

*Ariadne-Analyse*

# Klima- und Verteilungswirkung eines Verbrenner- Neuzulassungsverbots von Pkw in Deutschland und die Rolle des CO<sub>2</sub>-Preises

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**KOPERNIKUS**  
Ariadne **PROJEKTE**

Die Zukunft unserer Energie

## Autorinnen und Autoren



» Dennis Seibert  
Deutsches Zentrum für Luft-  
und Raumfahrt - Institut für  
Verkehrsforschung



» Marie-Sophie Bolz  
Deutsches Zentrum für Luft-  
und Raumfahrt - Institut für  
Verkehrsforschung



» Dr. Nicolas Koch  
Mercator Research Institute on  
Global Commons and Climate  
Change



» Till Baldenius  
Mercator Research Institute on  
Global Commons and Climate  
Change

### Herausgegeben von

Kopernikus-Projekt Ariadne  
Potsdam-Institut für Klimafolgen-  
forschung (PIK)  
Telegrafenberg A 31  
14473 Potsdam

Dezember 2022

### Dieses Papier zitieren:

Dennis Seibert, Marie-Sophie Bolz, Nicolas Koch, Till Baldenius (2022): Klima- und Verteilungswirkung eines Verbrenner-Neuzulassungsverbots von Pkw in Deutschland und die Rolle des CO<sub>2</sub>-Preises. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Kontakt zu den Autorinnen und Autoren: Dennis Seibert, [Dennis.Seibert@dlr.de](mailto:Dennis.Seibert@dlr.de)

Die vorliegende Ariadne-Analyse wurde von den oben genannten Autorinnen und Autoren des Ariadne-Konsortiums ausgearbeitet. Die Analyse spiegelt nicht zwangsläufig die Meinung des gesamten Ariadne-Konsortiums oder des Fördermittelgebers wider. Die Inhalte der Ariadne-Publikationen werden im Projekt unabhängig vom Bundesministerium für Bildung und Forschung erstellt.

# Inhalt

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Methodik.....</b>	<b>7</b>
2.1. Pkw-Besitzmodell CAST .....	7
2.2. Betrachtung von Szenarien.....	8
<b>3. Wirkung eines Verbrenner-Neuzulassungsverbots.....</b>	<b>11</b>
3.1. Verkehrliche Wirkung.....	11
3.1.1. Neuzulassungen .....	11
3.1.2. Bestand.....	13
3.2. Klimawirkung.....	16
3.2.1. Zulässige Emissionsmengen des Verkehrs gemäß KSG .....	19
3.3. Verteilungswirkung .....	21
<b>4. Diskussion.....</b>	<b>27</b>
4.1. Unsicherheit über die zugrundeliegende Entwicklung der ZEV-Zulassungen .....	27
4.2. Signaleffekte und Investitionen in Produktionskapazitäten .....	32
4.3. Leakage .....	33
4.4. Umgang mit Verbrenner-Restbeständen.....	34
<b>5. Ausblick.....</b>	<b>36</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>37</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>38</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>39</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>41</b>

## Zusammenfassung

In der Europäischen Union soll das Verbrenner-Neuzulassungsverbot für Pkw 2035 kommen und damit im Rahmen des „Fit-for-55“-Pakets die Antriebswende vorantreiben auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045. Die Auswirkungen eines solchen Verbots für Deutschland untersucht die vorliegende Ariadne-Analyse erstmals in Abhängigkeit vom CO<sub>2</sub>-Preis. Berücksichtigt werden dabei sowohl die verkehrlichen als auch die klima- und verteilungspolitischen Auswirkungen eines Verbrenner-Neuzulassungsverbots von Pkw in Hinblick auf folgende Fragen: Wie entwickelt sich der Anteil von Nullemissionsfahrzeugen im Pkw-Bestand bis 2045? Wie hoch sind die CO<sub>2</sub>-Einsparungen eines Verbots? Welche Mehrkosten entstehen durch das Verbot und wer wird sie tragen?

Für die Analyse der Auswirkungen eines Verbots wird insbesondere das Zusammenspiel mit der CO<sub>2</sub>-Bepreisung von Kraftstoffen evaluiert – aktuell im Rahmen des nationalen Brennstoffemissionshandelsgesetzes (BEHG), perspektivisch möglicherweise im Rahmen eines zweiten europäischen Emissionshandelssystems (EU ETS-II). Es werden drei unterschiedlich ambitionierte CO<sub>2</sub>-Preispfade betrachtet, die im Jahr 2030 über eine Spanne von 82€/t CO<sub>2</sub> im niedrigen Preisfad bis 300€/t CO<sub>2</sub> im hohen Preisfad reichen. Zudem wird die Wirkung eines Verbots ab dem Jahr 2035, wie von der EU vorgeschlagen, der Wirkung eines früheren nationalen Verbots ab 2030 gegenübergestellt. Letzteres wird im Koalitionsvertrag unscharf angedeutet.

**Die Berechnungen zeigen: Ein Verbrenner-Neuzulassungsverbot ab 2035 reduziert die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs nur geringfügig. Die Wirkung des Verbots hängt maßgeblich vom Einführungszeitpunkt und von der CO<sub>2</sub>-Bepreisung ab. Die größten Emissionseinsparungen lassen sich nur im Verbund mit hohen CO<sub>2</sub>-Preisen erreichen. Unerlässlich für eine starke Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Pkw-Verkehr ist ein politisches Umfeld für einen massiv beschleunigten Hochlauf von Nullemissionsfahrzeugen in den Jahren vor dem Verbot.**

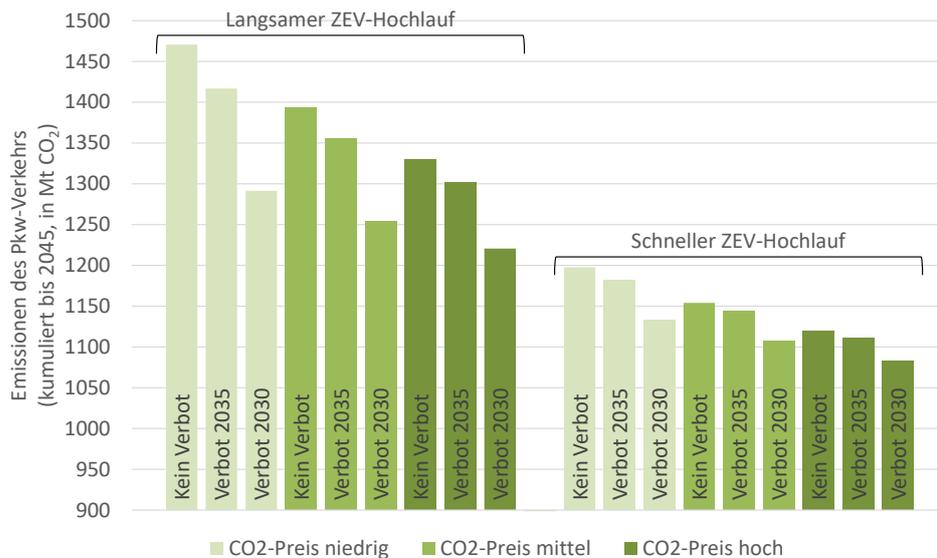


Abbildung 1: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs bei einem langsamen und einem schnellen Hochlauf von Nullemissionsfahrzeugen (Zero Emission Vehicles, ZEV) in den betrachteten Szenarien (kumuliert bis 2045). Um die Emissionsunterschiede zwischen den Szenarien sichtbarer zu machen, beginnt die y-Achse bei 900 Mt CO<sub>2</sub>. Quelle: Eigene Darstellung

Grundsätzlich zeigt die Analyse, dass die Kombination aus CO<sub>2</sub>-Bepreisung und Verbot ein wirksames Maßnahmenbündel zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor ist. Die Höhe des CO<sub>2</sub>-Preises beeinflusst, wie stark Verbrenner auf dem Neuwagenmarkt vor Einführung des Verbots und auf dem Gebrauchtwagenmarkt vor und nach Einführung des Verbots nachgefragt werden. Neben der Kaufentscheidung bewirkt der CO<sub>2</sub>-Preis außerdem eine geringere Nutzung der Verbrenner im Bestand. Außerdem zeigt sich, dass sich die Klimawirkung eines Verbots für die beiden Einführungszeitpunkte deutlich unterscheidet: Je früher das Verbot greift, desto höher sind die Emissionseinsparungen.

Einmal angeschafft, werden Autos lange genutzt: Entscheidend für die Höhe der kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs bis 2045 ist deshalb, wie schnell sich Nullemissionsfahrzeuge<sup>1</sup> (Zero Emission Vehicles, ZEV) in den Jahren vor einem Verbot durchsetzen. Hierzu müssen Vorbehalte der Nachfrageseite schnell abgebaut werden (etwa hinsichtlich öffentlicher Ladeinfrastruktur, Reichweite, Klima- und Umweltwirkung, Lebens-

<sup>1</sup> Unter dem Begriff Nullemissionsfahrzeug werden im Rahmen dieser Analyse batterieelektrische Pkw (BEV) und Brennstoffzellen-Pkw (FCEV) zusammengefasst, da diese im Betrieb kein CO<sub>2</sub> oder abgasbezogene Schadstoffe ausstoßen.

dauer) und gleichzeitig Hersteller ein entsprechendes Angebot an Fahrzeugen bereitstellen. Abbildung 1 vergleicht die bis 2045 kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs für alle Szenarien für einen langsamen ZEV-Hochlauf und für einen schnellen ZEV-Hochlauf. Es zeigt sich klar, dass ein politisches Umfeld für einen massiv beschleunigten ZEV-Hochlauf unerlässlich ist, um die Pkw-Emissionen stark zu reduzieren.

**Höchste Emissionseinsparung durch ein frühes Verbot in Kombination mit einem hohen CO<sub>2</sub>-Preis:** Die gemeinsamen Emissionseinsparungen eines Verbots und des CO<sub>2</sub>-Preises, von dem es begleitet wird, sind umso stärker, je höher der CO<sub>2</sub>-Preis ist. Die Einsparungen sind zudem umso höher, je früher das Verbot greift. Die **größte Klimawirkung hat also ein Politikmix aus Verbot ab 2030** im Zusammenspiel **mit hohen CO<sub>2</sub>-Preisen** (vgl. kumulierte Emissionen in Abbildung 1).

In der politischen Debatte werden hohe CO<sub>2</sub>-Preise und ein Verbrenner-Neuzulassungsverbot mitunter gegeneinander ausgespielt. Diese Ariadne-Analyse belegt, dass ein mittlerer CO<sub>2</sub>-Preis im BEHG oder EU ETS-2 allein mehr Emissionen reduzieren würde als ein Verbot ab 2035 in Kombination mit geringeren CO<sub>2</sub>-Preisen, d.h. ein **Verbot ab 2035 kann eine weniger ambitionierte CO<sub>2</sub>-Preispolitik in Deutschland bzw. der EU nicht rechtfertigen**. Ein frühes **Verbot ab 2030 könnte die Emissionslücke von geringeren CO<sub>2</sub>-Preisen füllen**.

**Ein Verbot ab 2035 allein bringt nur geringe Emissionseinsparungen:** Die **Emissionseinsparungen eines Verbots ab 2035** gemäß des „Fit-for-55“-Pakets allein in einem Marktumfeld mit schnellem ZEV-Hochlauf **sind eher gering** (kumuliert bis 2045: 8,3 bis 15,2 Mt CO<sub>2</sub> je nach CO<sub>2</sub>-Preis). **Bei einem frühen Verbot ab 2030 fallen die Emissionsreduktionen wesentlich stärker aus** (kumuliert bis 2045: 36,1 bis 64,0 Mt CO<sub>2</sub> je nach CO<sub>2</sub>-Preis).

In einem Marktumfeld mit langsamem ZEV-Hochlauf würde sich die isolierte Klimawirkung eines Verbots deutlich erhöhen, da durch das Verbot mehr Neuzulassungen von Verbrenner-Pkw verhindert werden als bei einem schnellen ZEV-Hochlauf. Die Emissionseinsparungen des Verbots ab 2035 würden sich dann zwar auf 28,7 bis 53,6 Mt CO<sub>2</sub> (je nach CO<sub>2</sub>-Preis) vergrößern, die Einsparungen eines früheren Verbots ab 2030 sogar auf 109,5 bis 179,0 Mt CO<sub>2</sub> (je nach CO<sub>2</sub>-Preis). Insgesamt liegen die Emissionen im Verkehrssektor mit einem langsamen ZEV-Hochlauf jedoch deutlich höher.

### **Weitere Maßnahmen sind nötig, um die Klimaziele 2030 im Verkehrssektor zu erreichen:**

Um das für den Verkehr geltende Sektorziel für 2030 des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) zu erreichen, gehen wir davon aus, dass der Pkw-Verkehr im Jahr 2030 noch höchstens 42,8 Mt CO<sub>2</sub> ausstoßen darf. Selbst bei einem schnellen ZEV-Hochlauf überschreiten alle neun in dieser Analyse betrachteten Szenarien diese zulässige Emissionsmenge und der Verkehr verfehlt somit sein Sektorziel. Die Überschreitung der Emissionshöchstmenge liegt zwischen 3,5 Mt CO<sub>2</sub> („Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis hoch“) und 10,4 Mt CO<sub>2</sub> („Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis niedrig“). Emissionseinsparungen durch das Verbot entstehen gemäß unserer Modellierung ab dem Einführungsjahr, aber nicht in den Jahren davor. Um das Sektorziel zu erreichen, sind daher weitere Maßnahmen notwendig, die vor 2030 zu höheren Bestandsanteilen von ZEV und/oder einer reduzierten Pkw-Fahrleistung führen.

### **Die Verteilungseffekte eines Verbrenner-Neuzulassungsverbots ab 2035 oder 2030 sind nicht nennenswert:**

Im Neuwagenmarkt betrifft das Verbot keine Haushaltsgruppe besonders, da angenommen wird, dass ZEV bei der Einführung des Verbots keine höheren Anschaffungspreise mehr aufweisen und es damit zu keinen Mehrkosten gegenüber Pkw mit Verbrennungsmotor kommt. Der Neuzulassungsanteil von ZEV ist sowohl im Jahr 2030 als auch im Jahr 2035 für die Haushalte mit geringem Einkommen nicht geringer als für Haushalte mit hohem Einkommen.

Geringe Verteilungseffekte ergeben sich über den Gebrauchtwagenmarkt. Durch das Verbot kommt es rund fünf Jahre nach Einführung des Verbots zu einer Verknappung von guten gebrauchten Verbrennern und die durchschnittliche Qualität von Verbrennern im Gebrauchtwagenmarkt sinkt. Hierdurch ergeben sich für alle Einkommensgruppen etwas geringere Anschaffungskosten für gebrauchte Verbrenner, während sich der Preis von gebrauchten ZEV nur unwesentlich ändert. Haushalte mit geringem Einkommen profitieren etwas stärker von geringeren Anschaffungskosten für gebrauchte Benziner, sie müssen aber auch die etwas geringere Qualität der Fahrzeuge in Kauf nehmen. Insgesamt impliziert dies eine leicht progressive Verteilungswirkung des Verbots, dessen finanzielle Bedeutung allerdings gering ist.

# 1. Einleitung

Weltweit setzen immer mehr Länder auf ein Zulassungsverbot von Pkw-Neufahrzeugen mit Verbrennungsmotor, um ihre Klimaziele im Verkehrssektor zu erreichen. Aktuell befindet sich das von der Europäischen Kommission vorgeschlagene „Fit-for-55“-Gesetzespaket kurz vor der Verabschiedung. Das im Paket enthaltene Absenken der EU-Flottengrenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge auf 0 g CO<sub>2</sub>/km impliziert, dass in Deutschland ab 2035 nur noch ZEV neu zugelassen werden dürfen. Zehn europäische Länder haben sich bereits verpflichtet, beginnend zwischen 2025 und 2040 keine weiteren Neufahrzeuge mit Verbrennungsmotoren auf die Straße zu bringen, darunter Norwegen (2025), Österreich (2030), das Vereinigte Königreich (2035), Frankreich (2040) und Spanien (2040). Auch in Kanada (2040 bzw. 2035 in Quebec), Kalifornien (2035) und Singapur (2030) sind entsprechend Regierungsziele verabschiedet worden.<sup>2</sup>

Mit dem Beschluss zum Verbrenner-Neuzulassungsverbot in der EU ab 2035 hat sich auch in Deutschland die Diskussion um ein solches Verbot als ein mögliches Mittel zur notwendigen Trendwende bei den bislang stagnierenden Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) im Verkehrssektor verschärft. Im Koalitionsvertrag wird ein EU-weites Neuzulassungsverbot ab 2035 klar unterstützt. Deutlich unschärfer werden darüberhinausgehende nationale Maßnahmen bezüglich der Pkw-Neuzulassungen angedeutet, die möglicherweise vor 2035 greifen.<sup>3</sup> Insbesondere die Grünen forderten noch in ihrem Wahlprogramm zur Bundestagswahl 2021 ein nationales Verbot bereits ab dem Jahr 2030. Zur Erreichung der jahresscharfen Sektorziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) müssen die THG-Emissionen im Verkehrssektor bis 2030 um rund die Hälfte gegenüber 2019 sinken. Dem motorisierten Individualverkehr kommt bei der Reduzierung der Emissionen die zentrale Rolle zu, da er für rund zwei Drittel der Emissionen verantwortlich ist und zugleich emissionsarme bzw. -lose Technologien im Markt zur Verfügung stehen.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> <https://theicct.org/ice-phase-outs/>

<sup>3</sup> Wörtlich heißt es im Koalitionsvertrag: „Gemäß den Vorschlägen der Europäischen Kommission werden im Verkehrsbereich in Europa 2035 nur noch CO<sub>2</sub>-neutrale Fahrzeuge zugelassen – entsprechend früher wirkt sich dies in Deutschland aus.“ Zudem wird festgehalten: „Außerhalb des bestehenden Systems der Flottengrenzwerte setzen wir uns dafür ein, dass nachweisbar nur mit E-Fuels betankbare Fahrzeuge neu zugelassen werden können.“

<sup>4</sup> Anders verhält es sich beim Straßengüterverkehr, der nahezu die gesamten restlichen Verkehrsemissionen verursacht, aber bei dem in den kommenden fünf bis zehn Jahren voraussichtlich noch nicht in großem Umfang zu akzeptablen Kosten auf emissionsarme bzw. emissionslose Technologien umgestiegen werden kann.

Da die jährlichen Neuzulassungen nur einen kleinen Teil der wachsenden Pkw-Bestandsflotte ausmachen, gehen die Antriebswende und der damit verbundene Rückgang der Emissionen im Pkw-Verkehr langsam vonstatten. So lag der Bestandsanteil vollelektrischer Pkw zum ersten Juli 2022 trotz steigender Neuzulassungsanteile von 6,7 Prozent (2020), 13,6 Prozent (2021) und 13,5 Prozent (Hj.1 2022) bei lediglich 1,6 Prozent. Hohe Neuzulassungsanteile übersetzen sich erst deutlich zeitverzögert in hohe Bestandsanteile und damit hohe Emissionseinsparungen.

Offen ist, ob Marktinstrumente, wie der 2021 eingeführte CO<sub>2</sub>-Preis auf Kraftstoffe, allein ausreichen, um eine vollständige Marktdurchdringung mit ZEV sicherzustellen. Eine Sorge ist, dass sehr hohe CO<sub>2</sub>-Preise dafür notwendig wären, die wiederum bisher eine politische Herausforderung darstellen. Ein Verbrenner-Neuzulassungsverbot erscheint daher als ein mögliches zusätzliches Instrument im Klimapolitik-Mix, welches moderate CO<sub>2</sub>-Preise ergänzen könnte, um die Klimaziele zu erreichen. Politisch wird sowohl über die Wirksamkeit als auch den Einführungszeitpunkt eines möglichen Verbots gestritten.

Die vorliegende Analyse hat zum Ziel, eine erste wissenschaftliche Evidenzbasis zur Wirksamkeit eines Verbrenner-Neuzulassungsverbots in Deutschland unter Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung im Verkehr vorzulegen. Insbesondere werden die Effekte einer europäischen Einführung im Jahr 2035 gemäß des „Fit-for-55“-Vorschlags verglichen mit den Effekten einer früheren nationalen Einführung im Jahr 2030. Mithilfe eines Pkw-Besitzmodells, das die Entwicklung der Pkw-Flotte detailliert simuliert, wird ein Neuzulassungsverbot von Verbrennern (inkl. Hybriden) für beide möglichen Einführungszeitpunkte und für unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Preispfade hinsichtlich dreier Indikatoren im Vergleich zu Szenarien ohne Verbot analysiert:

1. Verkehrliche Wirkung: Wie entwickelt sich der Anteil von ZEV im Pkw-Bestand bis 2045?
2. Klimawirkung: Wie hoch sind die CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch das Verbot?
3. Verteilungseffekte: Welche Mehrkosten entstehen durch das Verbot? Wer wird sie tragen?

## 2. Methodik

### *2.1. Pkw-Besitzmodell CAST*

Das Verbrenner-Neuzulassungsverbot wird mittels des Pkw-Besitzmodells CAST (CAr Stock model) des DLR-Instituts für Verkehrsforschung modelliert. CAST liefert Daten zur zukünftigen Entwicklung der deutschen Pkw-Flotte und dient zur Abbildung und Bewertung der Auswirkungen verkehrspolitischer Maßnahmen. CAST ist ein dynamisches Modell, das die Entwicklung der Pkw-Flotte in Jahresschritten simuliert. Der Kern von CAST ist ein Entscheidungsmodell für Pkw-Käufe von Privathaushalten. Die Haushalte werden initial auf Basis der Befragungsergebnisse der Mobilität in Deutschland 2017 (MiD 2017) erzeugt und deren Zusammensetzung entsprechend aktueller Bevölkerungsprognosen des Statistischen Bundesamtes (Destatis) fortgeschrieben.

Das Entscheidungsmodell basiert aufgrund der Verfügbarkeit deutlich umfangreicherer Pkw-Informationen auf den Befragungsergebnissen der MiD 2008. Für das Kaufmodell wurden alle Pkw-Käufe des Datensatzes im Stichjahr identifiziert – das sind sowohl Neuwagen- als auch Gebrauchtwagenkäufe. Das Entscheidungsmodell setzt sich aus drei Teilmodellen zusammen, die aufeinander aufbauend ablaufen. Im ersten Schritt werden die Haushalte identifiziert, die im jeweiligen Jahr ein Fahrzeug kaufen. Es fällt zudem die Entscheidung zwischen dem Kauf eines Neu- oder Gebrauchtwagens, bzw. zwischen einem privaten oder dienstlichen Neuwagen. Im zweiten Schritt erfolgt eine Klassifizierung der Gebrauchtwagenkaufenden nach Präferenz des Alters und Laufleistung des Fahrzeugs. Im dritten Schritt erfolgt die Auswahl der Fahrzeugtechnologie, dabei werden Antrieb und Segment des Fahrzeugs ausgewählt. Die Antriebsalternativen Plug-in-Hybrid (PHEV) und Nullemissionsfahrzeug (ZEV) werden anhand von Preisunterschieden in Anschaffung und Betrieb sowie dynamischen alternativ-spezifischen Konstanten abgebildet. Über letztere werden abnehmende Vorbehalte gegenüber den alternativen Antrieben modelliert, die etwa auf die Verfügbarkeit von öffentlicher Ladeinfrastruktur oder die Reichweite und Lebensdauer von ZEV abbilden.

Als Output liefert CAST in Jahresschritten Informationen über die Anzahl der Pkw-Neuzulassungen und den Fahrzeugbestand, differenziert etwa nach der Fahrzeugtechnologie.

Basierend auf der reichhaltigen Datenbasis der MiD sind zudem Aussagen zum Pkw-Besitz von Privathaushalten differenziert nach Haushaltseigenschaften möglich. CAST fokussiert somit auf die Nachfrageseite des deutschen Pkw-Marktes, eventuelle vorgezogene Investitionsentscheidungen der Hersteller nach Ankündigung eines Neuzulassungsverbots werden modellseitig nicht abgebildet. Diese werden innerhalb des abschließenden Kapitels dieser Analyse diskutiert.

Die verschiedenen CO<sub>2</sub>-Preispfade bewirken neben einem Effekt auf die Pkw-Kaufentscheidung zusätzlich Änderungen der durchschnittlichen Kilometerkosten. Diese werden über eine Preiselastizität von -0,22 in eine Änderung der jährlichen Gesamtfahrleistungen von Pkw übersetzt. Zusammen mit durchschnittlichen Jahresfahrleistungen nach Antrieben und dem jährlichen Antriebs-Mix im Bestand werden jährliche Gesamtfahrleistungen nach Antrieben berechnet. Über reale Tank-to-Wheel Energieverbräuche sowie zugrunde liegende Emissionsfaktoren für Benzin und Diesel werden jährliche fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Antrieben berechnet.<sup>5</sup> Berücksichtigt wird hier somit auch eine insbesondere ab 2035 steigende Beimischung von CO<sub>2</sub>-neutralen Kraftstoffen zur Defossilisierung des Pkw-Verkehrs bis 2045.

## ***2.2. Betrachtung von Szenarien***

Ziel der Analyse ist, die Wirkung des Verbrenner-Neuzulassungsverbots unter Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung von Kraftstoffen zu evaluieren. Hierzu werden verschiedene Szenarien betrachtet: Wie in Tabelle 1 dargestellt, werden für drei verschiedene CO<sub>2</sub>-Preispfade jeweils ein Szenario ohne Neuzulassungsverbot sowie zwei Szenarien mit Neuzulassungsverbot betrachtet.

Zentral für die Analyse der Wirkungen des Verbrenner-Neuzulassungsverbots ist, wie schnell sich ZEV im Neuwagenmarkt ohne Verbot durchsetzen werden. Hierzu werden für alle Szenarien identische Rahmenbedingungen hinsichtlich Kaufprämien und Preisentwicklungen von Nullemissionsfahrzeugen und Hybriden sowie abnehmender Vorbehalte

---

<sup>5</sup> Die vorliegende Analyse weist somit nicht die THG-Emissionen, sondern die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs aus. Da CO<sub>2</sub> fast 99 Prozent der THG-Emissionen des Straßenverkehrs ausmacht, vernachlässigen wir die anderen Treibhausgase des Pkw-Verkehrs. Nähere Informationen zu den THG-Emissionen des Verkehrs unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgasemissionen>.

gegenüber diesen alternativen Antrieben angenommen. Es wird unterstellt, dass die aktuell geltenden Prämien beim Neuwagenkauf von ZEV und Plug-in-Hybriden (PHEV) bis zum Ende des Jahres 2025 ausgezahlt werden, diese Förderung aber ab 2024 schrittweise abgeschmolzen wird. Weiterhin wird angenommen, dass Anschaffungspreise von ZEV für alle Fahrzeugsegmente ab dem Jahr 2025 nicht über denen von Verbrennern liegen (Thielmann et al. 2020).<sup>6</sup> Ferner wird angenommen, dass Vorbehalte gegenüber ZEV stetig abnehmen und im Jahr 2030 vollständig abgebaut sind. Für Haushalte ist der Kauf von ZEV im Modell damit ab 2030 grundsätzlich nicht mehr mit Nutzeneinbußen gegenüber dem Kauf von Verbrennern verbunden. Diese Nutzeneinbußen können sich etwa auf Vorbehalte hinsichtlich der öffentlichen Ladeinfrastruktur, der Reichweite von ZEV, der Klima- und Umweltwirkung von ZEV oder der Lebensdauer von Batterien oder Brennstoffzellen beziehen. Die getroffenen Annahmen erscheinen hinsichtlich Preisparität je nach Fahrzeugsegment realistisch bis optimistisch und hinsichtlich des Abbaus von Vorbehalten realistisch.

Bezeichnung	Neuzulassungsverbot von Verbrenner-Pkw (samt Hybriden)?	Höhe des CO <sub>2</sub> -Preises	Rahmenannahmen
Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis mittel	Nein	Mittlerer CO <sub>2</sub> -Preisfad (2030: 180€)	Kaufprämien für ZEV und PHEV bei Neuanschaffung bis Ende 2025, schrittweises Abschmelzen ab 2024
Verbot <i>Jahr</i>   CO <sub>2</sub> -Preis mittel	2035 2030		
Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis niedrig	Nein	Niedriger CO <sub>2</sub> -Preisfad (2030: 82€)	Parität der Anschaffungspreise von ZEV mit Verbrennern ab 2025
Verbot <i>Jahr</i>   CO <sub>2</sub> -Preis niedrig	2035 2030		
Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis hoch	Nein	Hoher CO <sub>2</sub> -Preisfad (2030: 300€)	Abbau aller Vorbehalte gegenüber ZEV bis 2030 (etwa bzgl. Reichweite, Ladeinfrastruktur)
Verbot <i>Jahr</i>   CO <sub>2</sub> -Preis hoch	2035 2030		

Tabelle 1: Modellannahmen in den betrachteten Szenarien (Baseline)

Aufgrund der Unsicherheit im Hinblick auf die Entwicklung der für den ZEV-Hochlauf relevanten Faktoren wird im Zuge der Diskussion der Ergebnisse die Wirkung des Verbots bei einem langsamen ZEV-Hochlauf analysiert. Im Modell wird dieser langsame ZEV-Hochlauf über pessimistischere Annahmen zum Abbau von Vorbehalten gegenüber ZEV operatio-

<sup>6</sup> Vor dem Hintergrund der geringeren Energie- und Unterhaltskosten von ZEV gehen mit dem Kauf und Betrieb dieser Fahrzeuge damit unabhängig von Kaufprämien keine Mehrkosten einher.

nalisiert. Sich haltende Vorbehalte gegenüber ZEV im Jahr 2030 könnten sich entsprechend der oben aufgeführten Faktoren etwa auf eine nur unzureichend ausgebaute öffentliche Ladeinfrastruktur, eine sich haltende Reichweitenangst oder unzureichende Informationen zur Klima- und Umweltwirkung oder zur Lebensdauer von Batterien bzw. Brennstoffzellen beziehen.

