

Wie ausbleibender Klimaschutz im Verkehr künftige Generationen belastet

Kurzstudie im Auftrag von Greenpeace e.V. und Germanwatch e.V.

Wie ausbleibender Klimaschutz im Verkehr künftige Generationen belastet

NewClimate Institute, September 2024

Kurzstudie im Auftrag von Greenpeace e.V. und Germanwatch e.V.



GREENPEACE

Kein Geld von Industrie und Staat

Greenpeace arbeitet international und kämpft mit gewaltfreien Aktionen für den Schutz der Lebensgrundlagen. Unser Ziel ist es, Umweltzerstörung zu verhindern, Verhaltensweisen zu ändern und Lösungen durchzusetzen. Greenpeace ist überparteilich und völlig unabhängig von Politik und Wirtschaft. Mehr als 620.000 Fördermitglieder in Deutschland spenden an Greenpeace und gewährleisten damit unsere tägliche Arbeit zum Schutz der Umwelt, der Völkerverständigung und des Friedens.

Impressum

Greenpeace e.V. Hongkongstraße 10, 20457 Hamburg, T 040 30618-0 **Pressestelle** T 040 30618-340, F 040 30618-340, presse@greenpeace.de, greenpeace.de **Politische Vertretung Berlin** Marienstraße 19-20, 10117 Berlin, T 030 308899-0 **V.i.S.d.P.** Marissa Reiserer **Titelfoto** © istockphoto **Stand** 09 / 2024

Wie ausbleibender Klimaschutz im Verkehr künftige Generationen belastet

NewClimate Institute, September 2024

Kurzstudie im Auftrag von Greenpeace e.V. und Germanwatch e.V.

Kontakt: Hanna Fekete (h.fekete@newclimate.org), Niklas Höhne (n.hoehne@newclimate.org), Jan-Luka Scheewel (jl.scheewel@newclimate.org)

Zusammenfassung	2
1 Einführung und Methode	7
2 Deutschland hält sein CO ₂ -Budget nicht ein.....	10
2.1 CO ₂ -Budget nach Klimaschutzgesetz	10
2.2 CO ₂ -Budget für 1.5°C nach Methode des Sachverständigenrats für Umweltfragen.....	11
2.3 CO ₂ Budget nach EU-Klimaschutzverordnung.....	14
3 Quantitativer Vergleich von Emissionspfaden	15
3.1 Fall „Verpasste Chance“	15
3.2 Fall „Sofortiges Handeln“	16
3.3 Fall „Kompensation verspäteten Handelns – im Verkehr“	17
3.4 Fall „Kompensation verspäteten Handelns“ – durch andere Sektoren	18
4 Transformation zur Klimaneutralität im nationalen Verkehrssektor	22
4.1 Infrastruktur.....	22
4.2 Motorisierter Individualverkehr	25
4.3 Güterverkehr.....	32
4.4 Kompensation verspäteten Handelns durch andere Sektoren.....	35
5 Schlussfolgerung	37
6 Quellenverzeichnis.....	39

Zusammenfassung

Deutschland und der Verkehrssektor insbesondere hinken beim Klimaschutz hinterher. Deutschlands nationale Ziele fallen hinter den für das Pariser Klimaschutzabkommen nötigen Ambitionen zurück und werden nach Stand der politischen Maßnahmen heute nicht erreicht. Insbesondere im Verkehrssektor wurden auf nationaler Ebene kaum Klimaschutzmaßnahmen umgesetzt. Das Verkehrsministerium hat seine Sektorziele aus dem Klimaschutzgesetz in den letzten Jahren durchweg deutlich verfehlt und selbst nach der entsprechenden Feststellung keine wesentlichen Maßnahmen umgesetzt.

Es ist jedoch klar, dass transformative Maßnahmen auch im Verkehrssektor nötig sind, um Klimaneutralität bis 2045 (in Deutschland) oder zumindest 2050 (EU-Recht) zu erreichen. Die vorliegende Analyse vergleicht Szenarien, in denen zusätzliche Maßnahmen zur Transformation des Verkehrssektors in Richtung Klimaneutralität zu verschiedenen Zeitpunkten angesetzt werden. Je nach Startzeitpunkt ergeben sich Unterschiede in der nötigen Geschwindigkeit der Emissionsreduktionen.

Die Analyse zeigt, dass auch die Intensität nötiger Maßnahmen stark vom Startzeitpunkt abhängt. Je länger Maßnahmen herausgezögert werden, desto schwieriger wird es, diese in der Zukunft umzusetzen, was wiederum zu besonderen Härten führt. Dies bezieht sich einerseits auf die Effekte in Wirtschaft und Bevölkerung, andererseits auch auf die Auswahl- und Ausgestaltungsmöglichkeiten von politischen Instrumenten.

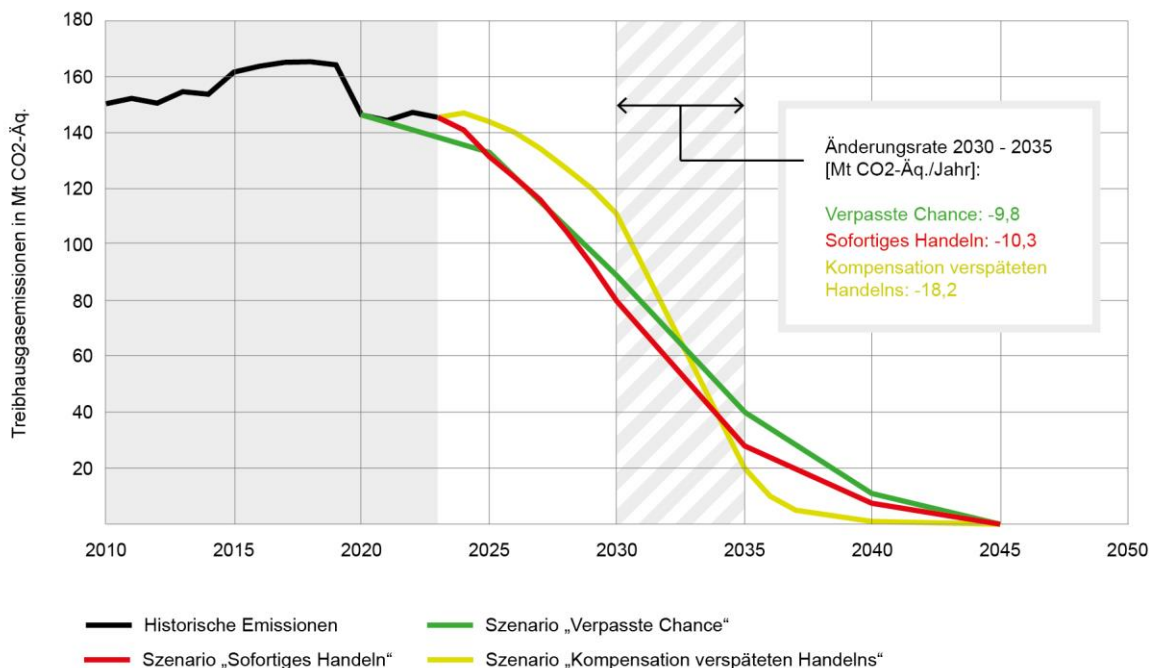


Abbildung 1: Exemplarische Verläufe für die Szenarien "Verpasste Chance", "Sofortiges Handeln" und "Kompensation verspäteten Handelns".

Datenquellen: Verpasste Chance – Klimaneutralitätsszenario von Agora Energiewende (Prognos, Öko-Institut, 2021), Sofortiges Handeln - UBA SHS (Kreye et al., 2024), Kompensation verspäteten Handelns - Wende 2030 Szenario von Agora Verkehrswende (Agora Verkehrswende, 2024). Die Werte der verschiedenen Szenarien weichen in den Jahren bis 2023 leicht vom Treibhausgasinventar ab.

Vereinfachend stellen wir deshalb die Szenarien „Sofortiges Handeln“ und „Kompensation verspäteten Handelns“ ab 2024 dar.

Da der Endpunkt der Klimaneutralität in 2045 / 2050 festgelegt ist, müssen kurzfristige Verzögerungen von Emissionsreduktionen später wieder aufgeholt werden (Abbildung 1). Durch die verspätete Umsetzung zusätzlicher Maßnahmen bei gleichbleibenden Zielen (Szenario „Kompensation verspäteten Handelns“ mit Maßnahmen erst ab 2030) ergeben sich im Vergleich zu früherem Handeln (Szenarien „Verpasste Chance“ mit Maßnahmen ab 2021 und „Sofortiges Handeln“ mit Maßnahmen ab 2024) nach 2030 deutlich höhere Änderungsraten in den Emissionspfaden. Maßnahmen, die Emissionen nach 2030 so schnell reduzieren, bedeuten eine deutlich größere Härte als die immer noch ambitionierten Maßnahmen der Szenarien mit früherem Start.

Je länger Reduktionen verzögert werden, desto schneller und disruptiver werden die Maßnahmen, wenn gesetzte Ziele immer noch erreicht werden sollen. Dies zeigt sich auch in den analysierten Szenarien (Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3). Die durchschnittliche Reduktionsgeschwindigkeit des Treibhausgasausstoßes zwischen 2030 und 2035 steigt beim „sofortigem Handeln“ schon auf etwa 10,3 MtCO₂-Äq. pro Jahr im Vergleich zu etwa 9,8 unter den Szenarien der „verpassten Chance“. Auch zwischen 2035 und 2040 wären im Szenario „Verpasste Chance“ deutlich höhere Emissionsmengen verblieben als bei – jetzt nur noch möglichem – „sofortigem Handeln“.

Bei der Kompensation verspäteten Handels innerhalb des Verkehrssektors ab 2030 steigt die jährliche Reduktionsgeschwindigkeit zwischen 2030 und 2035 auf 18,2 MtCO₂-Äq. Neuanmeldungen von E-Autos schnellen bei „sofortigem Handeln“ von derzeit grob 1 Million auf 2-2,5 Millionen. Bei „Kompensation verspäteten Handelns“ reicht das Neuanmelden von E-Autos statt Verbrennern nicht mehr aus, es müssten ab 2030 also nicht nur fast 5 Millionen E-Autos neu angemeldet, sondern auch über 1 Million Verbrenner pro Jahr verfrüht stillgelegt werden. Notwendige Investitionen in die Bahn schnellen von 15 Milliarden pro Jahr ab 2030 auf 25 Milliarden Euro pro Jahr bei „Kompensation verspäteten Handelns“.

Die Tabellen 1-3 stellen stichwortartig für die gebildeten Szenarien die Maßnahmen und ihre Auswirkungen konkret für Infrastruktur, motorisierten Individualverkehr und Güterverkehr dar.

Tabelle 1. Zusammenfassung der Auswirkungen der verschiedenen Szenarien für Infrastrukturausbau

	Verpasste Chance	Sofortiges Handeln	Kompensation verspäteten Handelns
Erforderliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> Gleichmäßige Infrastrukturausgaben 	<ul style="list-style-type: none"> Höhere Infrastrukturausgaben pro Jahr 	<ul style="list-style-type: none"> Extrem hohe Infrastrukturausgaben pro Jahr
Effekte in der Transformation	<ul style="list-style-type: none"> Keine Fehlinvestitionen in später nicht mehr genutzte Autoinfrastruktur Jährliche Investitionen in die Bahn von ~15 Mrd. EUR 	<ul style="list-style-type: none"> Fehlinvestitionen in später nicht mehr genutzte Autoinfrastruktur Jährliche Investitionen in die Bahn von ~20 Mrd. EUR ab sofort 	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Fehlinvestitionen in später nicht mehr genutzte Autoinfrastruktur Jährliche Investitionen in die Bahn von ~15 Mrd. EUR vor 2030 und 25 Mrd. EUR nach 2030
Soziale Effekte	<ul style="list-style-type: none"> Mehr Mobilität insbesondere im ländlichen Raum und für ökonomisch schwächere Bevölkerung 	<ul style="list-style-type: none"> Verzögerung der Steigerung der Mobilität im ländlichen Raum und für ökonomisch schwächere Bevölkerung 	<ul style="list-style-type: none"> Erhebliche Verzögerung der Mobilität Extreme Belastung des Haushalts in den 2030er Jahren

Tabelle 2. Zusammenfassung der Auswirkungen der verschiedenen Szenarien für motorisierten Individualverkehr

	Verpasste Chance	Sofortiges Handeln	Kompensation verspäteten Handelns
Erforderliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Früher Abbau CO₂-Emissionen unterstützender Subventionen • Frühe Einführung des Tempolimits • Gleichmäßiger und moderater Anstieg des CO₂-Preises (~120 Euro/tCO₂) mit sozialem Ausgleich 	<ul style="list-style-type: none"> • Abbau CO₂-Emissionen unterstützender Subventionen ab heute • Einführung eines Tempolimits ab heute • Zügiger Anstieg des CO₂-Preises ab heute auf hohes Niveau (~250 €/tCO₂ in 2030 und ~300 €/tCO₂ in 2040), unter Berücksichtigung des EU ETS II ab 2027 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortführung von Fehlanreizen, die dann nach 2030 rückgängig gemacht werden müssen • Extrem verspätete Einführung eines Tempolimits • Sprunghaft extrem hoher CO₂-Preis ab 2030, zusätzlich zu schnellem Anstieg des Preises unter EU ETS II ab 2027
Effekte in der Transformation	<ul style="list-style-type: none"> • Die Änderung des E-PKW Bestands nimmt bis 2035 gleichmäßig an Fahrt auf. (von ~0,6 Mio. neue E-PKW im Jahr 2025, über ~1 Mio. im Jahr 2030, hin zu ~1,7 Mio. im Jahr 2035) 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Änderung des E-PKW Bestands erfolgt sprunghaft von 0,5 Mio. neue E-PKW im Jahr 2025 auf ~2,2 Mio. im Jahr 2030 und bis 2035 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Änderung im E-PKW Bestand erfolgt langsam (~1,2 Mio. pro Jahr) bis 2030, dann rapide um 4,8 Mio. pro Jahr zwischen 2030-35, sodass über 1 Mio. Verbrenner frühzeitig stillgelegt werden müssen
Soziale Effekte	<ul style="list-style-type: none"> • Gleichmäßiger CO₂-Preisanstieg kann durch soziale Maßnahmen abgefedert werden • Gleichmäßiger Hochlauf von elektrischen Fahrzeugen • Rückgang von Verkehrstoten • Bessere Luftqualität in Städten • ~10 Mrd. EUR pro Jahr Mehreinnahmen durch wegfallende Subventionen, die zurzeit eher den reicheren Bevölkerungsschichten zugutekommen 	<ul style="list-style-type: none"> • Schnellerer CO₂-Preisanstieg, vor allem mit Auswirkungen auf sozial Schwache, wenn ohne Ausgleich • Schneller Hochlauf von elektrischen Fahrzeugen • Austausch des Fuhrparks im Rahmen der typischen Lebensdauer der Fahrzeuge • Rückgang von Verkehrstoten ab heute • Höhere Luftqualität in Städten ab heute • Ab heute ~10 Mrd. EUR pro Jahr Mehreinnahmen durch wegfallende Subventionen, die zurzeit eher der reicheren Bevölkerung zugutekommen 	<ul style="list-style-type: none"> • Extremer CO₂-Preisanstieg trifft vor allem sozial Schwache und kommt für diese Gruppe einem Fahrverbot gleich • Extrem schneller und nur kurzfristig hoher Verkauf von elektrischen Fahrzeugen nach Jahren der Unsicherheit stellt Autoindustrie vor große Herausforderungen • Austausch des Fuhrparks vor Ende der typischen Lebensdauer der Fahrzeuge, kumulative Mehrkosten von 400 Mrd. EUR

Tabelle 3. Zusammenfassung der Auswirkungen der verschiedenen Szenarien für den Güterverkehr

	Verpasste Chance	Sofortiges Handeln	Kompensation verspäteten Handelns
Erforderliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Früher Abbau CO₂-Emissionen unterstützender Subventionen • Früher, gleichmäßiger und moderater Anstieg des CO₂-Preises 	<ul style="list-style-type: none"> • Abbau CO₂-Emissionen unterstützender Subventionen ab heute • Zügiger Anstieg des CO₂-Preises auf hohes Niveau ab heute 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortführung von Fehlanreizen, die dann nach 2030 rückgängig gemacht werden müssen • Sprunghaft extrem hoher CO₂-Preis ab 2030
Soziale Effekte	<ul style="list-style-type: none"> • Frühe Verlagerung von Transport auf die Schiene ohne signifikante Auswirkungen auf die Transportpreise 	<ul style="list-style-type: none"> • Zügiger Anstieg der Transportkosten, mit Auswirkungen auf sozial Schwache, falls ohne Gegenmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Extrem sprunghafter Anstieg der Transportkosten, mit großen Auswirkungen auf sozial Schwache

Sollen die Klimaziele (Klimaneutralität und Einhalten des CO₂-Budgets) Deutschlands und der EU erreicht werden, ist eine deutliche Verstärkung von Maßnahmen auch im Verkehrssektor unumgänglich. Eine rechnerische Alternative wäre die Kompensation verspäteten Handelns durch andere Sektoren, also Energieerzeugung, Industrie, Gebäude oder Land- und Forstwirtschaft. In diesem Fall würde die größere Härte der Wirkung von Maßnahmen vom Verkehrssektor auf andere Sektoren umgewälzt.

Die Kompensation durch andere Sektoren ist jedoch keine realistische Alternative. Für Klimaneutralität müssen alle Sektoren sowieso schon große Anstrengungen erbringen und manche Bereiche sind ohnehin schon deutlich schwerer zu dekarbonisieren als der nationale Verkehrssektor. Beispiele hierfür sind Landwirtschaft und Teile der Industrie. Sollten solche Bereiche den verfehlten Klimaschutz des Verkehrssektors kompensieren, steigen die Kosten für jede zu vermeidende Tonne CO₂ überproportional an und das Nicht-Handeln im Verkehrssektor würde an anderer Stelle sehr teuer. Die Effekte auf andere Sektoren wurden nicht modelliert, Beispiele sind jedoch in Tabelle 4 qualitativ skizziert.

Tabelle 4. Beispielhafte Darstellung der Belastungen anderer Sektoren bei Kompensation verspäteten Handelns im Verkehr

Bereich	Transformation mit ähnlicher Belastung in allen Sektoren	Transformation mit zusätzlicher Belastung durch verspätetes Handeln im Verkehrssektor
Stromsektor	100% erneuerbare Energien (möglich durch erprobte, kosteneffiziente Technologien)	Entnahme von CO ₂ aus der Atmosphäre im Stromsektor nötig, was nur durch den Einsatz von neuen, teuren Technologien möglich ist (z.B. Direct Air Capture), und/oder zusätzliche Landfläche benötigt (z.B. Bioenergy Carbon Capture and Storage)
Konsumverhalten	Steigender Anteil an pflanzlicher Ernährung, generell zeigen Szenarien jedoch keine substantielle Änderung des Lebensstils	Stark steigender Anteil an pflanzlicher Ernährung, Einschränkung der Wohnfläche, Anpassung des Konsumverhaltens bei Kleidung und anderen Konsumgütern
Industrie	Schnelle Dekarbonisierung des Industriesektors. Technische Sanierungszyklen können weitgehend berücksichtigt werden und die internationale Wettbewerbsfähigkeit bleibt erhalten. CCS wird in einigen Sektoren nötig (z.B. Zementherstellung), einige Restemissionen können ausgestoßen werden (und werden durch den Forstsektor kompensiert).	Forst-Senken müssen für den Transportsektor kompensieren, d.h. alle Industriezweige müssen auf Brutto-Null Emissionen. CCS wird trotz hoher Kosten in mehr Sektoren nötig. Industrie muss schneller als die technischen Sanierungszyklen dekarbonisieren, was zu höheren Preisen und Wettbewerbsnachteilen führen kann.

Gebäude	Bei Heizungseinbau werden von nun an nur noch klimafreundliche Technologien genutzt und alle Gebäude werden bis 2045 energetisch auf höchsten Standard saniert.	Öl- und Gas-Heizungen müssen vor Ende der Lebensdauer gegen klimafreundliche Alternativen ausgetauscht werden.
----------------	---	--

Mit großer Wahrscheinlichkeit stehen dem Verkehrssektor also langfristig keine Minderungen aus anderen Sektoren zur Verfügung. Es ist außerdem sogar wahrscheinlich, dass es durch die Dekarbonisierung des internationalen Flug- und Schiffsverkehrs noch größeren Handlungsdruck im nationalen Verkehr gibt als in den meisten Szenarien angenommen. Da es im internationalen Flug- und Schiffsverkehr nur wenige Möglichkeiten zu Emissionsreduktion gibt, sind Akteure in diesen Sektoren bereit, sehr hohe Preise für klimaneutrale Kraftstoffe („E-Fuels“) und negative Emissionen zu zahlen, was die Nutzung dieser Minderungsoptionen im nationalen Verkehrssektor stark einschränken wird.

Selbst wenn man dennoch unterstellt, dass andere Sektoren kompensieren würden (siehe Kapitel 3.4), ist der Rückstand im Verkehrssektor ab dem Jahr 2030 nur noch mit einem sprunghaften Einsetzen deutlich verschärfter Maßnahmen zu erreichen. Selbst dann wäre eine Verdoppelung der Reduktionsgeschwindigkeit im Verkehr ab dem Jahr 2030 nötig, im Vergleich zu der Geschwindigkeit zwischen 2020 und 2030.

Bei ausreichend politischem Willen steht einer schnellen Umsetzung ambitionierter Klimaschutzmaßnahmen im Verkehrssektor nichts entgegen. Über die letzten Jahre wurden viele Vorschläge für politische Maßnahmen in mehreren Studien von staatlichen und nichtstaatlichen Stellen sehr konkret ausformuliert und bewertet. Dies betrifft die mögliche Ausgestaltung inklusive rechtlicher Aspekte, Kosten, Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen, die Betrachtung von sozio-ökonomischen Effekten und Vorschläge, um potenziell negative Effekte abzumindern. Viele Maßnahmen, die heute umgesetzt werden können, würden zu zusätzlichen staatlichen Einnahmen führen, die in den schnelleren Infrastrukturausbau und in eine Abfederung der negativen Effekte auf vulnerable Bevölkerungsgruppen investiert werden könnten.

1 Einführung und Methode

Deutschland und der Verkehrssektor insbesondere hinken beim Klimaschutz hinterher. Mit dem Pariser Abkommen hat sich Deutschland dazu verpflichtet, zur Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1.5°C beizutragen. Deutschlands Ziele fallen jedoch hinter den nötigen Ambitionen zurück (Climate Action Tracker, 2023; Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU), 2024), und selbst diese werden nach Stand der politischen Maßnahmen heute nicht erreicht (Expertenrat für Klimafragen, 2024).

Während in einigen Sektoren der Treibhausgasausstoß seit 1990 bereits deutlich gesunken ist, gab es im Verkehrssektor wenig Fortschritt und die Emissionen blieben bis zum Corona-Jahr 2020 auf gleichem Niveau. Im Jahr 2020 fielen sie um 10%, seitdem sind sie wieder ungefähr stabil. Politische Maßnahmen zur Vermeidung von Emissionen wurden kaum und wenn dann nur zögerlich umgesetzt, und die Sektorziele für den Verkehrssektor wurden in den letzten Jahren durchweg deutlich verfehlt (UBA, 2024b). Die Sofortprogramme, die das Verkehrsministerium auf Grundlage des Bundes-Klimaschutzgesetzes vorlegen musste, wurden von Experten als „schon im Ansatz ohne hinreichenden Anspruch“ beurteilt (Expertenrat für Klimafragen, 2022).

Die unter derzeitigen Maßnahmen absehbaren Reduktionen gehen in erster Linie auf gesetzliche Maßnahmen auf EU-Ebene zurück (Emissionsstandards für Neuzulassungen, EU-ETS II) (UBA, 2024d). Die EU-Emissionsstandards hatte die deutsche Regierung im Verlaufe der Verhandlungen sogar noch verwässert, indem sie darauf bestand, neue Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor auch langfristig zuzulassen, die mit „klimaneutralen“ Kraftstoffen fahren.

Um Klimaneutralität in Deutschland bis 2045 und auf EU-Ebene bis 2050 zu erreichen, sind weitgreifende Maßnahmen in allen Sektoren nötig. Diese Studie analysiert, wie verspätetes Handeln im Verkehrssektor die Ausgestaltung und Wirkungshärte zukünftiger Maßnahmen verstärkt. Wir vergleichen Effekte in der Transformation, wie beispielsweise Änderungen im Fahrzeugbestand, sowie sozio-ökonomische Auswirkungen, wenn Maßnahmen im Verkehrssektor verspätet umgesetzt werden. Außerdem beschreiben wir qualitativ die Effekte auf andere Sektoren, sollten diese für fehlendes Handeln im Verkehrssektor kompensieren müssen. Grundannahme ist dabei, dass die vom Bundes- und EU Gesetzgeber vorgegebenen Klimaziele erreicht werden müssen.

Die Studie vergleicht verschiedene Szenarien, in denen zu verschiedenen Startpunkten verstärkte Maßnahmen einsetzen. Die Szenarien fallen in folgende Szenariengruppen:

- **Verpasste Chance:** Verstärkte Maßnahmen hätten direkt nach dem Urteil zur Stärkung des Klimaschutzgesetzes im Frühjahr 2021 eingesetzt, d.h. ab 2021 sinkt der Treibhausgasausstoß im Verkehrssektor. Die betrachteten Szenarien sind die „Big 5 Szenarien“ (Stiftung Klimaneutralität, 2022), die ab 2021 Emissionen reduzieren.
- **Sofortiges Handeln:** Verstärkte Maßnahmen setzen ab sofort und deutlich vor 2030 ein. Datenquellen für diese Szenarien sind (Agora Verkehrswende, 2024; Kreye *et al.*, 2024) („Wende 2024“ Szenario, Sofortiges Handeln Szenario (SHS) (ab 2024) und Verzögertes Handeln Szenario (VHS)(ab 2027)).
- **Kompensation verspäteten Handelns:** Verstärkte Maßnahmen setzen ab 2030 ein, bis dahin entwickeln sich die Emissionen gemäß des Projektionsberichts (UBA, 2024d). Dabei gibt es zwei mögliche Kategorien:
 - Kompensation verspäteten Handelns **innerhalb des Verkehrssektors.** Die Datenquelle für dieses Szenario ist das „Wende 2030 Szenario“ von Agora Verkehrswende (Agora Verkehrswende, 2024).

- **Kompensation verspäteten Handelns durch andere Sektoren.** Dieses Szenario beruht auf eigenen Annahmen (siehe Kapitel 3.4). Dabei wird sowohl das Budget¹ unter dem deutschen Klimaschutzgesetz als auch das EU-Klimaneutralitätsziel beachtet.

Die Geschwindigkeit der Transformation zur Klimaneutralität reagiert wegen der kurzen verbleibenden Zeit sehr sensitiv auf Verzögerungen: Im Idealfall hätte man sie spätestens von 2020 bis 2045, also über 25 Jahre, gleichmäßig gestreckt. Wird erst 2025 angefangen, muss die Transformation bereits ein Viertel schneller erfolgen, um dasselbe Ziel zu erreichen. Wenn erst 2030, also mit 10 Jahren Verzögerung, angefangen wird, muss sie sogar zwei Drittel schneller sein (Abbildung 2).

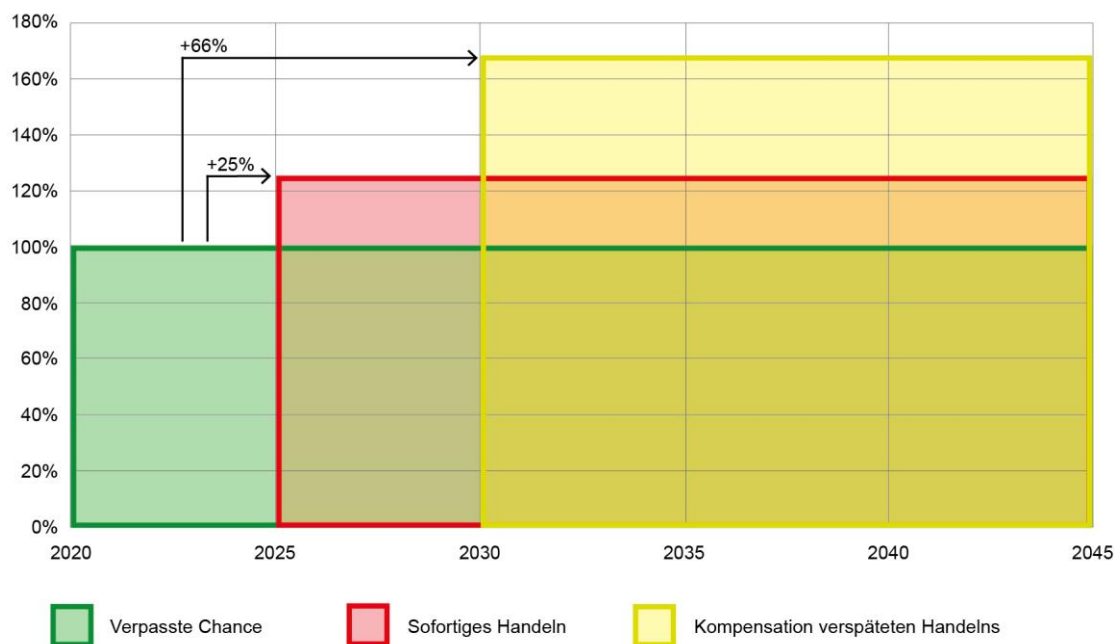


Abbildung 2. Illustration der prozentualen Erhöhung der jährlichen Leistung einer Maßnahme, wenn sie nicht über 25, sondern über 20 oder 15 Jahre gestreckt wird.

Die Studie fokussiert sich beim nationalen Verkehrssektor auf Straße und Schiene. Die Daten beziehen zusätzlich den nationalen Flug- und Schiffsverkehr mit ein, hier erfolgt jedoch keine Analyse von zusätzlichen Maßnahmen. Internationaler Flug- und Schiffsverkehr wird hier nicht direkt betrachtet, beeinflusst aber die Analyse, insbesondere durch den Zugriff auf Minderungsoptionen wie E-Fuels und die nötigen CO₂-Senken für die bilanzielle Klimaneutralität. Der Flug- und Schiffsverkehr wird, um klimaneutral zu werden, einen hohen Bedarf an beidem haben und voraussichtlich höhere Preise dafür zahlen können als Akteure im nationalen Verkehr an Land (siehe Kapitel 3.4).

Box1: Elektrische Antriebe oder emissionsfreie Antriebe?

In dieser Studie benutzen wir durchgehend die Begriffe „elektrische Fahrzeuge“ oder „Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb“, auch wenn einige Szenarien „emissionsfreie Fahrzeuge“ modellieren und dabei teilweise auch E-Fuels für PKW und LKW berücksichtigen. E-Fuels werden noch nicht kommerziell hergestellt und es ist sehr unwahrscheinlich, dass das Angebot schnell genug wächst, um die Nachfrage

¹ Berechnet basierend auf eigenen Annahmen, siehe Kapitel 2.1

zu decken und E-Fuels konkurrenzfähig zu elektrischen Antrieben zu machen. Allein die Nachfrage aus den Sektoren Chemie, Schiffs- und Flugverkehr, die auf Grund der benötigten Energiedichte nicht elektrifiziert werden kann, wird nach derzeitigem Stand voraussichtlich im Jahr 2035 *allein in Deutschland* das *globale* Angebot an E-Fuels um den Faktor 10 übersteigen (Ueckerdt and Odenweller, 2023). Des Weiteren sind E-Fuels unter der derzeitigen Erneuerbaren Energien Richtlinie der EU nicht emissionsfrei. T&E schätzt, dass pro Kilometer etwa 60 gCO₂ ausgestoßen würden, was noch ungefähr 30% der CO₂ Emissionen eines Fahrzeuges mit Benzinmotor entspräche (Transport & Environment, 2023). Die Wissenschaft ist sich einig, dass E-Fuels im Straßenverkehr nicht zielführend sind und eine klarere politische Linie für den schnellen Ausbau der elektrischen Fahrzeugflotte auch der Automobilindustrie mehr Investitionssicherheit bieten würde (Agora Verkehrswende, 2023; Wietschel and Leidenberger, 2023). Unter elektrischen Antrieben können ebenfalls Fahrzeuge mit Brennstoffzellen gefasst werden, welche aber ebenfalls deutlich ineffizienter sind als die direkte Nutzung von Strom.

Die Studie ist wie folgt aufgebaut:

- Kapitel 2 stellt die derzeitige Situation dar, woraus hervorgeht, dass Deutschland seine Klimaschutzbemühungen auf nationaler Ebene verstärken muss. Dazu ordnen wir die deutschen und globalen Klimaschutzziele mittels CO₂-Budgets ein.
- Kapitel 3 zeigt mögliche Verläufe des Treibhausgasausstoß im Verkehrssektor mit verschiedenen Startpunkten, die die verschiedenen Szenariengruppen abbilden (Verpasste Chance, Sofortiges Handeln, Kompensation verspäteten Handelns innerhalb des Verkehrssektors oder durch andere Sektoren).
- Kapitel 4 beschreibt nötige Transformationen im Verkehrssektor in den Bereichen Infrastruktur, motorisierter Individualverkehr und Güterverkehr, die sich hinter den Verläufen aus dem vorherigen Kapitel verbergen. Dabei geht das Kapitel auf die Effekte verschiedener Startzeitpunkte in der Realität ein und vergleicht darüber die nötige Härte der Maßnahmen.

2 Deutschland hält sein CO₂-Budget nicht ein

Eine wichtige Frage der deutschen Klimapolitik ist, ob Deutschland einen gerechten Anteil an den globalen Anstrengungen leistet, den Klimawandel auf unter 1.5°C zu begrenzen, wie es im Pariser Klimaschutzabkommen festgelegt wird. Diese Frage kann auf vielfältige Weise beantwortet werden.

Das Bundes-Klimaschutzgesetz geht nach der Gesetzesbegründung davon aus, dass der Zielpfad einen gerechten Beitrag darstellt. In diesem Kapitel fragen wir zunächst, ob dieses Klimaschutzziel mit jetzigen Maßnahmen eingehalten wird. Danach fragen wir, ob es auch tatsächlich ein fairer Beitrag zum 1.5°C-Limit ist.

2.1 CO₂-Budget nach Klimaschutzgesetz

Nach jetzigem Stand steht Aussage gegen Aussage, ob das Gesamtbudget aller Sektoren unter dem KSG bis 2030 eingehalten wird. Nach den offiziellen Projektionen der Bundesregierung wird das Budget in Form der Gesamtmengenziele bis 2030 eingehalten (Abbildung 3). Die Projektionen werden aber von unabhängigen Expert:innen inklusive dem Expertenrat für Klimafragen als zu optimistisch eingeschätzt (Expertenrat für Klimafragen, 2024). Auch das Oberverwaltungsgericht Berlin-Brandenburg teilt diese Kritik offenbar (Urteil vom 16.05.2024, OVG 11 A 22/21, OVG 11 A 31/22 - das vollständige Urteil liegt noch nicht vor). Der Expertenrat geht davon aus, dass das Budget bis 2030 nicht eingehalten wird, da die Projektionen zu optimistische Annahmen treffen und zum Beispiel die Kürzungen des Klimatransformationsfonds, die schon beschlossen sind, nicht einbeziehen.

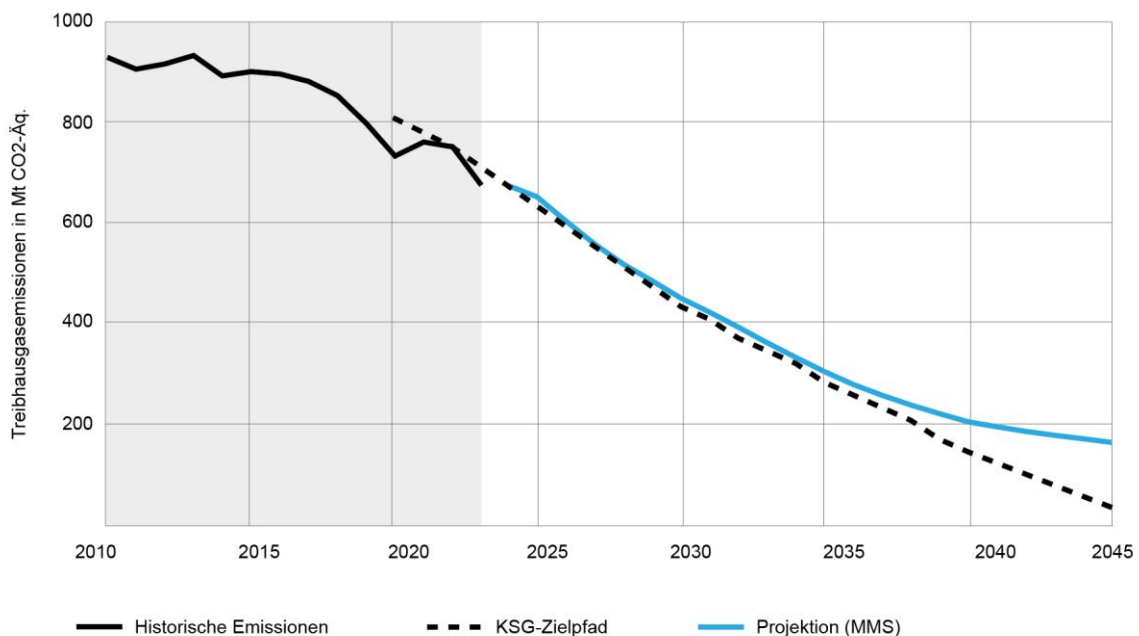


Abbildung 3. Historische Treibhausgasemissionen, Zielpfad nach KSG und Projektionen unter dem Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) für Deutschland (ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft, LULUCF)

Datenquellen: (Bundesregierung, 2021; UBA, 2024c, 2024d)

Für nach 2030 legt Anlage 3 des Bundes-Klimaschutzgesetzes die Reduktion gegenüber 1990 für die einzelnen Jahre bis 2040 fest. Um ein Budget bis zur Klimaneutralität fortschreiben zu können, gehen wir von einem linearen Verlauf zwischen den Zieljahren 2040 und 2045 aus. Klimaneutralität im Jahr 2045 beinhaltet eine netto-Senke von 40 MtCO₂ aus dem Landnutzungssektor. Nach 2030 wird der daraus abgeleitete Zielpfad und somit auch das Budget laut Projektionen durchgehend überschritten.

Zwar wird mit den aktuellen Projektionen das Emissionsbudget des Klimaschutzziels über alle Sektoren hinweg bis 2030 möglicherweise erfüllt. Dies verschleiert aber, dass mit jetzigen Maßnahmen die Sektoren Verkehr und Gebäude, die auch für die einzelnen Sektoren gesetzten Ziele in Anlage 2a des Klimaschutzgesetzes bis 2030 überschreiten werden.

2.2 CO₂-Budget für 1.5°C nach Methode des Sachverständigenrats für Umweltfragen

Das im Jahr 2021 beschlossene Klimaschutzgesetz richtete sich auf Grundlage der Entscheidung des Bundesverfassungsgerichtes vom 24.03.2021 unter anderem auch nach den Empfehlungen des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU). 2020 ging der SRU von einem relativ großen weltweiten CO₂-Budget aus, auf Basis von Daten aus dem IPCC-Sonderbericht von 2018 (Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU), 2020). Der Ziel-Pfad des Klimaschutzgesetzes ist größtenteils kompatibel mit dem 1.75°C Budget (67% Wahrscheinlichkeit) der SRU-Berechnungen von 2020 (Abbildung 4).

Im März 2024 hat der SRU aber das zugrundeliegende globale CO₂-Budget nach unten korrigiert, um neue Beobachtungen der Erderwärmung und ein neues methodisches Vorgehen zu berücksichtigen (Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU), 2024). Mit entsprechend weniger Budget für Deutschland ist der Pfad des Klimaschutzgesetzes nun nicht mehr ambitioniert genug, um das SRU-Budget für 1.75°C einzuhalten (Abbildung 4). Daran – und damit an den aktuellen Stand der Wissenschaft – ist das Bundes-Klimaschutzgesetz nicht angepasst.

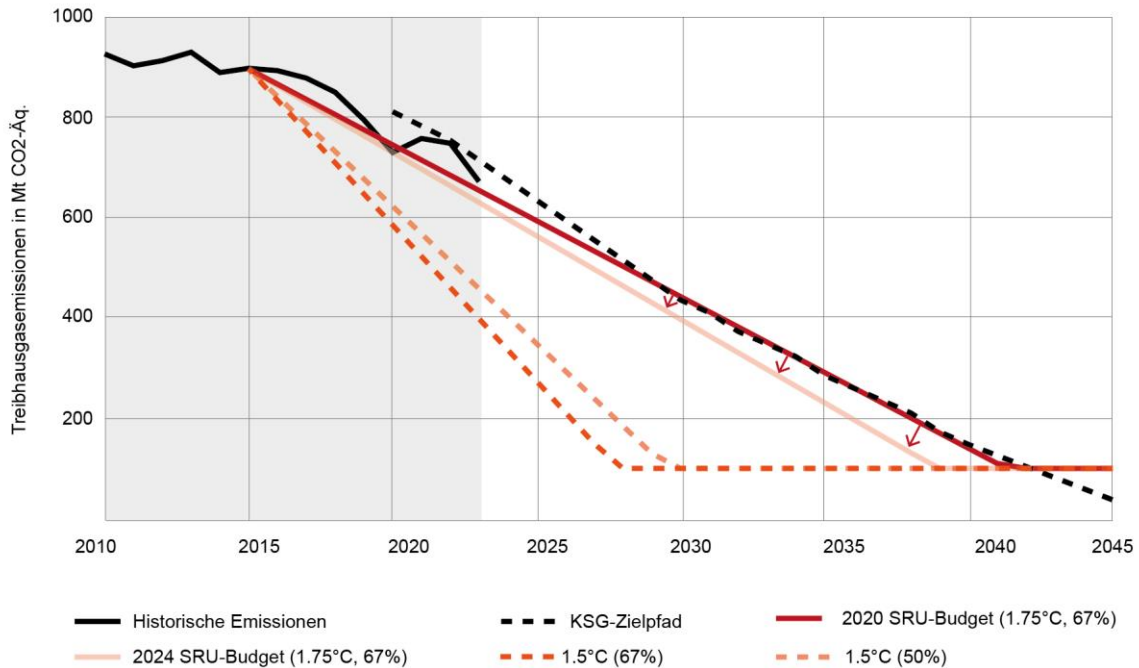


Abbildung 4. Emissionspfade für Deutschland (ohne LULUCF): Historische Emissionen, Zielpfad nach KSG und nach CO₂-Budget-Methode des SRU² mit globalem CO₂-Budget wie es 2020 vorlag und nun 2024 aktualisiert wurde für 1,75°C mit 67%er Einhaltungswahrscheinlichkeit und nach 2024er Methode für 1,5°C (50%) und 1,5°C (67%).

Das 1,75°C kompatible CO₂-Budget nach der Methode des SRU ist zudem noch kein fairer Beitrag im Sinne des Pariser Klimaschutzabkommens. Erstens haben sich die Staaten geeinigt, den Klimawandel auf weit unter 2°C zu halten, mit Anstrengungen ihn unter 1,5°C zu halten. Alle Regierungsparteien beteuern, am 1,5°C-Ziel festzuhalten, nicht 1,75°C. Zweitens verteilt der SRU das Restbudget nach 2015 proportional zum Anteil an der Weltbevölkerung zu diesem Zeitpunkt. Das vernachlässigt die besondere Stellung Deutschlands mit enorm hoher Wirtschaftskraft und als viertgrößter historischer CO₂-Emittent weltweit. Nimmt man das Prinzip der Klimarahmenkonvention, der gemeinsamen, aber differenzierten Verantwortung und Möglichkeiten ernst, müsste Deutschland seine Emissionen noch wesentlich schneller reduzieren (Climate Action Tracker, 2023).

² Das CO₂-Budget wird nach der Methode des SRU verteilt. Nicht-CO₂-Emissionen (Methan, Lachgas und fluorierte Treibhausgase) sind in den CO₂-Budgets des SRU nicht enthalten, sie machten im Jahr 2015 etwa 11% der deutschen Gesamtemissionen (ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft) aus. Deshalb werden hier (anders als beim SRU) Nicht-CO₂-Emissionen zum CO₂-Budget addiert, um Vergleichbarkeit mit den Klimazielen im Klimaschutzgesetz zu gewährleisten. Der SRU zieht Nicht-CO₂-Emissionen von den Klimazielen des KSG ab.

Vereinfacht wird hier der Wert der Nicht-CO₂-Emissionen von 102 MtCO₂-Äq. aus dem Jahr 2015 auf alle zukünftigen Jahre aufgeschlagen. Dies ist eine großzügige Herangehensweise, da Deutschland die Nicht-CO₂-Emissionen ebenfalls rasch und deutlich reduzieren müsste und sogar schon um etwa 20% bis 2022 reduziert hat.

Es ist fast unmöglich das 1.5°C Budget des SRU jetzt noch einzuhalten und die verlorene Zeit seit 2016 wieder aufzuholen³. Das so zugeteilte Budget ist schon im Jahr 2023 fast aufgebraucht (Abbildung 5).

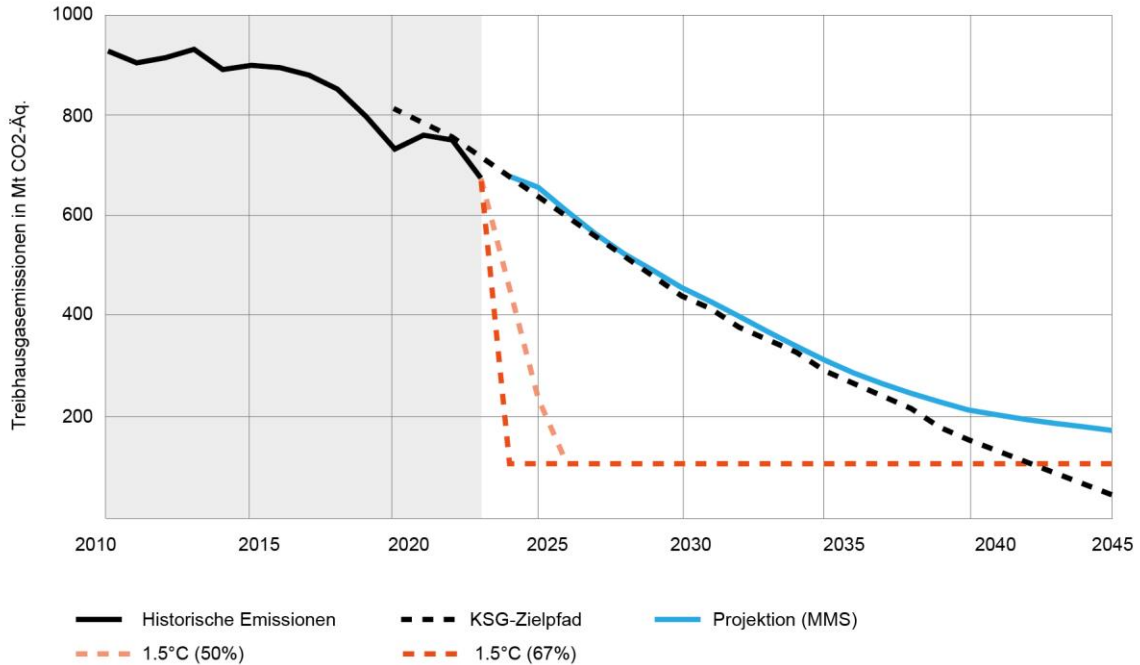


Abbildung 5. Emissionspfade für Deutschland (ohne LULUCF), um die CO₂-Budget-Methode des SRU mit globalem CO₂-Budget wie es heute vorliegt ab 2023 noch zu erreichen.

³ 2015 ist das Jahr, in dem das Pariser Klimaschutzabkommen beschlossen wurde, darum hat der SRU 2016 als Startpunkt der Budgetberechnungen festgelegt.

2.3 CO₂ Budget nach EU-Klimaschutzverordnung

Zusätzlich zu den nationalen Klimazielen gelten auch die Ziele der europäischen Effort Sharing Regulation (ESR), oder auch – in der Terminologie des KSG – „EU-Klimaschutzverordnung“. Hier werden im Wesentlichen die Sektoren Verkehr und Gebäude zusammengefasst. Die Ziele der (verbindlichen) EU-Verordnung sind mit den nationalen Sektorzielen abgestimmt. Diese werden aber für Verkehr und Gebäude verfehlt, demnach wird auch das Budget nach ESR bis 2030 weit verfehlt (Abbildung 6).

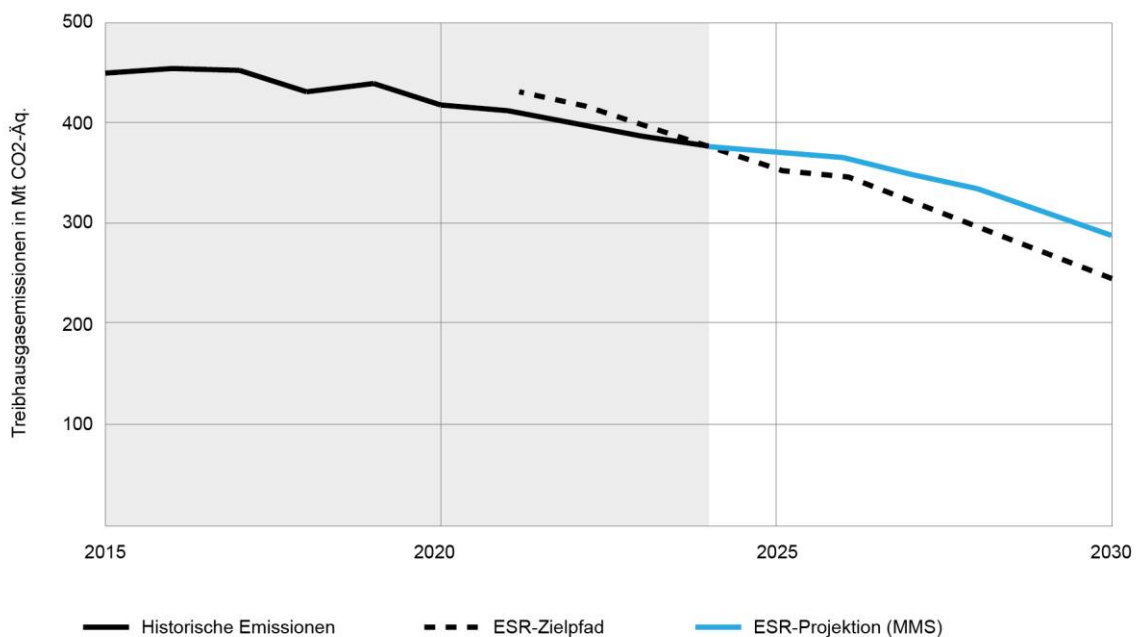


Abbildung 6: ESR-Zielpfad und Projektionen für Deutschland

Damit wären hohe Strafzahlungen nötig. Eine Verfehlung der ESR-Ziele muss durch den Kauf von Zertifikaten ausgeglichen werden. Insgesamt wird das Ziel laut Projektionsbericht um 126 MtCO₂-Äq. überschritten. Bei einem grob geschätzten Preis von 100 Euro pro Zertifikat wären das 12 Milliarden Euro. Das ist noch konservativ geschätzt, da der Preis für Zertifikate durchaus bis 250 Euro pro Zertifikat erreichen könnte (Siehe Kapitel 4.2). Hinzu kommt, dass bereits die Verfügbarkeit einer ausreichenden Menge an Zertifikaten zweifelhaft ist. Laut einer aktuellen Studie auf Basis von Daten aus allen EU Mitgliedsstaaten besteht ein erhebliches Risiko eines Unterangebots, das auf 194 Millionen Zertifikate in 2030 geschätzt wird (Transport & Environment, 2024). Damit würden allein Deutschland und Italien alle voraussichtlich verfügbaren ESR-Zertifikate benötigen, um ihre Zielverfehlungen auszugleichen.

3 Quantitativer Vergleich von Emissionspfaden

Dieses Kapitel beschreibt die Emissionspfade des Verkehrssektors, die sich aus verschiedenen Startzeitpunkten von Reduktionsmaßnahmen im Verkehrssektor ergeben. Dabei leitet die Analyse aus dem KSG ein Sektorbudget für den Verkehrssektor ab, unter folgenden Annahmen:

- 2020 – 2030: Jahresemissionsmengen der Sektoren gemäß Anlage 2a des Bundes-Klimaschutzgesetzes
- 2031 – 2040: Gleiche prozentuale Reduktionsrate für alle Sektoren, gemäß Anlage 3 des Bundes-Klimaschutzgesetzes, welches die jährlichen nationalen Ziele von 2031-2040 festschreibt.
- 2041 – 2045: Im Jahr 2045 können 40 MtCO₂-Äq. auf Grund der Senke aus dem Forst- und Landnutzungssektor durch alle anderen Sektoren ausgestoßen werden. Davon werden im besten Fall 27 MtCO₂-Äq. für Landwirtschaft und Abfallwirtschaft benötigt (Zahlen aus den Szenarien der Big 5, die für diese Sektoren am ambitioniertesten sind). Die restlichen verfügbaren Emissionen werden auf die Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Gebäude und Industrie gemäß ihrem Anteil im Jahr 2040 verteilt. Zwischen 2040 und 2045 unterstellen wir einen linearen Verlauf.

3.1 Fall „Verpasste Chance“

Mit dem Urteil zum Klimaschutzgesetz hätten ab 2021 sofort Maßnahmen ergriffen werden können, um Emissionen im Verkehr zu reduzieren. Es lagen zahlreiche Studien vor, die Minderungsmaßnahmen detailliert beschrieben und ökonomische Effekte quantifiziert haben (Abbildung 7).

Eine Reihe von Klimaneutralitätsszenarien zeigen mögliche Wege zur Klimaneutralität 2045 deutschlandweit (Stiftung Klimaneutralität, 2022). Alle Szenarien reduzieren die Emissionen im Verkehrssektor auf null bis 2045, lassen also keine Restemissionen für den Verkehr zu, da die begrenzte Kapazität an Senken für andere Sektoren genutzt werden muss, in denen es keine Möglichkeit gibt, Emissionen auf null zu reduzieren, z.B. in der Landwirtschaft. Abbildung 7 zeigt die Szenarien, die bereits ab 2021 Emissionen reduzieren. Zugrunde liegt hier jeweils das Budget für den Verkehrssektor aus dem KSG 2021 (jetzt Anlage 2a KSG) bis 2030, fortgeschrieben bis zum Zeitpunkt der Klimaneutralität.

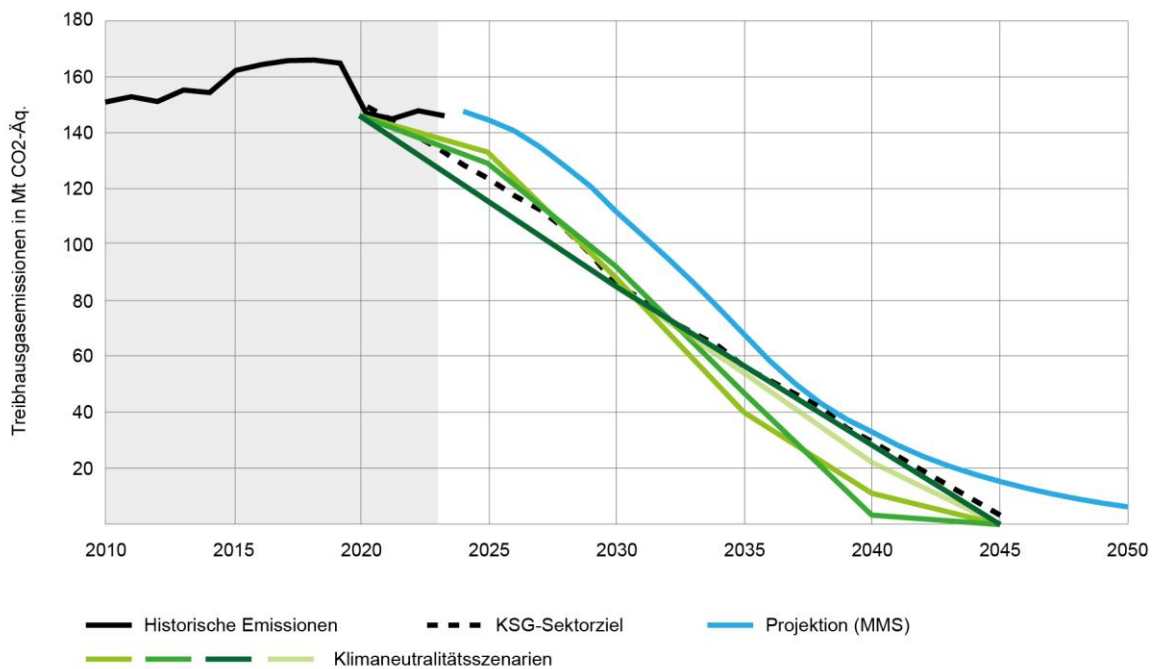


Abbildung 7. Fall „Verpasste Chance“: Szenarien für den Verkehr, unter der Annahme, dass schon ab 2021 reduziert worden wäre (Dena, Ariadne Times, Agora Szenarien aus (Stiftung Klimaneutralität, 2022)) und 2045 null Emissionen erreicht würden, im Vergleich zu historischen Emissionen und aktuellen Projektionen des UBA (Mit-Maßnahmen-Szenario)

Die Szenarien, die bei frühem Start einen kostengünstigen Weg zur Klimaneutralität bis 2045 suchen, erreichen in 2030 einen Wert zwischen 80 und 93 MtCO₂-Äq. im Verkehr, also nahe dem Zielwert im Klimaschutzgesetz von 85 MtCO₂-Äq.

Die offiziellen Projektionen (UBA, 2024c) stehen im Widerspruch zu diesen Modellierungen und erreichen 111 MtCO₂-Äq. in 2030. Vergleicht man offizielle Projektionen, konkret das Mit-Maßnahmen-Szenario des UBA, mit Szenarien zur Erreichung von Klimaneutralität, fällt auf, dass der in den offiziellen Projektionen prognostizierte Reduktionspfad etwa 5 Jahre später liegt als in den Studien und eine besonders schnelle Reduktion nach 2030 erfordert.

3.2 Fall „Sofortiges Handeln“

Im optimistischsten Fall werden noch im Jahr 2024 neue Maßnahmen im Verkehr umgesetzt, einige mit sofortigem Effekt, z.B. das Tempolimit oder angepasste CO₂-Preise.

Sowohl das Umweltbundesamt (Kreye *et al.*, 2024) als auch Agora Verkehrswende (Agora Verkehrswende, 2024) haben kürzlich Studien vorgelegt, in denen Maßnahmen beschrieben werden, um mit zusätzlichen Reduktionen zwischen dem Jahr 2024 und 2027 zu beginnen und das Budget des KSGs für den Verkehrssektor noch zu erreichen (Abbildung 8).

Diese Szenarien erreichen durch schnelle, ambitionierte Maßnahmen in etwa das Punktziel des Klimaschutzgesetzes für 2030 von 85 MtCO₂-Äq., müssen aber zusätzlich nach 2030 den bis dahin bereits aufgelaufenen Rückstand aufholen und weiter ambitioniert agieren.

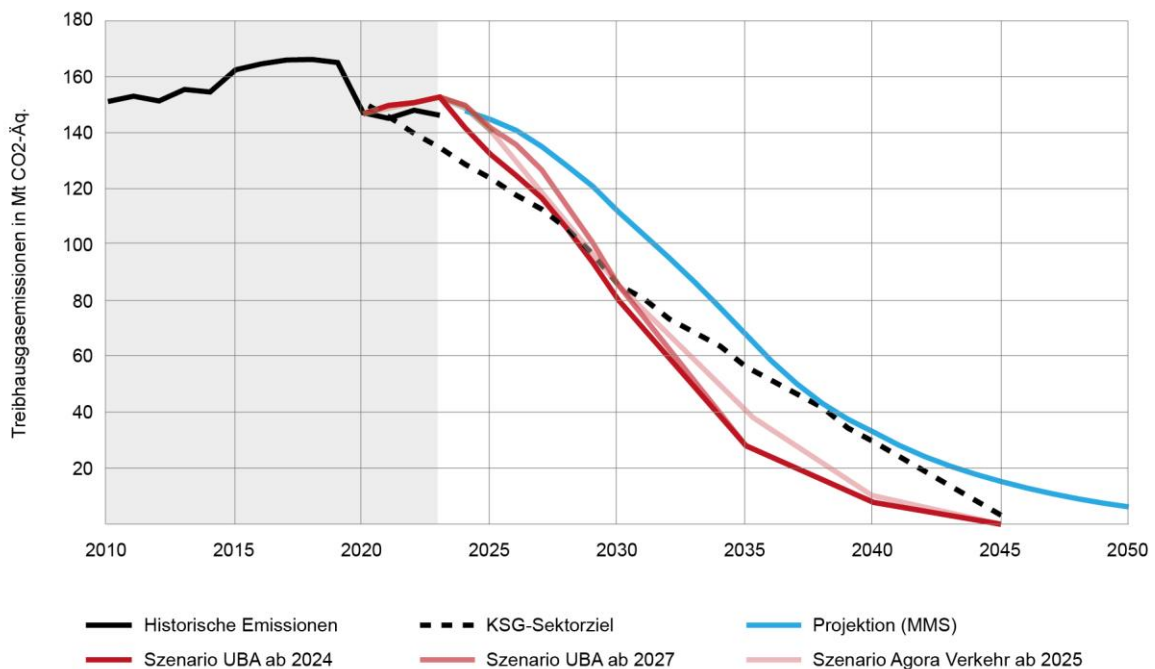


Abbildung 8. Fall „Sofortiges Handeln“: Szenarien für den Verkehr, die ab 2024-2027 reduzieren und weiterhin das im KSG vorgegebene Budget des Verkehrssektors einhalten, im Vergleich zu historischen Emissionen, aktuellen Projektionen und dem KSG Sektorziel.

3.3 Fall „Kompensation verspäteten Handelns – im Verkehr“

Nach der aktuellen UBA-Projektion wird der Verkehrssektor im Jahr 2030 voraussichtlich 111 MtCO₂-Äq. ausstoßen und den Ausstoß bis dahin nur langsam um etwa 5 MtCO₂-Äq. pro Jahr reduzieren. Anschließend wird in der Projektion ab 2030 eine extrem schnelle Reduktion von 9 MtCO₂-Äq. pro Jahr erwartet, um den Rückstand aufzuholen.

Mit den derzeit umgesetzten Maßnahmen (Projektionen), kann das aus dem KSG ableitbare Budget für den Verkehrssektor jedoch bei weitem nicht eingehalten werden. Wenn nach 2030 noch das nach KSG abgeleitete Budget des Verkehrssektors eingehalten werden soll, müssen die Emissionen nach 2030 noch drastischer reduziert werden: bis zu 18 MtCO₂-Äq. pro Jahr, um zu erlauben, dass sich der Ausstoß bis zum Jahr 2045 langsam Null nähert (Agora Verkehrswende, 2024).

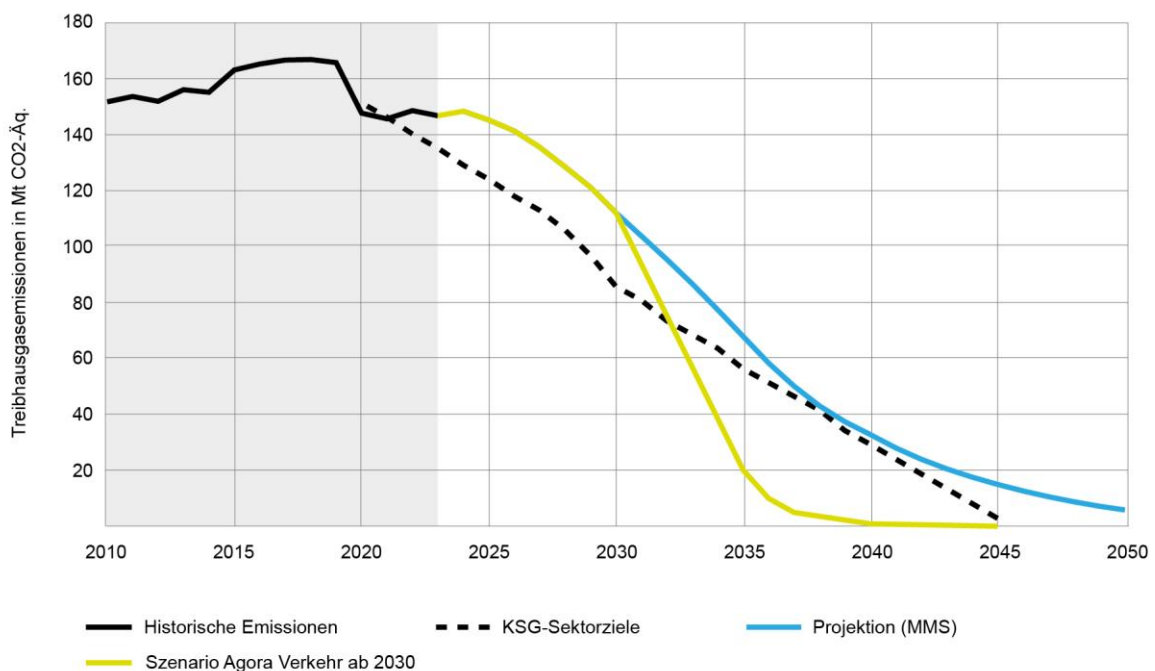


Abbildung 9. Fall "Kompensation verspäteten Handelns": Szenarien für den Verkehr, die ab 2030 reduzieren und weiterhin das im KSG vorgegebene Budget des Verkehrssektors einhalten, im Vergleich zu historischen Emissionen und aktuellen Projektionen

Der in Abbildung 9 gezeigte Pfad, der das vom KSG abgeleitete Sektorbudget des Verkehrssektors einhält (Agora Verkehrswende, 2024), führt zu extrem niedrigen Emissionen schon im Jahr 2037. Das würde bedeuten, dass dann keine benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeuge mehr fahren dürfen, und bei einer angenommenen Lebensdauer von 15 Jahren, ab sofort nicht mehr verkauft werden sollten. Daraus würde sich auch ergeben, dass bereits in den letzten Jahren zu viele Verbrenner verkauft wurden und diese vorzeitig stillgelegt werden müssten.

3.4 Fall „Kompensation verspäteten Handelns“ – durch andere Sektoren

Wenn der Verkehrssektor sein auf Grundlage des KSG hergeleitete Sektorbudget nicht erreicht, müssen die anderen Sektoren kompensieren, um das Gesamtbudget des Klimaschutzgesetzes bis 2045 einzuhalten. Ein Kompensieren durch die anderen Sektoren ist nach 2030 aber nur schwer möglich, da es für diese immer schwieriger wird, noch die letzten Tonnen CO₂ zu vermeiden.

- Der Stromsektor soll 2035 weitestgehend CO₂-neutral sein, d.h. es stehen keine weiteren Einspareffekte durch mehr erneuerbare Energie zu Verfügung, was in dieser Dekade zu einer schnellen Minderung der Emissionen aus Energieerzeugung geführt hat.
- Im Industriesektor sind die ersten Reduktionen noch einfach (z.B. Elektrifizierung von Prozessen mit geringer Hitze). Die wirklich schwierigen Bereiche kommen erst nach 2030, z.B. CO₂-freier Stahl und Zement, sowie andere Prozesse mit extrem hohen Temperaturen. Eine Beschleunigung der Reduktion ist nicht zu erwarten.

- Der Gebäudesektor hinkt jetzt schon hinterher und es bedarf großer Anstrengungen bis 2045 alle Gebäude energetisch zu sanieren und Heizungssysteme auszutauschen. Auch hier ist eine Übererfüllung nicht zu erwarten.

In diesem vorteilhaften Fall für den Verkehrssektor nehmen wir an, dass dieser seine Sektorziele bzw. das auf ihrer Grundlage hergeleitete Sektorbudget nicht erfüllen muss und die anderen Sektoren so optimistisch wie möglich aushelfen. Wir nehmen hier an:

- Bis 2030 folgen alle Sektoren dem Pfad des aktuellen Projektionsberichtes, also keine neuen Maßnahmen werden vor 2030 wirksam.
- Landwirtschaft reduziert nach 2030 dem ambitioniertesten aller Klimaneutralitätsszenarios folgend, also auf grob die Hälfte des Wertes von 2030.
- Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude reduzieren nach 2030 auf null bis 2045. Das ist ambitioniert, da für einige Emissionsquellen noch keine CO₂-freien Technologien zur Verfügung stehen und die Transformation gerade im Gebäudebereich extrem schnell vorstättengehen müsste.
- Forstwirtschaft gleicht 40 MtCO₂-Äq. im Jahr 2045 aus. Dies ist sehr optimistisch, da jetzige Projektionen von Emissionen (nicht Senke) der gleichen Größenordnung ausgehen und es extrem unsicher ist, ob wegen des Klimawandels der Wald in Deutschland in 2045 überhaupt eine Senke sein kann.

Internationaler Schiffs- und Flugverkehr ist hier nicht berücksichtigt, obwohl dieser zusätzlichen Druck auf mögliche Reduktionsoptionen ausüben würde, da für diese Sektoren nur wenig Alternativen zu Verfügung stehen werden und die Bereitschaft besteht, sehr hohe Preise für z.B. E-Fuels zu zahlen.

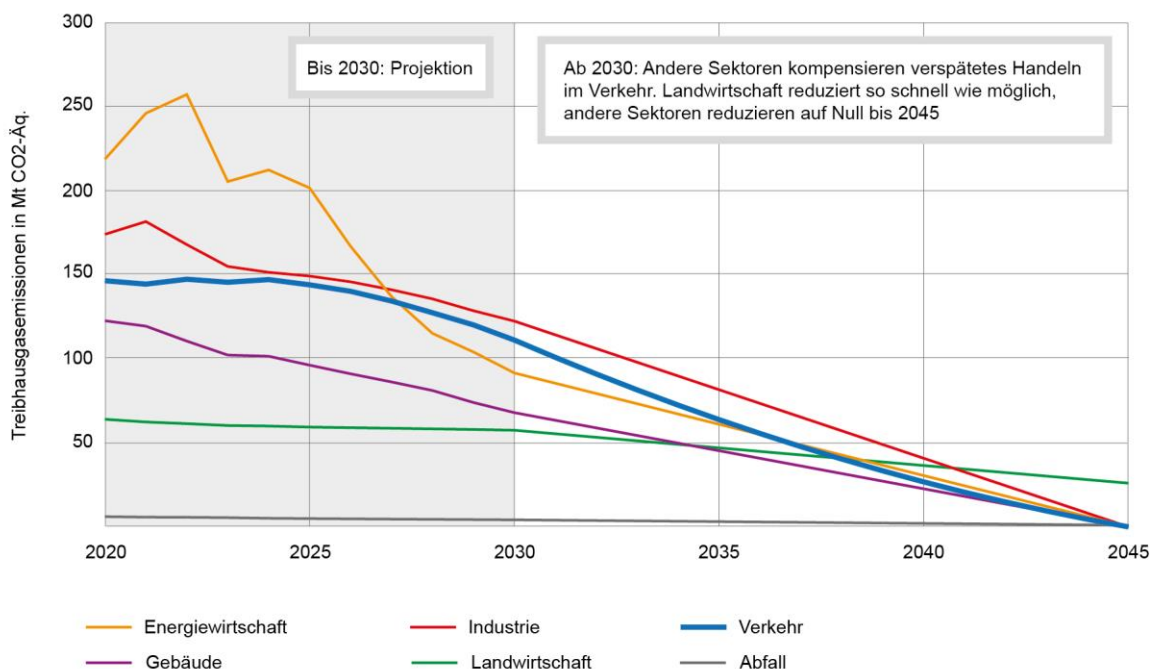


Abbildung 10. Fall „Kompensation verspäteten Handelns – durch andere Sektoren“ - Illustratives Szenario, in dem der Verkehrssektor bis 2030 den MMS-Projektionen des UBA folgt und ihm danach das Restbudget des KSG zur Verfügung steht, das die anderen Sektoren übriglassen, wenn sie so schnell wie möglich reduzieren, um das verspätete Handeln im Verkehrssektor zu kompensieren.

Bei diesen ambitionierten Reduktionen in anderen Sektoren bliebe vom durch das Klimaschutzgesetz vorgegebenen und fortgeschriebenen Gesamtbudget bis 2045 (siehe oben, 2.1) für den Verkehr etwa 15% mehr übrig im Vergleich zu dem auf Grundlage des KSG hergeleiteten Sektorbudget. Selbst nach diesem für den Verkehrssektor vorteilhaften Szenario müsste der Verkehrssektor nach 2030 bei linearem Verlauf mit 8 MtCO₂-Äq. und bei variabler Geschwindigkeit bis zu 10 MtCO₂-Äq. pro Jahr fast doppelt so schnell reduzieren wie vor 2030, damit das Gesamtziel des KSG eingehalten wird (Abbildung 10). Die Grafik unterstellt zur Vereinfachung lineare Reduktionen, da den Kurven keine Modellierungen zugrunde liegen. Tatsächlich sähen die Pfade strukturell ähnlich aus wie in den Darstellungen oben (d.h. erst steiler, dann abflachend), da die „letzten Tonnen“ immer am schwersten zu dekarbonisieren sind.

Selbst das Verzögern der Klimaneutralität im Verkehrssektor bis 2050, also entsprechend EU-Recht und nicht entsprechend dem Bundes-Klimaschutzgesetz, verringert die Reduktionslast in den 2030er Jahren nicht (Abbildung 10). Verteilt man das übrigbleibende Budget bis 2050 und nicht bis 2045, muss im Gegenteil noch früher schneller reduziert werden (bis zu 11 MtCO₂-Äq. pro Jahr), um noch Budget für die Zeit von 2045 bis 2050 übrig zu haben.

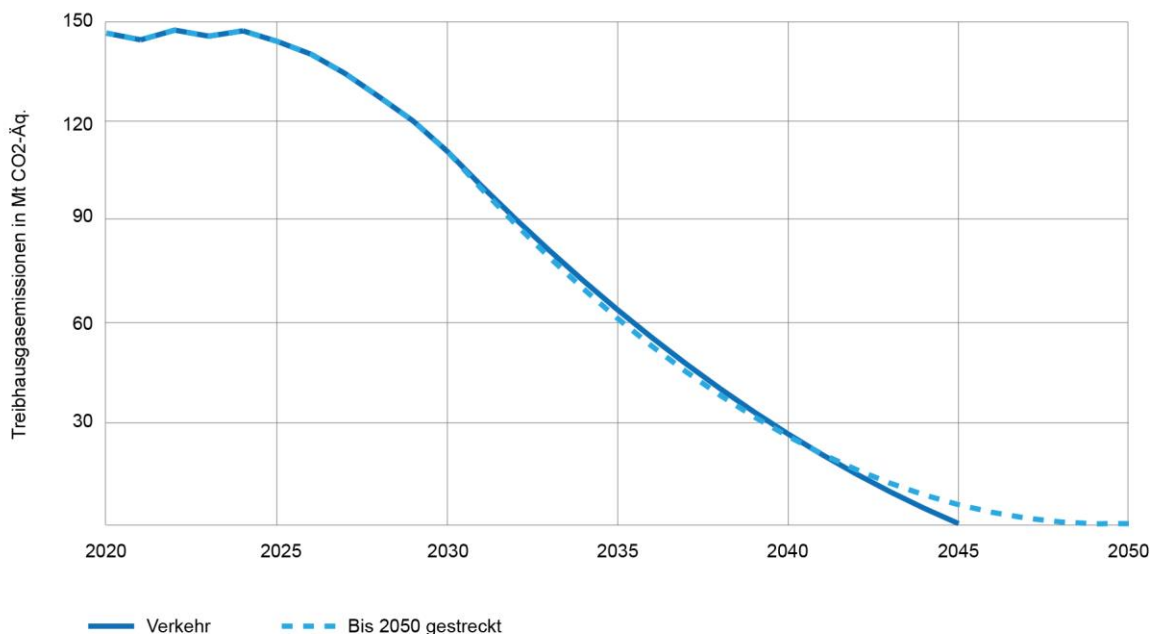


Abbildung 11. Fall „Kompensation verspäteten Handelns – durch andere Sektoren“ - Illustratives Szenario, in dem der Verkehrssektor bis 2030 den MMS-Projektionen des UBA folgt und ihm danach das Restbudget des KSG zur Verfügung steht, das die anderen Sektoren übriglassen, wenn sie so schnell wie möglich reduzieren, um das verspätete Handeln im Verkehrssektor zu kompensieren. Im Unterschied zu Abbildung 10 gestreckt bis 2050.

Einzelne Maßnahmen können einen großen Unterschied machen. Im Szenario in Abbildung 12 haben wir bis 2030 Reduktionen durch ein Tempolimit auf Autobahnen (120 km/h) und Landstraßen (80 km/h) ab 2021 angenommen, um zu zeigen, dass nach 2030 dadurch erheblich mehr Spielraum entsteht (Reduktion um 7,3 MtCO₂-Äq. pro Jahr (UBA, 2023)). Die Einsparungen vor 2030 führen zu einem erheblich entspannteren Verlauf nach 2030.

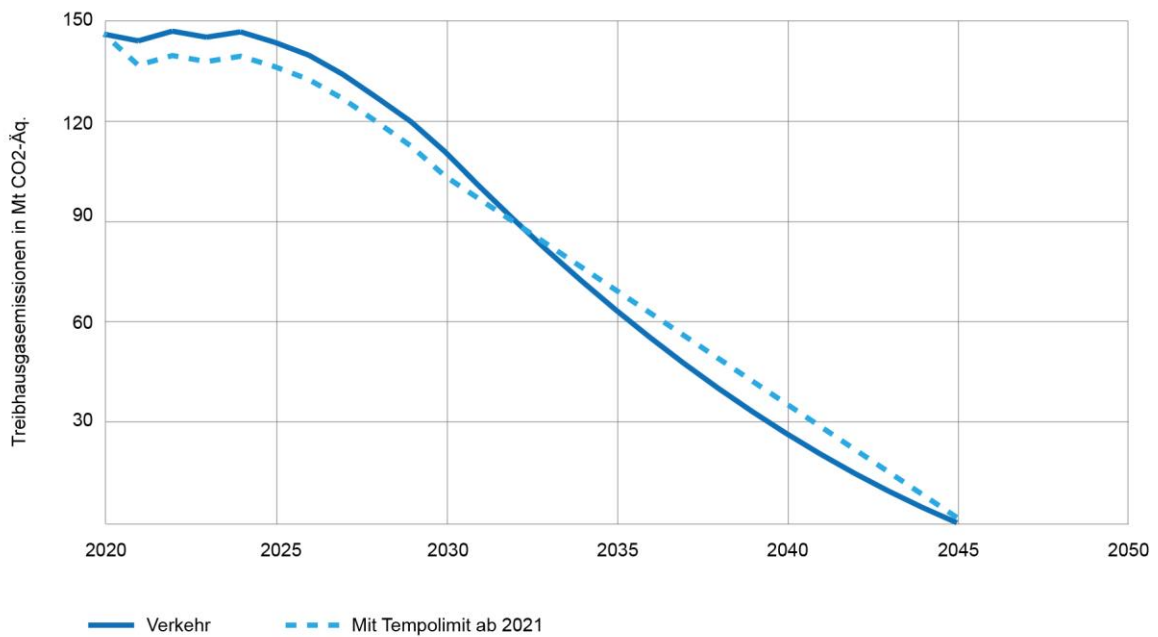


Abbildung 12. Fall „Kompensation verspäteten Handelns – durch andere Sektoren“ - Illustratives Szenario, in dem der Verkehrssektor bis 2030 den MMS-Projektionen des UBA folgt und ihm danach das Restbudget des KSG zur Verfügung steht, das die anderen Sektoren übriglassen, wenn sie so schnell wie möglich reduzieren, um das verspätete Handeln im Verkehrssektor zu kompensieren. Im Unterschied zu Abbildung 10 mit Tempolimit ab 2021.

4 Transformation zur Klimaneutralität im nationalen Verkehrssektor

Für ein konsistentes Konzept zum Klimaschutz ist ein klares Ziel nötig – Deutschland hat sich deshalb für die Klimaneutralität bis 2045 entschieden, die EU hat gesetzlich Klimaneutralität bis 2050 festgelegt. Zusätzlich ist nicht nur das Enddatum, sondern auch der Weg dorthin essenziell, da die Summe des Ausstoßes von Treibhausgasen über die Jahre deren Konzentration in der Atmosphäre bestimmt, und somit den globalen Temperaturanstieg.

Eine Transformation zur Klimaneutralität muss also einerseits dieses Ziel im Blick behalten. Z.B. sollten ab spätestens 15 Jahre⁴ vor dem Ziel der Klimaneutralität keine Fahrzeuge verkauft werden, die CO₂ ausstoßen. Zusätzlich muss die Transformation aber auch abbilden, dass Emissionen zügig reduziert werden, um die Gesamtmenge an Emissionen zu begrenzen. Des Weiteren brauchen manche Maßnahmen genügend Zeit von der Entscheidung bis zur Wirkung, oder sind nötig, um andere Elemente der Transformation zu unterstützen. Diese Abfolgen und Abhängigkeiten sind auch zu beachten.

Dieses Kapitel beschreibt für die Bereiche Infrastruktur, Personenverkehr und Güterverkehr, wie ein Zielbild der Klimaneutralität sich in konkreten Maßnahmen widerspiegeln würde. Außerdem beschreibt das Kapitel die Möglichkeiten und Auswirkungen eines vorzeitigen und eines verspäteten Starts von Maßnahmen in diesen Bereichen.

4.1 Infrastruktur

Voraussetzung für Klimaneutralität im Verkehr ist die richtige Infrastruktur, die CO₂-freie Mobilität zulässt und unterstützt. Infrastruktur selbst führt nicht zur Minderung des THG-Ausstoßes, gewährleistet aber die Verfügbarkeit von Alternativen zu PKW und LKW. Genauso führt die falsche Infrastruktur zu Fehlanreizen, was in Anbetracht der langen Lebenszyklen bei vielen Infrastrukturelementen zu Lock-in-Effekten führen kann. Investitionen in Infrastruktur, die nicht zum Ziel der Klimaneutralität beiträgt, wird deshalb im Zielbild vermieden.

Alternativen zu PKW und LKW sind in der Verkehrswende unablässig, da die Dekarbonisierung der Antriebstechnologien allein, bei wachsender Nachfrage nach Mobilität, sehr teuer würde und viele Nachteile des PKW und LKW-Verkehrs weiterbestehen würden. Beispiele für diese Nachteile sind Unfälle, Lärmbelästigung und Stau.

Die folgenden Unterkapitel beschreiben Maßnahmen und Auswirkungen im Bereich Infrastruktur unter verschiedenen Szenarien. Tabelle 5 fasst die Ergebnisse zusammen.

⁴ 15 Jahre ist ein konservativ gewählter Wert. Das durchschnittliche Alter des derzeitigen Bestands an PKW beträgt 10,3 Jahre (Kraftfahrtbundesamt Deutschland, 2024), in einer Untersuchung des UBA waren die zu verschrottenden Fahrzeuge im Durchschnitt 18.1 bis 20.8 Jahre alt (Sander *et al.*, 2020), und im globalen Durchschnitt beträgt die technische Lebensdauer von PKW 17 Jahre (IEA, 2022).

Tabelle 5. Zusammenfassung der Maßnahmen und Auswirkungen der verschiedenen Szenarien für Infrastrukturausbau

	Verpasste Chance	Sofortiges Handeln	Kompensation verspäteten Handelns
Erforderliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Gleichmäßige Infrastrukturausgaben 	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Infrastrukturausgaben pro Jahr 	<ul style="list-style-type: none"> • Extrem hohe Infrastrukturausgaben pro Jahr
Effekte in der Transformation	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Fehlinvestitionen in später nicht mehr genutzte Autoinfrastruktur • Jährliche Investitionen in die Bahn von ~15 Mrd. EUR 	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlinvestitionen in später nicht mehr genutzte Autoinfrastruktur • Jährliche Investitionen in die Bahn von ~20 Mrd. EUR ab sofort 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Fehlinvestitionen in später nicht mehr genutzte Autoinfrastruktur • Jährliche Investitionen in die Bahn von ~15 Mrd. EUR vor 2030 und 25 Mrd. EUR nach 2030
Soziale Effekte	<ul style="list-style-type: none"> • Mehr Mobilität insbesondere im ländlichen Raum und für ökonomisch schwächere Bevölkerung 	<ul style="list-style-type: none"> • Verzögerung der Steigerung der Mobilität im ländlichen Raum und für ökonomisch schwächere Bevölkerung 	<ul style="list-style-type: none"> • Erhebliche Verzögerung der Mobilität • Extreme Belastung des Haushalts in den 2030er Jahren

4.1.1 Zielbild Klimaneutralität bis 2045

In städtischer Infrastruktur haben der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) und der nicht-motorisierte Verkehr Priorität. Daraus ergeben sich mehr und sicherere Verkehrswege für Fußgänger:innen und Fahrradfahrer:innen und eine enge Taktung von öffentlichem Verkehr und es ist weniger Platz für Autos nötig (Straßen und Parkplätze). Städteplanung integriert Wohnen, Arbeiten und Freizeit, sodass Wege reduziert werden.

In ländlichen Gebieten wird insbesondere Schieneninfrastruktur weiterentwickelt, um gute Verbindungen zwischen Orten und in größere Städte zu schaffen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Verfügbarkeit von Dienstleistungen (Bildung, Gesundheit etc.) im ländlichen Raum, sodass lange Wege vermieden werden.

4.1.2 Sofortiges Handeln und bereits verpasste Chancen

Tabelle 6 beschreibt Maßnahmen, die ab sofort oder bereits direkt nach Inkrafttreten des Klimaschutzgesetzes möglich (gewesen) wären. Unter sofortigem Handeln fließen ab sofort stärkere Investitionen in Bahn-, Rad- und Fußwegeinfrastruktur, sowohl in der Stadt wie auch in ländlichen Gebieten. Des Weiteren entsteht schnell ein enges Netz an Lademöglichkeiten für elektrische Fahrzeuge. Diese Schritte wären genauso bereits im Jahr 2020 möglich gewesen, wo es sogar auf Grund der Corona-Pandemie insbesondere in Großstädten etwas Momentum gab in Form von Pop-up-Fahrradwegen.

Damit die Investitionen in die gewünschte Richtung fließen, kann die Regierung über die Haushaltsplanung verstärkt Gelder in diese Bereiche einbringen (über direkte Investitionen oder Förderungsmaßnahmen), oder den gesetzlichen Rahmen so anpassen, dass gewollte Infrastruktur priorisiert wird. Die Ausgestaltung der Maßnahmen entscheidet auch, wer die Mehrkosten trägt.

Ein Teil der Belastung für den Staatshaushalt kann über verringerte Ausgaben in Straßeninfrastruktur gedeckt werden (siehe zum Beispiel (Agora Verkehrswende, 2024), Tabelle 1, wo die jährlichen Einsparungen in Straßeninfrastruktur ca. 1/3 der zusätzlichen Ausgaben in Schieneninfrastruktur ausmachen.). Investitionen in den Radverkehr werden in der Literatur generell als sehr kosteneffizient bewertet (Fishman *et al.*, 2015; Doll *et al.*, 2024).

Tabelle 6: Maßnahmen für vorausschauendes Handeln im Bereich Infrastruktur

	Einsparpotenzial [MtCO ₂ -Äq./a]	Kommentare	Quellen
Infrastrukturausbau Schienenverkehr	Infrastruktur ermöglicht Emissionsreduktionen woanders, deshalb ist hier kein Reduktionspotenzial aufgeführt.	18 – 22 Mrd. € jährliche Ausgaben ab 2025 (5-8 Mrd. € pro Jahr mehr als im Referenzszenario ohne zusätzliche Maßnahmen)	(Agora Verkehrswende, 2024)
Förderung Radverkehrsinfrastruktur		30 Euro je Person und Jahr – jährliche Fördersumme von rund 2,5 Mrd. €. (1,9 Mrd. Euro pro Jahr mehr als im Referenzszenario ohne zusätzliche Maßnahmen)	(Kreye <i>et al.</i> , 2024)

Effekte in der Transformation

Selbst bei sofortiger Umsetzung von neuen Maßnahmen steigen auf Grund der langfristigen Planungs- und Umsetzungszeiten die Kapazitäten der Bahn im Personen- und Güterverkehr erst ab ungefähr 2030 an. Im Personenverkehr würden bei Umsetzung neuer Maßnahmen die gefahrenen Personenkilometer (Pkm) von 120 Mrd. auf 155 bis 181 Mrd. pro Jahr bis 2030, dann weiter bis 2040 auf 220 bis 230 Mrd. pro Jahr steigen (Agora Verkehrswende, 2024; Kreye *et al.*, 2024). Verspätungen von nur wenigen Jahren führen zu langfristig unterschiedlichen Kapazitäten.

Um einen hohen Anteil an Fahrradverkehr in Städten und ländlichen Räumen zu ermöglichen, ist sichere Infrastruktur essenziell. Würde ab heute die Radinfrastruktur unter Sicherheitsaspekten wie durchgängig getrennte Radwege, ein lückenloses Netz und sichere Abstellanlagen sowie durch die Integration in das Umfeld mittels günstigem ÖPNV optimiert, könnten bis 2035 45% aller Wege unter 30 km mit dem Fahrrad zurückgelegt werden. Positive Beispiele liefern Städte wie Amsterdam, Kopenhagen, aber auch deutsche Städte wie Münster und Oldenburg (Doll *et al.*, 2024).

Verpasste Chancen: Wären Maßnahmen zum Infrastrukturausbau bereits 2021 gestartet, wären die Steigerungen im möglichen Verkehrsvolumen in der Bahn bereits ab 2025 oder 2026 bemerkbar gewesen. Bei sofortigem Handeln wird für 2025 ein Verkehrsaufkommen auf der Schiene von 143 Mrd. Pkm pro Jahr erwartet (Kreye *et al.*, 2024). Im Gegensatz dazu wird im Szenario Verpasste Chancen von einem Verkehrsvolumen von 155 Mrd. Pkm ausgegangen (Prognos, Öko-Institut, 2021), was auf ein Plus von 12 Mrd. Pkm und damit auf die signifikanten Effekte rechtzeitiger Investitionen in die Infrastruktur hinweist.

Sozio-ökonomische Implikationen

Die Umstellungen in der Infrastruktur verbessern Mobilität auf dem Land und in der Stadt und reduzieren Lärm und Luftverschmutzung, insbesondere in Städten. Sozial schwache Bevölkerungsgruppen profitieren am meisten von diesen Veränderungen. Sie sind öfter auf ÖPNV angewiesen und oft durch die Wohnlage auch stärker Lärm und Luftverschmutzung ausgesetzt.

Die nötigen Ausgaben verteilen sich relativ gleichmäßig über die Jahre. Fehlinvestitionen in Infrastruktur, die nicht in das Zielbild passt, werden vermieden.

4.1.3 Kompensation verspäteten Handelns

Da Änderungen an der Infrastruktur oft längere Planungs- und Umsetzungszeiten haben, ist ein Aufholen in diesem Bereich sehr schwer bis gar nicht möglich. Die Projektvorschläge für Straßen im Bundesverkehrswegeplan 2030 zum Beispiel sind zum Teil bereits über zehn Jahre alt (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2022). Die Maßnahmen, die zusätzlich zu dem verspäteten Infrastrukturausbau in diesem Bereich möglich wären, sind zum Beispiel:

- der Ausbau des straßengebundenen ÖPNV (Busse), um zwischenzeitlich schneller Kapazitäten auszubauen als auf der Schiene möglich ist.
- Rückbau oder Stilllegung nicht benötigter Infrastruktur.

Effekte in der Transformation

Die Geschwindigkeit des Ausbaus von Infrastruktur reagiert wegen der kurzen verbleibenden Zeit sehr sensitiv auf Verzögerungen: Im Idealfall hätte man 2020 mit dem Ausbau angefangen und gleichmäßig bis 2045, also über 25 Jahre, gestreckt. Wird erst 2025 angefangen, muss der Ausbau ein Viertel schneller erfolgen, um dasselbe Ziel zu erreichen. Wenn erst 2030 also mit 10 Jahren Verzögerung, angefangen wird, muss der Ausbau sogar zwei Drittel schneller sein.

Sozio-ökonomische Effekte

Die positiven sozio-ökonomischen Effekte, die durch eine rasche Verbesserung von Infrastruktur entstehen würden, treten erst später ein bei gleichem oder höherem Investitionsbedarf.

Eine Verspätung des Ausbaus der Infrastruktur, bzw. Festhalten an bestehenden Mustern (weiterer Ausbau von Straßen vorrangig für PKW und LKW), führt kurzfristig weiter zu Investitionen, die im Konflikt mit dem langfristigen Zielbild sind. D.h. es besteht das Risiko, dass diese Infrastruktur genutzt wird und dadurch Klimaneutralität verfehlt wird, oder Infrastruktur zurück- oder umgebaut werden muss. Die Verzögerung ist quasi nicht mehr aufzuholen.

Je länger mit dem Ausbau von benötigter Infrastruktur gewartet wird, desto stärker stauen sich nötige Investitionen und es werden länger Fehlinvestitionen getätigt, in potenziell exzessiven Ausbau der Straßeninfrastruktur, der in dieser Form in Zukunft vielleicht nicht mehr benötigt wird. Dadurch werden jährliche Haushaltsbudgets unnötig belastet. Agora Verkehrswende zeigt, dass im Falle eines späteren Aufholens in den 2030er Jahren deutlich höhere jährliche Ausgaben für Schieneninfrastruktur pro Jahr nötig sind – durch eine Verzögerung des Schienenausbaus um fünf Jahre ergeben sich Ausgaben bis zu 26 Mrd. € pro Jahr statt maximal 22 Mrd. € pro Jahr. Die kumulativen Ausgaben bis 2045 sind für beide Fälle identisch.

4.2 Motorisierter Individualverkehr

Der motorisierte Individualverkehr trägt zu fast 60% des Treibhausgasausstoßes des Verkehrssektors in Deutschland bei (UBA, 2024a). Er weist neben dem hohen Anteil am Ausstoß ein großes Potential auf, komplett zu dekarbonisieren. Technische Möglichkeiten wie der Umstieg auf andere Verkehrsmittel und elektrische Fahrzeuge sind bereits kommerziell verfügbar.

Die folgenden Unterkapitel beschreiben Maßnahmen und Auswirkungen im Bereich motorisierter Individualverkehr unter verschiedenen Szenarien. Tabelle 7 fasst die Ergebnisse zusammen.

Tabelle 7. Zusammenfassung der Auswirkungen der verschiedenen Szenarien für motorisierten Individualverkehr

	Verpasste Chance	Sofortiges Handeln	Kompensation verspäteten Handelns
Erforderliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Früher Abbau CO₂-Emissionen unterstützender Subventionen • Frühe Einführung des Tempolimits • Gleichmäßiger und moderater Anstieg des CO₂-Preises (~120 Euro/tCO₂) mit sozialem Ausgleich 	<ul style="list-style-type: none"> • Abbau CO₂-Emissionen unterstützender Subventionen ab heute • Einführung eines Tempolimits ab heute • Zügiger Anstieg des CO₂-Preises ab heute auf hohes Niveau (~250 €/tCO₂ in 2030 und ~300 €/tCO₂ in 2040), unter Berücksichtigung des EU ETS II ab 2027 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortführung von Fehlanreizen, die dann nach 2030 rückgängig gemacht werden müssen • Extrem verspätete Einführung eines Tempolimits • Sprunghaft extrem hoher CO₂-Preis ab 2030, zusätzlich zu schnellem Anstieg des Preises unter EU ETS II ab 2027
Effekte in der Transformation	<ul style="list-style-type: none"> • Die Änderung des E-PKW Bestands nimmt bis 2035 gleichmäßig an Fahrt auf (von ~0,6 Mio. neue E-PKW im Jahr 2025, über ~1 Mio. im Jahr 2030, hin zu ~1,7 Mio. im Jahr 2035) 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Änderung des E-PKW Bestands erfolgt sprunghaft (von 0,5 Mio. neue E-PKW im Jahr 2025 auf ~2,2 Mio. im Jahr 2030 und bis 2035) 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Änderung im E-PKW Bestand erfolgt langsam (~1,2 Mio. pro Jahr) bis 2030, dann rapide um 4,8 Mio. pro Jahr zwischen 2030-35, sodass über 1 Mio. Verbrenner frühzeitig stillgelegt werden müssen
Soziale Effekte	<ul style="list-style-type: none"> • Gleichmäßiger CO₂-Preisanstieg kann durch soziale Maßnahmen abgefedert werden • Gleichmäßiger Hochlauf von elektrischen Fahrzeugen • Rückgang von Verkehrstoten • Bessere Luftqualität in Städten • ~10 Mrd. EUR pro Jahr Mehreinnahmen durch wegfallende Subventionen, die zurzeit eher den reicheren Bevölkerungsschichten zugutekommen 	<ul style="list-style-type: none"> • Schnellerer CO₂-Preisanstieg, vor allem mit Auswirkungen auf sozial Schwache, wenn ohne Ausgleich • Schneller Hochlauf von elektrischen Fahrzeugen • Austausch des Fuhrparks im Rahmen der typischen Lebensdauer der Fahrzeuge • Rückgang von Verkehrstoten ab heute • Höhere Luftqualität in Städten ab heute • Ab heute ~10 Mrd. EUR pro Jahr Mehreinnahmen durch wegfallende Subventionen, die zurzeit eher der reicheren Bevölkerung zugutekommen 	<ul style="list-style-type: none"> • Extremer CO₂-Preisanstieg trifft vor allem sozial Schwache und kommt für diese Gruppe einem Fahrverbot gleich • Extrem schneller und nur kurzfristig hoher Verkauf von elektrischen Fahrzeugen nach Jahren der Unsicherheit stellt Autoindustrie vor große Herausforderungen • Austausch des Fuhrparks vor Ende der typischen Lebensdauer der Fahrzeuge, kumulative Mehrkosten von 400 Mrd. EUR

4.2.1 Zielbild Klimaneutralität bis 2045

Für die Klimaneutralität des motorisierten Individualverkehrs sind zwei Entwicklungen nötig: weniger motorisierter Individualverkehr und elektrische Antriebe.

Die Rolle des motorisierten Individualverkehrs (Autos, Motorräder) wird kleiner im Vergleich zu heute. Insbesondere in Städten wird Verkehr vermieden, verlagert sich viel Verkehr zum nichtmotorisierten Verkehr und Menschen legen viele Wege mit dem Fahrrad oder zu Fuß zurück. Zusätzlich nimmt der

Zugfernverkehr eine größere Rolle ein. Durch die Maßnahmen im Bereich Infrastruktur und die Förderung von öffentlichem Verkehr gibt es ausreichend erschwingliche Alternativen zu PKW.

Im verbleibenden Bestand ersetzen nach und nach elektrische Fahrzeuge die PKW und Motorräder mit Verbrennungsmotoren, sodass 2045 der gesamte Bestand elektrisch ist.

4.2.2 Sofortiges Handeln und bereits verpasste Chancen

Unter sofortigem Handeln würde die Regierung ab heute Anreize für nicht-motorisierten, öffentlichen oder elektrischen Individualverkehr schaffen und CO₂-intensiven motorisierten Individualverkehr verteuern. Sie würde die steuerlichen Vorteile für PKW weitgehend abschaffen und das Steuersystem emissionsabhängig gestalten. Diese Vorteile stellen heute eine Subvention von fossilen Energien dar und schwächen andere Instrumente der Klimapolitik (Plötz, Koch, *et al.*, 2024). Zusätzlich könnte eine emissionsabhängige Steuer auf KFZ-Zulassungen („Malus“) eingeführt werden, wodurch der Anschaffungspreis eines Verbrenners relativ zu einem elektrischen Fahrzeug verschoben wird. Dies ergänzt und beschleunigt die EU-Emissionsstandards, die ab 2035 nur noch emissionsfreie Fahrzeuge zulassen.

Für den verbleibenden PKW-Fuhrpark würden ab sofort zusätzliche Einschränkungen gelten, insbesondere ein Tempolimit, eine PKW-Maut, und der Verkehrsfluss wird insbesondere in Städten minimiert, auch durch erhöhte Parkgebühren in Städten. Der CO₂-Preis steigt ab sofort stetig an, unter gleichzeitiger Einführung eines sozialen Ausgleichs.

Tabelle 8: Maßnahmen für sofortiges Handeln im Bereich motorisierter Individualverkehr

	Einsparpotenzial [MtCO ₂ -Äq./a]	Kommentare	Quellen
Tempolimit	7,3	Autobahnen 120 km/h, Landstraßen 80 km/h	(UBA, 2021a)
CO₂ Preis vor 2027 (ETS II) erhöhen	N/A	Keine Quantifizierung verfügbar, qualitative Einschätzungen siehe Quellen	(Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, 2023)
PKW-Maut	9,2		(Agora Verkehrswende, 2022)
Emissionsabhängige KFZ-Steuer bei Kauf	N/A	Keine Quantifizierung verfügbar, qualitative Einschätzungen siehe Quellen	(UBA, 2021b)
Entfernungspauschale reformieren	2,4	Mit Härtefallregelung, maximale Einsparung ohne wären 4,7	(Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft, 2023b)
Dienstwagenprivileg abschaffen	1,9 – 5,8		(Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft, 2023a)
Dieselpriileg abschaffen	2,2		(FÖS, 2020)
Erhöhung von Parkgebühren in Städten	N/A	Keine Quantifizierung verfügbar	
Subvention von Tickets im öffentlichen Nahverkehr (Deutschlandticket)	Bereits in den Projektionen berücksichtigt, daher kein zusätzliches Einsparpotenzial	Derzeit umgesetzt, zukünftige Finanzierung nicht gesichert. Effekt auf CO ₂ -Emissionen wird mit 0,6 bis 2,8 MtCO ₂ -Äq im Jahr 2030 abgeschätzt.	(Expertenrat für Klimafragen, 2023)

Effekte in der Transformation

Bei sofortigem Handeln geht der motorisierte Individualverkehr bereits in dieser Dekade leicht zurück und dann nochmals deutlicher zwischen 2030 und 2040 (je nach Studie um 10 – 16% (Agora

Verkehrswende, 2024; Kreye *et al.*, 2024)). Dies geschieht zugunsten des öffentlichen Personenverkehrs und nichtmotorisierten Verkehrsmitteln. Beim öffentlichen Personenverkehr ist in manchen Szenarien zu beobachten, dass kurzfristig der Zuwachs bei Bussen größer ist, jedoch dann wieder fällt, sobald die Schieneninfrastruktur ausreichend ausgebaut ist. Die gesamte Verkehrsnachfrage geht leicht zurück oder bleibt auf einem gleichen Niveau.

Zusätzlich zu einer Minderung des motorisierten Individualverkehrs verdrängen elektrische PKW nach und nach den derzeitigen Fuhrpark. Durch sofortiges Handeln geschieht dies im Rahmen der typischen technischen Lebensdauer von Fahrzeugen, d.h. verkehrstüchtige Fahrzeuge müssen nicht vorzeitig von der Straße genommen werden. Unter der Annahme, dass die technische Lebensdauer eines Verbrenners 15 Jahre⁵ beträgt, können also bis ins Jahr 2030 noch Neuwagen zugelassen werden, danach müssen Neuzulassungen zu 100% elektrisch sein. Unter sofortigem Handeln kann sich der Markt und die Industrie darauf einstellen und der Marktanteil von elektrischen Fahrzeugen steigt Schritt für Schritt an. Wie schnell diese Änderung erfolgt, hängt vom Startjahr der Maßnahmen ab.

Verpasste Chancen: Hätten Maßnahmen bereits 2021 begonnen, wäre der Anteil des motorisierten Individualverkehrs bereits 2030 deutlich niedriger, und die nötige Veränderung in der nächsten Dekade deutlich geringer. Klimaschutzszenarien zeigen eine Änderung beim motorisierten Individualverkehr von -11 bis +4% zwischen 2030 und 2040 (Boston Consulting Group, 2021; Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2021; Prognos, Öko-Institut, 2021; Sensfuß *et al.*, 2021). Der Anstieg ergibt sich nur in einem der fünf Szenarien mit einem Fokus auf Elektrifizierung. Hätten wir Maßnahmen bereits früher gestartet, wären also nicht nur die nötigen Änderungen deutlich weniger drastisch, sondern wir hätten auch noch deutlichen Spielraum bei der Auswahl von Maßnahmen. Dieser Spielraum schmilzt mit jedem Jahr verzögertem Handeln.

Weil bis 2045 der gesamte Fahrzeugbestand in Deutschland emissionsfrei sein muss, müssen nun in kürzerer Zeit mehr elektrische Fahrzeuge zugelassen werden und entsprechend Verbrenner den Markt verlassen. In Szenarien, die zwischen 2024 und 2027 mit verstärkten Maßnahmen starten, steigt der Bestand an elektrischen Fahrzeugen durchschnittlich um etwa 2 Millionen pro Jahr zwischen 2025 und 2030. In Szenarien, die 2021 mit Maßnahmen gestartet wären, ist diese Zahl geringer, im Durchschnitt bei 1.4 Millionen pro Jahr im gleichen Zeitraum. Abbildung 13 zeigt deutlich den stärkeren Anstieg der Zahl neuer elektrischer PKW in Szenarien, die zwischen 2024 und 2027 starke Maßnahmen einführen, jedoch auch einen drastischeren Abfall dieser Zahlen. Szenarien mit Maßnahmen ab 2021 verhalten sich generell moderater, sowohl im Anstieg als auch im Abfall der Zahlen, was für die Autoindustrie und die gesamten Lieferketten eine stabilere Aussicht geboten hätte.

⁵ 15 Jahre ist ein eher optimistischer Wert. Derzeitige Werte liegen eher bei 17-18 Jahren (siehe Kapitel 4)

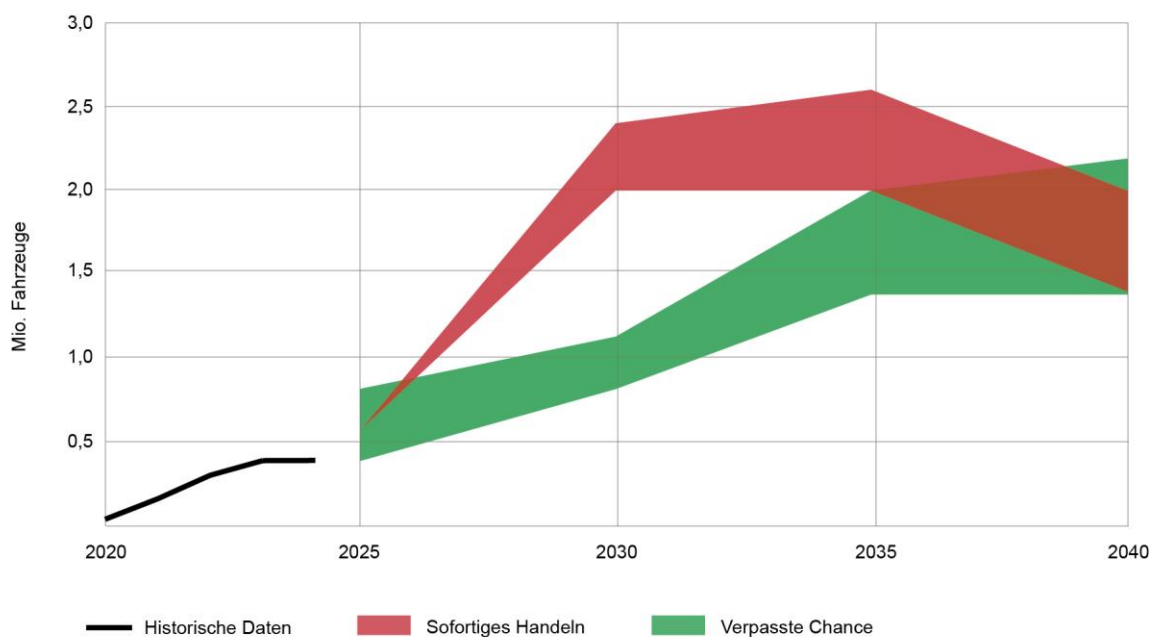


Abbildung 13: Jährliche Änderung im Gesamtbestand von elektrischen PKW in Szenarien mit Maßnahmen ab 2021 (Szenariengruppe Verpasste Chance) (grün) und mit sofortigen Maßnahmen (rot). Wichtig: die Grafik stellt die Netto-Änderung im Bestand dar, nicht die Neuzulassungen. Ab 2035/2040 müssen zusätzlich alte elektrische Fahrzeuge ersetzt werden, d.h. die Kurve der Neuzulassungen würde auf einem hohen Niveau bleiben.

Sozio-ökonomische Implikationen

Durch sofortige Maßnahmen würde die Luft- und Lärmverschmutzung insbesondere in Städten bald abnehmen und die Anzahl an Verkehrstoten zurückgehen. Allein durch ein Tempolimit auf Autobahnen könnten beispielsweise geschätzt 140 Verkehrstote im Jahr vermieden werden (UBA, 2021a).

Die Reform von steuerlichen Vorteilen würde zu zusätzlichen Einnahmen in die Staatskasse führen. Die derzeitigen steuerlichen Regelungen (insbesondere das Dienstwagenprivileg und die Pendlerpauschale) führen zu größeren Vorteilen für Menschen mit hohem Einkommen. Sie führen also zu einer Verstärkung der Ungleichheit. Außerdem entgehen dem Staat durch die hier betrachteten Subventionen Steuerzahlungen (insbesondere von Menschen mit hohem Einkommen) in Höhe von ungefähr 8,5 – 11.5 Mrd. € pro Jahr (Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft, 2023b, 2023a). Die Literatur zeigt deutlich, dass nur wenige Menschen mit geringem Einkommen von den derzeitigen Regelungen profitieren, durch Härtefallregelungen können diese auch weiter geschützt werden. Für den Verkehrssektor sind die Subventionen noch höher. Im Jahr 2020 lagen sie bei ungefähr 25 Mrd. € (Plötz, Rohde, *et al.*, 2024).

Der CO₂-Preis unter dem BEHG und dem ETS II ab 2027 steigt bereits in dieser Dekade auch unter sofortigem Handeln deutlich an. Szenarien, die Reduktionen im Jahr 2024 oder 2025 beginnen, zeigen einen Preis von ungefähr 250 €(2022)/tCO₂ im Jahr 2030 (im Vergleich zu 45€/tCO₂ unter dem BEHG heute), und steigen bis 2040 weiter auf 300 €(2022)/tCO₂ (Kreye *et al.*, 2024). Dieser Preis ist deutlich höher als im Moment, jedoch ähnlich oder leicht unter Schätzungen für Zertifikatspreise unter dem ETS

II von ungefähr 200-300 €/tCO₂ im Jahr 2030 (Kalkuhl *et al.*, 2023). Dieses Preisniveau entspricht einer Erhöhung der Benzinkosten von 38 ct/l von einem Jahr aufs nächste bei Eintritt des ETS II (Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, 2023).

Der CO₂-Preis unter dem ETS II steigt umso stärker in die Höhe, desto geringer die Reduktion vor 2027 ausfällt. Indem der Festpreispfad frühzeitig angezogen wird oder andere Minderungsmaßnahmen umgesetzt werden, kann also ein großer Sprung im Jahr 2027 vermieden werden.

Bei sofortigem Handeln muss dennoch zusätzlich eine zu große Belastung für Haushalte mit niedrigem Einkommen abgefedert werden. Das kann einerseits durch den Ausbau der ÖPNV-Infrastruktur und erschwingliche Preise geschehen, wodurch mehr Alternativen zur Nutzung des eigenen PKW entstehen. Zusätzlich kann ein „Klimageld“ ausgezahlt werden, wodurch viele Haushalte, insbesondere mit geringerem Einkommen, trotz CO₂-Preis sogar unterm Strich über mehr Geld verfügen würden. Die Verteilungswirkung hängt maßgeblich von der Ausgestaltung des Mechanismus ab (Klinski *et al.*, 2023).

In Szenarien, die bereits 2021 mit Reduktionen begonnen hätten, fällt der CO₂-Preis, der nötig gewesen wäre um die Ziele des Verkehrssektors zu erreichen, deutlich niedriger aus, die schnelle Minderung an Emissionen wird durch andere Maßnahmen erreicht. In den Klimaschutzszenarien steigt der CO₂-Preis langfristig moderat auf 70 - 128 €/tCO₂ (Stiftung Klimaneutralität, 2022).

Bei sofortigem Handeln sind in den nächsten Jahren leicht höhere Ausgaben für den motorisierten Individualverkehr zu erwarten, insbesondere für E-Fahrzeuge und Lademöglichkeiten (Agora Verkehrswende, 2024), welche sich jedoch als gering bis moderat einordnen lassen und mittelfristig wieder eingespart werden. In dem Agora „Wende-2025-Szenario“ entstehen für den Personenverkehr auf der Straße kumulativ weniger Ausgaben zwischen 2023 und 2045 als unter dem Referenzszenario (das Szenario ohne zusätzliche Maßnahmen). Über den gesamten Verkehrsbereich entstehen kumulativ nur etwas weniger als 1% Mehrausgaben über den Zeitraum von 2023 bis 2045 (Agora Verkehrswende, 2024).

4.2.3 Kompensation verspäteten Handelns

Werden die oben genannten Maßnahmen erst verspätet umgesetzt, können sie zwar teilweise noch in den 30er Jahren einen Effekt haben, dieser reicht jedoch nicht aus, um die verpasste Minderung zu kompensieren und Emissionen entsprechend schneller zu reduzieren. Das bedeutet, dass zusätzliche und teilweise drastischere Maßnahmen nötig wären, wie:

- das Stilllegen von Verbrennern kurz vor 2045, um die Emissionen auf Null zu bekommen
- die Einschränkung von gefahrenen Kilometern über direkte Fahrverbote
- die Einschränkung von gefahrenen Kilometern über hohe und abrupte Preissignale (CO₂-Preis oder Benzinststeuer)

Effekte in der Transformation

Unter verspätetem Handeln verändern sich die gefahrenen Kilometer des motorisierten Individualverkehrs zunächst nur wenig. Laut dem Projektionsbericht des UBA steigen sie sogar weiter an. Um dies aufzuholen, sind die Änderungen in der nächsten Dekade stärker: Im Agora Wende-2030 Szenario müssen die gefahrenen Personenkilometer schlagartig ab 2030 doppelt so schnell sinken wie vorher (Agora Verkehrswende, 2024).

Auch die Elektrifizierung des Fuhrparks erfolgt zunächst zurückhaltend, mit dem Ergebnis, dass in der nächsten Dekade der Marktanteil früh in Richtung 100% tendieren muss, um Klimaneutralität bis 2045

zu erreichen. Dies bedeutet, dass der Bestand sowie die Neuzulassungen⁶ von E-Autos zwischen 2030 und 2035 um ungefähr 4,8 Mio. Fahrzeuge pro Jahr wachsen muss, statt ungefähr 2.0 – 2.5 Mio. pro Jahr zwischen 2030 und 2035 bei sofortiger Umsetzung zusätzlicher Maßnahmen.

Zusätzlich müssen über 1 Millionen Verbrenner pro Jahr frühzeitig aus dem Markt genommen werden. In der Vergangenheit wurden pro Jahr deutlich weniger als 4,8 Mio. Fahrzeuge zugelassen. Im Jahr 2023 waren es 2,8 Mio., der historische Höchstwert betrug 3,6 Mio. Bleibt die Zahl an Neuzulassungen ungefähr in diesem Bereich, würden ungefähr 1,2 bis 2 Mio. Verbrenner pro Jahr nicht mehr benötigt und müssten verfrüht stillgelegt werden.

Die Anzahl der Zulassungen steigt in den frühen 30er Jahren rapide an und fällt danach wieder stark ab. Die Autoindustrie kann dann die Produktion nicht langsam umstellen, sondern muss abrupt die Technologie wechseln. Derartige Schwankungen stellen die Automobilindustrie vor große Herausforderungen und werden sich auch in den Fahrzeugpreisen widerspiegeln. Sollte es nicht möglich sein, so viele elektrische Fahrzeuge zu erschwinglichen Preisen auf den Markt zu bringen, würden wahrscheinlich weiter zu viele Verbrenner verkauft, die dann spätestens im Jahr 2045 verboten und abgewrackt werden müssten. Um schon vor 2045 die Emissionen der Verbrenner zu minimieren, könnten Fahrverbote eingeführt werden. Ein Sonntagsfahrverbot könnte zum Beispiel 9 MtCO₂-Äq. pro Jahr einsparen, basierend auf dem derzeitigen Fuhrpark mit einem geringen Anteil an elektrischen Autos⁷.

Die deutsche Automobilindustrie hat verspätet auf die E-Mobilität reagiert und steht bereits jetzt unter großem Konkurrenzdruck von chinesischen und US-amerikanischen Akteuren (Kreye *et al.*, 2024). Durch eine weitere Verzögerung bei politischen Maßnahmen und ohne ein klares Signal für die Automobilindustrie würde Deutschland den Einbruch einer seiner wichtigsten Branchen riskieren.

Sozio-ökonomische Implikationen

Die negativen sozio-ökonomischen Effekte der derzeitigen Situation bleiben unter verspätetem Handeln größtenteils bis mindestens 2030 bestehen. Dazu gehören Luftverschmutzung (ca. 40 000 vorzeitige Todesfälle im Jahr 2021 (European Environment Agency (EEA), 2023)), Verkehrstote (2817 Todesfälle im Jahr 2023 (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2024)) sowie fehlende Steuereinnahmen, die durch ein Abschaffen des Dienstwagenprivilegs und der Entfernungspauschale erzielt werden könnten (8,5 – 11,5 Mrd € pro Jahr (siehe Kapitel 4.2.2.)).

In einem verspäteten Szenario können die im vorherigen Kapitel beschriebenen Maßnahmen zwar noch umgesetzt werden und größtenteils auch eine kurzfristige Minderung an Emissionen bewirken, sie reichen jedoch nicht aus, um die zum Aufholen nötigen, extrem steilen Reduktionspfade zu erreichen. Deshalb sind zusätzliche starke Preissignale im Transportsektor nötig, über den CO₂-Preis oder Brennstoffsteuern. Die derzeit erwarteten hohen Preisniveaus im ETS II allein werden die Transformation nicht garantieren können.

Die hohen Preise und das Fehlen adäquater und erschwinglicher Alternativen zum PKW machen einen stärkeren Ausgleichsmechanismus zur sozialen Abfederung nötig, was wiederum die Effektivität des CO₂-Preises mindert. Die Elastizität im Verkehrssektor wird ohnehin eher unterschätzt, d.h. oft wird die Wirkung eines hohen CO₂-Preises überschätzt, die Emissionsminderung ist in der Realität geringer

⁶ Die Berechnungen beziehen sich auf die Änderung im Bestand, jedoch ist diese Zahl für E-Autos im nächsten Jahrzehnt noch gleichzusetzen mit Neuzulassungen, da in dem Zeitraum nur sehr wenige E-Autos die Flotte verlassen werden.

⁷ Eigene Berechnungen basierend auf (Gehrs *et al.*, 2022)

(Bach *et al.*, 2019). Würde auf einen sozialen Ausgleich verzichtet, käme es zu De-facto-Fahrverboten, insbesondere für Haushalte mit geringerem Einkommen, die sich den hohen Zertifikatspreis nicht mehr leisten könnten.

Im Vergleich dazu: Die offizielle UBA-Projektion unter derzeitigen Maßnahmen (MMS) geht von einem Anstieg auf 101 €(2022)/tCO₂ im Jahr 2030 und 209 €(2022)/tCO₂ im Jahr 2045 aus. Diese CO₂-Preise entsprechen nicht dem zu erwartenden Niveau, wenn die Klimaschutzziele erreicht werden sollen. Die Bundesregierung müsste vorausschauend handeln, um Preisschocks und soziale Verwerfungen zu vermeiden.

Im Vergleich zum vorausschauenden Handeln sind auch die jährlichen Ausgaben insgesamt ab 2030 deutlich höher. In dem Agora „Wende-2030-Szenario“ zum Beispiel entstehen kumulativ fast 400 Mrd € (2022) mehr Ausgaben zwischen 2023 und 2045 für Investitionen in Fahrzeuge als unter dem „Wende-2025-Szenario“ (Agora Verkehrswende, 2024). Durch die Verspätung werden also nicht nur Ausgaben in die Zukunft geschoben. Auch Fehlinvestitionen, die nicht dem Endziel Klimaneutralität dienen, steigen an und machen Ausgaben für deren Korrektur nötig.

4.3 Güterverkehr

LKW tragen mit fast 30% zum Treibhausgasausstoß des Verkehrssektors in Deutschland bei, der Schienenverkehr mit ca. 2% (UBA, 2024a). Da deutlich mehr LKW auf den Straßen in Deutschland unterwegs sind, hat sich der Treibhausgasausstoß trotz Effizienzverbesserungen seit 1990 erhöht (ibid.).

Die folgenden Unterkapitel beschreiben Maßnahmen und Auswirkungen im Bereich Güterverkehr unter verschiedenen Szenarien. Tabelle 9 fasst die Ergebnisse zusammen.

Tabelle 9. Zusammenfassung der Auswirkungen der verschiedenen Szenarien für den Güterverkehr

	Verpasste Change	Sofortiges Handeln	Kompensation verspäteten Handelns
Erforderliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Früher Abbau CO₂-Emissionen unterstützender Subventionen • Früher, gleichmäßiger und moderater Anstieg des CO₂-Preises 	<ul style="list-style-type: none"> • Abbau CO₂-Emissionen unterstützender Subventionen ab heute • Zügiger Anstieg des CO₂-Preises auf hohes Niveau ab heute 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortführung von Fehlanreizen, die dann nach 2030 rückgängig gemacht werden müssen • Sprunghaft extrem hoher CO₂-Preis ab 2030
Soziale Effekte	<ul style="list-style-type: none"> • Frühe Verlagerung von Transport auf die Schiene ohne signifikante Auswirkungen auf die Transportpreise 	<ul style="list-style-type: none"> • Zügiger Anstieg der Transportkosten, mit Auswirkungen auf sozial Schwache, falls ohne Gegenmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Extrem sprunghafter Anstieg der Transportkosten, mit großen Auswirkungen auf sozial Schwache

4.3.1 Zielbild bis 2045

Bei einem klimaneutralen Güterverkehr steigt der Güterverkehr auf der Schiene, auf der Straße wird er weitestgehend elektrifiziert. Wasserwege behalten eine Relevanz, wobei jedoch auf Grund des voranschreitenden Klimawandels mehr Planung nötig ist. Beispielsweise muss Industrie entlang von Flüssen auf langfristige Machbarkeit geprüft und Produktionsstätten eventuell verlagert werden, sodass sie auch in Zukunft verlässlich belieferbar sind. Gleichzeitig bleibt der Transport von Lebensmitteln erschwinglich und effizient. Zu einem Zielbild für den Güterverkehr zählt ebenfalls die Nutzung von

lokalen Gütern und die Vermeidung von Überkonsum (z.B. fast fashion), wodurch Verkehrswege eingespart werden.

4.3.2 Sofortiges Handeln und bereits verpasste Chancen

Unter sofortigem Handeln würde die Regierung die steuerlichen Vorteile für Diesel weitgehend abschaffen und weitere Abgaben emissionsabhängig gestalten (z.B. die LKW-Maut). Zusätzlich fördert sie emissionsfreie Antriebe von schweren Nutzfahrzeugen. Diese Maßnahme ist bereits beschlossen, auf Grund der Haushaltslage fehlt jedoch die Finanzierung für das Programm.

Diese Maßnahmen ergänzen und beschleunigen die EU-Emissionsstandards, die die durchschnittlichen Emissionen neuer Fahrzeuge bis 2040 um 90% gegenüber 2019 senken (Packroff, 2024). Der CO₂-Preis steigt ab sofort stetig an, wobei eventuell Ausgleichsmechanismen eingeführt werden, um z.B. den Transport von Nahrungsmitteln erschwinglich zu halten.

Politische Maßnahmen, um den Bedarf an Konsumgütern zu senken und dadurch den Bedarf an Fahrleistung zu senken, sind ebenfalls nötig (vgl. z.B. ('European Sufficiency Policy Database', 2024)), betreffen jedoch andere Sektoren und sind deshalb hier nicht weiter beschrieben.

Tabelle 10: Maßnahmen für sofortiges Handeln im Bereich Güterverkehr

	Einsparpotenzial [MtCO ₂ -Äq./a]	Kommentare	Quellen
CO₂ Preis vor 2027 (ETS II) erhöhen	N/A	Keine Quantifizierung verfügbar, qualitative Einschätzungen siehe Quellen	(Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, 2023)
Dieselprivileg abschaffen	1,5		(FÖS, 2020)
Emissionsabhängige LKW-Maut	Bereits in den Projektionen berücksichtigt, daher kein zusätzliches Einsparpotenzial	Effekt auf CO ₂ -Emissionen wird mit 7,4 bis 8,9 MtCO ₂ Äq im Jahr 2030 abgeschätzt. Der Expertenrat für Klimafragen bewertet die Realisierungswahrscheinlichkeit der abgeschätzten Maßnahmenwirkung als „kaum erwartbar“.	(Expertenrat für Klimafragen, 2023)
Emissionsabhängige KFZ-Steuer bei Kauf	N/A	Keine Quantifizierung verfügbar, qualitative Einschätzungen siehe Quelle	(UBA, 2021b)
Förderung von klimaneutralen Antrieben für schwere Nutzfahrzeuge	Bereits in den Projektionen berücksichtigt, daher kein zusätzliches Einsparpotenzial	Umgesetzt aber von Haushaltsproblemen betroffen	

Effekte in der Transformation

Bei sofortigem Handeln verändern sich die Anteile verschiedener Verkehrsmittel im Güterverkehr nicht maßgeblich.⁸ Allerdings wird der Fuhrpark schnell elektrifiziert. Bereits im Jahr 2030 ist der Anteil elektrischer Antriebe an Neuzulassungen zwischen 65% und 73% (Agora Verkehrswende, 2024; Kreye *et al.*, 2024). Zusätzlich könnten Fahrzeuge für den Betrieb mittels elektrischer Oberleitungen eingeführt

⁸ Vorhanden Szenarien gehen von einem leichten Anstieg des Güterverkehrs aus, allerdings betrachtet keine der Studien eine nachhaltige Veränderung von Konsum.

werden, wobei diese technisch mögliche Option auf Grund von verbesserten Batterie- und Ladetechnologien unwahrscheinlicher wird.

Unter sofortigem Handeln fällt der Anteil von Verbrennern bei LKW-Zulassungen bereits ab heute deutlich. In Kreye et al. fällt der Anteil auf ca. ¼ aller Neuzulassungen im Jahr 2030 (Kreye *et al.*, 2024).

Sozio-ökonomische Implikationen

Durch den höheren CO₂-Preis steigen die Kosten für die Verkehrswege, die noch mit Verbrennern gefahren werden. Es ist davon auszugehen, dass der Markt sehr schnell reagiert und auf emissionsfreie Fahrzeuge umsteigt, sobald dadurch ein wettbewerblicher Vorteil entsteht. Kreye et al gehen davon aus, dass die Güterverkehrsbranche insgesamt wirtschaftlich von zusätzlichen Maßnahmen profitieren würde. Die Transportkosten auf der Straße würden steigen, davon profitiert jedoch der Schienenverkehr (Kreye *et al.*, 2024).

4.3.3 Kompensation verspäteten Handelns

Ein verspätetes Aufholen verhält sich ähnlich wie im motorisierten Individualverkehr: Werden die oben genannten Maßnahmen nur verspätet umgesetzt, können sie zwar teilweise noch in den 30er Jahren einen Effekt haben, dieser reicht jedoch nicht aus, um die verpasste Minderung zu kompensieren und Emissionen entsprechend schneller zu reduzieren. Das bedeutet, dass zusätzliche und teilweise drastischere Maßnahmen nötig wären, wie:

- Das Stilllegen von Verbrennern kurz vor 2045, um die Emissionen auf Null zu bekommen, mit den entsprechenden Folgen in Lieferketten.
- Die Einschränkung von gefahrenen Kilometern, entweder über
 - direkte Fahrverbote oder
 - starke Preissignale

Effekte der Transformation

Unter verspätetem Handeln steigt der Anteil von LKW mit elektrischen Antrieben bis 2030, jedoch weniger stark als mit zusätzlichen Maßnahmen. Um dies zu kompensieren, wird ein abrupter Sprung von Zulassungen von elektrisch betriebenen LKW zwischen 2030 und 2035 nötig (Agora Verkehrswende, 2024; Kreye *et al.*, 2024). Da es verpasst wurde Oberleitungsinfrastruktur einzuführen, gibt es keine LKW, die über Oberleitungen elektrisch betrieben werden. Stattdessen spielen in manchen Szenarien Brennstoffzellen-LKW eine größere Rolle, deren Betrieb jedoch auf Grund der vergleichsweise ineffizienten Herstellung von Treibstoff deutlich teurer ist (Kreye *et al.*, 2024).

Unter verspätetem Handeln fällt der Anteil von Verbrennern bei LKW-Zulassungen bis 2030 auf ca. 60% (Agora Verkehrswende, 2024), d.h. es werden noch 15 Jahre vor dem Ziel der Klimaneutralität fast 50 000 neue Diesel-LKW dem Bestand hinzugefügt, der Markt für diese Fahrzeuge fällt dann aber in den nächsten 5 Jahren bis 2035 auf fast Null.

Sozio-ökonomische Implikationen

Um das Aufholen zu schaffen und ausreichend Anreize für schnelle Veränderungen zu setzen, wäre entweder eine strikte Regulierung der Fahrleistung und des Verkaufs von LKW nötig oder ein höherer CO₂-Preis.

Beide Optionen unter verspätetem Aufholen gehen mit Risiken einher. Die LKW-Industrie würde stärker belastet durch die schnellen Veränderungen am Markt. Transportunternehmen würden möglicherweise erhöhte Transportkosten an Verbraucher weitergeben, was die Preise für Konsumgüter und

Lebensmittel steigen ließe, was insbesondere die sozial Schwächeren zu spüren bekommen. Härtefallregelungen für z.B. den Lebensmitteltransport wären möglich, würden aber wiederum die Effektivität der Mechanismen verringern, wofür in einem verspäteten Szenario nur sehr wenig Spielraum ist.

4.4 Kompensation verspäteten Handelns durch andere Sektoren

Ein verspätetes Handeln im Verkehrssektor führt nicht nur zu einer größeren Härte der Maßnahmen in diesem Sektor, falls es aufgeholt werden soll, sondern auch zu schärferen Einschnitten in anderen Sektoren als ohnehin schon nötig, falls diese für den Verkehrssektor kompensieren müssten. Emissionsreduktionen werden mit jeder zusätzlich zu vermeidenden Tonne teurer, und ein Versagen eines Sektors zwingt die anderen dazu, auch noch die letztmögliche und damit teuerste Tonne CO₂ zu vermeiden. Die Effekte auf andere Sektoren wurden nicht modelliert, Beispiele sind jedoch in Tabelle 11 qualitativ skizziert.

Tabelle 11. Beispielhafte Darstellung der Belastungen anderer Sektoren bei Kompensation für verspätetes Handeln im Verkehr

Bereich	Transformation mit ähnlicher Belastung in allen Sektoren	Transformation mit zusätzlicher Belastung durch verspätetes Handeln im Verkehrssektor
Stromsektor	100% erneuerbare Energien (möglich durch erprobte, kosteneffiziente Technologien)	Entnahme von CO ₂ aus der Atmosphäre im Stromsektor nötig, was nur durch den Einsatz von neuen, teuren Technologien möglich ist (z.B. Direct Air Capture), und/oder zusätzliche Landfläche benötigt (z.B. Bioenergy Carbon Capture and Storage)
Konsumverhalten	Steigender Anteil an pflanzlicher Ernährung, generell zeigen Szenarien jedoch keine substantielle Änderung des Lebensstils	Stark steigender Anteil an pflanzlicher Ernährung, Einschränkung der Wohnfläche, Anpassung des Konsumverhaltens bei Kleidung und anderen Konsumgütern
Industrie	Schnelle Dekarbonisierung des Industriesektors. Technische Sanierungszyklen können weitgehend berücksichtigt werden und die internationale Wettbewerbsfähigkeit bleibt erhalten. CCS wird in einigen Sektoren nötig (z.B. Zementherstellung), einige Restemissionen können ausgestoßen werden (und werden durch den Forstsektor kompensiert).	Forst-Senken müssen für den Transportsektor kompensieren, d.h. alle Industriezweige müssen auf Brutto-Null Emissionen. CCS wird trotz hoher Kosten in mehr Sektoren nötig. Industrie muss schneller als die technischen Sanierungszyklen dekarbonisieren, was zu höheren Preisen und Wettbewerbsnachteilen führen kann.
Gebäude	Bei Heizungseinbau werden von nun an nur noch klimafreundliche Technologien genutzt und alle Gebäude werden bis 2045 energetisch auf höchstem Standard saniert.	Öl- und Gas-Heizungen müssen vor Ende der Lebensdauer gegen klimafreundliche Alternativen ausgetauscht werden.

Bereits die Bemühungen, um die eigenen Emissionen entsprechend der Sektorziele des Klimaschutzgesetzes zu reduzieren, sind für alle Sektoren eine Herausforderung. Die zusätzlichen Anstrengungen der anderen Sektoren, die das Verfehlen des Verkehrssektors ausgleichen könnten, stehen in keinem Verhältnis zu den verpassten oder immer noch möglichen Maßnahmen im Verkehrssektor selbst. Einem Tempolimit zum Beispiel oder einem moderaten und vorhersehbaren Hochlauf des CO₂-Preises im Verkehrssektor stehen extrem teure technische CO₂-Entnahme, Konsumverzicht, vorzeitige Sanierungen (schneller als technisch erforderlich wäre) in Industrie und Gebäude gegenüber. Die Minderungskosten und gesellschaftlichen Zumutungen liegen bei weitem über denen im Verkehrssektor. Es ist aus wissenschaftlicher Sicht nicht ersichtlich, dass der Gesellschaft

durch diese wenigen Freiheitsgrade im Verkehrssektor insgesamt ein Vorteil entstehen würde. Es wäre also aus volkswirtschaftlicher Sicht extrem ineffizient, dem Verkehrssektor diese Freiheit zuzugestehen.

Außerdem müssen globale Treibhausgasemissionen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts netto-negativ sein, d.h. nationale Bemühungen insbesondere von reichen Ländern wie Deutschland müssen für die Zeit nach 2045 oder 2050 verschärft werden. Das heißt, selbst wenn sich der Verkehrssektor im Jahr 2045 auf Kompensation durch andere Sektoren verlassen könnte, um insgesamt Klimaneutralität zu erreichen, wird dies in den Jahren danach immer weniger möglich sein. Die mit den skizzierten radikalen Maßnahmen in anderen Sektoren „erkaufte“ Zeit wäre also eng begrenzt.

5 Schlussfolgerung

Der Vergleich verschiedener Pfade macht klar: Das Überschießen der Sektorziele im Verkehrssektor 2020 bis 2024 macht den sanftesten Pfad zur Klimaneutralität bereits unmöglich. Hätte man 2021 begonnen, wären langsame, aber stetige CO₂-Preiserhöhungen mit sozialem Ausgleich ausreichend gewesen, gleichmäßig bis 2045 1 bis 2 Millionen Elektroautos pro Jahr zugelassen worden und ebenso viele Verbrenner stillgelegt.

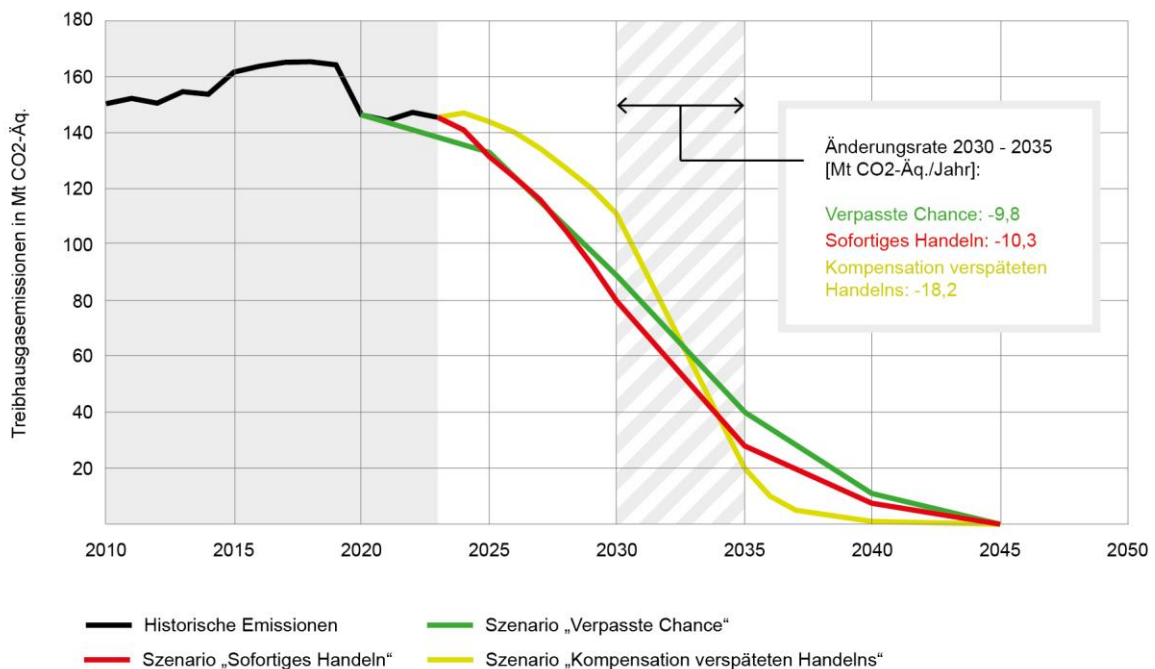


Abbildung 14: Exemplarische Verläufe für die Szenarien "Verpasste Chance", "Sofortiges Handeln" und "Kompensation verspäteten Handelns".

Datenquellen: Verpasste Chance – Klimaneutralitätsszenario von Agora Energiewende (Prognos, Öko-Institut, 2021), Sofortiges Handeln - UBA SHS (Kreye *et al.*, 2024), Kompensation verspäteten Handelns - Wende 2030 Szenario von Agora Verkehrswende (Agora Verkehrswende, 2024). Die Werte der verschiedenen Szenarien weichen in den Jahren bis 2023 leicht vom Treibhausgasinventar ab. Vereinfachend stellen wir deshalb die Szenarien „Sofortiges Handeln“ und „Kompensation verspäteten Handelns“ ab 2024 dar.

Je länger effektive Reduktionen verzögert werden, desto disruptiver werden die Maßnahmen ab dem Zeitpunkt, zu dem ambitionierte Reduktionen einsetzen, solange gesetzte Ziele erreicht werden sollen. Dies zeigt sich auch in den analysierten Szenarien. Die durchschnittliche Reduktionsgeschwindigkeit des Treibhausgasausstoßes zwischen 2030 und 2035 steigt beim „sofortigen Handeln“ schon auf etwa 10,3 MtCO₂-Äq. pro Jahr im Vergleich zu etwa 9,8 unter den Szenarien der „verpassten Chance“, bei denen zugleich nach 2035 noch deutlich mehr Emissionen zur Verfügung gestanden hätten. Bei Kompensation verspäteten Handelns innerhalb des Verkehrssektors ab 2030 steigt die Reduktionsgeschwindigkeit zwischen 2030 und 2035 auf 18,2 MtCO₂-Äq. E-Auto-Neuanmeldungen schnellen bei „sofortigem Handeln“ von grob 1 Million auf 2-2,5 Millionen, bei „Kompensation verspäteten Handelns“ ab 2030 sogar auf fast 5 Millionen pro Jahr. Investitionen in die Bahn schnellen

von 15 Milliarden pro Jahr auf 20 oder bei „Kompensation verspäteten Handelns“ ab 2030 auf 25 Milliarden Euro pro Jahr.

Dabei ist das Aufholen ab 2030 ein eher theoretisches Szenario: ein Sprung von zusätzlichen 10 Milliarden Investitionen für die Bahn oder Absatz von erst 1,5 Millionen und dann fast 5 Millionen Elektroautos pro Jahr ist zwar als Szenario-Annahme möglich, scheint aber in der Realität nicht umsetzbar.

Selbst wenn andere Sektoren kompensieren, ist der Rückstand nur noch mit disruptiven Maßnahmen zu erreichen. Selbst dann wäre eine Verdoppelung der Reduktionsgeschwindigkeit im Verkehr ab dem Jahr 2030 gegenüber dem Zeitraum bis 2030 nötig.

In jedem Fall führte also die Verzögerung der Reduktionen im Verkehrssektor zwischen 2020 und 2024 zu deutlich disruptiveren Maßnahmen auf dem Weg zur Klimaneutralität bis 2045, und der Freiheitsgrad bei der Auswahl und Ausgestaltung von Maßnahmen sinkt.

6 Quellenverzeichnis

Agora Energiewende und Agora Verkehrswende (2023) *Der CO₂-Preis für Gebäude und Verkehr. Ein Konzept für den Übergang vom nationalen zum EU-Emissionshandel*. Available at: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-26_DE_BEH_ETS_II/A-EW_311_BEH_ETS_II_WEB.pdf

Agora Verkehrswende (2022) *Pkw-Maut für die Mobilitätswende: Eine verursachergerechte Straßennutzungsgebühr als Baustein für ein digitalisiertes und klimaneutrales Verkehrssystem*. Available at: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2022/Pkw-Maut/AgoraVW_Pkw_Maut_Bericht_final_3.pdf

Agora Verkehrswende (2023) *E-Fuels zwischen Wunsch und Wirklichkeit - Was strombasierte synthetische Kraftstoffe für die Energiewende im Verkehr leisten können – und was nicht*. Available at: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/user_upload/103-E-Fuels_v2.pdf

Agora Verkehrswende (2024) *Verkehrswende als Mehrwert*. Berlin. Available at: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2024/Kosten_der_Verkehrswende/110_Kosten-der-Verkehrswende.pdf

Bach, S., Isaak, N., Kemfert, C., et al. (2019) *CO₂-Bepreisung im Wärme- und Verkehrssektor: Diskussion von Wirkungen und alternativen Entlastungsoptionen, DIW Berlin Politikberatung kompakt*. Available at: https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.676034.de/diwkompakt_2019-140.pdf

Boston Consulting Group (2021) *Klimapfade 2.0 – Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft*. Available at: <https://web-assets.bcg.com/58/57/2042392542079ff8c9ee2cb74278/klimapfade-study-german.pdf>

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022) *Projektinformationssystem zum Bundesverkehrswegeplan 2030*. Available at: <https://www.bvwp-projekte.de/> (Accessed: 12 June 2024)

Bundesregierung (2021) *Klimaschutzgesetz: Klimaneutralität bis 2045*. Available at: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672> (Accessed: 22 June 2021)

Climate Action Tracker (2023) *Country assessment Germany 2023*. Available at: <https://climateactiontracker.org/countries/germany/2023-09-05> (Accessed: 21 June 2024)

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2021) *dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität*

Doll, C., Brauer, C. and Duffner-Korbee, D. (2024) *Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz und für lebenswerte Städte und Regionen - Kurzfassung*. Karlsruhe. Available at: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2024/2024-05_adfc_radverkehr_potenzial_abschaetzung_studie_kurzfassung.pdf

European Environment Agency (EEA) (2023) *Harm to human health from air pollution in Europe: burden of disease 2023*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution/harm-to-human-health-from>

'European Sufficiency Policy Database' (2024). Europa-Universität Flensburg; Wuppertal Institut; Öko-Institut. Available at: <https://energysufficiency.de/en/policy-database-en/> (Accessed: 28 May 2024)

Expertenrat für Klimafragen (2022) *Sofortprogramme können Einhaltung der Klimaziele nicht sicherstellen – Gebäude mit substanziellem Beitrag, Verkehr schon im Ansatz ohne hinreichenden Anspruch*. Available at: <https://www.expertenrat-klima.de/news/news-veroeffentlichung-des-pruefberichts-zu-den-sofortprogrammen-2022-fuer-den-gebaeude-und-verkehrssektor/>

Expertenrat für Klimafragen (2023) *Prüfbericht 2023 für die Sektoren Gebäude und Verkehr*. Available at: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2023/08/ERK2023_Stellungnahme-zum-Entwurf-des-Klimaschutzprogramms-2023.pdf

- Expertenrat für Klimafragen (2024) 'Gutachten zur Prüfung der Treibhausgas-Projektionsdaten 2024'. Expertenrat für Klimafragen. Available at: https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2024/06/ERK2024_Sondergutachten-Pruefung-Projektionsdaten-2024.pdf
- Fishman, E., Schepers, P. and Kamphuis, C.B.M. (2015) 'Dutch Cycling: Quantifying the Health and Related Economic Benefits', *American Journal of Public Health*, 105(8), pp. e13–e15. doi:10.2105/AJPH.2015.302724
- Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (2023a) *Das Dienstwagenprivileg*. Available at: https://foes.de/publikationen/2023/2023-06_FOES_Subventionssteckbrief-Dienstwagenprivileg.pdf
- Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (2023b) *Die Entfernungspauschale*. Available at: https://foes.de/publikationen/2023/2023_11_FOES_Subventionssteckbrief-Entfernungspauschale.pdf
- FÖS (2020) *Zehn klimaschädliche Subventionen im Fokus Wie ein Subventionsabbau den Klimaschutz voranbringt und den Bundeshaushalt entlastet*. Available at: https://foes.de/publikationen/2020/2020-11_FOES_10_klimaschaedliche_Subventionen_im_Fokus.pdf
- Gehrs, B., Austrup, T., Stephan, B., et al. (2022) *Kein Öl für Krieg*. Hamburg, Germany. Available at: <https://www.greenpeace.de/publikationen/20220309-greenpeace-massnahmen-kein-oel-fuer-krieg.pdf>
- IEA (2022) *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. Paris, France: International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (Accessed: 5 August 2023)
- Kalkuhl, M., Kellner, M., Bergmann, T. and Rütten, K. (2023) *CO₂-Bepreisung zur Erreichung der Klimaneutralität im Verkehrs- und Gebäudesektor: Investitionsanreize und Verteilungswirkungen*. Available at: https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/C18_MCC_Publications/2023_MCC_CO2-Bepreisung_Klimaneutralität_Verkehr_Gebäude.pdf
- Klinski, P.S., Keimeyer, F., Cludius, J. and Schumacher, K. (2023) *Fachliche Unterstützung Klimapolitik: Verfassungsrechtliche Grundfragen und sozio-ökonomische Auswirkungen eines „Klimageldes“*. Available at: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Klimageld_Verfassungsrechtliche-Grundfragen-sozio-oekonomische-Auswirkungen.pdf
- Kraftfahrtbundesamt Deutschland (2024) *Der Fahrzeugbestand am 1. Januar 2024*. Available at: https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugbestand/2024/pm08_fz_bestand_pm_komplett.html (Accessed: 12 June 2024)
- Kreye, K., Kasten, P., Appenfeller, D. and Steinbach, I. (2024) *Verkehrssektor auf Kurs bringen: Szenarien zur Treibhausgasneutralität 2045*. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/59_2024_texte_verkehrssektor_auf_kurs_bringen_0.pdf
- Packroff, J. (2024) 'EU-Parlament beschließt 90-prozentiges Verbrenner-Aus für LKW', *Euractiv*. Available at: <https://www.euractiv.de/section/verkehr/news/eu-parlament-beschliesst-90-prozentiges-verbrenner-aus-fuer-lkw/>
- Plötz, P., Koch, N., Bach, S., et al. (2024) *Klimaschädliche Subventionen entsprechen negativen CO₂-Preisen, (Ariadne-Kurz dossier)*. Potsdam. doi:<https://doi.org/10.48485/pik.2024.007>
- Plötz, P., Rohde, C., Repenning, J., et al. (2024) *Quantifizierung der Treibhausgas-wirkung von staatlichen Begünstigungen in Deutschland*. Available at: <https://www.oeko.de/publikation/quantifizierung-der-treibhausgaswirkung-von-staatlichen-beguenstigungen-in-deutschland/>
- Prognos, Öko-Institut, W.-I. (2021) *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann*. Available at: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf (Accessed: 1 December 2022)
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2020) *Pariser Klimaziele erreichen mit dem CO₂ Budget, Umweltgutachten 2020*. Available at: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umwelt

gutachten_Kap_02_Pariser_Klimaziele.html

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2024) *Wo stehen wir beim CO₂-Budget? Eine Aktualisierung*

Sander, K., Rödig, L., Wagner, L., et al. (2020) *Evaluierung und Fortschreibung der Methodik zur Ermittlung der Altfahrzeug_verwertungsquoten durch Schredderversuche unter der EG-Altfahrzeug_richtlinie 2000/53/EG*. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-01-20_texte_15-2020_altfahrzeugemonitoring.pdf

Sensfuß, F., Lux, B., Bernath, C., et al. (2021) *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3: Kurzbericht: 3 Hauptszenarien*

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2024) *Getötete nach Alter und je 1 Million Einwohner*. Available at: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Tabellen/verkehrstote-nach-alter.html> (Accessed: 2 July 2024)

Stiftung Klimaneutralität (2022) *Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien*. Available at: https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2022/03/2022-03-16-Big5_Szenarienvergleich_final.pdf

Transport & Environment (2023) 'E-fuel cars are not zero emission'. Transport & Environment. Available at: <https://www.transportenvironment.org/discover/e-fuel-cars-are-not-zero-emission/> (Accessed: 5 August 2024)

Transport & Environment (2024) *National climate targets off track: Six years left to course correct and avoid penalties*. Available at: https://www.transportenvironment.org/uploads/files/National_climate_target_off_track_07_2024.pdf

UBA (2021a) 'Klimaschutzinstrumente im Verkehr: Tempolimit auf Autobahnen'. Dessau-Roßlau, Germany: Umweltbundesamt (UBA). Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/dokumente/uba-kurzpapier_tempolimit_autobahnen_kliv_0.pdf

UBA (2021b) *Klimaschutzinstrumente im Verkehr: Umgestaltung der Kfz-Steuer: Bonus-Malus-System*. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/dokumente/uba-kurzpapier_bonus-malus-system_kliv.pdf

UBA (2023) *Tempolimit*. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/nachhaltigemoebilitaet/tempolimit> (Accessed: 22 July 2024)

UBA (2024a) *Emissionen des Verkehrs*. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#verkehr-belastet-luft-und-klima-minderungsziele-der-bundesregierung> (Accessed: 2 July 2024)

UBA (2024b) *Emissionsübersichten KSG-Sektoren 1990-2023*. Dessau, Germany. Available at: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.umweltbundesamt.de%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fmedien%2F361%2Fdokumente%2F2024_03_13_em_entwicklung_in_d_ksg-sektoren_thg_v1.0.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK (Accessed: 18 June 2024)

UBA (2024c) *Projections report 2024 for Germany (Projektionsbericht 2024 für Deutschland)*

UBA (2024d) *Treibhausgas-Projektionen 2024 – Ergebnisse kompakt*. Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgas-projektionen-2024-ergebnisse-kompakt> (Accessed: 18 June 2024)

Ueckerdt, F. and Odenweller, A. (2023) *E-Fuels - Aktueller Stand und Projektionen*. Available at: https://www.pik-potsdam.de/members/Ueckerdt/E-Fuels_Stand-und-Projektionen_PIK-Potsdam.pdf

Wietschel, M. and Leidenberger, J. (2023) *Presseinformation: E-Fuels sind nicht sinnvoll für den großflächigen Einsatz bei Pkw und Lkw*. Available at: <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2023/presseinfo-05-efuels-nicht-sinnvoll-fuer-pkw-und-lkw.html> (Accessed: 24 June 2024)