



# LOGISTIK – STRABENGÜTERVERKEHR

**Orientierungsrahmen für Unternehmensdialoge**



# Inhalt

<b>PATHWAYS TO PARIS</b>	<b>3</b>
<b>VORWORT: GEMEINSAM FÜR DEN KLIMASCHUTZ</b>	<b>4</b>
<b>DIE AUSGANGSLAGE FÜR KLIMASCHUTZ IM STRASSENGÜTERVERKEHR</b>	<b>6</b>
<b>DIE ECKPFEILER DES TRANSFORMATIONSPFADES</b>	<b>9</b>
<b>DIE SCHRITTE DER TRANSFORMATION IM STRASSENGÜTERVERKEHR</b>	<b>14</b>
Technologie	15
Batterieelektrischer Antrieb	15
Wasserstoffantrieb über Brennstoffzellen	16
Batterieelektrische Oberleitungs-Lkw	17
Hybridisierung	17
Energie: Übergangslösungen und Effizienzmaßnahmen	18
Wechsel auf synthetische Kraftstoffe	18
Biobasierte Kraftstoffe	18
Biodiesel (FAME)	19
Bio-LNG und Bio-CNG	20
Effizienzmaßnahmen	20
<b>AUSBLICK UND IMPULSE FÜR DEN DIALOG</b>	<b>21</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>22</b>

# Pathways to Paris

Das Projekt hat zum Ziel, die Transformation der deutschen Wirtschaft hin zur Klimaneutralität in Deutschland zu unterstützen und zu beschleunigen. Dafür wurden verschiedene Werkzeuge erarbeitet, die helfen, die notwendigen Veränderungsbedarfe für die Paris-kompatible<sup>1</sup> Emissionsreduktion in verschiedenen Sektoren und Subsektoren zu verstehen und strategisch umzusetzen. Auf dieser Basis können Unternehmen und Finanzmarktakteure gemeinsam Transformationsstrategien und -maßnahmen diskutieren, Investitionsbedarfe identifizieren und Finanzierungslösungen erarbeiten. Zudem wird es den Finanzmarktakteuren ermöglicht, transformationsbasierte Risiken und Chancen der einzelnen Sektoren besser zu verstehen und in ihren Risikosystemen zu berücksichtigen.

## Diese drei Instrumente sind:

- 1 Mit dem webbasierten [Transformationstool](#) können Unternehmen aus den abgedeckten zehn Sektoren in drei Schritten ihre eigenen Pläne zur Emissionsreduktion konkretisieren.
- 2 Eine [Bewertungsmatrix](#) bestehend aus sektorübergreifenden und sektorspezifischen Indikatoren, hilft Finanzinstituten, diese Konkretisierungen und ihre Fortschritte zu bewerten.
- 3 Ergänzende [sektorspezifische Orientierungsrahmen](#) erläutern die zentralen Maßnahmen, die Unternehmen auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität umsetzen müssen, und liefern den Finanzmarktakteuren eine fundierte Basis für lösungsorientierte Dialoge mit den Unternehmen.



Bei der **Betrachtung des Sektors Straßengüterverkehr** lag der Fokus im Rahmen des Projektes auf den Well-to-Wheel-Emissionen, welche aus der Energie- bzw. Kraftstoffnutzung resultieren und auch die Vorkette der Energieerzeugung miteinschließen.

<sup>1</sup> Paris-kompatible Emissionsreduktionspfade sind Treibhausgasreduktionspläne für Unternehmen, die im Einklang mit den Pariser Klimazielen stehen. Sie sind also an einem Ambitionsniveau ausgerichtet, das die Begrenzung des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C, wenn möglich auf 1,5 °C relativ zum vorindustriellen Niveau ermöglicht. Wichtig ist zu beachten, dass das Pariser Klimaabkommen neben den Temperaturlimits noch weitere Ziele festlegt: Die Anpassungsfähigkeit an die globale Erwärmung soll erhöht und die globalen Finanzströme sollen so gelenkt werden, dass sie mit den Zielen des Abkommens vereinbar sind. Da der Fokus dieses Leitfadens auf der Treibhausgasreduktion liegt, wird hier Paris-Kompatibilität im Sinne von „im Einklang mit dem Temperaturlimit des Pariser Abkommens“ verwendet.

## Vorwort: Gemeinsam für den Klimaschutz



**Vanessa Bolmer**, Senior Policy Advisor, Sustainable Finance, WWF Deutschland

Beim Klimaschutz geht es längst nicht mehr um das Ob, sondern um das Wie. Viele Unternehmen, ob klein, mittel oder groß, haben bereits Transformationsmaßnahmen eingeleitet. Sie setzen sich mit ihren Prozessen und Geschäftsmodellen auseinander, testen den Einsatz nachwachsender Rohstoffe oder setzen sich für den Aufbau entscheidender Infrastruktur ein. Altbekanntes kritisch zu hinterfragen, birgt Chancen für das Klima. Um die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit der deutschen Wirtschaft zu sichern, müssen diese Prozesse beschleunigt und tatsächlich umgesetzt werden. Dafür braucht es eine mutige, zukunftsorientierte Politik, die sich ohne weitere Umschweife für den Klimaschutz und die notwendige Transformation entscheidet und einen verlässlichen Rahmen für die Wirtschaftsakteure setzt. Und es braucht natürlich entsprechendes Kapital.



**Dr. Nicole Röttmer**, Global Lead Climate Clients & Industries, PWC Deutschland

Die Liquidität ist vorhanden. Doch wie finden die nach zukunftsfähigen Investitionen suchenden Gelder des privaten Finanzsystems den Weg zu gesellschaftlich sinnvollen und zukunftsweisenden Projekten? Eine zentrale Voraussetzung ist, dass entsprechende Investitionen ein wettbewerbsfähiges Risiko-Rendite-Profil haben müssen – auch und gerade im Vergleich zu nicht nachhaltigen, z. B. fossil-basierten Alternativen. Drei Lösungsfelder zeichnen sich ab, die Kapitalgeber:innen auf der Anlage- wie Kreditseite unterstützen, ihre beschleunigende Wirkung auf die Transformation zu entfalten:

Erstens, neben einem regulatorischen Rahmen, der strukturelle Barrieren beseitigt und transformationspositive Investitionen fördert, müssen zweitens, Kenntnisse über die Herausforderungen in den einzelnen Industrien und systematisches, zielorientiertes Engagement in den Fokus rücken. Drittens müssen die klassischen finanzwirtschaftlichen Kennzahlen ergänzt werden um zukunftsgerichtete sektorübergreifende und sektorspezifische Indikatoren, wenn z. B. das Risiko von Stranded Assets, Wertminderung der Vermögensgegenstände oder Kreditausfälle durch Transformationsprozesse erfasst und minimiert werden soll.

Doch noch steckt eine Bewertungspraxis unter Einbeziehung von Dekarbonisierungsszenarien und passgenauen Transformationsbedarfen in den Kinderschuhen. Der Fortschritt unternehmerischer Transformation ist erst über intelligente Indikatoren bewertbar, die nicht nur den Status quo, sondern zusätzlich Elemente wie Klimaziele sowie bewertete Transformations- und Investitionspläne beinhalten.

Ebenfalls einfließen müssen die individuelle strukturelle Aufstellung von Unternehmen sowie die konkrete Einschätzung technischer Maßnahmen des jeweiligen Sektors. Zukünftig wird es über den reinen THG-Fußabdruck des eigenen Portfolios weit hinausgehen müssen, um einen relevanten Beitrag zu einer realen Reduktion der Treibhausgase in der Wirtschaft zu leisten. Dies wird von regulatorischen Entwicklungen national wie international begünstigt. Von Unternehmen wird u. a. eine umfassende Offenlegung von Nachhaltigkeitsdaten verlangt (Europäische Kommission, 2021). Gleichzeitig werden Finanzakteure verpflichtet, Auskünfte über die Transitionsrisiken und Nachhaltigkeitsauswirkungen ihrer Investments zu geben (ARUG II, 2019; Richtlinie 2014/65/EU; Verordnung (EU) 2019/2088; Verordnung (EU) 2020/852; GFANZ, 2022).

Im Rahmen von [Pathways to Paris](#) entwickelten WWF Deutschland und PwC Deutschland im Sparring mit 90 Vertreter:innen der Industrie und Finanzwirtschaft drei Instrumente, die beide Akteursgruppen dabei unterstützen sollen, den Wandel zur treibhausgasarmen Wirtschaft im Rahmen ihrer Anlage- und Finanzierungsentscheidungen aktiv zu begleiten. Sie sollen als Grundlage für Dialoge dienen, sodass einschätzbar wird, ob Unternehmen auf den strukturellen Wandel zur Klimaneutralität der Wirtschaft vorbereitet sind. Gefördert wurde das Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

Der Überfall Russlands auf die Ukraine und die gesamtwirtschaftlichen Effekte, wie Inflationsverschiebungen, Preisentwicklungen, Rohstoffzugänge, sowie die bereits sicht- und spürbaren Klimawandelauswirkungen, wie Hitzewellen und Dürren, konnten als kurzfristige Sondereffekte nicht explizit berücksichtigt werden. Nach unserer Einschätzung wirken diese Faktoren verstärkend. Effizienterer Energieverbrauch, Reduktion CO<sub>2</sub>-intensiver Energieträger, reduzierte Gasnutzung, Elektrifizierung, Dekarbonisierung von Industrieprozessen – all diese Maßnahmen stünden auch ohne russischen Angriffskrieg auf der Tagesordnung. Gerade die Gasknappheit und die aktuellen Sparmaßnahmen zeigen, welche Reduktionspotenziale bislang ungenutzt geblieben sind.



Wir hoffen, dass der vorliegende Orientierungsrahmen<sup>2</sup> Ihnen hilft, die Anforderungen an die Transformation im sektorspezifischen Kontext nachzuvollziehen und so in einen systematischen und zielorientierten Dialog mit Unternehmen treten zu können. Wir freuen uns auf Ihr Feedback und Ihre Erfahrungsberichte!

---

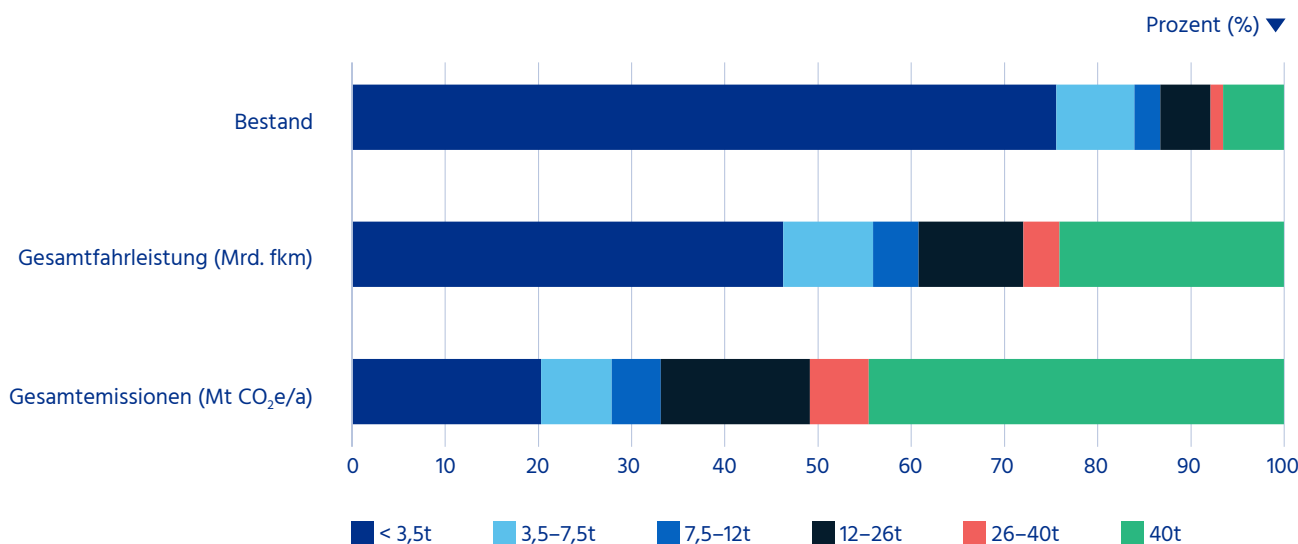
2 Sofern nicht anders angegeben, beruhen sämtliche Angaben, Annahmen, Entwicklungen oder Ableitungen in diesem Dokument auf dem von Agora Energiewende beauftragten [Dekarbonisierungsszenario KN 2045](#) (Prognos, 2021). Da es sich hierbei um eines der ambitioniertesten Szenarien für Deutschland handelt, mit einer umfassenden Sektorabdeckung und Dokumentation, wurde es für die Arbeit von Pathways to Paris als Referenz für Paris-kompatible Entwicklungen in Deutschland ausgewählt. Alle Annahmen, die dem Projekt „Pathways to Paris“ zugrunde liegen, können online abgerufen werden. [https://pathwaystoparis.com/wp-content/uploads/2022/05/PtP\\_Annahmen\\_Entwicklung\\_Brennstoffkosten.pdf](https://pathwaystoparis.com/wp-content/uploads/2022/05/PtP_Annahmen_Entwicklung_Brennstoffkosten.pdf)

# Die Ausgangslage für Klimaschutz im Straßengüterverkehr

Die starke Vernetzung von Produktions- und Verbrauchermärkten baut auf ein solides Transportnetz. Die Zahnräder der Luft-, See- und Landfracht müssen reibungslos ineinandergreifen, um die Versorgungs- und Lieferketten aufrechtzuerhalten. Der große Vorteil des Straßengüterverkehrs – insbesondere in europäischen Gebieten: Ein gut ausgebautes Straßennetz. Zudem fällt kein Umschlag an Knotenpunkten wie Bahnhöfen oder Häfen an. Dagegen stehen insbesondere die Instandhaltungskosten des Straßennetzes sowie die Schadstoff- und Lärmemissionen der Lastkraftwagen. Innerhalb des deutschen Güterverkehrs macht der Straßengüterverkehr mit 73 % den größten Anteil aus. Nur 19 % entfallen auf die Schiene und 7 % auf die Binnenschifffahrt (BMDV, 2019). Die besondere Herausforderung für die Transformation des Straßengüterverkehrs liegt im Energiebedarf, der derzeit fast ausschließlich durch fossile Energien gedeckt wird.

Der Großteil der Nutzfahrzeuge in Deutschland besteht aus Fahrzeugen unter 3,5 t zulässigen Gesamtgewichts. Für den Straßengüterverkehr relevant sind jedoch Lkw sowie Sattel- und Lastzüge erst oberhalb dieser Schwelle (vgl. Tabelle, Seite 14).

**Abbildung 1** zeigt, dass obwohl sich der Bestand des Straßengüterverkehrs recht gleichmäßig auf die Größenkategorien von 3,5 bis 7 t, 12 bis 26 t und 40 t verteilt, sowohl die Gesamtfahrleistung als auch die jährlichen Treibhausgasemissionen von größeren Fahrzeugklassen dominiert werden.



**Abbildung 1:** Bestand, Fahrleistung und CO<sub>2</sub>-Emissionen von Nutzfahrzeugen in Deutschland nach zulässigem Gesamtgewicht, Quelle: Plötz et al. (2018)

Im Jahr 2021 machten die Emissionen aus dem Straßengüterverkehr 45,9 MtCO<sub>2</sub>e aus, was 6 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland entspricht (Umweltbundesamt, 2022b). Die Entwicklung der gesamten Straßenverkehrsemissionen über die letzten 20 Jahre verläuft dabei konstant mit leichten Schwankungen im einstelligen Prozentbereich (Umweltbundesamt, 2022c). Durch Abgasvorschriften, Verbesserungen der Technologie und Effizienzmaßnahmen wurden spezifische Emissionen von Lkw gesenkt. Bessere Motoren, Abgastechnik und eine erhöhte Kraftstoffqualität verringerten die CO<sub>2</sub>-Emissionen um etwa ein Drittel. Die Zunahme des Verkehrs hebt die erreichten Verbesserungen in absoluter Betrachtung jedoch wieder auf (Umweltbundesamt, 2022d). Innerhalb der vergangenen 30 Jahre nahm die inländische Güterverkehrsleistung insgesamt zu. Der Straßengüterverkehr verzeichnete dabei den größten Zuwachs und erfuhr eine Verdopplung der Verkehrsleistung (Umweltbundesamt, 2022a). Mit Blick auf die absoluten Treibhausgasemissionen wurde zwischen 1995 und 2020 somit trotz technischer Verbesserungen ein Anstieg von 17 % verzeichnet. Das bedeutet, dass anders als bei einigen anderen Sektoren, zuletzt keine Verbesserungen in der Reduzierung von absoluten Emissionen erreicht wurden und die Umsetzung von Dekarbonisierungsmaßnahmen einen grundsätzlichen Kurswechsel erfordert.



2021 wurden die Klimaziele des gesamten Verkehrssektors verfehlt. Mit 148 Mio. tCO<sub>2</sub>e ausgestoßenen Treibhausgasemissionen lag der Sektor mit zusätzlichen 3,1 Mio. tCO<sub>2</sub>e deutlich über seinem Ziel. Aus diesem Grund musste ein Sofortprogramm<sup>3</sup> zur Einhaltung der Klimaziele im Verkehrssektor verabschiedet werden. Relevante Maßnahmen für den Straßengüterverkehr sind der Ausbau der Schnellladeinfrastruktur (Masterplan Ladeinfrastruktur II) und die Förderung effizienter Lkw-Trailer (BMDV, 2022). Die Pläne entsprechen zwar dem Klimaschutzgesetz, werden aber die entstandene Lücke bis 2030 nicht ausreichend schließen. Bis 2030 sollen die Emissionen im Verkehrssektor im Vergleich zum Jahr 1990 um ca. 48 % auf höchstens 85 Mio. tCO<sub>2</sub>e gesenkt werden.

<sup>3</sup> Verpflichtung basierend auf § 8 Abs. 1 KSG

Die **EU-Taxonomie** für ökologisch nachhaltige Wirtschaftsaktivitäten definiert für Lkw im Güterverkehr verschiedene Kriterien (Europäische Kommission, 2022). Zum einen darf ein Lkw nicht für den Transport fossiler Kraftstoffe eingesetzt werden. Zum anderen müssen abhängig von der Nutzlastklasse bestimmte Kriterien erfüllt werden, um als „emissionsfreies schweres Nutzfahrzeug“<sup>4</sup> bzw. „emissionsarmes schweres Nutzfahrzeug“<sup>5</sup> zu gelten. Ab 3,5 Tonnen kann ein Lkw als emissionsfreies schweres Nutzfahrzeug bezeichnet werden, wenn die Emissionen unter 1 gCO<sub>2</sub>e/km liegen. Falls diese Bedingung für Lkw ab 7,5 Tonnen weder wirtschaftlich noch technisch möglich ist, besteht die Option einer Einordnung als emissionsarmes schweres Nutzfahrzeug. Dies gilt, insofern die spezifischen Emissionen mindestens 50 % geringer ausfallen als die Bezugswerte für Fahrzeuge in derselben Fahrzeuguntergruppe. Die Werte der EU-Taxonomie sollen im Laufe der 2020er Jahre sukzessive verschärft werden.

Die **Schlüsselmaßnahmen** des Sektors liegen in der Umstellung von Verbrennungsmotoren auf batterieelektrische bzw. wasserstoffbetriebene Lkw. Dabei ist zur Erreichung einer Treibhausgasneutralität zentral, dass sowohl der Strom als auch die Herstellung des Wasserstoffs auf erneuerbaren Energien beruhen. Die Transformation bedeutet nicht nur eine Umstellung der Fahrzeugflotten, sondern geht auch mit dem Auf- und Ausbau entsprechender Energie- und Ladeinfrastrukturen einher. Über die technologischen Hebel hinaus bestehen Potenziale zudem in einer Verbesserung der Logistik, wie beispielsweise der Gewerbeflächenentwicklung bei verkehrsintensiven Unternehmen oder der Entwicklung eines Zentrale-Orte-Konzepts für den Güterverkehr (Umweltbundesamt, 2022b). Auch die Verlagerung des Straßengüterverkehrs auf das Schienennetz ist grundsätzlich anzustreben. Die Entwicklung wird jedoch durch erhebliche notwendige Investitionen und lange Zeiträume zum Ausbau des Schienennetzes gehemmt.

Das prognostizierte **Investitionsvolumen** für Klimaschutzmaßnahmen in der gesamten deutschen Industrie beläuft sich bis 2050 auf rund 619 Mrd. Euro. Mit einer Summe von 66 Mrd. Euro fällt dabei ein großer Teil dem Bereich Kraftwagen zu (Prognos, 2021). Investitionen müssen dabei nicht nur in die Entwicklung der Fahrzeuge fließen, sondern betreffen auch den Ausbau der Infrastrukturen. Eine Studie betrachtete die notwendigen Investitionen zur Versorgung von 5.000 (Startnetz) bzw. 40.000 (Ausbaunetz) Lkw. Diese beliefen sich abhängig der betrachteten Energieversorgungsvariante und Netzausbaustufe auf 290 Mio. Euro bis 5,1 Mrd. Euro (**siehe Tabelle 1**). Zum Vergleich geht das KN 2045 für das Jahr 2045 von 71.000 wasserstoffbetriebenen und 163.000 batterieelektrischen Last- und Sattelzügen aus.

	Wasserstofftankstellen	Ladesäulennetz	Oberleitung (Netzlänge)
Startnetz (5.000 Lkw)	290 Mio. Euro	510 Mio. Euro	850 Mio. Euro (500 km)
Ausbaunetz (40.000 Lkw)	2.300 Mio. Euro	3.700 Mio. Euro	5.100 Mio. Euro (2.000 km)

**Tabelle 1:** Abschätzung der Infrastrukturinvestitionen für zwei Netzbaustufen, Quelle: Kühnel et al. (2018)

4 Im Sinne der Definition in Artikel 3, Punkt (11) der Verordnung (EU) 2019/1242

5 Im Sinne der Definition in Artikel 3, Punkt (12) der Verordnung (EU) 2019/1242



# Die Eckpfeiler des Transformationspfades

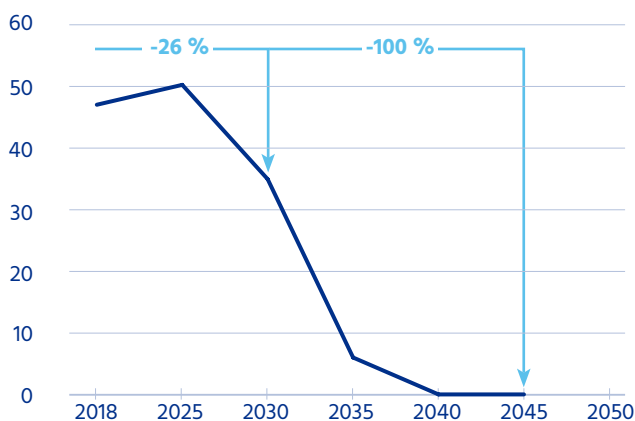
Das Dekarbonisierungsszenario<sup>6</sup> „Klimaneutralität in Deutschland 2045“, erstellt für Agora Energiewende (im Folgenden KN 2045), modelliert für den Straßengüterverkehr eine absolute Emissionsreduzierung von -26 % bis 2030 auf insgesamt 35 Mio. tCO<sub>2</sub>e. Im Jahr 2045 soll Treibhausgasneutralität innerhalb des Sektors erreicht werden (**siehe Abbildung 2**).

Da im Szenario eine Zunahme des gesamten Güterverkehrs erwartet wird, liegt der Hebel zur Treibhausgasneutralität vor allem in der Reduktion der Emissionsintensität. Für den Straßengüterverkehr werden dafür die Treibhausgasemissionen ins Verhältnis zu den beförderten Gütern und der dabei zurückgelegten Entfernung gesetzt (Tonnenkilometer, tkm).<sup>7</sup> Die Emissionsintensität im Straßengüterverkehr lag im Jahr 2020 bei 111 gCO<sub>2</sub>e/tkm (Umweltbundesamt, 2022c). Diese sinkt im Szenario bis 2030 durch den Technologiewandel auf 70 gCO<sub>2</sub>e/tkm und reduziert sich im Jahr 2045 auf 0 gCO<sub>2</sub>e/tkm (**siehe Abbildung 3**).

## Zum Vergleich:

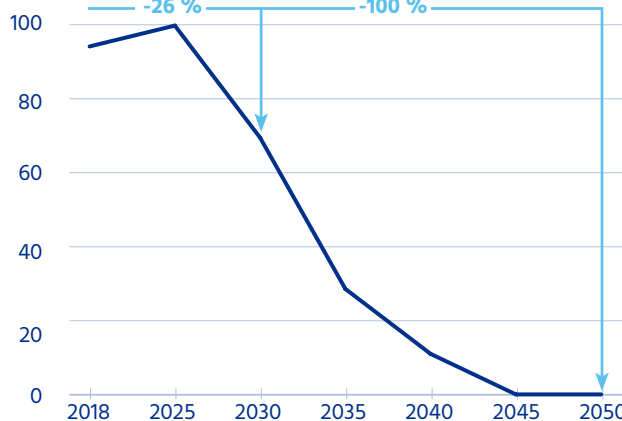
Laut dem 1,5 °C-Szenario der Internationalen Energieagentur (IEA) ist im Straßengüterverkehr<sup>8</sup> eine Reduzierung der weltweiten absoluten Emissionen um -88 % bis 2050 notwendig. Die IEA geht davon aus, dass die gefahrenen Tonnenkilometer auf globaler Ebene stark um ca. 48 % bis 2030 und bis 2030 sogar um 133 % steigen (IEA, 2021).

### ▼ THG-Emissionen (MtCO<sub>2</sub>e)



**Abbildung 2:** Reduzierung der absoluten Emissionen im Straßengüterverkehr nach KN 2045

### ▼ THG-Emissionsintensität (gCO<sub>2</sub>e/tkm)



**Abbildung 3:** Reduzierung der THG-Emissionsintensität im Straßengüterverkehr nach KN 2045

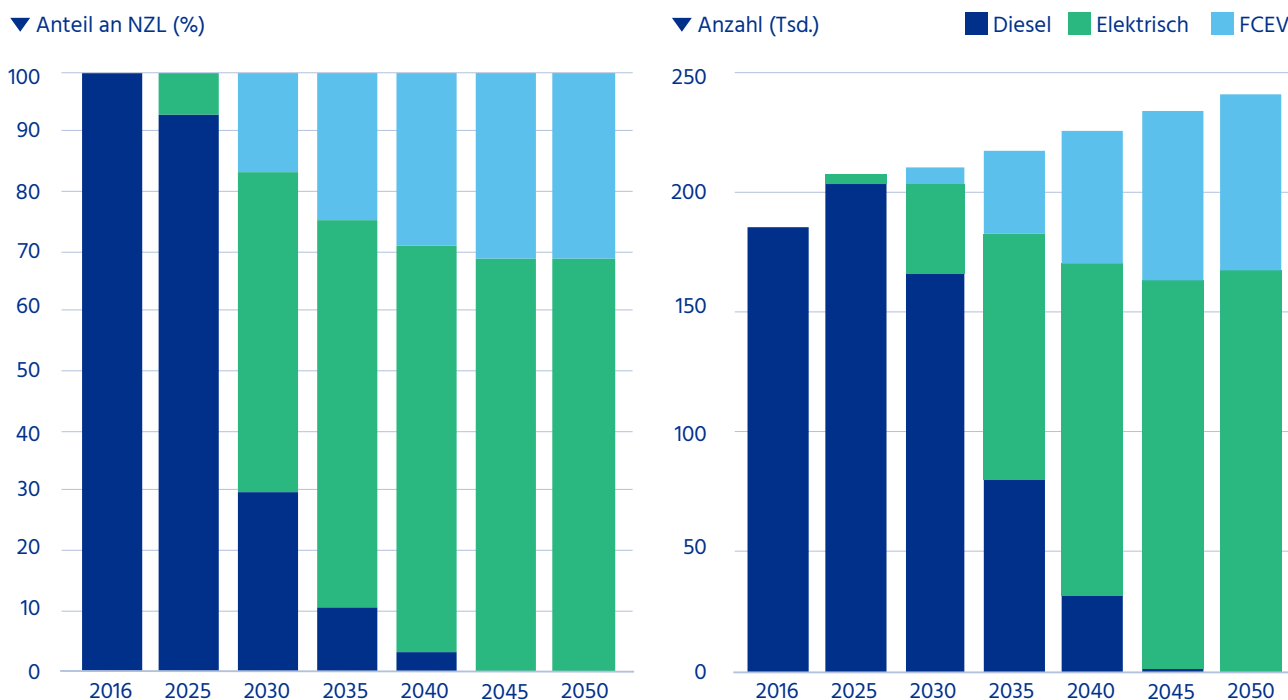
6 Die Ergebnisse der Klimaszenarien und die ihnen zugrundeliegenden Annahmen bilden eine wichtige Grundlage für die Ableitung von Maßnahmenplänen mit Blick auf die Kalibrierung zwischen Kosten, Nutzen und Wirksamkeit in Bezug auf die Emissionsreduzierung. Wichtige Stellschrauben in der Umsetzungsplanung von Dekarbonisierungsstrategien hängen von einer Reihe makroökonomischer und energiespezifischer Annahmen ab. Preisentwicklungen spielen zur Abwägung und Beurteilung von Dekarbonisierungsmaßnahmen eine wichtige Rolle. Im Sektor Straßengüterverkehr umfasst dies insbesondere die Elektrifizierung und den Umstieg auf Oberleitungen.

7 Tonnenkilometer (tkm) beschreiben das Produkt aus zurückgelegter Strecke und Masse der beförderten Güter.

8 Der Reduktionspfad der IEA für „Heavy Trucks“ (> 15 t) wurde als Referenzgröße herangezogen.

Die absoluten und relativen Reduktionspfade machen deutlich, dass im Verkehrssektor, welcher seinen heutigen Endenergiebedarf zu ca. 93 % mit fossilen Energien deckt, zügig ambitionierte Maßnahmen umgesetzt werden müssen. Im Straßen-güterverkehr hat sich aufgrund unterschiedlicher Fahrzeugklassen und Anforderungen (u. a. Reichweite und Flexibilität) noch nicht eindeutig abgezeichnet, welche Technologie sich durchsetzen wird. **Abbildung 4** zeigt den Anteil einzelner Technologien des Szenarios für Last- und Sattelzüge. Ähnliche Entwicklungen werden für die restlichen Lkw modelliert, wobei die Rolle der Brennstoffzellenfahrzeuge hierbei wesentlich geringer ausfällt und der Fokus auf einer Elektrifizierung liegt.

Für den erwarteten TechnologiemiX bedarf es eines parallelen Ausbaus verschiedener Energieversorgungsstrukturen, wie Wasserstofftankstellen, einer Schnellladeinfrastruktur und Oberleitungssystemen. Gegenüber der Konzentration auf nur einen Technologieansatz ist dies zwar mit höheren Kosten verbunden, gewährleistet jedoch gleichzeitig eine größere Flexibilität bei der Wahl der Fahrzeuge.



**Abbildung 4:** Entwicklung der Neuzulassungen und des Bestandes der Last- und Sattelzüge bis 2050 nach KN 2045

## KN 2045 kommt für den Straßengüterverkehr zu drei wesentlichen Schlüssen:

1

Ein steigendes Bruttoinlandsprodukt korreliert positiv mit dem Anstieg des Gütertransports, da eine Ausweitung der Wirtschaftsleistung zusätzliche Transporte entlang der Wertschöpfungskette erfordert (Zimmer et al., 2016).<sup>9</sup> So wird gegenüber 2016 eine Zunahme des gesamten Güterverkehrs um 14 % bis 2030 und um 30 % bis 2045 angenommen (auf rund 850 Mrd. tkm). Auf den Straßengüterverkehr entfällt sowohl aktuell als auch im Ausblick bis 2050 der größte Anteil der Güterverkehrsnachfrage. Ausgehend von 480 Mrd. tkm (2016) steigt die Verkehrsleistung im Bereich Straßen auf 561 Mrd. tkm (2045). Zwei Effekte verstärken dabei die Zunahme des Straßengüterverkehrs: Zum einen zeigt sich innerhalb des Güterstruktureffekts<sup>10</sup>, dass kleinteilige Stückgüter durch den Vorteil der hohen Netzdichte und Flexibilität des Straßengüterverkehrs vermehrt per Lkw transportiert werden. Der wachsende Anteil an kleineren und höherwertigen Gütern wie Elektronikgeräten führt zum Anstieg des Straßenverkehrs.



Zum anderen zeigt der Logistikeffekt (z. B. Just-in-time-Lieferungen) die zunehmende Integration von Logistikdienstleistungen und Produktionsprozessen. Die hier benötigte Zuverlässigkeit und Flexibilität der Logistik begünstigen ebenfalls den Einsatz des Straßengüterverkehrs (Umweltbundesamt, 2021). Nichtsdestotrotz gibt es Güter, die in Zukunft nicht mehr transportiert werden müssen, wie Stein- oder Braunkohle, Rohöl oder Koks. Der Transport weiterer Güter, wie Düngemittel, Stahl und Eisen, sinkt deutlich um ca. ein Drittel bis 2045. Der Rückgang von Massenguttransporten der Grundstoffindustrie wirkt sich jedoch vor allem auf Schienenverkehr und Binnenschifffahrt aus. Allgemein wird eine Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene angestrebt, jedoch hindern lange Zeiträume zum Infrastrukturausbau der Schienennetze eine schnelle Umstellung. Es zeigt sich innerhalb der Entwicklung des Modal-Splits<sup>11</sup> zwischen 2016 und 2045 eine leichte Verschiebung des Güterverkehrs von der Straße (Anteil sinkt von 73 % auf 66 %) auf die Schiene (Anteil steigt von 19 % auf 26 %).

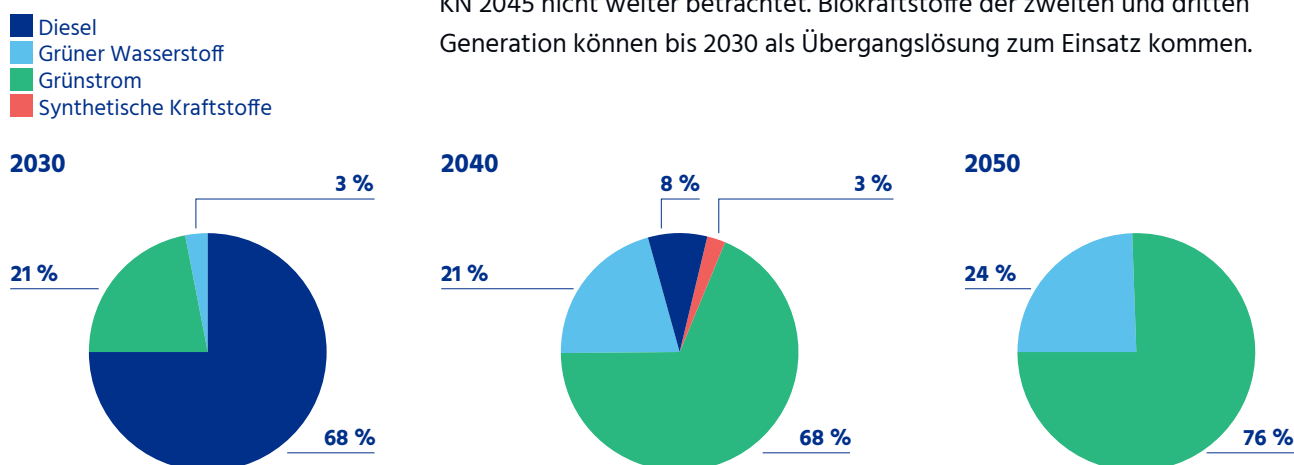
<sup>9</sup> 225 tkm zusätzlicher Gütertransport pro Mio. Euro BIP.

<sup>10</sup> Der Güterstruktureffekt beschreibt die Auswirkungen einer sich ändernden Volkswirtschaft und Produktionsstruktur auf das Verkehrsaufkommen und dessen Zusammensetzung.

<sup>11</sup> Modal-Split: Verteilung der Verkehrsnachfrage hinsichtlich verschiedener Verkehrsmittel.

2

Im Straßengüterverkehr steht der Kraftstoffeinsatz vor einem technologischen Wandel. Der Anteil emissionsfreier Energieträger muss bis 2045 auf 100 % steigen. **Abbildung 5** zeigt, dass langfristig ausschließlich Grünstrom und grüner Wasserstoff zum Einsatz kommen sollten. Aufgrund der technologischen Entwicklungsreife kommt die Elektrifizierung von Lkw früher auf den Markt als Brennstoffzellenfahrzeuge. Während des Übergangs von Diesel zu Grünstrom bzw. grünem Wasserstoff sieht das Szenario in einem geringen Umfang eine Verwendung von synthetischen Kraftstoffen (z. B. strombasierte Flüssigkraftstoffe) vor, welche im Straßenverkehr für die im Bestand verbleibenden Fahrzeuge mit Hybrid- bzw. Verbrennungsmotoren eingesetzt werden können. Konventionelle Biokraftstoffe<sup>12</sup> werden in KN 2045 nicht weiter betrachtet. Biokraftstoffe der zweiten und dritten Generation können bis 2030 als Übergangslösung zum Einsatz kommen.



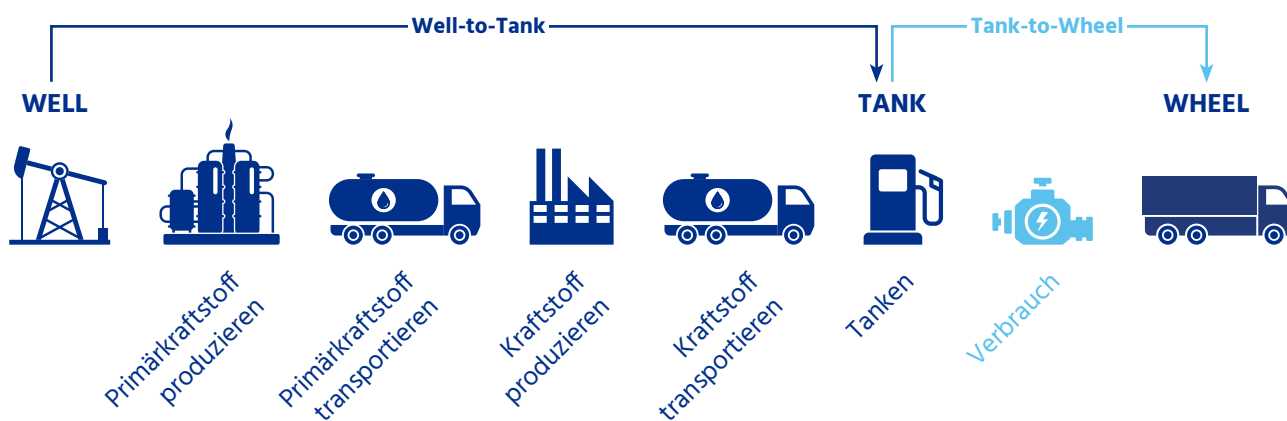
**Abbildung 5:** Kraftstoffverteilung innerhalb des Straßengüterverkehrs nach KN 2045

3

Der Einsatz von grünem Wasserstoff und Grünstrom ist mit dem Ausbau der Energieversorgungsinfrastrukturen verbunden: Wasserstofftankstellen, Schnellladeinfrastruktur und Oberleitungssysteme. Wird Grünstrom favorisiert, können batterieelektrische LKW stationär geladen werden, während Oberleitungs-LKW entlang der Einsatzstrecke geladen werden. Oberleitungs-Lkw können eine Fahrleistung von über 20 Mrd. Fahrzeugkilometern erbringen, was etwa 40 % der Fahrleistung der Last- und Sattelzüge des KN 2045 entspricht (Hacker et al., 2020). Die Verteilung der Optionen ist stark abhängig von politischen Rahmenbedingungen sowie dem Ausbau von flächendeckenden Ladesystemen und Oberleitungsinfrastruktur entlang der Autobahnen. Oberleitungs-Lkw zeigen eine höhere Flexibilität hinsichtlich der Pausenzeiten, eine geringere Ressourceninanspruchnahme für die Batterie sowie niedrigere Fahrzeuggewichte. Zudem ist die Stromnachfrage zeitlich und räumlich weniger konzentriert. Bei batterieelektrischen Fahrzeugen besteht eine höhere Flexibilität hinsichtlich der möglichen Einsatzstrecken.

<sup>12</sup> Ableitungen erfolgten auf Basis der Vorgaben der RED II.

Im Verkehrssektor wird unterschieden zwischen Emissionen der Kategorien Well-to-Tank (WTT) und Tank-to-Wheel (TTW). Die Summe beider Kategorien wird bezeichnet als Well-to-Wheel-Emissionen (WTW). Es handelt sich hierbei nicht um eine Lebenszyklusanalyse, denn weder die Emissionen aus dem Produktionsprozess noch die Emissionen am Lebensende eines Lkw werden betrachtet. Der Fokus liegt auf der Produktion der (Primär-)Kraftstoffe und deren Transport (WTT). Im letzten Schritt werden die Emissionen, die durch den Verbrauch der Kraftstoffe entstehen, berücksichtigt (TTW). Im Rahmen des Projektes Pathways to Paris lag im Sektor Straßengüterverkehr der Fokus auf der Analyse der WTW-Emissionen<sup>13</sup> (**Abbildung 6**).



Well-to-Wheel (WTW) = Well-to-Tank (WTT) + Tank-to-Wheel (TTW)

**Abbildung 6:** Well-to-Wheel-Emissionsanalyse im Verkehrssektor, Quelle: Europäische Kommission (2016)

<sup>13</sup> Dies liegt hauptsächlich in der Verfügbarkeit der Daten begründet: KN 2045 beinhaltet nur Daten zu den TTW-Emissionen im Straßengüterverkehr. An vereinzelten Stellen wird die Auswirkung der Maßnahmen auch auf WTW-Ebene dargestellt.

# Die Schritte der Transformation im Straßengüterverkehr

Eine erfolgreiche Transformation des Straßengüterverkehrs stellt Anforderungen insbesondere an zwei Handlungsfelder<sup>14</sup>:

- » **Technologie:** mit Fokus auf den Antrieb
- » **Energie:** mit Fokus auf Übergangslösungen und Effizienzmaßnahmen

Um die Reduktionspotenziale und Kostenimplikationen der betrachteten Fahrzeugtypen darstellen zu können, wurde eine Ausgangsbasis definiert, **siehe Tabelle 2**.

	Kleine Lkw	Mittlere Lkw	Große Lkw A	Große Lkw B
In KN 2045 verwendete Terminologie	Leichte Nutzfahrzeuge (<7,5 t)	Restliche Lkw (>7,5 t)	Last- und Sattelzüge	
Beispielnutzung	Urbane Lieferung, Gemeindewesen	(Über-) regionale Lieferungen, Lkw	Verteilerverkehr	Fernverkehr
Beispielkonfiguration	Van	Solo-Lkw	Sattel-/ Gliederzugmaschine	
Zulässiges Gesamtgewicht	3,5–12 t	12–20 t	(tendenziell < 30 t)	(tendenziell > 30 t)
Angenommene Auslastung, je Gütertyp: Volumengut / Massengut / Durchschnittsgut	1,4 / 4,1 / 3,6 t	3,6 / 12 / 7,2 t	7,8 / 26 / 15,6 t	5,7 / 19 / 11,4 t
Angenommene Lebensdauer	12 Jahre	10 Jahre		
EG Fahrzeugklasse	N <sub>1</sub> , N <sub>1</sub> G, N <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> G	N <sub>3</sub> , N <sub>3</sub> G	N <sub>3</sub> , N <sub>3</sub> G + BA01-99/O <sub>1-4</sub>	

Ausgangsbasis für die vergleichende Betrachtungen im Folgenden				
Brennstoffeinsatz (kWh/tkm)	0,4	0,37	0,25	0,18
Emissionen (gCO <sub>2</sub> e/tkm)	105,1	97,9	66,5	48,8
Investitionskosten: 2020 / 2030/ 2040 / 2050 (TEUR/Fahrzeug)	49 / 53 / 56 / 58	74 / 79 / 83 / 87	97 / 105 / 110 / 115	
Operative Kosten: 2020 / 2030/ 2040 / 2050 (€/100 km)	52 / 67 / 68 / 68	63 / 79 / 79 / 78	73 / 95 / 94 / 93	75 / 99 / 99 / 99

**Tabelle 2:** Definition von Fahrzeugtypen und der Ausgangsbasis, Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (2022)

<sup>14</sup> Die im Projekt identifizierten Maßnahmen wurden in Arbeitsgruppen mit Akteuren aus der Industrie, Finanzwirtschaft und Wissenschaft diskutiert. Mithilfe sogenannter Vermeidungskostenkurven (MACCs) können im Transformationstool für jede Technologie die Maßnahmen mit den geringsten Kosten und dem größten Potenzial zur Vermeidung von THG-Emissionen betrachtet werden. Neben KN 2045 basieren sie u. a. auf: Umweltbundesamt (2019), Europäische Kommission (2008), Fraunhofer ISI (2017), dena (2018), Toll Collect (2021).



**Im Unternehmensdialog kann als Indikator vereinfachend die Abfrage von Plänen zu der Entwicklung des Antriebsmix und zu einem Phase-out der Verbrennungsmotoren dienen.**

## Technologie

Dieses Handlungsfeld umfasst die Umstellung der Antriebsarten. Der gänzliche Phase-out von Verbrennungsmotoren bei gleichzeitigem Hochlaufen alternativer, emissionsärmerer Technologien ist hierbei zentral. Im Folgenden werden verschiedene Technologiealternativen näher erläutert und hinsichtlich Emissionsreduzierungspotenzialen, Verfügbarkeit der Technologie und Veränderungen der Investitions- und operativen<sup>15</sup> Kosten (im Vergleich zu der definierten Ausgangsbasis) betrachtet.

### Batterieelektrischer Antrieb

**Einsatz möglich für Lkw-Typ: Kleine, Mittlere, Große A, Große B**

Während der Nutzung des Fahrzeugs (TTW) bietet die Elektrifizierung ein 100%iges Reduzierungspotenzial der THG-Emissionen. Damit auch unter Berücksichtigung der vorgelagerten Energieerzeugung (WTT) diese Einsparung erzielt werden kann, muss der eingesetzte Strom mit erneuerbaren Energien erzeugt werden.

Der batterieelektrische Antrieb ist für kleine und mittlere Lkw-Typen bereits heute verfügbar, die erzielbaren Reichweiten sind für die meisten Anwendungstypen ausreichend. Ein entsprechendes Angebot in der Breite wird für die großen Lkw-Typen A und B ab 2028 angenommen. Dafür muss allerdings auch die Ladeinfrastruktur zügig und flächendeckend ausgebaut werden.

Die Investitionskosten steigen im Vergleich zur oben genannten Ausgangsbasis über alle Lkw-Typen hinweg, gleichzeitig sinken jedoch die operativen Kosten. Dieser Trend verstärkt sich bis zum Jahr 2050.

Fahrzeugtyp	Zusätzliche Investitionskosten		Operative Kosten	
	2030	2050	2030	2050
Große A/B	50 %	32 %	Bis zu 63 %	Bis zu -66 %
Mittlere	52 %	34 %	-57 %	-60 %
Kleine	56 %	41 %	-54 %	-59 %

Batterieelektrischer Antrieb: Kostenentwicklung im Vergleich zur Ausgangsbasis

<sup>15</sup> Operative Kosten beinhalten Wartung, Brennstoffkosten, Infrastrukturkosten, CO<sub>2</sub>-Kosten und Maut.

## Wasserstoffantrieb über Brennstoffzellen

### Einsatz möglich für Lkw-Typ: Mittlere, Große A, Große B

Ein Umstieg auf einen Wasserstoffantrieb über eine Brennstoffzelle ermöglicht WTW-Emissionseinsparungen von 100 %. Der Wasserstoff muss hierfür emissionsneutral mit Strom aus erneuerbaren Energien hergestellt werden. Es wird angenommen, dass Wasserstoff-Lkw ab 2028 verfügbar sein werden. Eine der großen Herausforderungen wird das limitierte Angebot an grünem Wasserstoff und die Rohstoffkonkurrenz mit der Industrie (z. B. Stahlerzeugung) und mit dem Luftverkehr sein. Auch hier ist ein zügiger Ausbau der relevanten Infrastruktur notwendig.

Zusätzliche Investitionskosten für einen Wasserstoff-Lkw belaufen sich im Jahr 2030 für die Lkw-Typen Große A und B auf 83 %, im Jahr 2050 liegen sie lediglich noch bei 28 %. Für mittlere Lkw-Typen belaufen sich die zusätzlichen Investitionskosten auf 75 % im Jahr 2030 und wie bei größeren Typen auf 28 % im Jahr 2050. Parallel sinken die operativen Kosten in allen Fällen.

Fahrzeugtyp	Zusätzliche Investitionskosten		Operative Kosten	
	2030	2050	2030	2050
Große A/B	83 %	28 %	Bis zu -40 %	Bis zu -66 %
Mittlere	75 %	28 %	-35 %	-62 %

Wasserstoffantrieb: Kostenentwicklung im Vergleich zur Ausgangsbasis





## Batterieelektrische Oberleitungs-Lkw

### Einsatz möglich für Lkw-Typ: Große B

Der Umstieg von Lkw mit Verbrennungsmotor auf batterieelektrische Oberleitungs-Lkw birgt ein Emissionseinsparpotenzial von 100 % der WTW-Emissionen, wenn Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommt. Eine zusätzliche Batterie dient dazu, Unterbrechungen der Oberleitung zu überbrücken, wie während Überholmanövern, in Tunneln oder auf den letzten Kilometern, die z. B. auf Landstraßen zurückgelegt werden. Die technologische Verfügbarkeit dieser Maßnahme wird ab dem Jahr 2028 angenommen. Gleichzeitig wird zu diesem Zeitpunkt, insofern die aktuelle Ausbaugeschwindigkeit beibehalten wird, die Oberleitungsinfrastruktur noch nicht ausreichend ausgebaut sein. Zur Beschleunigung und Umsetzung der Infrastrukturmaßnahmen besteht daher eine dringende Handlungsnotwendigkeit.

Die Investitionskosten für batterieelektrische Oberleitungs-Lkw steigen im Vergleich zu der definierten Ausgangsbasis für Lkw-Typ Große B um 18 % im Jahr 2030, bzw. um 8 % im Jahr 2050. Gleichzeitig sinken die operativen Kosten um 45 % im Jahr 2030 und um 65 % im Jahr 2050.

## Hybridisierung

### Einsatz möglich für Lkw-Typ: Kleine, Mittlere, Große A, Große B

Je nach Gütertyp kann die Hybridisierung bei den großen Lkw Typ A und B im Jahr 2030 bis zu 26 % der WTW-Emissionen einsparen (und bis zu 33 % im Jahr 2050). Bei mittleren Lkw liegt das Reduktionspotenzial 2030 bei bis zu 36 % (41 % im Jahr 2050) und bei kleinen Lkw bei bis zu 55 % (konstant 55 % im Jahr 2050). Ein Vorteil ist, dass hohe Reichweiten möglich bleiben und gleichzeitig Emissionsreduktionen erzielt werden können, sofern Grünstrom genutzt wird. Das Laden kann über Plug-in oder Oberleitungen erfolgen. Allerdings reichen die Emissionsreduktionen langfristig nicht aus, um Treibhausgasneutralität im Sektor zu erreichen. Die Technologie zur Hybridisierung ist bereits heute verfügbar und kann sofort eingesetzt werden. Die zusätzlichen Investitionskosten steigen auch hier, während die operativen Kosten sinken.

Fahrzeugtyp	Zusätzliche Investitionskosten		Operative Kosten	
	2030	2050	2030	2050
Große A/B	34 %	17 %	Bis zu -31 %	Bis zu -39 %
Mittlere	28 %	11 %	-25 %	-32 %
Kleine	15 %	0 %	-29 %	-35 %

Hybridisierung Antrieb: Kostenentwicklung im Vergleich zur Ausgangsbasis



**Der Energiemix der Kraftstoffe sowie umgesetzte und geplante Maßnahmen zur Effizienzverbesserung sollten angesprochen werden.**

## Energie: Übergangslösungen und Effizienzmaßnahmen

Dieses Handlungsfeld umfasst Übergangslösungen, die einen Teil des Energiemixes widerspiegeln können, bis die Infrastruktur sowohl für Wasserstoff als auch für Oberleitungen und batterieelektrische Antriebe auf- und ausgebaut ist. Hierbei werden synthetische und biobasierte Kraftstoffe betrachtet. Zudem umfasst das Handlungsfeld Maßnahmen, welche den Energiebedarf durch Verbesserungen der Effizienz senken. Synthetische und biobasierte Kraftstoffe sollten nur als Übergangslösung dienen, bis Grünstrom oder grüner Wasserstoff eingesetzt werden können.

### Wechsel auf synthetische Kraftstoffe

**Einsatz möglich für Lkw-Typ: Kleine, Mittlere, Große A, Große B**

Der Umstieg von Diesel auf synthetische Kraftstoffe setzt voraus, dass deren Herstellung emissionsarm stattfindet. Wenn synthetische Kraftstoffe aus grünem Wasserstoff mit CO<sub>2</sub> mithilfe „Direct Air Capture“-Technologien (DAC) hergestellt werden, wäre ein Emissionsreduzierungspotenzial der TTW-Emissionen von bis zu 25 % erreichbar. WTW-Emissionen könnten um bis zu 98 % reduziert werden. Da die Verfügbarkeit von grünen synthetischen Kraftstoffen jedoch begrenzt ist und in Sektoren wie Luft- und Seeverkehr aus Mangel emissionsarmer Alternativen eine besondere Priorität für deren Einsatz besteht, handelt es sich für den Straßengüterverkehr lediglich um eine Übergangslösung. Die Technologie zur Herstellung und zum Einsatz von synthetischen Kraftstoffen soll bereits ab 2025 verfügbar sein.

Die Investitionskosten bleiben im Vergleich zur Ausgangsbasis unverändert. Allerdings steigen die operativen Kosten über alle Lkw-Typen hinweg um bis zu 25 % im Jahr 2030 sowie um bis zu 20 % im Jahr 2050.

### Biobasierte Kraftstoffe

Biokraftstoffe können übergangsweise und in begrenzter Menge erforderliche Emissionseinsparungen erzielen. Biokraftstoffe sollten nur aus Abfall- und Reststoffen (Gülle, hydriertes Pflanzenöl) gewonnen werden und unterliegen als Brückenlösung einer zeitlichen Nutzungseinschränkung bis 2030. Ihre Herstellung sollte zudem nur mittels erneuerbarer Energie erfolgen.

Der nach KN 2045 im Übergang bestehende Dieselanteil (im Jahr 2040 bei ca. 8 %) könnte teilweise über entsprechende biobasierte Kraftstoffe ersetzt werden.<sup>16</sup>

Bereits heute verfügbare Optionen sind:

- » Biodiesel (Fatty Acid Methyl Ester, FAME)
- » Hydrierte Pflanzenöle (Hydrotreated Vegetable Oils, HVO) bzw. Biokraftstoffe auf Basis von Estern und Fettsäuren (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids, HEFA)
- » Kraftstoffe auf Basis tierischer Fette und Altfette, Biomethan auf Basis vergärbare Rohstoffe
- » Bio-Ethanol (u. a. Exkremate aus der landwirtschaftlichen Produktion, Bioabfall)

<sup>16</sup> Es handelt sich hauptsächlich um Drop-in Fuels, die Beimischung von Diesel mit Biokraftstoffen oder der Betrieb mit 100 % HVO-Biodiesel bzw. Bio-CNG (Compressed Natural Gas) oder Bio-LNG (Liquefied Natural Gas) aus Gülle. Für Biokraftstoffe sind aktuell rund 7 % Beimischung die Norm, eine Erhöhung auf 15–20 % wird in der EU diskutiert.

Einige weitere Optionen sollen zukünftig verfügbar werden, wie beispielsweise Bio-Synthetic-Natural-Gas (SNG) und Biomass-to-Liquid-Kraftstoffe (BtL) auf Basis von lignozellulosem Material (u. a. Stroh, Waldrestholz, Altholz) sowie Kraftstoffe auf Basis von Algen und Bakterien (WWF Deutschland et al., 2014).

Als zwei bereits verfügbare Optionen werden die Potenziale von Biodiesel (FAME) sowie Bio-LNG und Bio-CNG im Folgenden näher betrachtet.

### **Biodiesel (FAME)**

#### **Einsatz möglich für Lkw-Typ: Kleine, Mittlere, Große A, Große B**

Die Umstellung von Diesel zu Biodiesel birgt zwar in der TTW-Betrachtung lediglich ein Emissionsreduzierungspotenzial von 20 %, unter Einbezug der Vorkette (WTW) steigt das Potenzial jedoch auf 86 %. Bei diesem Wechsel sinkt der Brennstoffeinsatz für alle Fahrzeugtypen leicht. Es handelt sich zwar um eine bereits verfügbare Option, das Einsparpotenzial ist allerdings langfristig nicht ausreichend und durch Konkurrenz mit anderen Sektoren könnte es zu Angebotsengpässen kommen. Es handelt sich damit maximal um eine kurzfristige Übergangslösung.

Die Investitionskosten bleiben im Vergleich zur Ausgangsbasis unverändert. Die operativen Kosten sinken jedoch kontinuierlich.

Fahrzeugtyp	Zusätzliche Investitionskosten		Operative Kosten	
	2030	2050	2030	2050
Große A/B	-	-	-47 %	-47 %
Kleine und Mittlere	-	-	-44 %	-40 %

Biodiesel: Kostenentwicklung im Vergleich zur Ausgangsbasis

## Bio-LNG und Bio-CNG

### Einsatz möglich für Lkw-Typ: Kleine, Mittlere, Große A, Große B

Eine weitere Option stellt der Wechsel von Diesel auf Bio-LNG (Liquefied Natural Gas) oder Bio-CNG (Compressed Natural Gas) dar. Bei Betrachtung der TTW-Emissionen sind die Einsparpotenziale mit 25 % zwar nur gering, der Blick auf die gesamte Energiekette (WTW) ist jedoch mit einem Potenzial von 82 % verbunden. Bei diesem Wechsel sinkt der Brennstoffeinsatz für alle Fahrzeugtypen leicht. Eine Ausnahme sind kleine Lkw, bei ihnen ist ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

Auch bei Bio-LNG und Bio-CNG handelt es sich um bereits verfügbare Optionen. Das Einsparpotenzial ist langfristig jedoch nicht ausreichend. Zudem sind Angebotsengpässe zu erwarten, da auch hier eine begrenzte Verfügbarkeit auf Bedarfe verschiedenster Sektoren trifft. Diese biobasierte Kraftstoffalternative kommt damit maximal als kurzfristige Übergangslösung infrage.

Die Investitionskosten steigen leicht, die operative Kosten sinken jedoch deutlich.

Fahrzeugtyp	Zusätzliche Investitionskosten		Operative Kosten	
	2030	2050	2030	2050
Große A/B	24 %	21 %	Bis zu -50 %	Bis zu -50 %
Kleine und Mittlere	Bis zu 28 %	Bis zu 20 %	Bis zu -42 %	Bis zu -38 %

Bio-LNG und Bio-CNG: Kostenentwicklung im Vergleich zur Ausgangsbasis

### Effizienzmaßnahmen

Effizienzmaßnahmen sind für alle Fahrzeugtypen weiter auszuschöpfen. Dazu zählen:

- » Optimierung der Antriebsstränge
- » Reduzierung der Rollreibung
- » Verbesserung der Aerodynamik

Das verbleibende Reduzierungspotenzial hängt davon ab, wie viele Effizienzmaßnahmen bereits implementiert wurden und wird auf 5–17 % geschätzt. Verbesserungen der Effizienz ergeben sich graduell bei der Entwicklung neuer Generationen von Fahrzeugen und bedürfen keiner zusätzlichen Investitionskosten. Die Maßnahmen können bis 2030 zu Einsparungen operativer Kosten zwischen 8–12 % führen und 2050 etwa 11–18 % ausmachen.

Im Fernverkehr bestehen durch die bessere Nutzung von Laderäumen weitere Hebel, wie:

- » Doppelstock-Beladung in den Wechselbrücken und Trailern
- » Nutzung von Volumentrailern/Megatrailern
- » Nutzung von Lang-Lkw

## Ausblick und Impulse für den Dialog

Im Straßengüterverkehr gibt es heute für große Lkw der Typen A und B nur Optionen mit geringen Einsparpotenzialen. Kleine und mittlere Lkw können jedoch bereits batterieelektrisch betrieben werden. Der Wechsel auf Biokraftstoffe kann nur eine Übergangslösung darstellen, da das Einsparpotenzial nicht ausreicht, um Treibhausgasneutralität zu erreichen und die Verfügbarkeit sehr begrenzt ist. Mit mittelfristiger Marktreife batterieelektrischer großer Lkw der Typen A und B, Oberleitungs-Lkw und Brennstoffzellenfahrzeugen kann der Sektor bis 2045 Treibhausgasneutralität erreichen. Dafür muss der Phase-out des Verbrennungsmotors kontinuierlich vorangetrieben werden und der Ausbau der notwendigen Infrastruktur in Form von Schnellladestationen, Oberleitungen und Wasserstofftankstellen zügig umgesetzt werden.

Vor diesem Hintergrund sollte bei der Analyse und Bewertung transformationsbezogener Risiken und Chancen der Sektoren und Unternehmen sowie bei der Vorbereitung, Durchführung und Bewertung von Unternehmensdialogen insbesondere auf folgende Erfolgskriterien einer Paris-kompatiblen Transformation im Sektor Straßengüterverkehr geachtet werden:

- » Antriebsmix
- » Energieträger
- » Zeitplan des Phase-outs der Verbrennungsmotoren

Dabei sollte bei Plänen und der Entwicklung zwischen verschiedenen Größenklassen unterschieden werden. Beispielsweise können kleine und mittlere Lkw bereits heute größtenteils elektrisch betrieben werden. Bei großen Lkw der Typen A und B kann ein verstärkter Fokus auf die Transformationsziele und -pläne und die dafür erforderlichen Investitionen zur Erreichung dieser Ziele gelegt werden.

In allen Dialogen sollten der Stand der entsprechenden Maßnahmen bzw. konkrete Zeitpläne und Investitionsvorhaben erfragt werden.



**Erfolgskriterien einer  
Paris-kompatiblen  
Transformation**

# Literaturverzeichnis

ARUG II. (2019). Gesetz zur Umsetzung der zweiten Aktionärsrechterichtlinie. [https://www.bmj.de/SharedDocs/Gesetzgebungsverfahren/Dokumente/BGBL\\_ARUG\\_II.html](https://www.bmj.de/SharedDocs/Gesetzgebungsverfahren/Dokumente/BGBL_ARUG_II.html). Abgerufen am 21. September 2022.

Deutsche Energie-Agentur (dena). (2018). dena-Leitstudie Integrierte Energiewende Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050. [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261\\_dena-Leitstudie\\_Integrierte\\_Energiewende\\_lang.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf). Abgerufen am 21. September 2022.

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). (2019). Verkehr in Zahlen 2019/2020. 48. Jahrgang. [https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2019-pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2019-pdf.pdf?__blob=publicationFile). Abgerufen am 21. September 2022.

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV). (2022). Sofortprogramm für den Sektor Verkehr aufgrund einer Überschreitung der zulässigen Jahresemissionsmenge für das Jahr 2021 auf Grundlage von § 8 Absatz 1 KSG. [https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/presse/051-wissing-sofortprogramm-zur-einhaltung-der-klimaziele-im-verkehrssektor-anlage-2.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/presse/051-wissing-sofortprogramm-zur-einhaltung-der-klimaziele-im-verkehrssektor-anlage-2.pdf?__blob=publicationFile). Abgerufen am 21. September 2022.

Europäische Kommission. (2008). Energy Sources, Production Costs and Performance of Technologies for Power Generation, Heating and Transport. Commission Staff Working Document. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008SC2872&from=EN>. Abgerufen am 21. September 2022.

Europäische Kommission. (2016). Well-to-Wheels Analyses. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/jec-activities/well-wheels-analyses\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/jec-activities/well-wheels-analyses_en). Abgerufen am 21. September 2022.

Europäische Kommission. (2021). Vorschlag für eine Änderung der Richtlinie hinsichtlich der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0189>. Abgerufen am 21. September 2022.

Europäische Kommission. (2022). EU Taxonomy Compass – Von Freight transport services by road. <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity/65/view>. Abgerufen am 21. September 2022.

Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung (ISI). (2017). Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-Lkw. In Zusammenarbeit mit PTV Transport Consult, TU Hamburg-Harburg und M-Five. In Auftrag des Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI). [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2017/MKS\\_Machbarkeitsstudie\\_Hybrid-Oberleitungs-Lkw\\_Bericht\\_2017.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2017/MKS_Machbarkeitsstudie_Hybrid-Oberleitungs-Lkw_Bericht_2017.pdf). Abgerufen am 21. September 2022.

Glasgow Financial Alliance for Net Zero (GFANZ). (2022). Financial Institution Net-zero Transition Plans. [https://assets.bbhub.io/company/sites/63/2022/06/GFANZ\\_Recommendations-and-Guidance-on-Net-zero-Transition-Plans-for-the-Financial-Sector\\_June2022.pdf](https://assets.bbhub.io/company/sites/63/2022/06/GFANZ_Recommendations-and-Guidance-on-Net-zero-Transition-Plans-for-the-Financial-Sector_June2022.pdf). Abgerufen am 21. September 2022.

Hacker, F., Jöhrens, J. und Plötz, P. (2020). Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und Ausbauszenarien von Oberleitungs-Lkw in Deutschland: Eine Synthese. Öko-Institut, ifeu, Fraunhofer ISI. <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/wirtschaftlichkeit-umweltwirkung-und-ausbau-szenarien-von-oberleitungs-lkw-in-deutschland-eine-synthese>. Abgerufen am 21. September 2022.

International Energy Agency (IEA). (2021). Net Zero by 2050. Von A Roadmap for the Global Energy Sector. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf). Abgerufen am 21. September 2022.

Kraftfahrt-Bundesamt. (2022). Verzeichnis zur Systematisierung von Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern. [https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/SV/sv1\\_2022\\_02\\_pdf](https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/SV/sv1_2022_02_pdf). Abgerufen am 21. September 2022.

Kühnel, S., Hacker, F., Görz, W. (2018). Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Straßengüterfernverkehr. Öko-Institut e. V. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/StratON-O-Lkw-Technologievergleich-2018.pdf>. Abgerufen am 21. September 2022.

Plötz, P., Hacker, F., und Jöhrens, J. (2018). Alternative Antriebe und Kraftstoffe im Straßengüterverkehr – Handlungsempfehlungen für Deutschland. Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung ISI. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Thesen-Zukunft-StrGueterverkehr.pdf>. Abgerufen am 21. September 2022.

Prognos. (2021). Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität in Deutschland. Im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). In Zusammenarbeit mit: Nextra Consulting & Institut für nachhaltige Kapitalanlagen. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Studien-und-Materialien/Green-Finance-und-Klimaneutralitaet.pdf>. Abgerufen am 21. September 2022.

Prognos, Öko-Institut und Wuppertal-Institut. (2021). Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045-vollversion/>. Abgerufen am 21. September 2022.

Richtlinie 2014/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über Märkte für Finanzinstrumente sowie zur Änderung der Richtlinien 2002/92/EG und 2011/61/EU. (2014). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32014L0065>. Abgerufen am 21. September 2022.

Toll Collect. (2021). Mauttarife. [https://www.toll-collect.de/de/toll\\_collect/bezahlen/maut\\_tarife/maut\\_tarife.html](https://www.toll-collect.de/de/toll_collect/bezahlen/maut_tarife/maut_tarife.html). Abgerufen am 21. September 2022.

Umweltbundesamt. (2019). Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE: Langfassung. <https://www.umweltbundesamt.de/rescue>. Abgerufen am 21. September 2022.

Umweltbundesamt. (2021). Umweltfreundlich mobil! Von Ein ökologischer Verkehrsartenvergleich für den Personen- und Güterverkehr in Deutschland. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021\\_fb\\_umweltfreundlich\\_mobil\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_fb_umweltfreundlich_mobil_bf.pdf). Abgerufen am 21. September 2022.

Umweltbundesamt. (2022a). Fahrleistungen, Verkehrsleistung und “Modal Split”. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/fahrleistungen-verkehrsaufwand-modal-split#fahrleistung-im-personen-und-gueterverkehr>. Abgerufen am 21. September 2022.

Umweltbundesamt. (2022b). Klimaschutz im Verkehr. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/klimaschutz-im-verkehr#undefined>. Abgerufen am 21. September 2022.

Umweltbundesamt. (2022c). Emissionsübersichten in Sektoren. Daten der Treibhausgasemissionen des Jahres 2021 nach KSG. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>. Abgerufen am 21. September 2022.

Umweltbundesamt. (2022d). Spezifische Emissionen des Straßenverkehrs. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#pkw-fahren-heute-klima-und-umweltvertraglicher>. Abgerufen am 21. September 2022.

Verordnung (EU) 2019/1242 des europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 zur Festlegung von CO<sub>2</sub>-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 595/2009 und (EU) 2018/956 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Richtlinie 96/53/EG des Rates. (2019). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1242/oj>. Abgerufen am 21. September 2022.

Verordnung (EU) 2019/2088 des Europäischen Parlaments und des Rates über nachhaltigkeitsbezogene Offenlegungspflichten im Finanzdienstleistungssektor. (2019). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32019R2088>. Abgerufen am 21. September 2022.

Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088. (2020). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32020R0852>. Abgerufen am 21. September 2022.

WWF Deutschland, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (BUND), Germanwatch e. V., Naturschutzbund Deutschland e. V. (NABU) und Verkehrsclub Deutschland e. V. (VCD). (2014). Klimafreundlicher Verkehr Deutschland. Von Weichenstellung bis 2050. [https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Verbaendekonzept\\_Klimafreundlicher\\_Verkehr.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Verbaendekonzept_Klimafreundlicher_Verkehr.pdf). Abgerufen am 21. September 2022.

Zimmer, W., Blanck, R., Bergmann, T., Mottschall, M., Waldenfels, R., ... Schumacher, K. (2016). Endbericht Renewbility III. Öko-Institut e. V., Das Institut für Verkehrsforschung DLR; Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU); Infras. [https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/RenewbilityIII\\_Endbericht.pdf](https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/RenewbilityIII_Endbericht.pdf). Abgerufen am 21. September 2022.



## Impressum

Herausgeber:	WWF Deutschland
Stand:	Oktober 2022
Gesamtverantwortung:	Matthias Kopp, Director Sustainable Finance, WWF Deutschland; Dr. Nicole Röttmer, Global Lead Climate Clients & Industries, PwC Deutschland
Autor:innen/Mitarbeit:	Vanessa Bolmer, Leonie Ederli Fickinger (beide WWF Deutschland); Johannes Erhard, Friederike Schwarz (beide PwC Deutschland)
Kontakt:	Vanessa Bolmer (Senior Policy Advisor, Sustainable Finance, WWF Deutschland); Johannes Erhard (Senior Manager Sustainability Services, PwC Deutschland); info@pathwaystoparis.com
Gestaltung:	Anita Drbohlav (www.paneemadesign.com)
Bildnachweise:	Cover, S. 7, 16: iStock/Getty Images; S. 11: design4business/unsplash

## Disclaimer

Pathways to Paris ist ein vom Bundeswirtschaftsministerium (BMWK) gefördertes Projekt mit einer Laufzeit von zwei Jahren. Die aktive Projektphase endete im Oktober 2022.

WWF Deutschland und PwC Deutschland begleiteten und unterstützten die teilnehmenden Unternehmen bei der Entwicklung von Transformationspfaden, die für die Erreichung der Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens notwendig sind. Neben der Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses und breiter Akzeptanz für die Anforderungen einer erfolgreichen Klimawende wurden sektorspezifische, reproduzierbare Transformationspfade beleuchtet, die öffentlich zugänglich sind.

Eine exklusive Beratung mit unmittelbarer Wirkung auf z. B. Produktionstechnologien, Strategieplanung oder Wertschöpfungsketten einzelner Unternehmen fand nicht statt. Des Weiteren bestehen im Rahmen des Projektes keine finanziellen Verbindlichkeiten zwischen den teilnehmenden Unternehmen und den Projektinitiatoren, so dass etwaige Interessenkonflikte ausgeschlossen sind.

Die Inhalte des vorliegenden Orientierungsrahmens wurden mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Der Anbieter übernimmt jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der bereitgestellten Inhalte. Die Nutzung des Orientierungsrahmens erfolgt auf eigene Gefahr des Nutzers.

Eine Kooperation von:



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages