



## Klimaschutzinstrumente im Verkehr

# Hebel zur Gestaltung eines treibhausgas-neutralen und umweltschonenden Güterverkehrs

## Einleitung

Zwischen den Jahren 2010 bis 2019 haben sich die Marktanteile im Güterverkehr nicht wie erhofft verändert. Die Verkehrsleistung im **Schienengüterverkehr** ist in diesem Zeitraum zwar um 20,4 % gestiegen, im modalen Wettbewerb gegenüber dem Binnenschiff und insbesondere dem Lkw-Verkehr hat der Marktanteil jedoch nur um 1,5 Prozentpunkte zugenommen.<sup>1</sup> Dabei ist unklar, ob die Zunahme der Verkehrsleistung im Schienengüterverkehr aus einer höheren Nachfrage hervorgebracht wurde, oder ob es sich bei dem Wachstum auch um nennenswerte Verlagerungseffekte handelt. Zwar wurde in der Verkehrsprognose 2030 zwischen den Jahren 2010 und 2030 mit einem Wachstum von 1,8 % p.a. ein positiver Trend ausgewiesen, allerdings nur auf der Grundlage optimistischer Annahmen für den kombinierten Verkehr. Andernfalls würde das Wachstum deutlich geringer ausfallen und hinter der stark steigenden Nachfrage im Lkw-Verkehr zurückbleiben (1,7 % p.a.). In der Verkehrsprognose 2030 wird, abgesehen von den Effekten durch den kombinierten Verkehr, kaum eine Verlagerung sichtbar.<sup>2</sup>

Die Verkehrsleistung in der **Binnenschifffahrt** ist in den Jahren 2010 bis 2019 um 18,3 % zurückgegangen, der Modal Split um 2,6 %. Dies liegt u. a. an sich verändernden Gütergrößen und Warenwerten (Güterstruktureffekt), aber zunehmend auch an den Folgen des Klimawandels durch häufigere Niedrigwasserereignisse. Zukünftig wird die sinkende Nachfrage durch den Kohleausstieg das Verkehrssystem der Binnenschifffahrt zusätzlich unter Druck setzen.

Die Verkehrsleistung im **Lkw-Verkehr** hat in dem Zeitraum von 2010 bis 2019 um 13,2 % zugenommen, der Marktanteil um 1,3 Prozentpunkte. Insgesamt lag der Anteil des Lkw-Verkehrs vergleichsweise konstant bei über 70 % (BMDV 2022), unabhängig davon, welche Instrumente auf den Straßengüterverkehr einwirkten (z.B. Emissionsgrenzwerte oder Mautgebühren). Zwar sind die Antriebe deutlich energieeffizienter und schadstoffärmer geworden, die Einsparungen bei den Treibhausgasen wurden jedoch durch den absoluten Zuwachs der Verkehrsleistung teils aufgehoben.<sup>3</sup>

Bis zum Jahr 2030 müssen im Verkehr gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) die Treibhausgas-Emissionen um 48 % gegenüber dem Jahr 1990 gemindert werden. Bis zum Jahr 2045 soll der Gesamtverkehr treibhausgasneutral abgewickelt werden. Würde unter Einbeziehung der bisherigen Entwicklung der Verkehrsleistung der Status Quo fortgeschrieben werden, können die Klimaschutzziele der Bundesregierung nicht eingehalten werden. Im Jahr 2019 war der Güterverkehr für ca. 55 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. verantwortlich, die zu 98 % durch leichte und schwere Nutzfahrzeuge verursacht wurden (TREMOD 6.23).

Das vorliegende Kurzpapier skizziert Hebel, wie die Erreichung des Sektorziels 2030 für den Klimaschutz im Güterverkehr unterstützt werden kann. Ziel ist die langfristige Entwicklung eines treibhausgasneutralen Güterverkehrs. Bei der Frage, an welche Akteure sich die einzelnen

<sup>1</sup> BMDV 2022: Verkehr in Zahlen 2021/2022.

<sup>2</sup> BMVI (2014): Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2030.

<sup>3</sup> Allekotte et al. (2019): Ökologische Bewertung der Verkehrsarten.

Instrumente und Maßnahmen richten, wird deutlich, dass alle Beteiligten im System des Güterverkehrs eine tragende und wirkungsbezogene Rolle spielen und vor allem die Verknüpfung der Beiträge verschiedener Akteure erfolgreich ist. Für den notwendigen Strukturwandel dieser Größenordnung sind daher alle Stakeholder aufgefordert, zusammenzuarbeiten und gemeinsam im Dialog für zielführende Maßnahmen einzutreten. Richtungsgebend und von zentraler Bedeutung für diesen Dialog sind die drei Nachhaltigkeitsdimensionen, um die unterschiedlichen Bedarfe an sozialer Gerechtigkeit, wirtschaftlicher Tragfähigkeit und dem Umwelt- und Klimaschutz in eine zielorientierte Balance zu bringen.<sup>4</sup>

Die skizzierten Hebel beziehen sich zum einen auf politische Instrumente, wie Gesetze, Verordnungen und Förderprogramme, zum anderen auf unterstützende Maßnahmen. Aber auch grundsätzliche Vorschläge für einen Klimaschutzbezogenen Strukturwandel kommen flänierend in Betracht. Die Hebel sind im Einzelnen:

1. Der Einsatz alternativer Antriebe und postfossiler Kraftstoffe
2. Einbezug der Kosten für Treibhausgasemissionen
3. Die Gestaltung nachhaltiger Verkehrsnetze
4. Eine tiefgreifende digitale Modernisierung des Systems der Güterbahnen
5. Eine Unterstützung nachhaltiger Logistikkonzepte
6. Breiter und energieeffizienter Einsatz von digitalen Lösungen im Straßengüterverkehr
7. Die Neuerfindung der Binnenschifffahrt

## Hebel 1: Der Einsatz alternativer Antriebe und postfossiler Kraftstoffe

Elektromobilität im Güterverkehr ist in den meisten Bereichen die volkswirtschaftlich günstigste Lösung. Der Einsatz von stromgenerierten Kraftstoffen wie Power-to-Liquid (PtL) und Power-to-Gas (PtG) ist energieintensiv und teuer. Diese Kraftstoffe, die auch E-Fuels genannt werden, eignen sich v. a. für den internationalen Luft- und Seeverkehr, da hier die Elektromobilität als Alternative nach dem heutigen Stand der Technik nicht umsetzbar erscheint.<sup>5</sup>

Bei Pkw und Nutzfahrzeugen, die Wasserstoff in Brennstoffzellen nutzen, betrügen allein in Deutschland die volkswirtschaftlichen Mehrkosten für den Zeitraum von 2020 bis 2050 zwischen 540 Mrd. und 630 Mrd. Euro gegenüber der direkten Nutzung von Strom in Elektrofahrzeugen<sup>6</sup>. Wasserstoff ist demnach mit Abstand die kostenintensivste Option für alternative Antriebe im Straßenverkehr. Auch im Straßenfernverkehr, der vor allem aus dem Straßengüterfernverkehr besteht, ist Wasserstoff bis zum Jahr 2050 die teuerste Energieversorgungsoption<sup>7</sup>. Effizient ist demgegenüber aufgrund der geringen Mehrkosten eine möglichst weitgehende Elektrifizierung über batterie-elektrisch betriebene Lkw und Oberleitungs-Lkw (s. Diagramm 1). Die Anforderungen der verschiedenen Verkehrsmärkte (z.B. Lkw-Pendelverkehre, Fernverkehr, Verteilfahrten) an alternative Antriebe und Kraftstoffe beeinflussen die Umsetzungschancen und -geschwindigkeit und sollten in übergreifenden Fragen zu den Energieversorgungsoptionen berücksichtigt werden.

---

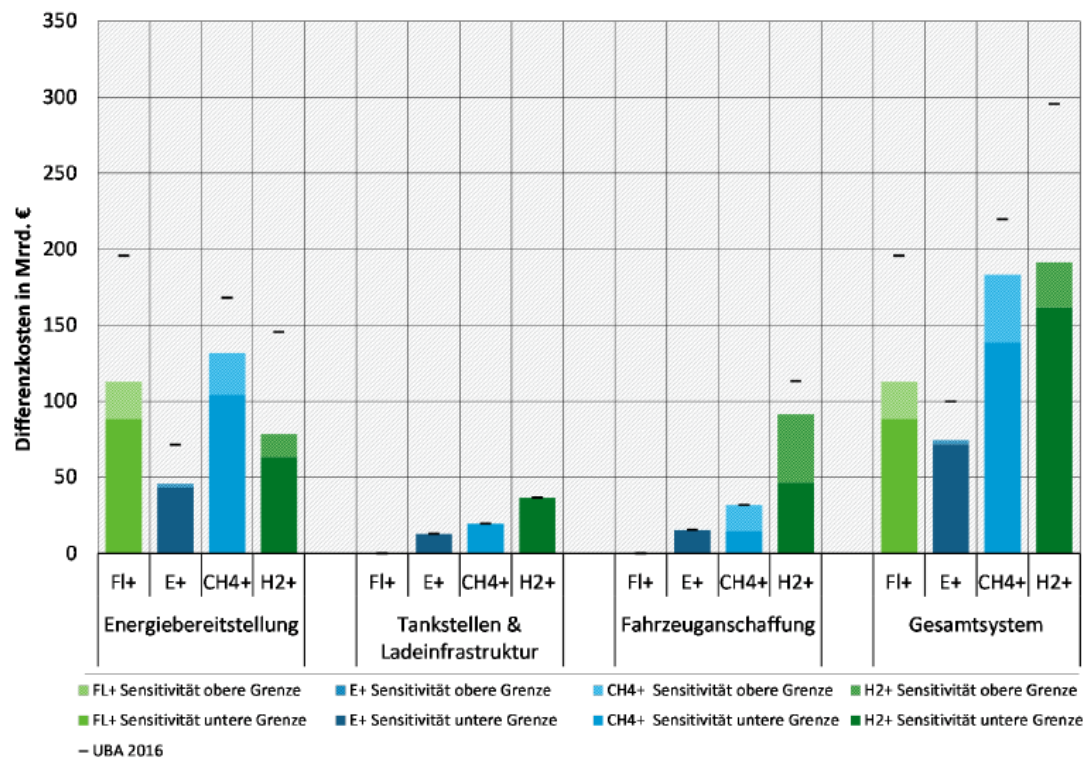
<sup>4</sup> Weiterführend zu den Dimensionen der Nachhaltigkeit: Deutscher Bundestag (1998): Drucksache 13/11200.

<sup>5</sup> Weiterführend: UBA (2021): Klimaschutzinstrumente im Verkehr – CO<sub>2</sub>-Standards Lkw

<sup>6</sup> Diese beinhaltet sowohl batterie-elektrische Antriebe als auch Antriebe, deren Energieversorgung über Oberleitungen erfolgt.

<sup>7</sup> Weiterführend: UBA o.J.: Wasserstoff im Verkehr: Häufig gestellte Fragen (FAQs).

**Diagramm 1: Straßenfernverkehr (Last- und Sattelzüge/Reisebusse): Differenzkosten der Sensitivätsbetrachtungen und der Ausgangsszenarien im Vergleich zum jeweiligen Referenzszenario für den Zeitraum 2020 bis 2050 (positiv: Mehrkosten)**



Szenarien mit zentralen THG-freien Energieträgeroptionen: FL+: Power-to-Liquid/strombasierte Flüssigkraftstoffe. E+: Elektrische Energie; CH4+: Strombasiertes synthetisches Methan. H2+: Strombasierter synthetischer Wasserstoff.

Quelle: [Mottschall et al. \(2019\)](#)

Den volkswirtschaftlichen Mehrkosten gegenüber dem Einsatz fossiler Kraftstoffe von 75 Mrd. Euro bis 190 Mrd. Euro durch den Einsatz alternativer Antriebe und Kraftstoffe im Straßenfernverkehr stehen jedoch Kosten für Klimafolgeschäden (ohne Luftschadstoffe) durch den Güterverkehr von rund 10,7 Mrd. Euro gegenüber; davon entfallen rund 10,5 Mrd. Euro (rd. 98 %) allein auf den Lkw-Verkehr. Diese Gegenüberstellung betont nicht nur die hohe Bedeutung einer klimaneutralen Energiebereitstellung und des Fahrzeugbetriebs, sondern zeigt eine Möglichkeit für eine (teilweise) Kompensation der volkswirtschaftlichen Mehrkosten durch den Einbezug der externen Umweltkosten in einer Übergangsphase zum treibhausgasneutralen Güterverkehr. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht könnte zudem der Einsatz von elektrischen Lkw (E-Lkw) bis zum Jahr 2030 günstiger sein als die Gesamtnutzungskosten konventioneller Lkw, sofern die externen Klimakosten auf mindestens 200 Euro/t CO<sub>2</sub> festgesetzt werden würden sowie die EEG-Umlage dauerhaft entfiel (Ökoinstitut et al. 2020; ifeu et al. 2022).

Für die Energiewende im Güterverkehr stellen CO<sub>2</sub>-Emissionsstandards (Grenzwerte) bei Lkw den wichtigsten Treiber dar.<sup>8</sup> Das UBA empfiehlt, die CO<sub>2</sub>-Flottenzielwerte für schwere Nutzfahrzeuge im Jahr 2030 auf -50 % gegenüber 2021 zu verschärfen (derzeit -30 %, Revision der EU-Verordnung ist für das Jahr 2022 vorgesehen). Zudem sind jährlich steigende CO<sub>2</sub>-Minderungsanforderungen für die Jahre zwischen 2025 und 2030 sinnvoll. Um die Klimaneutralität gemäß Klimaschutzgesetz bis zum Jahr 2045 zu erreichen, sollten die CO<sub>2</sub>-Emissionsstandards auf weitere Nutzfahrzeugklassen und Auflieger (bzw. Anhänger) ausgeweitet werden und im Zeitraum von 2035 bis zum Jahr 2038 keine Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor neu zugelassen werden, um bis zum Jahr 2045 die Klimaneutralität im

<sup>8</sup> UBA (2021): Klimaschutzinstrumente im Verkehr – [CO<sub>2</sub>-Standards Lkw](#)

Schwerverkehr zu erreichen. Außerdem sollte politisch der Aus- und Aufbau der notwendigen Infrastruktur forciert werden, sodass frühzeitig Oberleitungen und ausreichend Lademöglichkeiten für Lkw („Megawatt-Laden“) zur Verfügung stehen.

## Hebel 2: Einbezug der Kosten für Treibhausgasemissionen

Das UBA geht von externen Kosten für Klimafolgeschäden i. H. v. 195 Euro je Tonne CO<sub>2</sub> für das Jahr 2020, und 215 Euro für das Jahr 2030 aus. Dies entspricht beispielsweise zusätzlichen Kosten durch Treibhausgase von rund 1,4 Cent pro Tonnenkilometer (15,4 Cent je Fahrzeugkilometer) für schwere Lkw (28t-40t zulässigem Gesamtgewicht) und 0,04 Cent pro Tonnenkilometer (19,1 Cent je Fahrzeugkilometer) für Güterzüge für das Jahr 2025 (vgl. Tabelle 1).<sup>9</sup> Der Einbezug der Klimakosten als Maut-Komponente kann eine Verkehrsverlagerung unterstützen, indem die Kosten zwischen dem Lkw-Verkehr und dem Schienengüterverkehr stärker angeglichen werden.<sup>10</sup>

**Tabelle 1: Externe Kosten für Klimafolgeschäden für schwere Nutzfahrzeuge und Güterzüge**

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<b>Lkw Fzgkm</b>	14,95	15,10	15,25	15,40	15,55	15,70	15,85	16,00	16,15
<b>Lkw tkm</b>	1,39	1,40	1,42	1,43	1,45	1,46	1,47	1,49	1,50
<b>Bahn Fzgkm</b>	18,53	18,72	18,91	19,09	19,28	19,46	19,65	19,84	20,02
<b>Bahn tkm</b>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

(195 Euro je Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalente für das Jahr 2020).

Quelle: UBA (2020a): Methodenkonvention 3.1, eigene Berechnung.

Die Transportmittel im Güterverkehr sind, in Abhängigkeit verschiedener Marktsegmente, besonders preis- und konjunktursensibel. Bereits geringe Preisänderungen können zu deutlichen Nachfrageänderungen führen. Die Bedeutung der Preisänderungen zeigt Tabelle 2 mit Preiselastizitäten in verschiedenen Marktsegmenten des Güterverkehrs. Die dargestellten Werte geben die prozentuale Veränderung der Nachfrage bei einer prozentualen Preisänderung wieder. Dabei zeigt sich deutlich, dass der Schienen- und Binnenschiffverkehr i.d.R. erheblich preissensibler ist als der Straßenverkehr. Würde der Preis für Transporte aus dem Segment „Steine und Erden“ beispielsweise um 10 % steigen, würde der Schienenverkehr rund 27,8 % Nachfrage verlieren ( $10\% \cdot (-2,78)$ ), die Nachfrage im Lkw-Verkehr nur um rund 1,5 % ( $10\% \cdot (-0,15)$ ). Der Einbezug der Klimakosten könnte daher einen wichtigen Beitrag für eine Verkehrsverlagerung leisten, wenn sich die Kosten zwischen Lkw, Bahn und Binnenschiff durch den Einbezug der Klimakosten annähern, da die Preiselastizität auch für Preissenkungen gilt.

Neben dem Verlagerungsdruck können die externen Kosten auch dazu führen, dass Nutzfahrzeuge mit alternativen Antrieben und insbesondere E-Lkw in der Betrachtung der Gesamtkosten günstiger sind als konventionelle Lkw. Diese Entwicklung könnte dazu beitragen, dass Güterverkehre auch bei einer nahezu treibhausgasneutralen Abwicklung noch wirtschaftlich tragfähig wären, wenn keine Klimakosten mehr erhoben werden können (vg. ifeu et al. 2022).

Die Integration einer umfassenden CO<sub>2</sub>-Komponente in die Lkw-Maut könnte im Einklang mit der EU-Wegekostenrichtlinie ab dem Jahr 2023 umgesetzt werden. Über einen Rückerstattungsmechanismus aus der aktuellen CO<sub>2</sub>-Komponente in Kraftstoffen (BEHG) könnte

<sup>9</sup> Weiterführend: UBA (2020a): Methodenkonvention 3.1.

<sup>10</sup> Weiterführend: Sutter et al. (2016): Finanzierung einer nachhaltigen Güterverkehrsinfrastruktur.

damit eine doppelte Gebührenerhebung vermieden werden.<sup>11</sup> Um das volle Potenzial der Lkw-Maut mit CO<sub>2</sub>-Komponente auszuschöpfen, sollte die Mautpflicht auf allen Straßen und für Nutzfahrzeuge ab 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht gelten.<sup>12</sup> Gleichzeitig sollte die Energiesteuer für Diesel-Kraftstoff schrittweise auf das Niveau der Energiesteuer für Benzin angehoben werden. Dadurch werden den Kostenunterschieden zwischen straßen- und schienengebundenen Güterverkehr zusätzlich entgegengewirkt und weitere Anreize zur Verkehrsverlagerung und einem Umstieg auf treibhausgasneutrale Antriebe geschaffen.

**Tabelle 2: Preiselastizitäten der Verkehrsmittel differenziert nach Marktsegmenten**

Marktsegmente	Straße	Schiene	Binnenschiff
Maritimer KV	-0,80	-1,40	-1,62
Kontinentaler KV	-0,49	-1,30	-1,68
100 Tonnen und mehr	-2,90	-4,25	-4,02
Nahrung	-0,02	-2,40	-2,32
Steine, Erden	-0,15	-2,78	-2,92
Mineralölerzeugnisse	-0,28	-1,90	-2,18
Chemie, Düngemittel	-0,19	-2,48	-2,66
Metalle	-0,10	-1,60	-1,66
Fahrzeuge/ Maschinen	-0,03	-1,51	-1,51
Sonstige Produkte	-0,05	-1,55	-1,60

Quelle: Jödden; Kotzagiorgis; Thaller et al. (2022)

Eine gezielte Verwendung der Einnahmen aus dem Einbezug der Klimakosten kann darüber hinaus die Umsetzung einer Energiewende im Verkehr und einer Verkehrswende unterstützen. Dafür müssten Finanzierungsmodelle, z. B. Fonds, entwickelt werden, die den Finanzierungsansprüchen einer Energiewende im Verkehr einerseits, und den Gestaltungsansprüchen an eine attraktive und leistungsfähige Verlagerungsinfrastruktur (Schiene, Wasserstraße) andererseits, gerecht werden.<sup>13</sup> Dabei ist es von entscheidender Bedeutung, wie die Finanzierungsmodelle auf die sinkenden Treibhausgasemissionen bzw. sinkenden Einnahmen durch die Bepreisung externer Umweltkosten umgestaltet werden müssen. Ziel muss es sein auch in einer treibhausgasneutralen Abwicklung des Güterverkehrs eine hochwertige Verlagerungsinfrastruktur finanzieren zu können.<sup>14</sup> Bis die Finanzierungsmodelle durch den vollständigen Einbezug der externen Umweltkosten und Nutzungsgebühren jedoch selbsttragend greifen, erscheint es derzeit notwendig, Maßnahmen der Verkehrsnetzgestaltung, der Beladungs- und Betankungsinfrastruktur sowie der Förderung klimaneutraler Fahrzeuge weiterhin aus haushalterischen Mitteln zu finanzieren. Ist der neue Finanzierungsrahmen jedoch gespannt, könnten u.a. auch die nachfolgenden Hebel mit den erforderlichen Mitteln unterstützt werden.

<sup>11</sup> Weiterführend: UBA (2021a): Klimaschutzinstrumente im Verkehr – Fahrleistungsabhängige Lkw-Maut.

<sup>12</sup> Weiterführend: UBA (2021b): Klimaschutzinstrumente im Verkehr – CO<sub>2</sub>-Preis im Verkehrssektor.

<sup>13</sup> Weiterführend: Bernecker/Fichert et al. (2021): Gesamtkonzept Infrastrukturfinanzierung (GUIDE).

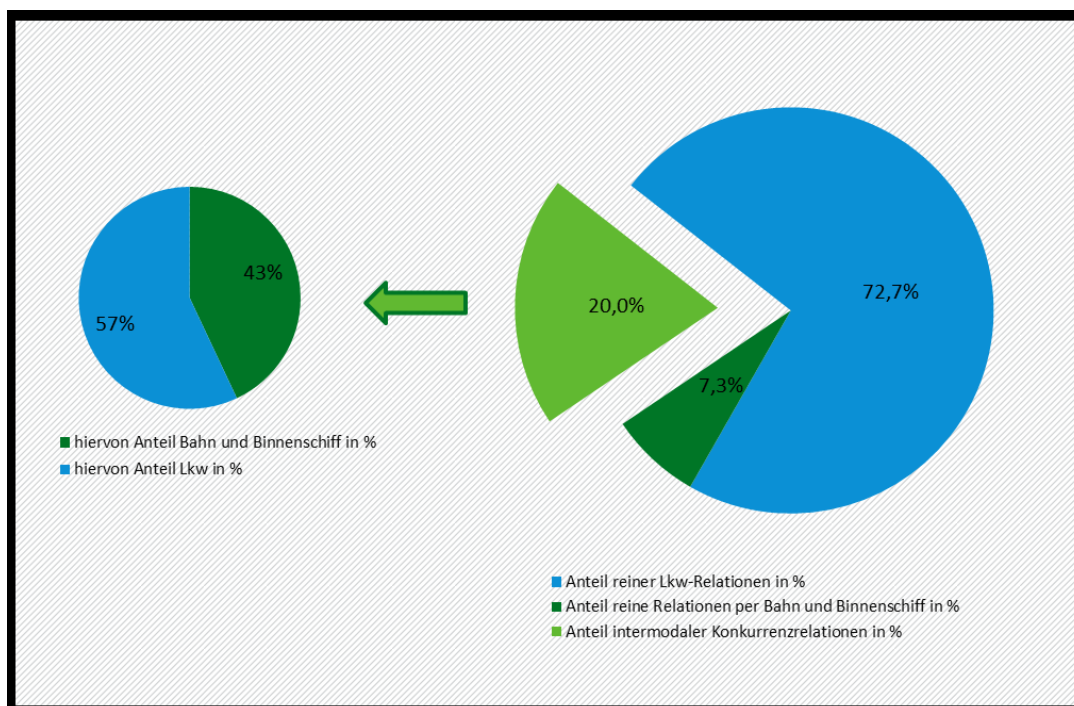
<sup>14</sup> Weiterführend: Blanck et al. (2020): Klimaschutz im Verkehr: Reformbedarf der fiskalischen Rahmenbedingungen und internationale Beispiele.



### Hebel 3: Die Gestaltung nachhaltiger Verkehrsnetze

Für eine Verkehrswende im Güterverkehr ist das infrastrukturelle Angebot im Schienennetz eine zwingende Voraussetzung. Eine direkte relationsbezogene Konkurrenz zwischen dem Straßengüterverkehr auf der einen Seite und dem Schienen- und Binnenschiffsverkehr auf der anderen Seite, besteht jedoch nur in 20 % der Strecken. Der Schienengüterverkehr und das Binnenschiff haben auf diesen 20 % der Strecken bzw. Quell-Zielverbindungen bereits einen Anteil des Güteraufkommens von 43 % erreicht (vgl. Diagramm 2). Um den Anteil von Bahn und Binnenschiff zu erhöhen, müssen daher fehlende streckenbezogene Konkurrenzen systematisch und bedarfsgerecht entwickelt werden, beispielsweise zwischen bedeutungsvollen Aufkommensschwerpunkten im Güterverkehr.<sup>15</sup>

**Diagramm 2: Relationen mit intermodaler Verkehrsträgerkonkurrenz im Jahr 2010**



Quelle: Jödden; Kotzagiorgis; Thaller et al. (2022)

Da die „zentralen Orte des Güterverkehrs“ räumlich stark vom Zentrale-Orte-Konzept der Raumordnung bzw. dem Personenverkehr abweichen, müssen in einem ersten Schritt besonders bedeutsame Orte des Güterverkehrs systematisch abgeleitet werden.<sup>16</sup> In einem zweiten Schritt können im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung insbesondere diejenigen Projektvorschläge hoch priorisiert werden, die zu einer Verbesserung der Verbindungsqualität zwischen den Aufkommensschwerpunkten für alle Verkehrsträger beitragen. Bei knappen Mitteln kann auf diesem Wege auch der Verkehrsträger Schiene gegenüber der Straße bevorzugt bzw. priorisiert werden, sofern es sich nicht um Erhalt- oder Ersatzinvestitionen in das

<sup>15</sup> In Anlehnung an die „Richtlinien für integrierte Netzgestaltung“ (RIN 08 der FGSV).

<sup>16</sup> Ausgangspunkt könnte hier die anstehende Strukturdatenprognose 2040 des BMDV einschl. ihrer differenzierten Verkehrszellen sein. Ggf. lassen sich über Zentralwerte (z.B. Median) der Aufkommen (t), Logistikbeschäftigten (z.B. Berufshauptgruppen 51/52 KldB 2010), Anteile im (multimodalen) Umschlag im Fernverkehr sowie mittleren Transportweiten weitere Hinweise auf eine Verteilung der Zentralen Orte im Güterverkehr finden. Wichtig wäre hier sicherlich auch die zukünftige Entwicklungsrichtung einzelner Indikatoren (Prognosewerte) in den einzelnen Verkehrszellen, die aufgrund der räumlichen oder verkehrlichen Zusammenhänge ggf. wieder zusammengefasst werden könnten.

Fernstraßennetz handelt. Dieses Konzept trägt durch die Entwicklung leistungsfähiger Verkehrsträgeralternativen und darüber hinaus zu einer erhöhten Resilienz im Transportwesen bei und kann in Folge dessen bei verschiedenen Krisenereignissen zur Aufrechterhaltung von Lieferketten führen.

Das Umweltbundesamt schlägt vor, die verkehrsträgerübergreifende (integrierte) Verkehrsnetzgestaltung in einer Organisation zusammenzuführen.<sup>17</sup> Diese Organisation kann in einem weiteren Schritt verschiedene Finanzierungskreisläufe verwalten, die aus Straßennutzungsgebühren und externen Umweltkosten gespeist werden (vgl. Abbildung 1). Dieses Finanzierungssystem kann gleichzeitig über eine gebührenfinanzierte Umweltkomponente die Errichtung einer Ladeinfrastruktur entlang der Bundesfernstraßen finanzieren und die Planungen koordinieren. Denkbar wäre zudem die Installation eines Verkehrsmanagements im Gesamtnetz, um die Kapazitäten im Bestandsnetz bestmöglich auszunutzen.

**Abbildung 1: Drei Reformhebel für eine Neuausrichtung der Bundesverkehrswegeplanung**



Quelle: UBA (2022a)

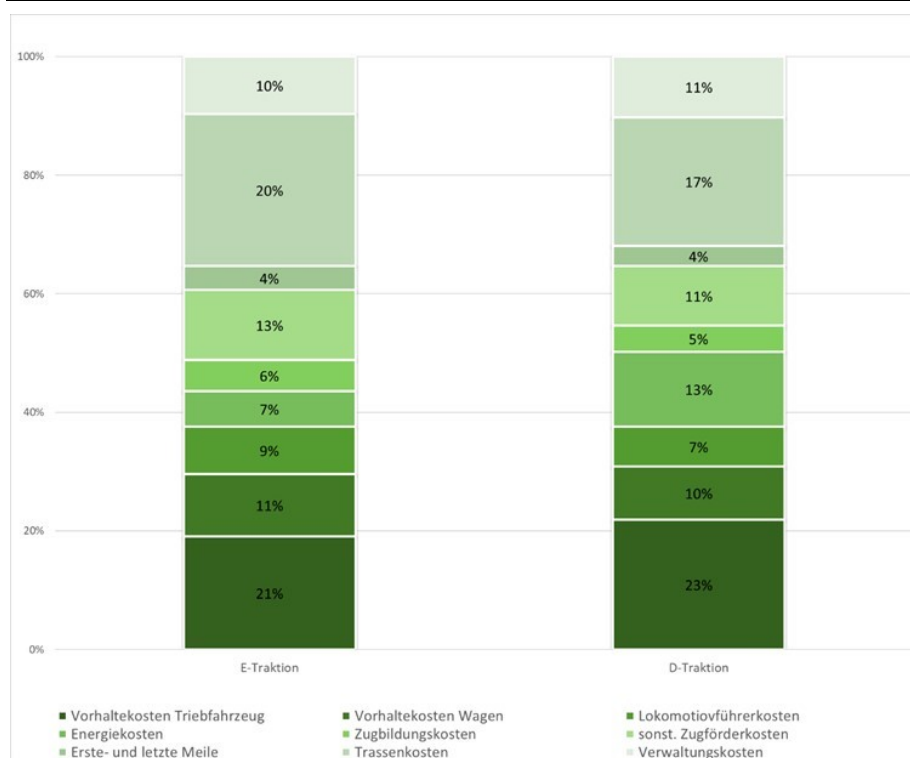
<sup>17</sup> Weiterführend: UBA (2022): Klimaschutzinstrumente im Verkehr – Finanzierung und Planung der Verkehrsinfrastruktur auf Bundesebene – Reformhebel für eine klima- und umweltschutzorientierte Bundesverkehrswegeplanung nach 2030.

## Hebel 4: Eine digitale Modernisierung des Systems der Güterbahnen

Der überwiegende Teil der Transporte in Deutschland verfügt über Transportdistanzen unter 200 km (75 %) bzw. einem Sendungsgewicht von bis zu 30 t (85 %).<sup>18</sup> Auf diesen vergleichsweise kurzen Transportdistanzen mit eher geringen Sendungsgrößen ist der Schienengüterverkehr gegenüber dem Lkw-Verkehr aktuell kaum wettbewerbsfähig; die Kosten für kleine Sendungsgrößen mit einer Transportdistanz von 200 km würden etwa 100 EUR je Tonne über den Kosten im Schwerverkehr liegen (ebd.). Die Mehrkosten für Umschlag, Vor- und Nachlauf betragen im konventionellen Schienengüterverkehr 25 Euro je Tonne und 450 Euro je Ladeeinheit (z. B. Seecontainer) im kombinierten Verkehr.

Durch die „Richtlinie zur Förderung des kombinierten Verkehrs“ und die „Gleisanschluss-Richtlinie“ des Bundes sollen zumindest die Kosten für die Errichtung von Umschlagknoten unterstützt werden, um den Zugang zum Schienengüterverkehr zu unterstützen. Die Trassenpreisförderung konnte zudem die Betriebskosten im Schienengüterverkehr um 17 % bis 20 % senken und sollte daher fortgesetzt werden (vgl. Diagramm 3). Bei einem Kostensatz für Treibhausgasemissionen von 0,04 Cent je Tonnenkilometer im Schienengüterverkehr und 1,4 Cent im Lkw-Verkehr würden bei einem Sendungsgewicht von 30 Tonnen und einer Transportdistanz von 200 km im Schwerverkehr zusätzlich rund 82 Euro anfallen.<sup>19</sup> Die deutlich höheren Klimakosten im Lkw-Verkehr tragen jedoch nur begrenzt zur Angleichung der relativen Kostenunterschiede zwischen Schiene und Straße bei und können die Mehrkosten der Güterbahn von 100 Euro je Tonne (bei 200 km) und den Kosten für Umschlag, Vor- und Nachlauf nicht kompensieren.

**Diagramm 3: Bedeutung der einzelnen Kostenkomponenten im Schienengüterverkehr differenziert nach Elektro- und Dieseltraktion (ohne Umschlagkosten)**



Quelle: Jödden; Kotzagiorgis; Thaller et al. (2022)

<sup>18</sup> Jödden; Kotzagiorgis; Thaller et al. (2022): Handlungsoptionen für eine ökologische Gestaltung der Transportmittelwahl im Güterfernverkehr

<sup>19</sup> UBA (2020a): Methodenkonvention 3.1.



Das System Schienengüterverkehr hat, zusätzlich zu den Kostenunterschieden, im großen Markt geringer Sendungsgrößen und kürzerer Transportdistanzen zudem gravierende Nachteile bei den Ansprüchen an Zuverlässigkeit und Flexibilität von Transporten. Diese Ansprüche wiegen im Güterverkehr i. d. R. schwer und haben in einigen Fällen eine größere Bedeutung als die Transportkosten. Die Gründe für diese Systemnachteile sind vielschichtig: Unter anderem die fehlende Echtzeitverfolgung einzelner Sendungen für die Koordination der Anschlüsse sowie dem Vor- und Nachlauf, zeitintensive Kuppelvorgänge und Brems tests bei der Zugbildung, begrenzte Betriebszeiten und teils geringe Abfahrtsfrequenzen an Umschlagpunkten, Konflikte in der Trassennutzung, fehlende Elektrifizierung und Störstellen im Schienennetz.

Eine tiefgreifende Digitalisierung des Systems Güterbahn greift alle drei Systemnachteile, also Kosten, Zuverlässigkeit und Flexibilität, auf. Ausgangspunkt ist dabei die Einführung der digitalen automatischen Kupplung (DAK) einschließlich automatisierter Bremsprobe, um Kosten und Zeit zu sparen. In Kombination mit einer vollständigen Automatisierung der Umschlagvorgänge können mittel- oder langfristig zusätzlich Kosten eingespart werden. Es ist denkbar, dass durch eine Digitalisierung der Betriebsabläufe im Umschlag und in der Zugbildung bis zu 50 % der Umschlagkosten eingespart werden (Jödden; Kotzagiorgis; Thaller et al. 2022). Gleichzeitig könnten mit digitalen Lösungen die Betriebszeiten ausgeweitet und neue Möglichkeiten eröffnet werden, auch kurzfristige Transporte annehmen zu können. Zudem können die Anschlüsse am nächsten Umschlagpunkt, insbesondere im kombinierten Verkehr, durch eine Echtzeitverfolgung optimiert werden, um die Transportkette zu stabilisieren. Digitale Buchungsplattformen können diese Optimierungslösungen für das System der Güterbahnen zusätzlich unterstützen, um neue Marktsegmente zu gewinnen.

Neben der Digitalisierung von Transportketten im Schienengüterverkehr kann zukünftig jedoch auch der Zugbetrieb selbst umfassend durch digitale Lösungen modernisiert werden. Da an einigen Relationen im Schienengüterverkehr – z. B. aufgrund topografischer bzw. siedlungsstruktureller Einschränkungen – kein Ausbau des Schienennetzes möglich ist, müsste das bestehende Netz bestmöglich ausgenutzt werden. Mit dem Zugbeeinflussungssystem ETCS<sup>20</sup> wird die Aussicht verbunden, die Abstände zwischen Zügen so zu optimieren, dass die Kapazitäten der Bahntrassen nennenswert erhöht werden können („Blockverdichtung“). ETCS ist gleichzeitig ein zentraler Bestandteil zur Harmonisierung bzw. zur Interoperabilität im grenzüberschreitenden Schienengüterverkehr. Diese Blockverdichtung sollte daher in allen relevanten Verbindungen des gesamten Schienenverkehrs zur Anwendung kommen, um das maximale Potenzial ausschöpfen zu können (vgl. Hebel 3: Netzgestaltung). Bisher haben die besonders hohen Kosten einer Um- bzw. Ausrüstung mit ETCS einen breiten Einsatz im Schienenverkehr verhindert, daher wären Überlegungen für kostengünstige technologische Alternativen für die Umsetzung einer Blockverdichtung wichtig.

Für eine gelingende Verkehrswende im Güterverkehr müssten die digitalen Lösungen im Schienengüterverkehr gefördert werden, sowohl im Bereich der Forschung und Entwicklung, als auch in der breiten Umsetzung von Maßnahmen der Digitalisierung und Automatisierung. Darüber hinaus kann die Marktreichweite des Schienengüterverkehrs erhöht werden, wenn passende Antriebslösungen für nicht-elektrifizierte Streckenabschnitte, meist an den Quell- oder Zielorten, gefunden werden. Die Anschaffung von Last-Mile-, Dual-Mode- und Hybridloks wird bereits gefördert, um eine Energiewende im Schienengüterverkehr zu unterstützen.<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> ETCS ab Level 2.

<sup>21</sup> Vgl. „Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe im Schienenverkehr“ des BMVI i.d.F.v. 03.02.2021.

## Hebel 5: Eine Unterstützung nachhaltiger Logistikkonzepte

Eng verbunden mit digitalen Lösungen sind nachhaltige Logistikkonzepte, die bereits bei der Wertschöpfungskette ansetzen. Dabei unterscheiden sich die denkbaren Maßnahmen einer nachhaltigen Logistik z. T. nach Wirtschaftszweig, Unternehmensgröße, Transportweiten sowie Losgrößen und Gutarten (Ladungsträgern). Zur Gestaltung einer nachhaltigen Logistik ist es daher wichtig, geeignete Maßnahmen und ihre Wirkungen auf Umwelt und Klima unter diesen Rahmenbedingungen in eine Systematik für nachhaltige Logistikkonzepte zu überführen. Besonders wirkungsvolle Maßnahmen sollten ggf. in eine Förderkulisse eingebettet werden.<sup>22</sup>

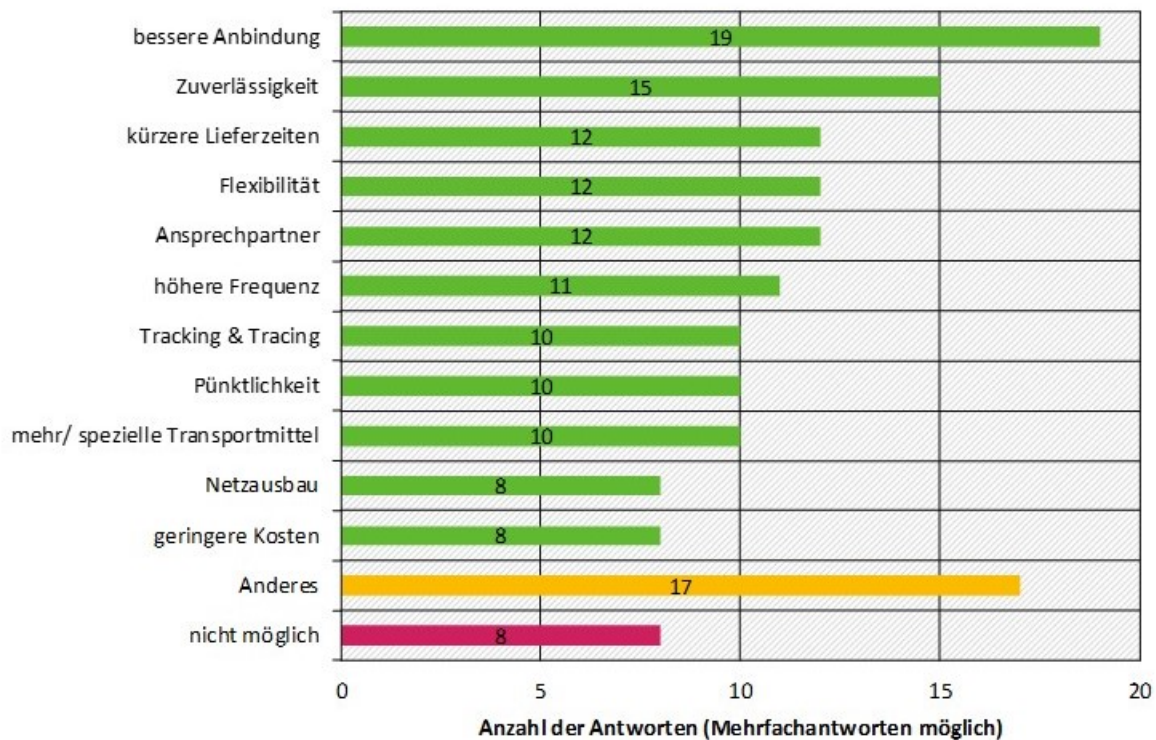
Neben den umweltorientierten Logistikkonzepten spielen die Entscheidungsparameter der Transporteure und insbesondere der verladenden Wirtschaft für (oder gegen) eine klimaverträgliche Verkehrsmittelwahl eine zentrale Rolle in einer Verkehrswende im Güterverkehr. Dabei sind die Transportkosten oft nicht allein ausschlaggebend bei der Entscheidungsfindung zum Transportmodus. Auch der Zugang zu Transportangeboten und Infrastruktur, insbesondere im Schienengüterverkehr, und eine deutliche Erhöhung der Zuverlässigkeit und Flexibilität können relevante Größen bei der Entscheidungsfindung sein (vgl. Diagramm 4). Gleichzeitig legen sie den Grundstein für neue Marktsegmente im Schienengüterverkehr, die bisher exklusiv durch den straßengebundenen Verkehr bedient wurden (Jödden; Kotzagiorgis; Thaller et al. 2022). Die Bereitstellung von Finanzmitteln für den Bahnverkehr könnte daher nicht nur dem Netzausbau zugeführt werden, sondern unabhängig von der Bundesverkehrswegeplanung auch in umfassende digitale Lösungen im System der Güterbahnen investiert werden. Damit werden die Zuverlässigkeit und Flexibilität erhöht. Ein erster Schritt für neue Spielräume umweltorientierter Logistikkonzepte wäre der Umstieg auf digitale automatische Kupplungen und eine Debatte um aktuelle Möglichkeiten zur Blockverdichtung (vgl. Hebel 3 und 7), ohne zuvor bereits eine Festlegung auf ein bestimmtes System getroffen zu haben.

---

<sup>22</sup> Weiterführend: Opitz et al. (2022): Umwelt und Klimaschutz in der Logistik – Potenziale umweltorientierter Logistikkonzepte zur Reduzierung der Emissionen des Güterverkehrs (PULK).

**Diagramm 4: Design einer attraktiveren Schienennutzung im Güterverkehr**

n = 152 Antworten



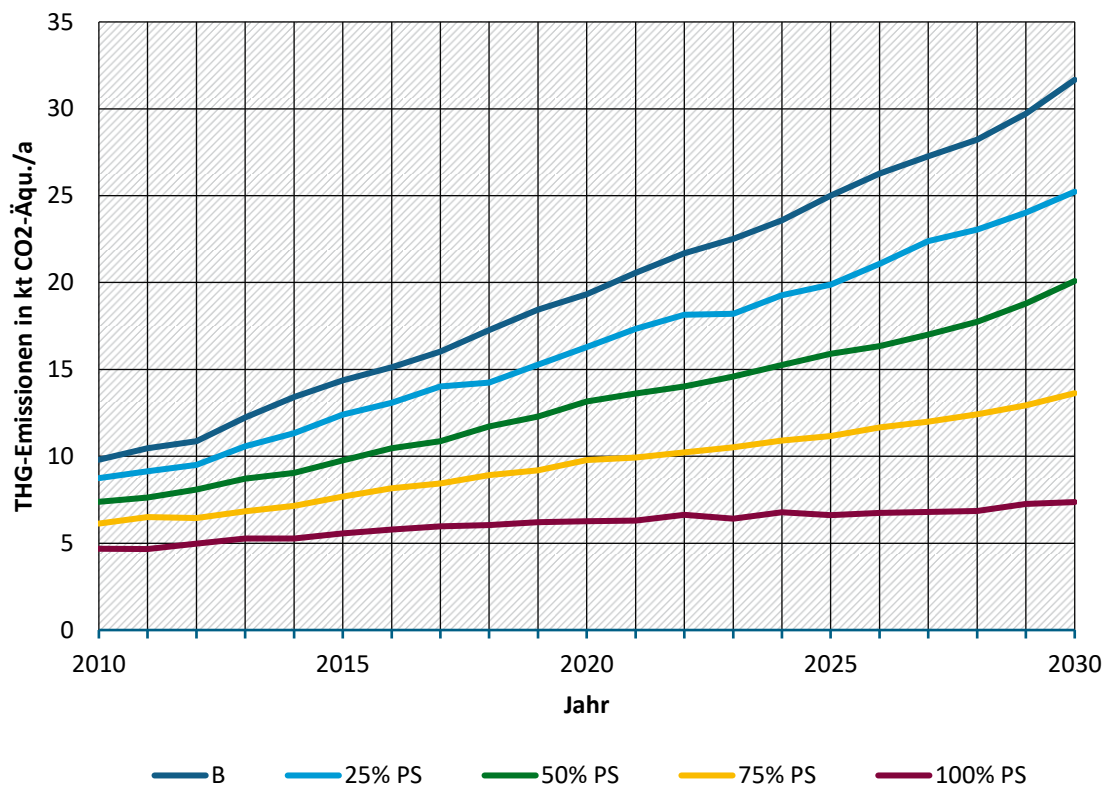
Quelle: Jödden; Kotzagiorgis; Thaller et al. (2022)

Nachhaltige Logistikkonzepte spielen darüber hinaus auch im Online-Handel eine wichtige Rolle, v.a. bei der Frage, wie Sendungen konsolidiert, nachhaltig verpackt und treibhausgasneutral zugestellt werden können. Diese Fragen nehmen an Bedeutung zu, stehen aber nach wie vor in Konkurrenz zu den Lieferzeitversprechen von 1-3 Tagen. Hier stellt sich die Frage, ob die kurzen Lieferzeiten tatsächlich erforderlich sind und ob zukünftig die eCommerce-Branche für eine nachhaltige Lieferung die Zeitversprechen den tatsächlichen Bedarfen anpassen kann („langsame Logistik“).

In Ergänzung zu den anbieterseitigen Anstrengungen können zudem nachfrageseitige Ansätze aufgegriffen werden, denn nur etwa 20 % der in einer Studie des UBA Befragten würden bei Online-Bestellungen bis zu 2,50 Euro zusätzlich bezahlen, wenn die Lieferung klimaneutral zugestellt werden würde. Bei höheren Zusatzkosten fällt die Zahlungsbereitschaft stark ab (Thaller et al. 2022). Diese eher geringe Zahlungsbereitschaft für eine nachhaltige Bestelloptionen steht möglicherweise im Widerspruch zum steigenden Umweltbewusstsein. Um diesen Widerspruch aufzulösen, müssten transparente und umfassende Angebote für nachhaltige Bestelloptionen durch den Online-Handel den Kund\*innen überhaupt erst zu Verfügung gestellt werden. Eine direkte staatliche Förderung erscheint hier aufgrund des z. T. fehlenden Daseinsvorsorge-Bezuges kaum zu rechtfertigen. Das heißt, es müssten nicht nur die Lieferzeiten zur Diskussion gestellt werden, sondern grundsätzlich auch die Preise für den (klimaneutralen) Versand im Online-Handel. Gleichzeitig konnten in o. g. Studie Hinweise gefunden werden, die darauf hindeuten, dass es sich im Online-Handel z. T. um eine neue Nachfrage handelt und insbesondere Waren des täglichen Gebrauchs nicht durch eCommerce-Angebote ersetzt werden. Die Entwicklung von nachhaltigen Logistikkonzepten im Online-Handel kann sich demnach an zielgruppenspezifischen Zahlungsbereitschaften für nachhaltige Bestelloptionen und der Akzeptanz für nachhaltige Zustellkonzepte orientieren.

Über die marktbezogenen Gestaltungserfordernisse hinaus existiert eine Reihe von Handlungsmöglichkeiten im politischen Mehrebenensystem. Für eine zielführende Diskussion über die Wirkungen des Online-Handels bzw. der Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP-Dienste) müsste die Studie „Kraftverkehr in Deutschland“ (WVI; IVT; DLR; KBA 2012) aktualisiert werden; auch um Kommunen insgesamt eine umfassende und belastbare Entscheidungsgrundlage für Maßnahmen einer nachhaltigen Logistik zur Verfügung zu stellen. Zudem müssten Kommunen in die Lage versetzt werden, umfangreiche Flächenangebote für alternative Zustellkonzepte (z.B. anbieteroffene Paketstationen) zu schaffen. Eine hohe Zustellquote von Sendungen aus dem Online-Handel an Paketstationen kann einen entscheidenden Beitrag der urbanen Logistik im Umwelt- und Klimaschutz leisten (vgl. Diagramm 5). Gleichzeitig bieten anbieteroffene Lösungen für Paketstationen die Möglichkeiten, Online-Bestellungen aus dem lokalen Einzelhandel einzubinden, die direkt aus dem stationären Handel im Wohn- oder Arbeitsumfeld an die Paketstation geliefert werden.

**Diagramm 5: THG-Emissionen (als CO<sub>2</sub>-Äquivalente) je Zustellquote an Paketstationen (PS) für Berlin in den Jahren 2010 bis 2030**



Anmerkungen: Es wurden mittlere jährliche THG-Emissionsfaktoren für Innerortsstraßen, inklusive Emissionen der Energiebereitstellung (WTW) aus TREMOD 6.01 zugrunde gelegt.

Quelle: Thaller et al. (2022).

Um Maßnahmen einer nachhaltigen urbanen Logistik in Kommunen umfassend und rechtssicher umsetzen zu können, müssten auf der Ebene des Bundes regulative Grundlagen für den Klimaschutz in Kommunen entwickelt werden. In Betracht kommen z.B. verkehrsbezogene Maßnahmen, wie Verkehrsberuhigung, Einfahrverbote oder die Einrichtung von Ladezonen, über die Rechtsgrundlagen der Luftreinhaltepläne und Lärmaktionspläne hinaus zu ermöglichen. Dieser Aspekt wurde in der Studie „Urbane Logistik – Herausforderungen für Kommunen“ (UBA 2020b) von kommunalen Akteuren besonders betont, da die Bereitstellung von Fördermitteln allein oftmals nur räumlich und zeitlich begrenzt die Umsetzung von

Maßnahmen ermögliche und der Mittelabruf oft bereits an den fehlenden personellen Kapazitäten scheitere.

## Hebel 6: Breiter und energieeffizienter Einsatz von digitalen Lösungen im Straßengüterverkehr

Digitale Lösungen in Produktion und Logistik, von der Wertschöpfungskette über Verbraucher\*innen bis zur (Wieder-)Verwertung, können bisher unbekannte Optimierungspotenziale im Güterverkehr erschließen und setzen bereits an der Entstehung von Güterverkehren an. Diese Potenziale umfassen im engeren Sinne Optimierungen in der Wertschöpfungskette (Supply Chain) bzw. der Materialwirtschaft, in der Warenhaltung („Warehousemanagement“) und im Transportmanagement (Thaller et al. 2022). Dabei sind Big-Data-Lösungen ein Schlüssel für Effizienzsteigerungen im Energieverbrauch, in Betriebsprozessen, der Vermarktung oder im Management der Kundenbeziehung und entscheidend für die Auslastung, Umwegigkeit und Häufigkeit von straßengebundenen Transporten. Gleichzeitig könnten entsprechende Lösungen zukünftig dazu beitragen, die Verkehrsmittelwahl zu optimieren, indem beispielsweise verlässliche Vorhersagen in der Warenhaltung eine Konsolidierung von Warenströmen ermöglicht. Bereits heute ist absehbar, dass die bestehenden Big-Data-Analysen in einigen Bereichen um Machine-Learning-Anwendungen und künstliche Intelligenz erweitert werden. Diesen Effizienzgewinnen stehen jedoch möglicherweise hohe Energieverbräuche digitaler Lösungen gegenüber, wenngleich hier noch ein beträchtlicher Forschungsbedarf besteht. Aus diesem Grund sollten Effizienzgewinne durch eine Digitalisierung mit dem Energieeinsatz durch ihre Anwendung saldiert werden, um den Beitrag oder die Förderwürdigkeit für den Umwelt- und Klimaschutz zu prüfen und die Plausibilität von Anwendungsfällen rechtzeitig zu untersuchen.

Neben der Optimierung betriebs- und werksinterner Abläufe können unter dem Stichwort „**Collaborative Routing**“ digitale Lösungen im Straßenverkehr einen wichtigen Beitrag leisten. Im Gegensatz zur individuellen Routenplanung können Collaborative-Routing-Systeme auf kollektiver Ebene durch Routenempfehlungen für alle Verkehrsteilnehmenden die Verkehrsmengen in Echtzeit auf das gesamte Verkehrsnetz verteilen – mit individuellen Zeitersparnissen für alle Verkehrsteilnehmenden. Dadurch könnte eine Überlastung bzw. ein Ausbau der Verkehrsnetze vermieden und der Kraftstoffverbrauch im Straßengüterverkehr durch weniger Starts und Stopps reduziert werden. In Kombination mit Verkehrsmanagementsystemen könnte Collaborative Routing bei Großveranstaltungen und Störungen (z.B. Unfällen) die Belastungen des Verkehrsnetzes beträchtlich mindern.

Welche Rolle das **automatisierte und vernetzte Fahren** bei Nutzfahrzeugen in Zukunft haben wird, ist im Gegensatz zu Routing-Lösungen und digital unterstützten Betriebsabläufen noch offen, da die technologischen Voraussetzungen für das fahrerlose Fahren besonders komplex sind. Drei Aspekte sind jedoch bereits heute mess- bzw. vorstellbar. So deuten sich, erstens, in Simulationen des Mischverkehrs (manuelles Fahren/vollautomatisiertes Fahren) kaum Effizienzsteigerungen für den Güterverkehr an, sofern sich nicht sehr hohe Durchdringungsraten von automatisiert und vernetzt fahrenden Fahrzeugen im gesamten Fahrzeugbestand des Personen- und Güterverkehrs durchgesetzt haben.<sup>23</sup> Zweitens konnten die Erwartungen zum geringeren Kraftstoffverbrauch durch Platooning (Kolonnenfahren) kaum erfüllt werden; die Einsparungen liegen bei etwa 3 %, sofern überhaupt die relationsbezogenen Voraussetzungen für eine Kolonnenbildung erfüllt werden können (vgl. Tabelle 3).

---

<sup>20</sup> Vgl. Thaller et al. (2022).



**Tabelle 3: Minderungspotentiale im Kraftstoffverbrauch durch Platooning**

Abstand	Einsparung beim Kraftstoffverbrauch ohne automatisiertes Fahren	Zusätzliches Einsparungspotential beim Kraftstoffverbrauch durch automatisiertes Fahren	Anteil der Lkw
50 ... 100m	8 %	2 %	3,4 %
100 ... 600m	8 % ... 3 %	2 % - 7 %	76,7 %
600 ... 1200m	3 % ... 0 %	3 % - 10 %	10,5 %

Quelle: Thaller et al. (2022)

Sollten die technologischen und ökonomischen Voraussetzungen des fahrerlosen Fahrens und einer automatisierten Be- und Entladung im Güterverkehr erfüllt sein, ist es drittens denkbar, dass sich die herkömmlichen Logistiknetzwerke und Logistikstandorte in ihrer Dimensionierung und Struktur gravierend ändern werden. In diesem Fall könnten sich Direktverkehre mit kleineren Fahrzeugen durchsetzen, da weder Fahrer disponiert, noch Lenkzeiten eingehalten werden müssten. Um das Transportaufkommen zu bewältigen, müssten jedoch deutlich mehr Fahrzeuge eingesetzt werden, wodurch sich die Verkehrsleistung sicherlich erhöhen würde.

Die digitalen Lösungen im Güterverkehr müssen demnach konstruktiv begleitet werden, um dem Güterverkehr eine zukunftsfähige, umwelt- und klimafreundliche Richtung zu geben. Zum einen sollte der Energieverbrauch den Einsparungen durch digitale Lösungen gegenübergestellt werden. Zum anderen sollte der kollektive bzw. gemeinwohlorientierte Nutzen digitaler Lösungen sichergestellt und gestärkt werden.

## Hebel 7: Die Neuerfindung der Binnenschifffahrt

Die Binnenschifffahrt steht vor einer Reihe grundlegender Herausforderungen. So hat die Anzahl der Niedrigwassertage in den vergangenen Sommern durch insgesamt steigende durchschnittliche Jahrestemperaturen zugenommen und verursacht beträchtliche Unsicherheiten in Lieferketten und der Gewährleistung von Versorgungsfunktionen.<sup>24</sup> Der Bedarf an flachgehenden Binnenschiffen, die teils auch bei Niedrigwasserereignissen verkehren können, wird daher zukünftig ansteigen, da sich eine entsprechende Nachfrage, insbesondere in der Rheinschifffahrt, bereits jetzt abzeichnet. Darüber hinaus löst mit Blick auf die Klimaschutzziele der Bundesregierung die besonders geringe Modernisierungsgeschwindigkeit bei den Antrieben erheblichen Druck auf die Bestandsflotte aus.

In Abhängigkeit der geopolitischen und ökonomischen Rahmenbedingungen könnte der zentrale Systemvorteil der Binnenschifffahrt, die Massengutfähigkeit, in den Hintergrund treten. Dafür spricht einerseits der Güterstruktureffekt, also Produktion und Transport von zunehmend kleineren und höherwertigen Sendungen gegenüber teils sinkenden oder schwach ansteigenden Aufkommen von Massengütern. Andererseits könnten Marktsegmente teilweise oder vollständig wegbrechen, z. B. durch den Kohleausstieg oder eine perspektivisch sinkende Nachfrage nach flüssigen Kraftstoffen.

Um diese klimabezogenen, politischen und ökonomischen Herausforderungen umfassend aufzugreifen, bieten sich vollautomatisierte Schiffs- und Betriebskonzepte an. Deutlich kleinere Schiffe, die unbemannt eingesetzt werden können, sind durch den geringen Tiefgang bei Dürre- und Niedrigwasserereignissen deutlich zuverlässiger als konventionelle Binnenschiffe. Sofern es

<sup>24</sup> van Rühl et al. (2019): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel.

gelingt, zukünftig den Umschlag vollständig zu automatisieren, könnte es entlang der Wasserstraßen gelingen, die Marktreichweite der Binnenschifffahrt in den Bereich des Lkw-Verkehrs zu erweitern und eine Verkehrswende im Güterverkehr nennenswert zu unterstützen. Wir groß der potenzielle Beitrag zu einer Verkehrsverlagerung und – bei entsprechender Elektrifizierung der automatisierten Schiffskonzepte – zu einer Energiewende im Güterverkehr sein könnte, wird zurzeit in einigen Pilotprojekten erprobt.<sup>25</sup> Sollte sich dieses Konzept für bestimmte Streckenabschnitte oder Marktsegmente als tragfähig erweisen, wäre ein behutsamer Umbau der Bestandsflotte im Einklang mit dem Fachkräftebedarf in der Binnenschifffahrt über eine Förderung zu diskutieren.

## Quellenverzeichnis

Allekotte, Michel; Althaus, Hans-Jörg; Bergmann, Thomas et al. (2020): Ökologische Bewertung der Verkehrsarten, UBA TEXTE 156/2020, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.

Bernecker, Tobias; Bramme, Matthias; Fichert, Frank; Röhling (2021): Gesamtkonzept für eine umweltorientierte Organisation und Institutionalisierung einer verkehrsträgerübergreifenden Infrastrukturfinanzierung in Deutschland (GUIDE), UBA TEXTE 153/2021, Dessau-Roßlau.

Blanck, Ruth; Zimmer, Wiebke; Runkel, Matthias; Kresin, Johanna; Klinski, Stefan (2020): Klimaschutz im Verkehr: Reformbedarf der fiskalischen Rahmenbedingungen und internationale Beispiele, UBA TEXTE 165/2020, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.

BMDV 2022: Verkehr in Zahlen 2021/2022.

BMVI (2014): Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2030, Los 3 Gesamtbericht.

BMVI (2021): Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe im Schienenverkehr i.d.F.v. 03.02.2021.

Deutscher Bundestag (1998): Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“, Drucksache 13/11200.

FGSV (2009): Richtlinien für integrierte Netzgestaltung“ (RIN 08), FGSV-Nr. 121, Köln.

Ifeu; PTV Transport Consult (2022) Vergleichende Analyse der Potenziale von Antriebstechnologien für Lkw im Zeithorizont 2030, Teilbericht im Rahmen des Vorhabens „Elektrifizierungspotenzial des Güter- und Busverkehrs – My eRoads“, Heidelberg, Karlsruhe.

Jödden, Christian; Kotzagiorgis, Stefanos; Thaller, Carina et al (2022): Handlungsoptionen für eine ökologische Gestaltung der Transportmittelwahl im Güterfernverkehr, UBA TEXTE 50/2022, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.

Mottschall, Moritz; Kasten, Peter; Kühnel, Sven; Minnich, Lukas (2019): Sensitivitäten zur Bewertung der Kosten verschiedener Energieversorgungsoptionen des Verkehrs bis zum Jahr 2050, UBA TEXTE 114/2019, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.

Ökoinstitut; HS Heilbronn; Franuhofer IAO; Intraplan Consult (2020): StratON, Bewertung und Einführungsstrategien für oberleitungsgebundene schwere Nutzfahrzeuge, Endbericht.

<sup>25</sup> z.B. in dem Projekt „Autonome elektrische Schifffahrt auf Wasserstraßen in Metropolregionen -A-SWARM“.

Opitz, Mirjam; Allekotte, Michel; Bernsmann, Arnd et al. (2022): Umwelt- und Klimaschutz in der Logistik – Potenziale umweltorientierter Logistikkonzepte zur Reduzierung der Emissionen des Güterverkehrs (PULK), UBA TEXTE, Umweltbundesamt (Hrsg., im Erscheinen), Dessau-Roßlau.

Sutter, Daniel; Maibach, Markus; Bertschmann, Damaris; Ickert, Lutz; Peter, Martin; Doll, Claus; Kühn, André (2016): Finanzierung einer nachhaltigen Güterverkehrsinfrastruktur – Anforderungen und Rahmenbedingungen für eine zukunftsorientierte Entwicklung des Güterverkehrs – eine systematische Analyse auf der Grundlage eines Ländervergleichs, UBA TEXTE 53/2016, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.

Thaller, Carina; Vortisch, Peter; Helms, Hinrich (2022): Digitalisierung im Verkehr – Potenziale und Risiken für Umwelt und Klima, UBA TEXTE, Umweltbundesamt (Hrsg., im Erscheinen), Dessau-Roßlau.

UBA (2020): Gesamtgesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen, Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen | Umweltbundesamt (abgerufen Mai 2022).

UBA (2020a): Methodenkonvention 3.1. zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze Stand 12/2020, Dessau-Roßlau.

UBA (2020b): Urbane Logistik – Herausforderungen für Kommunen, Auswertung und Ergebnisbericht einer Online-Befragung, UBA TEXTE 236/2020, Dessau-Roßlau.

UBA (2021): Klimaschutzinstrumente im Verkehr – CO<sub>2</sub>-Standards Lkw, Dessau-Roßlau.

UBA (2021a): Klimaschutzinstrumente im Verkehr – Fahrleistungsabhängige Lkw-Maut, Dessau-Roßlau

UBA (2021b): Klimaschutzinstrumente im Verkehr – CO<sub>2</sub>-Preis im Verkehrssektor, Dessau-Roßlau.

UBA (2022): Klimaschutz im Verkehr - Finanzierung und Planung der Verkehrsinfrastruktur auf Bundesebene – Reformhebel für eine klima- und umweltschutzorientierte Bundesverkehrswegeplanung nach 2030, (im Erscheinen), Dessau-Roßlau.

UBA o.J.: Wasserstoff im Verkehr: Häufig gestellte Fragen (FAQs), (abgerufen Mai 2022).



van Rühl, Petra; Schönthaler, Konstanze; von Andrian-Werburg; Buth, Mareike (2019): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.

WVI; IVT; DLR; KBA (2012): Kraftverkehr in Deutschland, Schlussbericht, Projekt-Nr. 70.0829/2008, Braunschweig.

---

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
Internet:  
[www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)  
 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

### Autorenschaft, Institution

Martyn Douglas  
Fachgebiet I 2.1 „Umwelt und Verkehr“  
Tel: +49 340 2103 2499  
Fax: +49 340 2104 2499  
[Martyn.Douglas@uba.de](mailto:Martyn.Douglas@uba.de)

Internet:  
[www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm](http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm)

**Stand:** September/2022

---