konjunkturelle Lage, desto höher die Nachfrage nach Gütern und deren Transport. Die Kopplung von wirtschaftlichem Wachstum mit immer mehr Verkehr ist aber keine Naturkonstante. Fahrleistung und Emissionen können sinken, wenn Transporte besser geplant, koordiniert und organisiert oder Distanzen verkürzt werden.

Um Umwelt- und Klimaschutzziele zu erreichen, muss der gesamte Sektor neu navigieren: mit elektrischen Antrieben statt mit Dieselmotor, mit postfossilen Kraftstoffen, durch eine konsequente Verlagerung der Güter von der Straße auf die Schiene, mit Hilfe einer umfassenden Digitalisierung. Das ist eine Transformationsaufgabe, die alle Akteure nur gemeinsam bewältigen können.

Wie der Güterverkehr künftig in eine treibhausgasneutrale, resiliente, emissionsarme, bezahlbare und generationengerechte Richtung steuern kann, zeigt diese Fachbroschüre des Umweltbundesamtes auf. Das UBA zeichnet darin eine Vision für umweltschonende Transporte und schlägt Maßnahmen und Instrumente vor, die dem **internationalen Verkehr** auf See und in der Luft, dem **nationalen Verkehr** auf Straße, Schiene und Wasserstraße und der **urbanen Logistik** den Weg weisen.

Tiefgreifende Veränderungen in Verkehrssystemen brauchen Zeit und im Status quo herrscht ein hohes Beharrungsvermögen vor. Viele der vorgeschlagenen Maßnahmen und Instrumente in dieser Fachbroschüre zeigen daher erst mittel- und langfristig Auswirkungen. Umso wichtiger ist es, ohne weitere Verzögerungen jetzt zu handeln. Denn umweltfreundlicher Güterverkehr wäre nicht nur treibhausgasneutral und sauber. Eine Stärkung von Alternativen zum Straßenverkehr, die Abkehr von fossilen Abhängigkeiten und Offenheit für digitale Lösungen auf allen Ebenen können auch dafür sorgen, dass das System Güterverkehr resilienter gegenüber politischen, ökonomischen und ökologischen Krisen wird.



Lasten für Gesundheit, Umwelt und Klima



Lasten für Gesundheit, Umwelt und Klima

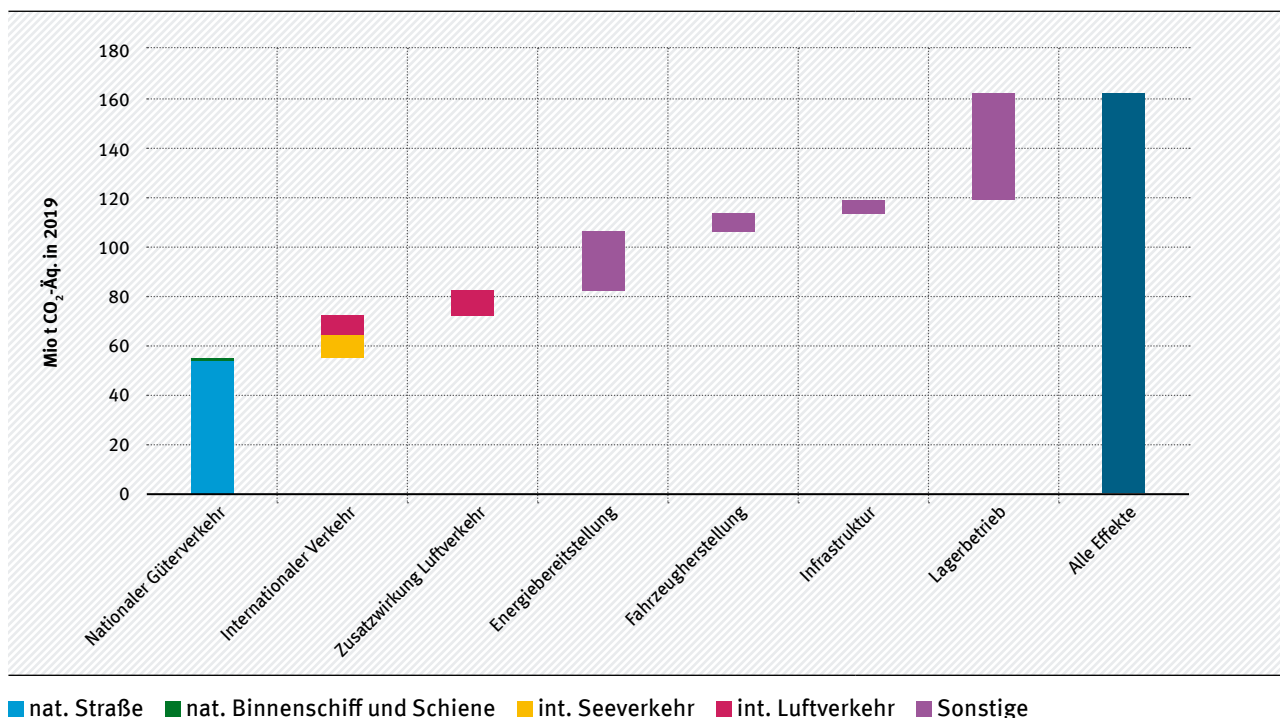
Güterverkehr ist eine Belastung für Menschen, Umwelt und Klima. Er erzeugt Treibhausgase, Luftschadstoffe und Lärm und verbraucht viel Fläche. Güterverkehr ist auch noch nicht auf Kurs in Richtung Umweltverträglichkeit und Treibhausgasneutralität. In Gebieten mit viel Verkehr werden die empfohlenen Werte der Weltgesundheitsorganisation für Feinstaub und Stickstoffdioxid deutlich überschritten. Vor allem aber: Wenn die Energiewende im Verkehr nicht schneller als bisher Realität wird, kommt der Güterverkehr im Klimaschutz nicht ans Ziel.

Treibhausgasemissionen. Wie viel Treibhausgasemissionen der Güterverkehr verursacht, hängt von der Betrachtungsweise ab. Da die Jahre 2020 bis 2023 stark von den Auswirkungen der Corona-Pandemie und Kriegen geprägt waren, beziehen sich viele Zahlen dieser Fachbroschüre auf 2019 – das letzte Jahr, in dem globales *Business-as-usual* noch möglich war.



Abbildung 1

THG-Emissionen des deutschen Güterverkehrs 2019 unter Berücksichtigung weiterer Klimawirkungen außerhalb des Verkehrs



Güterverkehr im Sektor Verkehr nach TREMOD 6.43, nur direkte Emissionen (TTW) fossiler Energieträger und nach Energiebilanzprinzip; Internationaler Verkehr: Biemann et al. 2024a, Energiebereitstellung: Quelle TREMOD 6.43 und Biemann et al. 2024a; Fahrzeugherstellung und Infrastruktur, Lagerbetrieb (betrifft nur Lager in Deutschland): Opitz et al. 2024.

Quelle: Eigene Darstellung nach Opitz et al. 2024

2019 emittierte der Güterverkehr in Deutschland 55 Mio. t CO₂-Äq. (Kohlenstoffdioxid-Äquivalente).¹ Das entspricht in etwa den Emissionen der gesamten Landwirtschaft und über 7 % der gesamtdeutschen Treibhausgasemissionen. Berücksichtigt man internationale Transporte, bei denen nach dem „Halbstrecken-Prinzip“ die Hälfte der Emissionen aus der Gesamtstrecke dazukommen, und außerdem die sogenannten Nicht-CO₂-Effekte des Luftverkehrs (z. B. durch Rußpartikel und Kondensstreifen), erhöht sich die Summe auf über 80 Mio. t CO₂-Äq.

Die Zahl verdoppelt sich gar auf etwa 160 Mio. t CO₂-Äq., werden auch Emissionen für Strom, Wärme, Lagerbetrieb und Bau der Infrastruktur, die vom Güterverkehr ausgelöst werden, berücksichtigt (siehe Abbildung 1). Dazu gehören beispielsweise Bau und Erhalt von Straßen und Schienen, der Strom und das Heizen von Lagern, die Herstellung von Fahrzeugen und Kraftstoffen wie Diesel oder Kerosin. Zum Vergleich, im Jahr 2019 lagen die gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland bei 797 Mio. t CO₂-Äq.

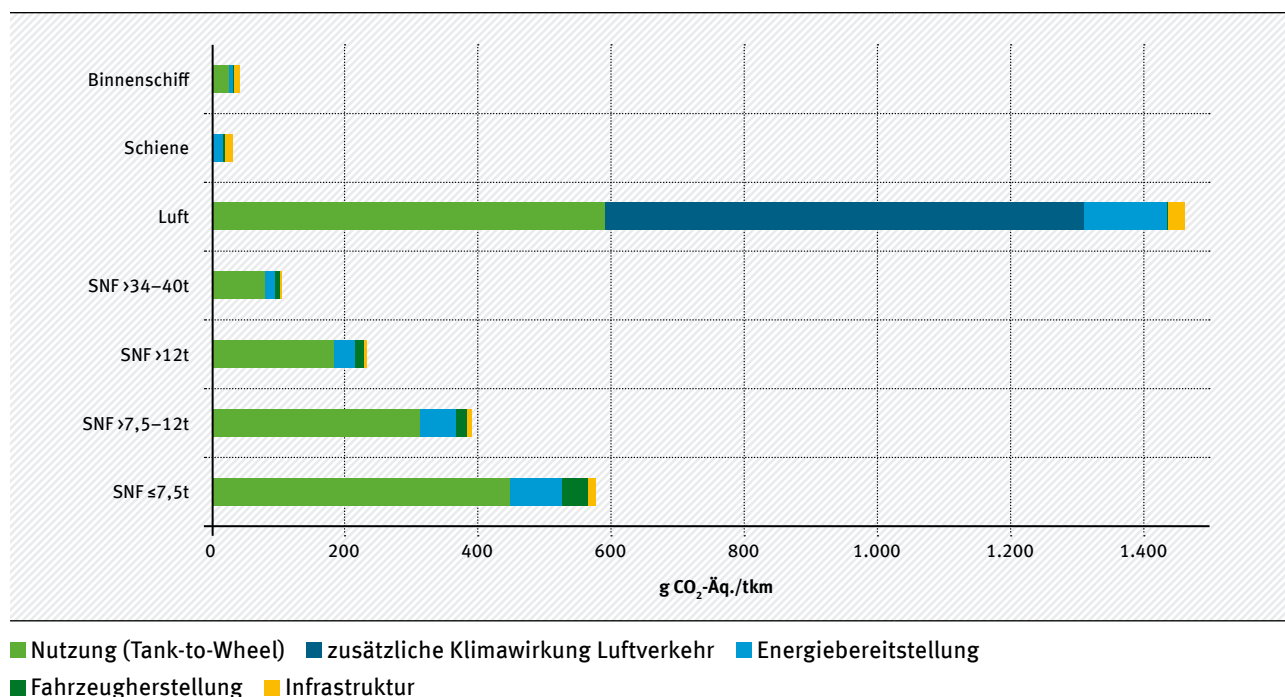
Im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) wird im Sektor Verkehr nur der nationale Teil des Güterverkehrs

berücksichtigt. Hier dominieren die Lkw-Transporte, in der Folge stammt auch der Großteil der Emissionen aus dem Straßengüterverkehr – er ist für 98 % der Treibhausgase des Güterverkehrs in Deutschland verantwortlich (siehe Abbildung 1). Internationale Transporte verursachen zusätzlich 27 Mio. t CO₂-Äq., also noch einmal halb so viele Emissionen wie der nationale Güterverkehr. Von diesen entfallen zwei Drittel auf den Luftverkehr, obwohl dieser nur etwa 0,1 % des Güteraufkommens in Deutschland abwickelt. Werden die Nicht-CO₂-Effekte des Luftverkehrs berücksichtigt, sind die klimaschädlichen Emissionen der Luftfracht, gemessen an den Tonnenkilometern, 200-mal höher als im Seeverkehr.² Der internationale Seeverkehr hat also eine bessere Klimabilanz. Sein Güteraufkommen im Jahr 2019 war so hoch wie rund 8,2 % des nationalen Aufkommens und er emittierte 9,6 Mio. t CO₂-Äq. Die meisten Klimagase aus internationalen Transporten entstehen auf Routen von und nach Asien, gefolgt von Verbindungen nach Nord- und Südamerika.

Nicht nur die Transporte selbst sind klimaschädlich. Auch die Herstellung und Verteilung der notwendigen Kraftstoffe und die Produktion von Fahrzeugen,

Abbildung 2

Treibhauspotenziale des Güterverkehrs pro Tonnenkilometer



Datenstand 2017. Luft = internationale Luftfracht, SNF = schweres Nutzfahrzeug
Seeschiffe wurden in der Studie nicht mit untersucht.

Quelle: Opitz et al. 2024

¹ Opitz et al. 2024: Umwelt- und Klimaschutz in der Logistik – Potenziale umweltorientierter Logistikkonzepte zur Reduzierung der Emissionen des Güterverkehrs (PULK).

² Biemann et al. 2024a: Lokaler, nationaler und internationaler umweltschonender Güterverkehr – Datenbericht zum Transformationsdialog und UBA Forum mobil und nachhaltig.

Tab. 1

Abschätzung der THG-Emissionen für die Fahrzeugherstellung und Verkehrsinfrastruktur des deutschen Güterverkehrs für das Jahr 2019

Fahrzeugkategorie	Verkehrsleistung in Mrd. tkm	Infrastruktur in Mio. t CO ₂ -Äq	Fahrzeuge in Mio. t CO ₂ -Äq
Kraftfahrzeuge	498,5 ¹⁾	3,2	6,9
Flugzeug	12,2 ²⁾	0,3	0,01
Bahn	133,6	1,6	0,3
Binnenschiff	50,9	0,4	0,1
Summe	695,2 ^{1), 2)}	5,5	7,3

1 Zusätzliche Fahrleistung von 53,7 Mrd. Fahrzeug-km für leichte Nutzfahrzeuge.
2 Luftfracht inkl. Internationale Flüge.
Seeschiffe wurden in der Studie nicht mit untersucht.

Quelle: Opitz et al. 2024, Berechnung mittels Emissionsfaktoren für das Jahr 2017 aus (Allekotte et al. 2020) und Fahr- und Verkehrsleistungen aus TREMDO 6.43. Werte gerundet

Binnenschiffen, Güterbahnen und Flugzeugen verschlingen Energie und erzeugen daher eine große Menge an Treibhausgasemissionen (siehe Abbildung 2). Dazu kommen Neubau und Ausbau der Verkehrsinfrastruktur, ohne die Transporte gar nicht möglich wären. Einen erheblichen Anteil an den Emissionen verursacht nicht zuletzt der Betrieb von Gebäuden aller Art, die eine Logistikkette benötigt (siehe Abbildung 1). Tabelle 1 zeigt im Vergleich der unterschiedlichen Verkehrsmittel, wie hoch die Emissionen für Infrastruktur und Fahrzeugherstellung sind.

Luftschadstoffe. Der Straßengüterverkehr in Deutschland stieß im Jahr 2022 etwa 107.000 t Stickoxide aus.³ Stickoxide können Atemwegserkrankungen auslösen und sind eine Gefahr insbesondere für Kinder, gesundheitlich beeinträchtigte und alte Menschen. Stickoxide gefährden Menschen vor allem in verkehrsreichen und zugleich dicht besiedelten Städten und Ballungsräumen. Über die Abgase aus dem Güterverkehr gelangt nur ein relativ geringer Teil der Feinstaubemissionen in die Luft. Bedeutender ist der Abrieb von Reifen, Bremsen und Straßendecken. 2022 lag die Menge an Feinstaub mit einem Partikeldurchmesser kleiner als 10 Mikrometer (sogenannte PM10) aus dem gesamten Straßenverkehr bei etwa 25.000 t.

Im Vergleich dazu ist der Schienenverkehr relativ sauber. Die Emissionen von Stickoxiden lagen 2022 bei knapp 8.000 t, bei PM10 bei 9.000 t. Stickoxide im Schienengüterverkehr stammen im Wesentlichen aus der Verbrennung von Dieselmotoren, z. B. aus Rangierfahrten. Feinstaubemissionen sind wie beim Straßengüterverkehr in erster Linie eine Folge von mechanischem Abrieb, bei der Bahn also von Schienen, Bremsen und Oberleitungen.

Auch die Binnenschifffahrt ist in Deutschland eine eher kleinere Quelle für Luftschadstoffe. Im Jahr 2022 lagen die Abgasemissionen der Binnenschiffe im Güterverkehr bei etwa 20.000 t Stickoxide und 800 t PM10-Partikel. Bezieht man diese Werte jedoch auf die Verkehrsleistung, die nur etwa ein Zehntel des

3 Für die direkten Schadstoffemissionen liegen für das Jahr 2022 aktuelle Daten aus der nationalen Berichterstattung von Schadstoffen vor. Im Bereich der Schadstoffemissionen wirkt die Flotterneuerung im Vergleich zu Treibhausgasemissionen stärker reduzierend, sodass aktuelle Daten besonders wichtig sind.

Tab. 2

**Schadstoffemissionen je Verkehrsleistung des deutschen Güterverkehrs für das Jahr 2022
(inkl. Energiebereitstellung und -umwandlung).**

Verkehrsmittel	Stickoxide in g/tkm	Partikel ohne Abrieb in g/km
Lkw	0,198	0,010
Güterbahnen	0,032	0,001
Binnenschiff	0,415	0,011

Quelle: Umweltbundesamt 2024 / TREMOD 6.51

Straßenverkehrs beträgt, so haben Binnenschiffe – anders als bei den Treibhausgasemissionen – keinen Vorteil bei den Luftschadstoffen. Das erklärt sich damit, dass die Dieselmotoren der Binnenschiffe oft nur über veraltete Systeme zur Abgasnachbehandlung verfügen. In stadtnahen Abschnitten der Wasserstraßen dominieren aber nicht die Emissionen der Schiffe, sondern die des benachbarten Straßenverkehrs. Tabelle 2 macht den Vorteil der Schiene bei den Luftschadstoffen deutlich.

Ganz anders ist das Bild im internationalen Seeverkehr. Hier sind die Gesamtmengen an Luftschadstoffen mit denen aus dem Straßengüterverkehr vergleichbar. Der internationale Gütertransport per Schiff hat im Jahr 2019⁴ – auf Basis des Halbstreckenprinzips⁵ – über 177.000 t Stickoxide und über 12.000 t PM10-Feinstaubpartikel emittiert. Ein spezifisches Problem im Seeverkehr sind Schwefeldioxide aus der Verbrennung von Kraftstoffen, für die hohe Schwefelgehalte erlaubt sind. Dieseldieselloststoff für Lkw, Bahnen und Binnenschiffe darf in Deutschland maximal 0,001 % Schwefel enthalten. Für Kraftstoffe in der Seeschifffahrt gilt seit 2020 global ein Grenzwert von 0,5 %, also um den Faktor 500 mehr. In sogenannten Sulphur Emission Control Areas (SECA) in Nord- und Ostsee ist ein Schwefelgehalt von 0,1 % erlaubt. Auch in diesen Gebieten ist der Einsatz von Schwerölen mit mehr als 0,1 % Schwefel zulässig, wenn das Schiff eine Entschwefelungsanlage an Bord hat. Die Entschwefelungsanlagen haben üblicher-

weise Einleitungen von schadstoffbelastetem Abwasser zur Folge.

Der Luftfrachtverkehr emittierte 2019 etwa 39.000 t Stickoxide und 320 t PM10-Partikel. Bezogen auf seine geringe Verkehrsleistung sind diese Werte recht hoch. Insbesondere der relevante Anteil von ultrafeinen Partikeln mit einem Durchmesser von unter 100 Nanometern führt im Umfeld von Flughäfen zu Gesundheitsgefahren, da diese winzigen Teilchen tief in die Lunge gelangen und Atemwegserkrankungen auslösen können. Im Radius von einem Kilometer um einen Flughafen herum kann der Luftverkehr für bis zu 25 % der Belastung durch ultrafeine Partikel verantwortlich sein.



⁴ Für Luft- und Seeverkehr werden aufgrund anderer Auswertemethoden Daten mit dem Stand 2019 verwendet.

⁵ Beim Seeverkehr wird jeweils die Hälfte der Emissionen für alle abgehenden und ankommenden Verkehre bzw. durch Im- und Exporte angerechnet.

Lärmbelastung. Verkehr erzeugt Lärm. Viele Menschen in Deutschland fühlen sich dadurch gestört oder belästigt und sind in ihrer Gesundheit gefährdet. Eine Befragung im Jahr 2020⁶ ergab, dass sich 76 % durch Straßenverkehrslärm gestört fühlen, ein Fünftel sogar äußerst stark. Nur 24 % nehmen den Lärm der Straße eher hin oder leben in verkehrsarmen Gebieten. Auch Flugzeuge und Züge verursachen Lärmprobleme. Durch den Luftverkehr fühlten sich 43 % der Befragten gestört, durch Schienenverkehr etwa jede*r Dritte (siehe Abbildung 3).

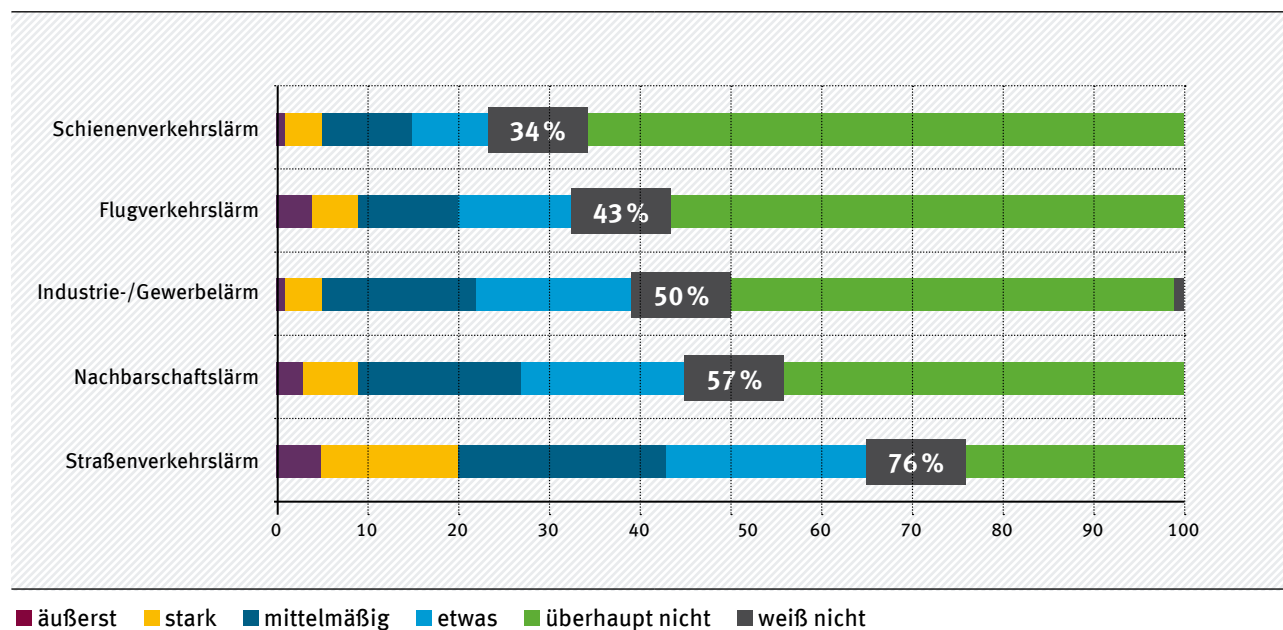
Auch Lärmkartierungen im Rahmen der EU-Umgebungslärmrichtlinie und Berechnungen des UBA für das Jahr 2022 ergaben, dass große Teile der Bevölkerung durch Verkehrslärm belastet werden. Etwa 16 von 25,5 Millionen Menschen in den von der Lärmkartierung erfassten Gebieten sind allein von Straßenverkehrslärm mit über den Tag verteilten Mittelungspegeln von mindestens 55 Dezibel(A)⁷ betroffen. Bei diesen Mittelungspegeln ist zunehmend mit Beeinträchtigungen des psychischen und sozialen Wohlbefindens zu rechnen. Über zehn Millionen sind darüber hinaus nachts Lärmpegeln von mindestens 50 dB(A) ausgesetzt, jede zweite Person davon wird durch noch deutlich höhere Pegel belastet. Ein gesunder Schlaf ist laut WHO ab 50 dB(A) nicht mehr möglich.

Abbildung 3

Wie stark stört der Verkehrslärm?

Frage: Wenn Sie einmal an die letzten 12 Monate hier bei Ihnen denken, wie stark haben Sie sich persönlich durch den Lärm von folgenden Dingen gestört oder belästigt gefühlt?

(Angaben in Prozent, Abweichungen von 100 Prozent rundungsbedingt)



Quelle: Belz et al. 2022

⁶ Belz et al. 2022: Umweltbewusstsein in Deutschland 2020.

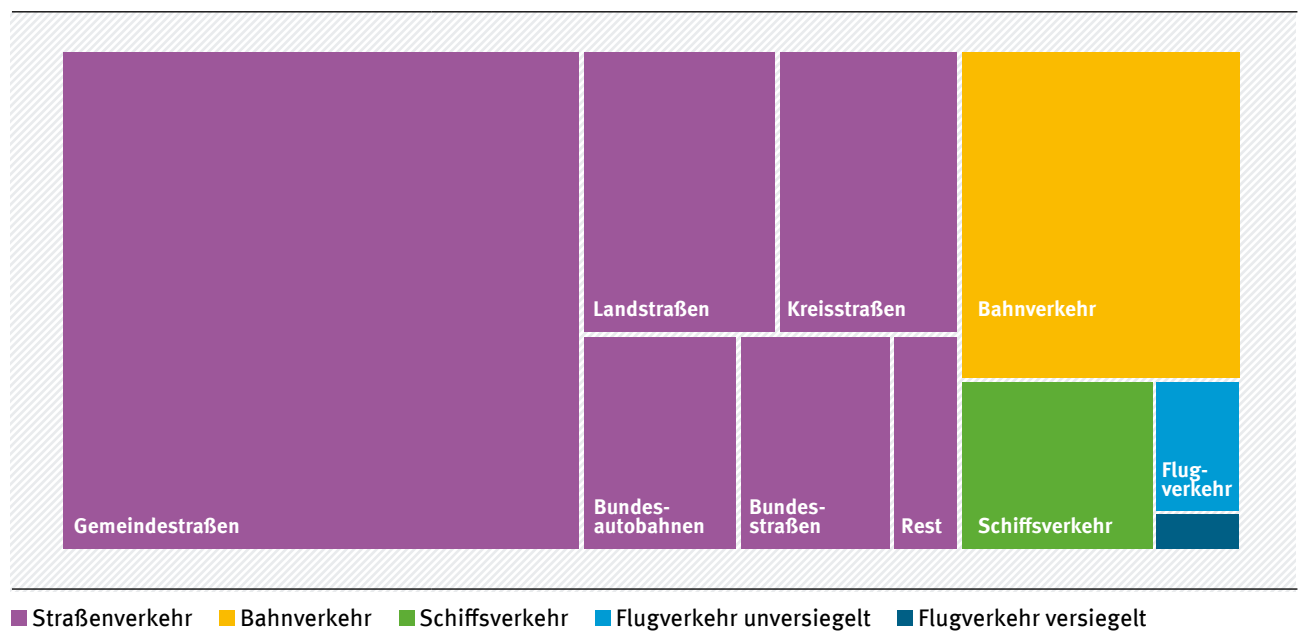
⁷ Die Einheit des Schalldruckpegels ist Dezibel. Die Frequenzbewertung A passt einen physikalisch gemessenen Schalldruckpegel der Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs an. Deshalb wird in der Literatur Dezibel(A) oder kurz dB(A) verwendet.

Flächenverbrauch. Beim Flächenverbrauch klaffen Wunsch und Wirklichkeit weit auseinander. Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie von 2021 sieht vor, dass der Flächenverbrauch in Deutschland sinken soll – bis zum Jahr 2030 auf durchschnittlich unter 30 Hektar pro Tag. Bis zum Jahr 2050 strebt die Bundesregierung in der Nachhaltigkeitsstrategie eine Flächenkreislaufwirtschaft an. Das heißt, es sollen in Übereinstimmung mit der Bodenstrategie 2030 der EU netto keine weiteren Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke mehr beansprucht werden. Davon ist Deutschland weit entfernt: Im vierjährigen Mittel der Jahre 2019 bis 2022 waren es durchschnittlich noch 52 Hektar pro Tag. Der gesamte Verkehr beansprucht derzeit knapp 6.000 Quadratkilometer Fläche, das entspricht immerhin etwa 1,5 % der Fläche Deutschlands, wobei der Straßenverkehr mit Abstand der größte Flächennutzer ist (siehe Abbildung 4).⁶

Güterverkehr braucht Fläche nicht nur für Straßen und Schienen, sondern auch für Häfen, Terminals und Umschlagplätze, für Lager, Depots und Verwaltungsgebäude. Maßnahmen und Instrumente, die Güterverkehr reduzieren, sind klar ein Gewinn für Gesundheitsschutz und Luftreinhaltung. Nicht zuletzt aber schonen sie die wertvolle Ressource Boden. Eine Ressource, die in Deutschland stark begrenzt ist und die zugleich viele Nutzungen erfüllen muss: Böden sind unverzichtbar für den Klimaschutz, als Kohlenstoff- und Wasserspeicher, für die Erzeugung von Nahrungsmitteln und für Naturschutz. Wo Straßen und andere Verkehrswege Lebensräume durchkreuzen oder Populationen isolieren, können sie wichtige Funktionen stören und beispielsweise zu einer Verarmung von Flora und Fauna führen.

Abbildung 4

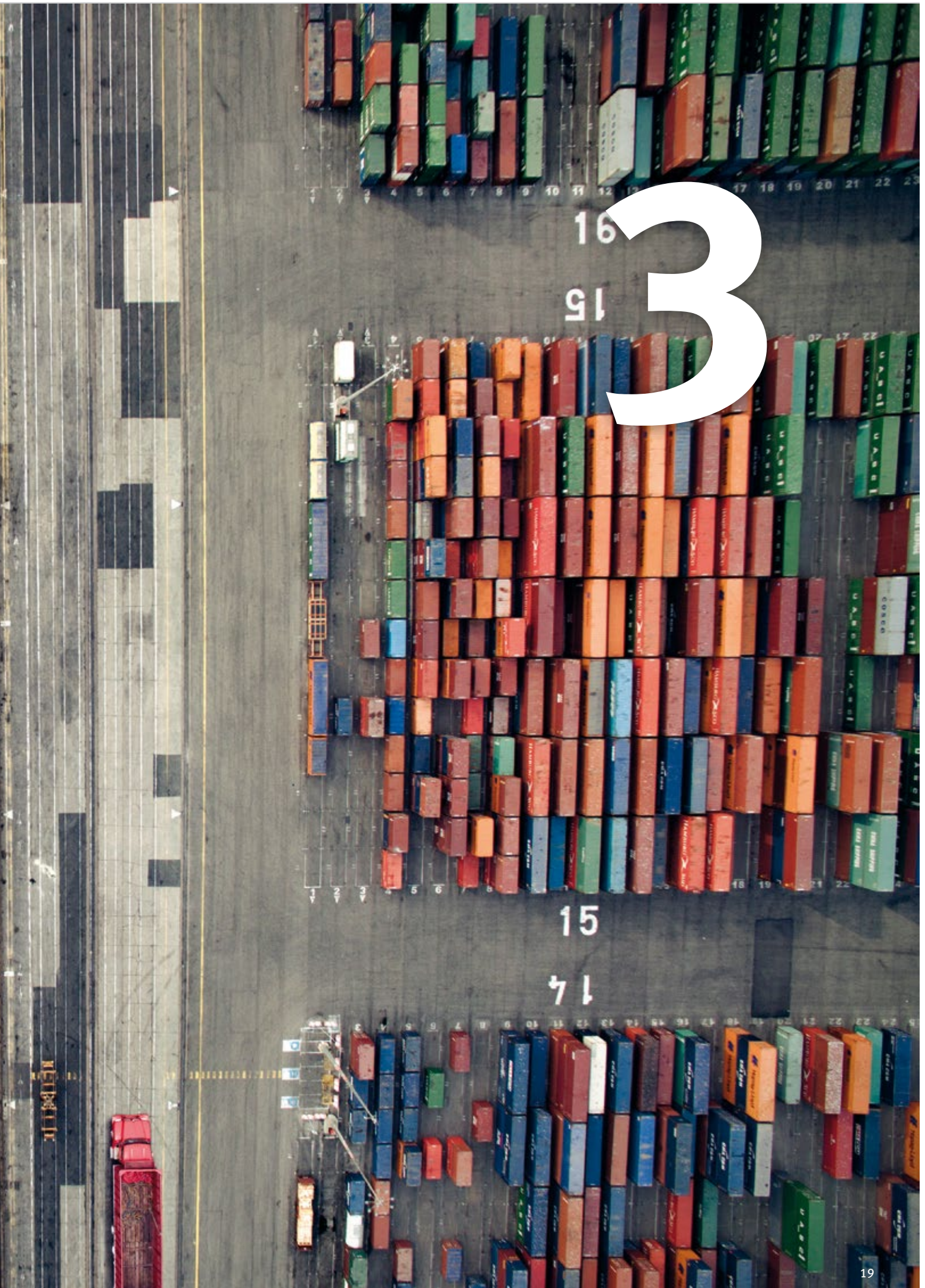
Flächenverbrauch nach Verkehrsart



Quelle: Eigene Darstellung mit Daten aus Biemann et al. 2024a

Wohin steuert der Güterverkehr?





Wohin steuert der Güterverkehr?

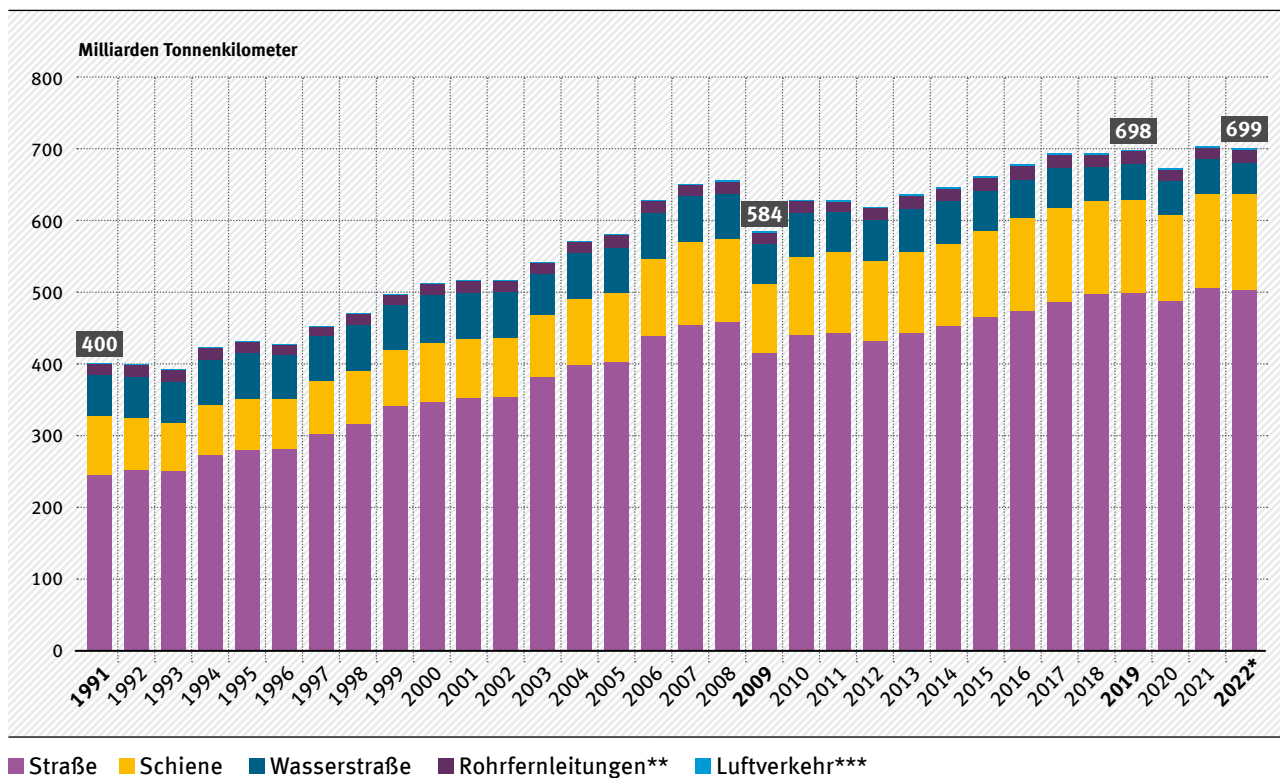
Sowohl der Verkehr insgesamt als auch der Güterverkehr nehmen bislang zu und damit steigen die verkehrsbedingten Klima- und Umweltbelastungen. Der Güterverkehr steht – bezogen auf den Energieverbrauch – für rund 40 % des Gesamtverkehrs in Deutschland. Er wuchs in der Vergangenheit deutlich stärker als der Personenverkehr. Mit fortschreitender Globalisierung und wachsender Wirtschaftsleistung verlängerten sich Transporte und erhöhte sich die Anzahl der Transportwege, die Güterverkehrsleistung stieg weiter. Preisbereinigtes Bruttoinlandsprodukt und inländischer Güterverkehr sind seit 2005 um jeweils knapp 20 % angestiegen, was die enge Verknüpfung verdeutlicht. Auch der Energieverbrauch im Güterverkehr nahm trotz Effizienzmaßnahmen seit 2005 um rund 20 % zu.⁸

Schaut man auf die letzten 30 Jahre zurück (siehe Abbildung 5), so nahm in Deutschland die Verkehrsleistung im Güterverkehr zwischen 1991 und 2022 von 400 auf 699 Mrd. Tonnenkilometer um rund 75 % zu. Im Personenverkehr fiel das Wachstum mit 22 % deutlich geringer aus. Der Straßengüterverkehr verzeichnete ein Plus von rund 105 %, der Schienengüterverkehr eine Zunahme von knapp 61 %.

Der überwiegende Anteil des Güterverkehrs in Deutschland findet auf der Straße statt. Der Anteil der umweltschonenderen Verkehrsmittel Bahn und Binnenschiff ist von zusammen 34,5 % im Jahr 1991 auf 25,3 % im Jahr 2022 zurückgegangen. Die Schiene konnte den Rückgang beim Binnenschiff auf einen Anteil von 6,3 % nur teilweise ausgleichen. Der Schienengüterverkehr konnte in den letzten 20 Jahren etwas stärker wachsen als der gesamte Güterverkehr, der Anteil der Schiene stieg von knapp 16 % auf inzwischen 19 %.

Abbildung 5

Güterverkehrsleistung nach Verkehrsträgern in Deutschland



* zum Teil vorläufige Angaben

** ab 1996 nur Rohöl

*** Fracht- und Luftpost, ohne Umladungen

Quelle: Umweltbundesamt 2023, Daten aus Verkehr in Zahlen des BMDV

8 UBA 2024: Daten- und Rechenmodell Transport Emission Model „TREMOM“, Version 6.51.

Im März 2023 legte das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) eine neue Verkehrsprognose vor: die „**Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose**“.⁹ Sie reicht bis ins Jahr 2051 und versucht die Entwicklung des Güterverkehrs in den kommenden knapp 30 Jahren zu prognostizieren. Sie berücksichtigt gegenüber älteren Prognosen eine gestiegene Bevölkerungszahl, Veränderungen durch die beschleunigte Energiewende und hohe Energiekosten in Folge des Ukraine-Krieges. Unberücksichtigt hingegen sind weitergehende Maßnahmen wie Verkehrsvermeidung oder -verlagerung, um die Klimaziele im Verkehr bzw. nach der Lastenteilungsverordnung der EU sicher zu erreichen.

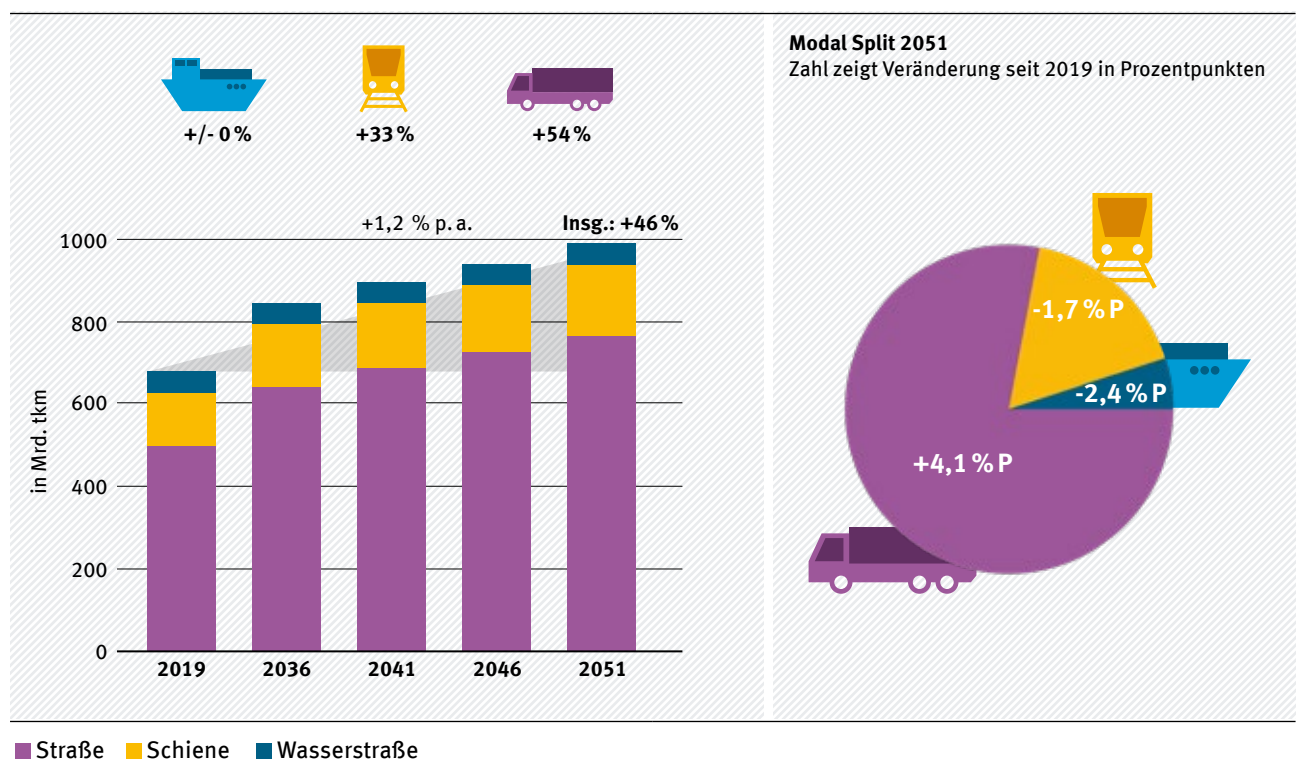
Laut dieser Prognose nimmt der Güterverkehr im Rahmen der dort angenommenen Prognoseprämissen weiterhin stark zu (siehe Abbildung 6). Die Verkehrsleistung wird im Zeitraum von 2019 bis 2051 um jährlich 1,2 % und damit insgesamt bis 2051 um 46 % steigen. Das Güterverkehrsaufkommen fällt mit knapp 30 % etwas geringer aus, wobei die Transportstrecken weiter wachsen. Zwischen 2010 und 2019 ist

die Verkehrsleistung im Güterverkehr noch um 1,3 % pro Jahr angestiegen. Demnach ist ein ähnlich hohes Wachstum im Güterverkehr zu erwarten, wenn keine weiteren Maßnahmen für eine umweltpolitische Wende in diesem Bereich ergriffen werden.

Den höchsten Zuwachs mit 54 % verzeichnet laut Prognose der Straßenverkehr. Infolge des überdurchschnittlichen Wachstums auf der Straße entwickelt sich der Modal Split zugunsten des Straßengüterverkehrs, während Schiene und Binnenschifffahrt an Bedeutung verlieren. Der Verkehrsleistung im Schienengüterverkehr wird – vor allem durch den starken Anstieg des kombinierten Verkehrs (Bahn/Lkw) – ein Wachstum um 33 % prognostiziert. Die Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose geht zudem davon aus, dass das Transportaufkommen (in Tonnen) in der Binnenschifffahrt bis zum Jahr 2051 (im Vergleich zu 2019) um 10 % abnehmen wird. Da die Transportstrecken länger ausfallen, bleibt die Verkehrsleistung dennoch gleich.

Abbildung 6

Veränderung der Güterverkehrsleistung nach der „Gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose“



Quelle: Eigene Darstellung nach BMDV 2023

9 BMDV 2023: Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose 2021 – 2022, Ergebnisbericht zur Prognose 2022 „Absehbarer Weg“.

Das weitere Wachstum des Güterverkehrs auf der Straße würde die vorhandenen Verkehrssysteme unter Druck setzen. In diesem Zusammenhang wird von verschiedenen Akteuren kritisiert, dass mit dem geplanten weiteren Ausbau der Straße dessen weiteres Wachstum fortgeschrieben wird und dem Bedarf nach Veränderungen im Güterverkehr zum Klimaschutz nicht ausreichend Rechnung getragen wird, wenn die Schwerpunkte für Infrastrukturprojekte nicht in den Schienenverkehr gelegt werden.

Wandel im Güterverkehr: der Güterstruktureffekt. Ausschlaggebend für die starke Zunahme des Verkehrs auf der Straße ist ein Strukturwandel im Güterverkehr in Folge einer sich ändernden Wirtschaftsstruktur.

Der Güterstruktureffekt bedeutet einen Rückgang des durchschnittlichen Gewichts der Transporte und eine steigende Nachfrage nach Transporten von kleineren, individualisierten Gütern von relativ hohem Wert. Vor allem aufgrund der steigenden Energiekosten, des Kohleausstiegs und Ersatz von Öl beim Heizen und bei der Mobilität durch erneuerbaren Strom werden in Zukunft weniger Massen- und Energiegüter trans-

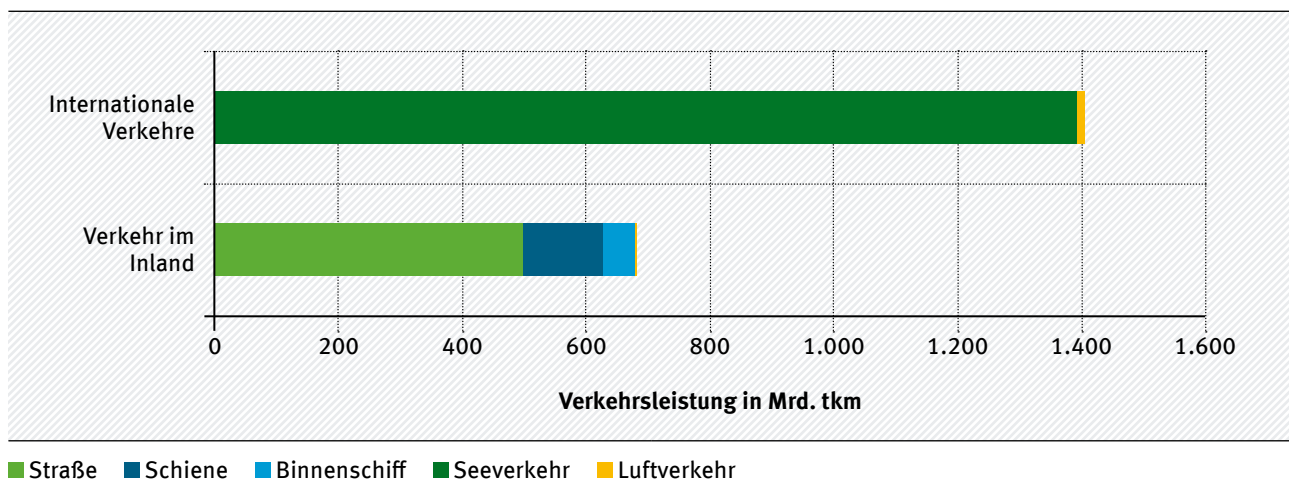
portiert. Dies geht zu Lasten der Marktanteile von Schiene und Wasserstraße.

Das Aufkommen im Massengutbereich schrumpft unter anderem gemäß der Gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose auf 24 % im Jahr 2051 gegenüber dem Aufkommen im Jahr 2019. Für Sammel- und Stückgüter sowie Postsendungen, die bevorzugt per Lkw transportiert werden, wird ein starkes Wachstum prognostiziert. Das Aufkommen für Postsendungen und Pakete wird demnach um 200 % ansteigen, das von Sammelgut um 91 % und auch die Gruppe „Maschinen und Ausrüstungen“ wird mit 64 % Wachstum stark ansteigen.

Die Verkehrsleistung von und nach Deutschland gehender internationaler Verkehre war im Jahr 2019 etwa doppelt so hoch wie die auf deutschem Territorium (siehe Abbildung 7). Die Seeschifffahrt erbringt den Hauptteil dieser Güterverkehrsleistung. Dagegen hat der Luftverkehr nur einen sehr geringen Anteil. Der Güterstruktureffekt verschiebt auch international die Anteile zwischen den Verkehrsträgern und hat Auswirkungen auf den Luft- und Seeverkehr. Die Transportleistung im Seeverkehr durch Exporte steigt von 425 Mrd. Tonnenkilometer (tkm, 2019)

Abbildung 7

Verkehrsleistung internationaler Verkehre im Vergleich zum Verkehr im Inland für 2019



* Luftverkehr bis zur ersten (Zwischen)Landung, Seeverkehr 50 % der Summe aus Import und Export bis zum Ursprungs-/Zielland

Quelle: Eigene Darstellung nach Biemann et al. 2024a

auf 441 Mrd. tkm (2050), die Verkehrsleistung im Import sinkt dagegen von 968 Mrd. tkm (2019) auf 781 Mrd. tkm im Jahr 2050.¹⁰ In der Luftfracht ist mit anderen Entwicklungen des ein- und abgehenden Aufkommens zu rechnen. Die Verkehrsleistung in der Luftfracht lag 2019 bei 12,2 Mrd. tkm und steigt bis 2050 um 44 % auf rd. 17,6 Mrd. tkm an.¹¹ 2019 wurde die Verkehrsleistung zu zwei Drittel mit Frachtflugzeugen erbracht, die übrigen 37 % wurden als sogenannte Belly-Fracht in großen Passagierflugzeugen abgewickelt.¹⁰

Auswirkungen der hohen Energiepreise. Die Wirkungen des Güterstruktureffekts werden durch die auch zukünftig hohen Energiepreise erheblich verstärkt. In der Gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose wird davon ausgegangen, dass sich die realen Energiepreise auch über Kraftstoffkosten hinaus im Zeitraum bis 2051 auf hohem Niveau stabilisieren. Dies wirkt sich zunächst direkt auf die Nutzerkosten im Güterverkehr aus. Hohe Energiepreise bewirken wirtschaftliche Veränderungen außerhalb des Transportmarktes, aber auch auf dem Transportmarkt insgesamt. Besonders energie- und ressourcenintensive Produktionen in der Industrie würden, der Gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose und deren Grundlagen folgend, teilweise ins Ausland verlagert. In der Folge würden insbesondere Schienengüter- und Binnenschiffverkehr, u. a. auch durch den Kohleausstieg in Deutschland, an Transportvolumen verlieren. Hohe Energiepreise beschleunigen die Energiewende im Verkehr, da Energieeffizienz eine größere Rolle spielt. Durch die Elektromobilität im Personen- und Güterverkehr wird der Bedarf an Kraftstoffen zurückgehen. Absehbar höhere Preise für treibhausgasneutrale Kraftstoffe in Form von E-Fuels oder PtX-Kraftstoffen (Power-to-X; Power-to-Gas- bzw. Power-to-Liquid-Kraftstoffe) könnten diesen Rückgang stärker beschleunigen als die Prognose vorsieht.

Prognose auf dem Prüfstand. Eine regelmäßige Aktualisierung der Prognosen für die Gestaltung eines umweltschonenden Güterverkehrs ist wichtig. Zwar sind konjunkturelle Schwankungen indirekt in Verkehrsprognosen enthalten, wenn die Entwicklungen aus der Vergangenheit fortgeschrieben werden. Globale Krisen mit Auswirkungen auf den Welthandel – und daraus abgeleitet auf den Güterverkehr – können jedoch nicht prognostiziert werden.

Die Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose des Bundesverkehrsministeriums enthält über 130 Annahmen und umfassende Analysen der Strukturdaten, die bezogen auf die räumliche Aufteilung bis unterhalb der Ebene der Landkreise heruntergebrochen wurden. Sie greift zudem in ihren Annahmen demografische und ökonomische Strukturbrüche auf (z. B. Energiekosten, Migration). Sie enthält alle bisher beschlossenen politischen Instrumente und zeigt eine Entwicklung auf, wie sie eintreten kann, wenn keine weiteren Instrumente – beispielsweise zur Erreichung der Umwelt- und Klimaschutzziele – ergriffen oder Ziele geändert werden. Die Prognose kann als Grundlage bzw. Ausgangspunkt für Szenarien dienen, in denen die Wirkung von zusätzlichen, zwingend notwendigen Klimaschutzmaßnahmen und -instrumenten im Verkehr berechnet wird. Dies hat das BMDV jedoch noch nicht getan. Die mit dieser Broschüre vorliegende Vision des UBA für einen umweltschonenden Güterverkehr und die vorgeschlagenen Maßnahmen könnten eine Grundlage für die Entwicklung eines Transformationsszenarios sein.

Trotz der hohen Anzahl an Annahmen und des Risikos einer Verzerrung gibt die Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose einen Überblick über eine mögliche zukünftige Verkehrsentwicklung, die die Erreichung von Umwelt-, Klimaschutz- und Nachhaltigkeitszielen nicht im Fokus hat und in der Broschüre als Ausgangsbasis für die Diskussion weiterer Maßnahmen und Instrumente genutzt wird.

Die Prognose des BMDV zeigt, dass die umweltschonenden Verkehrsträger Schiene und Wasserstraße erheblich unter Druck stehen. Sie müssen durch umfassende infrastrukturelle, betriebliche und marktbezogene Maßnahmen unterstützt werden, um weiterhin einen zentralen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz leisten zu können. Gleichzeitig müssen jedoch auch Maßnahmen diskutiert werden, die durch Konsolidierung von Güterströmen, Verkürzung der Transportweiten und Vermeidung von Transporten das Wachstum im Güterverkehr insgesamt dämpfen, ohne negative Folgen für die wirtschaftliche Entwicklung nach sich zu ziehen.

¹⁰ Biemann et al. 2024a

¹¹ UBA 2024. Nach „TrendszENARIO“.

Vision für einen umwelt-schonenden Güterverkehr





Vision für einen umweltschonenden Güterverkehr

Der Verkehr ist der einzige Sektor in Deutschland, in dem die Treibhausgasemissionen unverändert hoch sind. Als stark wachsender Bereich des Verkehrs verursacht der Güterverkehr beträchtliche Umweltbelastungen – vor allem durch Emissionen von Kohlendioxid, Feinstaub und Stickoxiden sowie Lärmemissionen.

Was zeichnet einen umweltschonenden Güterverkehr aus? Welche Ziele müssen dafür erreicht werden? Welche Entscheidungen müssen auf dem Weg dorthin getroffen werden? Das UBA hat dafür die Vision eines umweltschonenden Güterverkehrs entwickelt. Sie greift vorhandene umwelt- und verkehrspolitische Ziele Deutschlands und Europas auf und konkretisiert sie. Im Jahr 2045 ist der Güterverkehr treibhausgasneutral, resilient, emissionsarm, bezahlbar und generationengerecht.

Zur Umsetzung der Vision ist eine Vielzahl von Maßnahmen und Instrumenten für den internationalen Verkehr, den Verkehr in Deutschland und für die urbane Logistik notwendig. Manche der Maßnahmen und Instrumente sind einfacher, andere schwerer zu realisieren. Die Vision richtet sich an die Politik und Wirtschaft in Deutschland, adressiert aber auch Maßnahmen und Instrumente die europäisch oder gar international umgesetzt werden müssen.

Die Vision ist keine Utopie. Vom Ziel aus zu denken – und damit in die Zukunft zu blicken – ermöglicht die notwendigen Weichenstellungen in der Gegenwart vornehmen zu können. Mit den richtigen ökonomischen Rahmenbedingungen, mit anspruchsvollen Zielvorgaben kann viel erreicht werden. Eine erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen und Instrumente wird den Güterverkehr nachhaltiger machen.

Strategien und Ziele: Der Rahmen muss stimmen

Status Quo: Im Klimaschutz wird zu stark auf technische Lösungen gesetzt, Vermeidung und Suffizienz kommen zu kurz. Deutschland schwimmt mehr mit als voranzuschreiten.

Unsere Vision für 2045: Der strategische Schwerpunkt im Güterverkehr liegt auf der Vermeidung von Transporten, der Verlagerung auf umweltverträglichere Alternativen sowie der Verbesserung von Umwelt- und Klimaschutz in der Logistik. Gleichzeitig ist die Energiewende im Verkehr erfolgreich umgesetzt.

Deutschland ist im Güterverkehr ein Umwelt- und Klimaschutzvorreiter und treibt die sozial-ökologische Transformation in der Europäischen Union (EU) voran. Die Transformation im Güterverkehr trägt maßgeblich dazu bei, die deutschen und europäischen Klimaschutzziele zu erreichen. Dies bedeutet, dass zur Mitte des Jahrhunderts die gesamten Lieferketten von inländischen Unternehmen treibhausgasneutral organisiert sind, auch außerhalb Deutschlands.

Verkehr und Ressourcenverbrauch werden reduziert, indem lokale Fertigungstiefen und die regionale Kreislaufwirtschaft ausgebaut werden. Produkte sind langlebig und reparaturfähig. Nachhaltiger Konsum und Suffizienz unterstützen ressourcenschonendes Wirtschaften und vermeiden Transporte. Darüber hinaus werden die Transporte durch digitale Lösungen zunehmend gebündelt und die Effizienz des Güterverkehrs optimiert.

Zudem trägt der Güterverkehr – im Sinne des Verursacherprinzips – die Kosten für die Infrastrukturnutzung und für die Folgeschäden für Umwelt und Klima. Umweltschädliche Subventionen sind abgebaut. Die Errichtung der notwendigen Infrastrukturen für die Verkehrswende ist finanziell gesichert.



Internationaler See- und Luftverkehr: Schiffe auf Effizienz trimmen, Flüge vermeiden

Status Quo: Seeverkehr ist für weite und günstige Transporte unverzichtbar, nutzt aber bisher weitgehend umwelt- und klimaschädlichen Kraftstoff. Die Luftfracht wächst rasant und damit steigt die Klimabelastung.

Unsere Vision für 2045: Der Seeverkehr ist energieeffizient, treibhausgasneutral sowie schadstoffarm und verursacht möglichst geringe Beeinträchtigungen der Gewässer. Dafür kommen spätestens ab 2045 ausschließlich treibhausgasneutrale Kraftstoffe zum Einsatz. Darüber hinaus sind umfassende Effizienzmaßnahmen an Schiffen und deren Antriebssystemen umgesetzt und reduzieren so den Kraftstoffverbrauch. Die Integration in den EU-Emissionshandel (EU-ETS 1) und ein ergänzendes über die EU hinaus international wirksames ökonomisches Instrument sorgen schon deutlich vor 2045 für eine Minderung der Treibhausgasemissionen im Seeverkehr.

Die Luftfracht ist weitgehend treibhausgasneutral. Spätestens 2045 wird sie nur noch mit treibhausgasneutralen Kraftstoffen durchgeführt. Zudem werden die für die Luftfahrt typischen klimaschädlichen Nicht-CO₂-Effekte minimiert. Gleichzeitig spielen Gütertransporte per Flugzeug in der Logistik immer weniger eine Rolle. Dazu tragen z. B. digitale Lösungen in der Lagerhaltung bei. Darüber hinaus werden zunehmend lokale Alternativen für kritische, bis dato in der Luft transportierte Güter entwickelt. Die Luft in der Nähe der Flughäfen ist sauberer und die Belastung mit Lärm reduziert.

Nationaler Güterverkehr: Güter aufs Gleis setzen, Antriebe umstellen

Status Quo: Lkw transportieren immer mehr Güter auf der Straße. Die geringe Bedeutung von Bahn und Binnenschiff bremst den Klimaschutz aus. Diesel-Lkw stoßen zu viele Klimagase aus, verursachen hohe Lärmbelastungen und emittieren große Mengen an Luftschadstoffen, unter denen einige Bevölkerungsgruppen überproportional leiden.

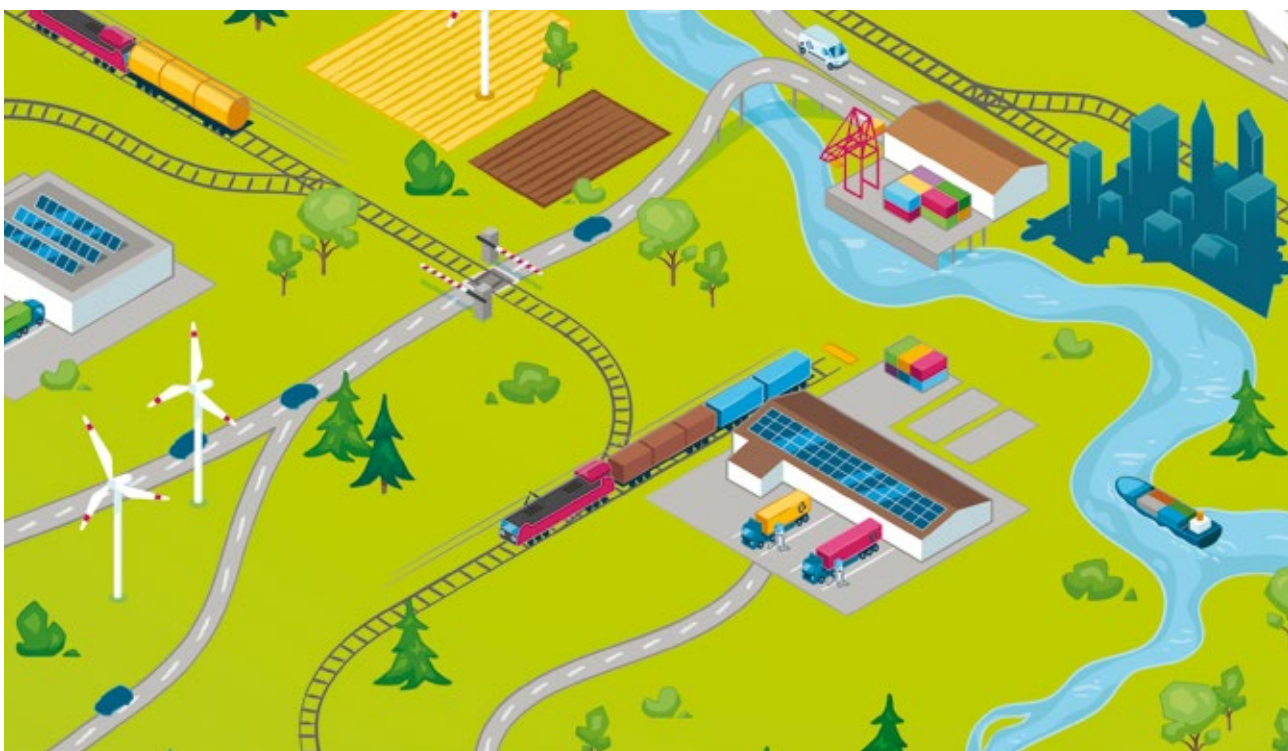
Unsere Vision für 2045: Der Gütertransport ist, soweit möglich, von der Straße auf Schiene und Wasserstraße verlagert. Auf allen wichtigen nationalen und europäischen Güterkorridoren gibt es eine faire Konkurrenz auf Augenhöhe zwischen den Verkehrsträgern Schiene und Straße. Durch eine hohe Zuverlässigkeit, geringe Kosten, hohe Servicequalität und gute Verfügbarkeit ist der Schienengüterverkehr eine attraktive Alternative zum Lkw, auch auf kürzeren Strecken. Das deutsche Schienennetz ist weitgehend elektrifiziert und der Schienengüterverkehr wird auf allen Strecken vollständig treibhausgasneutral abgewickelt. Schon deutlich vor 2045 ist er lärmarm und trägt so zu Gesundheit und Lebensqualität der Bevölkerung bei.

Die Binnenschifffahrt ist mit flachgehenden, voll-automatisierten und batterieelektrischen Schiffen resilient gegenüber Niedrigwasser sowie zuverlässig,

umweltverträglich und wettbewerbsfähig gegenüber anderen Verkehrsmitteln. Automatisierte und treibhausgasneutral betriebene Umladepunkte ermöglichen einen einfachen Zugang zum Schienengüterverkehr sowie zur Schifffahrt.

Das Netz der Bundesfernstraßen befindet sich in einem guten Zustand, die Verkehrsinfrastruktur ist an den Klimawandel angepasst. Aus- und Neubau von Bundesstraßen und Autobahnen sind die Ausnahme. Orte mit besonders hohen Güteraufkommen werden durch ein „Zentrale-Orte-Konzept“ im Güterverkehr untereinander umweltverträglich und verkehrsträgerübergreifend vernetzt und vermeiden Verkehr. Verkehrswege und Logistikstandorte werden flächensparend und mit möglichst geringer Flächenzerschneidung entwickelt.

Der straßengebundene Güterverkehr ist durch die Energiewende im Verkehr vollständig treibhausgasneutral. Er wird überwiegend elektrisch oder in Ergänzung mit treibhausgasneutralen Kraftstoffen abgewickelt. Er wird lärm- sowie schadstoffarm betrieben. Ab 2038 werden keine fossilen Verbrenner-Lkw mehr neu zugelassen. Für den Umstieg von Verbrennern auf elektrische Lkw gibt es eine zielgerichtete Förderung, bis deren Nutzung für die Betreibenden wirtschaftlich ist. Außerdem stehen für elektrische Lkw EU-weit ausreichend viele standardisierte Megawatt-Ladesysteme zur Verfügung.



Urbane Logistik: Der Stadt wieder Luft verschaffen

Status Quo: Städte und Ballungsräume ersticken im Verkehr, Güterverkehr trägt dazu nicht unwesentlich bei. Nutzungskonflikte um begrenzte urbane Flächen nehmen zu.

Unsere Vision für 2045: Die urbane Logistik ist lärmarm, schadstoffarm und treibhausgasneutral. Dabei wird die „letzte Meile“ umwelt- und stadtvträglich abgewickelt. Konflikte mit Anwohnenden werden vermieden. Alternative Transportkonzepte mit Lastenfahrrädern und Mikrodepots sind umgesetzt. In den Innenstädten fahren nur noch Elektrofahrzeuge und Lastenfahrräder. Wo es sinnvoll ist, kommen möglicherweise auch lärmarme und energieeffiziente Drohnen zum Einsatz.

Fortschritte in der Digitalisierung ermöglichen eine effiziente Bündelung von Waren und Transportströmen. Die Warenerfassung ist vereinheitlicht, wodurch Konsolidierungen in Güterverkehrszentren vereinfacht sind. Unternehmensübergreifende Lösungen für Paketstationen, Paketboxen und Mikrodepots sind gut und schnell erreichbar und stehen für eine alternative Adresszustellung zur Verfügung. Dafür werden logistische Anforderungen frühzeitig in der Bauleitplanung berücksichtigt, um Flächen für die Logistik zu sichern.



Instrumente und Maßnahmen

Die drei Raumbezüge des Güterverkehrs:

► **Internationaler Verkehr** auf See und in der Luft



► **Nationaler Verkehr** auf Straße, Schiene und Wasserstraße

► **Urbane Logistik**



Internationaler Güterverkehr

SEEVERKEHR

- Mindestquoten für THG-arme Kraftstoffe festlegen
- Landstrom etablieren
- Ökonomische Instrumente und Emissionshandel (EU-ETS 1) weiterentwickeln
- Effizienzanforderungen im Bestand und Neubau schärfen
- Methan- und Lachgas-Emissionen überwachen
- Kraftstoffzertifizierung einführen
- Green Corridors etablieren
- Umweltschädliche Emissionen mindern, Ökosysteme schützen

LUFTVERKEHR

- Aus fossilem Kerosin bis 2045 aussteigen
- Subventionen abbauen
- Externe Kosten internalisieren
- Alternativen im Schienenverkehr stärken
- Reguläre Nachtflüge in Stadtnähe ab 2050 verbieten
- Flughäfen bis 2050 für Nachtflüge entwickeln

Nationaler Güterverkehr

STRASSE

- Steuerungswirkung der Lkw-Maut beibehalten
- CO₂-Bepreisung über EU-ETS 2 weiterentwickeln
- Energie- und Stromsteuer weiterentwickeln
- THG-Quote beibehalten
- Neuanschaffungen von E-Lkw bezuschussen
- Flottenzielwerte für neue Lkw verschärfen
- Ladeinfrastruktur ausbauen

VERKEHRSNETZE

- Verkehrsträgerübergreifendes Korridorkonzept entwickeln
- Übergreifendes Finanzierungsmodell entwickeln
- Verkehrsinfrastrukturgesellschaft etablieren
- Bewertungsmethodik im Bundesverkehrswegeplan anpassen
- Stakeholder umfassend beteiligen

Urbane Logistik

- Daten regelmäßig erheben
- Studie Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland aktualisieren
- Verkehrsplanung für Wirtschaftsverkehre in Kommunen einführen
- Kompetenzzentren für urbane Logistik einrichten
- Kommunale Logistik-Beauftragte einsetzen
- Automatisierung, Digitalisierung und zirkuläre Ansätze fördern
- Bündelung der Zustellung durch Logistik-Hubs unterstützen
- Bündelung von Touren unterstützen
- Branchenstandards für eine nachhaltige letzte Meile etablieren
- Verpflichtung zur Bereitstellung von Paketboxen bei Neubauten verankern
- Geräuscharme Logistik fördern
- Smarte Lade- und Lieferzonen etablieren
- Verkehrsinfrastruktur für die letzte Meile verbessern
- Radfahr- und Schutzstreifen einrichten
- StVZO und VwV-StVO novellieren
- Vorrangrouten für Lkw einrichten
- Low- bzw. Zero-Emission-Zones schaffen

Übersicht der Maßnahmen

Prioritäre Maßnahmen sind hervorgehoben.

SCHIENE

- ▶ **Schienennetzfinanzierung langfristig absichern**
- ▶ **Kapazitäten der Schiene erhöhen**
- ▶ **Einzelwagenverkehr stärken**
- ▶ **Kombinierten Verkehr fördern und optimieren**
- ▶ **Güterumschlag verbessern und vereinfachen**
- ▶ **Gleisanschluss-Förderprogramm vereinfachen**
- ▶ **Entgelte für Nutzung der Zugtrassen senken**
- ▶ **Zugbildung automatisieren und beschleunigen**
- ▶ **Elektrifizierung des Schienennetzes ausbauen**
- ▶ **Alternative Antriebe fördern**

LOGISTIK

- ▶ **Blauen Engel für Rechenzentren etablieren**
- ▶ **Langlebige und recyclingfähige digitale Technologien einsetzen**
- ▶ **Telematik zum Kraftstoffsparen nutzen**
- ▶ **Frachtbörsen und Crowd Logistics fördern**
- ▶ **Vertriebsmodelle zur Kostenweitergabe von Retouren etablieren**
- ▶ **Automatisierten Umschlag standardisieren**
- ▶ **Erstellung von Treibhausgasbilanzen unterstützen**
- ▶ **Ressourceneinsatz im Produkt- und Produktionsdesign verringern**
- ▶ **Ökologische Nachhaltigkeit in Unternehmen fördern**
- ▶ **Beschaffungskonzepte mit geringer Transportintensität entwickeln**
- ▶ **Additive Fertigungsverfahren stärker nutzen**
- ▶ **Nachhaltige Gebäudenutzung stärken**
- ▶ **Automatisierte Lagerkonzepte und Fördertechniken einsetzen**
- ▶ **Verkehrsmittelwahl optimieren (Synchromodalität)**

BINNENSCHIFFE

- ▶ **Hydromorphologischen Zustand der Wasserstraßen verbessern**
- ▶ **Flachgehende, automatisierte, emissionsfreie Schiffe entwickeln**
- ▶ **Wasserstandsdaten/-prognosen digitalisieren**
- ▶ **Subventionen abbauen und Flottenerneuerung finanzieren**
- ▶ **Förderprogramme zur Modernisierung von Binnenschiffen und zu emissionsfreien Antrieben fortsetzen**

5

Internationaler See- und Luftverkehr

Dennoch: Der Seeverkehr ist in mancher Hinsicht besser als sein Ruf. Er ist deutlich energieeffizienter und klimaverträglicher als Transporte über Straße und den Luftweg. Zwischen 2012 und 2018 sanken weltweit die Treibhausgasemissionen bezogen auf die Transportleistung um 11 %, insbesondere durch immer größere Schiffe.¹² Seefrachtverkehr verbraucht nur etwa 20 % der für den Güterverkehr aufgewendeten Energie, während er 70 % der gesamten Güterverkehrsleistung

Der internationale Transport von Gütern per Seeschiff und Flugzeug steht vor enormen Herausforderungen, wenn man Emissionen senken und Umweltwirkungen mindern will. Zum einen lassen sich Tanker, Containerschiffe oder Frachtflugzeuge nur selten direkt elektrifizieren. Dafür sind sie meist zu schwer und zu groß. Zum anderen stehen alternative und klimafreundlich hergestellte Kraftstoffe, mit denen sich Motoren und Triebwerke antreiben lassen, in der benötigten Menge noch nicht zur Verfügung. Deren Herstellung wird zwar in ersten Anlagen erprobt, die Verfahren aber sind von einem großtechnischen Einsatz weit entfernt. Nicht zuletzt sind innovative Ansätze wie z. B. ein Wind-Zusatzantrieb von Seeschiffen zwar in Entwicklung, haben sich auf dem Markt bislang aber noch nicht durchgesetzt.

Große Herausforderungen warten noch an anderer Stelle: Lange Gütertransporte brauchen offene Routen über Ozeane, Meere und durch Kanäle. Doch diese Welt wird enger. Seewege wie beispielsweise am Golf von Aden sind durch Konflikte wie derzeit im Nahen Osten plötzlich nicht mehr sicher. Nicht zuletzt wirkt sich der Klimawandel aus. Sinkende Niederschlagsmengen beispielsweise in der Region um den Panamakanal führen zu Niedrigwasser und bremsen große Frachter aus.

erbringt.¹³ Er könnte noch mehr leisten. Auf kürzeren Seestrecken innerhalb Europas könnten Güter von Schiene oder Straße auf Schiffe verlagert werden. Bislang fehlt aber eine entsprechende nationale Strategie, um diese Potentiale abzurufen.

Wenn Güter schnell, zuverlässig und vor allem pünktlich transportiert werden müssen, werden sie meist per Flugzeug befördert. Die internationale Luftfracht ermöglicht zwar schnelle Transporte rund um den Globus, führt unterm Strich aber zu hohen Umweltbelastungen. Der Luftverkehr stellt die mit großem Abstand klimaschädlichste Form des Warentransports dar.

Seeverkehr und Luftfracht sind international geregelt. Beide Sektoren werden vor allem über UN-Sonderorganisationen, die Internationale Seeschiffahrts-Organisation (International Maritime Organization, IMO) und die Internationale Zivilluftfahrtorganisation (International Civil Aviation Organization, ICAO), gesteuert. Beschlüsse dieser Organisationen haben zwar eine große, weil globale Hebelwirkung. Zugleich müssen sich aber zahlreiche Staaten und Akteure auf Ziele, Maßnahmen und Pflichten einigen, um tatsächlich Veränderungen anzustoßen.

¹² IMO 2020: Fourth IMO GHG Study.

¹³ Lindstad et al. 2022: Decarbonizing bulk shipping combining ship design and alternative power. ITF 2023: ITF Transport Outlook 2023.

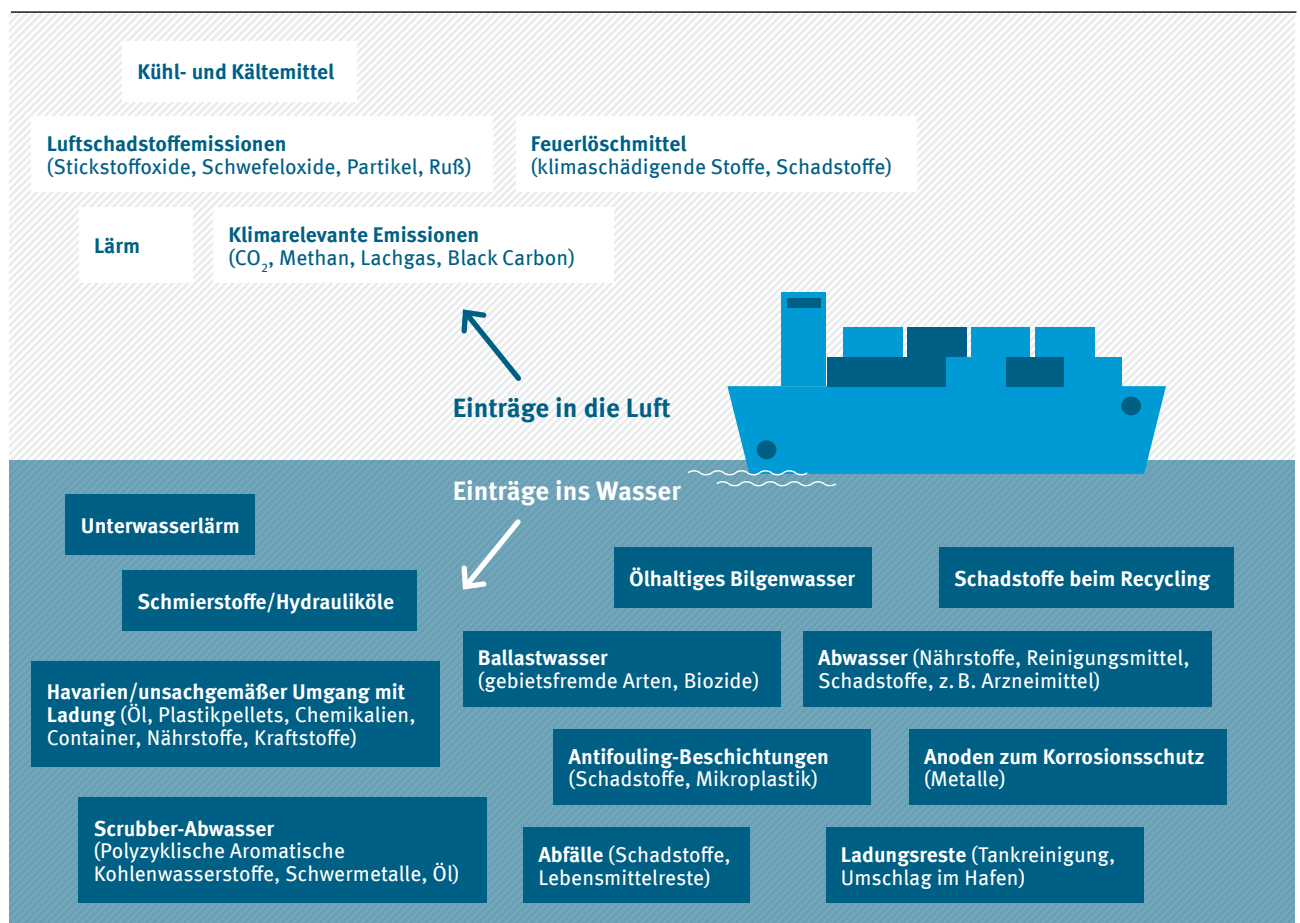
Güter auf hoher See

Der internationale Seeverkehr ist ein Riese im Güterverkehr. Weltweit könnte sich die Verkehrsleistung im Seeverkehr bis 2050 gegenüber dem jetzigen Niveau noch einmal fast verdoppeln. Rund 55.000 Handelsschiffe wickeln etwa 70 % der weltweiten Güterverkehrsleistung ab. EU-weit macht der Schiffsverkehr mengenmäßig 80 % und wertmäßig etwa 50 % der gesamten Exporte und Importe aus.¹⁴ Der Energiebedarf des internationalen Seeverkehrs ist entsprechend groß: 2022 lag er bei etwa 9,0 Exajoule, was einer Emissionsmenge von 690 Mio. t CO₂-Äq. entspricht und ungefähr 1 % der weltweiten Treibhausgasemissionen ausmacht.¹⁵

Um den Ausstoß von Klimagasen zu senken, hat die IMO im Juli 2023 ihr Klimaschutzziel geschärft. Die Emissionen der internationalen Schifffahrt sollen bis um das Jahr 2050 Netto-Null erreichen. Verbunden damit ist ein Maßnahmenpaket, das u. a. einen Kraftstoffstandard und eine Bepreisung von Emissionen ins Auge fasst. Bis Herbst 2026 sollen die Maßnahmen konkretisiert und im IMO-Umweltausschuss beschlossen werden.

Abbildung 8

Umweltwirkungen der Schifffahrt – mögliche Stoffeinträge durch den Betrieb



Quelle: Eigene Darstellung Umweltbundesamt

¹⁴ ICS o. J.: Shipping and world trade: driving prosperity.

¹⁵ Campbell et al. 2023: Study on the readiness and availability of low- and zero-carbon technology and marine fuels.

Gütertransport auf See hat vielfältige negative Umweltwirkungen (siehe Abbildung 8). Schiffshavarien und Unfälle sind eine große Gefahr für Ökosysteme der Meere und ihre Lebewesen. Aber auch Schadstoffemissionen aus dem Normalbetrieb können insbesondere für sensible Gebiete wie Arktis und Antarktis oder das Wattenmeer schädlich sein. Diese Gebiete brauchen daher einen besonderen Schutz, der von der IMO ausgewiesen werden kann. Durch den Klimawandel öffnen sich außerdem neue Routen durch polare Regionen, in denen Havarien katastrophale Auswirkungen hätten. Der „Polar Code“ von 2017 ist eine erste Sammlung von verbindlichen Rechtsvorschriften und Empfehlungen für in Polarmeeren betriebene Schiffe, der um weitere Anforderungen bspw. zu Abwassereinleitungen und Unterwasserlärm erweitert werden sollte.¹⁶

Internationale Regularien sind wichtig, oft aber nicht besonders ambitioniert. Daher kann es sinnvoll sein, auf regionaler¹⁷ oder europäischer Ebene Vorgaben einzuführen. Sie erzielen zwar global betrachtet geringere Minderungen als weltweite Abkommen, können als konkreter erster Schritt aber globales Handeln beschleunigen oder wichtige regionale Minderungen sicherstellen. Die EU hat 2023 im Rahmen des Fit-for-55-Pakets Maßnahmen zur Dekarbonisierung des Seeverkehrssektors beschlossen. Dazu gehören die FuelEU Maritime-Verordnung und die Erweiterung des bestehenden Europäischen Emissionshandels (EU-ETS 1) um den maritimen Sektor.

Deutschland will mit der Nationalen Hafenstrategie See- und Binnenhäfen zu resilienten, nachhaltigen Knotenpunkten der Energiewende und zu Drehkreuzen für eine Verkehrsverlagerung entwickeln. Damit dies gelingt, sind nicht nur Infrastrukturmaßnahmen in den Häfen notwendig. Es gilt insbesondere auch, die Verzahnung der unterschiedlichen Verkehrsträger im Hinterlandverkehr mit Bahn und Schiff zu verbessern. Die Hafenstrategie kann dazu beitragen, die Transformation des Güterverkehrs zu beschleunigen.

Klimaschutzmaßnahmen im Seeverkehr

Technische Effizienzmaßnahmen. Frachtschiffe haben eine Nutzungsdauer von 25 bis 40 Jahren. Technische Maßnahmen sind daher vor allem dann von Nutzen, wenn sie sich auch auf älteren Schiffen durch Nachrüstung umsetzen lassen.

Recht einfache Maßnahmen können viel bewirken. Gezieltes Langsamfahren (Slow Steaming) reduziert den Kraftstoffverbrauch deutlich. Als Daumenregel gilt, dass durch eine etwa 10 % geringere Geschwindigkeit der Energieverbrauch um 19 % pro Streckeneinheit sinkt.¹⁸ Reedereien sparen zudem Geld, da Kraftstoffkosten 30 bis 60 % der gesamten Betriebskosten ausmachen.¹⁹ Um das Effizienzpotential optimal umzusetzen, kann es sinnvoll sein, Schiffe umzurüsten, indem Propeller und Bugwulst erneuert werden oder der Motor angepasst wird.²⁰

Wind ist auf hoher See ein kostenloser Treibstoff. Windzusatzantriebe wie Kites, Rotoren oder moderne Segelsysteme können Kraftstoff und somit Emissionen einsparen helfen. Insbesondere bei großen Massengutfrachtern und Tankern mit geringeren Fahrtgeschwindigkeiten ist die Einsparung erheblich und kann bis zu 18 % betragen. Allerdings fehlt es noch an ausgereiften technischen Lösungen für die Windnutzung auf Containerschiffen. Im operativen Betrieb sind Einsparungen möglich, indem Auslastung und Gewichtsverteilung der Ladung im Schiff optimiert werden. Auch die wetterangepasste Routenwahl sowie „Just-in-time“-Lieferungen können sparen helfen.

Schätzungen gehen davon aus, dass bis 2030 bei einer Umsetzung aller technischen und operationellen Möglichkeiten etwa 30 % der weltweiten CO₂-Emissionen der Schifffahrt gegenüber einem Business-as-usual-Szenario eingespart werden könnten.²¹

¹⁶ IMO 2017: International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code).

¹⁷ Regional meint an dieser Stelle einen Raumbezug über die Gewässer mehrerer Staaten, wie in der Ostsee bzw. Nordsee.

¹⁸ Faber et al. 2017: Regulation speed: a short-term measure to reduce maritime GHG emissions.

¹⁹ DG MARE 2023: Blue Invest supports '13 Mari' innovation for fuel efficiency.

²⁰ Faber et al. 2012: Regulated Slow Steaming in Maritime Transport.

²¹ Faber et al. 2023: Shipping GHG emissions 2030.

Neue Kraftstoffe für den Seeverkehr. Ein Schlüssel zur Dekarbonisierung des Seeverkehrs ist die Umstellung auf Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien. Dafür kommen im Seeverkehr mehrere Optionen in Betracht. Synthetisch hergestellter Diesel oder Methanol können fossilen Kraftstoffen beigemischt werden, was eine relativ geringe Anpassung der Schiffe und der Infrastruktur erfordert. Daneben werden Methanol und Ammoniak als neue Kraftstoffe erprobt und gelten als aussichtsreiche Kandidaten. Unter den strombasierten Kraftstoffen sind diese günstiger in der Herstellung und verbrennen sauberer als derzeit eingesetztes Schweröl und Marine Diesel. Allerdings haben Ammoniak und Methanol eine deutlich geringere Energiedichte als herkömmliche Schiffskraftstoffe. Zudem entsteht bei der Verbrennung von Ammoniak besonders klimaschädliches Lachgas. Ammoniak ist zudem toxisch, ätzend und wassergefährdend – bei einer Havarie wären die ökologischen Schäden in den Meeren groß. Havarien würden im

Fall von Methanol weitaus weniger schwerwiegende Umweltauswirkungen verursachen als bei Schweröl oder Ammoniak.

Über Wasserstoff und Elektroantriebe wird viel diskutiert, sie werden voraussichtlich aber nur auf kürzeren Strecken – beispielsweise auf Fährschiffen – Anwendung finden. Grund ist, dass ihre volumetrische Energiedichte zu gering für effiziente und wirtschaftliche Transporte rund um den Globus ist.

Landstrom nutzen. Die direkte Nutzung von Strom während der Liegezeit eines Schiffes im Hafen ist eine sinnvolle und praktikable Möglichkeit, lokale Schadstoffemissionen zu vermeiden und Klimagase zu reduzieren. Schätzungen gehen davon aus, dass global im Jahr 2050 durch Landstrom bis zu 5 % des Verbrauchs an Schiffskraftstoff ersetzt werden kann.²¹

Alternative Kraftstoffe für die weltweite Seefracht – woher nehmen?

Nach einer Studie von Ricardo Energy & Environment und DNV²² könnten, wenn alle geplanten Anlagen bis 2030 den Betrieb aufnehmen würden, weltweit 2,5 Exajoule synthetische Kraftstoffe mit unterschiedlicher Klimabilanz (biogene, RFNBO und fossile mit CO₂-Abscheidung sowie Kraftstoffe aus Kernenergie, sogenannte „kohlenstoffarme Kraftstoffe“) produziert werden. Benötigt würde ein Vielfaches, allein für den Seeverkehr ist 2030 respektive 2045 von einem weltweiten Energiebedarf von 4,1 Exajoule bzw. 10,7 Exajoule auszugehen.

Die Mitgliedsstaaten der IMO verfolgen dabei unterschiedliche Ansätze, die benötigten, hohen Kraftstoffmengen bereitzustellen bzw. Kraftstoffbedarfe zu reduzieren. Als aussichtsreicher Kandidat gelten Kraftstoffe, die mit Hilfe von regenerativ erzeugtem („grünem“) Wasserstoff hergestellt werden, sogenannte „Renewable Fuels of Non-Biological Origin“ (RFNBO). Daneben finden weiterhin vor allem Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse Unterstützung, aber auch kohlenstoffarme Kraftstoffe. Auch relativ neue Methoden zur Abscheidung des bei der Kraftstoffverbrennung entstandenen CO₂ an Bord werden als eine Option angesehen.

International verbindliche Kraftstoffstandards für den Seeverkehr zur Senkung der Treibhausgasemissionen könnten mit Quoten für Investitionssicherheit sorgen und Projekte im Sinne einer großindustriellen Produktion entlang der gesamten Herstellungskette alternativer Kraftstoffe inklusive erneuerbarer Stromerzeugung anstoßen. Die unterschiedlichen Interessen der IMO-Staaten stellen jedoch eine Hürde dar, die für die THG-Neutralität benötigten RFNBO gezielt zu fördern. Ergänzend braucht es verlässliche Zertifizierungsmechanismen, die die Treibhausgasintensität des jeweiligen Kraftstoffs nachweisen.

22 Campbell et al. 2023.

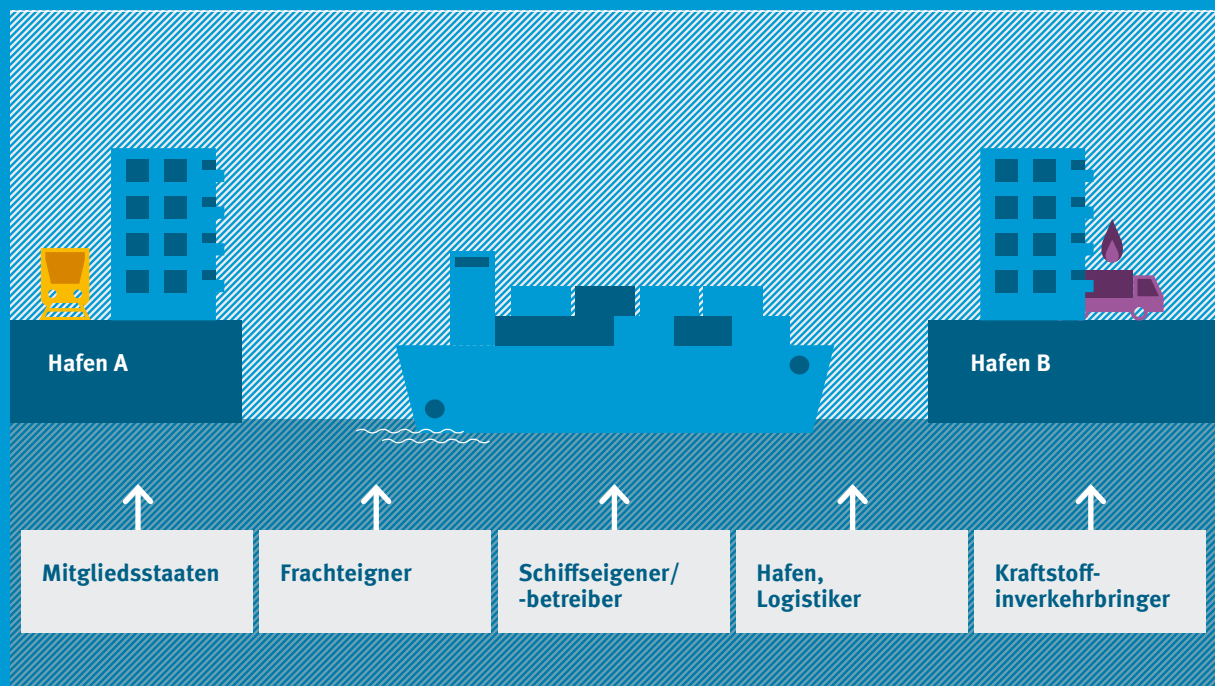
Emissionsfreie Fracht: Green Shipping Corridors

Handelsrouten zwischen wichtigen Hafenknotenpunkten, auf denen emissionsfreie Lösungen für Schiff, Hafen und Kraftstoff demonstriert und gefördert werden („Green Shipping Corridors“), sind ein wichtiger Baustein für den Markthochlauf alternativer Kraftstoffe. Das Konzept wurde bei der UN-Klimakonferenz 2021 von 24 Staaten, darunter Deutschland, verabschiedet und hat zum Ziel, bis 2025 mindestens sechs grüne Korridore zu realisieren.

In der EU ist ein erster Schritt erfolgt. In vielen europäischen Häfen muss bis 2030 u. a. eine Landstromversorgung aufgebaut werden. Deutschland sollte insbesondere in die Infrastruktur zur Bereitstellung erneuerbarer Energieträger – sowohl Landstrom als auch alternativer Kraftstoffe – in seinen Häfen investieren.

Abbildung 9

Mögliche Initiatoren und Partner zur Umsetzung der „Green Corridors“



Quelle: Eigene Abbildung nach DNV 2024

Klimaschutzinstrumente im Seeverkehr

EU setzt auf kohlenstoffarme und erneuerbare Kraftstoffe. Mit der 2023 verabschiedeten Verordnung FuelEU Maritime (EU) 2023/1805 soll die Treibhausgasintensität der Kraftstoffe bis 2050 um 80 % gesenkt und die Nutzung erneuerbarer und kohlenstoffarmer Kraftstoffe angekurbelt werden. Darüber hinaus schreibt die FuelEU Maritime eine Nutzung von Landstrom oder Nullemissionstechnologien an vielen europäischen Binnen- und Seehäfen vor: Ab 2030 müssen Fracht- und Fahrgastschiffe mit einer Bruttoreaumzahl (BRZ)²³ über 5.000, die länger als zwei Stunden am Kai liegen, an die landseitige Stromversorgung angeschlossen werden. Dieser Grenzwert von 5.000 BRZ erfasst in etwa 55 % der zwischen den EU-Häfen verkehrenden Schiffe. Ein zweites wichtiges Regelwerk ist die „Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ von 2023 (kurz AFIR, Verordnung (EU) 2023/1805). Sie setzt verbindliche Vorgaben für den Aufbau der entsprechenden Landstrom-Anlagen und LNG-Bunkerstationen.

Schiffe im EU-Emissionshandel. Über Kosten und Preise lässt sich vieles steuern. Das gilt auch für den Güterverkehr. Als Teil eines „Policy Mix“ können ökonomische Instrumente operationelle Kosten für

umweltschädliche Aktivitäten steigern und somit Effizienzmaßnahmen oder Kraftstoffwechsel in Gang setzen. Grundsätzlich ist es wünschenswert und wichtig, dass auch im Seeverkehr externe Klima- und Umweltkosten vollständig eingepreist werden.

Die EU hat 2023 eine umfassende Reform des bestehenden Europäischen Emissionshandels (EU-ETS 1, Richtlinie (EU) 2023/959) beschlossen und übernimmt damit eine internationale Vorreiterrolle. Seit 2024 werden Fracht- und Passagierschiffe über 5.000 BRZ auf Strecken im europäischen Wirtschaftsraum in den EU-ETS 1 einbezogen. Deren Betreiber müssen für 40 % der CO₂-Emissionen ihrer Transporte Zertifikate kaufen. Dieser Teil steigt bis 2025 auf 70 %, bis 2026 auf 100 %. Für den Seeverkehr ist eine Vollversteigerung (und keine kostenlose Zuteilung) der Emissionszertifikate vorgesehen. Derzeit ist noch unklar, in welchem Umfang das Preissignal aus dem Emissionshandel zu Emissionsrückgängen im Seeverkehr selbst führen wird – oder ob die vorgegebenen Minderungen in anderen Bereichen des EU-ETS erfolgen. Generell ist die Reform des EU-ETS 1 ein deutlicher und dringend erforderlicher Schritt in Richtung eines ambitionierten Klimaschutzregimes für den Seeverkehr: hier sind insbesondere der breite Geltungsbereich, der zusätzlich zu Strecken im europäischen Wirtschaftsraum Strecken

Handel und Wandel durch den EU-ETS 1

Der bestehende europäische Emissionshandel (EU-ETS 1) ist seit 2005 das zentrale Klimaschutzinstrument der EU. Mit der staatlich festgelegten Obergrenze (Cap) wird politisch entschieden, wie viel Tonnen CO₂-Äquivalente insgesamt emittiert werden dürfen. Ein anspruchsvolles Cap sorgt dafür, dass Emissionsrechte für CO₂ knapp werden und sich am Markt (Trade) ein hoher Preis für die Zertifikate bildet. Hohe Preise wiederum setzen Anreize, mehr in Klimaschutzmaßnahmen zu investieren.

Seit der jüngsten Reform des EU-ETS 1 müssen die Mitgliedsstaaten ihre Einnahmen aus den Versteigerungen von Emissionsberechtigungen künftig vollständig für Klimaschutzmaßnahmen verwenden. Vor der Reform waren es 50 %. In Deutschland fließen die nationalen Erlöse aus den Versteigerungen bereits seit 2012 vollständig in den Klima- und Transformationsfonds (KTF) der Bundesregierung zur Unterstützung und Förderung von Klimaschutzprojekten und -maßnahmen.

Zudem wird der europäische Innovationfonds, der sich ebenfalls aus Versteigerungseinnahmen speist, aufgestockt und u. a. durch spezielle Ausschreibungen auf den Seeverkehr ausgeweitet. Im Innovationfonds sind bis 2030 insgesamt 20 Millionen Zertifikate vorgesehen, um Investitionen zur Dekarbonisierung des maritimen Sektors zu unterstützen. Bei einem angenommenen CO₂-Preis von 80 € pro Zertifikat²⁴ hätten die Zertifikate dann einen nicht unerheblichen Wert von 1,6 Mrd. €.

²³ Die Bruttoreumzahl ist ein Maß für den Raumgehalt eines Schiffes und hängt damit von der Größe des Schiffes ab.

²⁴ Stand Mai 2024 von rund 70 €.



von bzw. nach Europa mit 50 % der Emissionen einbezieht, die vollständige Versteigerung der Zertifikate und die Berücksichtigung der starken Treibhausgase Methan und Lachgas ab 2026 zu nennen. Die Effekte der Einbeziehung in den EU-ETS 1 müssen im Zuge der Umsetzung geprüft werden. Auf dieser Basis wird das UBA Empfehlungen zur Nachjustierung des EU-ETS 1 bzw. ergänzender Instrumente ableiten.

Für die Dekarbonisierung des maritimen Sektors sind beide Instrumente – der europäische Emissionshandel und die Verordnung FuelEU Maritime – essentiell. Während die CO₂-Bepreisung im Emissionshandel auf breiter Basis technologie-neutral Anreize für mehr Klimaschutz im Seeverkehr setzt, wirken die Kraftstoffvorgaben der Verordnung als Absicherung. Sie stärken innovative Kraftstoffe, deren Entwicklung und Markteinführung. Der EU-ETS 1 unterstützt zudem nachhaltige Biokraftstoffe, da für deren Verbrennung keine Zertifikate notwendig sind. Eine ähnliche Anrechnung ist auch für strombasierte Kraftstoffe notwendig. Welches der beiden Instrumente letztendlich stärkere Wirkung entfalten kann, ist schwer zu prognostizieren und hängt von der Ausgestaltung der Instrumente und der CO₂-Preisentwicklung ab.

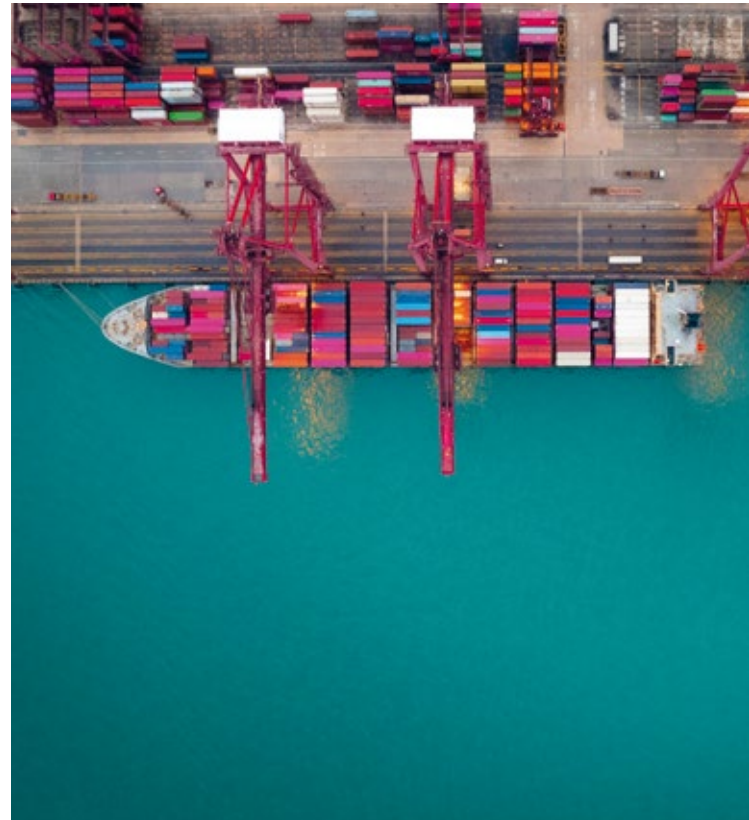
Kritische Zwischenlösung LNG. Der Wechsel von fossilen Kraftstoffen hin zu Kraftstoffen mit geringer Treibhausgasintensität braucht Zeit. Mittelfristig werden viele Akteure Flüssigerdgas (LNG) für Schiffsantriebe nutzen. LNG setzt – bezogen auf die bei der Verbrennung freigesetzte Energie pro Megajoule Kraftstoff – etwa 20 % weniger CO₂-Emissionen frei als Schiffsdiesel. Problematisch sind jedoch die Emissionen von Methan bei Gewinnung, Transport, Verflüssigung und Lagerung von LNG. Außerdem entweicht es bei der Verbrennung, besonders in niedrigeren Lastbereichen der Motoren steigt dieser „Methanschlupf“ signifikant.²⁵ Wichtig ist, dass bei der Nutzung von LNG ein kontinuierliches Monitoring erfolgt, um Leckagen zu erkennen und zu verhindern. Investitionen in Flüssigerdgas als Kraftstoff als mögliche Zwischenlösung und dafür notwendige Herstellungskapazitäten und Infrastrukturen zur Energieversorgung sollten daher besonders kritisch geprüft werden.

25 Methan ist ein starkes Treibhausgas und ist auf kurzen Betrachtungszeiträumen z. B. 20 statt 100 Jahre noch deutlich klimaschädlicher.

Quoten für E-Fuels. Zu den Kraftstoffen mit geringer Treibhausgasintensität zählen Biokraftstoffe, solange die Ausgangsstoffe keine Kulturpflanzen, sondern Abfälle oder Reststoffe sind. Nicht aus Biomasse, aber mit großem Potenzial sind RFNBO, die mit Hilfe von regenerativ erzeugtem („grünem“) Wasserstoff hergestellt werden, beispielsweise E-Methanol oder E-Ammoniak, aber eben nicht aus Biomasse. Sowohl in der europäischen als auch in der nationalen Wasserstoffstrategie wird dieser Weg forciert. Der schnelle Ausbau der erneuerbaren Energien ist daher auch für den Seeverkehr von großer Bedeutung.

Um auf diesem Weg wirklich Tempo zu machen, bräuchte es allerdings höhere Mindestquoten für RFNBO in der Verordnung FuelEU Maritime und schon ab 2030 noch ambitioniertere Minderungsziele. Synthetische Kraftstoffe gelten als Schlüssel zu umweltfreundlichem Güterverkehr. Deutschland und Europa sollten Initiativen und Kooperationsprojekte mit anderen Ländern und Regionen unterstützen und vorantreiben, den Markthochlauf von RFNBO beschleunigen und dafür sorgen, dass diese auch nachhaltig hergestellt werden. Die EU kann mit einer gestaltenden und antizipierenden Politik in der Wasserstoffherzeugung selbst zum wichtigen Akteur werden. Geopolitisch sollte Europa durch zusätzliche eigene grüne Wasserstoffherzeugungsanlagen mehr Unabhängigkeit erlangen.²⁶

Mehr Effizienz auf internationaler Ebene. Zur Verbesserung der Energieeffizienz hat die International Maritime Organization (IMO) bereits eine Reihe von verbindlichen Instrumenten etabliert. Sie gelten für den Schiffsbestand und für Schiffsneubauten und zielen darauf ab, dass Schiffe sowohl durch ihr Design als auch ihre Betriebsweise effizienter werden. Leider sind die Anforderungen nicht sehr ambitioniert. Beispielsweise wird der seit 2023 geltende Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI), der sich ausschließlich auf die technische Konstruktion eines Schiffes bezieht, schätzungsweise gerade einmal 1% der Emissionen bis 2030 reduzieren.²⁷ Für einen ambitionierten Klimaschutz müssen die internationalen Effizienzanforderungen deutlich verschärft werden.



Emissionshandel international. Ein internationaler Emissionshandel wäre ein kosteneffizientes Klimaschutzinstrument mit hoher Verlässlichkeit, da nur so viele Zertifikate in den Markt gegeben würden, wie das festgelegte Emissionsbudget zulässt. Auf globaler Ebene hat die IMO eine überarbeitete Treibhausgas-Strategie verabschiedet und will bis um das Jahr 2050 Netto-Null-Emissionen erzielen. Dass die IMO einen globalen Emissionshandel einführt, ist aber eher unwahrscheinlich. Mehr Unterstützung hat der Vorschlag für eine Abgabe pro Tonne an emittierten Treibhausgasen. Entscheidend ist, dass internationale Vorgaben die Ziele des EU-ETS 1 für den Seeverkehr nicht durchkreuzen und seinen Geltungsbereich oder seine Wirksamkeit nicht einschränken. Würde beispielsweise ein globales, aber weniger wirksames Instrument in Kraft treten, muss vermieden werden, dass Transporte zwischen der EU und Drittstaaten nur noch unter dieses, aber nicht mehr unter den EU-ETS 1 fallen.

²⁶ Lünenbürger et al. 2023: Ambitionierter Klimaschutz: Fallstricke und Bedingungen des Gelingens.

²⁷ Comer und Carvalho 2023: IMO's newly revised GHG strategy: what it means for shipping and the Paris Agreement.

Abgabe als Alternative. Neben einem internationalen Emissionshandel käme auch eine weltweite, einheitliche CO₂- oder Treibhausgas-Abgabe als ökonomisches Instrument in Frage. In diese Richtung geht der oben beschriebene Vorschlag für eine Abgabe auf IMO-Ebene. Treibhausgas-Abgaben können je nach Ausgestaltung die Preise für Kraftstoffe

deutlich erhöhen und so Sparanreize setzen. Eine solche Abgabe wäre jedoch in ihrer Klimawirkung wenig vorhersehbar, da sie den Gesamtausstoß an Treibhausgasen nicht limitiert. Um die Klimaziele zu erreichen, müsste die Höhe der Abgabe über die Jahre ständig angepasst werden.

Übersicht Maßnahmen und Instrumente im Seeverkehr

Maßnahmen und Instrumente	Wer beschließt?	Wer setzt um?
Kraftstoffstandards Senkung der Treibhausgasintensität oder Mindestquote für Kraftstoffe mit geringer Treibhausgasintensität, FuelEU Maritime Verschärfung für EU und Einführung auf IMO-Ebene	EU, IMO	Reedereien, Kraftstoffinverkehrbringer
Landstrom Aufbau der land- und schiffsseitigen Infrastruktur und verpflichtende Nutzung (AFIR), auf IMO-Ebene gemeinsame Standards entwickeln	EU, EU-Mitgliedsstaaten, IMO	Häfen, Reedereien
Ökonomische Instrumente Integration des Seeverkehrs in den EU-ETS 1 überprüfen; wenn notwendig Weiterentwicklungen anstoßen; Internationales ökonomisches Instrument auf IMO-Ebene bis 2030 einführen, ohne EU-Instrumente zu gefährden	EU, IMO	Schiffahrtsunternehmen
Effizienzanforderungen Verschärfung internationaler Indizes für Bestandsschiffe und Neubauten zur Nutzung vorhandener technischer und operationeller Potentiale	IMO	Schiffahrtsunternehmen, Schiffbau
Überwachung von Methan- und Lachgas-Emissionen in Kombination mit einem Kraftstoffstandard	EU-/IMO-Mitgliedsstaaten	Schiffahrtsunternehmen, Motorenhersteller
Kraftstoffzertifizierung Einführung zur vollständigen, fälschungssicheren Erfassung der Treibhausgasintensität und eines Nachhaltigkeitsnachweises	IMO, EU, Zertifizierungssysteme	Zertifizierer, Schnittstellen, Akkreditierungsstellen
Green Corridors als Vorreiter Routen etablieren Geplante sechs Korridore bis 2025 mit Landstrom und alternativen Kraftstoffen aufbauen	Mitgliedsstaaten	Häfen, Kraftstoffinverkehrbringer, Schiffsbetreiber
Weitere Umweltschutzmaßnahmen und -instrumente Emissionen in Luft und Wasser mindern, Schutz sensibler Ökosysteme ausweiten	IMO, EU, regionale Gremien (z. B. Nord- und Ostsee, Arktis, Antarktis)	Schiffahrtsunternehmen, Logistikbranche

Quelle: Umweltbundesamt (2024)

Internationale Luftfracht

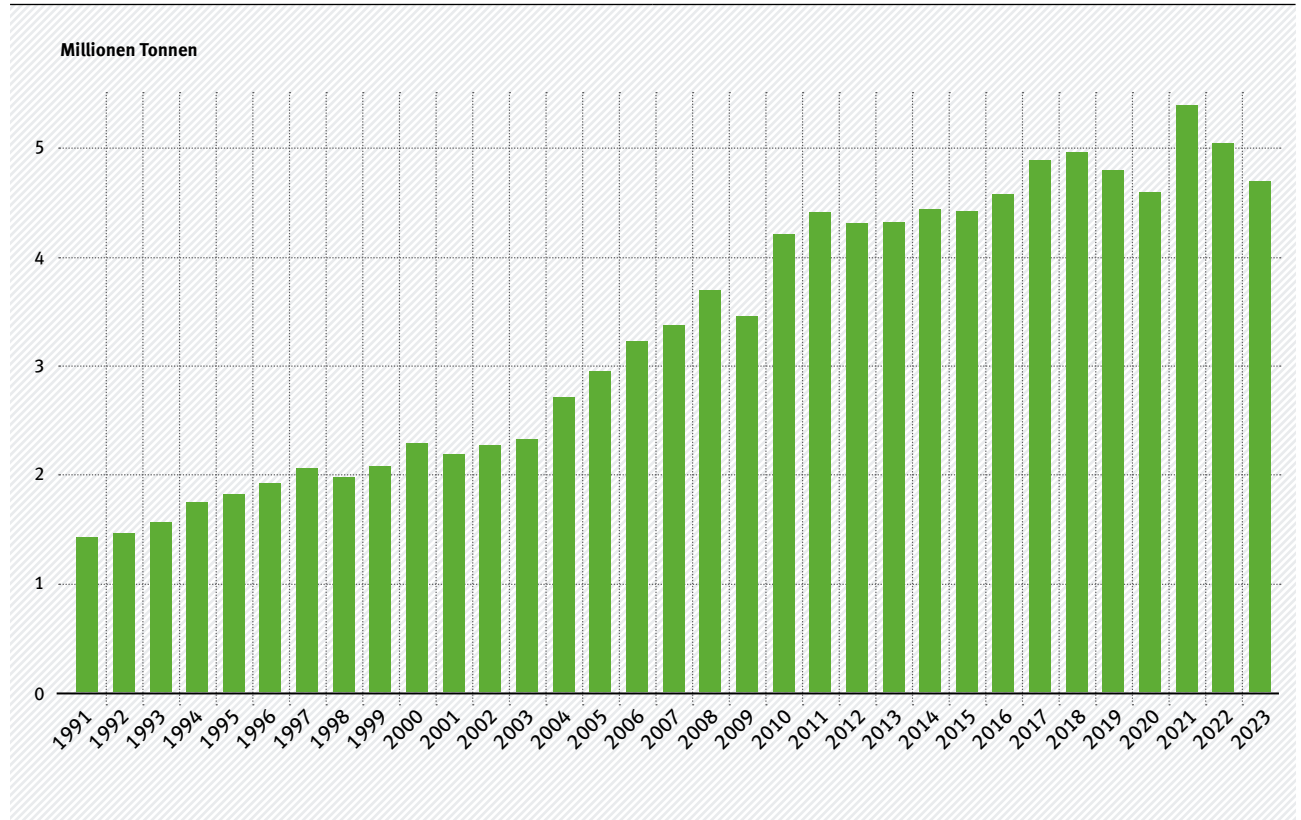
Flugzeuge transportieren deutlich weniger Güter als beispielsweise der Seeverkehr, dafür aber oft insbesondere hochwertige Produkte wie beispielsweise Maschinenteile oder Elektronik aller Art. So lag der durchschnittliche Warenwert der 2022 in Deutschland umgeschlagenen Luftfracht bei 152.807 € pro Tonne, beim Lkw lag er bei 6.525 € pro Tonne, bei der Bahn nur bei 2.090 € pro Tonne.²⁸ Auf langen Strecken sind Flugzeuge zudem schneller und werden daher für eilige Transporte genutzt. Verderbliche Güter wie frische Lebensmittel oder Blumen sind ebenfalls häufig auf Luftfracht angewiesen, wenn sie auf weit entfernten Märkten angeboten werden.

Das Luftfrachtaufkommen beim Handel zwischen Deutschland und Ländern außerhalb der EU stieg zwischen 2000 und 2022 um 54 %. Die wichtigsten Herkunfts- und Zielländer sind China, die USA, Indien, Japan und Südkorea. Sie machten 2022 etwa 64 % der Tonnage aus.²⁸ In den letzten Jahrzehnten ist das Luftfrachtaufkommen generell stark gewachsen (siehe Abbildung 10). Zu Beginn der Corona-Pandemie brach der in Deutschland umgeschlagene Frachtverkehr ein, stieg aber bereits 2021 wieder stark an. Die Branche geht global von einem jährlichen Wachstum der Luftfracht von 4 % im Zeitraum bis 2041 aus – getrieben vor allem durch die asiatischen Märkte.²⁹

Abbildung 10

Entwicklung des Luftfrachtaufkommens von und nach Deutschland

Ein- und Ausladungen (ab 2008 inkl. Luftpost)



Quelle: Eigene Darstellung nach ADV-Monatsstatistiken

²⁸ BDL 2023: Bedeutung der Luftfracht für den Industriestandort Deutschland – Analyse der Warenstruktur und Entwicklung des Luftfrachtmarktes in Deutschland.

²⁹ Boeing 2022: World Air Cargo Forecast 2022–2041.

Je mehr geflogen wird, umso größer sind die Klimawirkungen des Luftverkehrs. Spezifisch ist die Tatsache, dass beim Flugzeug die Klimawirkungen nicht hauptsächlich von den CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Kerosin verursacht werden. Mindestens genauso wichtig sind die sogenannten Nicht-CO₂-Effekte.³⁰ Dieser Begriff fasst sehr unterschiedliche Stoffe und Wirkungen zusammen, z. B. die Wirkung durch Kondensstreifen und Rußpartikel, Aerosole und Stickoxide. Der Transport von Gütern mit dem Flugzeug ist gemessen an den Tonnenkilometern etwa 200-mal klimaschädlicher als per Seeschiff. Selbst unter Berücksichtigung der kürzeren Transportdistanz durch direktere Routen beim Transport in der Luft im Vergleich zum Seeweg bleibt die Luftfracht deutlich klimaschädlicher.

Generell gilt: Maßnahmen und Instrumente, die den allgemeinen Flugverkehr klima- und umweltverträglicher machen, wirken auch in der Luftfracht. Dazu kommt, dass Passagierverkehr und Frachtverkehr oft keine präzise Trennlinie haben. Häufig wird im Bauch von Passagiermaschinen auch Fracht zugeladen, die sogenannte Bellyfracht (siehe Text-Box).

Mit den Veröffentlichungen „Wohin geht die Reise?“ und „Umweltschonender Luftverkehr | lokal – national – international“³² hat sich das Umweltbundesamt mit dem Luftverkehr befasst und umfangreich und detailliert Maßnahmen und Instrumente vorgeschlagen, die größtenteils noch heute gültig sind (siehe Abbildung 11). Daher wird die Luftfracht trotz ihrer Bedeutung im Güterverkehr in dieser Broschüre im Vergleich zum Seeverkehr kürzer behandelt.

Abbildung 11

Veröffentlichungen des UBA zum umweltschonenden Luftverkehr



Quelle: Eigene Darstellung

Bellyfracht: Kombierter Verkehr in der Luft

Werden Güter nicht in einem Frachtflugzeug, sondern als Beiladung in einem Passagierflugzeug transportiert, spricht man von Bellyfracht. Im Vor-Corona-Jahr 2019 wurde global fast die Hälfte der Verkehrsleistung in der Luftfracht als Beiladung transportiert.³¹ Eine hohe Auslastung von Flugzeugen ist im Prinzip positiv, weil sie die spezifischen Emissionen je Transporteinheit verringert. Andererseits kann der Kombi-Verkehr in der Luft zusätzlichen Verkehr induzieren: Der Verkauf von Beiladefracht trägt entscheidend zur Wirtschaftlichkeit von Passagierflügen bei, Luftfracht macht auf bestimmten Strecken Passagierflüge also überhaupt erst möglich. Im Gegenzug erhöht ein starkes Wachstum von Passagierflügen auch die Kapazität für Beiladung.

Ob Bellyfracht den Güterverkehr in der Luft umwelt- und klimaverträglicher macht, ist schwer zu sagen. Generell müssen die Emissionen sachgerecht und anteilig Passagieren und Fracht zugeordnet werden. Bisherige Methoden zur Berechnung der Treibhausgasemissionen und deren Aufteilung nach der Norm ISO 14083 bzw. der Empfehlung RP 1678 der International Air Transport Association führen allerdings dazu, dass Bellyfracht-Transporte systematisch schlechter abschneiden als reine Frachtflüge.

30 Dahlmann et al. 2023: Klimawirkung des Luftverkehrs.

31 IATA 2023: IATA's Chart of the Week "Uneven recovery trends in air cargo traffic and capacity".

32 UBA 2019: Wohin geht die Reise? und Bopst et al. 2019: Umweltschonender Luftverkehr lokal – national – international.

Klima- und Umweltschutzmaßnahmen in der Luftfracht

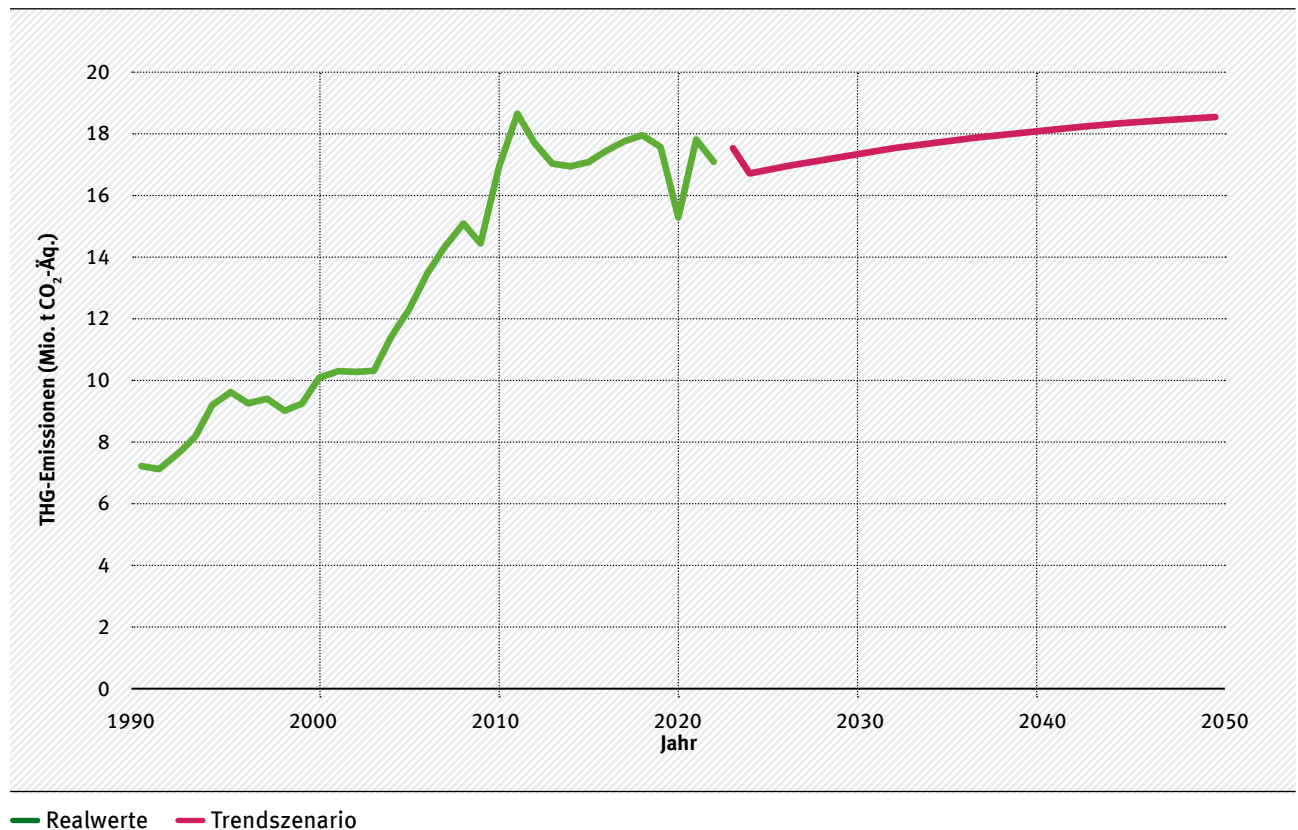
Alternative Kraftstoffe an den Start bringen. Der Luftverkehr und die Luftfracht müssen in den kommenden Jahrzehnten weitgehend treibhausgasneutral werden, sind dazu aber noch nicht auf Kurs (siehe Abbildung 12). Das bedeutet vor allem den Umstieg auf nachhaltige alternative Kraftstoffe (Sustainable Aviation Fuels, kurz SAF).³³ Da SAF auf absehbare Zeit teurer als fossile Kraftstoffe sind, werden konkrete Instrumente benötigt. Eine Beimischquote, die über die Jahre kontinuierlich steigt, wie die EU diese 2023 mit der ReFuelEU Aviation Verordnung (EU) 2023/2405 beschlossen hat, ist ein geeignetes Instrument. Eine solche Quote kann den Aufbau von Produktionskapazitäten für SAF generell, aber auch für regenerativ erzeugten Strom, der für die Herstellung von PtL-Kerosin benötigt wird, beschleunigen. Alternative Kraftstoffe können zudem Nicht-CO₂-Effekte mindern, weil sie z. B. weniger Aromaten enthalten, aus denen bei der Verbrennung Ruß entsteht.

Flugrouten optimieren. Die Nicht-CO₂-Effekte des Luftverkehrs müssen deutlich reduziert werden. Sie schaden dem Klima mindestens in gleicher Größenordnung wie die ausgestoßenen CO₂-Emissionen. Zur Minderung dieser Effekte können optimierte Flugrouten beitragen, die Lufträume meiden, in denen die Nicht-CO₂-Effekte besonders stark wirken, wie beispielsweise kalte und feuchte Luftmassen. Das kann zu Mehrkosten durch höheren Kerosinbedarf oder längere Flugzeit führen. Es bedarf daher ökonomischer Anreize, damit weniger klimaschädliche Routen tatsächlich auch geflogen werden.³⁴

Luftfracht verlagern. Ein Ansatz zur Vermeidung von Luftfracht ist die Stärkung von Alternativen. Neben der Schifffahrt kommen hier auf bestimmten Strecken auch die Bahn oder der Lkw oder Schiff-Flugzeug-Kombinationen in Betracht. Alternativen zur Luftfracht müssen ausgebaut, aber auch beworben und präsen- ter werden. Teilweise finden Lufttransporte statt, ohne dass entsprechende Alternativen geprüft werden.

Abbildung 12

Jährliche THG-Emissionen (inkl. zusätzliche Klimawirkung in großen Höhen) des von Deutschland abgehenden Luftfrachtverkehrs bis 2022 und im Trendszenario bis 2050 (TREMOD)



Quelle: Eigene Darstellung nach Biemann et al. 2024a

³³ SAF als nachhaltige Kraftstoffe für den Luftverkehr sind sowohl Biokraftstoffe als auch E-Fuels/PtL-Kraftstoffe.

³⁴ Bopst et al. 2019.

Lärm mindern. Problematisch beim Luftverkehr sind die vielen nächtlichen Frachtflüge, die insbesondere an den Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle stattfinden. Für einen präventiven Gesundheitsschutz sollte daher in der Zeit von 22:00 bis 06:00 Uhr kein regulärer Flugbetrieb auf stadtnahen Flughäfen erfolgen. Die gleichen Anforderungen sollten auch in den EU-Nachbarländern gelten, um eine Verlagerung des Flugbetriebes auf ausländische Flughäfen zu vermeiden. Nicht vermeidbarer Nachtflugbetrieb könnte – unter Einhaltung des Zielwertes der Weltgesundheitsorganisation (WHO) von 40 dB(A) nachts – an einem oder an wenigen Flughäfen in Deutschland in möglichst dünnbesiedelten Gebieten gebündelt werden. Die Auswahl möglicher Flughafen-Standorte mit Nachtflugbetrieb sollte anhand einer integrierten, ökologisch ausgerichteten Flughafenplanung des Bundes oder der EU entschieden werden. Dies ist natürlich nicht kurzfristig umsetzbar – Ziel sollte aber sein, dass bis spätestens 2050 an stadtnahen Flughäfen zwischen 22 und 6 Uhr kein regulärer Flugbetrieb mehr stattfindet und bis dahin alle infrastrukturellen Voraussetzungen geschaffen werden.



Klimaschutzinstrumente in der Luftfracht

E-Fuels fördern. Die 2023 beschlossene ReFuelEU Aviation Verordnung ((EU) 2023/2405) als Teil des Fit-for-55-Pakets regelt den Hochlauf von nachhaltigen alternativen Kraftstoffen (SAF) innerhalb der EU. Die Verordnung sieht bis 2050 einen Mindestanteil von 70 % SAF vor, wovon mindestens 35 % aus erneuerbarem Strom erzeugtes Kerosin sind (so genannte E-Fuels oder PtL – Power to Liquid-Kerosin). Zudem tragen auch „fortschrittliche“ Biokraftstoffe zur Quote bei, die aus Abfällen oder Reststoffen gewonnen werden, für die nachhaltige Mengen aber nur begrenzt vorhanden sind. Für Treibhausgasneutralität wäre ein vollständiger Ersatz von fossilem Kerosin durch PtL bis 2045 notwendig. Damit Frachtflüge nicht auf Strecken außerhalb des Geltungsbereiches der Verordnung ausweichen, ist zu begrüßen, dass die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO) bis 2050 Netto-Null-CO₂-Emissionen anstrebt.

Ehrliche Preise schaffen. Im Güterverkehr entscheiden oft Preise über die Wahl des Verkehrsträgers. Daher sind Preise erforderlich, die alle ökologischen und sozialen Kosten spiegeln und einen echten Vergleich der Verkehrsträger untereinander ermöglichen. Wäre der Luftverkehr beispielsweise nicht mehr von der Energiesteuer befreit, würde Kerosin mit 65,45 Cent pro Liter besteuert.³⁵ Im globalen Luftverkehr sind für eine Internalisierung externer Umweltkosten weltweite Lösungen oder zwischenstaatliche Verträge nötig, was lange Verhandlungen bedeutet. Ein Vorschlag der EU-Kommission zur Reform der Energiesteuer-Richtlinie sieht eine Kerosinbesteuerung auf inner-europäischen Flügen vor. Derzeit ist offen, ob sich die Mitgliedsstaaten dazu durchringen können. Alternativ bietet sich eine Ausweitung der Luftverkehrsteuer an. Sie gilt bisher nur für Passagiere. Für den Frachtbereich müsste der Gesetzgeber eine entsprechende Erweiterung einführen. Auch externe Umweltkosten, die im Flughafenumfeld durch Fluglärm und verschlechterte Luftqualität entstehen, sind in Form von emissionsabhängigen Start- und Landeentgelten zu erheben und zur Behebung bzw. Vermeidung der Umweltbelastungen einzusetzen.

35 Burger und Bretschneider 2021: Umweltschädliche Subventionen in Deutschland.

Emissionshandel für Luftverkehr schärfen. Der verpflichtende Kauf von Zertifikaten erhöht die Preise des Luftverkehrs und macht Klimaschutzinvestitionen wirtschaftlicher. Im Europäischen Emissionshandel (EU-ETS 1), in den der Luftverkehr seit 2012 einbezogen ist, wurden die Regelungen zum Luftverkehr 2023 verschärft.³⁶ Kostenlose Zuteilungen von Emissionsrechten werden eingeschränkt und bis 2026 komplett abgeschafft. Außerdem sind künftig Überwachung und Berichtspflichten zu Nicht-CO₂-Effekten vorgesehen – ein Aspekt, für den sich das UBA in den vergangenen Jahren stark gemacht hat.

Auch beim internationalen CO₂-Kompensationsmechanismus (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, kurz CORSIA), der 2021 gestartet ist, müssen die Fluggesellschaften Emissionen kompensieren. Bei CORSIA wurde die sogenannte Basislinie abgesenkt und damit die Berechnungen der Kompensationsverpflichtungen geändert. Anstelle der durchschnittlichen CO₂-Emissionen der Jahre 2019 und 2020 gelten jetzt 85 % der Emissionen von 2019 als Basislinie. Das bedeutet eine Verschärfung um 15 %, das als Basis ungeeignete Corona-Jahr 2020 wurde aus der Berechnung herausgenommen. Die Ziele von CORSIA können alle drei Jahre überprüft werden, im EU-ETS 1 wird es voraussichtlich 2028 eine weitere Überarbeitung geben. Dann wäre der adäquate Einbezug der Nicht-CO₂-Effekte in den EU-ETS 1 mit einer Abgabeverpflichtung zur Verminderung dieser Klimawirkungen wichtig. Trotz der Verschärfungen gilt: Beide Instrumente sind derzeit nicht ambitioniert genug und mit den Zielen des Pariser Klimaabkommens nicht kompatibel.

Übersicht Maßnahmen und Instrumente im Luftfrachtbereich

Maßnahmen und Instrumente	Wer beschließt?	Wer setzt um?
Einsatz nachhaltiger alternativer Kraftstoffe (SAF) Ambitionierte Beimischquote im zeitlichen Verlauf und kompletter Ausstieg aus fossilem Kerosin ab 2045	EU, D	Airlines, Kraftstofflieferanten
Subventionsabbau EU-weite Kerosinbesteuerung, alternativ Ausweitung der Luftverkehrsteuer auf Fracht, keine staatlichen Beihilfen	EU, D	Mitgliedstaaten
Internalisierung externer Umweltkosten EU-ETS 1 und CORSIA stärken, Einbeziehung der Nicht-CO ₂ -Effekte, Erhöhung der emissionsabhängigen Landeentgelte	EU, ICAO	Mitgliedstaaten
Stärkung der Alternativen Ausbau der Bahn im Langstrecken-Güterverkehr	EU, D	Mitgliedstaaten
Verbot eines regulären Flugbetriebs von 22 bis 6 Uhr auf stadtnahen Flughäfen zum Lärmschutz bis 2050	D	Bundesländer, Flughäfen
Verlagerung von Nachtflügen an Flughäfen in dünnbesiedelten Gebieten bis 2050	D	Flugunternehmen, Speditionen

Quelle: Umweltbundesamt (2024)

36 Richtlinie (EU) 2023/958.

6

Nationaler Güterverkehr

Der Blick in die Statistik zeigt es: Der Lkw-Verkehr dominiert den Güterverkehr in Deutschland. Lkw transportieren über 86 % aller Waren, auf sie entfallen 73 % der Verkehrsleistung im Güterverkehr.³⁷ Die Gründe dafür liegen auf der Hand. Straßen gibt es überall, Transporte per Lkw sind sehr flexibel und erreichen im Prinzip auf direktem Weg jeden Empfänger und jede Empfängerin und sind oft günstiger als die Alternativen.

Die Kehrseite: Straßengüterverkehr ist in Deutschland für 98 % aller Treibhausgasemissionen im Güterverkehr verantwortlich und emittiert große Mengen an Luftschadstoffen. Fahrzeuge, Logistik und Wertschöpfungsketten müssen daher effizienter, emissionsärmer und klimaverträglicher werden. Elektrische Lkw mit Batterien oder Brennstoffzellen, postfossile synthetische Kraftstoffe, Verlagerung von Waren auf Schiene oder Wasserstraße und optimierte Logistikkonzepte – umweltverträglichere Ansätze gibt es durchaus.

Das alles aber braucht Zeit und die richtigen Rahmenbedingungen. Der Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs kommt dabei eine entscheidende Rolle zu. Sie gelingt allerdings nur, wenn ausreichend erneuerbarer Strom zur Verfügung steht, die Ladeinfrastruktur eng geknüpft ist und neue E-Lkw für Logistikunternehmen erschwinglich sind. Sollen Straßen entlastet und Güter auf Schiene oder Wasserstraßen verlagert werden, muss eine digitalisierte und automatisierte Infrastruktur für den Umschlag vorhanden sein, die eine reibungslose und schnelle Verladung sicherstellt.

³⁷ BMDV 2023.

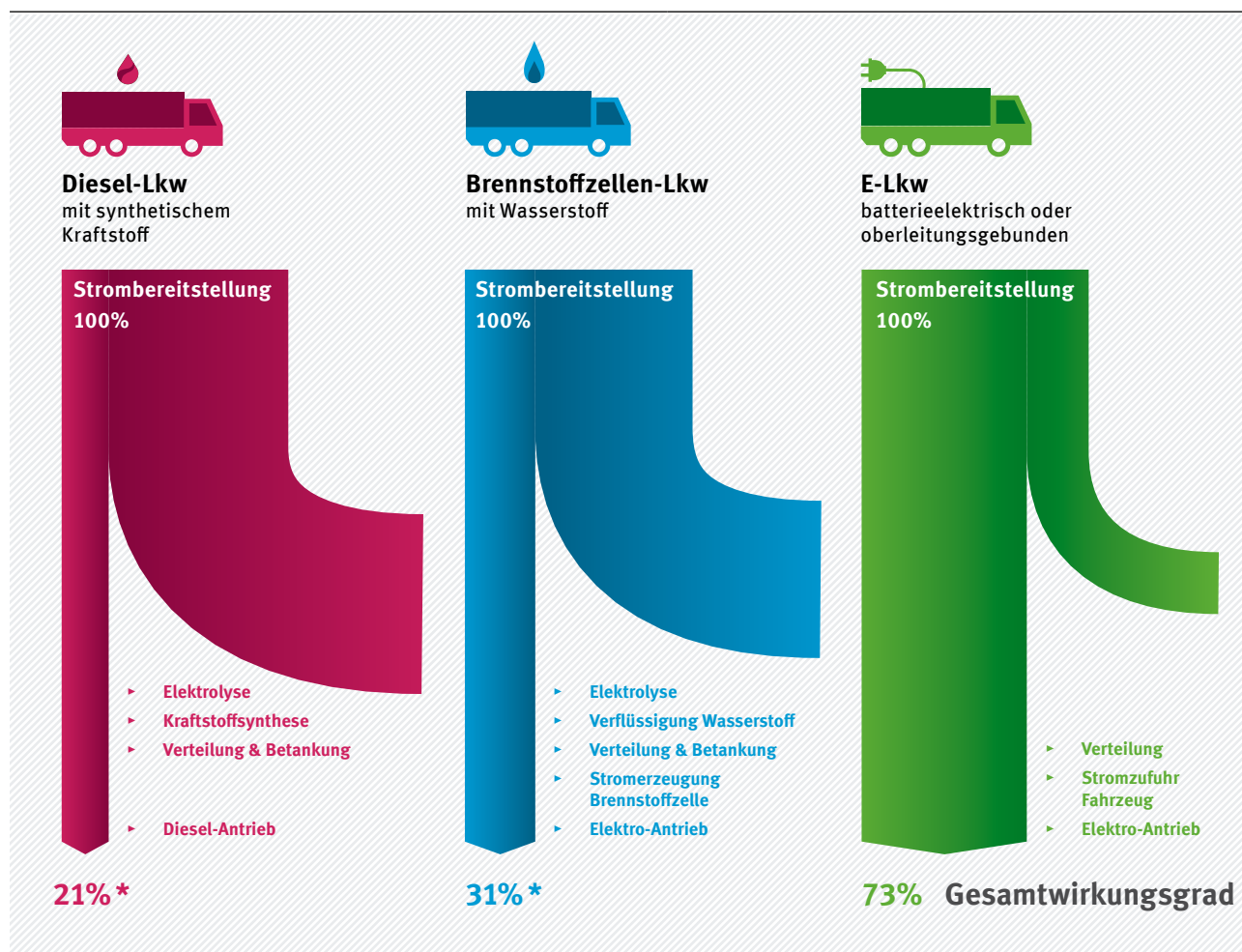
Tempo für Antriebswende auf der Straße

Zwischen 1990 und 2022 stiegen die Treibhausgasemissionen von leichten und schweren Nutzfahrzeugen (LNF und SNF) von 33 Mio. t auf 51 Mio. t CO₂-Äq. Der Anteil des Straßengüterverkehrs an den Gesamtemissionen des Verkehrssektors kletterte damit von 21 auf 34 %. Dieser Anteil wird voraussichtlich auch in den nächsten Jahren ähnlich hoch bleiben. Das heißt: Ein großes Potential für die Senkung der Treibhausgasemissionen im Güterverkehr liegt auf der Straße. Die EU hat Anfang 2024 für deutlich ambitioniertere CO₂-Flottengrenzwerte für alle schweren Nutzfahrzeuge gestimmt. Die vorgeschriebenen Obergrenzen sinken in den kommenden Jahren stufenweise weiter ab. Ab 2040 muss bei Neuzulassungen im Durchschnitt eine CO₂-Minderung von 90 % erreicht werden.

Alternative Antriebe. Ein wesentlicher Baustein ist die Umstellung vom Dieselmotor auf emissionsarme oder emissionsfreie Antriebe und postfossile Kraftstoffe. Grundsätzlich gilt, dass Elektromotoren deutlich effizienter sind als Verbrennungsmotoren, da sie elektrische Energie direkt in Bewegungsenergie umsetzen. Lkw, die den Strom über eine Oberleitung laden (sogenannte O-BEV), sind gegenüber einem normalen, batteriegetriebenen E-Lkw noch etwas effizienter, da ihre Traktionsbatterie kleiner und leichter ist. Brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge belegen einen Mittelplatz, weil die kalte Verbrennung von Wasserstoff mit höheren Energieverlusten einhergeht als die direkte Nutzung von Strom im batteriegetriebenen E-Lkw (siehe Abbildung 13).

Abbildung 13

Wirkungsgradvergleich verschiedener Lkw-Antriebsoptionen auf Basis der Stromnutzung



* Bei Erschließung von Effizienzpotentialen bei Elektrolyse, Kraftstoffsynthese und Brennstoffzelle

Quelle: Eigene Darstellung nach Öko-Institut 2020

Tatsache ist, dass bisher nur wenige Elektro- und Brennstoffzellen-Lkw unterwegs sind und noch keine relevanten Mengen an synthetischen Kraftstoffen zur Verfügung stehen. Das macht die Abschätzung zukünftiger Treibhausgasemissionen im Straßengüterverkehr schwierig.

Abbildung 14 zeigt das Treibhausgaspotenzial von Sattelzügen mit alternativen bzw. konventionellen Antrieben für die Baujahre 2020 und 2030. Zugrunde gelegt ist dabei eine sogenannte Lebenszyklus-Betrachtung, also eine vollständige Analyse von Transporten per Sattelzug inklusive der Gewinnung und Bereitstellung des Kraftstoffs bis zu seiner Umwandlung in Bewegungsenergie im Fahrzeug und der Fahrzeugherstellung, -wartung und -entsorgung. Ein typischer, 2020 in Betrieb genommener Diesel-Sattelzug hat demnach ein Treibhauspotenzial von rund 970 g CO₂-Äq./km. Erdgas-basierte Alternativen haben gegenüber dem Diesel nur einen geringen Klimavorteil oder sind sogar leicht klimaschädlicher. Für Lkw mit Baujahr ab 2030 kommt es bei konventionellen Antrieben durch eine Steigerung der Effizienz zu leichten Verbesserungen. Die mit Abstand geringsten Klimawirkungen haben der O-BEV und der batterieelektrische Lkw (BEV).³⁸

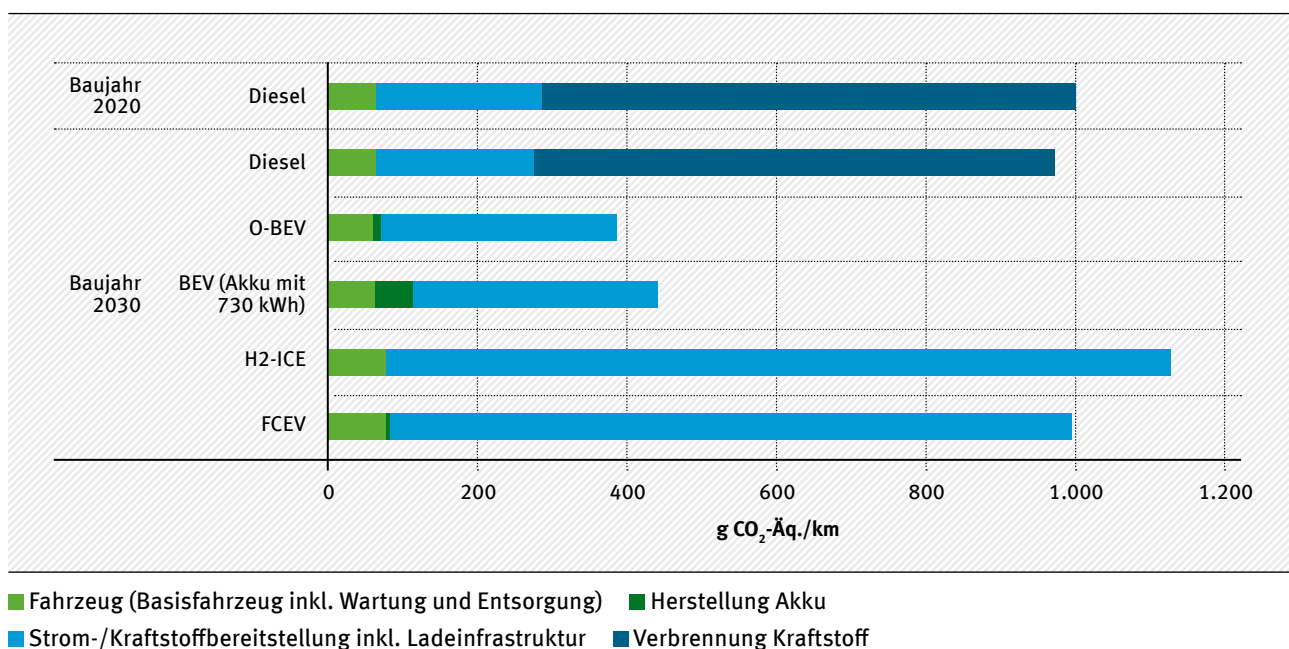
Fahrzeuge mit Brennstoffzelle (FCEV) oder Wasserstoff-Verbrennungsmotor (H2-ICE), die ab 2030 auf deutschen Straßen unterwegs sind, haben keine Vorteile gegenüber dem Diesel-Sattelzug. Im Wesentlichen deshalb, weil sie die nächsten Jahre noch mit „grauem“ Wasserstoff betankt werden, der durch Dampfreformierung von fossilem Erdgas erzeugt wird.

Neben dem Zugfahrzeug haben beim Sattel- oder Lastzug auch Auflieger und Anhänger Einfluss auf die Effizienz. Die überarbeiteten EU-Flottenzielwerte für schwere Nutzfahrzeuge sehen erstmals vor, Effizienzmaßnahmen an Auflieger und Anhänger vorzuschreiben. Verbesserte Anhänger z. B. mit weniger Luftwiderstand können den Dieserverbrauch und CO₂-Emissionen mindern. Zudem werden derzeit die zulässigen Maximalgewichte für emissionsfreie Lkw und die Zulassung von Lang-Lkw im grenzüberschreitenden Verkehr diskutiert.³⁹ Unklar ist dabei, ob Lkw mit höheren Gewichten möglicherweise nur auf bestimmten Strecken fahren dürfen, beispielsweise auf besonders tragfähigen „Ewigkeitsstraßen“.

Erzeugung und Bereitstellung der Antriebsenergie nehmen großen Einfluss auf die Gesamteffizienz. Strombasierte Kraftstoffe (sogenannte E-Fuels) sind

Abbildung 14

Treibhauspotenzial von Sattelzügen für die Baujahre 2020 sowie 2030 und anschließende typische Nutzung



Anmerkung: Werte für mittlere Beladung (11 t Nutzlast) und Nutzungsdauer von acht Jahren mit einer Gesamtfahrleistung von 900.000 km. O-BEV (batterie-elektrischer Lkw mit zusätzlicher Nutzung der Oberleitung), BEV (batterie-elektrischer Lkw), H2-ICE (Lkw mit Wasserstoff-Verbrennungsmotor) und FCEV (Brennstoffzellenelektrischer Lkw)

Quelle: Eigene Darstellung nach Biemann et al. 2024c

³⁸ Biemann et al. 2024c: Analyse der Umweltbilanz von Kraftfahrzeugen mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen auf dem Weg zu einem treibhausgasneutralen Verkehr.

³⁹ Änderung der Richtlinie 69/53/EG im Rahmen des „Greening Freight Package“ der EU.

zwar emissionsarm, benötigen für ihre Herstellung aber viel Energie. Sie können in einer Effizienzbeurteilung daher nicht mit der direkteren Umwandlung von Strom in Bewegungsenergie konkurrieren. Strombasierte Kraftstoffe im Güterverkehr sollten vor allem dort eingesetzt werden, wo eine direkte Nutzung von erneuerbarem Strom in batterie-elektrischen Antrieben nicht möglich ist. Das gilt beispielsweise im internationalen Seeverkehr und in der Luftfracht.

Hürden beim Umstieg. Lkw mit alternativen Antrieben sind derzeit kostspielig in der Anschaffung und ohne staatliche Zuschüsse oder andere politische Maßnahmen nicht wirtschaftlich zu betreiben. Wie schnell eine Elektrifizierung im straßengebundenen Güterverkehr gelingt, hängt vor allem von den Gesamtbetriebskosten ab. Dazu zählen nicht nur der Kaufpreis für den Lkw, sondern auch Energiekosten, Maut, Reparaturkosten und Wartung. Sie müssen im Vergleich mit konventionellen Antrieben günstiger ausfallen, damit Logistiker umsteigen. Gezielte Zuschüsse bei der Anschaffung neuer E-Lkw oder andere Instrumente werden daher trotz neuer Maut mit CO₂-Aufschlag in den nächsten Jahren weiterhin notwendig sein, um den Markthochlauf abzusichern. Zudem muss das tägliche Geschäft auch mit neuen Antrieben reibungslos laufen, das heißt, ohne dicht geknüpfte Ladeinfrastruktur, ausreichend Wasserstofftankstellen oder Überleitungsnetz wird die Umsetzung der Energiewende im Güterverkehr nicht gelingen.

CO₂-Aufschlag in der Maut. Seit Dezember 2023 enthält die Lkw-Maut eine CO₂-Komponente in Höhe von 200 €/t CO₂. Diese Verteuerung gilt zunächst nur für Lkw mit konventionellem Antrieb ab einem zulässigen Gesamtgewicht (zGG) von 7,5 t. Ab Mitte 2024 soll sie ab einem zGG von 3,5 t gelten. Lkw, die keine Abgasemissionen mehr ausstoßen, werden bis Ende 2025 komplett von der Lkw-Maut befreit. Damit werden Batterie-Lkw in immer mehr Anwendungsfällen kostengünstiger als Dieselfahrzeuge und wirtschaftlich attraktiver. Eine Wettbewerbsverzerrung zu Lasten der deutschen Logistikbranche erfolgt hierdurch nicht, da die CO₂-Bepreisung mittels Maut für alle – auch ausländische – Logistikunternehmen greift. Eine Weitergabe der Mehrkosten durch die Maut von Speditionen an ihre Kunden sollte prinzipiell möglich sein. Derzeit wird ein relevanter Anteil des CO₂-Aufschlages aus der Maut zur Stärkung der Schiene genutzt.

CO₂-Bepreisung als Hebel. Auch das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) und der hierüber geschaffene nationale Emissionshandel für Brennstoffe (nEHS) verteuern CO₂-Emissionen im Güterverkehr. Seit 2024 fällt an der Tankstelle ein CO₂-Preis auf Diesel und Benzin von 45 Euro pro Tonne CO₂ an (siehe Abbildung 15). Es ist geplant, bis 2026 den Zertifikatspreis je emittierte Tonne CO₂ schrittweise auf bis zu 65 Euro zu erhöhen.

Ab 2027 soll der nEHS in den 2023 beschlossenen neuen Europäischen Emissionshandel für Brennstoffe (den sogenannten EU-ETS 2) überführt werden. Im

Abbildung 15

Entwicklung des CO₂-Preises je emittierte Tonne CO₂ nach dem Brennstoffemissionshandelsgesetz bis 2026



Quelle: Umweltbundesamt 2024

Gegensatz zum nEHS werden sich die CO₂-Preise im EU-ETS 2 zum Start des Systems direkt am Markt bilden. Die Marktpreisbildung ist dabei an eine feste Emissionsobergrenze (sog. „Cap“) gekoppelt, die kontinuierlich gesenkt wird. Angesichts des ambitionierten Cap und der bislang nur geringen Emissionsminderungen im Gebäude- und Verkehrsbereich dürften die CO₂-Preise im EU-ETS 2 deutlich über dem aktuellen Niveau im nEHS liegen. Eine aktuelle vom UBA beauftragte Studie zeigt auf, dass sich die Minderungsgeschwindigkeit bis 2030 gegenüber dem Status quo vervielfachen muss.⁴⁰ Damit steigen auch die Kosten für fossile Kraftstoffe; alternative Kraftstoffe dagegen werden bessergestellt. Um einen abrupten Preisanstieg 2027 zu vermeiden, empfiehlt das UBA, die Preise im nationalen Emissionshandel je emittierte Tonne CO₂ anzuheben, auf 110 € im Jahr 2025 und auf 130 € im Jahr 2026. Im Hinblick auf einen fairen Wettbewerb ist der EU-ETS 2 für die deutsche Logistikbranche unkritisch, da dann nicht nur – wie bisher schon – alle Spediteure in Deutschland die gleiche Lkw-Maut auf Straßen in Deutschland zahlen, sondern auch der EU-ETS 2-Preis EU-weit in gleicher Höhe bezahlt werden muss.

Perspektivisch soll die CO₂-Komponente in der Maut als Instrument im Zusammenwirken mit dem EU-ETS 2 genutzt werden. Setzen verschiedene ökonomische Instrumente bei der CO₂-Belastung an, hier die Lkw-Maut und der EU-ETS 2 (ab 2027), sollte der geltende europarechtliche Rahmen für die kombinierte CO₂-Bepreisung ausgeschöpft werden: Der kombinierte CO₂-Preis sollte also den CO₂-Vermeidungskosten im Lkw-Bereich entsprechen, damit so ein Umstieg auf die klimaneutralen Alternativen sichergestellt wird, bis die Klimaziele erreicht wer-

den. Um dieses Preisniveau abzusichern, ist ein Verfahren zur adäquaten Abstimmung von EU-ETS 2 und Maut zu entwickeln. Die CO₂-basierte Maut kann damit im Zusammenwirken mit dem EU-ETS 2 einen wichtigen klimapolitischen Beitrag zur Transformation des Straßengüterverkehrs und zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele leisten. Hierfür ist auch entscheidend, dass die Erlöse aus dem EU-ETS 2 und der CO₂-Komponente der Maut anteilig zur aktiven verkehrspolitischen Flankierung dieses Transformationsprozesses eingesetzt werden.

Energiebesteuerung weiterentwickeln. Die Energiesteuer für Diesel sollte schrittweise auf das Niveau der Energiesteuer von Benzin (bemessen am Energiegehalt) angehoben werden, was auch die steuerliche Privilegierung von Diesel abbauen würde. Zeitlich befristete Ausnahmen für mautpflichtige Fahrzeuge sind zu prüfen. Neben Anpassungen bei der Dieselbesteuerung geht es auch um Reformen bei der Energie- und Stromsteuer. Diese sollte dem Klima- und auch dem Umweltschutz dienen. Neben einer darauf ausgerichteten Struktur der nationalen Steuersätze und der EU-Mindeststeuersätze sollte auch eine Indexierung der Steuersätze von Energie und Strom eingeführt werden, so dass diese mindestens mit der allgemeinen Preisentwicklung Schritt halten.

THG-Quote als Unterstützung. Auch die seit 2015 geltende Treibhausgasminderungsquote (THG-Quote) im Rahmen der EU-Erneuerbare-Energien-Richtlinie macht E-Lkw finanziell attraktiver. Da elektrische Antriebe gegenüber Diesel-Lkw weitaus weniger Treibhausgasemissionen haben, können die Quotenverpflichteten⁴¹ ihre Quoten inzwischen auch über E-Lkw erreichen.

Alternative Kraftstoffe eine notwendige Brückentechnik?

Paraffinische Kraftstoffe aus Abfall- und Reststoffen (HVO), Biomethan oder Erdgas werden schon heute genutzt, um klimaschädliche Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen zu senken und damit entsprechende Unternehmensziele zu erreichen oder gesetzliche Vorgaben zu erfüllen. Fakt ist, dass alternative Kraftstoffe aus Abfall- und Reststoffen im Unterschied zu E-Fuels bereits gekauft werden können, sie werden jedoch bis auf Erdgas, welches ein geringes THG-Minderungspotenzial besitzt, nur begrenzt verfügbar bleiben. Zudem sind HVO und Biomethan nur so klimaverträglich wie die zur Herstellung verwendeten Rohstoffe. Eine verstärkte Nutzung dieser Kraftstoffe in Deutschland im Verkehr führt nur dazu, dass in den Herkunftsländern mehr fossile Energieträger eingesetzt werden anstatt diese selbst zu nutzen.

40 Graichen und Ludig 2024: Supply and demand in the ETS 2.

41 Quotenverpflichtete sind die Inverkehrbringer von Otto- und Dieselmotorkraftstoffen für den Straßenverkehr.

Ambitionen für neue Lkw. Auch die Verschärfung der CO₂-Flottenzielwerte in der EU macht für Hersteller den Bau von Lkw mit alternativen Antrieben künftig lukrativer. Die durchschnittlichen CO₂-Emissionen neuer Lkw müssen ab 2030 um 45 %, ab 2035 um 65 % und ab 2040 um 90 % niedriger sein als 2019. Diese Vorgaben führen in die richtige Richtung, allerdings hätten noch ambitioniertere Ziele und ein Verbot für Verbrennungsmotoren im Straßengüterverkehr die Klimaschutzziele näher gerückt. Die beschlossene Euro 7-Abgasnorm nach Verordnung (EU) 2024/1257 wird neben Stickoxiden erstmals auch den Reifen- und Bremsabrieb bei schweren Nutzfahrzeugen regulieren. Sie wird erst ab 2028 relevant wirksam.

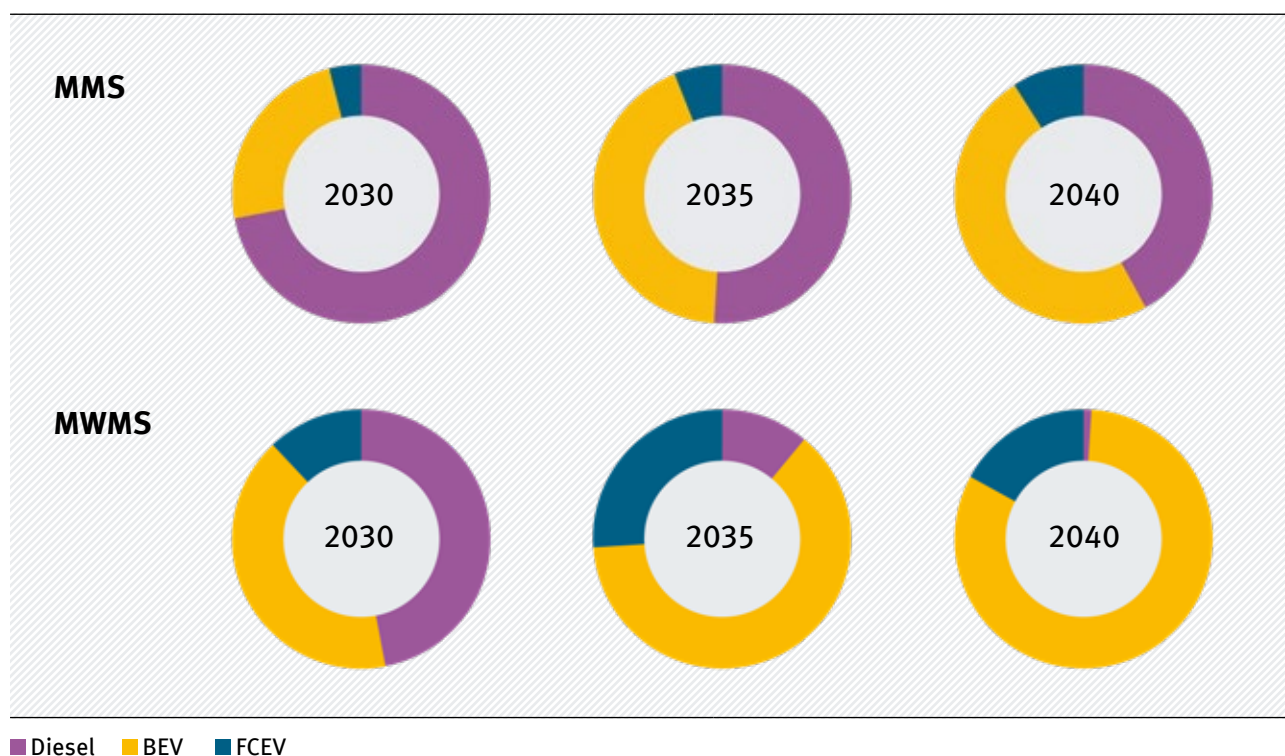
Lücken im Ladenetz. Ohne Ladesäulen keine Elektrifizierung: Maßnahmen zur Förderung von E-Antrieben bleiben wirkungslos, wenn das Ladenetz große Lücken hat. Ladesäulen müssen flächendeckend, optimal zugänglich und in ausreichender Zahl vorhanden sein, damit Elektromobilität für die Logistikbranche attraktiv wird. Bundesweit koordiniert die Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur Planung und Ausbau. Auf EU-Ebene sind Mindestanforderungen an die Lade- und Tankinfrastruktur durch die Verord-

nung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR) geregelt. Sie sieht vor, dass im Autobahnnetz ab 2025 alle 100 km Ladestationen für schwere Nutzfahrzeuge und alle 200 km Wasserstofftankstellen installiert sind. Bis 2030 ist eine vollständige Abdeckung der Straßen des transeuropäischen Gesamtverkehrsnetzes (TEN-V) vorgesehen.

Der Aus- und Aufbau der Ladeinfrastruktur ist ein Kraftakt. Zahlreiche Ladestationen und Wasserstofftankstellen müssen installiert werden. Dazu kommt die Anpassung der Stromnetze, weil der Strombedarf durch die Antriebswende enorm steigen wird. Absehbar größtes Hemmnis sind die langen Vorlaufzeiten für Planung und Umsetzung der Energieanschlüsse im Mittelspannungsnetz, vor allem an Autobahnen. Auch der Stromanschluss für Lager und Betriebs-höfe wird oftmals ausgebaut werden müssen, damit gleichzeitig viele E-Lkw geladen werden können. Der Masterplan Ladeinfrastruktur II, den die Bundesregierung 2022 verabschiedet hat, benennt wesentliche Schritte zur Beschleunigung des Ausbaus. Wichtig dabei: Durch geeignete Marktstrukturen oder ein passendes Energiemarktdesign müssen die Stromkosten so gering wie möglich gehalten werden. Darüber hinaus ist es ratsam, die Option eines Oberleitungs-

Abbildung 16

Verteilung der Neuzulassungen nach Antrieben bei SNF



Anmerkung: MMS und MWMS beschreiben Szenarien mit unterschiedlichen Maßnahmen (siehe Text).

Quelle: Eigene Darstellung nach Harthan und Förster et al. 2023

systems entlang der Hauptkorridore im deutschen Autobahnnetz offen zu halten, um zukünftig möglichen Engpässen bei der stationären Ladeinfrastruktur entgegen wirken zu können.

Maßnahmen können wirken. Abbildung 16 zeigt Ergebnisse einer vom UBA beauftragten Studie, dem Projektionsbericht der Bundesregierung des Jahres 2023.⁴² Für die Entwicklung bei Neuzulassungen von schweren Nutzfahrzeugen gibt es darin zwei Szenarien: das eine, wenn die Politik nur die bereits beschlossenen Maßnahmen umsetzt (MMS), das andere, wenn kurz vor Beschluss stehende weitere Maßnahmen auch tatsächlich umgesetzt werden (MWMS). Im ehrgeizigeren MWMS könnten vollelektrische Lkw im Jahr 2030 bereits einen Anteil von 41 % an den Neuzulassungen haben – im Wesentlichen dank der verschärften Maut, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Studie noch nicht beschlossen war.

2040 wären Diesel-Lkw unter den Neuzulassungen nahezu verschwunden.

Im Bereich des Straßengüterverkehrs wurden in den letzten Jahren viele Instrumente beschlossen, die deutlich vor 2030 wirksam werden. Änderungen an beschlossenen Instrumenten und zur Erreichung der Klimaziele möglicherweise notwendige weitere Instrumente sollten die Bedarfe der Akteure in der Transformation angemessen berücksichtigen und Veränderungen im Sinne der Verkehrswende oder Energiewende im Güterverkehr unterstützen. Nach 2030 werden die Frage nach den klimafreundlichsten Kraftstoffen im Straßengüterverkehr und Diskussionen um eine Erneuerung der Bestandsflotte ins Zentrum rücken. Daher muss frühzeitig der instrumentelle Rahmen für die nächsten Schritte der Energiewende entwickelt werden.

Übersicht Maßnahmen und Instrumente bei Antriebstechnologien und Ladeinfrastruktur

Maßnahmen und Instrumente	Wer beschließt?	Wer setzt um?
Lkw-Maut (Eurovignetten-Richtlinie) Steuerungswirkung der Maut auch zukünftig sicherstellen	EU	Bund
CO₂-Bepreisung über nEHS/EU-ETS 2 Ambitionierte Weiterentwicklung des EU-ETS 2 ab 2027 und Anhebung der Preise im nEHS ab 2025; Verfahren zur adäquaten Abstimmung von EU-ETS 2 und Maut entwickeln	Bund, EU	Bund
Energie- und Stromsteuer weiterentwickeln Einheitliche Besteuerung von Diesel und Benzin; weitergehende Reformen der Energie- und Stromsteuer mit Blick auf Klima- und Umweltschutz	Bund, EU	Bund
THG-Quote Anrechnung für E-Lkw in der aktuellen Höhe beibehalten und Ladeinfrastruktur über die THG-Quote gezielt mitfinanzieren	Bund	Bund, Energie-wirtschaft, Automobil-industrie
Zuschüsse bei Neuanschaffung von E-Lkw Unterstützung für Mehrkosten in Übergangsphase; Vorteile in Nutzungsphase berücksichtigen	Bund	Bund
CO₂-Flottenzielwerte für neue Lkw Vorgesehene Überprüfungen für Verschärfungen nutzen: 2030 (-50%), 2035 (-70 %) und Ausstieg aus fossilem Verbrenner zwischen 2035 und 2038	EU	Automobil-industrie
Förderung bei Ladeinfrastruktur Vorausschauender Ausbau, Lücken schließen, Verfügbarkeit sicherstellen, Depotladestationen berücksichtigen und Netzanschlüsse verstärken	Bund	Bund, Länder, Energie-wirtschaft, Automobil-industrie

Quelle: Umweltbundesamt (2024)

42 Harthan und Förster et al. 2023: Projektionsbericht 2023 für Deutschland.

Verkehrsinfrastruktur: Damit Güter richtig liegen

Ohne Verlagerung von Gütern auf umweltverträglichere Verkehrsträger wird Klimaschutz im Verkehr nicht gelingen. Allerdings betrug die Transportleistung auf der Schiene 2022 nur 133 Mrd. Tonnenkilometer, was einem Marktanteil von 19 % entspricht. Dieser Anteil liegt in etwa auf dem Niveau von 2019 (siehe Abbildung 17). Der Schienengüterverkehr wächst also nur langsam, während die Verkehrsleistung auf der Straße deutlich schneller zunimmt. Der Marktanteil der Binnenschifffahrt hat sogar abgenommen und lag im Jahr 2022 bei 6,3 % (2005: 11,1 %).

Das bedeutet: Für die zukünftige Gestaltung der Verkehrsnetze müssen die Alternativen zum Straßengüterverkehr ausgebaut, gefördert, gestärkt und beworben werden. Das schafft eine höhere Wettbewerbsfähigkeit der Verkehrsträger untereinander und die Entwicklung von Konkurrenzen, die umweltverträglichere Optionen besser ins Spiel bringen.

Die Verlagerung von Transporten auf die Bahn verspricht weitaus mehr Energieeffizienz, da Züge schon heute mit 97 % der Verkehrsleistung einen wesentlich höheren Elektrifizierungsgrad als Lkw haben. Eine direkte Verlagerungsmöglichkeit besteht bisher nur auf 20 % der Verkehrsverbindungen innerhalb des Bundesfernwegenetzes. Auf diesen Relationen werden aber etwa 43 % des Aufkommens (bezogen auf die Tonnage) über Bahn und Binnenschiff abgewickelt. Das macht deutlich, dass Bahn und Binnenschiff ernst zu nehmende Alternativen sind – vorausgesetzt, das Verkehrsnetz lässt eine Verlagerung zu. Konkurrenzlos sind Schiene und Wasserstraßen derzeit nur bei 7 % des Aufkommens, das ausschließlich auf Schiene und Wasserstraße transportiert wird.⁴³

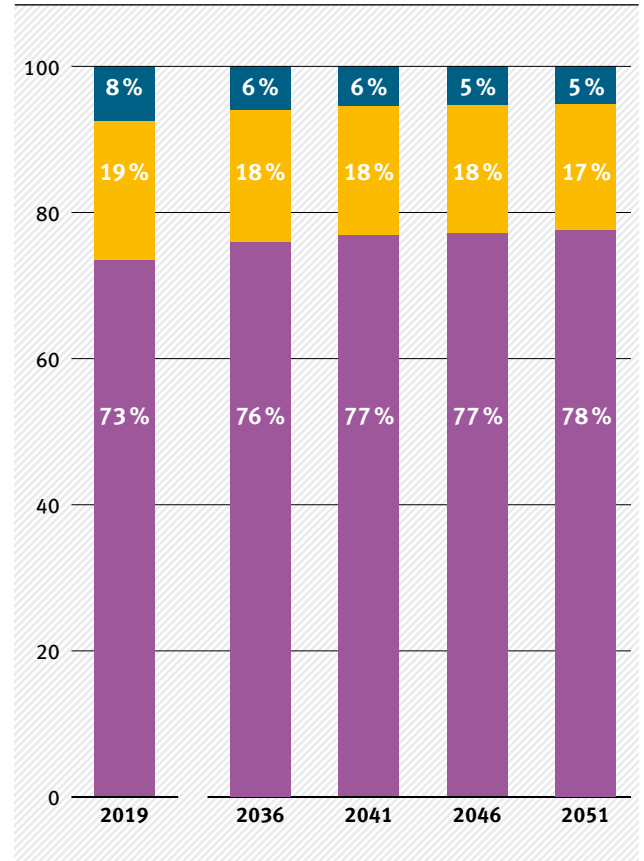
Entwicklung einer Verlagerungsinfrastruktur.

Eine Verlagerung von Gütern braucht Infrastruktur – Straßen und Schienen, aber auch Terminals, Häfen und Lagerflächen. Für deren Planung und Vernetzung braucht es raumordnerische Instrumente wie das sogenannte Zentrale-Orte-Konzept. Es teilt Städte nach ihrer Bedeutung für das Umland in unterschiedliche Kategorien ein.

Abbildung 17

Modal Split nach Leistung und Verkehrsträgern

in %*



■ Straße ■ Schiene ■ Wasserstraße

*Prozentzahlen gerundet

Quelle: Eigene Darstellung nach Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose (BMDV 2023)

Diese Kategorisierung ließe sich auch auf wichtige Verkehrswege zwischen zentralen Orten anwenden, über die die Bevölkerung flächendeckend mit Waren, Arbeitsplätzen und Dienstleistungen versorgt wird.

Für den Güterverkehr ist das Konzept nur bedingt tauglich, weil Logistikzentren, Umladepunkte und Hot Spots im Verkehrsaufkommen selten im Zentrum von Großstädten liegen, sondern meist in angrenzenden Kommunen mit geringerer „Zentralität“.

43 Blechschmidt, Kotzagiorgis, Jödden et al. 2022: Handlungsoptionen für eine ökologische Gestaltung der Transportmittelwahl im Güterverkehr.

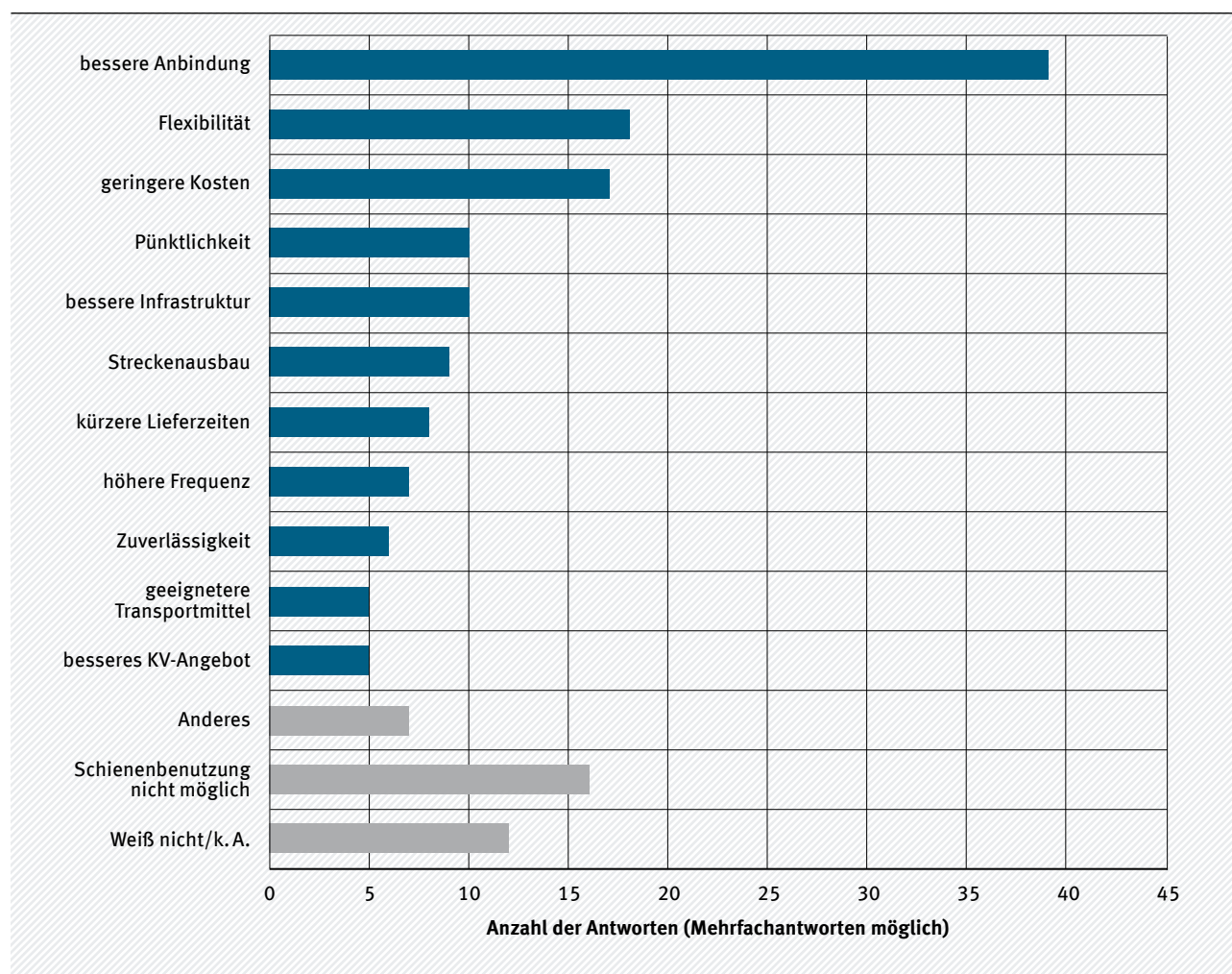
Auf Grundlage der Strukturdatenprognose 2040 des BMDV lässt sich jedoch ein ähnliches Konzept für Zentrale Orte und entsprechende Korridore im Güterverkehr entwickeln. Kern dabei sind Indikatoren wie besonders hohes Güteraufkommen, eine überdurchschnittlich große Zahl von Beschäftigten in der Logistikbranche, weite Transportstrecken und hohe Anteile des multimodalen Umschlags. Mit Hilfe dieses Konzepts können die Transportdauer oder die Zuverlässigkeit aller Verkehrsträger in den Korridoren ermittelt werden (sog. Stufen der Angebotsqualität). Schneidet dabei die Angebotsqualität bei Schiene oder Wasserstraße schlechter ab als im Straßengüterverkehr, können die Alternativen gezielt gefördert, ausgebaut, modernisiert und verbessert werden.

Eine Verkehrswende braucht auch die entsprechende Nachfrage nach Alternativen. Eine Studie zu Handlungsoptionen für eine ökologische Gestaltung der Transportmittelwahl im Güterfernverkehr von 2022 zeigt,⁴³ dass die Kosten aus Sicht der verladenden Wirtschaft nur an dritter Stelle stehen (siehe Abbildung 18). Ausschlaggebend für die Wahl des Verkehrsträgers sind häufig Argumente, die deckungsgleich mit den Systemvorteilen des Lkw sind, also seine gute Anbindung dank dichtem Straßennetz und seine hohe Flexibilität. Eine Möglichkeit, einen solchen Systemvorteil auch für die Schiene zu schaffen, wäre die Entwicklung von gemeindeübergreifenden Gewerbeflächen (regional konsolidierte Gewerbeflächenentwicklung). So würde vor Ort eine „Grundlast“ für den Schienentransport geschaffen.⁴⁴

Abbildung 18

Von Straße auf Schiene: Was ist wichtig für die verladende Wirtschaft?

Wie müsste die Schiene ihr Transportangebot bzw. ihre Transportdienstleistung weiterentwickeln, damit Sie in Erwägung ziehen, die Schiene zukünftig zu nutzen? Insgesamt 169 Antworten.



Quelle: Blechschmidt, Kotzagiorgis, Jödden et al. 2022.

44 Veres-Homm et al. 2019: Regional konsolidierte Gewerbeflächenentwicklung (RekonGent).



Finanzierung einer Verlagerungsinfrastruktur.

Ohne ausreichende Mittel kein Substanzerhalt und kein Aus- und Neubau für eine Verkehrsverlagerung. Finanzierungsoptionen gibt es mehrere, z. B. Fonds, die sich aus Nutzerkosten aller Verkehrsmittel, aus öffentlichen Mitteln und Einnahmen aus externen Umweltkosten speisen. Sie können durch eine (neu zu schaffende) Infrastrukturgesellschaft verwaltet werden, deren Aufgabe es wäre, Infrastrukturprojekte zuverlässig zu finanzieren und eine verkehrsträgerübergreifende Bewertung vorzunehmen.⁴⁵

Tabelle 3 zeigt das Konzept einer solchen Gesellschaft, das auf drei Säulen ruht: einer verkehrsträgerübergreifenden Bewertung und Aufsicht, der verursachergerechten Nutzerfinanzierung und der Internalisierung der externen Umweltkosten, wie sie beispielsweise in der Lkw-Maut bereits stattfindet. Wertvoll ist dabei der Ansatz, dass erstmalig eine verkehrsträgerübergreifende Bewertung der Infrastrukturprojekte und eine zuverlässige Finanzierung berücksichtigt wird.

Über die Verkehrsinfrastruktur, deren Finanzierung und Erweiterung, über die Gewichtung von Straße, Schiene oder Binnenschifffahrt entscheiden der Bundesverkehrswegeplan und die daraus abgeleiteten Ausbaugesetze. Deren Inhalte bestimmen wesentlich

Tab. 3

Bausteine einer Infrastrukturgesellschaft

1. Verkehrsträgerübergreifende Bewertung & Aufsicht	2. Verursachergerechte Nutzerfinanzierung	3. Internalisierung der externen Umweltkosten
Einführung einer bundesweiten Verkehrsinfrastrukturgesellschaft	Einrichtung von haushaltsnahen Infrastrukturfonds	Einrichtung eines zusätzlichen Umwelt- und Klimafonds neben den haushaltsnahen Infrastrukturfonds
Zusammenführung der Ausbaugesetze in ein gemeinsames Bundesverkehrswegeausbaugesetz	Einführung einer fahrleistungsabhängigen Pkw-Maut	Anlastung von externen Umweltkosten in der Pkw-Maut
Parlamentarische Kontrolle & ministerielle Fachaufsicht über Ausbaugesetze	Ausweitung der Lkw-Maut & Überarbeitung der Nutzerfinanzierung bei Schiene und Wasserstraße	Verwaltung des CO ₂ -Aufschlags bei der Lkw-Maut
Alternativenprüfung entlang der räumlichen Korridore	Förderung von Öffentlich-Privaten Partnerschaften (ÖPP) bei Neu- und Ausbau	Anlastung von externen Umweltkosten bei der Trassenbepreisung der Schiene

Quelle: Eigene Darstellung nach Bernecker et al. 2021

⁴⁵ Bernecker et al. 2021: Gesamtkonzept für eine umweltorientierte Organisation und Institutionalisierung einer verkehrsträgerübergreifenden Infrastrukturfinanzierung in Deutschland (GUIDE).

über die Entwicklung von Verkehr und Verkehrsemissionen, über Umweltauswirkungen und über den Flächenverbrauch. Daher versteht sich von selbst, dass bei der Neuaufstellung und Weiterentwicklung des Bundesverkehrswegeplans Ziele für Umwelt- und Klimaschutz deutlich tiefer als bisher verankert sein müssen, z. B. durch eine Berücksichtigung von sog. Ökosystemleistungen unterschiedlicher Landschaften in der Nutzen-Kosten-Analyse. Der Bundesverkehrswegeplan könnte dann einen entscheidenden Rahmen vorgeben, damit Deutschland im Verkehrssektor seine Klimaziele erreicht.

Eine umweltverträgliche Verkehrsverlagerung kann nicht zuletzt nur dann gelingen, wenn der Ausbau der Infrastruktur – insbesondere der Schiene – in der Gesellschaft mitgetragen wird. Eine transparente Öffentlichkeitsbeteiligung trägt dazu bei, Betroffene und Interessierte prozessbegleitend und kontinuierlich zu informieren und die Akzeptanz von Baumaßnahmen zu erhöhen. Dies gilt auch für die sogenannte Strategische Umweltprüfung (SUP) bereits in einer frühen Prozessphase, weil wichtige Weichen für ein Projekt oft schon vor den konkreten Planungen gestellt werden.

Klimawandel wirkt. Infrastruktur ist tagtäglich dem Klimawandel ausgesetzt, wobei je nach Verkehrsträger Wetterereignisse unterschiedlich problematisch sind. Überflutungen, Unterspülungen und Hangrutschungen versperren und zerstören Straßen und Schienen. Trockenheit und Hitze führt zu Böschungsbränden und Asphaltschäden. Stürme und umstürzende Bäume behindern den Schienenverkehr. Binnenwasserstraßen werden durch Starkregen und Hochwasser, aber genauso durch Trockenheit verbunden mit Niedrigwasser beeinträchtigt. Seehäfen und Schifffahrtsstraßen sind vom Meeresspiegelanstieg betroffen.

Ausbaumaßnahmen an Bundeswasserstraßen dürfen diese Probleme nicht noch verstärken. Um die Resilienz der Infrastruktur gegenüber dem Klimawandel zu erhöhen, sind Ausweichstrecken im Schienenverkehr notwendig, so dass Güterströme flexibel und kurzfristig auf andere Routen verlagert werden können.

Übersicht Maßnahmen und Instrumente zur Gestaltung der Verkehrsnetze

Maßnahmen und Instrumente	Wer beschließt?	Wer setzt um?
Entwicklung eines Korridorkonzepts für den Güterverkehr im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung bis 2030 Verbesserung der Verlagerungsoptionen für Güter (auch grenzüberschreitend)	Bund	Bund, Länder, DB Netze, Wasser- und Schifffahrtsverwaltungen
Entwicklung eines verkehrsträgerübergreifenden Finanzierungsmodells Entwicklung von Fonds-Lösungen, die z. B. aus Nutzerkosten und Umweltkosten gespeist werden	Bund	Bund
Errichtung einer Verkehrsinfrastrukturgesellschaft zur strategischen und operativen Entwicklung einer Verlagerungsinfrastruktur Umsetzung der Verkehrsträger übergreifenden Bewertung und Finanzierung von Infrastrukturprojekten	Bund	Bund
Anpassung der Bewertungsmethodik im Bundesverkehrswegeplan zur stärkeren Integration von Umwelt- und Naturschutzzielen Berücksichtigung der Ökosystemleistungen in der Nutzen-Kosten-Analyse, Prüfung von flächensparenden Projektalternativen	Bund	Bund
Etablierung einer umfassenden Stakeholderbeteiligung bei Infrastrukturprojekten Umfassende Öffentlichkeitsbeteiligung, z. B. im Rahmen der SUP	Bund	Bund

Quelle: Umweltbundesamt (2024)

Mehr Güter auf die Bahn! Potenziale und Hemmnisse

Gütertransport auf der Schiene leistet einen wichtigen Beitrag zur Verkehrswende. Mit einem Modal-Split-Anteil von rund 20 % spielt die Schiene in Deutschland schon heute eine bedeutende Rolle im Güterverkehr. Ziel der Bundesregierung ist es, diesen Anteil bis 2030 auf 25 % zu erhöhen.

Die Schiene ist umweltschonend: Infrastruktur, Fahrzeuge, Energiebereitstellung und Nutzung erzeugen im Durchschnitt etwa vier Mal weniger Treibhausgase als der – gemittelte – Lkw (siehe Abbildung 19). Für einen umweltverträglichen und energieeffizienten Güterverkehr muss die Schiene in Zukunft noch eine größere Rolle spielen. Dies gründet auf der physikalischen Tatsache, dass das Rad-Schiene-System (Stahl auf Stahl) gegenüber dem Straßenverkehr (Gummi auf Asphalt) wegen seines deutlich geringeren Rollwiderstands energetisch einen großen Vorteil hat.

Natürlich hat auch die Schiene Umweltwirkungen. Speziell Güterbahnen müssen ihre Geräuschemissionen weiter reduzieren, damit die notwendige Verlagerung von mehr Gütern auf die Bahn Akzeptanz in der Bevölkerung findet. Um Lärm durch Güterzüge in

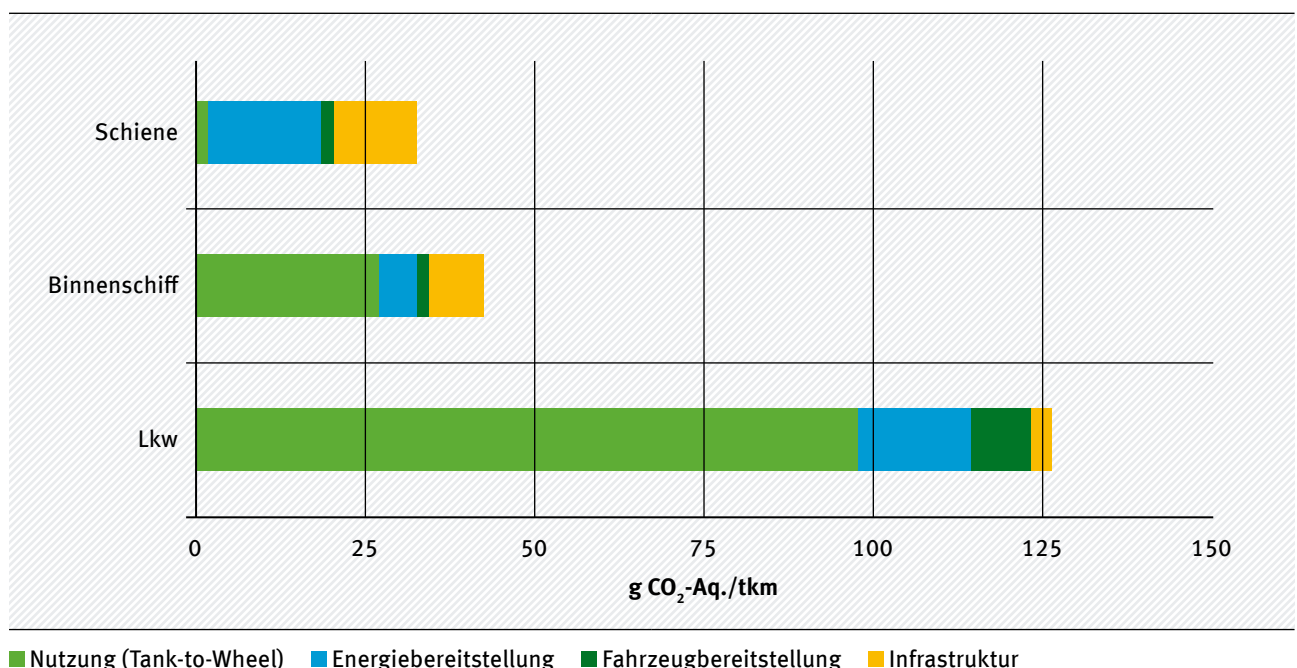
Grenzen zu halten, sind mehrere Ansätze notwendig: der Lärmschutz an der Quelle, z. B. durch die verbindliche Einführung lärmindernder Drehgestelle, die eine erhebliche Minderung des Kurvengeräusches bewirken; außerdem Lärmschutzmaßnahmen entlang von Bestandsstrecken; nicht zuletzt eine Planung, die bei neuen Strecken Lärmschutz frühzeitig berücksichtigt.

Mehr Mittel, mehr Tempo, mehr Strategie. Das Schienennetz in Deutschland erlebte über die letzten Jahrzehnte einem Substanzverzehr („Fahren auf Verschleiß“). Ohne ein ausreichend großes und leistungsfähiges Schienennetz leiden Zuverlässigkeit und Akzeptanz bei der verladenden Wirtschaft. Anders gesagt: Nur wenn die Schiene in der Verkehrspolitik stärker priorisiert wird, kann sie ihr Potenzial ausschöpfen und den Güterverkehr den Zielen von Umwelt- und Klimaschutz näherbringen.

Zentral für eine nachhaltige Ertüchtigung ist die langfristige Absicherung der Finanzierung des Schienennetzes über einzelne Haushaltsjahre und Legislaturperioden hinaus. Vor allem ist auch ein

Abbildung 19

Klimawirkung des Güterfernverkehrs



Daten 2017; Lkw – mittlerer Lkw

Quelle: Eigene Darstellung nach Allekotte et al. 2020

effizienter Einsatz der Finanzmittel wichtig. Ein solcher effizienter Einsatz wäre beispielsweise eine Optimierung der Betriebsführung, indem Netzbetreiber die Planung von Trassen stärker an der Nachfrage ausrichten. Hiervon würde vor allem auch der Güterverkehr profitieren.⁴⁶

Die Schienenbranche hat gemeinsam mit der Verkehrspolitik in der „Beschleunigungskommission Schiene“ Vorschläge erarbeitet, wie das nahe an der Belastungsgrenze genutzte deutsche Schienennetz bis zum Jahr 2027 ertüchtigt werden kann.⁴⁷ Die Kommission hat Ende 2022 für fünf Handlungsfelder 70 konkrete Empfehlungen vorgelegt. Dazu gehören schlankere Genehmigungsverfahren für neue Weichen, längere Überholgleise oder die Elektrifizierung von Infrastruktur. Die Kommission schlägt außerdem ein „Moderne-Schiene-Gesetz“ vor, das Digitalisierung und Elektrifizierung beschleunigt. Die Finanzierung der Schiene mit ihren derzeit zahlreichen Programmen und Haushaltstiteln muss laut Kommission vereinfacht und übersichtlicher werden.

Zentral für den Erfolg der Güterbahnen ist die Gleichbehandlung aller Verkehrsträger durch die Schaffung fairer Rahmenbedingungen. Dazu gehört die Internalisierung externer Umwelt- und Klimakosten über alle Verkehrsträger. Der Schienengüterverkehr muss nicht zuletzt auf den Wandel die richtigen Antworten finden: Bahn-affine Massengüter wie Kohle verlieren an Bedeutung, während eilige und eher kleinteilige Güter in der Logistik enorm an Bedeutung zunehmen.

Kombinierter Verkehr/Einzelwagenverkehr. Der kombinierte Verkehr (KV) ist Wachstumstreiber im Schienengüterverkehr. Er sichert die Anbindung in der Fläche, eine hohe Flexibilität und ist im Fernverkehr damit prädestiniert für die Verlagerung von Gütern auf die Schiene. Um sein Potenzial zu erschließen, braucht es neue Terminals, automatisierte Verladetechnik und reibungslose Logistikketten. Der Bund sollte prüfen, inwieweit eine Ausweitung der Förderung von Verladestellen und eine verpflichtende Prüfung der Tragfähigkeit eines Gleisanschlusses für transportintensive Gewerbegebiete vorteilhaft sein könnten.

Um neue Marktsegmente zu gewinnen, muss der Einzelwagenverkehr, der flächendeckend und direkt auch kleinere Gütermengen zum Kunden bringt, deutlich zuverlässiger und flexibler werden. Das kann nur mit Hilfe moderner digitaler und automatisierter Systeme gelingen. Das Serviceniveau im Umschlag muss durch digitale und automatisierte Lösungen steigen – z. B. durch Erweiterung der Betriebszeiten, automatisierten Umschlag, Einführung der digitalen automatischen Kupplung (DAK), automatisierte Bremstests und eine digital unterstützte Zugbildung.

Die „letzte Meile“ – also der unmittelbare Anschluss eines Kunden an ein Gleis – ist auch bei Güterbahnen essenziell für deren Wirtschaftlichkeit. Hierfür sollte die Antragstellung im nachgefragten Gleisanschluss-Förderprogramm des Bundes vereinfacht werden. Darüber hinaus wäre eine dauerhafte Halbierung der Trassenpreise durch eine Förderung des Bundes über das Jahr 2024 hinaus sinnvoll.⁴⁶



⁴⁶ Lambrecht et al. 2022: Empfehlungen für eine neue Bahnpolitik.

⁴⁷ BMDV 2022a: Beschleunigungskommission Schiene – Abschlussbericht.

Digitalisierung auf der Schiene. Schienengüterverkehr hat viel Potenzial für digitale Technik. Ein großer Schritt ist die Umstellung auf digitale Stellwerke und auf die digitale Zugleittechnik European Train Control System, kurz ETCS. Eine Standardisierung ermöglicht die europaweite Nutzung der Infrastruktur, kann die Leistungsfähigkeit der Schienennetze erhöhen und die Betriebskosten senken. In Deutschland wurden seit 2015 mehrere Strecken mit ETCS ausgerüstet. Um die bestehende Schieneninfrastruktur möglichst schnell für steigende Güteraufkommen vorzubereiten, ist eine Prüfung günstigerer und einfacherer Alternativen zu ETCS für eine Blockverdichtung wichtig. Dabei werden signalgesicherte Abschnitte einer Strecke in kleinere Blöcke unterteilt, was eine dichtere Zugfolge ermöglicht.

Im Rahmen der grenzüberschreitenden Standardisierung ist darauf zu achten, dass der Lärmschutz sichergestellt wird. Zudem sollten innerhalb Deutschlands Lärmvorsorge und Lärmsanierung vereinheitlicht werden. Lärmvorsorge ist in der 16. BImSchV geregelt und greift beim Neubau und bei wesentlichen Veränderungen von Schienenwegen; auf sie besteht ein gesetzlicher Anspruch. Bei der Lärmsanierung handelt es sich dagegen um ein freiwilliges Programm des Bundes für bestehende Trassen. Derzeit ist das Schutzniveau durch die Lärmvorsorge um bis zu 7 dB(A) höher als bei der Lärmsanierung, was im Hinblick auf den effektiven Schutz der Menschen vor Lärm nicht zu rechtfertigen ist.

Digitalisierte Systeme wie z. B. die digitale automatische Kupplung (DAK) ermöglichen einen vollautomatisierten Rangierbetrieb. Dies führt zu kürzeren Aufenthaltszeiten in Rangierbahnhöfen bzw. Umschlagknoten und steigert die Wettbewerbsfähigkeit der Güterbahnen. Bund und EU sollten die Einführung der DAK entsprechend fördern, so dass sie bis 2030 flächendeckend im Einsatz ist. Auch Umschlagkosten können durch Automatisierung und Digitalisierung deutlich – bis zu 50 % – sinken,⁴⁸ was ebenfalls die Wettbewerbsfähigkeit der Schiene erhöht.

Alternative Antriebe im nicht elektrifizierten Netz. Schon heute werden 97 % der Verkehrsleistung im Güterverkehr auf der Schiene elektrisch erbracht, allerdings sind nur 63 % des Schienennetzes über eine Oberleitung elektrifiziert. Laut Koalitionsvertrag

der Bundesregierung soll dieser Anteil bis 2030 auf 75 % steigen.

Nicht auf allen Strecken ist der Bau einer Oberleitung wirtschaftlich sinnvoll. Hier sind alternative Antriebe die bessere Option, wobei die Wahl von Faktoren wie Einsatzprofil, Kosten und Verfügbarkeit der Kraftstoffe abhängt. Hybridantriebe kombinieren einen Verbrennungsmotor mit elektrischem Antrieb. Sie tragen verschiedene Namen – Hybridlokomotive, Last-Mile-Lokomotive, Dual-Mode-Lokomotive – und folgen unterschiedlichen technischen Prinzipien. Hybridloks fahren mit Strom aus der Batterie. Wird mehr Leistung benötigt, läuft der Dieselmotor mit, der als Stromgenerator auch zum Nachladen der Batterie dient. Last-Mile-Loks und Dual-Mode-Loks nutzen Strom aus der Oberleitung, fehlt auf einer Teilstrecke die Leitung, nutzen sie ihren Dieselmotor. Die (teilweise) Nutzung von Strom senkt bei allen Hybridantrieben anteilig den Dieserverbrauch und mindert die Emissionen.

Eine vielversprechende Technologie ist der Einsatz von Brennstoffzellenantrieben. Sie haben eine hohe Energieeffizienz, lange Reichweiten und kurze Betankungszeiten. Brennstoffzellen aber benötigen – wenn sie umweltschonend sein sollen – „grünen“ Wasserstoff, der mit Wind- oder Solarstrom erzeugt werden muss. Die großtechnische Erzeugung von grünem Wasserstoff ist weltweit erst im Aufbau und zudem kostspielig. Langfristig gesehen darf der Einsatz von Brennstoffzellen im Schienenverkehr nicht dazu führen, dass vorhandene Oberleitungen nicht genutzt werden oder das Elektrifizierungstempo im Schienennetz sinkt.



48 Blechschmidt, Kotzagiorgis, Jödden et al. 2022.

Übersicht Maßnahmen und Instrumente im System der Güterbahnen

Maßnahmen und Instrumente	Wer beschließt?	Wer setzt um?
Langfristige Absicherung der Finanzierung des Schienennetzes Einrichtung eines mehrjährigen Infrastruktur-Fonds	Bund	Bund
Rasche Realisierung kapazitätssteigernder Maßnahmen Umsetzung der Vorschläge der „Beschleunigungskommission Schiene“ des BMDV bis 2027	Bund	Bund
Erhöhung der Zuverlässigkeit und Flexibilität des Einzelwagenverkehrs Verbessertes Serviceniveau durch digitale und automatisierte Lösungen	Schienensektor	Schienensektor
Stärkere Förderung des Kombinierten Verkehrs Bereitstellung zusätzlicher Ladestellen (Förderprogramm), Optimierung der Verladetechnik und der Organisation der Logistikketten; Automatisierung und Standardisierung	Bund, Schienensektor	Bund, Schienensektor
Verbesserung und Vereinfachung des Güterumschlags Ausweitung der Förderung von Verladestellen, Pflicht der neutralen Bereitstellung des Rangierbetriebs, verpflichtende Prüfung eines Gleisanschlusses	Bund	Bund
Attraktivierung des Gleisanschluss-Förderprogramms Vereinfachung des Antragsverfahrens	Bund	Bund
Senkung der Entgelte für die Nutzung der Zugtrassen Erhöhung der intermodalen Wettbewerbsfähigkeit durch dauerhafte Förderung des Trassenpreises	Bund	Bund
Vereinfachung und Beschleunigung der Zugbildung Förderung der flächendeckenden Einführung der Digitalen Automatischen Kupplung	EU, Bund	EU, Bund
Erhöhung des Anteils der Elektrotraktion Weitere Schienenstrecken elektrifizieren; Ziel 75 %-Oberleitungsanteil am Gesamtnetz bis 2030	Bund	Bund
Förderung von alternativen Antrieben Hybrid-Loks und Brennstoffzellenantriebe mit grünem Wasserstoff	Bund	Bund

Quelle: Umweltbundesamt (2024)

Logistik digital

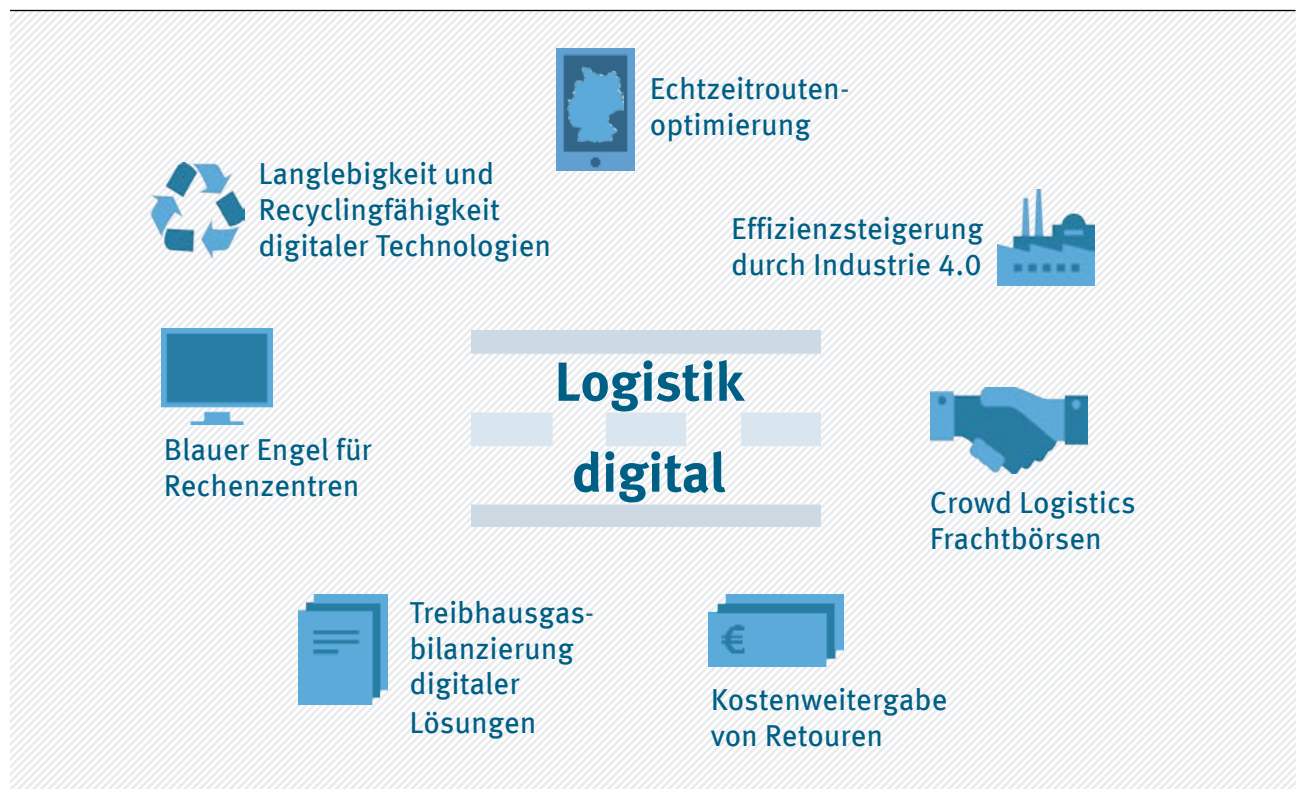
Selbstverständlich sind auch beim Güterverkehr viele Abläufe bereits digitalisiert. Das gilt beispielsweise für das Routen- und Verlademanagement oder für Produktions- und Beschaffungslogistik, aber auch im Handel und der Distributionslogistik. Automatisierungsprozesse verändern direkt und indirekt den Gütertransport. Sie sparen Kraftstoff, wenn z. B. digital stets die optimale Route berechnet wird, sie beschleunigen Produktionsprozesse, sie können Warenströme prognostizieren und in Echtzeit verfolgen. Vernetzte und zunehmend automatisierte E-Fahrzeuge können auch zu einer Kostenersparnis auf der schwierigen, weil teuren „letzten Meile“ führen. Abbildung 20 zeigt die verschiedenen Aufgabenfelder einer digitalen Logistik.

Online-Handel verändert Güterverkehr. Die globale digitale Vernetzung hat den Onlinehandel geschaffen, bei dem Produktionsort und Lieferstrecke für die Kundinnen und Kunden so gut wie keine Rolle mehr spielen. Der Transport von Millionen Gütern um den halben Globus, auch wenn sie nur wenige Euro wert sind, ist Alltag geworden.

Das Einkaufen per Click hat mittlerweile Geschäftsmodelle, Plattformen und Portale auf den Plan gerufen, die der Kundschaft individuelle und kleinteilige Transporte anbieten. Oft sogar kostenlos. Durch Bestellungen im Online-Handel fällt zwar der Weg in die Innenstadt weg, gleichzeitig erhöht sich jedoch der Verkehr durch die Anlieferung der Ware. So werden 80 % aller Onlinebestellungen nach Hause geliefert und ca. 11 % aller online bestellten Waren zurückgesendet.⁴⁹ Alternative Zustellorte zu anbieteroffenen Paketstationen oder Vertriebsmodelle für kostenpflichtige Retouren können dem entgegenwirken.

Abbildung 20

Aufgabenfelder der digitalen Logistik



Quelle: Umweltbundesamt 2024

49 Opitz et al. 2024.

Industrie 4.0 hilft der Logistik auf den Plan.

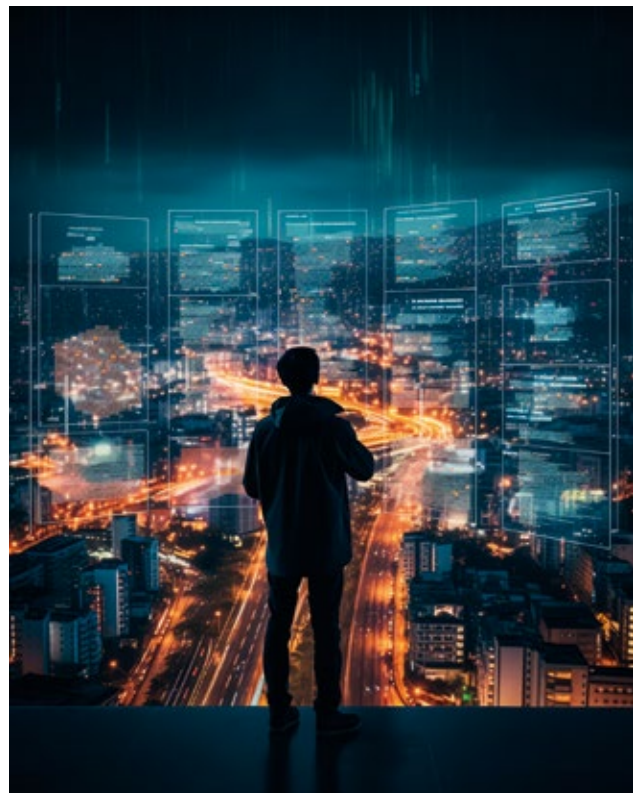
Industrie 4.0 ist ein Begriff aus der industriellen Produktion – ein Konzept, das Menschen, Maschinen, Prozesse und Produkte miteinander digital vernetzt. Industrie 4.0 ist aber auch Treiber für schnelle, transparente und zielgenaue Warenströme: Algorithmen berechnen ideale Lieferwege, Maschinen melden selbstständig, wenn sie neues Material benötigen. Die Vernetzung von Computersystemen verbessert die Analyse von Echtzeitdaten, was Fahrzeugverfolgung und Flottenmanagement unterstützt. Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz (KI) ermöglichen Vorhersagen und Planung von Warenströmen verbunden mit einem verbesserten Transport- und Lagermanagement. Wer die Daten seiner Produkte und Prozesse exakt kennt, kann Materialströme besser lenken und Prozesse effizienter und energiesparend gestalten – im besten Fall also auch Emissionen einsparen.

Demgegenüber steht die Tatsache, dass Rechenzentren wahre Energiefresser sind. Sie sollten daher nach den Standards des Umweltzeichens „Blauer Engel“ für Rechenzentren (DE-UZ 228) betrieben werden, einen Standard, den es bereits seit 2011 gibt. Mit dem Umweltzeichen können Rechenzentren ausgezeichnet werden, deren technische Gebäudeausrüstung besonders energieeffizient, klima- und ressourcenschonend betrieben wird und deren Betreiber eine Langfriststrategie für mehr Energie- und Ressourceneffizienz umsetzen. Zu einer solchen Strategie gehört auch die Verwendung von Bauteilen und Anlagen mit hoher Lebensdauer, verbesserter Reparaturfähigkeit und guter stofflicher Verwertbarkeit (entsprechend der „EU-Ökodesign-Richtlinie“ 2009/125/EG).

Eine branchenweite Zusammenarbeit in der Logistik kann helfen, Technologien gemeinsam zu nutzen, indem einheitliche Standards für den Güterverkehr entwickelt und eingeführt werden. Ein Beispiel dafür ist der „Rail Freight Data Hub“. Die im Rahmen eines Forschungsprojekts erarbeitete und vom Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. unterstützte Datenplattform für den Schienengüterverkehr soll die Dienstleistungsqualität erhöhen, Prozesse beschleunigen und die Fehlerquote minimieren.⁵⁰ Angestrebt wird eine Branchenlösung, die allen Unternehmen offensteht und von diesen auch selbst getragen wird.

Automatisiert unterwegs. Bereits heute sind im Güterverkehr Fahrzeuge mit Sensoren und Kommunikationstechnologien ausgestattet, die Informationen über den Zustand des Fahrzeugs, über Kraftstoffverbrauch und Verkehrsleistung erfassen und verarbeiten. Damit werden intelligente Routenplanung und kraftstoffsparendes Fahren unterstützt. Die digitale Ausrüstung von Fernstraßen kann Treibhausgasemissionen einsparen, indem sie Verkehr verflüssigt. In Kombination mit Fahrassistenzsystemen und intelligenten Transportsystemen gehen Schätzungen von einem Einsparpotenzial von jährlich 0,4 bis 1,5 Mio. t CO₂ aus.⁴⁹

Allerdings können digitale Lösungen im Güterverkehr auch zu zusätzlichen Treibhausgasemissionen führen. Der Rohstoff- und Energieverbrauch durch Datenerhebung und -verarbeitung ist erheblich. Beim Einsatz digitaler Instrumente braucht es eine umfassende Bilanzierung über den gesamten Lebenszyklus dieser Technologien und Anwendungen. Automatisierung hat nicht zuletzt Auswirkungen auf Logistiknetzwerke: Automatisiertes Fahren und automatisierter Güterumschlag können Direkttransporte mit kleineren Fahrzeugen fördern und die Losgröße verkleinern. In der Folge steigt das Verkehrsaufkommen auf der Straße weiter, die Fahrzeugauslastung sinkt.



50 Webseite: <https://www.infra-dialog.de/>

Algorithmen als Beifahrer. Was Autofahrende schätzen, ist für die Logistik erfolgsentscheidend: die Echtzeit-Routenoptimierung durch den Einsatz spezieller Algorithmen. Sie ermittelt die aktuelle Verkehrslage und verkürzt Fahrstrecken, was zu geringerem Kraftstoffverbrauch und weniger Emissionen führt. Durch eine digital geplante Bündelung von Sendungen – beispielsweise mit Hilfe sogenannter Frachtbörsen – können Leerfahrten vermieden und die Auslastung der Fahrzeuge verbessert werden. Hinter „Crowd Logistics“ steckt die Idee, Transporte auf Privatpersonen zu verlagern, die gegen Bezahlung Waren direkt vom Versand- zum Zielort bringen. Das „kollaborative Routing“ verteilt Fahrzeuge aktiv und gleichmäßig im Straßennetz, was Staus vermeidet und den Verkehrsfluss verbessert.

Keine Optimierung um jeden Preis. Wichtig ist bei allen Maßnahmen zur digitalen Optimierung, dass ein Trade-Off zwischen Einsparpotenzialen und (zusätzlichem) Energieverbrauch vermieden wird – dass also am Ende des Tages Logistikprozesse zwar effizienter laufen, die Emissionen an Treibhausgasen oder Luftschadstoffen aber nicht gemindert werden.

Übersicht Maßnahmen und Instrumente zur Digitalisierung der Logistik

Maßnahmen und Instrumente	Wer beschließt?	Wer setzt um?
Verbreitung des Blauen Engels für Rechenzentren Etablierung hoher Effizienzstandards im Energiebedarf	EU	Betreiber von Rechenzentren, Hersteller
Vorgaben zur Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit eingesetzter digitaler Technologien Erhöhung der Produktlebensdauer und Stärkung der Kreislaufwirtschaft (Ökodesign-Produktverordnung)	EU	Hersteller im Bereich Industrie 4.0
Nutzung intelligenter Telematik zur kraftstoffsparenden Routenführung und Fahrweise Nutzung von Echtzeit-Verkehrsdaten zur Verringerung der Netzbelastung im Gesamtverkehr	EU, Bund	Fahrzeughersteller, Speditionen
Förderung von Frachtbörsen und Crowd Logistics Entwicklung und Unterstützung von Plattformen, die u. a. auch außerhalb des Fernverkehrs konsolidierte Güterströme ermöglichen	EU	Speditionen
Entwicklung von Vertriebsmodellen zur Kostenweitergabe von Retouren Minimierung von Verkehr im Online-Handel	EU, Bund	Onlinehandel
Vorgaben und Standards für automatisierten Umschlag Digitalisierung und Automatisierung des Güterumschlags durch einheitliche Standards unterstützen	EU	Investoren und Betreiber von Terminals, Fahrzeughersteller

Quelle: Umweltbundesamt (2024)

Nachhaltige Logistikkonzepte

Umweltorientierte Logistikkonzepte bringen Verkehrswende und Energiewende voran. Voraussetzung: Die gesamte Logistikkette ist emissionsarm, energiesparend, kosteneffizient und nicht zuletzt kundenorientiert. Die Entwicklung einer umweltverträglichen Logistik hängt von vielen Faktoren ab, z. B. der Wertschöpfungskette, den Unternehmensgrößen und der Branche. Die Entwicklung eines „Standardkonzepts“, das Umwelt- und Klimaschutzbelange für alle denkbaren Anwendungsfälle aufgreift, ist daher nur schwer möglich. Allerdings gibt es Bausteine für ein Fundament, das nachhaltige Logistik ausmacht.

Berechnung der Treibhausgasemissionen: Für einen Beitrag des Logistikunternehmens zum Klimaschutz ist die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen unerlässlich, beispielsweise nach ISO-Norm 14083:2023-03. Laut der EU-Initiative „CountEmissions EU“ soll die Anwendung der ISO 14083 verpflichtend werden, wenn Unternehmen ihre Treibhausgase erfassen. Das UBA unterstützt die Anwendung der Norm durch einen Leitfaden für die verladende Wirtschaft und Transporteure. Er bietet Unterstützung bei der Anwendung der ISO-Norm im eigenen Unternehmen, zeigt Rechenbeispiele und erläutert Vorgaben für Standardwerte für Emissionsfaktoren.⁵¹ Ab dem Jahr 2025 müssen große Logistikbetriebe in ihren Geschäftsberichten zudem öffentlich über ihre direkten und indirekten Treibhausgasemissionen berichten. Grundlage dafür bilden die neuen EU-Anforderungen an die Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen.⁵²

Dematerialisation: Der Transport von Massengütern wird in Zukunft beträchtlich abnehmen, im Gegenzug werden wesentlich mehr kleinere, leichtere und hochwertigere Waren verladen und um die Welt geschickt. Dieser „Güterstruktureffekt“ rückt bestimmte Aspekte in den Mittelpunkt: Da leichtere und hochwertigere Güter meist per Lkw transportiert werden, ist beispielsweise eine Verdichtung der Warenmenge durch intelligente Verpackungssysteme für eine hohe Auslastung der Fahrzeuge wichtig. Außerdem ist eine Strategie notwendig, die eine ressourcenschonende Produktion und Kreislaufwirtschaft unterstützt. Da-

durch können Transporte vermieden werden. Bei der Entwicklung der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie wird dies diskutiert. In der Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG) werden für bestimmte Produktgruppen Mindestanforderungen an die Produktgestaltung festgelegt. Mit Vorgaben zu Verpackung, Transport und Vertrieb kann sie eine wichtige Rolle bei der Auslastung und der Vermeidung von Transporten spielen.

Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement in Logistikunternehmen: Durch ein Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement können Logistikbetriebe ihre Auswirkungen auf die Umwelt und Gesellschaft systematisch erfassen und Konzepte mit Zielen und Maßnahmen zu deren Reduzierung festlegen. Das Europäische Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) hat sich als effektives und glaubwürdiges System für das Umweltmanagement bewährt. Es steht für Verbesserungen der negativen Umweltwirkungen und der Einhaltung von Umweltrechtsvorschriften.⁵³ Die Einführung eines Umweltmanagementsystems wird für viele Betriebe künftig auch zur Pflicht, z. B. wenn sie Anlagen nach der Industrieemissionsrichtlinie betreiben oder unter die Regelungen des Energieeffizienzgesetzes fallen. Logistikbetriebe können die gesetzlichen Anforderungen an das Umweltmanagement und die Nachhaltigkeitsberichterstattung als Chance nutzen, um nachhaltige Logistikkonzepte zu entwickeln und sie an Investoren, Zulieferer, Kunden und andere Interessengruppen zu kommunizieren.

Für kleine und mittlere Unternehmen sind auch niederschwellige Ansätze zum Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement und zur Berichterstattung verfügbar. Dennoch ist die Thematisierung von nachhaltigen Lösungen innerhalb von Unternehmen stark von der Unternehmensgröße abhängig.⁵⁴ In der mittelständisch geprägten Speditionsbranche werden entsprechende Maßnahmen deutlich seltener umgesetzt, obwohl Speditionen häufiger ihre THG-Emissionen bilanzieren.⁵⁴ Daher könnte die Förderung von kleinen Transportunternehmen durch die Auftraggebenden (verladende Wirtschaft) oder einem niederschweligen Förderprogramm unterstützt werden.

⁵¹ Biemann et al. 2024b: Treibhausgasemissionen im Transportsektor – Leitfaden zur ISO 14083.

⁵² Richtlinie (EU) 2022/2464 über die Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen

⁵³ Siehe www.emas.de

⁵⁴ Blechschmidt, Kotzagiorgis, Jödden et al. 2022.

Local Sourcing: Wer regional einkauft, verkürzt oder vermeidet Transporte. Beschaffungskonzepte, die einen besonderen Fokus auf die räumliche Nähe der Zulieferer von Rohstoffen oder Vorprodukten legen, können gezielt Fahrten und Emissionen einsparen helfen. Eine regional vernetzte Wirtschaft stabilisiert Wertschöpfungsketten, senkt die Abhängigkeit von globalen Lieferanten und vermeidet emissionsreiche Ferntransporte. Auch eine Produktion unweit von Kundschaft und Absatzmärkten macht Ferntransporte überflüssig. Kommunen können Unternehmen dabei unterstützen, indem sie gemeindeübergreifende Gewerbeflächen an logistischen Knotenpunkten entwickeln.⁵⁵

Ein Baustein für nachhaltige Logistikkonzepte ist die Nutzung von Symbiosen zwischen Unternehmen, die räumlich nicht weit voneinander entfernt sind. Indem ein Unternehmen oder eine Branche Nebenprodukte eines anderen nutzt, können Energie und natürliche Ressourcen eingespart und Lieferverkehre z. B. für Produktionsmittel reduziert werden. Die direkte Nachbarschaft sowie der Aufbau entsprechender Infrastruktur (bspw. Rohrverbindungen) zwischen

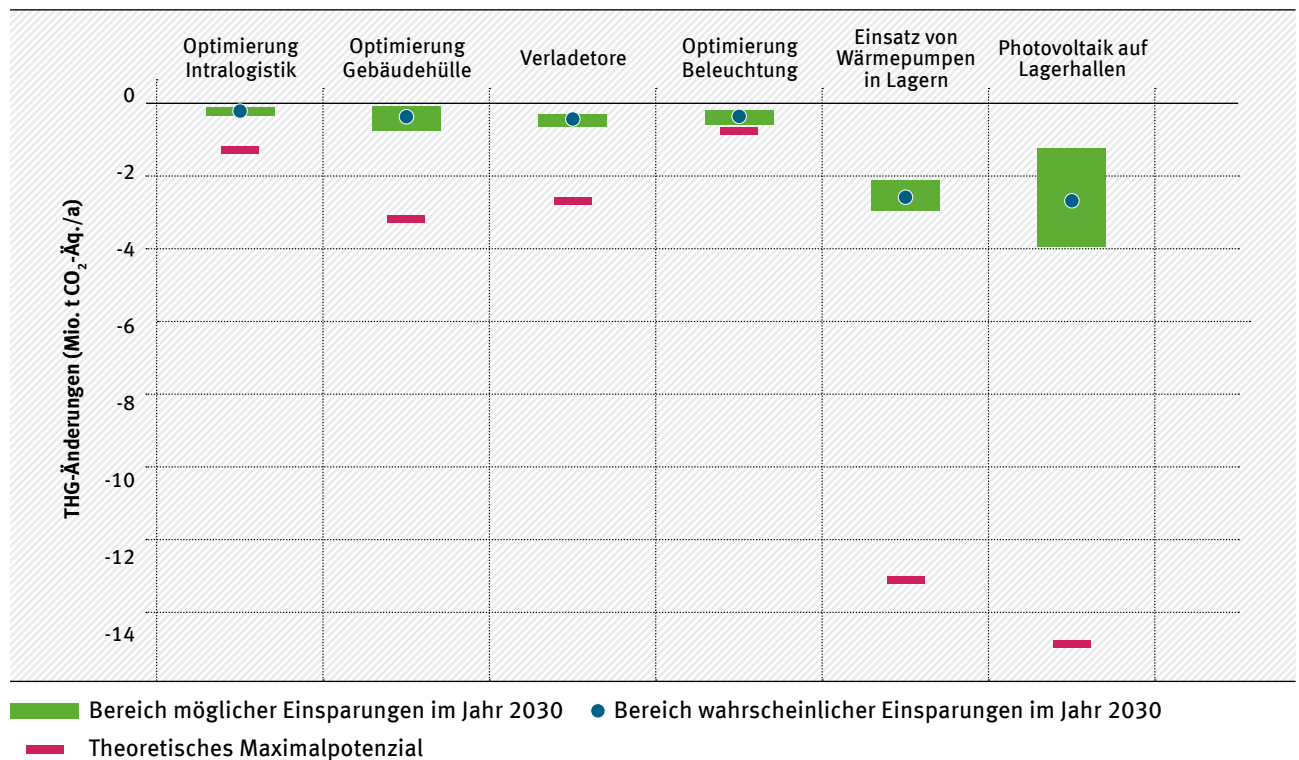
den Unternehmen können Transportkosten, Energieverbrauch und Emissionen verringern.

Gedruckt statt transportiert. Ersatzteile müssen meist besonders schnell und besonders zuverlässig von A nach B transportiert werden. Eine Alternative zum herkömmlichen Ersatzteiltransport ist der 3D-Druck, mit dem sich Teile ressourcensparend vor Ort fertigen lassen. Die genauen Auswirkungen additiver Fertigungsverfahren auf den Güterverkehr sind bislang unklar. Zwar werden Transporte u. U. überflüssig. Gleichzeitig braucht der 3D-Druck besondere Ausgangsmaterialien, die ebenfalls angeliefert werden müssen.

Nachhaltige Gebäudenutzung: Logistik braucht Gebäude und Immobilien aller Art. Sie alle verbrauchen Fläche, Baustoffe und Energie. Eine bedarfsgerechte Temperatursteuerung, Vorsatzschleusen oder abgedichtete Verladetore können den Energieverbrauch von Gebäuden deutlich senken. Dies gilt auch für eine intelligente Beleuchtungssteuerung und eine Umstellung auf LED-Beleuchtung, die bis zu 60 % weniger Strom verbrauchen.⁵⁶

Abbildung 21

THG-Minderungspotenziale an Logistikimmobilien in Deutschland



THG-Vermeidung well-to-wheel (wtw)

Quelle: Opitz et al. 2024

55 Veres-Homm et al. 2020: Leitfaden: Regional konsolidierte Entwicklung von Gewerbeflächen.

56 Opitz et al. 2024

Auch Erneuerbare Energien können viel bewirken. Bei Logistikimmobilien bietet sich vor allem die Installation von Photovoltaikanlagen auf den (meist flachen und großen) Gebäudedächern an. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz bietet in seiner Förderdatenbank zahlreiche Fördermöglichkeiten für Energieeffizienz und den Umstieg auf erneuerbare Energien bei Nichtwohngebäuden (www.foerderdatenbank.de).

Abbildung 21 zeigt Maßnahmen einer nachhaltigen Logistik im Überblick. Dabei wird deutlich, dass die Installation von Wärmepumpen und Photovoltaikanlagen über beträchtliche Minderungspotenziale verfügt.⁵⁶

Automatisierung und Inhouse-Logistik: Automatisierte Lagerkonzepte und Fördertechniken können dazu beitragen, den verfügbaren Raum optimal auszunutzen und beheizte Bereiche zu verkleinern. In nicht-automatisierten Bereichen leisten Elektro-Stapler einen Beitrag zur Energieeffizienz. Zukünftig

könnte automatisierten Verladetechniken eine große Bedeutung zukommen, wenn sich dadurch Transporte tageszeitlich verlagern lassen, sofern die Regelungen zum Lärmschutz eingehalten werden können.

Synchromodalität: Der Synchromodalität liegt die Idee zugrunde, je nach Situation Verkehrsträger in der Transportkette flexibel und optimiert zu kombinieren. Im Vorfeld eines Transports wird kein verbindlicher Verkehrsträger festgelegt, sondern stattdessen in Echtzeit entschieden, welcher am effizientesten, günstigsten und nachhaltigsten erscheint. Diese Dienstleistung spezialisierter Unternehmen stärkt die Modi Bahn und Binnenschiff, schafft robuste Lieferketten und kann die Treibhausgasbilanz eines Unternehmens verbessern. Bündeln mehrere Verlagerer über einen Dienstleister für synchromodale Transportketten ihre Transporte, steigt die Auslastung. Synchromodalität führt aufgrund des möglichen Echtzeitwechsels zwischen verschiedenen Transportmodi zu einer Verlagerung auf umweltverträglichere Verkehrsträger.

Übersicht Maßnahmen und Instrumente für nachhaltige Logistikkonzepte

Maßnahmen und Instrumente	Wer beschließt?	Wer setzt um?
THG-Bilanzierung/Umsetzung der ISO 14083:2023-03 Unterstützung bei der Erstellung von Treibhausgasbilanzen in Logistikunternehmen	Unternehmen	Unternehmen
Geringer Ressourceneinsatz im Produkt- und Produktionsdesign Vermeidung von Transporten durch ressourcenschonende Produktion bzw. Wertschöpfungsketten	Unternehmen	Unternehmen
Ökologische Nachhaltigkeit in Unternehmen Förderung für Aufstellung und Umsetzung von Öko-Audits in kleineren Unternehmen	Bund, Länder	Unternehmen
Beschaffungskonzepte mit geringer Transportintensität Regionale Beschaffungs- und Entsorgungslogistik	Unternehmen	Unternehmen
3D-Druck/additive Fertigungsverfahren Entlastung der Ersatzteile-Logistik	Unternehmen	Unternehmen
Nachhaltige Gebäudenutzung von Logistikimmobilien Entwicklung von Standards für die Nutzung, Einsatz von Wärmepumpen und PV auf Hallendächern	Unternehmen	Unternehmen
Automatisierte Lagerkonzepte und Fördertechniken Unterstützung einer effizienten Temperatursteuerung und einer automatisierten Verladung von Gütern, z. B. auf die Schiene	Unternehmen	Unternehmen
Synchromodalität Durch Echtzeit-optimierte Verkehrsmittelwahl werden umweltschonende Verkehrsträger gestärkt	Unternehmen	Unternehmen

Quelle: Umweltbundesamt (2024)

Binnenschifffahrt vor neuen Aufgaben

Die Binnenschifffahrt spielt in Deutschland eine Nischenrolle im Güterverkehr. Mit einem Anteil von 6,3% an der gesamten Transportleistung liegt sie weit abgeschlagen hinter dem Straßenverkehr (72 %) und der Schiene (19 %). Als Wasserstraße dominiert der Rhein, über ihn wurden im Jahr 2022 mit rund 2.000 Güterschiffen etwa 88 % der Transporte (182,4 Mio. t) abgewickelt.⁵⁷ Die Transportmenge auf den deutschen Binnenwasserstraßen ist in den letzten Jahren leicht gesunken, das ist vor allem auf den Güterstruktureffekt zurückzuführen.

Güterstruktureffekt verändert Ladung. Binnenschiffe werden traditionell für schwere Massengüter eingesetzt. Diese Tradition ist im Wandel: Durch den Kohleausstieg und die Abkehr von anderen fossilen Energieträgern schrumpfen die Märkte. Der Güterstruktureffekt sorgt dafür, dass immer mehr kleinere und höherwertige Waren innerhalb kurzer Zeit über weite Strecken transportiert werden; hier hat das eher langsame Binnenschiff wenig Trümpfe in der Hand. Der Transport von Containern, gerade im Hinterlandverkehr von Seehäfen, ist allerdings zukünftig eine Chance für die Binnenschifffahrt.

Klimawandel bremst Binnenschiffe. Gütertransporte per Binnenschiff stehen vor großen Herausforderungen. Die Binnenschifffahrt hat unter allen Verkehrsträgern den größten Anpassungsbedarf an den Klimawandel. Er bringt heiße Sommer mit wenig Niederschlägen und Niedrigwasser, was Transporte über die Flüsse erschwert oder gar unmöglich macht. Daher werden Wasserwege oft vertieft. Eine Intensivierung des Gewässerausbaus aber kann die negativen Folgen des Klimawandels auf den Landschaftswasserhaushalt weiter verschärfen. Zudem steht ein Gewässerausbau den Zielen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) entgegen, die bis 2027 einen „guten ökologischen Zustand“ aller Gewässer in der europäischen Gemeinschaft zum Ziel hat. So verhindern beispielsweise Querbauwerke die Fischwanderung in Flusssystemen. Seit 2021 hat die Wasserwirtschaftsverwaltung des Bundes die gesetzliche Aufgabe, den hydromorphologischen Zustand an den Bundeswasserstraßen soweit zu verbessern, dass die Ziele der WRRL erreicht werden, ohne deren Nutzung als Wasserstraße einzuschränken. Der Klimawandel bringt gleichzeitig mehr Starkregenereignisse, dadurch wird effizienter Hochwasserschutz entlang der Wasserstraßen immer wichtiger. Das Bundesprogramm Blaues Band Deutschland unterstützt hier die Renaturierung von Bundeswasserstraßen und ihrer Auen und leistet einen wichtigen Beitrag für den natürlichen Hochwasser- und Klimaschutz.



⁵⁷ Destatis 2024: Transport und Verkehr: Güterverkehr.

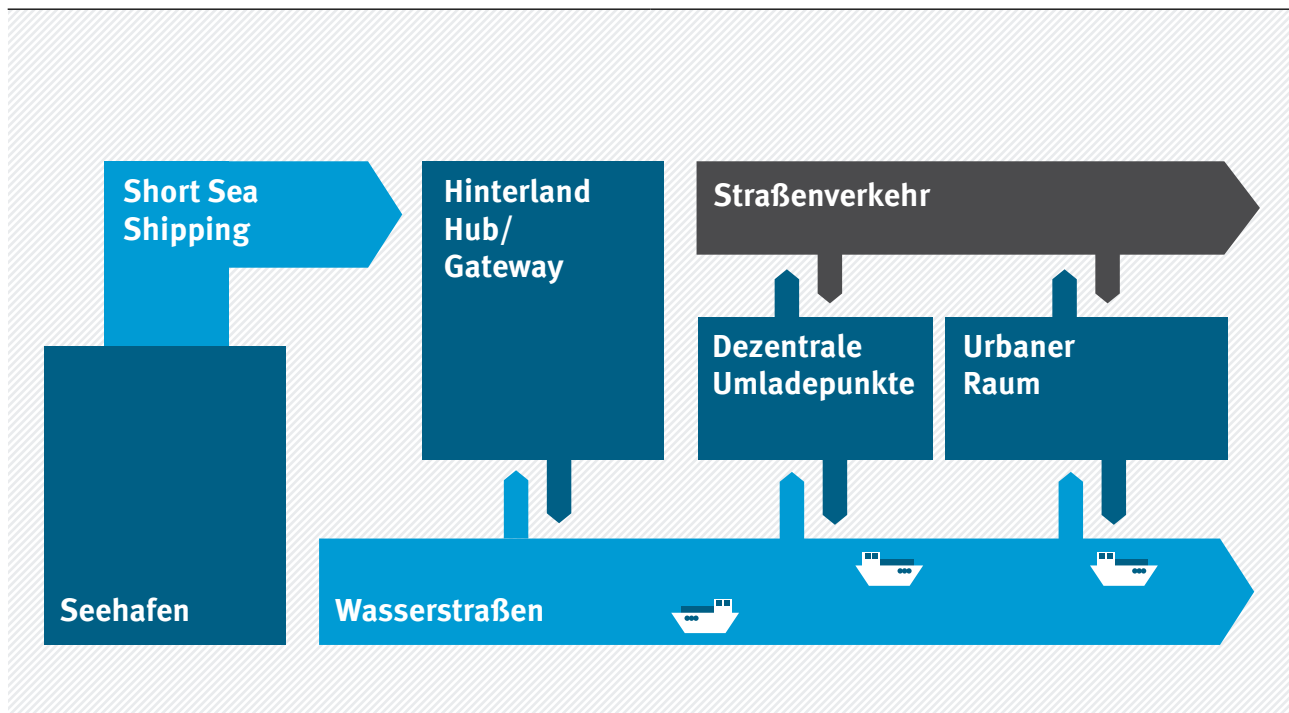
Der Bedarf an „flachgehenden“ Binnenschiffen, die teils auch bei Niedrigwasser verkehren können, wird deutlich steigen. Eine entsprechende Nachfrage, insbesondere in der Rheinschifffahrt, zeichnet sich bereits ab.⁵⁸ Flachgehende Binnenschiffe können darüber hinaus die Unsicherheiten in Lieferketten auffangen und dazu beitragen, die Versorgungsfunktionen der Binnenschifffahrt zu gewährleisten. Auch digitale Lösungen an den Wasserstraßen helfen, die Binnenschifffahrt gegenüber Niedrigwasserereignissen zu stärken, z. B. durch zuverlässige Prognosen von Pegelständen.

Automatisierung hilft beim Schritt in die Zukunft. Die Binnenschifffahrt muss moderner werden. Ein voll automatisierter Umschlag könnte die Marktreichweite erhöhen. Der Be- und Entladevorgang von Gütern wird mit Hilfe von computergesteuerten Systemen und Robotern, die die Ladung selbstständig heben, transportieren und stauen, ist wesentlich effizienter und hilft gleichzeitig, den Fachkräftebedarf in der Binnenschifffahrt zu dämpfen.

Wie groß der Beitrag zu einer Verkehrsverlagerung und – bei entsprechender Elektrifizierung der automatisierten Schiffskonzepte – zu einer Energiewende im Güterverkehr sein könnte, wird zurzeit in einigen Pilotprojekten erprobt. So wird beispielsweise beim „Hafen der Zukunft“ in Duisburg automatisiertes Be- und Entladen von Containerschiffen mit fahrerlosen Portalkränen und Portalhubwagen getestet, beim „Smart Rhine Corridor“ wird ein digitaler Korridor entlang des Rheins für die automatisierte Binnenschifffahrt entwickelt und im „Magdeburger Hafen“ wird ein autonomes System zum Be- und Entladen von Schüttgütern mit Hilfe von Robotern und Förderbändern erprobt. In Kombination mit einem automatisierten Umschlag könnten die neuen Schiffskonzepte auch dezentrale Umschlagpunkte bedienen, um gegenüber Lkw an Flexibilität zu gewinnen und neue Märkte zu erschließen (siehe Abbildung 22). Um diese Schritte zu gehen, müssten niedrigschwellig Fördermittel zur Verfügung stehen, die möglichst frühzeitig einen Strukturwandel in der Binnenschifffahrt zu unterstützen.

Abbildung 22

Erweiterte Einsatzbereiche flachgehender, automatisierter und batterieelektrischer Binnenschiffe



Quelle: Umweltbundesamt 2024

58 BMDV 2022b: Studie zur Prüfung einer Förderung für kleinere und/oder konstruktiv optimierte Binnenschiffe.

Projekte im Bestand der Fahrzeugflotte werden im Rahmen der Förderrichtlinien zur Modernisierung von Binnenschiffen und zur Förderung emissionsfreier und emissionsarmer Antriebe unterstützt. Das Förderprogramm zur nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen wird von der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt betreut. Die Förderrichtlinien haben im Kern das Ziel, Anreize für Investitionen in emissionsfreie, emissionsarme und energieeffiziente Antriebstechnologien zu setzen und die Modernisierung von Binnenschiffen voranzutreiben.

Subventionen abschaffen. Zur Angleichung der Wettbewerbsbedingungen zwischen den Verkehrsträgern sollte Schiffsdiesel, ungeachtet der Klimavorteile, schrittweise wie Dieselkraftstoff besteuert werden und dessen CO₂-Emissionen damit auch durch nationalen Emissionshandel bepreist werden (ab 2027 durch EU-ETS 2). Europäisch sollte ein Mindeststeuersatz für Schiffsdiesel eingeführt werden. Bei einer Abschaffung der steuerlichen Vergünstigung

wäre es sinnvoll, die Steuermehreinnahmen für die Modernisierung der Binnenschifffahrt zu verwenden. Die Steuermehreinnahmen könnten zudem für die weitere Entwicklung und der Markteinführung von flachgehenden, automatisierten und emissionsfreien Binnenschiffen genutzt werden.⁵⁹

Im Vergleich zum Lkw ist das Binnenschiff deutlich energieeffizienter und produziert weniger Treibhausgase pro Tonnenkilometer. So kann beispielsweise ein Schiff mit 1.000 t Tragfähigkeit so viel transportieren wie 40 Lkw oder ein ganzer Güterzug, was maßgeblich zur Entlastung der Straßen- und Schieneninfrastruktur beiträgt. Es wird erwartet, dass batteriebetriebene Schiffe oder auch hybride Systeme mit Diesel- und Elektromotor in den nächsten Jahren eine immer wichtigere Rolle spielen. Kurz- und mittelfristig wird weiter hauptsächlich Dieselkraftstoff verbrannt, daher ist die Modernisierung und Nachrüstung der Flotte mit Partikelfiltern und Katalysatoren zur Stickoxidminderung für die Luftreinhaltung umso wichtiger.

Übersicht Maßnahmen und Instrumente für eine zukunftsfähige Binnenschifffahrt

Maßnahmen und Instrumente	Wer beschließt?	Wer setzt um?
Verbesserung des hydromorphologischen Zustands der Wasserstraßen nach Wasserrahmenrichtlinie Vermeidung des Gewässerausbaus u. a. durch den Bundesverkehrswegeplan	Bund, Länder	Bund, Länder
Entwicklung von flachgehenden, automatisierten und emissionsfreien Schiffen Modernisierung kann Märkte erhalten und neue erschließen, niedrigschwellige Fördermittel vorhalten	Unternehmen	Unternehmen
Digitale Ausrüstung der Wasserstraßen/Prognosen der Wasserstände Zuverlässige Verkehrs- und Wasserstandsdaten unterstützen die Automatisierung und die Stabilität von Lieferketten	Bund, Länder	Bund, Länder
Abschaffung umweltschädlicher Subventionen und Finanzierung der Flottenerneuerung Dieselbesteuerung und CO ₂ -Preis können den Umstieg auf flachgehende, automatisierte und emissionsfreie Binnenschiffe finanzieren	Bund	Unternehmen/ Schiffseigner
Fortsetzung der Förderprogramme zur Modernisierung der Binnenschiffe und zur Förderung emissionsfreier Antriebe Schnellere Modernisierung der Flotte, Nachrüstung mit Partikelfiltern und SCR-Katalysatoren	Bund	Reeder, Schiffseigner

Quelle: Umweltbundesamt (2024)

59 Burger und Bretschneider 2021.

7

Urbane Logistik

Urbane Logistik: Transporte für den Alltag vor Ort

Keine Stadt und kein Ballungsraum kann ohne die täglichen Transporte von Waren aller Art funktionieren und überleben. Urbane Logistik ist Grundvoraussetzung für ein attraktives Wohn-, Arbeits- und Versorgungsumfeld. Sie umfasst dabei weit mehr als die überall sichtbaren Kurier- und Paketlieferdienste. Dazu gehören auch Lieferungen an Gastronomie und Lebensmittelhandel, an Industrie, Bau, Handwerk und Gebäudewirtschaft, außerdem Abfalllogistik und andere Dienstleistungen.

Der Begriff „urbane Logistik“ ist – wie auch der Begriff „urbaner Raum“ – nicht klar definiert und abgrenzbar, was sich auf die entsprechenden Daten und Statistiken auswirkt. In Metropolregionen sollte die räumliche Bezugsgröße für die Logistik nicht nur das Stadtgebiet, sondern der gesamte Ballungsraum sein, weil die Übergänge zwischen Stadt und Umland beim Gütertransport fließend sind.

Transporte in dicht besiedelten Räumen verlaufen nicht reibungslos, denn städtische Flächen sind knapp und teuer. Das führt zu vollen Straßen, beschränkter Verfügbarkeit von Be- und Entladezonen, begrenzten Kapazitäten für Depots und Lager und

ganz allgemein zu Konkurrenz mit anderen Nutzungen um die begrenzte Ressource Fläche. Gleichzeitig verursacht urbane Logistik Lärm und Schadstoffemissionen, Staus und Unfälle und trifft nicht immer auf Wohlwollen bei Anwohnenden. Urbane Transporte sind unverzichtbar, aber häufig eben auch ungeliebt.

Die Instrumente für eine umweltverträgliche urbane Logistik müssen regulative, technische und kooperative Maßnahmen umfassen, damit Transporte in Städten leiser, schadstoffarm und treibhausgasneutral werden und damit Nutzungskonflikte gelöst werden können oder gar nicht erst entstehen.

Abbildung 24 (siehe Seite 75) zeigt die Anteile des Wirtschaftsverkehrs am innerstädtischen Gesamtverkehr am Beispiel einer Großstadt. Der Wirtschaftsverkehr macht rund ein Drittel aus, den größten Teil davon verursachen Lieferanten wie z. B. Spediteure (14 %). Kurier-, Express- und Paketdienstleister (KEP) verursachen dagegen nur rund 5 % des Wirtschaftsverkehrs.

Ein guter Plan ist aller Anfang

Urbane Logistik braucht Planung. Dafür benötigen Kommunen Daten über den aktuellen Zustand der Wirtschaftsverkehre, vor allem Kenntnisse über logistische Abläufe des städtischen Güterverkehrs: Daten über Tourenlänge, Auslieferungsgebiet, Anzahl und Art der Fahrzeuge, Anzahl der Stopps je Tour, Anzahl bedienter Kundinnen und Kunden sowie Tourendauer. Die Daten sollten eine Verknüpfung mit der Verkehrsstatistik und ein Monitoring erlauben.

Logistikdaten sind in der Regel ein Geschäftsgeheimnis. Soweit den Kommunen Daten zur Verfügung gestellt werden, erfolgt dies auf freiwilliger Basis. Gleichzeitig haben Handel und Logistiker ein hohes Interesse an effizienten Abläufen. Kommunen sollten daher die wirtschaftlichen Stakeholder in Planungen einbeziehen. Auch bundesweite Statistiken können eine Datenquelle für Kommunen sein. Die Erhebung „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ im Auftrag des BMDV beispielsweise bildet den Wirtschaftsverkehr mit kleineren Lkw und Pkw ab. Sie sollte regelmäßig aktualisiert werden und dabei stärker kleinräumige Daten der urbanen und regionalen Lieferverkehre erheben. Diese Daten wären eine wichtige Hilfe für Kommunen und deren Verkehrsentwicklungsplanung.

SUMP und Sulp: Wie die EU sich Stadtlogistik vorstellt. Die Europäische Kommission hat unter der Bezeichnung Sustainable Urban Mobility Plans (SUMP) ein eigenes Konzept für die Erstellung integrierter Verkehrsentwicklungspläne vorgelegt. Bestimmte Städte im sogenannten Transeuropäischen Verkehrsnetz – das EU-weit eine gewisse Vereinheitlichung der Verkehrssysteme zum Ziel hat – sollen demnach verpflichtet werden, nachhaltige Mobilitätspläne aufzustellen. In Deutschland gehören 44 Städte dazu. Hinter SUMP steht ein Maßnahmenplan, der gegenwärtige und künftige Mobilitätsbedürfnisse der Menschen berücksichtigt und helfen soll, die Lebensqualität in Stadt und Umland zu verbessern. Die urbane Verkehrsplanung wird damit über verbindliche Vorgaben für große Städte an EU-Leitlinien ausgerichtet. Die SUMP sollen bis Ende 2027 vorliegen und Maßnahmen zur Integration verschiedener

Verkehrsmittel einschließlich der nachhaltigen und emissionsfreien Stadtlogistik enthalten.

Für den nähräumlichen Güterverkehr sieht die Kommission Sustainable Urban Logistics Plans (SULP) vor, die ein wesentlicher Hebel für eine Minderung der Verkehrsemissionen durch Güterverkehr in Ballungsräumen sein können. Aufgabe der SULP ist es, lokalen Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern Leitlinien und Verfahren an die Hand zu geben, die helfen, urbane Logistikaktivitäten zu kontrollieren und zu lenken.

So läuft's: Nachhaltige Logistik auf Landesebene.

Der Bund kann eine Verkehrsentwicklungsplanung auf kommunaler Ebene nicht vorschreiben. Daher sollten die Bundesländer Städte ab 100.000 Einwohner*innen zur Entwicklung eines SULP verpflichten, der Landkreise und Metropolregionen einbezieht und eine Finanzierung dieser Aufgabe sicherstellen. Beispiele für eine Planung der urbanen Wirtschaftsverkehre sind die „Strategie für die letzte Meile“ in Hamburg oder das „Integrierte Wirtschaftsverkehrskonzept“ von Berlin. Das Berliner Konzept hat das Ziel, den motorisierten Straßengüterverkehr zu reduzieren und zugleich die Zentren funktionsfähig zu halten und aufzuwerten. Es setzt beispielsweise auf die Nutzung der Wasserwege innerhalb der Stadt, was die Straßen entlasten kann.





Das städtische Güterverkehrskonzept adressiert vier Zielfelder mit jeweils passenden Indikatoren, die dabei helfen, Fortschritte zu dokumentieren (siehe Abbildung 23).

Die Stadt Hamburg beispielsweise will bis 2030 mit einem Gesamtkonzept und klaren Zielen die CO₂-Emissionen der Paketlieferdienste um 40 % senken und den Verkehrsfluss spürbar verbessern.⁶⁰ In Hamburg existiert außerdem die „Umweltflotte“, ein Zertifizierungssystem für Unternehmen, deren Flottenanteil an emissionsfreien Fahrzeugen nachweislich mindestens 15 % beträgt. Mit dem Siegel der Umweltflotte sind u. a. Vorteile bei der Belegung von Ladezonen verbunden.

60 BS-Drs. 22/5939: Urbane Logistik Hamburg – Strategie für die Letzte Meile.

Abbildung 23

Ambitioniertes Zielsystem eines beispielhaften städtischen Güterverkehrskonzeptes

Zielfeld	Ziel	Möglicher Indikator	Angestrebte Indikatorentwicklung
Verkehr 	Geringe Fahrleistungen im städtischen Güterverkehr	Fahrzeug-km je Fahrzeugart (ggf. differenziert nach Straßenkategorien gemäß RIN 2008)	-10 % ggü. Ist bis 2030 -20 % ggü. Ist bis 2050
	Geringe Anzahl an Einfahrten von Nfz in zentrale Bereiche	Anzahl Einfahrten am Kordon (z. B. Innenstadtring)	Level nur relativ bestimmbar und abhängig vom Ausgangszustand Bsp. City of London: -15 % ggü. Ist bis 2030
	Hohe Verkehrssicherheit	Getötete/Verletzte bei Verkehrsunfällen	Vision Zero bis 2050
Umwelt 	Einhaltung aller Grenzwerte für Luftschadstoffe	Indikatoren gemäß Grenzwertbestimmungen	Einhaltung aktuell
	Geringe Lärmbelastung	Mittelungspegel Tag/Nacht	Einhaltung Grenzwerte 16. BImSchV für ausgewählte Gebietstypen (Wohngebiete, Sondergebiete) bis 2030: Tag: 59 dB(A), Nacht 49 dB(A) Einhaltung Grenzwerte DIN 18005-1 für alle Gebietstypen bis 2050
	Geringe Klimagasemissionen	Gesamte Emission im städtischen Straßennetz (ohne Autobahnen)	-42 % ggü. Ist bis 2030 -100 % ggü. Ist bis 2050
Städtebau 	Geringe Konflikte mit Fuß- und Radverkehr	Regelwidrige Be- und Entladevorgänge auf Fuß- und Radverkehrsanlagen	Reduktion um 50 % an ausgewählten Hauptstraßen innerhalb eines Jahres
	Gute straßenräumliche Proportionen	Flächenaufteilung Seitenraum/Fahrbahn	Werte gemäß RAST; u. a. Verhältnis Fahrbahn: Seitenraum 40: 60
Effizienz des Lieferverkehrs 	Hohe Verfügbarkeit von Ladeflächen	Anzahl Ladeflächen am Straßenrand	Einrichtung von Ladezonen alle 50 m an Hauptstraßen bis 2025
	Geringe Zeitverluste auf dem Weg in das Zielgebiet	Fahrtgeschwindigkeitsindex SAQ_N^{**}	Erreichen von Stufe D in der HVZ im Jahr 2030
	Geringe Störungen der Liefertätigkeit im Zielgebiet	Verlustzeiten durch Behinderungen (Parken, andere Liefervorgänge etc.)	Bislang keine Daten vorhanden
	Günstig gelegene Umschlagflächen für die Stadtlogistik	Flächengröße und -beschaffenheit muss Anforderungen entsprechen	Lokale Anforderungskataloge für innerstädtische Logistikflächen einhalten

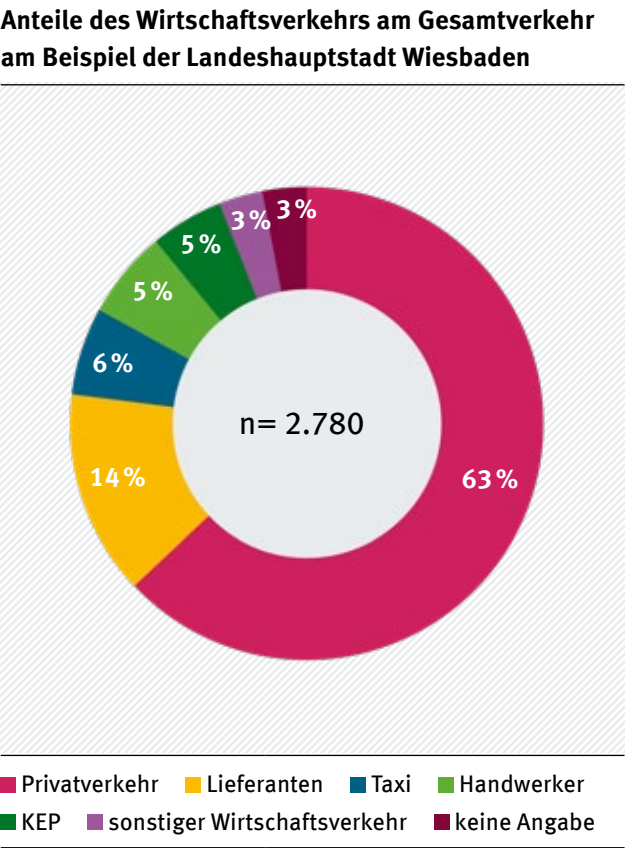
*FGSV (2015), S. 233. Der Fahrtgeschwindigkeitsindex SAQ_N setzt die zu erwartende mittlere Pkw-Geschwindigkeit in Beziehung zur angestrebten mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeit, die sich ergibt aus der Netzfunktion des betrachteten Straßenabschnittes gemäß FGSV (2008), S. 23

Quelle: Eigene Darstellung nach Leerkamp et al. 2020

Kompetenzzentren für urbane Logistik auf Landesebene können Kommunen unterstützen, bei der Verkehrsplanung entlasten und für Probleme und Lösungen sensibilisieren. Nordrhein-Westfalen hat „Leitlinien für die Planung nachhaltiger städtischer Logistik“ verabschiedet, die digitale und umweltverträgliche Logistikansätze fördern. Das Fachzentrum Nachhaltige Mobilitätsplanung Hessen berät Kommunen bei ihrer Verkehrsplanung und über Fördermöglichkeiten, dient als Netzwerk und Informationsplattform.

Logistik wird von Menschen gemacht. Kommunale Logistikbeauftragte als Ansprechpersonen für lokale Unternehmen sind ein wichtiger Erfolgsfaktor für mehr Nachhaltigkeit. Sie fördern Innovationen vor Ort und kümmern sich um den interkommunalen Erfahrungsaustausch. Sie können als neutrale Stelle zum Beispiel Kooperation initiieren, andere Behörden entlasten und Planungsverfahren beschleunigen.

Abbildung 24



Quelle: Eigene Darstellung nach Schäfer et al. 2019

Übersicht Maßnahmen und Instrumente Datenerhebung und Verkehrsplanung

Maßnahmen und Instrumente	Wer beschließt?	Wer setzt um?
Datenerhebung Regelmäßige Erhebung, Veröffentlichung und Monitoring lokaler (und ggf. regionaler) Daten	Kommunen	Kommunen
Studie Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland erweitern Erweiterung der Studie um Schwerpunkt urbane Logistik und regelmäßige Aktualisierung	Bund	Bund
Verkehrsplanung für Wirtschaftsverkehre in Kommunen Verpflichtung der Großstädte über 100.000 Einwohner*innen zur Erstellung einer nachhaltigen urbanen Logistik-Planung (SULP)	Land	Kommunen
Kompetenzzentren für urbane Logistik Leitlinien, Kompetenzzentren bzw. zentrale Koordinationsstellen auf Landesebene einrichten	Land	Land
Kommunale Beauftragte für urbane Logistik Schnittstelle zwischen Wirtschaft und Verwaltung für logistische Belange	Kommunen	Kommunen

Quelle: Umweltbundesamt (2024)

Stoffströme bündeln, Touren konsolidieren, Akteure vernetzen

Die technischen Möglichkeiten und Angebote für urbane Gütertransporte haben sich innerhalb kurzer Zeit enorm gewandelt. In Zukunft könnten Lieferroboter, Paketdrohnen oder Augmented-Reality-Brillen für die schnelle Identifizierung einzelner Sendungen Bausteine einer digitalen Logistikwelt sein, die mit der Warenzustellung früherer Zeiten nicht mehr viel zu tun hat.

Innovative Ansätze in der Logistik. Innovative Ideen werden oft durch private Akteure initiiert. Dazu zählen zum Beispiel Start-ups, die über KI-Plattformen und Elektrofahrzeuge Waren gebündelt für Unternehmen auf der günstigsten Verteilroute ausliefern oder die ein bestelltes Paket ins geparkte Auto der Empfängerin ablegen. Zunehmende Bedeutung werden zirkuläre Ansätze erlangen, die Lieferung, Annahme, Reparatur und Wiederverwertung koppeln. Bund, Länder und Kommunen sollten die großen Potenziale digitaler Systeme nutzen, neue Ansätze fördern und – wo notwendig – die (rechtlichen) Rahmenbedingungen anpassen.

Bündelung als Strategie. Bündelung ist eine Art Zauberwort in der Logistik. Sie umfasst die Bündelung von Kapazitäten: Kooperationen in der Logistik können enorme Vorteile haben, denn Flächen werden gemeinsam genutzt, Lkw-Auslastungen verbessert, Leerfahrten vermieden, die Kosten der „letzten Meile“ gesenkt. Insgesamt also werden Transportströme verdichtet und konsolidiert, was zu stadtverträglichen Lösungen beiträgt.

Kooperationen sind in der Logistik dennoch kein Selbstläufer. Erfahrungen aus den 1990er Jahren haben gezeigt, dass oft nur unrentable Aufträge, nicht aber profitable Touren in ein gemeinsames Zustellungssystem eingespeist werden. Zudem herrscht auf der letzten Meile viel Konkurrenz. Im urbanen Raum finden viele Transporte auch durch Handwerksbetriebe, Apotheken oder Lebensmittelmärkte statt. Kooperationen scheitern auch am zusätzlichen Abstimmungsaufwand, den unterschiedlichen Prozesszeiten und -anforderungen sowie an rechtlichen Anforderungen, zum Beispiel an die Kühlkette oder den Haftungsübergang. Dennoch existieren Ansätze,

Bündelungen der urbanen Logistik wirtschaftlich rentabel zu realisieren, wie beispielsweise im Projekt „Transfer-Roadmap Urbane Logistik (TURLo)“, mit dem in einem Berliner Außenbezirk eine Logistik-Lösung für ein zusammenhängendes Industriegebiet konzipiert wird.

Hubs gut gemacht. Bündelung ist auch der Schlüssel zur Verdichtung von Stoffströmen, um die großen Potenziale für mehr Effizienz und mehr Umweltverträglichkeit zu nutzen. Bei der Zustellung von Waren im urbanen Raum spielen unterschiedliche Arten sogenannter Logistik-Hubs eine zentrale Rolle (siehe Tabelle 4). Hubs sind Sammel- und Verteilstellen, die als Drehscheibe im Netz der Warenströme fungieren und Hauptumschlagbasen vom Verteilzentrum zum Empfänger sind.

Großflächige Logistikzentren liegen meist am Rand der Ballungsgebiete, wo ausreichend Fläche vorhanden ist und der Anschluss ans Straßennetz kurz. Kommunen und Regionen können die Ansiedelung an verkehrsgünstig gelegenen Orten mit (Umwelt-) Auflagen verbinden. Wollen Logistikdienstleister die Fläche nutzen, müssen sie dann z. B. nachweisen, dass sie umweltschonende Fahrzeuge einsetzen und Transporte bündeln. Um eine Zersiedelung zu vermeiden, sollten entsprechende Gewerbeflächen regional konsolidiert entwickelt werden. Das hat außerdem den Vorteil, dass sich dadurch für mehrere Unternehmen an einem Standort ein Schienenanschluss lohnen könnte (siehe auch Abschnitt „Verkehrsinfrastruktur: Damit Güter richtig liegen“).

Vielversprechend für eine nachhaltige und effektive Stadtlogistik sind sogenannte Multi-User Mikrodepots. Hier können mehrere Dienstleister ihre Sendungen für die Zustellung mit Lastenrädern oder batterieelektrischen Kleinstfahrzeugen anliefern. Städtische Parkhäuser z. B. eignen sich – je nach Lage und Einfahrtshöhe – als attraktive Mikrodepots, vor allem, wenn sie erweiterte Einfahrtzeiten ermöglichen. Noch haben sich solche Mikrodepots nicht durchgesetzt, u. a. weil der Zusammenschluss privater Akteure oft anmelde- bzw. genehmigungspflichtig ist und Paketdienste und Stückgutspeditionen unterschiedliche

Tab. 4

Unterschiedliche Arten von Logistik-Hubs und ihre Funktion

Gebäude/Fläche	Standort	Logistikprozess	Nutzer
Packstation	Öffentlicher Straßenraum/ frei zugängliches Privat- grundstück	Endkundenbelieferung (privat)	Logistikunternehmen und Empfänger
Paketkasten am Haus	Privatgrundstück	Endkundenbelieferung (privat)	Logistikunternehmen und Empfänger
Quartiers-Concierge-Dienst	Privatgrundstück	Endkundenbelieferung (privat) & Umschlag für die letzte Meile	Logistikunternehmen und Empfänger
Lieferzone	Öffentlicher Straßenraum	Endkundenbelieferung (gewerblich)	Logistikunternehmen
Ladehof	außerhalb des öffentlichen Straßenraums	Endkundenbelieferung (gewerblich)	Logistikunternehmen
Mikrodepot (mobil/stationär, auch Mikro-Hub genannt)	Öffentlicher Straßenraum/ Privatgrundstück	Umschlag für die letzte Meile	Logistikunternehmen
Cityterminal	Privatgrundstück (ggf. in öffentlichem Besitz)	zentrumstnahe Umschlag für die Stadtversorgung	Logistikunternehmen
Güterverkehrszentrum (GVZ)	Privatgrundstück (ggf. in öffentlichem Besitz)	Umschlag für die Ballungsraumversorgung	Logistikunternehmen

Quelle: Leerkamp et al. 2020, geändert

Anforderungen an Lage und Ausgestaltung haben. Ein Branchenstandard für Mikrodepots könnte zu einer besseren Planbarkeit, Kostentransparenz und schnelleren Umsetzung beitragen. Kommunen sollten zu einem frühen Zeitpunkt Gespräche mit potenziellen Nutzenden führen und Bedingungen regeln, unter denen Logistikdienstleister sich an einem Mikrodepot beteiligen würden.

Innovativ ist die Nutzung innerstädtischer Wasserwege, wie zum Beispiel die Einbindung des Westhafens in Berlin oder das Projekt InnoWaTr 2.0, das seit 2023 eine urbane Shuttle-Versorgung des Einzelhandels im Überseequartier der HafenCity Hamburg per Binnenschiff erprobt. Auch die Verlagerung von Transporten auf eine andere Ebene – z. B. in unterirdische Röhren oder auf oberirdische Seilbahnen – wird seit längerem diskutiert, erfordert aber kostspielige Systeme. Erste Projekte wie ein Transporttunnel für palettierte Ware (Smart City Loop) in Hamburg sind aber geplant.

Für gemeinsame Zustellprozesse wären Anpassungen auch bei Paketlabels und den Geocodierungen bei den Adressdaten notwendig. Es gibt bereits Dienstleister, die als neutrale Dritte Sendungen zusammenführen. Auch Kooperationen von Einzelhändlern, die sich Waren nicht ins Geschäft, sondern an den nächstgelegenen City-Hub liefern lassen, sind eine gute Option. Vom Hub übernimmt dann ein Dienstleister die gebündelte Zustellung zur Wunschzeit.

Die Crux mit der letzten Meile. Es ist kein Geheimnis, dass vor allem der letzte Akt eines Transports – die „letzte Meile“ – für Logistikdienstleister zeit-, personal- und kostenintensiv ist. Die Zustellkosten für diesen finalen Teil betragen bei kleineren Sendungen rund 50 % der gesamten Transportkosten.⁶¹ Die Suche nach Alternativen für diesen kostspieligen Teil des Transportes drängt, weil auf der letzten Meile die Herausforderungen enorm groß sind: Innerhalb von Ballungsräumen schnell und zielgenau zu liefern, wird umso schwieriger, je stärker das Paketaufkommen steigt.

Lösungen gibt es durchaus. Direktlieferungen an Paketstationen oder Paketshops erhöhen die Zustellquote, der Stoppfaktor verringert sich, die Tour wird kürzer. Paketstationen werden bislang aber meist nur von einem einzelnen Dienstleister betrieben und genutzt. Die Folgen sind flächenintensive Parallelstrukturen mehrerer Dienstleister. Sinnvoller wären Paketstationen, die von mehreren Firmen genutzt werden. Ob sie unterm Strich tatsächlich Emissionen und Verkehr reduzieren, hängt u. a. davon ab, ob der*die Empfänger*in zu Fuß oder mit dem Auto die Sendung abholt.

Paketboxen an Mehrfamilienhäusern und Gebäudekomplexen sparen die Fahrt zum Paketshop. Eine Verpflichtung zur Bereitstellung von Paketboxen bei Neubauten könnte in den Bauordnungen der Länder verankert werden. Dadurch würde vorher – analog den Stellplatzschlüsseln – bestimmt, ob Paketboxen bei einem Neubau mitgeplant werden müssen.

Verlagerung von Transporten. Zur Entlastung des Straßenraums können Transporte in nutzungsarme Zeiten oder weniger befahrene Räume verlagert werden. Bei Transporten im urbanen Raum vor 6 Uhr und nach 18 Uhr lassen sich die Tourenzeiten bei gleicher Strecke deutlich reduzieren. Eine Studie im Auftrag des UBA zeigt aber, dass das maximale theoretische Potential der Treibhausgasminderung durch Nachtlogistik in Deutschland nur bei weniger als 0,3 Mio. t CO₂-Äq. liegt.⁶² Zudem ist störender Lieferverkehr zur Nachtzeit in Wohngebieten inakzeptabel. Lieferprozesse sollten daher nur in die Tagesrandzeiten unter Einhaltung bestehender Lärmgrenzwerte der TA Lärm verlagert werden. Vor diesem Hintergrund sind alle Neuentwicklungen, die Logistik geräuscher machen, von großer Bedeutung. Forschungsprojekte dazu sollten gefördert werden.



61 Stütz und Clausen 2022: Urbane Logistik. Metzler (2013): Letzte-Meile-Logistik.

62 Opitz et al. 2024.

Smarte Lieferzonen. Falschparker in der Stadt blockieren oft ausgewiesene Lieferzonen, im Gegenzug halten Lieferfahrzeuge dann in zweiter Reihe oder auf Rad- und Gehwegen. Dies schreckt die Menschen davon ab, aufs umweltfreundliche Rad zu steigen oder zu Fuß unterwegs zu sein. Einen Ausweg versprechen smarte Lieferzonen, wie sie im Pilotprojekt SmaLa in Hamburg erprobt werden. Die SmaLa-App ist ein virtuelles Buchungssystem, mit dem registrierte Paketdienstleister, Kurier- und Stückguttransporteure eine Lieferzone reservieren können. Digitale Schilder zeigen an, welche Lieferfahrzeuge zu welcher Zeit eine bestimmte Zone gebucht haben und damit vom absoluten Halteverbot ausgenommen sind. Die Zonen sind mit Bodensensoren ausgestattet, damit deren Auslastung überwacht werden kann.

Übersicht Maßnahmen und Instrumente zur Konsolidierung von Waren- und Transportströmen

Maßnahmen und Instrumente	Wer beschließt?	Wer setzt um?
Automatisierung, Digitalisierung und zirkuläre Ansätze fördern Rechtliche Rahmenbedingungen überprüfen, Pilotprojekte fördern und digitale Lösungen skalieren	Bund, Land, Kommune	Bund, Land, Kommune
Bündelung der Zustellung durch Logistik-Hubs stützen Flächen für stadtverträgliche Logistikkonzepte bereitstellen	Land, Kommune	Land, Kommune
Bündelung von Touren Zustellung durch Dienstleister bündeln und Zusammenarbeit im Einzelhandel	Unternehmen	Unternehmen
Etablierung von Branchenstandards Standardisierte Mikrodepots, Paketlabel und Transportbehälter	Bund, Land	Bund, Land, DIN
Bauordnungen der Länder Obligatorischen Einbau von Paketstationen verankern bzw. Zustellalternativen bei der Planung von Mehrfamilienhäusern vorgeben	Länder	Kommunen
Förderung der geräuscharmen Logistik Maßnahmen zur Lärmvermeidung testen und unterstützen	Bund, Land, Kommunen	Bund, Land, Kommunen
Smarte Lieferzonen verbunden mit Buchungssystem und Kontrollen Pilotprojekte fördern	Kommune	Kommune, Unternehmen

Quelle: Umweltbundesamt (2024)

Umweltverträgliche Fahrzeugkonzepte

Emissionsminderungen und treibhausgasneutrale Belieferung sind in der Logistikbranche ein wichtiges Thema. Große Logistikdienstleister im Stückgut- und Paketbereich haben eigene Konzepte entwickelt und sich konkrete Ziele zur Emissionsminderung gesetzt.

Sauber liefern durch elektrische Antriebe. Die urbane Logistik ist für alternative Antriebe ein ideales Spielfeld. In Städten und Ballungsräumen sind die Lieferstrecken relativ kurz, die Zustellorte liegen dicht beieinander und Sendungen werden durch kleinere Fahrzeuge zugestellt. Besonders geeignet für Touren in der Stadt sind batterieelektrische Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht bis 3,5 t. Die Standzeiten für die Aufladung der Batterien sind unkritisch und gut planbar, die Tagesfahrleistungen der Fahrzeuge jedoch gering. Ihre Effizienz ist in Verbindung mit den vielen Start-Stopp-Prozessen hoch, da sich durch Rekuperation die Fahrzeugbatterie immer wieder lädt.

Für schwere Lkw bis zu 26 t Gesamtgewicht sind seit 2022 erste batteriebetriebene Serienfahrzeuge verfügbar. Auch wenn die Entwicklung der Strom- und Kraftstoffkosten schwer vorhersehbar ist, gehen Ex-

perten*Experten davon aus, dass ab 2030 strombetriebene Lkw bis 12 t Gesamtgewicht im urbanen Raum kostengünstiger transportieren können als der herkömmliche Diesel-Lkw.⁶³ Gezielte Zuschüsse bei der Anschaffung batterie-elektrischer Lkw für den urbanen Raum sowie zusätzlicher Förderprogramme für die Ladeinfrastruktur können die Entwicklung beschleunigen.

Für eine umfassende Elektrifizierung des Fuhrparks muss die Ladeinfrastruktur massiv ausgebaut werden. Logistikstandorte mit 50 bis 100 Fahrzeugen führen zu hohen Lastspitzen, wenn gleichzeitig viele Fahrzeuge ihre Batterien laden. Photovoltaikanlagen auf Logistikhallen könnten den Strombedarf aus dem Netz reduzieren und Akkus könnten als Zwischenspeicher dienen (siehe auch Abschnitt „Nachhaltige Logistikkonzepte“).

Lasten aufs Rad. Lastenräder sind eine vielversprechende Option für Lieferdienstleistungen in Städten. Ein nennenswerter Teil der Sendungen von Kurier-, Express- und Paketlieferungen könnte auf Lastenräder verlagert werden. In welchem Radius Lieferungen mit dem Lastenrad wirtschaftlich abgewickelt werden



63 Tol et al. 2022: Techno-economic uptake potential of zero emission trucks in Europe.

können, hängt von verschiedenen Faktoren, wie Stoppdichte und Topographie des Liefergebietes, ab. Der Zustellradius wird mit maximal 2 – 3 km veranschlagt.⁶⁴

Allerdings hat eine Logistik per Rad mehrere Voraussetzungen: in erster Linie logistikgerechte Lastenräder, die Zuladungen von 300 bis 500 kg erlauben, sich bodentief auch mit kleinen Paletten beladen lassen, wettergeschützte Fahrkabinen und starke Motoren haben. Aber auch die Verkehrsinfrastruktur muss auf Lastenräder eingerichtet sein. Die Nutzung von Radwegen im Wirtschaftsverkehr verspricht zwar kurze und direkte Wege, allerdings sind viele Radwege zu schmal oder durch Poller nur eingeschränkt nutzbar. Auf gemeinsamen Geh- und Radwegen können Lastenräder den Fußverkehr beeinträchtigen. Mehr Schutzstreifen und Radfahrstreifen auf der Fahrbahn könnten den Lastentransport mit Fahrrädern erleichtern. Dafür ist eine Novellierung des Straßenverkehrsrechts notwendig.

Bessere Routen wählen. Lkw-Vorrangrouten oder Lkw-Führungsnetze führen zu wichtigen Punkten wie Häfen, Industriegebieten oder Güterverkehrszentren. Sie halten den Lkw-Verkehr aus der Innenstadt und insbesondere aus Wohngebieten fern und verrin-

gern dadurch Umweltbelastungen durch Lärm und Schadstoffe. Vorrangrouten und Lkw-Führungsnetze führen in der Regel über gut ausgebaute Hauptstraßen und garantieren neben der kürzeren Fahrzeit auch die Einhaltung von Durchfahrtshöhen und zulässigen Gesamtgewichten auf Brücken.

Grenzen setzen. Transporte durch Fahrzeuge mit hohem Schadstoffausstoß können in urbanen Räumen durch Einfahrverbote reduziert werden. Die Bundesländer können konkret die Belastung von Innenstadtbereichen mit Luftschadstoffen wie Stickoxide oder Feinstaub reduzieren, indem sie Umweltzonen zu Low- oder Zero-Emission-Zones erweitern. Das kann im Rahmen von Luftreinhalteplänen erfolgen. Dabei ist für die Rechtssicherheit allerdings entscheidend, dass großzügige Übergangsfristen gesetzt und die betroffenen Gebiete zunächst auf eine Kernzone begrenzt und stufenweise vergrößert werden. Außerdem müssen alternative Fahrzeuge und Lieferkonzepte zur Verfügung stehen, sonst laufen Luftreinhaltepläne ins Leere.

Übersicht Maßnahmen und Instrumente zur Förderung stadtverträglicher Fahrzeugkonzepte

Maßnahmen und Instrumente	Wer beschließt?	Wer setzt um?
Urbane Verkehrsinfrastruktur Lastenräder bei Planung und Ausstattung urbaner Verkehrsinfrastruktur berücksichtigen, Umlaufsperrern auf Radwegen entfernen	Kommunen	Kommunen
Radfahrstreifen und Schutzstreifen für Radverkehr auf der Fahrbahn einrichten	Land, Kommunen	Land, Kommunen
Novellierungen der StVZO und der VwV-StVO in Bezug auf den verstärkten Einsatz logistikgerechter Lastenräder aufeinander abstimmen	Bund	Bund
Vorrangrouten für LKW zu Industriegebieten, Häfen oder Güterverkehrszentren, um Lkw-Verkehr aus der Innenstadt und aus Wohngebieten fernzuhalten	Kommunen	Kommunen
Low- bzw. Zero-Emission-Zones Land und Kommunen schaffen verbindliche Vorgaben und führen ein	Land, Kommunen	Kommunen

Quelle: Umweltbundesamt (2024)

64 Stiehm et al. 2021: HANDBUCH: Mikro-Depots im interkommunalen Verbund, Teil 2 Vom Konzept zur Umsetzung.

Umweltschonender Güterverkehr: ein Ausblick





8



Umweltschonender Güterverkehr: ein Ausblick

Sie haben Ihr Ziel erreicht! Jeder, der eine anstrengende Fahrt hinter sich hat, hört diese Worte aus seinem Navi gern. Manchmal klappt die Tour reibungslos. Öfter aber gibt es unterwegs dann doch Probleme. Man verpasst die richtige Abfahrt, biegt falsch ab, steht im Stau, an einer Baustelle oder manchmal sogar vor einer Vollsperrung.

So ähnlich geht es dem Verkehr im Klimaschutz. Das Ziel – Treibhausgasneutralität bis 2045 – ist dank Klimaschutzgesetz bekannt, die ungefähre Route auch, Zwischenetappen sind ausgeschildert. Und doch geht es kaum voran: Die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor stagnieren seit Jahren auf hohem Niveau.

Dem Güterverkehr steht bis zum „Ziel Treibhausgasneutralität“ eine besonders lange Fahrt bevor. Das Aufkommen an Gütern, die transportiert werden müssen, wird voraussichtlich auch in der Zukunft weiter wachsen. Denn wirtschaftliche Entwicklung bedeutet in aller Regel mehr Verkehr. Die Ansprüche der Kundschaft an Schnelligkeit und Pünktlichkeit sind hoch. Transporte dürfen nur wenig kosten, damit Produkt- und Rohstoffpreise möglichst niedrig bleiben. Der boomende Online-Handel setzt durch noch mehr Verkehr – auch auf kurzen Strecken – Städte und Ballungsräume zusätzlich unter Druck.

Das UBA ist überzeugt, dass umweltschonender Güterverkehr machbar ist. International, national und auch urban. Die dafür notwendigen Maßnahmen und Instrumente werden in dieser Fachbroschüre gelistet und erläutert. Die zwei tragenden Säulen auf dem Weg zu nachhaltigeren Transporten sind die **Energiewende im Güterverkehr**, die eine umfassende Elektrifizierung und die Abkehr von fossilen Kraftstoffen umfasst, und die **Verkehrswende**, also die gezielte Stärkung von umweltverträglicheren Verkehrsmitteln wie Bahn und Binnenschiff. Zur Verkehrswende gehört ganz wesentlich auch die Vermeidung von Transporten – z. B. durch Bündelung von Stoffströmen und Kapazitäten, durch consequenten Einsatz digitaler Technologie, durch regionalen Konsum und nachhaltige Beschaffung.

Gute Ansätze gibt es durchaus: Die 2023 eingeführte CO₂-Komponente der Lkw-Maut ist ein großer Schritt in die richtige Richtung. Änderungen für den Luftverkehr im bestehenden Emissionshandel, der Einbezug des Seeverkehrs in diesen und die Schaffung des europäischen Emissionshandels für Brennstoffe im Verkehrs- und Gebäudebereich geben ein klares Preissignal für die Verringerung der Emissionen durch fossile Kraftstoffe und machen emissionsärmere Alternativen wirtschaftlich. Außerdem führen die Versteigerungen von Emissionsberechtigungen zu erheblichen Einnahmen auf nationaler wie auch auf europäischer Ebene, die anteilig zur verkehrspolitischen Flankierung des Transformationsprozesses im Güterverkehr genutzt werden sollten.

Aber es muss noch weit mehr passieren. Die EU sollte einen klaren Fokus auf strombasierte Kraftstoffe legen, die bevorzugt im Luft- und Seeverkehr eingesetzt werden, um die Emissionen zu senken, außerdem auf ambitionierte Ziele bei CO₂-Anforderungen für neue Lkw setzen und sich schneller vom Verbrenner verabschieden. Die EU kann daneben gezielt den umweltschonenden Verkehrsträger Schiene stärken, indem sie beispielsweise den grenzüberschreitenden Verkehr harmonisiert. Im Luftverkehr würden ein schneller Abbau von Subventionen, eine EU-weite Kerosinbesteuerung oder eine Ausweitung der Luftverkehrsteuer auf Gütertransporte einen wirksamen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Viele dieser Instrumente folgen der Idee, externe Umweltkosten, die der Güterverkehr verursacht, zu internalisieren, also einzupreisen. Diese Idee ist nicht neu, hat deswegen aber nichts von ihrer Durchschlagskraft verloren.

Umsteuern braucht klare Wegweiser. Also die richtigen Rahmenbedingungen. Und die sind noch lange nicht geschaffen. Der fossil betriebene Straßengüterverkehr ist derzeit konkurrenzlos billig, die verladende Wirtschaft und Empfänger sind an die Flexibilität und Allgegenwart von Lkw gewöhnt. Die Verkehrswende im Güterverkehr setzt vor allem auf eine deutliche Stärkung von Schiene und Binnenschiff und deren Infrastruktur. Wie das aussehen könnte, zeigen beispielsweise die Vorschläge der „Beschleunigungs-

kommission Schiene“: schlankere Genehmigungsverfahren und ein „Moderne-Schiene-Gesetz“, das bei Digitalisierung und Modernisierung Tempo macht. Die Binnenschifffahrt hat unter allen Verkehrsträgern den größten Anpassungsbedarf an den Klimawandel. Sie braucht eine Modernisierung vom Kiel aufwärts, z. B. durch flachgehende, automatisierte und emissionsfreie Schiffe, um bestehende Märkte zu sichern und neue zu gewinnen.

Viele Städte und Ballungsräumen ersticken im Verkehr, daran hat der Gütertransport einen erheblichen Anteil. Neben der Verkehrswende für den motorisierten Individualverkehr ist eine **Wende in der urbanen Logistik** dringend nötig. Europäische Großstädte sind im Rahmen ihrer Verkehrsplanung bis 2028 zur Erstellung einer „nachhaltigen urbanen Logistik-Planung“ verpflichtet. Kommunen und Landesregierungen können schon heute viel tun: Start-ups mit neuen, umweltschonenden Verkehrsideen fördern, das Potenzial von Lastenrädern in die Verkehrsplanung einbinden, die Bündelung von Transporten und die Zusammenarbeit im Handel unterstützen, digitale Instrumente ausprobieren und skalieren, Logistik-Hubs und Logistik-Zentren integriert planen.

Güterverkehr ist stets zweckgebunden. **Er wird von Menschen ausgelöst und ist für Menschen gemacht** – ganz gleich, ob es um einen Riesenfrachter aus China, um den Lkw aus Südspanien oder die Paketzustellung vor Ort geht. Das bedeutet zum einen: Es gibt eine Vielzahl von Akteuren entlang der Lieferkette. Akteure mit ganz unterschiedlichen Interessen, Zielen, Preisvorstellungen und auch mit unterschiedlicher Bereitschaft, Dinge zu ändern und umzusteuern. Sie alle werden gebraucht, um Logistiksysteme und Transporte umweltschonend und klimaverträglich zu machen.

Das bedeutet zum zweiten: Kundinnen und Kunden sowie Konsumentinnen und Konsumenten haben es ein Stück weit selbst in der Hand, ob und wie viele Waren transportiert werden müssen. Wenn viele Menschen gezielt regional und lokal produzierte Produkte kaufen, wird so mancher Ferntransport überflüssig.

Indem Hersteller und Kundschaft auf Langlebigkeit und Reparaturfreundlichkeit achten, werden Transporte stets neuer Ware reduziert.

Nachhaltigkeit enthält immer auch den Aspekt der Suffizienz, also die Frage nach dem Ausmaß von Konsum und Produktion. Ein maßvoller Konsum und langlebige, ressourcenschonende Produkte können die von Jahr zu Jahr steigende Nachfrage nach Gütern begrenzen und sind somit eine entscheidende Strategie, um Klimaziele zu erreichen und die planetaren Grenzen zu respektieren.

Suffizienz meint dabei nicht den schmerzhaften Verzicht, sondern vielmehr die Befähigung oder das Angebot, das tun zu können, was eigene Bedarfe befriedigen kann. Um Suffizienz in Konsum und Produktion zu unterstützen, bedarf es daher finanzieller Anreize, z. B. bei Retouren im Online-Handel, langlebiger und reparaturfähiger Produkte und Transparenz im ökologischen Fußabdruck. Solche Angebote funktionieren allerdings nur, wenn sie durch gesellschaftliche Akzeptanz und eine entsprechende Nachfrage getragen werden. Dafür können im politischen Gestalten Rahmenbedingungen geschaffen werden, beispielsweise durch die Förderung nachhaltiger Produkte und nachhaltiger Bestelloptionen im Online-Handel.

Mit den hier gezeigten Ansätzen kann die Politik, aber auch die Wirtschaft und jede einzelne Person einen Beitrag leisten, damit umweltschonender Güterverkehr nicht eine Vision des Umweltbundesamtes bleibt, sondern in weiten Teilen Realität wird.

Literaturverzeichnis

Allekotte, M; Bergk, F; Biemann, K; Deręgowski, C; Knörr, W; Althaus, H-J; Sutter, D; Bergmann, T (2020): Ökologische Bewertung von Verkehrsarten. Im Auftrag des UBA. Texte 156/2020. Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekologische-bewertung-von-verkehrsarten>

BDL – Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (2023): Bedeutung der Luftfracht für den Industriestandort Deutschland – Analyse der Warenstruktur und Entwicklung des Luftfrachtmarktes in Deutschland. Download unter: https://www.bdl.aero/wp-content/uploads/2023/09/230912_Studie-Luftfracht-digital.pdf

Belz, H; Follmer, R; Hölscher, J; Stieß, I; Sunderer, G; Birzle-Harder, B (2022): Umweltbewusstsein in Deutschland 2020. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz und des UBA. Berlin/Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbewusstsein-in-deutschland-2020>

Bernecker, T; Bramme, M; Fichert, F; Burg, R; Röhling, W (2021): Gesamtkonzept für eine umweltorientierte Organisation und Institutionalisierung einer verkehrsträgerübergreifenden Infrastrukturfinanzierung in Deutschland (GUIDE). Im Auftrag des UBA. Texte 153/2021. Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gesamtkonzept-fuer-eine-umweltorientierte>

Biemann, K; Bolte, V; Fehrenbach, H; Heidt, C; Spathelf, F; Kirsch, D; Bernsmann, A; Gade, A; Horstmann, K (2024a, im Erscheinen): Lokaler, nationaler und internationaler umweltschonender Güterverkehr – Transformationsdialog und UBA Forum mobil und nachhaltig. Im Auftrag des UBA. Dessau-Roßlau.

Biemann, K; Dobers, K; Jarmer, J-P; Knörr, W (2024b): Treibhausgasemissionen im Transportsektor – Leitfaden zur ISO 14083. Im Auftrag des UBA. Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgasemissionen-im-transportsektor>

Biemann, K; Helms, H; Münter, D; Liebich, A; Pelzeter, J; Kämper, C; Müller, J (2024c): Analyse der Umweltbilanz von Kraftfahrzeugen mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen auf dem Weg zu einem treibhausgasneutralen Verkehr. Im Auftrag des UBA. Texte 13/2024. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/analyse-der-umweltbilanz-von-kraftfahrzeugen>.

Blechtschmidt, J; Reher, J; Thaller, C; Liedtke, G; Kotzagiorgis, S; Jödden, C; Sauer, A; Führer, M (2022): Handlungsoptionen für eine ökologische Gestaltung der Transportmittelwahl im Güterfernverkehr. Im Auftrag des UBA. Texte 50/2022. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/handlungsoptionen-fuer-eine-oekologische-gestaltung>

BMDV – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2022a): Beschleunigungskommission Schiene – Abschlussbericht; Berlin. BMDV (Hrsg.). Download unter: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/abschlussbericht-beschleunigungskommission-schiene.pdf>

BMDV – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2022b): Studie zur Prüfung einer Förderung für kleinere und/oder konstruktiv optimierte Binnenschiffe. BMDV (Hrsg.). Download unter: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/WS/studie-kleine-binnenschiffanlage-fassung.pdf?__blob=publicationFile

BMDV – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2023): Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose 2021 – 2022, Ergebnisbericht zur Prognose 2022 „Absehbarer Weg“. Intraplan Consult GmbH, TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH, BMDV (Hrsg.). Download unter: https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose.pdf?__blob=publicationFile

Boeing (2022): World Air Cargo Forecast 2022 – 2041. Download unter: https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeingdotcom/market/assets/downloads/Boeing_World_Air_Cargo_Forecast_2022.pdf.

Bopst, J; Herbener, R; Hölzer-Schopohl, O; Lindmaier J; Myck, T; Weiß, J (2019): Umweltschonender Luftverkehr. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-11-06_texte-130-2019_umweltschonender_luftverkehr_0.pdf

BS-Drs. – Bürgerschaftsdrucksache 22/5939 (05.10.2021): Urbane Logistik Hamburg – Strategie für die Letzte Meile. Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg. Download unter: <https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/77388/>

Burger, A und Bretschneider, W (2021): Umweltschädliche Subventionen in Deutschland. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltschaedliche-subventionen-in-deutschland-0>

Campbell, M; Eyton, E; MacLean, G; Pons, A; Scarbrough, T; Vasileiadis, N; Wan, J; Endresen, Ø; Helgesen, H; Longva, T; Nakstad, I S; Sekkesæter, Ø; Skåre, O G; Arntzen Slotvik, D A (2023): Study on the readiness and availability of low-and zero-carbon technology and marine fuels. DNV und Ricardo. Veröffentlicht unter MEPC 80/INF.10. Download unter: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/FFT%20Project/MEPC80-INF.10%20-%20Summary%20report%20on%20the%20study%20.PDF>

Comer, B und Carvalho, F (2023): IMO's newly revised GHG strategy: what it means for shipping and the Paris Agreement. BLOG. International Council for Clean Transportation. Download unter: <https://theicct.org/aligning-the-imos-greenhouse-gas-fuel-standard-with-its-ghg-strategy-and-the-paris-agreement-jan24/>

Dahlmann, K; Matthes, S; Plohr, M; Niklaß, M; Scheelhaase, J D; Wozny, F (2023): Klimawirkung des Luftverkehrs. Im Auftrag des UBA. Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimawirkung-des-luftverkehrshttps://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimawirkung-des-luftverkehrs>

DG MARE – Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries (2023): News Article. BlueInvest supports '13 Mari' innovation for fuel efficiency. Download unter: https://oceans-and-fisheries.ec.europa.eu/news/blueinvest-supports-13-mari-innovation-fuel-efficiency-2023-08-18_en.

Destatis – Statistisches Bundesamt (2024): Transport und Verkehr: Güterverkehr. Stand 03/2024. Download unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/_inhalt.html

- Faber J; Nelissen, D; Hon, G; Wang, H; Tsimplis, M** (2012): Regulated Slow Steaming in Maritime Transport. CE Delft and ICCT. Delft. Download unter: https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/CE_Delft_7442_Regulated_Slow_Steaming_Maritime_Transport_DEF.pdf
- Faber, J; Huigen, T; Nelissen, D** (2017): Regulation speed: a short-term measure to reduce maritime GHG emissions. CE Delft. Delft. Download unter: <https://cedelft.eu/publications/regulating-speed-a-short-term-measure-to-reduce-maritime-ghg-emissions/>
- Faber J; van Seters, D; Scholten, P** (2023): Shipping GHG emissions 2030. CE Delft. Delft. Download unter: https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2023/06/CE_Delft_230208_Shipping_GHG_emissions_2030_Def.pdf
- Graichen, J und Ludig, S** (2024): Supply and demand in the ETS 2. Im Auftrag des UBA. Texte 09/2024. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/supply-demand-in-the-ets-2>
- Harthan, R O und Förster, H; et al.** (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland. Im Auftrag des UBA. Climate Change 39/2023. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projektionsbericht-2023-fuer-deutschland>
- IATA – International Air Transport Association** (2023): IATA's Chart of the Week: Uneven recovery trends in air cargo traffic and capacity. Download unter: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/uneven-recovery-trends-in-air-cargo-traffic-and-capacity/>
- ICS – International Chamber of Shipping (o. J.)**: Shipping and world trade: driving prosperity. Stand: 01.08.2023. Download unter: <https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/shipping-and-world-trade-driving-prosperity/>
- IMO – International Maritime Organization** (2017): International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code). Download unter: <https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/polar-code.aspx>
- IMO – International Maritime Organization** (2020): Fourth IMO GHG Study. London. Download unter: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>
- ITF – International Transport Forum** (2023): ITF Transport Outlook 2023. Download unter: <https://doi.org/10.1787/b6cc9ad5-en>
- Lambrecht, M; Berschin, F; Böttger, C; Hecht, M; Weigand, W; Holzhey, M; Petersen, T; Thalhofer, C** (2022): Empfehlungen für eine neue Bahnpolitik; Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/empfehlungen-fuer-eine-neue-bahnpolitik>
- Leerkamp, B; Thiemermann, A; Schlott, M; Holthaus, T; Aichinger, W; Wittenbrink, P** (2020): Liefern ohne Lasten. Im Auftrag von Agora Verkehrswende. Berlin. Download unter: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2019/Staedtischer-Gueterverkehr/Agora-Verkehrswende_Liefern-ohne-Lasten.pdf
- Lindstad, E; Polić, D; Rialland, A; Sndaas, I; Stokke T** (2022): Decarbonizing bulk shipping combining ship design and alternative power. Ocean Engineering 266 (2022) 112798. Download unter: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112798>
- Lünenbürger, B; Purr, K; Schultz, K** (2023): Ambitionierter Klimaschutz: Fallstricke und Bedingungen des Gelingens. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ambitionierter-klimaschutz-fallstricke-bedingungen>
- Metzler, U** (2013): Letzte-Meile-Logistik. In: Clausen, U; Geiger, C (Hrsg.), Verkehrs- und Transportlogistik. 2. Aufl. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. S. 287 – 288.
- Opitz, M; Rosentritt, S; Schwemmer, M; Allekotte, M; Dünnebeil, F; Jöhrens, J; Kämper C; Brauer, C; Köhler, J; Bernsmann, A; Kirsch, D** (2024, im Erscheinen): Umwelt- und Klimaschutz in der Logistik. Im Auftrag des UBA. Dessau-Roßlau.
- Schäfer, P; Bierwirth, B; Väth, J; Uhing, K** (2019): Analyse des Wirtschaftsverkehrs in der Innenstadt der Landeshauptstadt Wiesbaden. Frankfurt/Main. Download unter: https://www.frankfurt-university.de/fileadmin/standard/Hochschule/Fachbereich_1/FFin/Neue_Mobilitaet/Veroeffentlichungen/2019/Analyse_des_Wirtschaftsverkehrs_in_der_Innenstadt_der_Landeshauptstadt_Wiesbaden.pdf
- Stiehm, S; Wardenburg, S; Gade, A; Kirsch, D; Zelasny, D; Dragon, D** (2021): HANDBUCH: Mikro-Depots im interkommunalen Verbund. Teil 2 Vom Konzept zur Umsetzung. Im Auftrag der IHK Mittlerer Niederrhein. Download unter: <https://mittlerer-niederrhein.ihk.de/de/media/pdf/verkehr/mikro-depots-handbuch-teil-2.pdf>
- Stütz, S und Clausen, U** (2022): Urbane Logistik. In Trojahn, S; Dittrich, I; Frindik, R (Hrsg.) Grundlagen der Logistik. Theorie und Praxis logistischer Systeme. 5. Auflage. Huss-Verlag. S. 413 – 448.
- Tol, D; Frateur, T; Verbeek, M; Riemersma, I; Mulder, H** (2022): Techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in Europe. Agora Verkehrswende (Hrsg.). TNO. Download unter: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Veranstaltungen/2022/Elektrische-Lkw/TNO_2022_R11862_Techno-economic_uptake_potential_of_zero-emission_trucks_in_Europe.pdf
- UBA – Umweltbundesamt** (2019): Wohin geht die Reise. Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/wohin-geht-die-reise>
- UBA – Umweltbundesamt** (2024): Daten und Rechenmodell Transport Emission Model „TREMOM“, Version 6.51.
- Veres-Homm, U; Wojtech, A; Richter, F; Becker, T; Lißner, S; Schmidt, W; Nehm, A; Grashoff, C** (2019): Regional konsolidierte Gewerbeflächenentwicklung (RekonGent). Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Erstellt im Rahmen des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020. Texte 21/2019. Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/regional-konsolidierte-gewerbeflaechenentwicklung>
- Veres-Homm, U; Cäsar, E; Nehm, A; Grashoff, C.; Richter, F; Becker, U;** (2020): Regional konsolidierte Gewerbeflächenentwicklung. Leitfaden. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Erstellt im Rahmen des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020. Umweltbundesamt (Hrsg.). Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba-fachbroeuere_regional-konsolidierte-entwicklung-gewerbeflaechen.pdf



► **Unsere Broschüren als Download**
Kurzlink: bit.ly/2dowYYI