

Joschka Flintz
Manuel Frondel
Marco Horvath

Diskussionspapier

**Emissionswirkungen der 2021 reformierten
Kfz-Steuer: Eine empirische Analyse**

Herausgeber

RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung
Hohenzollernstraße 1-3 | 45128 Essen, Germany
Fon: +49 201-81 49-0 | E-Mail: rwi@rwi-essen.de
www.rwi-essen.de

Vorstand

Prof. Dr. Dr. h. c. Christoph M. Schmidt (Präsident)
Prof. Dr. Thomas K. Bauer (Vizepräsident)
Dr. Stefan Rumpf

© RWI 2022

Der Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des RWI gestattet.

RWI Materialien Heft 154

Schriftleitung: Prof. Dr. Dr. h. c. Christoph M. Schmidt
Konzeption und Gestaltung: Julica Bracht, Claudia Lohkamp, Daniela Schwindt

Emissionswirkungen der 2021 reformierten Kfz-Steuer: Eine empirische Analyse

ISSN 1612-3573 - ISBN 978-3-96973-136-9

Materialien

Diskussionspapier

Joschka Flintz, Manuel Frondel und Marco Horvath

Emissionswirkungen der 2021 reformierten Kfz-Steuer: Eine empirische Analyse

Heft 154



Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über: <http://dnb.ddb.de> abrufbar.



Das RWI wird vom Bund und vom Land Nordrhein-Westfalen gefördert.

ISSN 1612-3573

ISBN 978-3-96973-136-9

Joschka Flintz, Manuel Frondel und Marco Horvath¹

Emissionswirkungen der 2021 reformierten Kfz-Steuer: Eine empirische Analyse

Zusammenfassung

Jüngst wurde die emissionsabhängige Komponente der Kfz-Steuer angepasst und progressiv gestaltet, sodass sich die Steuerbelastung für Fahrzeuge mit hoher Emissionsintensität überproportional erhöht hat. Vor diesem Hintergrund analysiert dieser Beitrag die Effektivität der reformierten Kfz-Steuer in Bezug auf ihre Lenkungswirkung und ihr Einsparpotential an Kohlendioxid (CO₂) mit Hilfe des diskreten Nachfragemodells von Berry et al. (1995). Dieses Modell ermöglicht eine realitätsnähere Darstellung der Nachfrageseite als Standard-Logit- oder Nested-Logit-Modelle. Unsere Schätzergebnisse zeigen, dass infolge der Reform jährlich ungefähr 21.000 Autos weniger verkauft werden, die mittlere CO₂-Intensität sich um 0,74 g/km verringert und der jährliche CO₂-Ausstoß neu gekaufter Fahrzeuge um rund 60.000 Tonnen sinkt. Diese geringen Effekte sind intuitiv verständlich: Eine durchschnittliche Steuererhöhung von rund 11 Euro für die Fahrzeughalter in Deutschland entfaltet nicht die Lenkungswirkung, derer es bedarf, um die Emissionen substantiell zu senken. Unsere Simulationsergebnisse einer fiktiven Kfz-Besteuerung mit stärker progressiven Steuersätzen, die eine mittlere Steuererhöhung von ca. 90 Euro zur Folge hätte, zeigen: Dies würde deutlich stärkere Effekte haben und die durchschnittlichen spezifischen CO₂-Emissionen neuer Autos um gut 5 g/km senken sowie die Anzahl an Neuzulassungen um rund 195.000 Pkw. Dadurch könnten jährlich rund 450.000 Tonnen CO₂ eingespart werden. Verglichen mit den jährlichen Emissionen der Autoflotte in Deutschland von ca. 100 Millionen Tonnen wären aber selbst die Effekte der fiktiven Kfz-Besteuerung mit höheren Steuersätzen recht begrenzt.

JEL Classification: D12, H23

Keywords: Zulassungsteuer; Automobilflotte; spezifische CO₂-Emissionen

September 2022

¹ Joschka Flintz, RUB und RWI; Manuel Frondel, RWI und RUB; Marco Horvath, RWI. – An dieser Stelle gilt unser herzlicher Dank Anna Alberini für Ihre Unterstützung bei der Datenarbeit. Wir danken zwei anonymen Gutachterinnen und Gutachtern für sehr hilfreiche Kommentare und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung dieses Beitrags im Rahmen des Kopernikus-Projekts Ariadne (FKZ 03SFK5C0) sowie der Projekte License (FKZ 01UT1701A) und Eval-Map II (FKZ 01LA1823A). – Korrespondenz: Manuel Frondel, RWI, Hohenzollernstr. 1-3, 45128 Essen, e-mail: manuel.frondel@rwi-essen.de

1 Einleitung

Die durch den privaten Automobilverkehr verursachten Emissionen sind für ungefähr 60% des Schadstoffausstoßes des Verkehrssektors verantwortlich (Destatis 2020). Der private Automobilverkehr nimmt somit eine Hauptrolle beim verkehrsbezogenen Ausstoß an Kohlendioxid (CO₂) ein. Ein Grund für den Anstieg der Emissionen des privaten Automobilverkehrs, welche zwischen 1995 und 2019 um rund 5% zunahm (Destatis 2020), ist die Zunahme der Fahrleistung, die seit 1995 um 20% gestiegen ist und Verbesserungen in der Umweltverträglichkeit von Pkw mehr als egalisiert hat (UBA 2021). Dies ist mit einer der Gründe, warum die Kraftfahrzeug-Steuer in Deutschland reformiert und die emissionsabhängige Komponente der Kfz-Steuer zu Beginn des Jahres 2021 so angepasst wurde, dass sich die Steuerbelastung für Fahrzeuge mit hoher Emissionsintensität erhöht. Seit 1. Januar 2021 steigt der zu entrichtende Kfz-Steuerbetrag nicht mehr nur linear mit der CO₂-Emissionsrate an, sondern progressiv.

Bezüglich der Effektivität dieser Steuerreform, die darauf abzielt, zu einer umweltfreundlicheren Komposition der Automobilflotte zu kommen, äußerten sich kritische Stimmen aus der Politik, von Umweltschutzverbänden sowie vom Bundesrechnungshof. Doch bereits vor dieser Steuerreform gab es Kritik an der deutschen Kfz-Steuer, denn im europäischen Vergleich liegt die durchschnittliche Kfz-Steuerbelastung bei einer annualisierten Betrachtung der Steuerbeträge traditionell im unteren Drittel. Für die hohe Besteuerung von Autobesitz in den europäischen Ländern des oberen Endes der Steuerbelastungs-Skala ist vor allem die beim Fahrzeugkauf anfallende Zulassungssteuer verantwortlich (Kunert 2018).

Eine Zulassungssteuer fällt in Ländern wie Dänemark, den Niederlanden und Irland an und wird zu Zwecken der Besteuerung des Autobesitzes einmalig beim Autokauf bezahlt, anstatt einer jährlich anfallenden Kfz-Steuer wie in Deutschland. Beispielweise musste in Dänemark im Jahr 2021 eine Zulassungssteuer von 85% des Kaufpreises gezahlt werden, wenn der Kaufpreis inklusive Mehrwertsteuer unter 202,200 Kronen (derzeit rund 27.000 Euro) lag (ACEA 2021). Lag der Kaufpreis darüber, musste für den darüber liegenden Betrag 150% Luxussteuer gezahlt werden. In Deutschland hingegen fällt bei der Registrierung eines neu gekauften Autos lediglich eine geringe Zulassungsgebühr in Höhe von ca. 26 Euro an.

Vor diesem Hintergrund analysiert dieser Beitrag die Effektivität der jüngsten Reform der Kfz-Steuer in Bezug auf ihre Lenkungswirkung und ihr CO₂-Einsparpotential mit Hilfe des diskreten Nachfragemodells von Berry et al. (1995). Im Vergleich etwa zu Conditional-Logit-Modellen gestattet das Modell von Berry et al. (1995) eine realistischere Abbildung der Heterogenität individueller Präferenzen. Unsere empirische Studie stellt daher eine methodische Ergänzung und Aktualisierung älterer Untersuchungen zu den Effekten früherer Reformen der deutschen Kfz-Steuer dar. Darüber hinaus werden die Auswirkungen einer von uns konzipierten fiktiven Variante des Kfz-Steuersystems mit höheren und progressiveren Steuersätzen simuliert, um das Emissionseinsparpotential einer stärker progressiven Besteuerung zu untersuchen. Als Datengrundlage dient ein umfangreicher Panel-Datensatz zu den monatlichen Fahrzeugneuzulassungen in Deutschland im Zeitraum von Januar 2011 bis April 2019 für praktisch alle Automarken und -modelle.

Unsere Schätzergebnisse stützen die Kritik an der jüngsten Reform der Kfz-Steuer: Bei geschätzt ungefähr 21.000 weniger verkauften Autos pro Jahr und einer Reduktion der mittleren CO₂-Intensität um 0,74 Gramm pro Kilometer sinkt der jährliche CO₂-Ausstoß neu gekaufter Fahrzeuge lediglich um rund 60.000 Tonnen. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass eine durchschnittliche Steuererhöhung von rund 11 Euro für die Fahrzeughalter in Deutschland nicht die Lenkungswirkung entfalten dürfte, derer es bedarf, um Emissionen substanziell zu senken. Die Schätzungen zur fiktiven Variante mit stärker progressiven Steuersätzen zeigen hingegen, dass eine progressivere Besteuerung ein effektiveres Instrument sein kann als die 2021 reformierte Kfz-Steuer: Bei einer mittleren Steuererhöhung von rund 90 Euro reduziert sich die durchschnittliche CO₂-Emissionsrate neu zugelassener Autos nach den Schätzergebnissen um gut 5 g/km.

Unsere empirische Analyse reiht sich ein in eine Vielzahl an Studien, die den Einfluss von Kfz-Steuerreformen auf die CO₂-Emissionen des privaten Automobilverkehrs untersuchen, beispielsweise von Alberini und Horvath (2021), Klier und Linn (2015) und Yan und Eskeland (2018). Für den deutschen Automarkt finden Klier und Linn (2015), Alberini und Horvath (2021) sowie Malina (2016) zwar positive Auswirkungen der CO₂-differenzierten Kfz-Besteuerung. Die Autoren schreiben den Steuerreformen allerdings nur moderate Effektgrößen und geringe Emissionseinsparungen zu. So schätzen Klier und Linn (2015) als Konsequenz der Einführung der emissionsabhängigen Steuerkomponente in Deutschland im Jahr 2009 eine

Reduktion des durchschnittlichen CO₂-Ausstoßes neu gekaufter Fahrzeuge um 1,67 g/km. In einer Simulation der Effekte der Revision der Kfz-Steuer im Jahr 2014 schätzt Malina (2016) auf Basis eines Nested-Logit-Modells, dass diese Reform im Vergleich zum Jahr 2008, dem Jahr vor Einführung der CO₂-Komponente in der Kfz-Besteuerung, die durchschnittliche Zahl an Neuregistrierungen von Pkw um 9.500 pro Jahr verringert hätte und die CO₂-Emissionen der Pkw-Flotte um 0,1 Prozent bzw. 35.000 Tonnen sinken würden.

Neben der Kfz-Steuer gibt es in Deutschland weitere steuerliche Instrumente, mit denen die negativen Effekte des Autoverkehrs und damit nicht zuletzt die Emissionen des Verkehrssektors reduziert werden sollen: die Energiesteuer auf Kraftstoffe sowie der im Jahr 2021 eingeführte CO₂-Preis. Während die Kfz-Steuer den Autobesitz besteuert, verteuern diese Verbrauchssteuern die Fahrzeugnutzung und kommen dementsprechend dem Verursacher-Prinzip der Europäischen Union am nächsten. Verbrauchssteuern sind verursachergerecht, weil der Kraftstoffverbrauch und der dazu proportionale CO₂-Ausstoß besteuert wird. Steuern auf Kraftstoffe gelten als effektiver in Bezug auf eine Reduktion der Emissionen als die Kfz-Steuer, da dadurch ein Anreiz geschaffen wird, sowohl die gefahrene Strecke zu reduzieren als auch den spezifischen Kraftstoffverbrauch je Kilometer. Zudem steigert die Besteuerung der Fahrzeugnutzung durch die Erhöhung der Kraftstoffpreise die Attraktivität emissionsarmer Fahrzeuge beim Autokauf (Cerutti et al., 2017, Alberini und Bareit, 2019, Vance und Mehlin, 2009).

Im Folgenden stellt Abschnitt 2 das deutsche Kfz-Steuersystem und seine Revisionen seit dem Jahr 2011 vor, während Abschnitt 3 die verwendeten Daten beschreibt. Im 4. Abschnitt werden die deskriptiven Ergebnisse zu den Autozulassungen in Deutschland im Beobachtungszeitraum Januar 2011 bis April 2019 vorgestellt, während Abschnitt 5 die empirische Strategie darstellt. Abschnitt 6 präsentiert die Schätzergebnisse, bevor im vorletzten Abschnitt die Resultate der kontrafaktischen Simulationen gezeigt werden. Der letzte Abschnitt fasst zusammen und zieht ein Fazit.

2 Das deutsche Kfz-Steuersystem

Zum 1. Juli 2009 trat in Deutschland ein Kfz-Steuermodell mit einer emissionsabhängigen Komponente in Kraft. Damit folgte Deutschland den Empfehlungen der Europäischen Union

und dem Beispiel vieler europäischer Mitgliedstaaten, die bereits zuvor eine CO₂-Komponente in ihr Kfz-Steuerregime integriert hatten. Die Bemessungsgrundlage der jährlichen Kfz-Steuer für Fahrzeuge, die erstmalig nach dem 1. Juli 2009 zugelassen wurden, setzt sich seither aus dem Hubraum, dem Motorentyp und der CO₂-Emissionsrate des Fahrzeuges zusammen. So fällt für jedes ausgestoßene Gramm CO₂ pro Kilometer über einem bestimmten Grenzwert eine Zahlung von 2 Euro an. Mit Einführung der CO₂-differenzierten Kfz-Steuer im Jahr 2009 wurde dieser Grenzwert auf 120 g/km festgelegt. Jeweils zum 1. Januar 2012 und 1. Januar 2014 wurden die Grenzwerte auf 110 g/km bzw. 95 g/km reduziert. Fahrzeuge mit Emissionen unterhalb des Grenzwertes von 95 g/km sind von der CO₂-Komponente der Kfz-Steuer nicht betroffen. Zur Förderung der Elektromobilität entfällt für Halter von Elektroautos die jährliche Kfz-Steuer für die ersten 10 Jahre nach Kauf des Fahrzeuges gänzlich. Für 100 Kubikzentimeter Hubraum müssen Fahrzeughalter eines Benziners hingegen 2 Euro pro Jahr zahlen, Besitzer eines Diesels 9,50 Euro.

Eine weitere Revision der Kfz-Besteuerung, bei der die Besteuerung des Hubraums sowie der Grenzwert der CO₂-Komponente von 95 g CO₂/km unverändert blieben, trat am 1. Januar 2021 in Kraft. Für danach zugelassene Fahrzeuge steigt demnach der zu entrichtende Steuerbetrag nicht mehr länger nur linear mit der Emissionsrate an, sondern progressiv in diskreten Sprüngen. Hierfür wurden die spezifischen CO₂-Emissionen pro Kilometer zwischen dem Grenzwert von 95 g/km und dem Schwellenwert von 195 g/km in fünf gleich große Intervalle der Länge 20 g/km unterteilt. Für die ersten 20 g/km oberhalb des Grenzwertes von 95 g/km zahlen Fahrzeughalter jährlich jeweils 2 Euro pro g/km, für die übrigen Intervalle steigen die Beträge sukzessive an; von 2,20, 2,50 und 2,90 auf 3,40 Euro (siehe Tabelle A1 im Anhang). Für jedes weitere Gramm über dem Schwellenwert von 195g/km fallen jeweils 4 Euro jährlich an. Beispielsweise berechnet sich für ein Fahrzeug mit einem spezifischen Ausstoß von 140 g/km der CO₂-abhängige Teil der Kfz-Steuer wie folgt: 20 Mal 2 Euro pro g/km für die spezifischen CO₂-Emissionen im Intervall von 96-115 g/km plus 20 Mal 2,20 Euro pro g/km für das Intervall von 116-135 g/km plus 5 Mal 2,50 Euro pro g/km zwischen 136 und 140 g/km.

In dem Zeitraum, über den sich unsere Datenbasis erstreckt, wurde ein neues Abgasprüfverfahren eingeführt: die Worldwide Harmonized Light Duty Vehicles Test Procedure (WLTP). Dieses Verfahren ersetzte den veralteten Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) als Methode zur Bestimmung des Fahrzeug-Schadstoffausstoßes und ist seit dem 1.

September 2017 vom Gesetzgeber EU-weit vorgeschrieben. Durch eine detailliertere Prüfung mit längerer Prüfungsdauer und -strecke sowie höheren Geschwindigkeiten, sowohl im Mittel als auch in der Spitze, erlaubt das WLTP-Verfahren eine realistischere Abbildung des Verbrauchs und Schadstoffausstoßes als die NEFZ-Methode. Die Berechnung der Kfz-Steuerbelastung basiert in Deutschland jedoch erst seit dem 1. September 2018 auf den Emissionswerten, die durch das WLTP berechnet werden (Bundesregierung 2018). Aufgrund der realitätsnäheren Messung der Abgaswerte mit dem WLTP-Verfahren erhöhte sich die Steuerbelastung für die meisten Autotypen (ADAC 2021). Die folgenden Abschätzungen der durchschnittlichen CO₂-Intensität und CO₂-Emissionen beruhen dennoch auf den Werten des NEFZ-Prüfverfahrens, da die WLTP-Ausstoßwerte nicht für die gesamte Beobachtungsperiode zur Verfügung stehen.

3 Datenbasis

Unsere empirische Analyse basiert auf einem umfangreichen unausgeglichene Panel-Datensatz, der die monatlichen Fahrzeugneuzulassungen in Deutschland für den Zeitraum von Januar 2011 bis April 2019 für praktisch alle Automarken- und -modelle enthält. Zudem beinhaltet der Datensatz Informationen zu Fahrzeugausstattung und -generation sowie zahlreiche andere Fahrzeugeigenschaften wie Hubraum, Gewicht, CO₂-Ausstoß und Kraftstoffverbrauch. Die Daten zu den Fahrzeugneuzulassungen wurden vom kommerziellen Datenanbieter IHS Markit erworben und durch Informationen von Eurostat über die monatsdurchschnittlichen Kraftstoffpreise in Deutschland ergänzt sowie durch Angaben der europäischen Umweltagentur zu den WLTP-Werten.

Im Fokus der Analyse steht die monatliche Anzahl an Neuzulassungen einer Vielzahl an Fahrzeugtypen mit unterschiedlicher Spezifikation. Diese bestimmt sich durch Marke, Modell, Variante, Ausstattung, Hubraum, PS, Karosserieform, Antriebsart (Benzin, Diesel, Hybrid, Elektro), Türenanzahl, Generationsjahr, Getriebe, Vorder-, Hinter- oder Allradantrieb sowie CO₂-Ausstoß und ist damit sehr eng gefasst. Mittels Informationen zu Kraftstoffverbräuchen und Kraftstoffpreisen sowie Hubraum und CO₂-Emissionswerten wurden als erklärende Variablen die Summe der Kraftstoffkosten und Kfz-Steuerbelastungen sowohl pro Jahr als auch über die Fahrzeugnutzungsdauer berechnet.

Die Berechnung der Gesamtkosten über die Nutzungsdauer eines Pkws basiert auf folgenden Annahmen: eine Nutzungsdauer von 13 Jahren, ein Zinssatz von 6% zur Diskontierung und eine jährlich gefahrene Strecke von ca. 10.600 Kilometern für Benziner und knapp 20.000 Kilometern für Autos mit Dieselantrieb. Darüber hinaus wird in Ermangelung von Informationen über die zukünftigen Kraftstoffpreise davon ausgegangen, dass sich die aktuellen Kraftstoffpreise über die Nutzungsdauer von 13 Jahren nicht verändern. Vor dem Hintergrund, dass die Kalkulation künftiger Kraftstoffkosten beim Erwerb des Fahrzeuges mutmaßlich auf den aktuellen Kraftstoffpreisen basiert, erscheint diese Annahme gerechtfertigt (Anderson et al., 2013). Keiner weiteren Annahme bedarf es hingegen bei der Berechnung der künftigen jährlichen Kfz-Steuerbelastung, da diese über die Nutzungsdauer unverändert bleibt, schließlich greifen Kfz-Steuerreformen nur bei neu gekauften Fahrzeugen.

Während im Datensatz ausschließlich Pkw mit weniger als 3.500 Kilogramm Gewicht und nicht mehr als neun Sitzen enthalten sind, liegt der Fokus dieses Beitrags auf Autos mit konventionellem Antrieb auf Basis von Diesel oder Benzin, regulären und Plug-in-Hybriden sowie Elektroautos. Fahrzeuge, die mit anderen Brennstoffen fahren, wie beispielsweise Wasserstoff oder Erdgas, sowie Automarken mit weniger als 10.000 verkauften Fahrzeugen pro Jahr wurden aufgrund mangelnder Verbreitung von der Analyse ausgeschlossen.

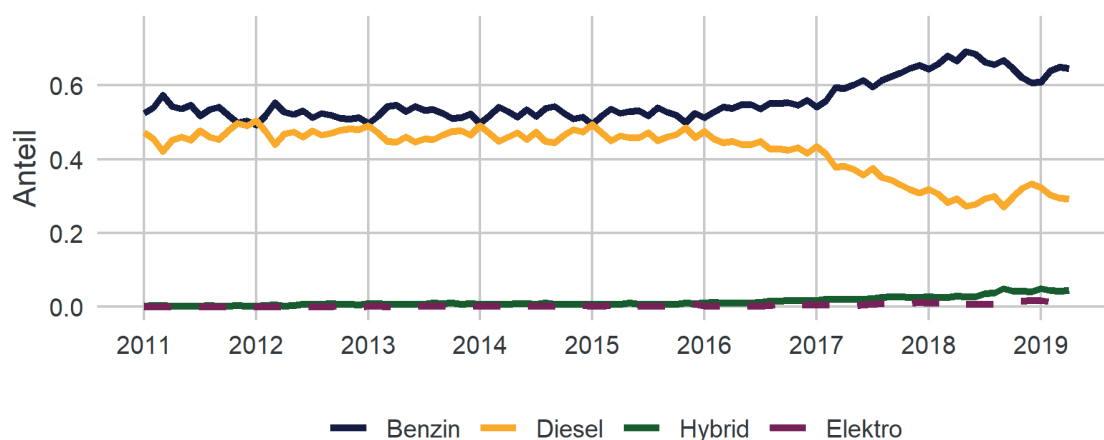
4 Deskriptive Ergebnisse zu den Neuzulassungen

Im Zeitraum von Januar 2011 bis April 2019 lag die Anzahl der verkauften Autos in Deutschland mit wenigen Ausnahmen fast jeden Monat zwischen 200.000 und 300.000 Pkw, wobei ein leichter Anstieg an Neuzulassungen zu verzeichnen war: Wurden im Jahr 2011 noch deutlich unter 3 Millionen Autos verkauft, stiegen die Verkaufszahlen auf rund 3,4 Millionen Fahrzeuge in den Jahren 2017 und 2018.

Der Anteil an Dieselfahrzeugen lag lange Zeit stabil bei ca. 46%, begann infolge des Diesel-Skandals Anfang 2016 aber nachhaltig zu fallen, auf einem Anteil von rund 30% in den Jahren 2018 und 2019. Spiegelbildlich zum Rückgang des Anteils an Dieselfahrzeugen nahm der Anteil der Benziner an den Neuzulassungen ab dem Jahr 2016 von 53% auf 64% im Jahr 2018 zu. Begleitet von der Einführung von Bonuszahlungen in Höhe von 3.000 bzw. 4.000 Euro für den Kauf von Hybrid- und Elektroautos ist zeitgleich eine moderate Erhöhung der Anteile

von Hybridautos und Elektrofahrzeugen an den Neuzulassungen zu beobachten (Abbildung 1): Lagen deren Anteile im Jahr 2011 bei lediglich 0,3% respektive 0,05%, waren es im Jahr 2018 rund 3,5% bzw. 1% aller verkauften Fahrzeuge. Zwar sind diese Anteile gering, der Aufwärtstrend hat sich aber bekanntermaßen in den vergangenen Jahren verstärkt fortgesetzt.

Abbildung 1: Anteile der Benzin-, Diesel-, Hybrid- und Elektrofahrzeuge an den monatlichen Neuzulassungen



Bemerkenswert ist auch der Aufwärtstrend in der mittleren Motorenleistung, die von 135 PS im Jahr 2011 auf ca. 152 PS in den Jahren 2018 und 2019 anstieg. In Kombination mit einer nachhaltigen Reduktion der durchschnittlichen Motorengröße der verkauften Neufahrzeuge um ca. 120 Kubikzentimeter, von 1.750 im Jahr 2011 auf 1.630 Kubikzentimeter in den Jahren 2018 und 2019, deutet die Leistungsverbesserung darauf hin, dass Autohersteller in der Lage sind, trotz kleinerer Motoren Fahrzeuge mit mehr Leistung zu bauen.

Dennoch ist aus Abbildung 2 ein substanzieller Rückgang des mittleren CO₂-Ausstoßes neu zugelassener Autos zu erkennen: Die spezifischen Emissionen sind von durchschnittlich 143 g/km im Jahr 2011 auf durchschnittlich 124 g/km im Jahr 2016 gesunken. Nach diesem Rückgang kam es in den Jahren 2016 und 2017 zu einer Stagnation, die wesentlich durch die fallenden Anteile von Dieselfahrzeugen verursacht wurde. Abbildung 2 verdeutlicht zudem die starke Diskrepanz zwischen den auf NEFZ-Basis ermittelten CO₂-Werten und den Werten, die im neuen WLTP-Testverfahren ermittelt werden. Im Durchschnitt sind die WLTP-

Emissionswerte der auf dem Markt erhältlichen Fahrzeuge um fast 30 g/km höher als die Werte aus dem NEFZ-Verfahren. Dieser Unterschied impliziert eine höhere Steuerbelastung um durchschnittlich rund 60 Euro pro Jahr.

Abbildung 2: Durchschnittliche spezifische CO₂-Emissionen (in Gramm pro Kilometer) für neu zugelassene Pkw im Zeitraum Januar 2011 bis April 2019

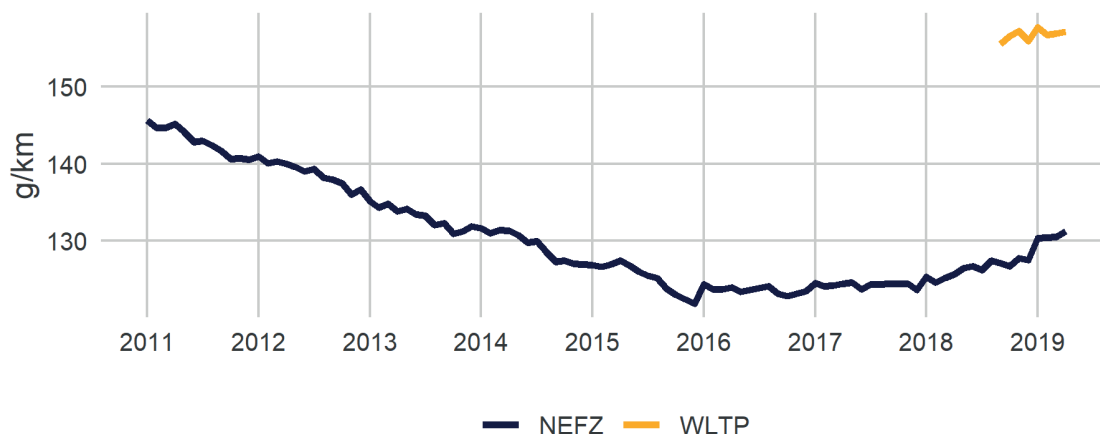
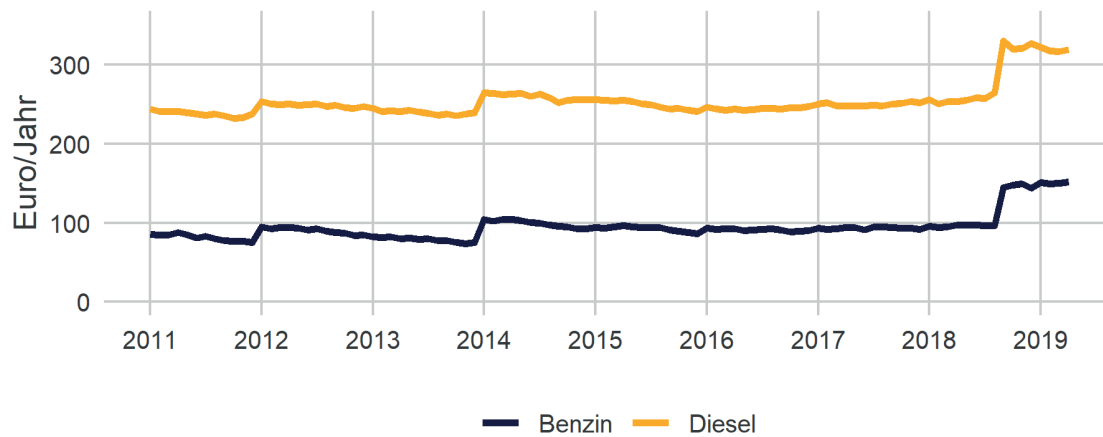


Abbildung 3 zeigt die mittlere jährliche Kfz-Steuerbelastung für neu gekaufte Autos und verdeutlicht die große Differenz in der Kfz-Steuerbelastung für Halter von Dieselfahrzeugen und Benzinern. Trotz des höheren CO₂-Ausstoßes von Benzinern zahlen Besitzer von Autos mit Ottomotor im Mittel fast 160 Euro weniger an Kfz-Steuern pro Jahr als Besitzer von Fahrzeugen mit Dieselmotor. Der Grund dafür ist die deutlich höhere Besteuerung des Hubraums von Dieselaautos.

Darüber hinaus zeigt Abbildung 3 den Einfluss der beiden Steuerrevisionen der Jahre 2012 und 2014. So führte die Reduktion des Grenzwertes im Jahr 2012 für Fahrzeuge mit einem spezifischen CO₂-Ausstoß von über 110 g/km zu einem Anstieg der jährlichen Kfz-Steuer von mindestens 20 Euro. Die Steuererhöhung im Jahr 2014 belief sich für Autos mit Emissionen über 95 g/km auf mindestens 30 Euro. Die Erhöhung der jährlichen Kfz-Steuerbelastung wurde in den auf die Steuerreformen folgenden Jahren durch eine Reduktion der CO₂-Emissionsrate und der Motorengröße der neu auf den Markt gebrachten Pkw in etwa ausgeglichen.

Abbildung 3: Durchschnittliche jährliche Steuerbelastung neu zugelassener Benzin- und Dieselfahrzeuge von Januar 2011 bis April 2019



Eine besonders starke durchschnittliche Kfz-Steuererhöhung ist mit der Einführung des WLTP-Verfahrens als Abgasermittlungsverfahren im September 2018 zu erkennen. Dies illustriert die große Diskrepanz zwischen den NEFZ- und WLTP-Werten. Insgesamt ist die durchschnittliche jährliche Kfz-Steuerbelastung für den Halter eines neu zugelassenen Autos zwischen Januar 2011 und April 2019 trotz sinkender Motorengröße und CO₂-Emissionen durch steuerliche Änderungen und die Einführung eines realistischeren Abgasprüfverfahrens um ca. 21% gestiegen, von 162 Euro im Jahr 2011 auf 196 Euro im Jahr 2019. Nichtsdestotrotz stellt die Belastung durch die Kfz-Steuer für die Autohalter in Deutschland lediglich einen kleinen Kostenfaktor dar, vor allem verglichen mit den Kraftstoffkosten: Im Durchschnitt zahlte der Käufer eines Neuwagens im Jahr 2019 196 Euro an Kfz-Steuern, die jährlichen Kraftstoffkosten lagen hingegen im Durchschnitt bei ungefähr 1.148 Euro.

5 Empirisches Modell

Für die empirischen Analyse wird das Nachfragemodell von Berry, Levinsohn und Pakes (1995), im Folgenden BLP-Modell genannt, benutzt, ein strukturelles Nachfragemodell, das auf Basis von Daten zum monatlichen Pkw-Absatz die Modellierung der diskreten Entscheidungssituation beim Autokauf auf Individualebene gestattet. Dabei muss sich ein Individuum für eines von mehreren Autos entscheiden oder aber es sieht gänzlich von einem

Autokauf ab. Unter Verwendung eines “Random Coefficient (RC) Logit”-Modells zur Modellierung dieser Entscheidungssituation erlaubt das BLP-Modell Variationen im Nutzen infolge unterschiedlicher Fahrzeugeigenschaften. Annahmegemäß ist dabei der Nutzen, den ein Individuum aus dem erworbenen Auto zieht, abhängig von den Fahrzeugcharakteristika. Im Vergleich zu klassischen Logit-Modellen gestattet das BLP-Modell somit eine realistischere Abbildung der Heterogenität individueller Präferenzen.

Die Erzielung dieses Vorteils ist allerdings mit einem sehr hohen rechnerischen Aufwand verbunden. Um die Rechenzeit zu reduzieren, wurden die ursprünglich vorhandenen Daten sowohl auf zeitlicher als auch auf Ebene der Beobachtungseinheiten aggregiert. Anstatt die monatlichen Verkaufszahlen für unterschiedliche Fahrzeugtypen zur Schätzung zu benutzen, wurden diese zu halbjährlichen Verkaufszahlen zusammengefasst und die Halbjahresintervalle von Januar 2011 bis Dezember 2018 betrachtet. Als Beobachtungseinheiten dienen fortan Fahrzeuge einer Spezifikation, die sich lediglich durch das Automodell, die Modellversion, Ausstattungslinie und die Antriebsart definiert, anstatt durch sämtliche Fahrzeugcharakteristika wie Modellvariante, Ausstattung, Hubraum, PS, Karosserieform, Türenanzahl, Generationsjahr, etc. Entsprechend stark reduziert sich die Anzahl an Beobachtungen, von rund 800.000 auf knapp 62.000.

Die aus der Schätzung des BLP-Modells resultierenden Elastizitäten und Kreuzelastizitäten der Nachfrage bezüglich der durch die Kfz-Steuer verursachten Kosten werden mit den Differenzen in der Kfz-Steuerbelastung zwischen dem faktischen und den kontrafaktischen Steuerregime multipliziert, um die Auswirkungen einer Änderung der Kfz-Steuer auf die mittlere CO₂-Intensität neu gekaufter Fahrzeuge zu berechnen. Die Elastizitäten werden, ebenso wie die Modell-Koeffizienten, mit dem R-Paket `BLPestimator` (Brunner et al., 2017) geschätzt.

5.1 Das BLP-Nachfragemodell

Dem Nachfrage-Modell von Berry et al. (1995) zu Grunde liegt eine individuelle Entscheidungssituation, in der sich Individuum i im Halbjahr h für einen von $j = 1, \dots, J$ verschiedenen Fahrzeugtypen entscheidet oder ganz von einem Autokauf absieht ($j = 0$). Es wird angenommen, dass Haushalte entsprechend ihrer Nutzenfunktion die Alternative wählen,

die ihren Nutzen maximiert. Der Nutzen, von einem Autokauf abzusehen ($j = 0$), wurde auf null normalisiert. Die Nutzenfunktion eines Haushaltes ist gegeben durch

$$u_{ijh} = x_{jh}\beta_i - \alpha_i p_{jh} - \gamma_i \text{jährliche Kosten} + \xi_{jh} + \varepsilon_{ijh} . \quad (1)$$

wobei der Vektor x Fahrzeugeigenschaften wie beispielsweise Motorenleistung (in PS je Tonne), und die Art der Antriebstechnologie umfasst (Tabelle A2 im Anhang listet die verwendeten Fahrzeugeigenschaften und die zugehörigen deskriptiven Statistiken auf). p steht für den Kaufpreis des Fahrzeuges und *jährliche Kosten* für die Summe aus den jährlichen Kraftstoffkosten und Steuerzahlungen. ξ repräsentiert Fahrzeugattribute, die dem potenziellen Autokäufer bewusst, allerdings nicht beobachtbar sind, zum Beispiel die Popularität des Automodells. Vektor β sind die zu den beobachtbaren Fahrzeugcharakteristika gehörigen Koeffizienten, α spiegelt den Grenznutzen des Geldes wider. γ ist der für die Analyse relevante Koeffizient und beschreibt den Effekt einer Veränderung der jährlichen Kosten. ε reflektiert zufällige Variation im Verhalten der Haushalte. Die Auswahl der erklärenden Variablen orientiert sich an Grigolon et al. (2018), Konishi und Zhao (2017) und Stitzing (2016).

Um die Robustheit der Ergebnisse unter anderem in Bezug auf die Rolle des gewählten Diskontsatzes von 6 % sowie die Bonuszahlungen für Hybrid- und Elektroautos zu überprüfen, wird dem BLP-Modell neben der Nutzenfunktion (1) eine zweite Nutzenfunktion zugrunde gelegt, in der die diskontierten Gesamtkosten, gegeben durch die Variable *KOSTEN*, anstelle der Summe aus den jährlichen Kraftstoffkosten und Steuerzahlungen, verwendet werden:¹

$$u_{ijh} = x_{jh}\beta_i - \alpha_i p_{jh} - \gamma_i \text{KOSTEN}_{jh} + \xi_{jh} + \varepsilon_{ijh} , \quad (1')$$

Das BLP-Modell ermöglicht die Modellierung der Heterogenität in den Präferenzen der Konsumenten für verschiedene Fahrzeugattribute und somit realistischere und flexiblere Substitutionsmuster als bei Verwendung von Standard-Logit-Modellen. Aufgrund der Nicht-Beobachtbarkeit der individuellen Präferenzen wird angenommen, dass die Präferenzen für

¹ Die jährliche Steuer von Elektrofahrzeugen wurde auf null gesetzt, die diskontierten Gesamtkosten beinhalten die jährlichen Steuerzahlungen von Elektroautos ab dem zehnten Jahr nach Anschaffung. Die Boni für den Kauf von Hybriden und Elektroautos wurden in den diskontierten Gesamtkosten berücksichtigt und nicht mit dem Listenpreis verrechnet. Demzufolge berücksichtigt Spezifikation (1') besagte Boni, während Spezifikation (1) diese außen vorlässt.

Attribute, sowie auch der Grenznutzen des Geldes und die diskontierten Gesamtkosten, einer Normalverteilung folgen. Demnach können die Koeffizienten wie folgt dargestellt werden:

$$\begin{pmatrix} \alpha_i \\ \beta_i \\ \gamma_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{\alpha} \\ \bar{\beta} \\ \bar{\gamma} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_\alpha & v_{\alpha i} \\ \sigma_\beta & v_{\beta i} \\ \sigma_\gamma & v_{\gamma i} \end{pmatrix} , \quad (2)$$

wobei der Parametersatz $\theta_1 := (\bar{\alpha}, \bar{\beta}, \bar{\gamma})'$ den mittleren Präferenzen über alle Haushalte entspricht, der Parametersatz $\theta_2 := (\sigma_\alpha, \sigma_\beta, \sigma_\gamma)'$ stellt die Abweichungen vom Durchschnitt dar und $v_i := (v_{\alpha i}, v_{\beta i}, v_{\gamma i})'$ reflektiert die Ziehung von unbeobachteten Konsumentencharakteristika aus Standard-Normalverteilungen. Der Nutzen, der Haushalt i aus dem Kauf von Fahrzeug j erwächst, lässt sich dementsprechend in die folgenden Komponenten zerlegen:

$$u_{ij} = \delta_j + \mu_{ij} + \varepsilon_{ij} , \quad (3)$$

wobei hier und im Folgenden zur Vereinfachung der Darstellung auf das Subskript h verzichtet wird und $\delta_j(\xi, \theta_1) = x_j \bar{\beta} - \bar{\alpha} p_j - \bar{\gamma} KOSTEN_j + \xi_j$ den durchschnittlichen Nutzen, den Fahrzeug j stiftet, darstellt. Dieser ist für alle Haushalte gleich. μ_{ij} beschreibt die Abweichung des Haushalt i vom Durchschnitt in Bezug auf die Bewertung von Fahrzeug j :

$$\mu_{ij}(v, \theta_2) = [x_j, p_j, KOSTEN_j] \sigma_{v_i} .$$

Die typische Annahme, dass ε einer Extremwert-Verteilung von Typ 1 folgt, führt zu der folgenden haushaltsspezifischen Wahrscheinlichkeit, dass Haushalt i sich für Fahrzeug j entscheidet:

$$Pr_j(\delta(\theta_1), \theta_2, v_i) = \frac{\exp(\delta_j + \mu_{ij})}{1 + \sum_{k=1}^J \exp(\delta_k + \mu_{ik})} . \quad (4)$$

Durch Integration der Entscheidungswahrscheinlichkeiten über die Verteilung der Präferenzen der Haushalte $F(v)$ ergeben sich die aggregierten Marktanteile:

$$S_j(\delta(\theta_1), \theta_2) = \int Pr_j(\delta(\theta_1), \theta_2, v) dF(v) = \int \frac{\exp(\delta_j + \mu_{ij})}{1 + \sum_{l=1}^J \exp(\delta_l + \mu_{il})} dF(v) . \quad (5)$$

Aufgrund des Fehlens einer analytischen Lösung für das Integral in Ausdruck (5) muss dieser numerisch approximiert werden:

$$S_j(\delta(\theta_1), \theta_2, \tilde{v}) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \frac{\exp(\delta_j + \mu_{ij})}{1 + \sum_{l=1}^J \exp(\delta_l + \mu_{il})} \cdot \quad (6)$$

Hierfür wird auf die „Modified latin hypercube sampling“-Methode mit $R = 750$ Ziehungen $\tilde{v} = [\tilde{v}_1, \dots, \tilde{v}_R]$ aus der Normalverteilung von v zurückgegriffen.

5.2 Das BLP-Schätzverfahren

Das von Berry et al. (1995) entwickelte Schätzverfahren besteht aus zwei ineinander verschachtelten Algorithmen: Der äußere Algorithmus minimiert eine "Generalized Method of Moments"-Zielfunktion über die Parameter θ_2 , während der innere Algorithmus — gegeben die Parameter θ_2 — die mittleren Nutzenwerte δ_j ermittelt —siehe bspw. Nevo (2000) oder Rasmusen et al. (2007) für eine detaillierte Beschreibung des BLP-Algorithmus. Für den inneren Algorithmus, dem "Contraction Mapping", wird sich zunutze gemacht, dass der durchschnittliche Nutzen δ_j eines Produktes als Indikator für seinen Marktanteil fungiert. Dementsprechend wird derjenige Wert δ_j gesucht, der für ein bestimmtes Set an Parametern der Konsumenten-Heterogenität v die geschätzten Marktanteile $S_j(\delta^k)$ mit den tatsächlichen, in den Daten beobachteten Marktanteilen S_j gleichsetzt. Dies wird iterativ gemacht: Zunächst wird für δ_j^k der Marktanteil $S_j(\delta^k)$ geschätzt, wobei k den Iterationsindex bezeichnet. Daraufhin wird die Nutzenkonstante durch Vergleichen der geschätzten und tatsächlichen Marktanteile so angepasst, bis die Differenz

$$\delta_j^{k+1} - \delta_j^k = \ln(S_j) - \ln(S_j(\delta^k)), \quad (7)$$

für alle Fahrzeuge einen festgelegten Grenzwert unterschreitet und der Algorithmus konvergiert.

Mit den ermittelten durchschnittlichen Nutzenwerten wird im Folgenden eine Instrumentvariablenansatz der folgenden Gleichung geschätzt:

$$\delta_j(\theta_1, \tilde{v}) = x_j \bar{\beta} - \bar{\alpha} p_j - \bar{\gamma} KOSTEN_j + \xi_j(\theta_1, \tilde{v}) \quad (8)$$

durchgeführt, um die Koeffizienten $\bar{\beta}$, $\bar{\alpha}$ und $\bar{\gamma}$ zu berechnen und den strukturellen Fehlerterm $\xi_j(\theta, \tilde{v})$, auf dessen Basis die Momente für die Generalized-Methods-of-Moments-Zielfunktion konstruiert werden, zu ermitteln. Aufgrund einer positiven Korrelation zwischen dem Fahrzeugpreis und den unbeobachtbaren Fahrzeugeigenschaften muss Gleichung (8) mit einem Instrumentvariablenansatz geschätzt werden. Unter der Annahme, dass ξ_j im Mittel unabhängig von den beobachteten Fahrzeugattributen ist, qualifiziert sich jede Funktion der beobachtbaren Autoeigenschaften als valides Instrument für den Fahrzeugpreis. Dem Beispiel von Berry et al. (1995) folgend nutzen wir jeweils die Summen der einzelnen beobachteten Fahrzeugcharakteristika von Fahrzeugen derselben Marke als Instrumente sowie die Summen der einzelnen Charakteristika von Fahrzeugen anderer Marken. Bei einer F-Statistik von 136,5 kann die Hypothese schwacher Instrumente beim üblichen Test zur Identifikation schwacher Instrumente von Staiger und Stock (1997) zurückgewiesen werden.

Aufgrund der Tatsache, dass die verwendeten Instrumente per Definition im Mittel unabhängig vom strukturellen Fehlerterm sind, ergeben sich die BLP-Moment-Bedingungen:

$$G_{\text{BLP}} = E[\xi(\theta, \tilde{v})'Z] ,$$

wobei Z die Matrix der Instrumentvariablen bezeichnet. Dementsprechend gilt es, die GMM-Zielfunktion durch eine Suche nach den Koeffizienten θ_2 zu minimieren:

$$\widehat{\theta}_2 = \min_{\theta_2} GWG' , \quad (9)$$

wobei $W = Z'Z$ eine Gewichtungsmatrix ist, die auf der Matrix der Instrumentalvariablen Z basiert. Für jeden Kandidaten θ_2^k des Minimierungsprozesses (9), und mit den berechneten Werten für δ_j^k aus dem „Contraction mapping“ als Ausgangspunkt, beginnt der Algorithmus wieder von vorn und der beschriebene Prozess wiederholt sich, bis der Algorithmus konvergiert.

5.3 Simulation der Effekte fiktiver Steuersysteme

Um die Effekte des 2021 in Kraft getretenen sowie des unterstellten fiktiven Kfz-Steuersystems mit höheren und progressiveren Steuersätzen auf die CO₂-Emissionen und die Verteilung der neu zugelassenen Fahrzeuge zu untersuchen, werden die im BLP-Modell geschätzten

Elastizitäten und Kreuzelastizitäten der jährlichen Kosten in Bezug auf die Automobilnachfrage mit der prozentualen Differenz zwischen den jährlichen Kosten unter dem kontrafaktischen Kfz-Steuerregime und dem tatsächlich vorherrschenden Steuerregime multipliziert. Die daraus resultierende prozentuale Änderung der Zulassungszahlen wird mit den tatsächlichen Verkaufszahlen multipliziert, um die hypothetischen Zulassungszahlen zu erhalten. Auf diese Weise erhält man ein kontrafaktisches Szenario, welches das Kaufverhalten der Haushalte unter der Annahme einer kontrafaktischen Kfz-Steuer beschreibt. Der Unterschied in den Emissionen bzw. der mittleren Steuerbelastung zwischen Realität und kontrafaktischem Szenario wird als Effekt des kontrafaktischen Steuersystems interpretiert.

Die Abschätzung der hypothetischen Auswirkungen verschiedener Kfz-Steuerregime ist stark abhängig von den geschätzten Elastizitäten. Hierbei erweist sich das BLP-Modell als besonders wertvoll: Während bei Verwendung eines Standard-Logit-Modells Kreuzelastizitäten lediglich von der Größe der Marktanteile abhängen, werden im BLP-Modell die Präferenzen der Konsumenten auf die Fahrzeugattribute projiziert und es ergeben sich flexiblere Substitutionsmuster bzw. Elastizitäten und Kreuzelastizitäten. Infolgedessen basiert die Substitution zwischen Fahrzeugen auf der Ähnlichkeit der Autoeigenschaften und ermöglicht damit eine realitätsnähere Darstellung der Nachfrageseite (Nevo, 2000).

6 Empirische Ergebnisse

Tabelle 1 dokumentiert die Ergebnisse der Schätzungen der beiden Random-Coefficient-Logit-Modelle, die auf den strukturellen Nachfragemodellen (1) und (1') beruhen. Die Schätzwerte für den Koeffizienten-Satz $\theta_1 = (\bar{\alpha}, \bar{\beta}, \bar{\gamma})'$, die in der oberen Tabellenhälfte dargestellt sind, können als durchschnittlicher Nutzengewinn aufgrund einer bestimmten Fahrzeugeigenschaft, gemittelt über alle Individuen hinweg, interpretiert werden. Die mittleren Abweichungen vom durchschnittlichen Nutzen sind durch die Schätzwerte des Parameter-Satzes $\theta_2 = (\sigma_\alpha, \sigma_\beta, \sigma_\gamma)'$ in der unteren Tabellenhälfte angegeben. Diese Schätzwerte dienen als Indikatoren für die Heterogenität in der individuellen Bewertung der Fahrzeugeigenschaften und bilden einen der Mehrwerte des BLP-Modells gegenüber klassischen Logit-Modellen.

Tabelle 1: Ergebnisse der Schätzung von Random-Coefficient-Logit-Modellen basierend auf den strukturellen Nachfragegleichungen (1) und (1')

	Gleichung (1)		Gleichung (1')	
	Koeffizient	Std. Fehler	Koeffizient	Std. Fehler
<i>Durchschnittlicher Nutzen</i>				
Fahrzeugpreis (1.000€)	-0,3865**	(0,0477)	-0,3495**	(0,0325)
Gesamtkosten (1.000€)	-	-	-0,1764**	(0,0102)
jährl. Kosten (100€)	-0,1737**	(0,0097)	-	-
PS/t	-0,0445**	(0,0091)	-0,0425**	(0,0072)
Fahrzeuggröße (qm)	0,3051**	(0,0869)	0,0892	(0,1019)
Automatikgetriebe	0,4786**	(0,1388)	0,7876**	(0,0736)
Benziner	-0,4708**	(0,0702)	-0,4414**	(0,0664)
<i>Standardabweichung</i>				
Fahrzeugpreis (1.000€)	0,1779**	(0,0228)	0,1761**	(0,0169)
Gesamtkosten (1.000€)	-	-	0,0150	(0,0114)
jährl. Kosten (100€)	0,0047	(0,0121)	-	-
PS/t	0,0207**	(0,0029)	0,0010**	(0,0018)
Fahrzeuggröße (qm)	0,1364**	(0,0235)	0,5630**	(0,0617)
Automatikgetriebe	0,9042**	(0,0001)	0,1217	(0,3003)
Beobachtungen	61.852		61.852	

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Modellschätzung mit robusten Standardfehlern. Nicht dargestellt sind die Ergebnisse zu Automodell und Verkaufsjahr.

Die statistisch signifikant negativen Schätzwerte für die Koeffizienten für Fahrzeugpreis und jährliche Kosten zeigen den Nutzenverlust, der mit höheren Preisen bzw. Kostenbelastungen verbunden ist. Der im Vergleich zu steigenden Kosten ungefähr doppelt so hohe durchschnittliche Nutzenverlust infolge steigender Preise ist damit zu erklären, dass Autokäufer in ihrer Entscheidung unmittelbar anfallende Zahlungen stärker bewerten als künftig anfallende Kosten. Der negative Schätzwert für den durchschnittlichen Nutzen von Benzinern weist auf eine Präferenz für Diesel-, Hybrid- und Elektroautos hin, die in diesen Schätzungen die Referenzgruppe darstellen. Darüber hinaus deutet der positive Koeffizient für Automatikgetriebe darauf hin, dass Konsumenten Automatikgetriebe bevorzugen.

Für die mittleren Abweichungen vom durchschnittlichen Nutzen sind die Schätzwerte für Kaufpreis, PS pro Tonne, Fahrzeuggröße und Automatikgetriebe statistisch signifikant auf dem 1%-Signifikanzniveau. Die geschätzte Standardabweichung für den Fahrzeugpreis ist hoch und

zeigt ein großes Maß an Heterogenität in der Preissensitivität der Haushalte an. Die geschätzte Standardabweichung für die jährlichen Kosten fällt gering aus und ist nicht statistisch signifikant. Dies lässt darauf schließen, dass sich Haushalte in ihrer Bewertung zukünftiger Kosten nicht stark unterscheiden. Die Schätzwerte für Autogröße und PS pro Tonne deuten auf stark heterogene Nutzenverluste und -gewinne bei Änderungen in Fahrzeuggröße und -leistung hin.

Die Ergebnisse der Schätzung von Gleichung (1') ähneln denen des auf Gleichung (1) beruhenden BLP-Modells stark: Konsumenten schätzen Benziner weniger als Diesel-, Elektro- und Hybridautos und haben nach diesem Modell auch – den positiven signifikanten Fahrzeuggröße-Koeffizienten – eine Präferenz für größere Autos. Die geschätzten Koeffizienten für den Fahrzeugpreis sind ebenfalls vergleichbar.

Zur Überprüfung der Robustheit der Ergebnisse werden die Gleichungen (1) und (1') mit Standard-Logit-Methoden geschätzt (Tabellen A3 und A4 im Anhang), einerseits auf Basis der aggregierten Daten und andererseits auf Grundlage des gesamten Datensatzes. Der Vergleich der Standard-Logit-Ergebnisse mit denen des BLP-Modells zeigt in qualitativer Hinsicht keine Unterschiede. Jedoch liegen bei den BLP-Modellen die geschätzten Effekte der diskontierten Gesamtkosten und der jährlichen Kostenbelastung deutlich höher als bei den Standard-Logit-Modellen, während der geschätzte Koeffizient für den Fahrzeugpreis leicht geringer ausfällt. Geringe Unterschiede ergeben sich hingegen beim Vergleich der Standard-Logit-Schätzungen der unterschiedlichen Modellspezifikationen entsprechend den Gleichungen (1) und (1').

7 Kontrafaktische Analyse

In diesem Abschnitt werden die hypothetischen Effekte der im Jahr 2021 in Kraft getretenen Kfz-Steuerreform, angewandt auf die Verhältnisse des Jahres 2018, sowie der fiktiven Variante der Kfz-Steuer mit progressiveren Steuersätzen als bei der Reform des Jahres 2021 mit den tatsächlichen Werten für das Jahr 2018 verglichen (Tabelle 2). Der Vergleich mit den tatsächlichen Werten aus dem Jahr 2018 zeigt einen äußerst geringen Effekt der jüngsten Reform des Kfz-Steuersystems: Wäre die 2021 in Kraft getretene Kfz-Steuer bereits 2018 gültig gewesen (kontrafaktisches Szenario 1), hätte es einen Rückgang der jährlichen Neuzulassungszahlen um knapp 21.000 Fahrzeuge gegeben bzw. um rund 0,7%. In Verbindung

mit einer Reduktion der durchschnittlichen spezifischen CO₂-Emissionen um 0,74 g/km führt dies zu einer hypothetischen Minderung des jährlichen CO₂-Ausstoßes um etwa 60.000 Tonnen pro Jahr bzw. 1,2%. Einhergehend mit den höheren Steuersätzen der Kfz-Steuerreform von 2021 steigt die durchschnittliche jährliche Steuerbelastung hypothetisch um ca. 11 Euro, auf rund 154 Euro, und führt damit zu einer hypothetischen Erhöhung der jährlichen Steuereinnahmen um etwa 30 Mio. Euro bzw. um 7%. Zur Einordnung: Die Anzahl verkaufter Autos lag im Jahr 2018 bei gut drei Millionen, die CO₂-Intensität eines neu gekauften Autos betrug im Durchschnitt 126,6 g/km und die mittlere jährliche Steuerbelastung für den Käufer eines Neuwagens belief sich auf 143 Euro. Die 2018 verkauften Autos sind Jahr für Jahr für CO₂-Emissionen in Höhe von rund 5,2 Mio. Tonnen verantwortlich.

Tabelle 2: Ergebnisse der kontrafaktischen Analyse für das Jahr 2018 basierend auf der Schätzung eines Random-Coefficient-Logit-Modells nach Gleichung (1)²

	Jahr 2018	Szenario 1	Szenario 2
Anzahl verkaufter Autos (Mio.)	3,026	3,006	2,832
mittlere CO ₂ -Intensität (g/km)	126,64	125,90	121,50
Anteil Elektroautos (%)	1,07	1,09	1,29
Anteil Hybrid (%)	1,41	1,43	1,84
Anteil Diesel (%)	30,78	30,90	32,77
Anteil Benzin (%)	66,75	66,58	64,10
jährl. CO ₂ -Emissionen (Mio. t)	5,21	5,14	4,75
jährl. Steuereinnahmen (Mio. €)	433,10	463,13	659,86
durchschnittl. Jährl. Steuer (€)	143,10	154,09	233,04

Das zweite kontrafaktische Szenario adressiert die Auswirkungen einer deutlich stärker emissionsorientierten, fiktiven Variante der Kfz-Besteuerung, die in Tabelle A1 im Anhang dargestellt ist. Mit einem fiktiven Steuersatz von 4 Euro pro Jahr für die ersten 20 g/km über dem Grenzwert von 95 g/km ist dieser doppelt so hoch als der aktuell gültige Steuersatz von 2 Euro je zusätzlichem Gramm. Diese fiktive Variante führt zu einer hypothetischen Erhöhung der durchschnittlichen jährlichen Steuerbelastung um ca. 63% bzw. um etwa 90 Euro auf rund

² Die in Tabelle 2 präsentierten Simulationsergebnisse beruhen auf der Schätzung eines Random-Coefficient-Logit-Modells auf Basis von Gleichung (1) und ähneln den entsprechenden Simulationsergebnissen, die durch die Schätzung eines Random-Coefficient-Logit-Modells auf Basis von Gleichung (1') gewonnen wurden, sehr stark (siehe Tabelle A5 im Anhang).

233 Euro und reduziert die Anzahl an Fahrzeugneuzulassungen um ca. 195.000 Stück bzw. rund 6% (Tabelle 2). Die mittleren spezifischen CO₂-Emissionen sinken entsprechend um 5,14 auf 121,5 g/km. Daraus ergeben sich fiktive jährliche CO₂-Einsparungen in Höhe von ca. 450.000 Tonnen und hypothetische jährliche Zusatzeinnahmen des Staates von rund 227 Mio. Euro.

Diese kontrafaktischen Berechnungen zeigen auch, dass keines der beiden betrachteten Besteuerungsmodelle eine spürbare Änderung in der Verteilung der Antriebsarten bei Neuzulassungen herbeiführen kann. Zwar steigen die Anteile von Elektroautos und Hybridfahrzeugen durch die Einführung progressiver Kfz-Steuern, die Anstiege fallen allerdings gering aus (jeweils unter 0,5 Prozentpunkten). Im zweiten Szenario ist zudem ein Rückgang des Anteils an Benzinern zu Gunsten eines um 2% erhöhten Anteils an Dieselfahrzeugen zu beobachten. Der höhere Dieselanteil als Konsequenz einer stärker CO₂-abhängigen Kfz-Besteuerung deckt sich mit den Erkenntnissen anderer Studien, u. a. Gerlagh et al. (2018), Giblin und McNabola (2009) und Ciccone (2018).

Summa summarum zeigen die Ergebnisse von Szenario 1 einen geringen Effekt der jüngsten Kfz-Steuer-Reform. Dies ist in Anbetracht einer Erhöhung der mittleren jährlichen Besteuerung in Höhe von rund 11 Euro wenig überraschend. Im Gegenteil: Die mutmaßlichen Auswirkungen erscheinen angesichts der mäßigen Steigerung der Kostenbelastung verhältnismäßig groß. Die Ergebnisse einer fiktiven Erhöhung der Steuersätze gemäß dem zweiten Szenario deuten darauf hin, dass das Konzept einer stärker progressiven Kfz-Steuer funktionieren könnte: Ein starker Rückgang in den geschätzten Verkaufszahlen und beim durchschnittlichen CO₂-Ausstoß deuten auf ein hohes Maß an Lenkungswirkung hin. Bei einer zusätzlichen jährlichen Kostenbelastung von rund 90 Euro, dem Gegenwert von etwa einer Tankfüllung, verspräche eine Kfz-Besteuerung nach dem zweiten Szenario ein verhältnismäßig großes CO₂-Einsparungspotential.

Unsere Ergebnisse sind aus mehreren Gründen zu relativieren. Erstens stellen diese aufgrund der Verwendung der veralteten NEFZ-Werte für den CO₂-Ausstoß anstelle der höheren WLTP-Werte eher konservative Schätzungen dar. Zweitens sind andererseits mögliche Rebound-Effekte, die das Einsparungspotential der Kfz-Besteuerung verringern, außer Acht gelassen worden. Diese Vorgehensweise erscheint jedoch zumindest für das erste Szenario gerechtfertigt, denn bei den damit verbundenen moderaten Effizienzverbesserungen dürfte der

Rebound-Effekt nur sehr gering ausfallen. Rebound-Effekte bezeichnen die infolge von Energieeffizienzverbesserungen auftretenden Verhaltensänderungen, die einen Teil der theoretisch möglichen Einsparung an Energie wieder zunichtemachen (Fronde, Vance 2013, 2018, Fronde et al. 2008, 2012).

Drittens sind die Reaktionen der Produzenten auf die Kfz-Steueränderungen nicht berücksichtigt worden. Diese dürften im Gegensatz zu den in der Regel hohen Zulassungssteuern allerdings eher gering ausfallen. Viertens führt die Reduktion in den Neuzulassungen infolge der höheren Kfz-Besteuerung mutmaßlich zu einer erhöhten Nachfrage auf dem Gebrauchtwagenmarkt und einer geringeren Verschrottungsrate alter Fahrzeuge. Für eine ganzheitliche Analyse des Emissionseinsparungspotentials einer Kfz-Steuerreform bedarf es folglich der Berücksichtigung des Gebrauchtwagenmarktes und der Verschrottungsrate alter Autos. Dementsprechend sind die hier präsentierten Emissionseinsparungen bei neugekauften Autos nicht mit den CO₂-Einsparungen der gesamten Autoflotte in Deutschland gleichzusetzen.

Abschließend gilt es zu betonen, dass die hier präsentierten Simulationsergebnisse lediglich den Einfluss der Kfz-Steueränderungen auf im Jahr 2018 neu gekaufte Fahrzeuge wiedergeben. Es ist aber zu bedenken, dass ähnlich große Emissionseinsparungen auch für die Folgejahre gelten. Darüber hinaus sorgt die Kfz-Steuerreform auch für eine Verringerung der Anzahl an neu verkauften Autos in den Folgejahren sowie für eine verbesserte Energieeffizienz der neu zugelassenen Autos. Dadurch erhöht sich der Emissionseinspareffekt der Kfz-Steuerreform Jahr für Jahr.

Nichtsdestotrotz verdeutlicht ein Vergleich mit den jährlichen Emissionen der Autoflotte in Deutschland von ca. 100 Millionen Tonnen, dass selbst die Effekte einer progressiven Kfz-Besteuerung mit höheren Steuersätzen sehr begrenzt wären:³ In Szenario 2 reduziert sich der jährliche CO₂-Ausstoß neu zugelassener Autos lediglich um knapp eine halbe Million Tonnen. Ein wesentlicher Grund für den geringen CO₂-Minderungseffekt der Kfz-Besteuerung ist die Tatsache, dass jede Kfz-Steuerreform nur für Neuwagen gilt. Für bereits zugelassene Autos und

³ Aus dem CO₂-Ausstoß des Verkehrssektors von rund 164 Mio. Tonnen, an denen der Pkw-Verkehr einen Anteil von etwa 60% hat, ergibt sich, dass die CO₂-Emissionen der Pkw-Flotte in Deutschland rund 100 Mio. Tonnen betragen.

den Gebrauchtwagenmarkt ändert sich hingegen grundsätzlich nichts. Dementsprechend kann es viele Jahre dauern, bis der Effekt einer Kfz-Steueränderung die durch die Pkw-Flotte verursachten Emissionen substanziell reduziert.

8 Zusammenfassung und Fazit

Mit Beginn des Jahres 2021 trat in Deutschland im Rahmen eines von der Bundesregierung verabschiedeten Maßnahmenpakets zur Reduktion der Pkw-Emissionen eine Kfz-Steuerreform in Kraft. Demnach steigt der jährlich zu entrichtende Steuerbetrag für neu zugelassene Fahrzeuge nicht mehr länger nur linear mit den spezifischen Emissionen je gefahrenem Kilometer an, sondern progressiv. Durch die höhere Steuerbelastung für Autos mit hohen spezifischen Emissionswerten soll der Kauf von umweltfreundlicheren Fahrzeugen gefördert werden. Allerdings fällt die Erhöhung der jährlichen Steuerlast mit durchschnittlich etwa 11 Euro ziemlich gering aus. Dies gab Anlass zu Kritik an der Effektivität dieser Steuerreform.

Vor diesem Hintergrund hat dieser Beitrag mittels kontrafaktischer Szenarien die Effektivität des seit 2021 gültigen Kfz-Steuersystems untersucht sowie die einer fiktiven Steuererhöhung mit höheren, stärker progressiven Steuersätzen. Die empirische Analyse basiert auf einem Nachfragemodell von Berry et al. (1995), das die Modellierung der diskreten Entscheidungssituation eines Individuums beim Autokauf mittels auf Marktebene aggregierter Daten ermöglicht. Aufgrund realitätsnaher Substitutionsmuster unter Berücksichtigung der Fahrzeugattribute eignet sich dieses Modell besonders gut für die in diesem Beitrag vorgenommenen kontrafaktischen Analysen.

Die durch die Kfz-Steuerreform von 2021 implizierte Steuererhöhung fällt relativ gering aus, sodass eine deutliche Nachfrageverschiebung hin zu emissionsärmeren Autos und somit eine substanzielle Reduktion der CO₂-Emissionen auch nicht zu erwarten war. Diese Erwartung wird durch die empirischen Ergebnisse bestätigt: Insgesamt beläuft sich die mit der Reform verbundene jährliche CO₂-Ersparnis auf gerade einmal etwa 60.000 Tonnen.

Dass eine progressive jährliche Steuer nichtsdestoweniger ein effektiverer Ansatz sein kann, zeigt die Simulation einer fiktiven Kfz-Besteuerung mit höheren, progressiveren Steuersätzen: Eine mittlere Steuererhöhung von ca. 90 Euro würde nicht nur die durchschnittlichen

spezifischen CO₂-Emissionen neuer Autos um gut 5 g/km senken, sondern auch die Anzahl an Neuzulassungen um rund 195.000 Pkw reduzieren. Durch beide Effekte könnten jährlich rund 450.000 Tonnen CO₂ eingespart werden. Noch deutlich stärkere Effekte wären zu erwarten, wenn die Kfz-Steuersätze Größenordnungen annehmen würden, die in Summe über die Lebensdauer des Pkw hinweg den Zulassungssteuern von Ländern wie Dänemark entsprechen würden. Es ist allerdings kaum vorstellbar, dass eine derart hohe Kfz-Besteuerung in Deutschland politisch durchsetzbar wäre.

Die Robustheit der in diesem Beitrag dargestellten Ergebnisse sollte in zukünftiger Forschung auf Basis weniger stark aggregierter Daten und unter Benutzung der WLTP-, statt der NEFZ-Emissionswerte überprüft werden. Darüber hinaus sollte zur vollständigen Analyse des Emissionseinsparpotentials der Kfz-Besteuerung neben dem Neuwagen- auch der Gebrauchtwagenmarkt und die Verschrottungsrate alter Fahrzeuge berücksichtigt werden (siehe bspw. Bento et al. 2009).

Appendix

Tabelle A1: CO₂-abhängige Komponente der Kfz-Steuer in der aktuell gültigen und früheren Version sowie in einer fiktiven Variante

Steuersystem		Steuersatz
Ab 2014 gültige Kfz-Steuer	über 95 g/km CO ₂ :	2,0€
2021 in Kraft getretene Kfz-Steuer	96-115 g/km CO ₂ :	2,0€
	116-135 g/km CO ₂ :	2,2€
	136-155 g/km CO ₂ :	2,5€
	156-175 g/km CO ₂ :	2,9€
	176-195 g/km CO ₂ :	3,4€
	Über 195 g/km CO ₂ :	4,0€
Fiktive Variante der Kfz-Steuer	96-115 g/km CO ₂ :	4,0€
	116-135 g/km CO ₂ :	6,0€
	136-155 g/km CO ₂ :	8,0€
	156-175 g/km CO ₂ :	10,0€
	176-195 g/km CO ₂ :	12,0€
	Über 195 g/km CO ₂ :	14,0€

Tabelle A2: Deskriptive Statistiken zu den in den Regressionen verwendeten wesentlichen erklärenden Variablen

	Aggregierte Daten		Alle Daten	
	Mittelwert	Standard-abweichung	Mittelwert	Standard-abweichung
Fahrzeugpreis (€)	35.0310	26.173	33.588	20.317
Gesamtkosten (€)	12.693	4.523	12.392	4.230
jährl. Kosten (€)	1.434	506	1.389	476
PS/t	79,1	34,5	77,5	30,6
Fahrzeuggröße (qm)	8,00	0,96	8,02	0,93
Automatikgetriebe	0,34	-	0,42	-
Benziner	0,54	-	0,52	-
Beobachtungen	61.852		794.650	

Tabelle A3: Schätzergebnisse für Conditional-Logit-Modelle mit allen Daten

	Gleichung (1)		Gleichung (1')	
	Koeffizient	Std. Fehler	Koeffizient	Std. Fehler
Fahrzeugpreis (1.000€)	-0,0927**	(0,0018)	-0,0928**	(0,0018)
Gesamtkosten (1.000€)	-	-	-0,0337**	(0,0011)
jährl. Kosten (100€)	-0,0278**	(0,0010)	-	-
PS/t	0,0246**	(0,0005)	0,0248**	(0,0005)
Fahrzeuggröße (qm)	0,3902**	(0,0166)	0,3905**	(0,0167)
Automatikgetriebe	-0,1275**	(0,0051)	-0,1263**	(0,0051)
Benziner	-0,4111**	(0,0080)	-0,4180**	(0,0081)
Beobachtungen	794.650		794.650	
R2	0,088		0,088	
Adj. R2	0,088		0,088	

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

robuste Standardfehler; nicht dargestellt sind die Ergebnisse zu Automodell und Verkaufsjahr.

Tabelle A4: Schätzergebnisse für Conditional-Logit-Modelle mit den aggregierten Daten

	Gleichung (1)		Gleichung (1')	
	Koeffizient	Std. Fehler	Koeffizient	Std. Fehler
Fahrzeugpreis (1.000€)	-0,0736**	(0,0079)	-0,0726**	(0,0079)
Gesamtkosten (1.000€)	-	-	-0,1263**	(0,0048)
jährl. Kosten (100€)	-0,1192**	(0,0045)	-	-
PS/t	0,0248**	(0,0028)	0,0240**	(0,0029)
Fahrzeuggröße (qm)	0,6409**	(0,0612)	0,6409**	(0,0612)
Automatikgetriebe	0,1116**	(0,0266)	0,0975**	(0,0266)
Benziner	-0,7506**	(0,0448)	-0,7140**	(0,0457)
Beobachtungen	61.852		61.852	
R2	0,158		0,159	
Adj. R2	0,153		0,153	

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

robuste Standardfehler; nicht dargestellt sind die Ergebnisse zu Automodell und Verkaufsjahr.

Tabelle A5: Ergebnisse der kontrafaktischen Analyse basierend auf der Schätzung des Random-Coefficient-Logit-Modells nach Gleichung (1‘)

	Jahr 2018	Szenario 1	Szenario 2
Anzahl verkaufter Autos (Mio.)	3,026	3,020	2,934
mittlere CO2-Intensität (g/km)	126,64	126,08	121,85
Anteil Elektroautos (%)	1,07	1,09	1,31
Anteil Hybrid (%)	1,41	1,40	1,54
Anteil Diesel (%)	30,78	30,78	31,97
Anteil Benzin (%)	66,75	66,73	65,19
jährl. CO2-Emissionen (Mio. t)	5,21	5,17	4,92
jährl. Steuereinnahmen (Mio. €)	433,10	466,53	691,17
durchschnittl. Jährl. Steuer (€)	143,10	154,50	235,54

Literatur

ACEA 2021. ACEA Tax Guide 2021. European Automobile Manufacturers Association.
www.acea.be

ADAC 2021. WLTP statt NEFZ: So funktioniert das neue Messverfahren.

URL: www.adac.de/verkehr/abgas-diesel-fahrverbote/abgasnorm/wltp-messverfahren/

Letzter Zugriff: 02.09.2022

Alberini, A., Bareit M. (2019). The effect of registration taxes on new car sales and emissions: Evidence from Switzerland. *Resource and Energy Economics* 56 (2019): S. 96-112.

Alberini, A., Horvath, M. (2021). All car taxes are not created equal: Evidence from Germany. *Energy Economics*, 105329.

Anderson, S.T., Kellogg, R., Sallee, J.M. (2013). What do consumers believe about future gasoline prices? *Journal of Environmental Economics and Management* 66, S. 383–403.

Bento, A.M., Goulder, L.H., Jacobsen, M.R., Von Haefen, R.H. (2009). Distributional and efficiency impacts of increased US gasoline taxes. *American Economic Review* 99, S. 667–699.

Berry, S., Levinsohn, J., Pakes, A. (1995). Automobile prices in market equilibrium. *Econometrica* 63, S. 841–889.

Brunner, D., Heiss, F., Romahn, A., Weiser, C. (2017). Reliable estimation of random coefficient logit demand models. *DICE Discussion Paper* 267.

Bundesregierung (2018). Neues Abgasprüfverfahren. [www. Bundesregierung.de/breg-de/suche/neues-abgaspruefverfahren-1517824](http://www.Bundesregierung.de/breg-de/suche/neues-abgaspruefverfahren-1517824).

Cerruti, D., Alberini A., Linn J. (2017). Charging Drivers by the Pound: The Effects of the UK Vehicle Tax System. CER-ETH–Center of Economic Research at ETH Zurich, Working Paper 17: 271.

Ciccone, A. (2018). “Environmental effects of a vehicle tax reform: empirical evidence from Norway”. *Transport Policy* 69, S. 141-157.

- Frondel, M., Vance, C. (2018). Drivers' Response to Fuel Taxes and Efficiency Standards: Evidence from Germany. *Transportation* 45 (3), S. 989-1001.
- Frondel, M., Vance, C. (2013). Re-Identifying the Rebound: What About Asymmetry?. *Energy Journal* 34 (4), S. 43-54.
- Frondel, M., Ritter, N., Vance, C. (2012). Heterogeneity in the Rebound: Further Evidence for Germany. *Energy Economics* 34, S. 461-467.
- Frondel, M., Peters, J., Vance, C. (2008). Identifying the Rebound: Evidence from a German Household Panel. *Energy Journal* 29 (4), 145-164.
- Gerlagh, R., Van Den Bijgaart, I., Nijland, H., Michielsen, T. (2018). Fiscal Policy and CO2 Emissions of New Passenger Cars in the EU. *Environmental and resource economics* 69.1, S. 103-134.
- Giblin, S., McNabola, A. (2009). Modelling the impacts of a carbon emission-differentiated vehicle tax system on CO2 emissions intensity from new vehicle purchases in Ireland. *Energy Policy* 37.4, S. 1404-1411.
- Grigolon, L., Reynaert, M., Verboven, F. (2018). Consumer valuation of fuel costs and tax policy: Evidence from the European car market. *American Economic Journal: Economic Policy* 10, S. 193–225.
- Klier, T., Linn, J. (2015). Using taxes to reduce carbon dioxide emissions rates of new passenger vehicles: evidence from France, Germany, and Sweden. *American Economic Journal: Economic Policy* 7, S. 212–42.
- Konishi, Y., Zhao, M. (2017). Can green car taxes restore efficiency? Evidence from the Japanese new car market. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 4, S. 51–87.
- Kunert, U. (2018). Diesel: Kraftstoff und Pkw-Nutzung europaweit steuerlich bevorzugt, Besteuerung in Deutschland reformbedürftig. *DIW Wochenbericht* 85, S. 685–695.

- Malina, C. (2016). The environmental impact of vehicle circulation tax reform in Germany. CAWM Discussion Paper Nr. 86, Centrum für Angewandte Wirtschaftsforschung Münster. www.wiwi.uni-muenster.de/mep/sites/mep/files/downloads/Diskussionspapiere/cawm_dp86.pdf
- Nevo, A. (2000). A practitioner's guide to estimation of random-coefficients logit models of demand. *Journal of Economics & Management Strategy* 9, S. 513–548.
- Rasmusen, E. (2007). The BLP method of demand curve estimation in industrial organization. Department of Business Economics and Public Policy, Kelley School of Business, Indiana University. <https://www.rasmusen.org/published/blp-rasmusen.pdf> .
- Destatis (2020). Straßenverkehr: EU-weite CO₂-Emissionen seit 1990 um 24 % gestiegen. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. URL: https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Umwelt-Energie/CO2_Strassenverkehr.html .
- Destatis (2021). Privathaushalte nach Haushaltsgröße im Zeitvergleich. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Haushalte-Familien/Tabellen/lrbev05.html> .
- Staiger, D. , Stock, J. H. (1997). Instrumental Variables Regression with Weak Instruments. *Econometrica* 65 (3), S. 557-586.
- Stitzing, R. (2016). Distributional and environmental effects of an emissions differentiated car sales tax. Available at SSRN 3050123.
- UBA (2021). Emissionen des Verkehrs. Umweltbundesamt. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#pkw-fahren-heute-klima-und-umweltvertraglicher> . Letzter Zugriff: 02.09.2022
- Vance, C., Mehlin, M. (2009). Tax Policy and CO₂ Emissions – An Econometric Analysis of the German Automobile Market, Ruhr Economic Papers, No. 89, ISBN 978-3-86788-100-5.
- Yan, S., Eskeland, G.S. (2018). Greening the vehicle fleet: Norway's co₂-differentiated registration tax. *Journal of Environmental Economics and Management* 91, S. 247–262.