Der CO<sub>2</sub>-Preis orientiert sich in allen Szenarien bis zum Jahr 2026 am nationalen Emissionshandelssystem (nEHS) für Brennstoffe und liegt dann nominal bei 65 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>. Im Zuge der Verhandlungen des „Fit-for-55“-Pakets ist derzeit unklar, ob ab 2026 weiterhin das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) oder ein neues EU Emissionshandelssystem für Gebäude und Verkehr (ETS-II) den CO<sub>2</sub>-Preis für den deutschen Verkehrssektor setzen wird. Für unsere Analyse nehmen wir an, dass die institutionelle Ausgestaltung nicht relevant ist und in jedem Fall erhebliche Preisunsicherheiten bestehen (Pietzcker et al. 2021), die wir mit drei verschiedenen CO<sub>2</sub>-Preisszenarien explorieren: Im mittleren CO<sub>2</sub>-Preisfad liegt der nominale CO<sub>2</sub>-Preis im Jahr 2030 bei 180 Euro, im Jahr 2040 bei 346 Euro (BMWi 2020) und – linear extrapoliert – bei 429 Euro im Jahr 2045. Der niedrige CO<sub>2</sub>-Preisfad geht von einer langsameren Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Preises aus, dieser liegt im Jahr 2030 bei 82 Euro, 2040 bei 125 Euro und 2045 bei 155 Euro. Im Gegensatz dazu geht der hohe CO<sub>2</sub>-Preisfad insbesondere bis zum Jahr 2030 von einer schnelleren Erhöhung aus, hier liegt der CO<sub>2</sub>-Preis im Jahr 2030 bei 300 Euro, 2040 bei 577 Euro und 2045 bei 715 Euro. Die im Modell hinterlegten Preisentwicklungen der Energieträger sowie des CO<sub>2</sub>-Preises sind im Anhang aufgeführt.

### **3. Wirkung eines Verbrenner-Neuzulassungsverbots**

Die verkehrliche Wirkung, die Klimawirkung und die Verteilungswirkung des Verbots werden im Folgenden je Abschnitt detailliert für das Verbot ab 2035 dargestellt. Darauf aufbauend werden je Abschnitt die Wirkungen des früheren Verbots ab 2030 ergänzt.

#### ***3.1. Verkehrliche Wirkung***

##### *3.1.1. Neuzulassungen*

Abbildung 2 zeigt jährliche Neuzulassungsanteile nach Antrieben im Vergleich zwischen den Szenarien „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“. Beide Szenarien zeigen eine stetig steigende Diffusion von ZEV in den Neuzulassungen. Der Anteil der ZEV liegt im Szenario ohne Verbot in 2035 vor dem Hintergrund der getroffenen Annahmen bei 86 Prozent. Marktkräfte allein stellen gemäß den Modellergebnissen zwar eine sehr hohe, aber keine vollständige Diffusion von ZEV bis zum Jahr 2035 her. Im Szenario „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ beträgt der Neuzulassungsanteil von ZEV entsprechend dem Verbot 100 Prozent. Im Jahr vor dem Verbot kommt es in Erwartung des bevorstehenden Verbots dazu, dass im Neuwagenmarkt teilweise Kaufentscheidungen für Verbrennerfahrzeuge vorgezogen werden (Holland et al. 2021). Solche Vorzieheffekte bei angekündigten Verboten sind in der empirischen Literatur wohl belegt, beispielsweise für Glühbirnen (Dong und Klaiber 2019). Im Szenario „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ ziehen gemäß unserer Modellierung rund 20 Prozent der Haushalte, die im Jahr 2035 einen Verbrenner gekauft hätten, ihren Kauf auf das Jahr 2034 vor.

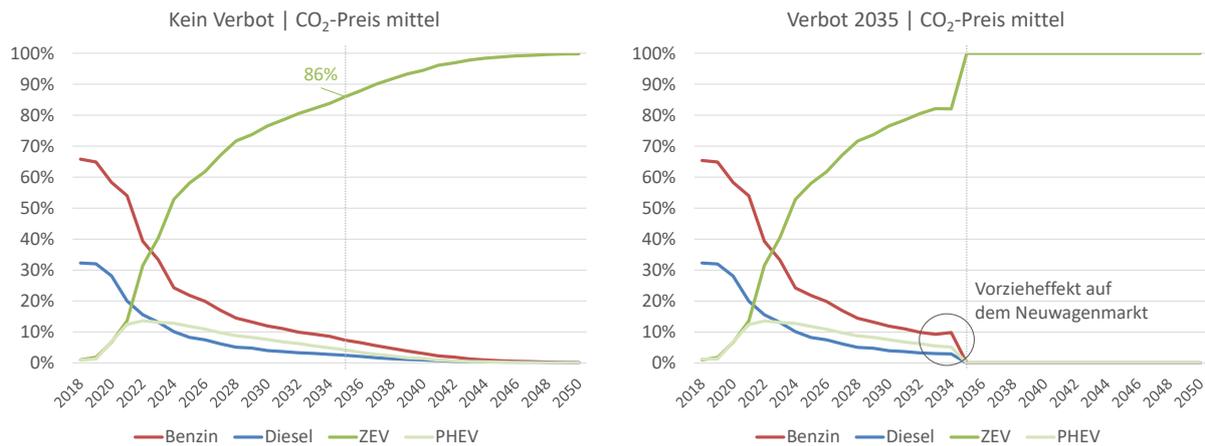


Abbildung 2: Neuzulassungsanteile der Antriebe in den Szenarien „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“. Anmerkung: Antriebsart Benzin umfasst neben Benzinern auch nicht extern aufladbare Hybride und Gasantriebe. Jahre 2018 bis 2021 zeigen KBA-Daten. Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 3 stellt den Einfluss der Höhe des CO<sub>2</sub>-Preises auf die Diffusion von ZEV in den Neuzulassungen dar. Ein niedriger CO<sub>2</sub>-Preis bedeutet geringere Nutzungskosten von Verbrennern und eine höhere Attraktivität der Fahrzeuge auf dem Neuwagenmarkt. Absolut werden dementsprechend mehr Verbrenner-Käufe vorgezogen. Der Anteil von ZEV im Jahr 2034 liegt im Szenario „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis niedrig“ gemäß den Modellergebnissen bei 78 Prozent. Ein hoher CO<sub>2</sub>-Preis bedeutet analog höhere Nutzungskosten, eine geringere Attraktivität und somit geringere Vorzieheffekte. Der Anteil von ZEV liegt im Szenario „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis hoch“ in 2034 bei 86 Prozent.

Empirische Belege für die Kraftstoffpreis-Elastizität der Nachfrage nach Verbrennern bei gleichzeitig hoher Diffusion von ZEV sind rar. Es ist davon auszugehen, dass Haushalte beim Pkw-Kauf sensibler auf Kraftstoffpreiserhöhungen reagieren, wenn alternative Antriebe eine relevante Durchdringung im Markt erreicht haben. Als Orientierung zur Kalibrierung des Modells dient Fridstrom und Ostli (2021) mit einer Analyse der Elastizität für den norwegischen Markt, die für Benziner bei -0,71 liegt.

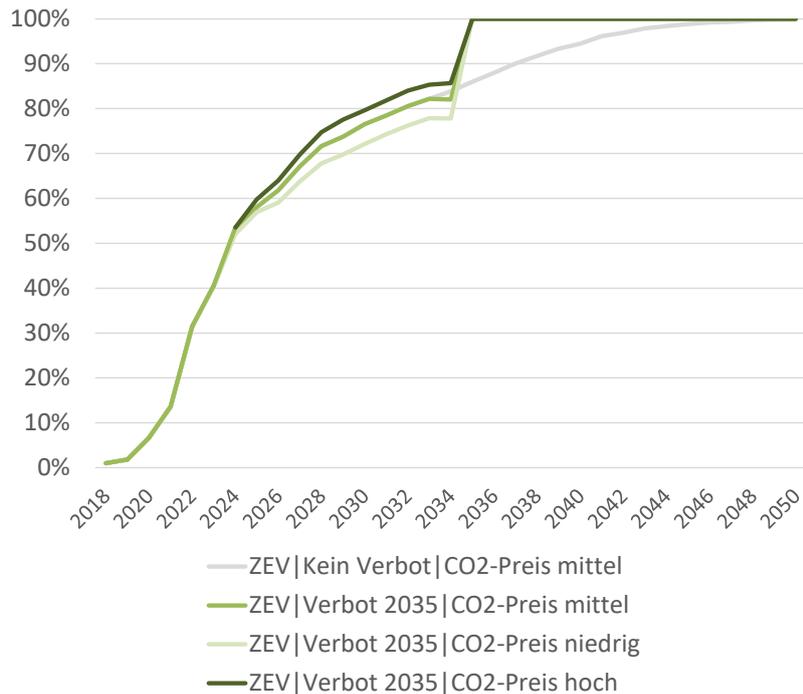


Abbildung 3: Neuzulassungsanteile von ZEV im Szenario „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und den Verbotsszenarien für das Jahr 2035. Quelle: Eigene Darstellung

### 3.1.2. Bestand

Die Diffusion von ZEV erfolgt aufgrund des geringen Anteils der Neuzulassungen am Pkw-Bestand sowie hoher Verweildauern der Fahrzeuge<sup>7</sup> langsam. Laut Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) wies zum 1. April 2022 über ein Fünftel aller Pkw in Deutschland ein Fahrzeugalter von 15 Jahren oder mehr auf, Tendenz steigend (KBA 2022).

Abbildung 4 zeigt jährliche Bestandsanteile nach Antrieben im Vergleich zwischen den Szenarien „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“. Der Anteil von ZEV in 2045 liegt im Szenario ohne Verbot bei 89 Prozent. Durch das Verbrenner-Neuzulassungsverbot im Szenario „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ wird der Hochlauf der ZEV im Bestand geringfügig beschleunigt.<sup>8</sup> Jedoch wird auch hier keine vollständige Durchdringung von ZEV im Bestand erreicht, ihr Anteil liegt im Jahr 2045 bei 91 Prozent.

<sup>7</sup> Die Verweildauer jedes Fahrzeugs wird endogen durch das Modell bestimmt. Hierfür werden Haltedauer-Verteilungen zugrunde gelegt, die sich zwischen privaten Neufahrzeugen, dienstlichen Neufahrzeugen sowie privaten Gebrauchtwagen unterscheiden.

<sup>8</sup> Der Effekt des Verbots auf den Bestand ist bereits im Jahr 2035 zu beobachten, da dieser modellseitig zum Ende eines Jahres und nicht, wie etwa durch das KBA, zu Beginn eines Jahres ausgewiesen wird.

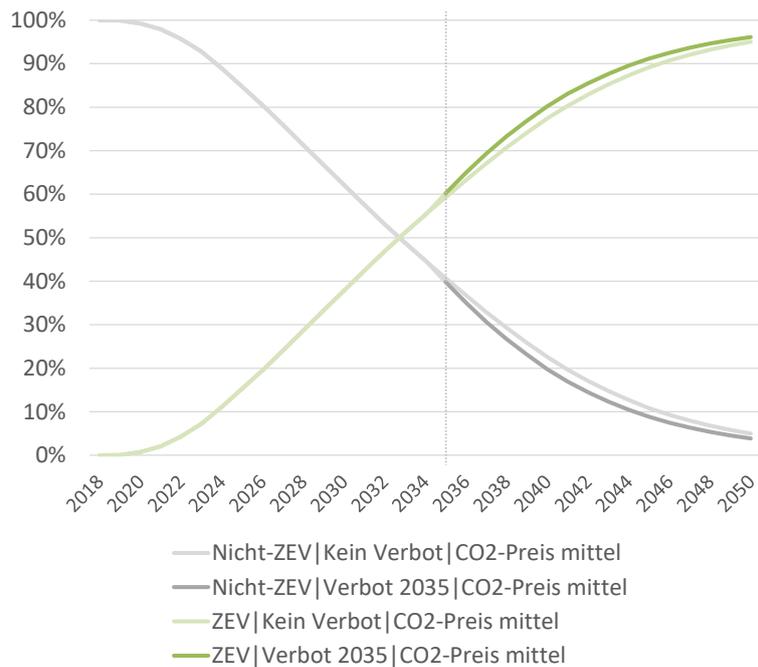


Abbildung 4: Bestandsanteile der Antriebe in den Szenarien „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“. Quelle: Eigene Darstellung

Die Höhe des CO<sub>2</sub>-Preises hat einen Einfluss auf die Diffusion von ZEV im Bestand. Verantwortlich hierfür sind zwei Kanäle: Ein niedriger CO<sub>2</sub>-Preis führt zum einen für die Jahre vor dem Verbot zu einer geringeren Durchdringung von ZEV in den Neuzulassungen und zum anderen in allen Jahren – also auch nach dem Verbot – zu relativ weniger ZEV-Käufen auf dem Gebrauchtwagenmarkt. Analog verringert ein hoher CO<sub>2</sub>-Preis die Attraktivität von Verbrennern auf beiden Märkten und führt entsprechend zu einem höheren Anteil von ZEV im Bestand. Aufgrund der zugrundeliegenden Preiselastizität auf beiden Märkten und der geringen jährlichen Relevanz der Neuzulassungen am Bestand ist der Effekt des CO<sub>2</sub>-Preises auf den Bestand jedoch gering. Abbildung 5 stellt die Durchdringung von ZEV im Bestand für alle Szenarien dar.

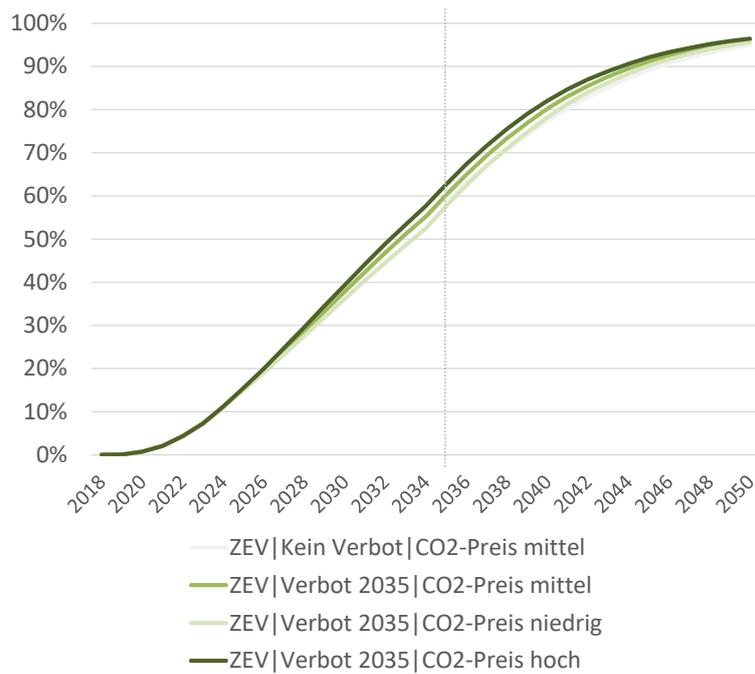


Abbildung 5: Bestandsanteile von ZEV im Szenario „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und den Verbotsszenarien für das Jahr 2035. Quelle: Eigene Darstellung

Durch das Vorziehen des Verbots auf das Jahr 2030 ist dessen Wirkung größer, da die Durchdringung von ZEV in den Neuzulassungen etwas weniger stark vorangeschritten ist als im Jahr 2035. Im Jahr 2030 liegt der Neuzulassungsanteil von ZEV bei 77 Prozent (2035: 86 Prozent). Dem früheren Verbot folgend wird im Bestand der Hochlauf von ZEV früher und stärker beschleunigt. Jedoch wird auch hier bis 2045 keine vollständige Durchdringung erreicht, der Anteil von ZEV liegt für das Szenario „Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ im Jahr 2045 bei 93 Prozent. Abbildung 6 stellt die Bestandsanteile von ZEV für die Szenarien „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“, „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und „Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ dar.

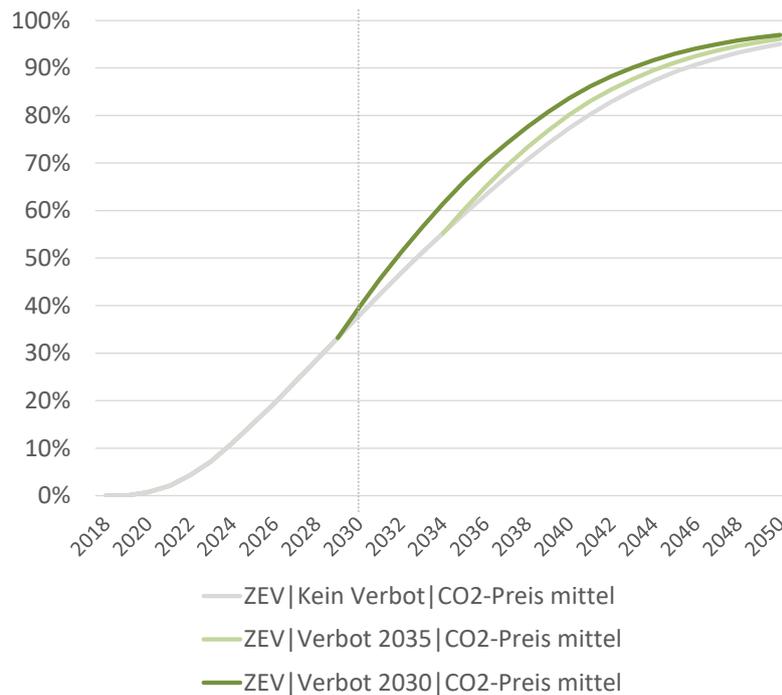


Abbildung 6: Bestandsanteile von ZEV in den Szenarien „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“, „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und „Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“. Quelle: Eigene Darstellung

### 3.2. Klimawirkung

Die Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs in Deutschland hängt maßgeblich von zwei Faktoren ab. Zum einen von der Fahrleistung aller Pkw: Weniger oder kürzere Wege (Vermeidung) oder die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel oder des Fahrrads (Verlagerung) haben unmittelbare Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Zum anderen ist maßgeblich, welche Fahrzeuge die Fahrleistung von Pkw erbringen (Verbesserung). Da sich fahrzeugspezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen den Antrieben unterscheiden, hat der Mix der Antriebe im Bestand direkte Auswirkung auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen des gesamten Pkw-Verkehrs.<sup>9</sup> Die fahrzeugspezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen sind direkt proportional zum Kraftstoffverbrauch: Ein sparsamer Verbrenner stößt weniger CO<sub>2</sub> aus als ein Verbrenner mit hohem Verbrauch. Relevant sind somit auch Effizienzsteigerungen der Verbrenner in der Zukunft. ZEV stoßen im Betrieb kein CO<sub>2</sub> aus.

<sup>9</sup> Relevant für die Bilanzierung der THG-Emissionen des Verkehrs sind jene THG-Emissionen, die beim Betrieb des Fahrzeugs anfallen (Tank-to-Wheel). THG-Emissionen, die bei der Produktion und Bereitstellung der Energieträger oder der Produktion des Fahrzeugs entstehen, werden nicht im Sektor Verkehr verbucht.

Die Höhe der CO<sub>2</sub>-Preise und damit die Höhe der Kraftstoffpreise für Benzin und Diesel haben einen Einfluss auf die Kraftstoffnachfrage. Studien unterscheiden bei der Kraftstoffpreis-Elastizität der Kraftstoffnachfrage zwischen kurzfristigen und langfristigen sowie zwischen marktinduzierten und steuerinduzierten Elastizitäten (Edenhofer et al. 2019). Die Sichtbarkeit und Wahrnehmung von CO<sub>2</sub>-Preisen als persistente Preiserhöhungen sind bei den Haushalten stärker als reguläre Marktschwankungen und regen daher zu einer stärkeren Anpassung des Mobilitätsverhaltens an (Andersson 2019).

Gemäß den Modellergebnissen beliefen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs in Deutschland im Jahr 2020 auf 101,4 Megatonnen CO<sub>2</sub> (Mt CO<sub>2</sub>). Dieser modellierte Wert berücksichtigt nicht die beobachteten pandemiebedingten Mobilitätsreduktionen im Jahr 2020. Im Szenario „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ werden durch die höhere Durchdringung von ZEV im Bestand ab dem Jahr 2035 Emissionseinsparungen gegenüber dem Szenario „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ erzielt. Werden diese jährlichen Einsparungen bis 2045 kumuliert, so ergeben sich Emissionseinsparungen von 10,3 Mt CO<sub>2</sub> (vgl. Abbildung 7). Diese vergleichsweise geringe Menge ergibt sich aus zwei Gründen: Zum einen bewirkt das Verbot ab 2035 wie oben beschrieben nur eine geringe Änderung der Bestandsentwicklung und zum anderen nehmen die fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Verbrenner durch die langsam steigende Beimischung von CO<sub>2</sub>-neutralen Kraftstoffen langfristig stetig ab.<sup>10</sup>

Um die isolierte Klimawirkung des Verbrenner-Neuzulassungsverbots im jeweiligen CO<sub>2</sub>-Preisfad zu quantifizieren, werden die Verbotsszenarien jeweils mit Szenarien ohne Verbot verglichen, die demselben CO<sub>2</sub>-Preisfad folgen. Das Szenario „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis hoch“ weist die geringste Klimawirkung des Verbots auf. Die kumulierten Einsparungen bis 2045 betragen 8,3 Mt CO<sub>2</sub>. Der Grund für die schwächere Wirkung des Verbots ist, dass ein hoher CO<sub>2</sub>-Preis bereits eine stärkere Diffusion von ZEV sicherstellt und ein Verbot demnach nur noch eine begrenzte Zusatzwirkung entfaltet. Demnach ist die isolierte Wirkung des Verbots im Szenario „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis niedrig“ mit kumulierten Emissionseinsparungen von 15,2 Mt CO<sub>2</sub> bei niedrigen CO<sub>2</sub>-Preisen am größten.

---

<sup>10</sup> Mit dem Ziel der Defossilisierung des Pkw-Verkehrs bis 2045 und den modellierten Verbrenner-Restbeständen geht die Verwendung von CO<sub>2</sub>-neutralen Kraftstoffen einher. Offen ist die Frage, wie schnell und in welchem Ausmaß diese Kraftstoffe im vergleichsweise einfach zu elektrifizierenden Pkw-Verkehr beigemischt werden sollten und können. Die oben dargestellten Ergebnisse gehen von einer relevanten Beimischung in den Jahren nach 2035 aus, die sich bis 2045 stetig bis auf 100 Prozent erhöht. Die angenommenen Beimischungsquoten können dem Anhang entnommen werden.

Das Verbot ist hier wirksamer, da ein niedriger CO<sub>2</sub>-Preis viel Spielraum für eine stärkere ZEV-Diffusion lässt.

Der deutlich größeren Bestandswirkung folgend gehen mit einem Verbot ab 2030 deutlich größere Emissionseinsparungen einher. Diese bis 2045 kumulierten Einsparungen reichen von 36,1 Mt CO<sub>2</sub> im Szenario „Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis hoch“ bis 64,0 Mt CO<sub>2</sub> im Szenario „Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis niedrig“. Abbildung 7 stellt die kumulierten CO<sub>2</sub>-Einsparungen nach CO<sub>2</sub>-Preispfaden und Einführungszeitpunkten des Verbots dar.

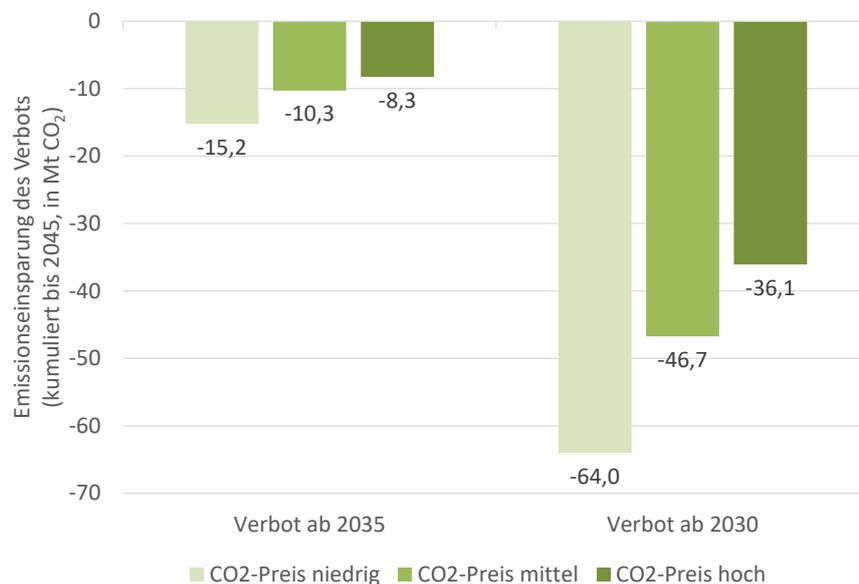


Abbildung 7: Isolierte Klimawirkung des Verbots nach Einführungszeitpunkt und CO<sub>2</sub>-Preisfad (kumuliert bis 2045). Quelle: Eigene Darstellung

Während ein Verbot bei niedrigen CO<sub>2</sub>-Preisen – isoliert betrachtet – eine stärkere Wirkung entfaltet, sind die gesamten Emissionseinsparungen durch den Politikmix von CO<sub>2</sub>-Preis und Verbot umso stärker, je höher der CO<sub>2</sub>-Preis ist. Die beiden Gründe hierfür sind, dass hohe CO<sub>2</sub>-Preise zum einen zur höchsten Diffusion von ZEV führen und zum anderen, dass die Fahrleistung der im Bestand befindlichen Verbrenner am stärksten zurückgeht.

Abbildung 8 stellt die kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs bis 2045 für alle Szenarien dar. So wird deutlich, dass ein Verbot ab 2035 die Mehremissionen aufgrund

geringerer CO<sub>2</sub>-Preise nicht ausgleichen kann. Nur das Verbot ab 2030 kann diese Emissionslücke schließen: Die Gesamtemissionen im Szenario „Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis niedrig“ liegen unter denen des Szenarios „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“, die des Szenarios „Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ unter denen des Szenarios „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis hoch“. Es lässt sich daher festhalten, dass nur ein „frühes“ Verbot ab 2030 den Spielraum gäbe, auf geringere CO<sub>2</sub>-Preise zu setzen, ohne Mehremissionen in Kauf zu nehmen. Gleichzeitig zeigt sich aber auch klar, dass die größte Klimawirkung ein Politikmix aus Verbot ab 2030 im Zusammenspiel mit hohen CO<sub>2</sub>-Preisen hat.

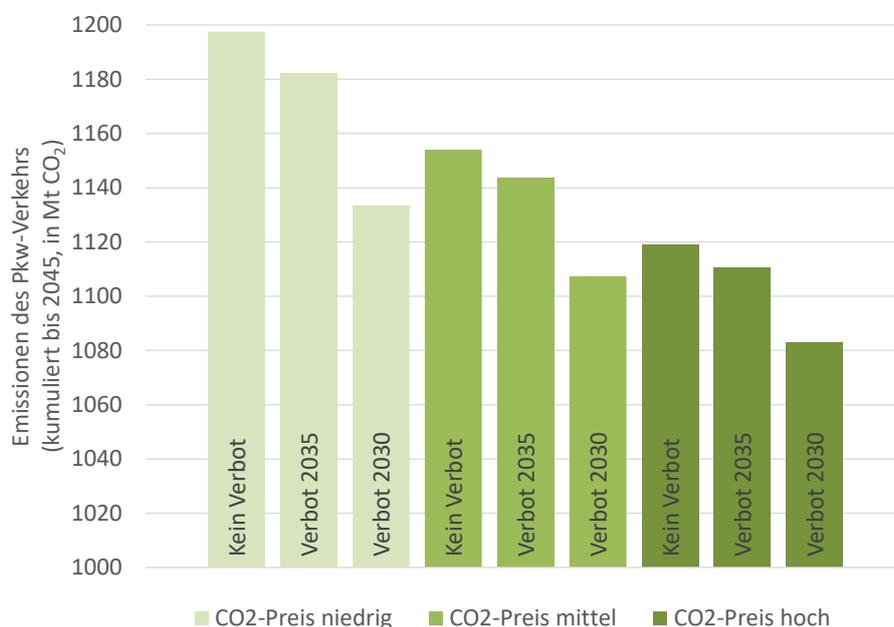


Abbildung 8: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs für alle neun Szenarien (kumuliert bis 2045). Quelle: Eigene Darstellung

### 3.2.1. Zulässige Emissionsmengen des Verkehrs gemäß KSG

Um das für den Verkehr geltende Sektorziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) für die Jahre bis 2030 zu erreichen, ist in Bezug auf die Antriebswende im Pkw-Verkehr entscheidend, wie schnell die Bestandsanteile von ZEV in den kommenden Jahren ansteigen. Ein Verbot der Neuzulassung von Verbrenner-Pkw ab 2035 hat gemäß unserer Modellie-

rung keinen Einfluss auf den Bestand und damit auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs in den Jahren vor 2035.<sup>11</sup> Wir nehmen zur Abschätzung der zulässigen Höchstmenge der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs entgegen der Analyse von Greenpeace (2022) an, dass der Lkw-Verkehr seine Emissionen bis 2030 prozentual nicht genauso stark senken kann wie der Pkw-Verkehr. Der Grund hierfür ist, dass die Antriebswende im Lkw-Verkehr voraussichtlich später einsetzen und gleichzeitig die Güterverkehrsleistung weiter ansteigen wird.<sup>12</sup> Folglich muss der Pkw-Verkehr seine CO<sub>2</sub>-Emissionen auf deutlich unter die von Greenpeace (2022) angegebenen 52 Mt CO<sub>2</sub> reduzieren.

Zusätzlich zu den bis 2030 begrenzten Reduktionspotenzialen im Lkw-Verkehr verschärft jede jährliche Zielverfehlung des Verkehrs den zukünftigen Zielpfad des Sektors. Nach der Zielverfehlung in 2021 beträgt das Sektorziel für 2030 dementsprechend aktuell 84,7 Mt CO<sub>2</sub> (UBA 2022). Ein gestiegener Kraftstoff-Absatz in den Monaten Januar bis Mai 2022 gegenüber dem Vorjahreszeitraum legt den Schluss nahe, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr in 2022 weiter steigen werden (BAFA 2022). Gegenüber der laut KSG geforderten Reduktion der Emissionen bedeutet dies eine erhebliche Zielverfehlung in 2022, was sich wiederum direkt auf die zulässige Emissionsmengen in den Folgejahren auswirken wird.

Unter der vereinfachenden Annahme, dass die zulässige Emissionsmenge des Verkehrs in 2030 85 Mt CO<sub>2</sub> beträgt, gehen wir davon aus, dass der Pkw-Verkehr in 2030 noch höchstens 42,8 Mt CO<sub>2</sub> ausstoßen darf. Alle neun Szenarien überschreiten diese zulässige Emissionsmenge. Die Überschreitung der Emissionshöchstmenge liegt zwischen 3,5 Mt CO<sub>2</sub> („Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis hoch“) und 10,4 Mt CO<sub>2</sub> („Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis niedrig“). Die Anzahl von ZEV liegt hierbei zwischen 18,0 Mio. (+3,0 Mio. PHEV) und 20,5 Mio. (+2,7 Mio. PHEV) und damit bereits deutlich über der von der Bundesregierung avisierten Zahl von 15 Mio. vollelektrischen Pkw.<sup>13</sup> Um die Emissionsmenge von 85 Mt CO<sub>2</sub> über ein Verbrenner-Neuzulassungsverbot zu erreichen, müsste dieses folglich vor 2030 greifen.

---

<sup>11</sup> Mögliche frühere Auswirkungen eines beschlossenen Verbrenner-Neuzulassungsverbots auf Unternehmen und Haushalte (Nachfrage) sowie auf Hersteller (Angebot) werden in der Modellierung nicht berücksichtigt, sondern abschließend diskutiert.

<sup>12</sup> Die Antriebswende im Lkw-Verkehr wird für verschiedene Szenarien und Modelle im Ariadne-Szenariereport analysiert (<https://ariadneprojekt.de/pressemitteilung/so-geht-klimaneutralitaet-2045-was-der-erste-modellvergleich-fur-deutschland-zeigt/>).

<sup>13</sup> Die hohe Zahl von ZEV im Bestand des Jahres 2030 ergibt sich im Modell sowohl aufgrund hoher Neuzulassungsanteile von ZEV in den Jahren vor 2030 sowie einer schnellen Erholung des Neuzulassungsmarktes bis 2024. Der Gesamtbestand liegt im Jahr 2030 gemäß unserer Modellierung bei rund 50 Mio. Pkw und kann dem Anhang entnommen werden.

### 3.3. Verteilungswirkung

Neben den verkehrlichen Effekten und Klimawirkungen können mit dem Verbrenner-Neuzulassungsverbot Verteilungswirkungen einhergehen.<sup>14</sup> Diese werden mittels der im Modell berücksichtigten Haushaltseigenschaften näher beleuchtet. Verteilungseffekte können entstehen, wenn sich die Anschaffungskosten der Haushalte für einen Pkw durch das Verbot verändern.<sup>15</sup> Dies kann prinzipiell sowohl für einen Neuwagen als auch einen Gebrauchtwagen gelten.

Wir betrachten zunächst mögliche Effekte im Neuwagenmarkt. Im Szenario „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ liegt der Anteil von Nicht-ZEV im Neuwagenmarkt im Jahr 2035 bei 14 Prozent. Abbildung 9 zeigt, dass das Verbot bei der Einführung im Neuwagenmarkt keine Haushaltsgruppe besonders betrifft. Der Neuzulassungsanteil von ZEV im Jahr 2035 ist für die Haushalte mit geringem Einkommen nicht geringer als für Haushalte mit hohem Einkommen. Die Anteile von Diesel und PHEV nehmen mit dem Einkommen zu, da diese Antriebe im Modell insbesondere noch als Dienstwagen nachgefragt werden. Auf dem Neuwagenmarkt entstehen im Jahr 2035 bei der Anschaffung oder Betrieb eines ZEV aufgrund der im Jahr 2025 eintretenden Kostenparität keine Mehrkosten. Daher gibt es auch keine Verteilungseffekte über den Neuwagenmarkt.

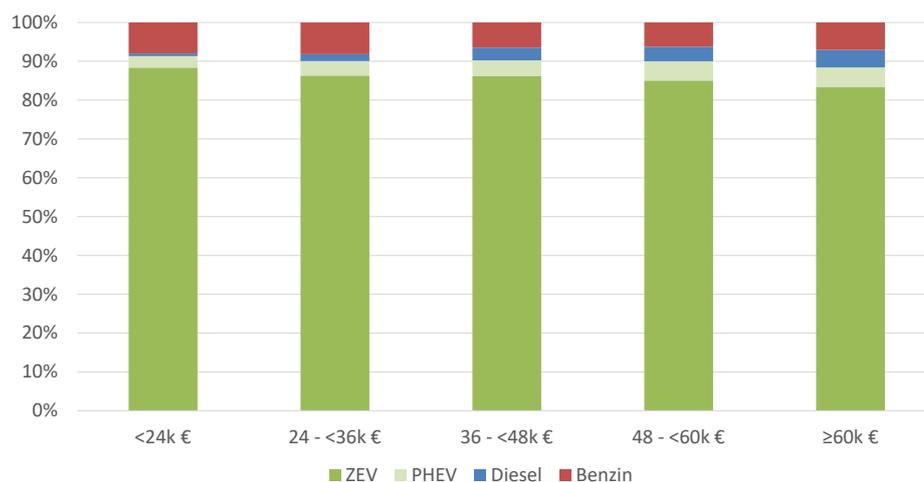


Abbildung 9: Antriebsanteile im Neuwagenmarkt im Szenario „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ im Jahr 2035 nach Einkommensgruppen (verfügbares Haushaltsjahreseinkommen). Quelle: Eigene Darstellung

<sup>14</sup> Die Verteilungswirkung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung wird im Rahmen dieser Analyse ausgeklammert, siehe hierzu etwa Kalkuhl et al. (2021).

<sup>15</sup> Da Energiekosten von ZEV bereits heute im Durchschnitt unter denen der Verbrenner liegen (siehe etwa [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/bmwk-poster-a2-energiekostenvergleich-fur-pkw-0421-druck.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=18](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/bmwk-poster-a2-energiekostenvergleich-fur-pkw-0421-druck.pdf?__blob=publicationFile&v=18)), werden im Folgenden ausschließlich Unterschiede in den Anschaffungskosten betrachtet.

Insbesondere Haushalte mit geringem Einkommen kaufen einen Pkw jedoch nicht vorwiegend auf dem Neuwagen- sondern auf dem Gebrauchtwagenmarkt. Deshalb ist dieser Markt zentral für das Verständnis möglicher Verteilungseffekte eines Verbots. Abbildung 10 zeigt eine Differenzierung des modellierten Neu- und Gebrauchtwagenmarktes nach Einkommenskategorien.

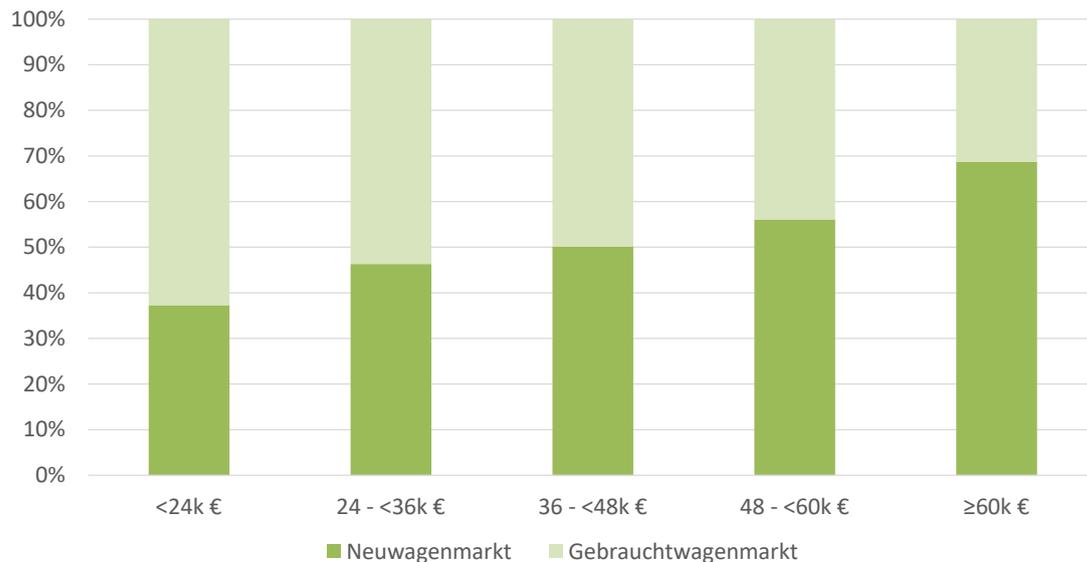


Abbildung 10: Anteile der Pkw-Märkte nach Einkommensgruppen (verfügbares Haushaltsjahreseinkommen). Quelle: Eigene Darstellung

Um die Verteilungswirkung eines Verbrenner-Neuzulassungsverbots zu analysieren, ist es deshalb notwendig, die Anschaffungskosten auf dem Gebrauchtwagenmarkt zu beleuchten. Im Modell ergeben sich Gebrauchtwagenpreise über zwei Kanäle: Zum einen sinkt der Wert eines Pkw mit zunehmendem Fahrzeualter. Der jährliche Wertverlust verkleinert sich hierbei ebenfalls mit zunehmendem Fahrzeualter. Zum anderen repräsentieren die Gebrauchtwagenpreise Knappheiten im Markt. Steigt die Nachfrage nach einer Antriebstechnologie relativ zum Angebot, so wird deren Preis so lange schrittweise erhöht, bis sich Nachfrage und Angebot wieder ausgleichen. Das Angebot an Gebrauchtwagen ergibt sich aus der Summe aller Fahrzeuge, deren Haltedauer im betreffenden Jahr abläuft zuzüglich halterlosen Fahrzeugen (Gebrauchtwagenhändler) und betrifft damit

sowohl Gebrauchtwagen- als auch Neuwagen.<sup>16</sup> Im Modell werden Gebrauchtwagen in Abhängigkeit des Alters und des Kilometerstands in drei Kategorien eingeteilt: Gut, mittel und schlecht.<sup>17</sup>

Durch den abgeschnittenen Zufluss von jungen und damit guten Verbrennern kommt es in allen Jahren nach dem Verbot zu einem Rückgang von Verbrenner-Transaktionen auf dem Gebrauchtwagenmarkt. Gleichzeitig erhöht sich das Angebot von guten ZEV. Basierend auf den im Modell zugrundeliegenden Haltedauer-Verteilungen von privaten und dienstlichen Neuwagen manifestiert sich der Rückgang der Verbrenner-Transaktionen rund fünf Jahren nach Einführung des Verbots. Da der Verbrenner-Anteil an den Gebrauchtwagen-Transaktionen im Szenario ohne Verbot in 2040 aber ohnehin unter 5 Prozent liegt, fällt dieser Effekt kaum ins Gewicht. Abbildung 11 zeigt die Gebrauchtwagenmarkt-Transaktionen für die Szenarien „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“.

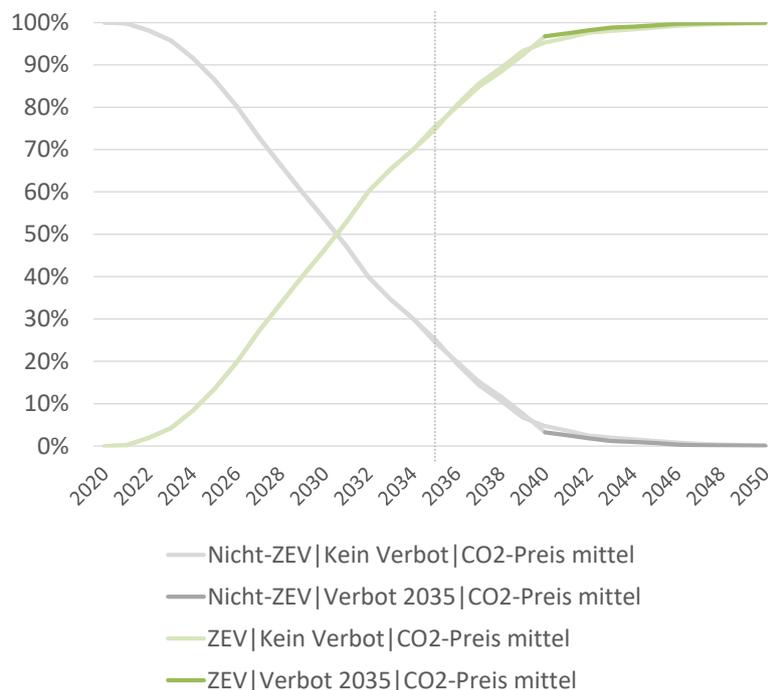


Abbildung 11: Gebrauchtwagenmarkt-Transaktionen nach Antriebsarten in den Szenarien „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“. Quelle: Eigene Darstellung

<sup>16</sup> Spezifische Haltedauern von Gebrauchtwagen und Neuwagen unterliegen im Modell rechtsschiefen Haltedauer-Verteilungen. Dabei liegt die mittlere Haltedauer von dienstlichen Neuwagen deutlich unter der mittleren Haltedauer von privaten Neuwagen.

<sup>17</sup> Die Wahlentscheidung über die Fahrzeugqualität erfolgt im Modell vor der Technologiewahl. Sollte sich ein Haushalt im ersten Schritt für den Kauf eines Gebrauchtwagens entschieden haben, so trifft er im zweiten Schritt die Entscheidung über die Fahrzeugqualität. Je Fahrzeugqualität findet der Haushalt daraufhin einen Pool von Fahrzeugen unterschiedlicher Technologien, aus dem er im dritten und letzten Schritt ein bestimmtes Fahrzeug wählt.

Durch die Verknappung von guten Verbrennern sinkt die durchschnittliche Qualität von Verbrennern im Gebrauchtwagenmarkt. Hierdurch ergeben sich im Szenario „Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ im Durchschnitt etwas geringere Anschaffungskosten von gebrauchten Verbrennern.

Abbildung 12 zeigt, dass der Preis von Verbrennern für alle Einkommensgruppen etwas zurückgeht, während sich der Preis von ZEV nur unwesentlich ändert.<sup>18</sup>

Die geringeren Anschaffungskosten implizieren eine geringfügig progressive Verteilungswirkung des Verbots, während wir die reduzierte Qualität hier nicht monetarisieren. Insgesamt lässt sich festhalten, dass ein Verbrenner-Neuzulassungsverbot ab 2035 keine nennenswerten Verteilungseffekte entfaltet. Diese Aussage gilt für alle CO<sub>2</sub>-Preisfade.

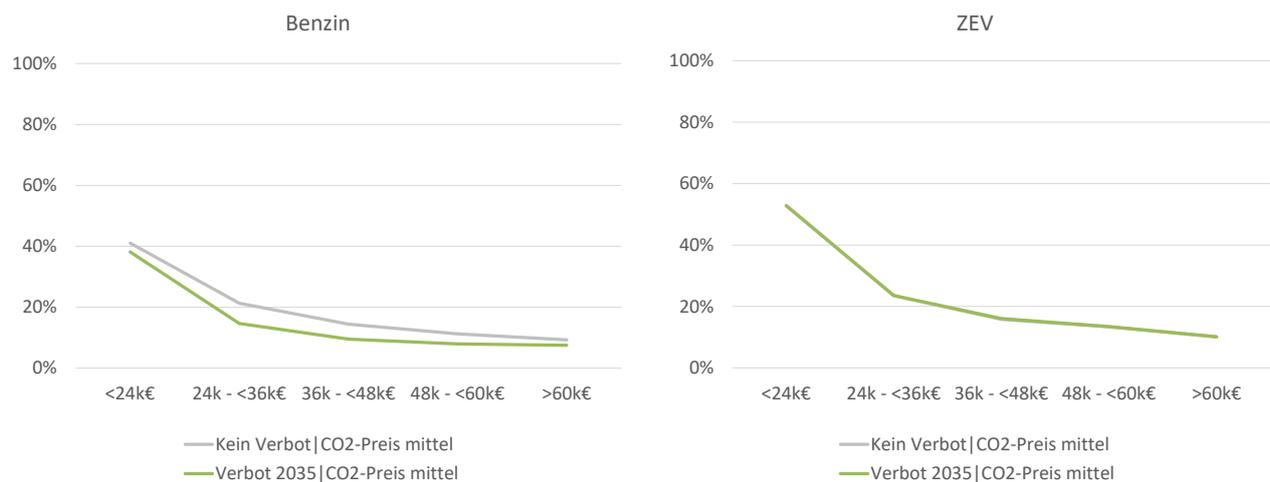


Abbildung 12: Durchschnittliche Gebrauchtwagenpreise von Benzinern und ZEV im Jahr 2040 als Anteil am verfügbaren jährlichen Haushaltseinkommen in den Szenarien „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und „Verbot 2035 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“. Quelle: Eigene Darstellung

Durch das frühere Verbot von Verbrenner-Neuwagen ab 2030 verringert sich das Angebot an jungen und damit guten Verbrennern auf dem Gebrauchtwagenmarkt stärker als für das Verbot ab 2035. Der Rückgang der Verbrenner-Transaktionen fällt dementsprechend stärker aus. Auch hier manifestiert sich dieser Rückgang erst einige Jahre nach Einführung des Verbots.

<sup>18</sup> Zusätzliche Wertverluste von ZEV aufgrund von schnell alternden Batterien schließen wir vor dem Hintergrund einer bereits heute hohen Zyklenfestigkeit von Traktionsbatterien aus.

Abbildung 13 zeigt die Gebrauchtwagenmarkt-Transaktionen im Basisszenario und im Szenario „Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“.

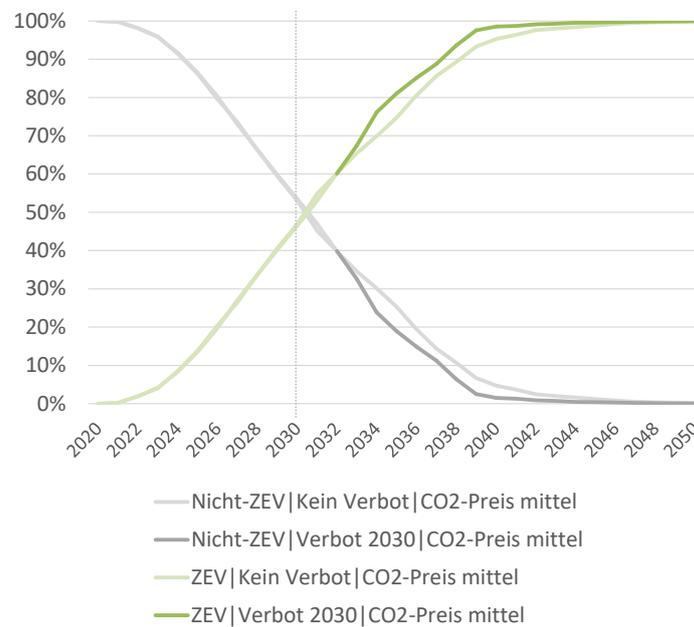


Abbildung 13: Gebrauchtwagenmarkt-Transaktionen nach Antriebsarten in den Szenarien „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und „Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“. Quelle: Eigene Darstellung

Aufgrund des auch hier relativ geringen Anteils von Verbrenner-Transaktionen auf dem Gebrauchtwagenmarkt fallen die preislichen Wirkungen des Verbots gering aus. Analog zum oben dargestellten Kanal ergeben sich über einen Rückgang der durchschnittlichen Qualität von Verbrennern auf dem Gebrauchtwagenmarkt etwas geringere Anschaffungskosten. Die Haushalte mit geringem Einkommen profitieren etwas stärker von geringeren Anschaffungskosten für gebrauchte Benziner. Gleichzeitig profitieren sie auch stärker von geringeren Preisen von ZEV aufgrund des höheren Angebots.

Abbildung 14 zeigt, dass der Preis von Verbrennern für alle Einkommensgruppen etwas zurückgeht, während das im Vergleich hohe Angebot von ZEV auch den Preis von ZEV reduziert. Insgesamt ergibt sich für das Verbot ab 2030 daher eine leicht progressive Verteilungswirkung, deren finanzielle Bedeutung allerdings gering ist.

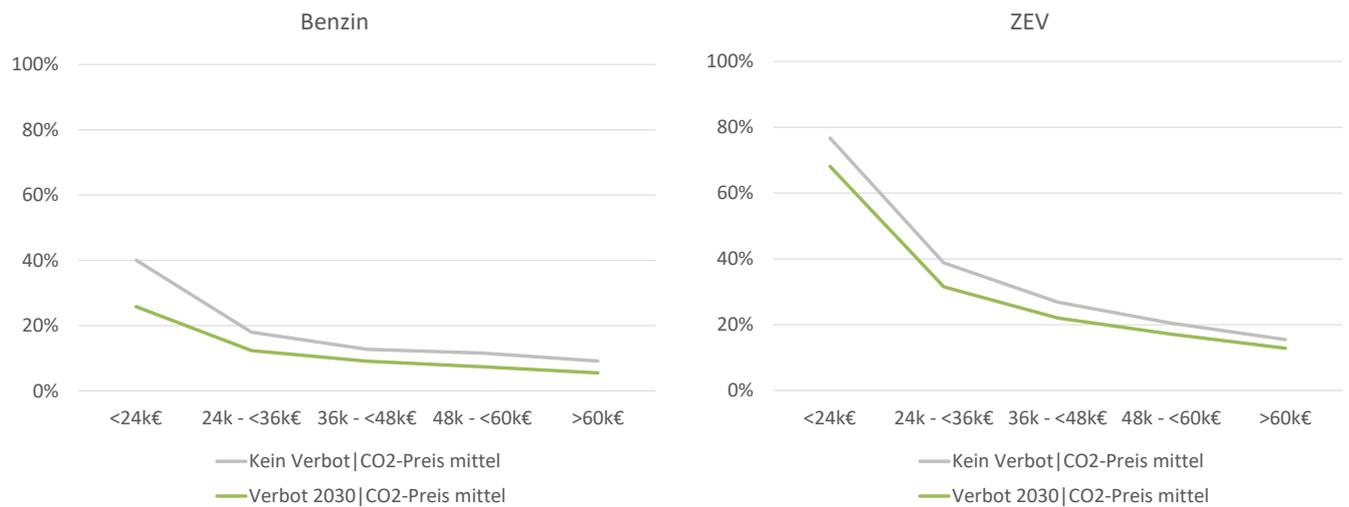


Abbildung 14: Durchschnittliche Gebrauchtwagenpreise von Benzinern und ZEV im Jahr 2035 als Anteil am verfügbaren jährlichen Haushaltseinkommen in den Szenarien „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ und „Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“. Quelle: Eigene Darstellung

## 4. Diskussion

Die vorliegende Analyse legt für Deutschland erste Hinweise zur verkehrlichen und zur Klimawirkung sowie zu Verteilungseffekten eines Neuzulassungsverbots von Verbrenner-Pkw – einem zentralen Element des „Fit-for-55“-Gesetzspaketes der Europäische Kommission – vor. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wirkung eines solchen Verbots sowohl von begleitenden Maßnahmen, wie der CO<sub>2</sub>-Bepreisung, als auch von dessen Einführungszeitpunkt abhängt. Insbesondere zeigen eine frühe Einführung und ein gleichzeitig starkes CO<sub>2</sub>-Preis-Signal eine positive Klimawirkung durch eine Beschleunigung der Antriebswende. Bedeutend negative Verteilungseffekte sind nicht zu erwarten.

### ***4.1. Unsicherheit über die zugrundeliegende Entwicklung der ZEV-Zulassungen***

Zentral für die Analyse der Wirkungen des Verbrenner-Neuzulassungsverbots ist, wie schnell sich ZEV im Neuwagenmarkt ohne Verbot durchsetzen werden. Basierend auf den oben beschriebenen Rahmenbedingungen wird durch die Kaufprämien, die unterstellte Preisparität ab 2025, den unterstellten Abbau von Vorbehalten bis 2030 sowie die CO<sub>2</sub>-Bepreisung ein schneller Hochlauf von ZEV modelliert. Angebotsseitige Faktoren werden im Modell nicht berücksichtigt.

Auf der Nachfrageseite bestehen Unsicherheiten hinsichtlich des Abbaus von Vorbehalten gegenüber ZEV und der unterstellten Preisparität. Auf letztere haben insbesondere die Preise für Rohstoffe und Skaleneffekte beim Aufbau von ZEV-Produktionskapazitäten Einfluss. Während ein Verschieben des Zeitpunkts der Preisparität um wenige Jahre nur einen geringen Effekt auf die ZEV-Neuzulassungsanteile hat, bewirken pessimistischere Annahmen zum Abbau von Vorbehalten der Käuferinnen und Käufer einen deutlich gedämpften ZEV-Hochlauf. Sich haltende Vorbehalte gegenüber ZEV im Jahr 2030 könnten sich etwa auf eine nur unzureichend ausgebaute öffentliche Ladeinfrastruktur, Reichweitenangst oder unzureichende Informationen zur Klima- und Umweltwirkung oder zur Lebensdauer von Batterien oder Brennstoffzellen beziehen.

Auf der Angebotsseite besteht die Unsicherheit darin, ob Hersteller die nachgefragten ZEV produzieren werden. Sowohl die geltenden, als auch die im Rahmen des „Fit-for-55“-

Gesetzespakets vorgeschlagenen CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte für die Jahre bis 2029 stellen nicht sicher, dass ein ausreichendes Angebot an ZEV verfügbar sein wird, um die hier modellierte Nachfrage zu bedienen.<sup>19</sup> Auf die Notwendigkeit einer Anpassung der Grenzwerte vor 2030 wurde bereits vielfach hingewiesen (hierzu etwa Agora Verkehrswende 2022, ICCT 2021, T&E 2021).

Ein gedämpfter Hochlauf von ZEV, im Modell abgebildet über sich haltende Vorbehalte, verändert die Wirkung des Verbrenner-Neuzulassungsverbots. Würde der Neuzulassungsanteil von ZEV im Szenario „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ in 2035 nicht 86 Prozent, sondern lediglich 57 Prozent betragen, so wäre die Wirkung des Verbots deutlich größer. Absolut werden mehr Verbrenner-Käufe auf das Jahr 2034 vorgezogen als bei einem schnellen Hochlauf.

Abbildung 15 stellt die Neuzulassungsanteile von ZEV bei einem langsamen Hochlauf für das Verbot ab 2035 und alle CO<sub>2</sub>-Preisfahde sowie für das Szenario „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“ im Vergleich zum schnellen Hochlauf dar.

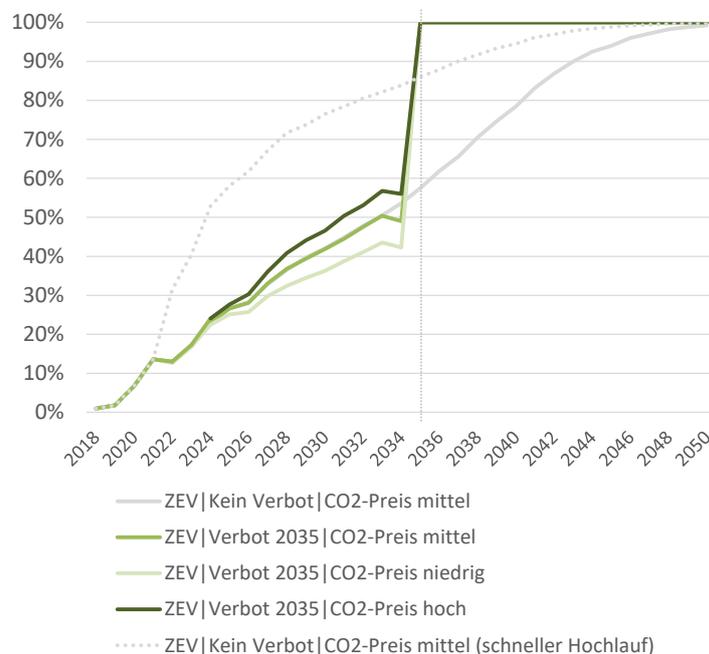


Abbildung 15: Neuzulassungsanteile von ZEV beim einem langsamen Hochlauf in den Verbotsszenarien für das Jahr 2035 und im Vergleich zum schnellen Hochlauf. Quelle: Eigene Darstellung

<sup>19</sup> Laut geltender EU-Verordnung 2019/631 gilt der ab 2021 gültige CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwert bis 2024 und wird für die Jahre 2025 bis 2029 um 15 Prozent gemindert. Im Rahmen der aktuellen Verhandlungen auf EU-Ebene wird eine Verschärfung auf 20 Prozent diskutiert.

Den deutlich geringeren Neuzulassungsanteilen von ZEV in den Jahren vor dem Verbot folgend verlangsamt sich der ZEV-Hochlauf im Bestand erheblich. Der große Sprung der Neuzulassungsanteile durch das Verbot zwischen den Jahren 2034 und 2035 resultiert in einer großen Änderung der Steigung der Bestandsentwicklung (Knick). Dieser Knick vergrößert sich bei einer Einführung des Verbots im Jahr 2030.

Abbildung 16 stellt die Bestandsanteile von ZEV bei einem langsamen Hochlauf für die beiden Einführungszeitpunkte des Verbots sowie im Vergleich zu einem schnellen Hochlauf dar.

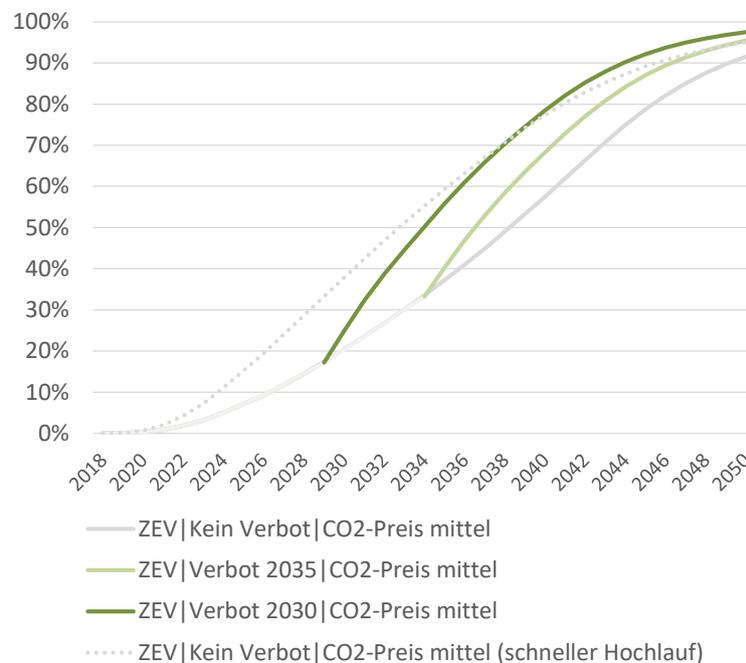


Abbildung 16: Bestandsanteile von ZEV bei einem langsamen ZEV-Hochlauf in den Verbotsszenarien sowie im Vergleich mit dem schnellen ZEV-Hochlauf. Quelle: Eigene Darstellung

Entsprechend der starken Änderung der Bestandsentwicklung vergrößert sich die isolierte Klimawirkung des Verbots. Auch hier zeigt sich: Die isolierte Wirkung des Verbots ist umso größer, je niedriger der CO<sub>2</sub>-Preis ist und je früher das Verbot greift. Die CO<sub>2</sub>-Einsparungen erhöhen sich erheblich: Für die Szenarien mit mittlerem CO<sub>2</sub>-Preis von 10,3 auf 37,4 Mt CO<sub>2</sub> beim Verbot ab 2035 und von 46,7 auf 138,6 Mt CO<sub>2</sub> beim Verbot ab 2030.

Abbildung 17 stellt analog zur bisherigen Darstellung die bis 2045 kumulierten CO<sub>2</sub>-Einsparungen nach CO<sub>2</sub>-Preispfaden und Einführungszeitpunkten des Verbots dar.

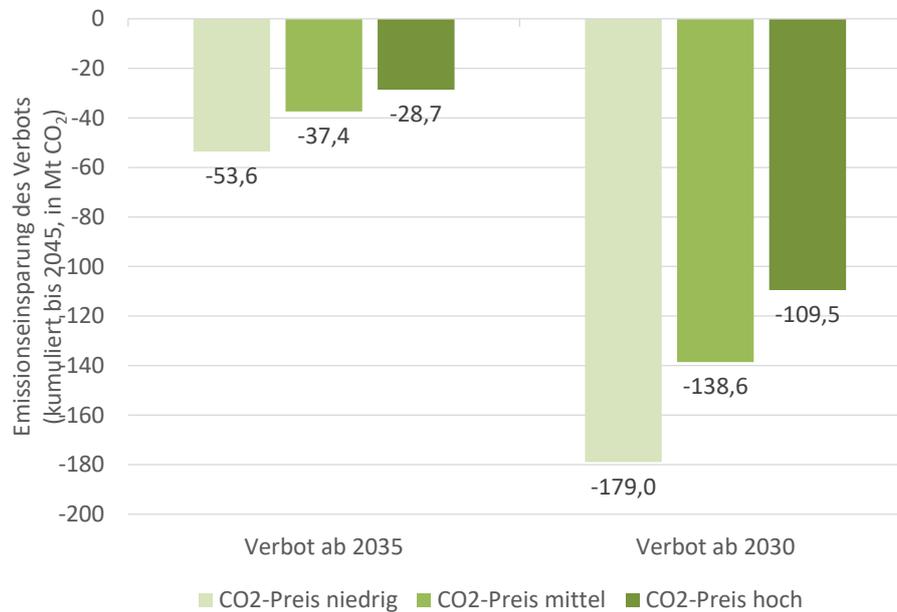


Abbildung 17: Isolierte Klimawirkung des Verbots nach Einführungszeitpunkt und CO<sub>2</sub>-Preisfad bei einem langsamen ZEV-Hochlauf (kumuliert bis 2045). Quelle: Eigene Darstellung

Mit Blick auf die kumulierten Gesamtemissionen des Pkw-Verkehrs bis 2045 wird deutlich, wie entscheidend ein schneller ZEV-Hochlauf in den Jahren vor 2030 ist. Hierzu müssen Vorbehalte der Nachfrageseite schnell abgebaut werden und gleichzeitig Hersteller ein entsprechendes Angebot an Fahrzeugen bereitstellen. Die deutlich größere isolierte Wirkung eines Verbots bei einem langsamen ZEV-Hochlauf kann die Emissionslücke zu einem schnellen Hochlauf ohne Verbot nicht schließen. Diese Aussage gilt unabhängig von der Höhe des CO<sub>2</sub>-Preises: Die Gesamtemissionen des Pkw-Verkehrs im Szenario „Verbot 2030 | CO<sub>2</sub>-Preis hoch“ bei langsamem ZEV-Hochlauf liegen über denen des Szenarios „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis niedrig“ bei schnellem ZEV-Hochlauf.

Abbildung 18 vergleicht die bis 2045 kumulierten Emissionen des Pkw-Verkehrs für alle Szenarien für einen langsamen ZEV-Hochlauf mit den oben beschriebenen Emissionen für einen schnellen ZEV-Hochlauf.

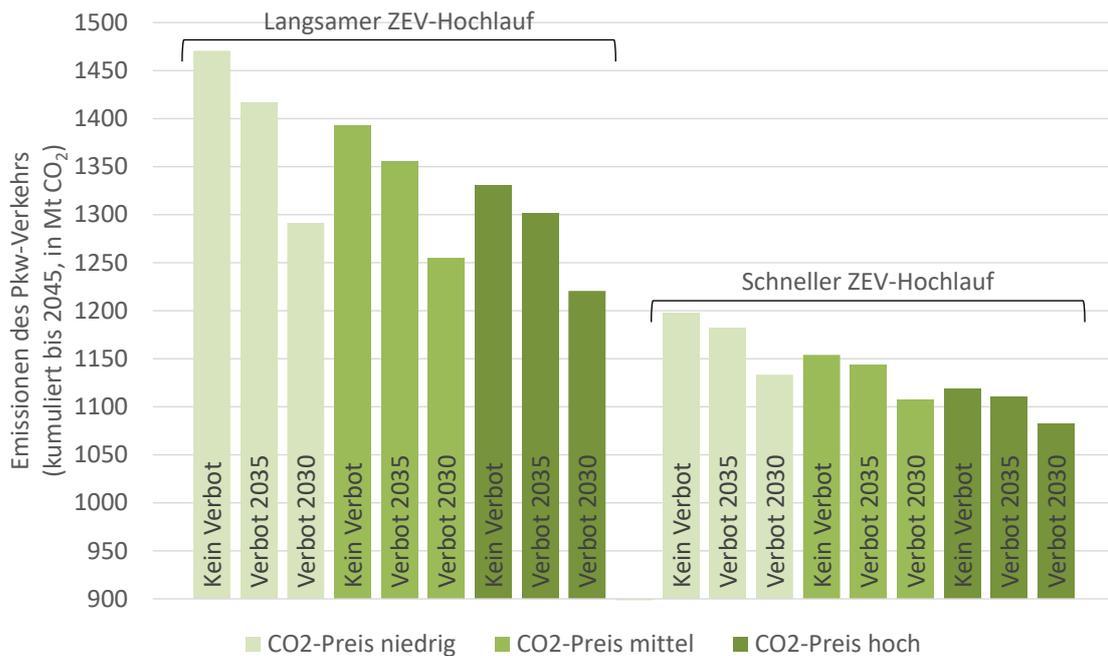


Abbildung 18: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs für alle neun Szenarien bei einem langsamen und einem schnellen ZEV-Hochlauf (kumuliert bis 2045). Quelle: Eigene Darstellung

Die Änderungen der durchschnittlichen Gebrauchtwagenpreise von Benzinern und ZEV bei einem langsamen ZEV-Hochlauf entsprechen den Preisänderungen, die sich bei einem schnellen ZEV-Hochlauf ergeben. Gebrauchtwagen-Transaktionen von Verbrennern reduzieren sich mit einer Verzögerung von mehreren Jahren. Durchschnittliche Preise von Benzinern sinken entsprechend der gesunkenen durchschnittlichen Qualität der Fahrzeuge für alle Haushaltgruppen. Die Preise sinken für Haushalte mit niedrigem Einkommen relativ am stärksten. Preise für ZEV gehen durch das Verbot nur unmaßgeblich zurück. Insgesamt ergibt sich für das Verbot auch bei einem langsamen ZEV-Hochlauf daher eine leicht progressive Verteilungswirkung, dessen finanzielle Bedeutung allerdings gering ist.

## **4.2. Signaleffekte und Investitionen in Produktionskapazitäten**

Im Gegensatz zu den im Rahmen dieser Analyse angenommenen Vorzieheffekten auf dem Neuwagenmarkt für Verbrenner, die im Fokus der bisherigen Forschungsliteratur stehen, werden teilweise auch positive Ankündigungs- oder Signalwirkungen eines Verbots diskutiert, sowohl bezogen auf die Nachfrageseite als auch auf die Investitionsentscheidungen von Automobilherstellern (Greenpeace 2021).

Solch positive Signaleffekte auf der Konsumentenseite könnten die in dieser Analyse betrachteten negativen Vorzieheffekte überlagern. Mit Blick auf die Herstellerseite wird insbesondere die Gefahr diskutiert, dass Hersteller ohne Politikeingriff nur unzureichend in ZEV-Produktionskapazitäten investieren, und dass ein Verbot möglicherweise einen früheren Aufbau von Herstellungskapazitäten für ZEV bewirken kann. Im Modell der vorliegenden Analyse werden Produktionskapazitäten der Automobilhersteller nicht abgebildet. Wir können aber nicht ausschließen, dass ein absehbares Verbot die Investitionsentscheidungen direkt beeinflusst und somit die Verfügbarkeit von ZEV erhöht und die von Verbrenner-Pkw verringert. Insgesamt scheint eine solche Herstellerreaktion realistisch, jedoch hinsichtlich des Ausmaßes aus mehreren Gründen unsicher. Erstens investieren Hersteller bereits heute massiv in Produktionskapazitäten von ZEV und kündigen einen schnellen Hochlauf im Absatz an, weshalb unklar bleibt, wie groß die zusätzliche Wirkung eines Verbots sein kann.<sup>20</sup> Zweitens werden neu entwickelte Pkw-Modelle rund sechs bis acht Jahre verkauft, bevor ein neues Modell auf den Markt kommt. Die Ankündigung eines früheren Verbots wird deshalb voraussichtlich nicht kurzfristig dazu führen, dass die sich in der Entwicklung oder im Verkauf befindlichen Verbrenner nicht mehr angeboten werden. Drittens sind sowohl der deutsche als auch der europäische Markt zwar von strategischem Interesse für viele Automobilhersteller, doch ein großer Anteil des Absatzes wird im asiatischen und amerikanischen Markt erzielt.

---

<sup>20</sup> Laut ICCT läge der Neuzulassungsanteil von ZEV in 2035 gemäß den aktuellen Herstellerankündigungen bereits bei 84 Prozent (<https://theicct.org/ice-phase-outs/>).

### **4.3. Leakage**

Eine unilaterale, frühere Einführung eines Verbrenner-Neuzulassungsverbots in Deutschland im Jahr 2030 wirft die Frage nach möglichen Leakage-Effekten auf. Es käme zu einer Verlagerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, falls das alleinige Verbot in Deutschland dazu führt, dass es im Ausland zu mehr Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor kommt und/oder diese dort mehr gefahren werden. Diese Leakage-Effekte können grundsätzlich auch bei einer EU-weiten Einführung im Jahr 2035 von Bedeutung sein, doch die im Folgenden diskutierten Mechanismen sind bei einer europäischen Politik sehr wahrscheinlich deutlich abgeschwächer.

Ein Mechanismus dafür ist, dass durch einen Wegfall der Nachfrage nach neuen Verbrennern in Deutschland die Preise für Neuwagen mit Verbrennungsmotor international sinken und sie daher im Ausland verstärkt nachgefragt werden. Wenn durch eine reduzierte Nutzung von Verbrennern in Deutschland auch die internationalen Kraftstoffpreise sinken, erzeugt das zudem einen Anreiz, mehr mit Verbrennern zu fahren. Beide Effekte würden zu einem Anstieg der Verkehrsemissionen im Ausland führen. Gleichzeitig ist jedoch auch denkbar, dass ein Verbot in Deutschland, einem bedeutenden Absatzmarkt, durch seine Signalwirkung den Wandel zu emissionsfreien Fahrzeugen international beschleunigen könnte. Insbesondere wenn die Angebotsstruktur für ZEV international wachsen und somit die Attraktivität von ZEV steigen würde, könnte ausgehend vom Verbot in Deutschland auch Emissionen im Ausland vermieden werden.

Ein weiterer Mechanismus für Leakage ergibt sich über den internationalen Handel mit Gebrauchtwagen (Davis und Kahn 2010). Das Verbrenner-Neuzulassungsverbot in Deutschland könnte zu mehr Exporten von Gebrauchtwagen mit Verbrennungsmotor ins Ausland führen – insbesondere in ärmere Länder, in denen diese Fahrzeuge unter Umständen länger und/oder mehr gefahren würden. Somit käme es ebenfalls zu einer Emissionsverlagerung. Allerdings ist davon auszugehen, dass ein mögliches Leakage von gebrauchten Fahrzeugen nach einigen Jahren zum Erliegen käme. Zudem ist es auch denkbar, dass das Verbot zu einem Anstieg der Exporte von gebrauchten ZEV führt, was negative Leakage-Effekte bei Verbrennern ausgleichen könnte.

Es gibt bisher keine Evidenz für die Relevanz und Größenordnung möglicher Leakage-Effekte durch Verbrenner-Neuzulassungsverbote. Entscheidend für die politische Bewertung ist aber die Feststellung, dass die Möglichkeit von Leakage kein spezifisches Risiko von unilateral eingeführten Verbrenner-Neuzulassungsverböten ist. Eine nationale bzw. regionale Verschärfung von Emissionsstandards für Pkw, eine nationale bzw. regionale Einführung eines CO<sub>2</sub>-Preises für Kraftstoffe oder eine nationale bzw. regionale Erhöhung der Kfz-Steuer (evtl. auch mit Subventionen für ZEV) kann in gleichem Maße relative Preise oder Gebrauchtwagenhandelsströme verändern und zu einer Emissionsverlagerung ins Ausland führen. Um Leakage zu verhindern, sind daher EU-weite Politikmaßnahmen zu bevorzugen. Der Gebrauchtwagenhandel findet mehrheitlich innereuropäisch statt – daher scheint ein Verhindern von innereuropäischem Leakage von besonderem Interesse. Der Gebrauchtwagenhandel mit dem Nicht-EU-Ausland ist mengenmäßig von untergeordneter Bedeutung (Mehlhart et al. 2011).

#### ***4.4. Umgang mit Verbrenner-Restbeständen***

Die vorliegende Analyse hat gezeigt, dass selbst im Szenario mit Verboten in 2035 oder 2030 – unabhängig von der Höhe des CO<sub>2</sub>-Preises – nicht alle Verbrenner aus dem Bestand gedrängt werden. Selbst bei sehr hohen CO<sub>2</sub>-Preisen und einem Verbot ab 2030 liegt der Anteil der Verbrenner im Jahr 2045 noch bei sieben Prozent. Maßgeblich hierfür ist die Modellannahme, dass sich zugrundeliegende Haltedauern von Verbrennern im Zuge der Antriebswende nicht maßgeblich verkürzen. Dies wirft die Frage nach dem Umgang mit den Verbrenner-Restbeständen auf.

Eine ergänzende Politikoption, um Verbrenner vollständig aus dem Bestand zu bringen, ist die Einführung einer Austauschprämie, die gezielt finanzielle Anreize für den Austausch von Verbrennern gegen ZEV schafft. Ein Beispiel ist das „Enhanced Fleet Modernization“ Programm in Kalifornien, das sich an Verbraucher mit niedrigen und mittleren Einkommen richtet (Muehlegger und Rapson 2018). Es gibt Evidenz dafür, dass eine Kombination aus Abwrackprämien und höheren Steuern (für den Neukauf und die Haltung von Pkw sowie auf fossile Kraftstoffe) besonders effektiv ist, um eine breite Marktdurchdringung mit ZEV zu fördern (Beresteanu und Li 2011). Es gibt zudem robuste Belege dafür, dass Abwrackprämien, die auf die Verringerung des Fahrzeugbesitzes und die

Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs, Carsharing oder Fahrrad abzielen, in Bezug auf ihre Kostenwirksamkeit und Emissionsreduzierung besser abschneiden als herkömmliche Austauschprogramme (Antweiler und Gulati 2015).

Eine andere ergänzende Politikmaßnahme zum Phase-out des Bestands der alten Verbrenner könnte die Einführung einer erhöhten Kfz-Steuer oder eines CO<sub>2</sub>-Standards für Bestandsfahrzeuge sein – zum Beispiel basierend auf verfügbaren Fahrzeugdaten wie Modell, Baujahr, Motor oder unter Umständen sogar einem Testverfahren im Rahmen der TÜV-Prüfung. Bei einer Überschreitung des Standards würde die Betriebserlaubnis für das betroffene Fahrzeug entzogen. Im Übergang könnte solch eine Politik mit Austausch- oder Abwrackprämien kombiniert werden (vgl. hierzu etwa Edmondson et al. (2022)).

Im Rahmen der vorliegenden Analyse wird der Pkw-Verkehr in der langen Frist durch eine schrittweise Erhöhung der Beimischung von CO<sub>2</sub>-neutralen Kraftstoffen defossilisiert. Diskutiert wird derzeit, ob und wie schnell diese Kraftstoffe im Pkw-Verkehr beigemischt werden können und sollten. Neben Nutzungsrivalitäten in anderen Sektoren erscheint deren Nutzung insbesondere im internationalen Flug- und Schiffsverkehr zwingend erforderlich, um THG-Emissionen auch dort deutlich zu reduzieren. Die im Rahmen dieser Analyse angenommene Beimischung dieser Kraftstoffe ist über alle CO<sub>2</sub>-Preispfade identisch, obwohl bei einem hohen CO<sub>2</sub>-Preis eine schnellere Beimischung und damit eine stärkere Emissionsreduktion erwartet werden könnten.

## 5. Ausblick

Dargestellt wurden die verkehrliche sowie die klima- und verteilungspolitische Wirkung eines Verbrenner-Neuzulassungsverbots unabhängig von der Frage, ob ein solches Verbot ökonomisch sinnvoll bzw. optimal ist. Häufig wird die langsame Marktdurchdringung mit neuen sauberen Technologien als ein Marktversagen aufgefasst, das ein politisches Eingreifen rechtfertigt (Jaffe et al. 2002). Gründe für ein Marktversagen beim Übergang zu alternativen Technologien können (i) Technologierisiken bei der Kommerzialisierung, (ii) Skalen- und Lerneffekte bei der Produktion und dem Vertrieb neuer Produkte sowie (iii) eine schwache Nachfrage aufgrund fehlender Information/Erfahrung mit dem Produkt oder fehlender komplementärer Infrastruktur für das neue Produkt sein (Falck et al. 2017; Li et al. 2017). Ob ein Verbrenner-Neuzulassungsverbot ab 2030 oder 2035 ein verhältnismäßiges Mittel ist, um diese hemmenden Faktoren zu adressieren, oder ob mit Kaufprämien, Bonus-Malus Systemen, Abwrackprämien, Infrastruktursubventionen oder einem Quotensystem effektivere Maßnahmen für einen optimalen Übergang zur Verfügung stehen (vgl. Li et al. 2017; Muehlegger und Rapson 2018; Holland et al. 2021) muss weiter analysiert werden. Auch Fragen zur rechtlichen Umsetzbarkeit eines nationalen Neuzulassungsverbots von Verbrennern in Deutschland ab 2030 müssen fortan weiter beleuchtet werden.

## Abkürzungsverzeichnis

BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BEV	Battery Electric Vehicle (Batterieelektrisches Fahrzeug)
CAST	CAr STock model
ETS II	Emissionshandelssystem für Gebäude und Verkehr
EU	Europäische Union
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug)
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
MiD	Mobilität in Deutschland
NPM	Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
nEHS	Nationales Emissionshandelssystem
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Plug-in Hybrid)
Pkw	Personenkraftwagen
THG-Emissionen	Treibhausgasemissionen
ZEV	Zero Emission Vehicle (Nullemissionsfahrzeug)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	CO <sub>2</sub> -Emissionen des Pkw-Verkehrs bei einem langsamen und einem schnellen Hochlauf von Null-emissionsfahrzeugen (Zero Emission Vehicles, ZEV) in den betrachteten Szenarien (kumuliert bis 2045). Um die Emissionsunterschiede zwischen den Szenarien sichtbar zu machen, beginnt die y-Achse bei 900 Mt CO <sub>2</sub> .....	2
Abbildung 2:	Neuzulassungsanteile der Antriebe in den Szenarien „Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ und „Verbot 2035   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ .....	12
Abbildung 3:	Neuzulassungsanteile von ZEV im Szenario „Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ und den Verbotsszenarien für das Jahr 2035 .....	13
Abbildung 4:	Bestandsanteile der Antriebe in den Szenarien „Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ und „Verbot 2035   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ .....	14
Abbildung 5:	Bestandsanteile von ZEV im Szenario „Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ und den Verbotsszenarien für das Jahr 2035 .....	15
Abbildung 6:	Bestandsanteile von ZEV in den Szenarien „Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“, „Verbot 2035   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ und „Verbot 2030   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ .....	15
Abbildung 7:	Isolierte Klimawirkung des Verbots nach Einführungszeitpunkt und CO <sub>2</sub> -Preispfad (kumuliert bis 2045).....	18
Abbildung 8:	CO <sub>2</sub> -Emissionen des Pkw-Verkehrs für alle neun Szenarien (kumuliert bis 2045).....	19
Abbildung 9:	Antriebsanteile im Neuwagenmarkt im Szenario „Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ im Jahr 2035 nach Einkommensgruppen (verfügbares Haushaltsjahreseinkommen) .....	21
Abbildung 10:	Anteile der Pkw-Märkte nach Einkommensgruppen (verfügbares Haushaltsjahreseinkommen) .....	22
Abbildung 11:	Gebrauchtwagenmarkt-Transaktionen nach Antriebsarten in den Szenarien „Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ und „Verbot 2035   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ .....	23
Abbildung 12:	Durchschnittliche Gebrauchtwagenpreise von Benzinern und ZEV im Jahr 2040 als Anteil am verfügbaren jährlichen Haushaltseinkommen in den Szenarien „Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ und „Verbot 2035   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ .....	24
Abbildung 13:	Gebrauchtwagenmarkt-Transaktionen nach Antriebsarten in den Szenarien „Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ und „Verbot 2030   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ .....	25
Abbildung 14:	Durchschnittliche Gebrauchtwagenpreise von Benzinern und ZEV im Jahr 2035 als Anteil am verfügbaren jährlichen Haushaltseinkommen in den Szenarien „Kein Verbot   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ und „Verbot 2030   CO <sub>2</sub> -Preis mittel“ .....	26
Abbildung 15:	Neuzulassungsanteile von ZEV beim einem langsamen Hochlauf in den Verbotsszenarien für das Jahr 2035 und im Vergleich zum schnellen Hochlauf ...	28
Abbildung 16:	Bestandsanteile von ZEV bei einem langsamen ZEV-Hochlauf in den Verbotsszenarien sowie im Vergleich mit dem schnellen ZEV-Hochlauf.....	29
Abbildung 17:	Isolierte Klimawirkung des Verbots nach Einführungszeitpunkt und CO <sub>2</sub> -Preispfad bei einem langsamen ZEV-Hochlauf (kumuliert bis 2045) .....	30
Abbildung 18:	CO <sub>2</sub> -Emissionen des Pkw-Verkehrs für alle neun Szenarien bei einem langsamen und einem schnellen ZEV-Hochlauf (kumuliert bis 2045) .....	31

## Literaturverzeichnis

- Agora Verkehrswende (2022). E-Auto-Boom: Es kommt auf die Politik an. Blog-Beitrag.
- Antweiler, W., & Gulati, S. (2015). Scrapping for clean air: Emissions savings from the BC SCRAP-IT program. *Journal of Environmental Economics and management*, 71, 198-214.
- Beresteanu, A., & Li, S. (2011). Gasoline prices, government support, and the demand for hybrid vehicles in the United States. *International Economic Review*, 52(1), 161-182.
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrollen (BAFA) (2022). MineralölINFO Mai 2022 (Mineralölabsatz).  
[https://www.bafa.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Energie/Mineraloel/2022\\_05\\_mineraloelinfo.html;jsessionid=8C60DF789B12D1D4910AB6D8282F2CA7.1\\_cid378](https://www.bafa.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Energie/Mineraloel/2022_05_mineraloelinfo.html;jsessionid=8C60DF789B12D1D4910AB6D8282F2CA7.1_cid378). Abgerufen am 04.08.2022.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021). Wege für mehr Klimaschutz im Verkehr. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität. Arbeitsgruppe 1 „Klimaschutz im Verkehr“.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020). Energiewirtschaftliche Projektion und Folgeabschätzung 2030/2050. Prognos AG, Fraunhofer ISI, GWS, iinas.
- Davis, L. W., & Kahn, M. E. (2010). International trade in used vehicles: The environmental consequences of NAFTA. *American Economic Journal: Economic Policy*, 2(4), 58-82.
- Edenhofer, O., Flachsland, C., Kalkuhl, M., Knopf, B., Pahle, M. (2019). Optionen für eine CO<sub>2</sub>-Preisreform. MCC-PIK-Expertise für den Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung.
- Edmondson D., Flachsland C., aus dem Moore, N., Koch, N., Koller, F., Gruhl, H., Brehm, J., Levi, S. (2022). Assessing Climate Policy Instrument Mix Pathways: An application to the German light duty vehicle sector (Ariadne-Hintergrund). Kopernikus-Projekt Ariadne.
- Falck, O., Ebnet, M., Koenen, J., Dieler, J., & Wackerbauer, J. (2017). Auswirkungen eines Zulassungsverbots für Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor. ifo Forschungsbericht Nr. 87.
- Fridstrøm, L., Østli, V. (2021). Direct and cross price elasticities of demand for gasoline, diesel, hybrid and battery electric cars: the case of Norway. *European Transport Research Review*, 13(3).
- Greenpeace (2022). Die Fünf-Millionen-Lücke. Warum das E-Autoziel der Bundesregierung nicht reicht, um den Verkehr auf Klimakurs zu bringen. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH.
- Greenpeace (2021). Klimapaket Autoverkehr. Mit welchen Maßnahmen der Pkw-Verkehr in Deutschland auf Klimakurs kommt. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH.
- Holland, S. P., Mansur, E. T., & Yates, A. J. (2021). The electric vehicle transition and the economics of banning gasoline vehicles. *American Economic Journal: Economic Policy*, 13(3), 316-44.
- International Council on Clean Transportation (2021). Fit for 55: A review and evaluation of the European Commission proposal for amending the CO<sub>2</sub> targets for new cars and vans. ICCT briefing.
- International Council on Clean Transportation (2021). CO<sub>2</sub> emissions from new passenger cars in Europe: Car manufacturers' performance in 2020. ICCT briefing.
- Jaffe, A. B., Newell, R. G., and Stavins, R. N. (2002). Environmental Policy and Technological Change. *Environmental and Resource Economics*, 22(1): 41-70.
- Kalkuhl, M., Knopf, B., Edenhofer, O. (2021). CO<sub>2</sub>-Bepreisung: Mehr Klimaschutz mit mehr Gerechtigkeit. MCC-Arbeitspapier.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2022). Fahrzeugzulassungen (FZ 27). Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen, 1. April 2022.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2022). Fahrzeugzulassungen (FZ 28). Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen mit alternativem Antrieb, Monatsergebnisse März 2022.

- Li, S., Tong, L., Xing, J., & Zhou, Y. (2017). The market for electric vehicles: indirect network effects and policy design. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(1), 89-133.
- Mehlhart, G., Merz, C., Akkermans, L., & Jordal-Jorgensen, J. (2011). European Second-Hand Car Market Analysis, Final Report. Öko-Institut eV et COWI pour la Commission européenne, [http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/docs/2010\\_2nd\\_hand\\_car\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/docs/2010_2nd_hand_car_en.pdf).
- Muehlegger, E., & Rapson, D. (2018). Subsidizing mass adoption of electric vehicles: Quasi-experimental evidence from California. NBER Working Paper, (w25359).
- Pietzcker, R., Feuerhahn, J., Haywood, L., Knopf, B., Leukhardt, F., Luderer, G., Osorio, S., Pahle, M., Rodrigues, R. & Edenhofer, O. (2021). Notwendige CO<sub>2</sub>-Preise zum Erreichen des europäischen Klimaziels 2030 (Ariadne-Hintergrund). Kopernikus-Projekt Ariadne.
- Thielmann, A., Wietschel, M., Funke, S., Grimm, A., Hettesheimer, T., Langkau, S., Loibl, A., Moll, C., Neef, C., Plötz, P., Sievers, L., Espinoza, L. T., & Edler, J. (2020). Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Transport & Environment (2021). Electric car boom at risk: Why the current EU car CO<sub>2</sub> rules will do little to accelerate the switch to zero-emissions mobility.
- Umweltbundesamt (UBA) (2022). Daten der Treibhausgasemissionen des Jahres 2021 nach KSG. Emissionsübersichten in Sektoren.

## Anhang

		2020	2025	2030	2035	2040	2045
Benzinpreis [€/l]	CO <sub>2</sub> -Preis   niedrig	1,25	1,95	2,10	2,37	2,45	2,59
	CO <sub>2</sub> -Preis   mittel	1,25	1,95	2,42	2,84	3,07	3,36
	CO <sub>2</sub> -Preis   hoch	1,25	1,95	2,76	3,33	3,72	4,17
Dieselpreis [€/l]	CO <sub>2</sub> -Preis   niedrig	1,11	1,78	1,85	2,18	2,33	2,48
	CO <sub>2</sub> -Preis   mittel	1,11	1,78	2,21	2,71	3,03	3,34
	CO <sub>2</sub> -Preis   hoch	1,11	1,78	2,59	3,26	3,76	4,24
CO <sub>2</sub> -Preis [€/t CO <sub>2</sub> ]	CO <sub>2</sub> -Preis   niedrig	0	55	82	95	125	155
	CO <sub>2</sub> -Preis   mittel	0	55	180	263	346	429
	CO <sub>2</sub> -Preis   hoch	0	55	300	438	577	715
Strompreis [Cent/kWh]		35	35	35	35	35	35
Pkw-Bestand [Mio.]*		47,4	49,5	50,0	50,2	50,2	50,2
Beimischung CO <sub>2</sub> -neutraler Kraft- stoffe	Benzin	4%	4%	4%	4%	42%	100%
	Diesel	8%	8%	8%	8%	42%	100%

\* Der Pkw-Bestand wird für jedes Szenario endogen modelliert, dieser unterscheidet sich zwischen den Szenarien nur unwesentlich. Hier dargestellt ist der Bestand im Szenario „Kein Verbot | CO<sub>2</sub>-Preis mittel“.

Anhang 1: Entwicklung der nominalen Energiepreise, des nominalen CO<sub>2</sub>-Preises, des absoluten Pkw-Bestands und der Beimischung CO<sub>2</sub>-neutraler Kraftstoffe



Der rote Faden durch die Energiewende: Das Kopernikus-Projekt Ariadne führt durch einen gemeinsamen Lernprozess mit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, um Optionen zur Gestaltung der Energiewende zu erforschen und politischen Entscheidern wichtiges Orientierungswissen auf dem Weg zu einem klimaneutralen Deutschland bereitzustellen.

Folgen Sie dem Ariadnefaden:



@AriadneProjekt



Kopernikus-Projekt Ariadne



ariadneprojekt.de

Mehr zu den Kopernikus-Projekten des BMBF auf [kopernikus-projekte.de](https://www.kopernikus-projekte.de)

Wer ist Ariadne? In der griechischen Mythologie gelang Theseus durch den Faden der Ariadne die sichere Navigation durch das Labyrinth des Minotaurus. Dies ist die Leitidee für das Energiewende-Projekt Ariadne im Konsortium von mehr als 25 wissenschaftlichen Partnern. Wir sind Ariadne:

adelphi | Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg (BTU) | Deutsche Energie-Agentur (dena) | Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) | Ecologic Institute | Fraunhofer Cluster of Excellence Integrated Energy Systems (CINES) | Guidehouse Germany | Helmholtz-Zentrum Hereon | Hertie School | Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU) | ifok | Institut der deutschen Wirtschaft Köln | Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität | Institute For Advanced Sustainability Studies (IASS) | Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) | Öko-Institut | Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) | RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung | Stiftung KlimaWirtschaft | Stiftung Umweltenergierecht | Technische Universität Darmstadt | Technische Universität München | Universität Greifswald | Universität Hamburg | Universität Potsdam | Universität Stuttgart – Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) | ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung