

Ariadne-Hintergrund

Bewertung klimapolitischer Instrumentenmix-Pfade: Eine Anwendung auf leichte Nutzfahrzeuge in Deutschland

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

KOPERNIKUS
Ariadne **PROJEKTE**

Die Zukunft unserer Energie

Autorinnen und Autoren



» Dr. Duncan Edmondson
Hertie School



» Prof. Dr. Christian Flachsland
Hertie School



» Dr. Nils aus dem Moore
RWI - Leibniz-Institut für
Wirtschaftsforschung



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



» Dr. Florian Koller
Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt - Institut für
Verkehrsforschung



» Henri Gruhl
RWI - Leibniz-Institut für
Wirtschaftsforschung



» Johannes Brehm
RWI - Leibniz-Institut für
Wirtschaftsforschung



» Dr. Sebastian Levi
Hertie School

Die Autoren bedanken sich bei Michael Jakob, Matthias Kalkuhl and Robert Pietzcker für Kommentare und bei Kay Schröder für die für die Erstellung der Abbildungen.

Dieses Papier zitieren:

Duncan Edmondson, Christian Flachsland, Nils aus dem Moore, Nicolas Koch, Florian Koller, Henri Gruhl, Johannes Brehm, Sebastian Levi (2022): Bewertung der klimapolitischen Instrumentenmix-Pfade: Eine Anwendung auf den deutschen Sektor für leichte Nutzfahrzeuge. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

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

November 2022

Kontakt zu den Autorinnen und Autoren: Dr. Duncan Edmondson, Edmondson@hertie-school.org

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

Inhalt

Zusammenfassung	1
1. Einleitung	11
2. Stand und Trends der Wende im Automobilssektor	18
3. Herausforderungen des Politikmixdesigns und ex-ante-Bewertungskriterien für die Wende im Automobilssektor	23
3.1 Umweltwirksamkeit.....	23
3.2 Statische und dynamische Kostenwirksamkeit.....	25
3.3 Fiskalische Belastungen.....	36
3.4 Verteilungseffekte.....	37
3.5 Politische Durchführbarkeit.....	39
3.6 Governance.....	43
4. Zukünftige Politikmixpfade - Konstruktion und Ausgangssituation	46
4.1 Konstruktion und Bewertung von Politikmixpfaden.....	46
4.2 Politik-Basispfad mit Fit für 55-Paket.....	52
5. Alternative Politikmixpfade	65
5.1 CO ₂ -Bepreisung von Kraftstoffen (Fokus: CO ₂ -Preise Kraftstoffe).....	69
5.2 CO ₂ -Bepreisung des Fahrzeugbestandes (Fokus: Fahrzeugbestand).....	76
5.4 Vergleichende Bewertung.....	98
5.5 Beschränkungen und weitere Arbeiten.....	107
6. Schlussfolgerungen	112
Liste der Abkürzungen	115
Literaturangaben	117
Anhang [I] - Der aktuelle Politikmix für den Sektor leichter Automobile in Deutschland	126
I.1. Preisgestaltung.....	126
I.2. Verordnung.....	129
I.3. Subventionen.....	129
I.4. Infrastruktur.....	131
Anhang [II] - Überprüfung der allgemeinen Nachweise für die Kerninstrumente	132
II.1. Preisgestaltung.....	132
II. 2. Verordnung.....	135
II.3. Subventionen.....	137
II.4. Infrastruktur.....	138
Anhang [III] - Strenge Anforderungen an die Instrumente der Berufsbildungsabschnitte	142
III.1. Preisgestaltung.....	143
III.2. PHEVs.....	143
III. 3. Vorschriften.....	146
III. 4. Zuschüsse.....	146
III. 5. Infrastruktur.....	147
Anhang [IV] - Illustration: Marktwachstum von BEVs und kumulativer Einsatz (Skalierung des ZEV-Mandats)	149
Literaturangaben für den Anhang	150

Zusammenfassung

Dieser Ariadne-Hintergrund stellt einen neuen Design- und Bewertungsrahmen für klimapolitische Politikmixpfade vor. Wir testen diesen Rahmen, indem wir ihn auf den deutschen Automobilsektor anwenden. Die wichtigste Innovation des Ansatzes liegt in einem starken Fokus auf der zeitlichen Entwicklung des Politikmixes. Dieser Fokus ist mit Blick auf die verschiedenen Phasen im sektoralen Wandel zu Netto-Null-Emissionen wichtig. Unterschiedliche Phasen sind mit verschiedenen Herausforderungen verbunden, die mit jeweils spezifischen Kombinationen von Politikinstrumenten adressiert werden müssen. Unser Schwerpunkt liegt auf Instrumenten, die nicht nur die Verbreitung neuer (potenziell) emissionsfreier Technologien unterstützen, sondern auch den Ausstieg aus emissionsintensiven Technologiebeständen vorantreiben. Um die Bewertung analytisch handhabbar zu gestalten, konzentrieren wir uns auf den Übergang von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (internal combustion engine - ICE) hin zu batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen (battery electric vehicles - BEV) („Antriebswende“). Die Bedeutung eines umfassenderen Mobilitätswandels, der zum Beispiel eine modale Wende einschließt, bleibt davon unbenommen.

Unser Ansatz ist dynamisch, wobei die zeitliche Ausgestaltung des Politikmixpfads im Mittelpunkt steht. Unser erstes zeitliches Gestaltungselement spiegelt wider, dass die Sektorenwende verschiedene Phasen durchläuft und deshalb unterschiedliche Arten politischer Interventionen erforderlich sind. Wenn die Entwicklung sektoraler Technologien von der Entstehungs- in die Diffusionsphase übergeht (derzeit im deutschen Automobilsektor der Fall), muss die politische Unterstützung von der Förderung der Entwicklung neuer Technologien auf die Verbreitung dieser Technologien umgestellt werden. Dazu gehört eine ambitioniertere Klimapolitik (z.B. Höhe und Steigerungsrate der CO₂-Preise), die mit den Emissionsreduktions- und anderen Klimazielen übereinstimmt, sowie relevante externe Effekte in dieser Phase berücksichtigt (z.B. den Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur). Politische Maßnahmen müssen zunehmend die Abschaffung von ICE-Fahrzeugen aus dem allgemeinen Fahrzeugbestand fördern, indem sie kohlenstoffintensive Kraftstoffe bepreisen und/oder den vorhandenen ICE-Fahrzeugbestand regulieren. Wir

verwenden einen Ansatz zur vergleichenden Charakterisierung der Stringenz einzelner Instrumente, der es ermöglicht, dynamische Politikmixpfade zu konstruieren.

Wir betonen die Notwendigkeit, aus CO₂-intensiven Technologien auszusteigen und gleichzeitig die Verbreitung neuer emissionsarmer Technologien zu fördern. Politikmixpfade zur Erreichung ambitionierter Klimaziele müssen Instrumente beinhalten, die früher oder später aktiv Druck auf die emissionsintensiven Technologien ausüben, um die Umstellung des Fahrzeugbestands zu beschleunigen. Dies kann durch eine stringente Preisgestaltung, Regulierungen oder durch eine Kombination beider Instrumente erreicht werden. Je weiter sich der Sektor in die Diffusionsphase entwickelt, desto wichtiger wird der Ausstieg aus alten Technologien. Allerdings stoßen die damit verbundenen Maßnahmen in der Regel auf politischen Widerstand, da sie Vermögenswerte (z.B. von Fahrzeugen) verändern, Verhaltensänderungen erzwingen und potenziell regressive sozioökonomische Auswirkungen haben, wenn diese nicht durch vorausschauendes Politikdesign adressiert werden.

Wir identifizieren in einem zweiten Schritt die wichtigsten intertemporalen Herausforderungen der Antriebswende, die beim Design alternativer Politikmixpfade berücksichtigt werden müssen. Insgesamt beschreiben wir sechs zentrale Herausforderungen, die es zu adressieren gilt, um den Wandel zum elektrifizierten Individualverkehr erfolgreich zu gestalten: Klimawirksamkeit, Kosteneffektivität, fiskalische Belastung, Verteilungseffekte, politische Machbarkeit und Governance-Anforderungen. Diese Herausforderungen operationalisieren wir in verschiedenen Komponenten. Dabei stützen wir uns auf Erkenntnisse aus der entsprechenden verkehrspolitischen Literatur. Die formulierten Herausforderungen dienen als ex ante Bewertungskriterien bei unserer iterativen Entwicklung und Bewertung des Status-Quo und alternativer Politikmixpfade.

Wir konzentrieren uns auf klimapolitische Instrumente, die auf drei wichtige Verbraucherentscheidungen wirken, welche die Umstellung auf Elektroautos vorantreiben: das Abwracken von Autos mit Verbrennermotoren, der Kauf neuer Automobile mit Elektromotor und die Nutzung des bestehenden Fahrzeugbestands (Verbrenner). Der Übergang hin zu weniger Treibhausgasemissionen (THG) erfordert einerseits den Aus-

tausch der Bestandsfahrzeugflotte (Verschrottung von Verbrennerfahrzeugen und Einführung neuer BEVs), und andererseits eine veränderte Nutzung des Verbrenner-Fahrzeugbestands. Politische Instrumente können auf diese Dynamik entweder direkt (primärer Effekt) oder indirekt (sekundärer Effekt) einwirken. Sekundäre Effekte können sich auf die erwarteten Kosten und Nutzen der Fahrzeugverwendung beziehen, welche Anreize für Verhaltensänderungen schaffen und somit Kauf- und Anschaffungsentscheidungen beeinflussen. In ähnlicher Weise wirkt sich eine dichtere Ladeinfrastruktur direkt auf die Nutzung des vorhandenen Fahrzeugbestands aus. Aber sie hat auch indirekte Effekte, wie Lern- und Spillover-Effekte, welche die Kaufentscheidungen der Verbrauchenden für BEVs und die Verschrottung von ICE-Fahrzeugen beeinflussen. Außerdem können sekundäre Effekte auch Einfluss auf die Investitionsentscheidungen der Herstellenden bei der Entwicklung neuer Modellgenerationen haben. So können neue Modelle zu Veränderungen bei Preisen und Performance führen, was die Kauf- bzw. Abwrackentscheidungen von Verbrauchenden beeinflusst. Die Entscheidungen der Produzenten werden von den Erwartungen hinsichtlich des Verhaltens von Verbrauchenden, der allgemeinen Marktentwicklung (z.B. Kostenentwicklung von Batterien) sowie von der Glaubwürdigkeit des bestehenden Politikmixpfades beeinflusst. Aufgrund von Marktversagen kann es vorkommen, dass insbesondere die sekundären Effekte nicht vollständig funktionieren und beispielsweise die Kostenwirksamkeit beeinträchtigen, was wiederum zusätzliche Instrumente erforderlich machen könnte. Eine hohe Komplexität von Politikmixpfaden birgt allerdings ein erhöhtes Risiko der Unwirksamkeit beispielsweise wegen unerwarteter negativer Folgen und der Notwendigkeit zur häufigen (fehleranfälligen) Anpassungen des Instrumentenmixes durch politische Entscheidungstragende. Deshalb muss ein dynamisches Design das richtige Gleichgewicht zwischen der Behebung von Marktversagen, den Herausforderungen der politischen Umsetzbarkeit und geringer Komplexität des Politikmixpfades finden. Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Verbrauchendenentscheidungen sowie korrespondierende Instrumente und potenzielle Marktversagen.

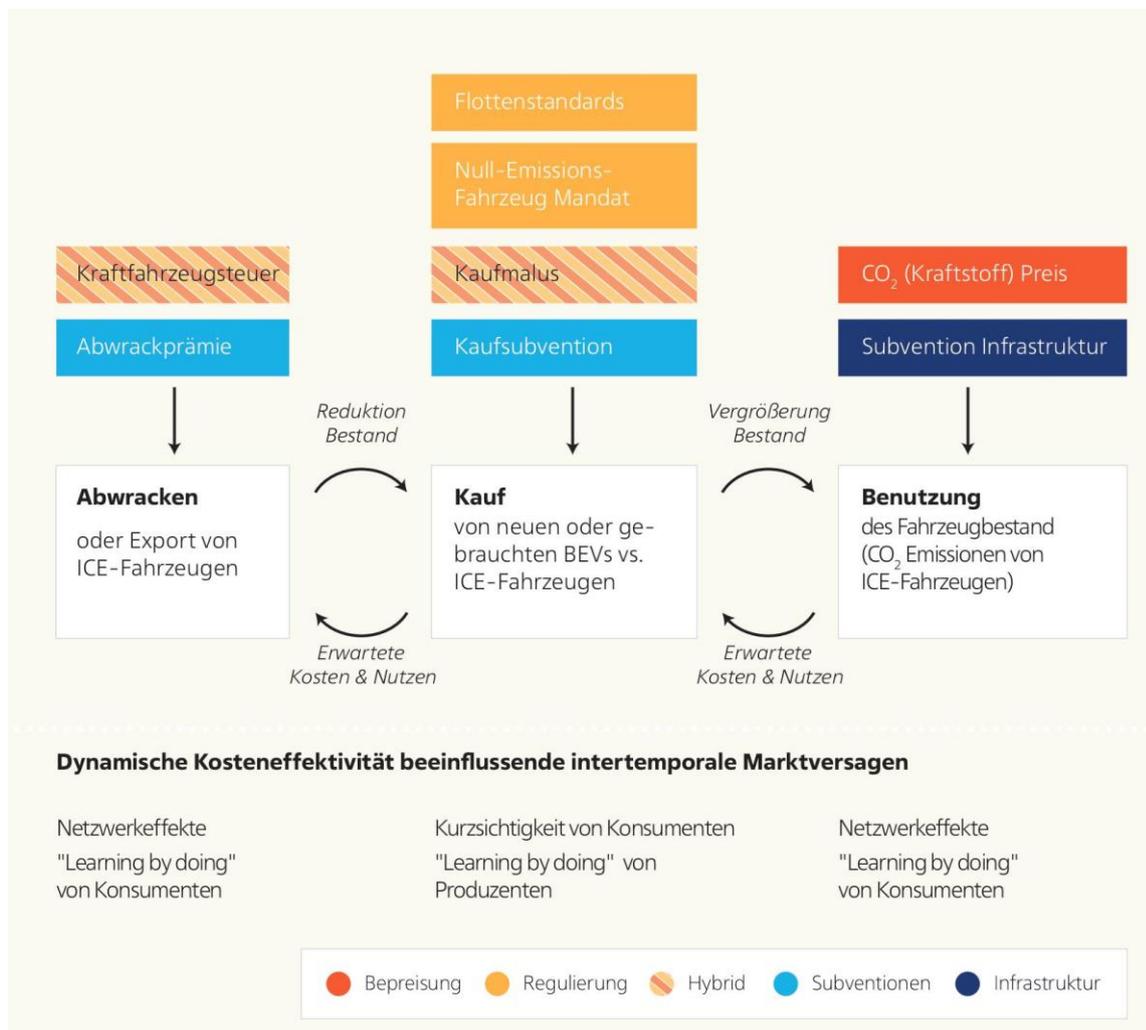


Abbildung 1: Die Antriebswende wird hauptsächlich durch die Entscheidungen der Verbraucher*innen bestimmt, (a) bestehende Fahrzeuge zu verschrotten, (b) neue (oder gebrauchte) BEVs oder ICE-Fahrzeuge (oder überhaupt keine neuen Fahrzeuge) zu kaufen und (c) im Falle von ICE-Fahrzeugen den vorhandenen CO₂-intensiven Fahrzeugbestand zu nutzen. Diese Entscheidungen können verschiedenen Marktversagen unterliegen (sowie anderen Herausforderungen, die hier nicht behandelt werden). Verschiedene Instrumente beeinflussen unterschiedliche Entscheidungen und die damit verbundenen Marktversagen. Es ist zu beachten, dass die Entscheidungen in Wechselwirkung stehen (z.B. werden Abwrackung und Kauf von den erwarteten Kosten und Vorteilen der Nutzung von Neufahrzeugen beeinflusst), sodass Instrumente, die sich auf eine Art von Entscheidung auswirken, indirekt auch andere Entscheidungen beeinflussen können. Quelle: Eigene Darstellung

Wir verwenden unseren Ansatz, um die Stringenz von Politikinstrumenten in der Zeit über verschiedene zukünftige Politikmixpfade hinweg zu vergleichen. Dafür rekonstruieren wir zunächst den Status-Quo des Politikmixpfades für Deutschland. Dafür identifizieren wir zunächst die Hauptbestandteile des aktuellen Politikmixpfades der Antriebswende in Deutschland unter Berücksichtigung der „Fit-for-55“-Vorschläge der EU-Kommission. Wir stellen die Stringenz jedes Politikinstrumentes im Zeitverlauf so dar, dass die verschiedenen Politikmixpfade vergleichbar sind.

Die vorhandene Literatur und unsere qualitative Bewertung deuten darauf hin, dass der Status-Quo-Politikmixpfad in Deutschland höchstwahrscheinlich nicht ausreichend ist, um die THG- und BEV-Bestandsziele für den Verkehrssektor bis 2030 zu erreichen.

Der derzeitige Politikmixpfad ist nicht geeignet, die erforderlichen nächsten Schritte der Antriebswende zu unterstützen. Der derzeitige Politikmixpfad stützt sich vor allem auf Subventionen, die zu gesteigerter Marktakzeptanz von BEVs führen. Sich weiterhin auf diesen Politikmixpfad für die Antriebswende zu verlassen, wäre jedoch aus fiskalischer Sicht kostspielig. Das derzeitige Niveau und die Entwicklung des deutschen CO₂-Preises für Kraftstoffe sowie die europäischen CO₂-Intensitätsstandards für Automobile sind nicht ambitioniert genug. Wenn diese nicht erhöht und/oder reformiert werden, ist es sehr unwahrscheinlich, dass die sektoralen THG-Ziele bis 2030 erreicht werden.

Wir schlagen drei alternative Politikmixpfade vor, die das Erreichen der THG- und BEV-Bestandsziele für 2030 ermöglichen sollen und bewerten diese qualitativ. Wir bezeichnen diese Politikmixpfade als „CO₂-Bepreisung von Kraftstoffen (Fokus: CO₂-Preise Kraftstoffe)“, „CO₂-Bepreisung des Fahrzeugbestands (Fokus: Fahrzeugbestand)“ und „sequentielle CO₂-Bepreisung von Bestand und Kraftstoffen (Mix)“. Die Politikmixpfade gehen von identischen THG-Minderungs- und BEV-Bestands-Zielen bis 2030 und von identischen Unsicherheiten hinsichtlich der Kostenentwicklung von BEVs und ICE-Fahrzeugen aus. Sie unterscheiden sich allerdings hinsichtlich der Instrumente zur Erreichung der THG-Ziele. Die Konstruktion der Politikmixpfade reflektiert teilweise stilisierte Positionen in der politischen Debatte. Die untersuchten Pfade zielen darauf ab, die verschiedenen Bewertungskriterien (z.B. Kostenwirksamkeit, politische Umsetzbarkeit) vor dem Hintergrund der verfügbaren verkehrspolitischen und ökonomischen Literatur möglichst gut zu erfüllen.

Die Politikmixpfade unterscheiden sich hinsichtlich ihres Schwerpunkts und des Zeitpunktes des Einsatzes von Preisinstrumenten für THG in Kraftstoffen oder THG-Intensitäten neuer und bestehender Fahrzeugtechnologien. Ihnen ist gemein, dass sie primär Preisinstrumente und nicht direkte Regulierungsmaßnahmen als Kerninstrument einsetzen. Preise haben den Vorteil, dass sie direkte wirtschaftliche Anreize für Verhaltensänderungen bei Abwrack-, Kauf- und Nutzungsentscheidungen setzen und gleichzeitig Flexibi-

lität bei der Politikgestaltung (z.B. Differenzierung der Malus-Zahlungen nach THG-Intensität) und den Entscheidungen von Herstellenden und Verbrauchenden von Fahrzeugen bieten. Außerdem führen sie zu Mehreinnahmen, so dass jeder alternative Politikmixpfad eine deutlich geringere fiskalische Belastung impliziert als der Status-Quo-Politikmix, in welchem die Hauptkosten mit der Bereitstellung der Infrastruktur verbunden sind.

Jeder der alternativen Pfade birgt unterschiedliche Risiken und geht unterschiedliche Kompromisse ein, um den verschiedenen Herausforderungen der Antriebswende möglichst gerecht zu werden. Die wichtigsten Gestaltungsherausforderungen und Risiken für die Politikmixpfade sind im Einzelnen:

Der Politikmixpfad „CO₂-Bepreisung von Kraftstoffen“ stützt sich fast ausschließlich auf die CO₂-Bepreisung von Kraftstoffen. Er sieht eine sofortige und erhebliche Preiserhöhung für Benzin und Diesel vor, auf die kontinuierlich weitere Preiserhöhungen folgen. So werden CO₂-Emissionen internalisiert und die Nutzung und der Kauf von ICE-Fahrzeugen reduziert. Zu Beginn werden das Abwracken von ICE-Fahrzeugen und die Umstellung auf BEVs noch direkt gefördert. Diese Subventionen für den Kauf von BEVs und die Ladeinfrastruktur werden allerdings schnell abgebaut und die europäischen CO₂-Flottengrenzwerte rücken in den Hintergrund (relativ geringe Stringenz im Vergleich zu anderen Instrumenten). Dieser Weg birgt ein erhebliches Risiko politischer Rückschläge, wenn aufgrund geringer Preiselastizitäten sehr hohe CO₂-Preise erforderlich sind, um die angestrebten Emissionsreduzierungen zu erreichen und eine progressive Rückerstattung von CO₂-Preiseinnahmen nicht ausreichend Unterstützung in der Bevölkerung generieren kann. Eine solche Gegenreaktion könnte zu einer Lockerung der THG-Reduktionsziele (oder zu Eingriffen in die Bepreisung) führen und damit die Umweltwirksamkeit untergraben. Die derzeitige Energiepreiskrise verdeutlicht, dass die politische Akzeptanz für stark und schnell ansteigende Preise für fossile Brennstoffe im Moment begrenzt ist. Darüber hinaus nimmt die Designlogik des Pfades ein begrenztes Ausmaß zusätzlicher Marktherausforderungen, wie beispielweise den externen Effekten des elektrischen Ladenetzes, Kurzfristdenken der Verbrauchenden und „Learning by Doing“-Effekten an. Wenn diese Effekte in signifikantem Umfang auftreten und ihnen nicht ausreichend durch ergän-

zende Maßnahmen entgegengewirkt wird, werden sie die intertemporale Kostenwirksamkeit dieses Pfades beeinträchtigen. Das tatsächliche Ausmaß dieser Marktversagen ist jedoch ungewiss.

Der Politikmixpfad „CO₂-Bepreisung des Fahrzeugbestands“ konzentriert sich auf politische Maßnahmen, die sich direkt auf Kauf- und Abwrackentscheidungen von ICE-Fahrzeugen auswirken, wobei die CO₂-Bepreisung von Kraftstoffen nur eine begrenzte Rolle spielt. Dieser Pfad sieht a) die schrittweise Einführung eines immer strengeren Null-Emissions-Fahrzeug-Mandats, b) ein ergänzendes Bonus-Malus-System für den Kauf von Neufahrzeugen zur Abmilderung von Verlagerungseffekten des Null-Emissions-Mandats, c) einen zunehmenden Malus (jährliche Kfz-Steuer) auf bestehende ICE-Fahrzeuge, um diese im Laufe der Zeit aus dem Bestand zu drängen, sowie d) die Förderung der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge vor. Eine geringe CO₂-Bepreisung spielt eine ergänzende Rolle bei der Verringerung der Nutzung der bestehenden ICE-Fahrzeugflotte. Allerdings wird dieses Instrument im Vergleich zu den anderen Pfaden nicht intensiv genutzt. Dieser Pfad steht vor erheblichen Herausforderungen, um eine dynamische Kostenwirksamkeit zu erreichen. Es erfordert eine korrekte Kalibrierung und wiederholte dynamische Anpassungen eines breiten Spektrums politischer Instrumente, was genaue Informationen und häufige Reformbeschlüsse seitens der politischen Entscheidungstragenden voraussetzt. Während die Instrumente, die auf Abwrack- und Kaufentscheidungen abzielen, mehrere relevante Marktversagen internalisieren können, besteht ihr Hauptzweck in der Reduzierung der Emissionen. Die Verteilungseffekte sind höchst ungewiss.

Der Pfad „sequentielle CO₂-Bepreisung von Bestand und Kraftstoffen“ versucht die wichtigsten Nachteile, die mit den beiden anderen Politikmixpfaden verbunden sind, zu verringern. Dafür wird ein zunächst moderater CO₂-Preis, der im Laufe der Zeit deutlich ansteigt, gezielt mit ergänzenden Instrumenten kombiniert, die zunächst Marktversagen und regulatorische Herausforderungen angehen und dann im Laufe der Zeit auslaufen. Dieser Pfad folgt der Designlogik des Sequenzierens, welche mit einem anfänglich moderat ansteigenden Preispfad für Kraftstoffe beginnt, um die politische Umsetzbarkeit zu verbessern. Danach steigt der CO₂-Preis relativ zügig an und wird zum Kerninstrument des Politikmixpfades. Ergänzende Instrumente zielen darauf ab, spezifische Marktversagen

zu beheben und die Verbreitung von BEV-Fahrzeugen in der Frühphase der Transformation durch verschiedene politische Instrumente (statt durch ein einziges) zu fördern. Dabei handelt es sich in erster Linie um einen Bonus-Malus auf den Kauf von Neufahrzeugen, welcher das Kurzfristdenken von Verbrauchenden und die externen Effekte des „Learning by Doing“ adressieren soll. Außerdem wird anfänglich die öffentliche BEV-Ladinfrastruktur aufgrund potenzieller Netzwerkeffekte gefördert. Die Relevanz begleitender Maßnahmen nimmt ab, wenn zusätzliche Marktversagen in den fortgeschrittenen Phasen des Umstiegs auf BEV-Fahrzeuge an Bedeutung verlieren und der CO₂-Preis steigt. Das zentrale Risiko dieses Pfades ist die anfänglich geringe Umweltwirksamkeit, insbesondere der anfänglich langsame Nutzungsrückgang der bestehenden ICE-Fahrzeugflotte.

Unsere Bewertung deutet darauf hin, dass die Kombination von einem kraftstofforientierten CO₂-Preis mit ergänzenden Instrumenten zur Überwindung von vorübergehenden Marktversagen die dynamische Kostenwirksamkeit verbessert und wahrscheinlich auch die politische Umsetzbarkeit erhöht. Wir kommen zu dem Ergebnis, dass diese Kombination, die auf das Ausmaß und den Zeitpunkt von Marktversagen abgestimmt ist, wahrscheinlich die Wirksamkeit gegenüber einem alleinigen hohen CO₂-Preis erhöht, abhängig von dem (unbekannten) Ausmaß des Marktversagens.

Wir argumentieren, dass neben dem Marktversagen auch die politische Umsetzbarkeit eine wichtige Rolle bei der Ausgestaltung der Politikmixpfade spielt. Die Sequenzierungslogik kombiniert Instrumente mit größerem Rückhalt in der Bevölkerung, um BEV-Kaufentscheidungen voranzutreiben, mit weniger akzeptierten Instrumenten, die auf Nutzungs- und Abwrackentscheidungen abzielen. Dieser Ansatz zielt darauf ab, die Akzeptanz von umstritteneren politischen Reformen zu erhöhen, insbesondere die anfängliche deutliche Erhöhung der CO₂-Preise. Wir argumentieren, dass die Kombination von unterstützenden Instrumenten in naher Zukunft eine schrittweise Erhöhung der CO₂-Preise ermöglicht. Außerdem trägt dies dazu bei, die Akzeptanz durch Gewöhnung und Kompensationsmaßnahmen zu erhöhen. Gleichzeitig werden wahrscheinlich die kurzfristig regressiven Verteilungseffekte abgemildert. Dementsprechend ergeben sich Wohlfahrtsvorteile aus der Gestaltung eines politisch umsetzbaren Weges, da die Umsetzung einer ehr-

geizigen Klimapolitik einen größeren Nutzen bringt als die Verfolgung der kostenwirksamsten Option, die mangels politischer Unterstützung nicht umgesetzt werden kann. Eine große Herausforderung bei diesem Ansatz besteht darin, empirisch korrekt zu bestimmen, welche Politikmixpfad-Optionen mit welcher Instrumenten-Stringenz umsetzbar sind, da dies von zahlreichen und höchst unsicheren Einflussfaktoren abhängig ist.

Wir identifizieren die aktuell wichtigsten Ungewissheiten und Lücken in der bestehenden Forschung, die wichtige Bereiche für weitere Forschung darstellen. Weitere Forschungsarbeiten sind erforderlich, um die Konstruktion und Bewertung politischer Pfade im Bereich des motorisierten Individualverkehrs (und in anderen Sektoren) weiterzuentwickeln. Erstens sind ex-post- und ex-ante-Folgenabschätzungen für frühere und künftige Einzelinstrumente und Politikmixpfade erforderlich, um Ungewissheiten zu beseitigen, beispielsweise in Bezug auf die Umweltwirksamkeit, das Potenzial für die Beseitigung von Marktversagen oder das Ausmaß der Verteilungswirkungen. Zweitens sollte das dynamische Design und die Governance von Politikmischen durch die Kombination konzeptioneller und empirischer Arbeiten weiterentwickelt und in künftige Modellierungsarbeiten integriert werden. Schließlich muss das Verständnis der Dynamik bei der Umsetzung klimapolitischer Maßnahmen und Feedbackmechanismen im Laufe der Zeit verbessert werden, da hier erhebliche Ungewissheiten bestehen. Solidere Forschung in diesen Bereichen würde dazu beitragen, das Risiko von Governancefehlern bei der Gestaltung und Kalibrierung ambitionierter klimapolitischer Politikmixpfade zu minimieren.

Dieser Ariadne-Hintergrund bietet einen analytischen Rahmen, schlägt ex ante Politikmixpfade für die Antriebswende im deutschen Automobilsektor vor und bewertet diese. Wir hoffen, dass er als Anregung für ähnliche Analysen in anderen Sektoren dient. Die Qualität und die Verfügbarkeit von Daten sowohl für die ex-ante Modellierung als auch für die empirische ex post Analyse einzelner Instrumente und vollständiger Politikmixpfade unterliegt noch signifikanten Einschränkungen. Diese Unklarheiten ergeben sich zum Teil daraus, dass die derzeitigen Modelle viele der Herausforderungen und Überlegungen, die wir in unserem Ansatz hervorheben, nicht berücksichtigen. Außerdem bieten empirische Analysen nur begrenzte Einblicke in das genaue Ausmaß der externen Effekte und der Preiselastizitäten von Politikinstrumenten innerhalb eines Politikmixpfades. Daher betonen wir die Wichtigkeit der Zusammenarbeit verschiedener Fachleute, wie

zum Beispiel Modellierende, Ökonometrikerinnen und -metriker sowie Politikforschende, aber auch von Praktizierende etwa in Ministerien und Unternehmen sowie die Bevölkerung, für eine umfassende und systematische Analyse der Politikmixpfade für die Antriebs- und Mobilitätswende und Transformationen zu Emissionsneutralität in anderen Sektoren. Wir hoffen, dass unser Ansatz Erkenntnisse aus verschiedenen akademischen Disziplinen (z.B. Ingenieurwesen, Wirtschaftswissenschaften, Politikwissenschaft) integrieren und eine Brücke zwischen verschiedenen „Communities“ (z.B. Wissenschaft, angewandten Politikanalytiker, politische Entscheidungsträger, der Öffentlichkeit) schlagen kann und dazu beiträgt, ähnliche Analysen klimapolitischer Politikmixpfade in anderen Sektoren und Regionen anzuregen.

1. Einleitung

Die Umsetzung und Reform ambitionierter politischer Instrumente ist der Schlüssel zur Erreichung der Klimaschutzziele in Deutschland. Im Einklang mit dem Pariser Abkommen haben sich die Europäische Union und Deutschland verpflichtet, bis 2050 bzw. 2045 THG-Neutralität zu erreichen. Das deutsche Klimaschutzgesetz sieht ehrgeizige Ziele für die Verringerung der THG-Emissionen in allen Sektoren vor, wobei die Emissionen im Verkehrssektor bis 2030 um 40% unter das Niveau von 2020 gesenkt werden sollen (85 Mio. tCO₂). Ein von der deutschen Regierung in Auftrag gegebener Emissionsprognosebericht kommt zu dem Ergebnis, dass das Ziel für den Verkehrssektor für 2030 um etwa 50% verfehlt werden wird (prognostizierte Emissionen im Jahr 2030: 126 Mio. tCO₂, Sektorziel des Klimaschutzgesetzes: 85 Mio. tCO₂) (Repenning et al. 2021). Die neue Regierung hat sich außerdem das Ziel gesetzt, bis 2030 15 Mio. BEVs in Deutschland auf Straßen zu bringen (Scholz et al. 2021). Was hierbei fehlt, ist eine strategische Diskussion über die Gestaltung verschiedener dynamischer Klimapolitikmixpfade, die diese anspruchsvollen Ziele erreichen können. Es muss sich mit der Frage befassen werden, wie das Zusammenspiel verschiedener Instrumente mit unterschiedlichen Schwerpunkten im Laufe der Zeit das Erreichen von THG-Reduktionen und schließlich Klimaneutralität bis 2045 erreichen kann. Außerdem müssen verschiedene Herausforderungen im Zusammenhang mit der Dekarbonisierung des Verkehrssektors (u.a. Verteilungsfragen, politische Fragen, Verwaltungsschwierigkeiten) erfolgreich adressiert werden.

Dieser Bericht stellt einen konzeptionellen Ansatz für die ex-ante Konstruktion und qualitative Bewertung klimapolitischer Politikmixpfade vor. Fortschritte bei der Analyse einzelner klimapolitischer Instrumente und von Politikmixpfaden wurden in der Modellierung von Energiesystemen (Koller et al. 2021), in konzeptionellen Arbeiten (Axsen et al. 2020, Bhardwaj et al. 2020) und in empirischen ex-post Analysen (Koch et al. 2019; Anderson und Sallee 2016) erzielt. Politikwissenschaftliche und innovationswissenschaftliche Analysen bieten verschiedene Konzepte zur Gestaltung von Politikmixpfaden (Del Rio 2014; Howlett und Del Rio 2015), zur Verbesserung ihrer Charakteristika (Rogge und Reichardt 2016) und deren zeitlichen Entwicklung (Meckling et al. 2017, Pahle et al. 2019). Eine Konzeptualisierung dynamischer klimapolitischer Pfade, die Erkenntnisse

aus ingenieur-, wirtschafts- und politikwissenschaftlichen Perspektiven integrieren kann, fehlt jedoch noch.

Dieser Bericht zielt darauf ab, Konzepte und Bewertungsmethoden für klimapolitische Instrumentenmix-Pfade interdisziplinär besser zu integrieren. Unser Ansatz soll dazu beitragen, eine gemeinsame Sprache zwischen verschiedenen Gemeinschaften und Perspektiven zu etablieren, um den Austausch zu erleichtern. Dazu gehören nicht nur verschiedene akademische Disziplinen (z.B. Ingenieurwesen, Wirtschaftswissenschaften, Politikwissenschaft, Rechtsanalyse) und Wissensgemeinschaften (z.B. Modellierende, Sektorexpert*innen, Klimapolitikanalyst*innen), die sich mit klimapolitischen Analysen befassen, sondern auch politische Entscheidungsträger*innen und Interessensgruppen (z.B. Ministerialbeamt*innen, Politiker*innen, Unternehmen, Nichtregierungsorganisationen). Auf diese Weise sollen präzise (und dennoch ausreichend allgemeine) Aussagen über die Gestaltung und Bewertung alternativer Politikmixpfade gemacht werden, die als Grundlage für die politische Entscheidungsfindung auf einer mittleren Analyseebene dienen soll (Edenhofer und Kowarsch 2015). Dafür wird eine Brücke zwischen hochdetaillierter Sektor-Expertise und einer breit angelegten Generalistenperspektive geschlagen. Unser Ziel ist es, diesen Ansatz in zukünftigen Analysen weiterzuentwickeln, indem wir ihn enger mit quantitativen Modellierungen, die speziell für die Bewertung alternativer Politikmixpfade entwickelt wurden, mit rechtlichen Analysen und über relevante Sektoren hinweg integrieren.

Ein grundlegender Gedanke unseres Ansatzes ist, dass sich klimapolitische Maßnahmen über die Zeit weiterentwickeln und verändern müssen. Der technologische Wandel in einem Sektor durchläuft verschiedene Phasen: Entstehung, Verbreitung und Sättigung (oder Neukonfiguration) von emissionsarmen Technologien, womit Verhaltensänderungen und normative, politische, rechtliche, wirtschaftliche und geschäftliche Veränderungen verbunden sind. Forschende haben argumentiert, dass Politikmixpfade entwickelt werden müssen, welche die intertemporalen Herausforderungen bewältigen können und die mit jeder dieser Phasen verbunden sind. Dadurch wird ermöglicht, dass die komplexen Phasen innerhalb der wenig verbleibenden Zeit zur Null-Emissions-Wende

durchlaufen werden können (Kivimaa und Kern 2016; Kivimaa et al. 2019; Köhler et al. 2019).

Aktuelle politische Maßnahmen konzentrieren sich darauf, neue kohlenstoffarme Technologien dabei zu unterstützen, sich auf einem wettbewerbsfähigen Markt durchzusetzen. Aufstrebende nachhaltige Technologien sind oft nicht wettbewerbsfähig, z.B. aufgrund von externen Lerneffekten und dem Widerstand von Interessensgruppen (z.B. ICE-Fahrzeughersteller) gegen regulatorische Änderungen. Die Literatur befasst sich hauptsächlich mit dem Potenzial und der Entwicklung von Nischentechnologien, die hochskaliert werden können (Köhler et al. 2019). Politische Entscheidungsträger*innen können aufstrebende saubere Technologien durch Subventionen unterstützen, um die positiven externe Effekte zu internalisieren, und durch die Bepreisung etablierter kohlenstoffintensiver Technologien die negativen externen Effekte internalisieren. Beide politischen Optionen können dazu beitragen, dass grüne Industrien im Laufe der Zeit wettbewerbsfähiger werden. Allerdings ist die Bepreisung von Kohlenstoff oder Kraftstoff oft umstritten, wenn keine kohlenstoffarmen Alternativen zur Verfügung stehen. Wenn die Verteilungseffekte nicht sorgfältig ausgeglichen werden, wird die „Bestrafung“ bestehender emissionsintensiver Kapitalbestände (ICE-Fahrzeuge, Gas- oder Ölkessel zum Heizen, Kohlekraftwerke usw.) und die Einschränkung der Erschwinglichkeit damit verbundener Dienstleistungen aufgrund der regressiven Effekte für untere Einkommensgruppen, politischen Widerstand hervorrufen. Daher bleiben die CO₂-Preise in den Anfangsphasen des Übergangs meist niedrig, während andere Instrumente, wie gezielte Subventionen und Emissionsstandards, in größerem Umfang eingesetzt werden, um Marktnischen für kohlenstoffarme Optionen zu schaffen.

In Deutschland geht der Netto-Nullemissionen-Wandel in verschiedenen Sektoren in unterschiedliche Phasen über, was Anpassungen der Politikmixpfade erfordert. Wir gehen davon aus, dass der Verkehrssektor (ähnlich wie der Gebäudesektor) sich im Übergang von der Entstehungsphase in die Diffusionsphase befindet (der Energiesektor ist z.B. bereits weiter fortgeschritten). Alternative kohlenstoffarme Technologien wie BEVs werden zu geringeren Kosten immer breiter verfügbar. In dieser Phase besteht ein um-

welt- und kostenwirksamer Politikmixpfad darin, nicht nur die Entstehung und den Ausbau sauberer Alternativen zu unterstützen, sondern auch aktiv Druck auf bestehende umweltschädliche Technologien auszuüben, um diese zu verdrängen (Kivimaa und Kern 2016). Dies könnte durch die Einführung höherer CO₂-Preise erreicht werden, die den Kauf und die Nutzung umweltschädlicher Technologien verteuern, oder durch strenge Vorschriften, die umweltschädliche Technologien aktiv auslaufen lassen.

Um ambitionierte THG-Minderungsziele zu erreichen, sind im Laufe der Zeit immer stringendere Klimainstrumente erforderlich. Wenn einige Arten von politischen Instrumenten, z.B. die Bepreisung von Kohlenstoffkraftstoffen, mit geringerer Stringenz umgesetzt werden, müssen andere mit höherer Stringenz eingesetzt werden, um das Erreichen der Ziele zu gewährleisten. Abbildung 1 veranschaulicht drei Politikmixpfade, die in der klimapolitischen Diskussion häufig besprochen werden, wie z.B. in der Folgenabschätzung der EU-Kommission zur Vorbereitung der Green-Deal-Entscheidungen der EU (EU-Kommission 2020, siehe auch Knodt et al. 2020). Ein „Bepreisungs“-Pfad setzt vor allem auf kraftstoff-orientierte CO₂-Preise, ein „Regulatorischer“-Pfad nutzt vor allem Regulierung und Subventionen, während der „Mix“-Pfad alle Instrumente kombiniert. Wir verwenden diese Ansätze, die häufig in der politischen Debatte diskutiert werden, um alternative Politikmixpfade für den deutschen Verkehrssektor und insbesondere für den Wandel im motorisierten Individualverkehr zu entwickeln.

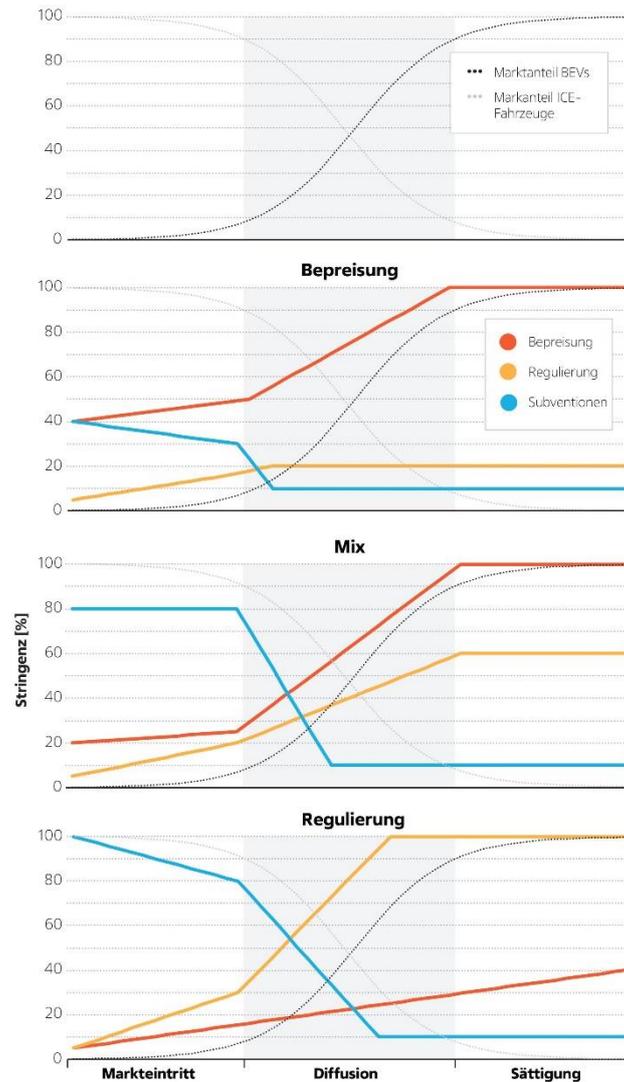


Abbildung 2: Illustrative klimapolitische Politikmixpfade, wenn der Anteil der Null-Emissions-Technologien (hier BEVs dunkelgraue S-Kurve) im Bestand steigt und der Anteil der umweltschädlichen Technologien (hier ICE-Fahrzeuge, hellgraue S-Kurve) sinkt. Quelle: Eigene Darstellung

Der Ansatz für die Entwicklung und Bewertung politischer Mixpfade in diesem Bericht verbindet Schwierigkeiten des technologischen Wandels zu Netto-Nullemissionen mit sektorspezifischen Herausforderungen in den Bereichen Wirtschaft, Politik und Governance. Er geht wie folgt vor: **(1)** Zunächst charakterisieren wir die aktuelle Phase des technologischen Wandels im analysierten Sektor – in dieser Studie der Straßenverkehr – auf der Grundlage verfügbarer Modelle und anderer relevanter Daten. **(2)** Zweitens versuchen wir, auf Grundlage der akademischen und politikberatenden Literatur sowie des klimapolitischen Diskurses die wichtigsten sektoralen Herausforderungen zu antizipieren und zu charakterisieren, die für künftige Phasen des technologischen Wandels relevant

sind. (3) Anschließend bewerten wir, wie der derzeitige Status Quo Politikmixpfad die identifizierten intertemporalen Herausforderungen in diesem Sektor bewältigt. (4) Schließlich konstruieren wir alternative Politikmixpfade auf Grundlage von der politischen Debatte, akademischer und politikberatender Literatur, wobei wir einen Politikmix-„Patching“-Ansatz (Howlett und Rayner 2013) verfolgen (Drift, Umgestaltung, Erweiterung und Einstellung von Instrumenten). Damit wollen wir Optionen aufzeigen und bewerten, wie der aktuelle Politikmixpfad weiterentwickelt werden kann, um den intertemporalen Herausforderungen effektiver zu begegnen. Diese alternativen Politikmixpfade sind nicht festgeschrieben, sondern sollen als Informationsgrundlage für verschiedene Beratungsprozesse dienen, wie der Beratungen politischer Entscheidungsträger*innen, Bürgerinitiativen und Diskussionen von Expert*innen in verschiedenen Sektoren und regionalen Kontexten.

Wir verwenden Instrumentenstringenz als einen konzeptionellen, vergleichenden Ansatz, der die verschiedenen Sequenzierungslogiken innerhalb und zwischen den Pfaden darstellt. Die Stringenz eines Instruments bezieht sich auf das Maß an Umweltambitionen in der Kalibrierung eines politischen Instruments, z.B. ist ein hoher Kohlen- (Kraftstoff)Preis stringenter als ein niedriger. Wir stellen sicher, dass die Metriken für die Instrumentenstringenz über die verschiedenen Pfade hinweg konsistent sind, damit die Gestaltungslogiken verglichen werden können. Dies bezieht sich auf die Skalierung der verschiedenen Instrumente innerhalb eines Pfads im Laufe der Zeit und auf die verschiedenen Gestaltungslogiken über die verschiedenen Pfade hinweg. So gilt beispielsweise die maximale Stringenz (100%) für den Politikmixpfad „CO₂-Bepreisung von Kraftstoffen“, der sich für die Antriebswende stark auf dieses Instrument stützt. Die Verwendung eines CO₂-Preises auf den anderen Pfaden wird auf der gleichen Stringenz-Skala dargestellt, um zu zeigen, dass das Instrument dort nicht dieselbe Höhe erreicht und erst im Laufe der Zeit ansteigt.

Wir testen unseren Ansatz, indem wir ihn auf die Emissionsminderung im Automobilsektor in Deutschland anwenden. Ein praxisnaher Ansatz für die Auswertung von klimapolitischen Instrumentenmixen muss seine Nützlichkeit durch die Anwendung auf einen bestimmten Sektor unter Beweis stellen, sonst besteht die Gefahr, dass der Ansatz zu

allgemein und oberflächlich bleibt. Wir konzentrieren uns auf Pkw und leichte Nutzfahrzeuge aufgrund ihrer zentralen Bedeutung für die Transformation des deutschen Verkehrssektors. Insbesondere konzentrieren wir uns auf den Ausbau des Anteils an BEVs, die zurzeit sehr vielversprechend in Bezug auf das erwartete Emissionsreduktionspotenzial und deren Kosten sind (Koller et al. 2021). Wir sind uns bewusst, dass andere Reduktionsoptionen (Verkehrsverlagerung, Verkehrsvermeidung) für die Dekarbonisierung des Verkehrssektors wichtig sind, beschränken die Analyse allerdings um sie überschaubar zu halten.

Wir betrachten Politikmixpfade, die eine THG-Reduktion im Einklang mit den THG-Reduktions- und BEV-Einsatzzielen für den Verkehrssektor im Jahr 2030 ermöglichen.

Wir erörtern die Risiken, wenn die THG-Ziele durch die verschiedenen Pfade verfehlt werden: unser Leitprinzip ist der Anspruch, Pfade zu betrachten, die dieselben notwendigen Emissionsreduktionen versprechen und erzielen können (identische Umweltwirksamkeit, um Vergleichbarkeit zu gewährleisten). Unser Ziel ist es zu ermitteln, wie die einzelnen Pfade die Herausforderungen und Hauptrisiken des technologischen Wandels des Sektors angehen, um Zielkonflikte zu identifizieren, die bei der Wahl zwischen den politischen Pfaden überwältigt werden müssen. Dabei ermitteln wir auch mehrere Bereiche, in denen Ungewissheiten oder Wissenslücken bestehen, welche die Grundlage für künftige Forschungsarbeiten bilden sollten.

Der Bericht geht wie folgt vor: Zunächst charakterisieren wir den technologischen Wandel im Pkw-Sektor in Deutschland (Abschnitt 2). Anschließend bewerten wir die zu erwartenden Herausforderungen, die für die politische Gestaltung der Antriebswende in Deutschland relevant sind (Abschnitt 3). Daraufhin illustrieren und bewerten wir den Status quo Politikmixpfad unter Einbeziehung der „Fit-for-55“-Vorschläge der EU-Kommission (Abschnitt 4). Abschnitt 5 konstruiert, bewertet und vergleicht drei alternative zukünftige Politikmixpfade. Abschnitt 6 schließt den Bericht mit finalen Anmerkungen ab.

2. Stand und Trends der Wende im Automobilsektor

Wir bewerten den Stand und die erwarteten Trends und Ungewissheiten im Wandel zu Netto-Null-Emissionen im deutschen Automobilsektor, speziell im Pkw-Segment. Dies wird uns helfen, die wichtigsten politischen Herausforderungen für diese und die folgenden Phasen des Wandels zu definieren (Abschnitt 3) und zu bewerten, wie der aktuelle Politikmixpfad diesen Herausforderungen gewachsen ist und die Antriebswende sowohl jetzt als auch in naher Zukunft unterstützen kann (Abschnitt 4).

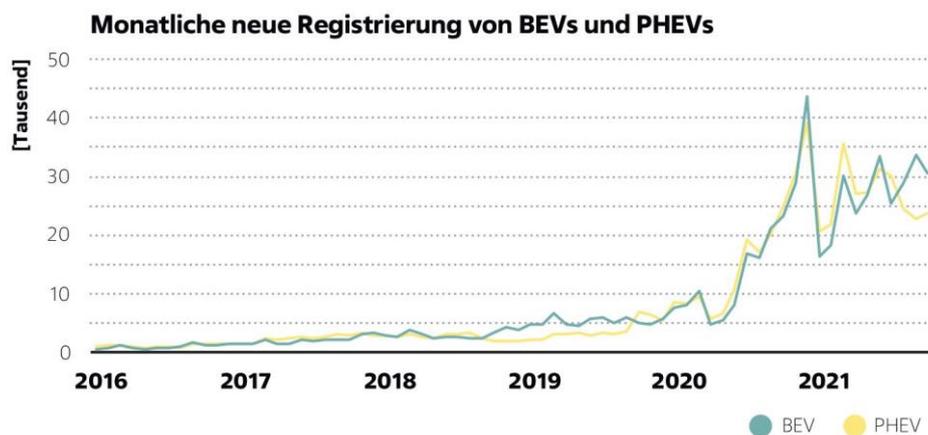


Abbildung 3: Monatliche Zulassungen von BEVs in Deutschland (Daten des KBA 2021). Quelle: Eigene Darstellung

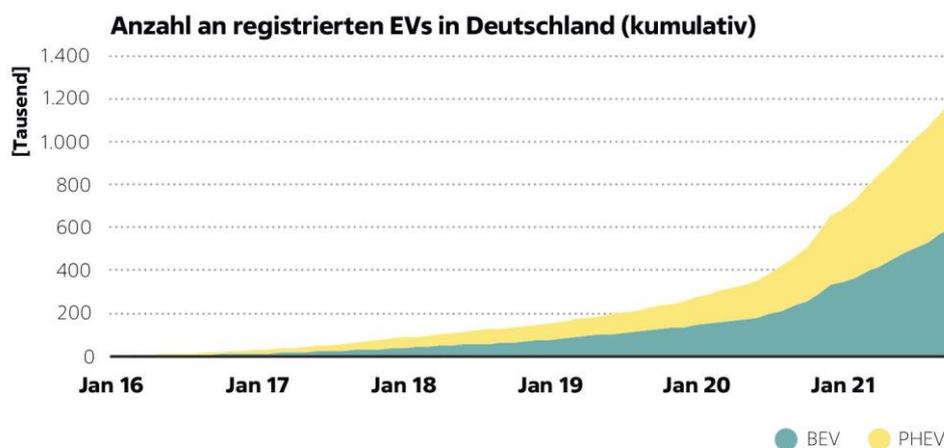


Abbildung 4: Kumulative Verbreitung von Elektrofahrzeugen in Deutschland (Daten von KBA 2021). Quelle: Eigene Darstellung

Die Verkaufskosten neuer BEVs sind deutlich gesunken und werden voraussichtlich innerhalb eines Jahrzehnts mit denen von ICE-Fahrzeugen gleichziehen. BloombergNEF (2021) prognostiziert, dass die Brutto-Verkaufspreise von BEVs in Europa bereits 2027 billiger sein werden als die von ICE-Fahrzeugen. Solche Vorhersagen hängen entscheidend von Annahmen über künftige Kostensenkungen bei Batterien ab. Ressourcenverfügbarkeit und -preise sowie technologische Fortschritte in der Batterietechnologie (z.B. Einsparungen beim Ressourcenbedarf) sind entscheidende Faktoren für diese Kostensenkungen.

Die Lebenszykluskosten sind bereits heute bei vielen BEVs niedriger als bei ICE-Fahrzeugen, und zwar über verschiedene Fahrzeugkategorien hinweg, insbesondere wenn man die aktuellen Fördermaßnahmen berücksichtigt (Agora Verkehrswende 2022). Viele BEVs bieten bereits jetzt niedrigere Gesamtbetriebskosten als ICE-Fahrzeuge, da die Kraftstoffkosten pro Kilometer für Strom niedriger sind als bei fossilen Kraftstoffen. Insgesamt sind die Unterhaltskosten pro Kilometer von BEVs um etwa 40% niedriger als die von ICE-Fahrzeugen (Burnham et al. 2021). Darüber hinaus verringern die derzeitigen Subventionen die Kosten für den Kauf neuer Elektrofahrzeuge (Agora Verkehrswende 2022). Allerdings haben Probleme wie die begrenzte Reichweite, Kurzfristdenken der Verbraucher*innen, hohe Anschaffungskosten, eine begrenzte Besitzdauer für Erstkäufer*innen und die Ungewissheit über zukünftige Wiederverkaufspreise, die Verbreitung von BEVs in der Vergangenheit eher eingeschränkt (Pevcec et al. 2019).

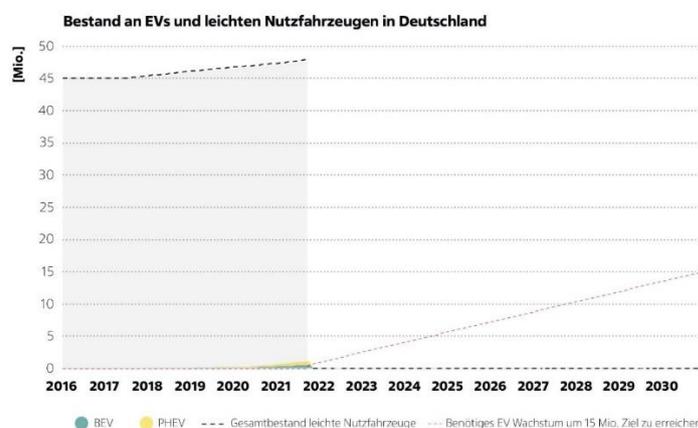


Abbildung 5: Kumulative Anzahl an BEVs im Verhältnis zur Gesamtzahl der in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge. Im November 2021 betrug der Bestand an PHEV- und BEV zusammen 1,2 Mio. (jeweils 600k). Der Wachstumspfad von BEVs bis 15 Mio. im Jahr 2030 wird zur Veranschaulichung als linear angenommen (Daten von KBA 2021). Quelle: Eigene Darstellung

Der deutsche Markt für BEVs ist in den letzten Jahren rasant gewachsen. Während Deutschland in der Vergangenheit im internationalen Vergleich zu den Nachzüglern gehörte, verzeichnete der deutsche Markt für BEVs in letzter Zeit das größte Wachstum in Europa, mit einem durchschnittlichen BEV-Absatzanteil von 14% im Jahr 2021 (KBA 2022). Der hohe Absatz von BEVs ist wahrscheinlich auf eine größere Reichweite (d.h. neue Modelle oder bestehende Modelle mit größeren Batterien), geänderte Kaufsubventionen (siehe Abschnitt 4.3) und die EU-Normen für die CO₂-Intensität der Fahrzeugflotte zurückzuführen (Agora Verkehrswende 2022). Eine ökonomische Analyse der einzelnen Effekte dieser und anderer Faktoren liegt unseres Wissens jedoch nicht vor. Abbildungen 2 und 3 zeigen die monatlichen und kumulativen Zulassungen von BEVs und PHEVs.

Die öffentliche Ladeinfrastruktur wurde in den letzten Jahren erheblich ausgebaut. Im Januar 2022 waren ~52.000 öffentliche Ladestationen in Betrieb, darunter ~44.000 Standardladestationen und ~8.000 Schnellladestationen (Bundesnetzagentur 2022). Bei den derzeitigen Ausbauraten (Hochrechnung der Raten der letzten 12 Monate) werden bis 2030 rund 180.000 Ladestationen installiert sein. Um das neue Koalitionsziel von 1 Mio. öffentlichen Ladestationen bis 2030 zu erreichen, müssen im Durchschnitt fast 10.000 öffentliche Ladestationen bpro Monat installiert werden (Abbildung 6). Es besteht eine gewisse Ungewissheit darüber, wie viele Ladestationen bis 2030 benötigt werden, wobei Schätzungen bei etwa 1:10 für städtische Gebiete und bei etwa 1:20 für vorstädtische Gebiete liegen (Nicholas und Wappelhorst 2020). Es gibt auch eine Debatte darüber, wie lange der Staat die Installation subventionieren sollte, bevor die Marktakteure dies übernehmen. Ungeachtet dieser Ungewissheiten sind die derzeit beobachteten Ausbauraten eher niedrig.

Die Kosten für die öffentliche Ladeinfrastruktur sind relativ konstant geblieben. Während die Kosten für Elektrofahrzeuge weiter gesunken sind, sind die Kosten für die öffentliche Ladeinfrastruktur konstant geblieben oder in einigen Fällen sogar gestiegen (neue Designs von Schnellladegeräten). So belaufen sich die Gesamtkosten (Material und Arbeit) für ein 150-kW-Schnellladegerät für die öffentliche Nutzung derzeit auf etwa 103.000 US-Dollar. Bis 2030 werden diese nur auf 100.000 US-Dollar sinken (Bauer et

al. 2021), was teilweise auf die steigenden Arbeitskosten zurückzuführen ist. Andere Untersuchungen sind optimistischer bezüglich des Potenzials für Kostensenkungen der Schnellladeinfrastruktur (Funke et al. 2019).

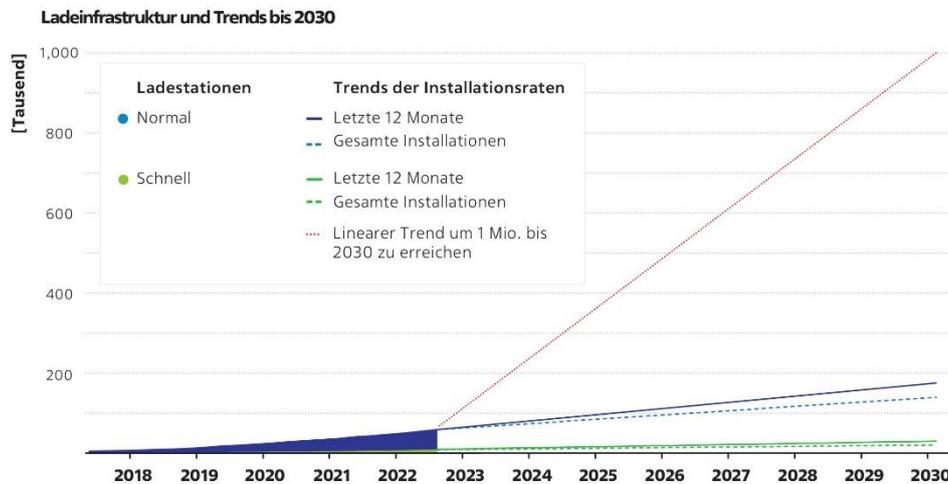


Abbildung 6: Historische Entwicklung und 2030-Ziel für öffentliche Ladeinfrastruktur. Quelle: Eigene Darstellung

Was die Phasen des technologischen Wandels betrifft, so befindet sich der Automobilsektor in Deutschland derzeit in der frühen Diffusionsphase. Trotz des jüngsten Anstiegs des Marktanteils von Elektrofahrzeugen beträgt der kumulative Anteil im Vergleich zur Anzahl der in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge (48,5 Mio.) immer noch weniger als 2% (Abbildung 4). BEVs fangen gerade erst an, mit ICE-Fahrzeugen in Bezug auf Kosten und Komfort (z.B. Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur) wettbewerbsfähig zu werden.

Die stärkere Verbreitung von BEVs ist der Schlüssel zur Erreichung der THG- und BEV-Einführungsziele für 2030. Gimbert (2021) geht beispielsweise davon aus, dass 60% der Neuzulassungen bis 2025 und 95% bis 2030 für BEVs sein müssen, um die THG-Ziele für 2030 zu erreichen. Im Vergleich zur vorherigen Regierung, die 7-10 Mio. BEVs bis 2030 anstrebte, beabsichtigt die neue Regierung 15 Mio. BEVs bis 2030 auf die Straße zu bringen. Das neue Ziel erfordert einen durchschnittlichen Zuwachs von 130.000 BEVs pro Monat bis zum Jahr 2030 (Schill 2022). Der durchschnittliche Absatz im Jahr 2021 lag

bei 29.633 BEVs pro Monat lag (KBA 2022). Auch wenn zu erwarten ist, dass die tatsächliche Akzeptanz eher einer S-förmigen Kurve als einem linearen Trend folgt (Abbildung 6), verdeutlicht dies das beträchtliche Ausmaß der Herausforderung.

Es wird Überraschungen geben, die bei der Gestaltung und Steuerung der Politikmaßnahmen antizipiert werden müssen. In Anbetracht des Umfangs und der Komplexität der Antriebs- und Mobilitätswende im Allgemeinen wird es zu Überraschungen in Bezug auf technologische Entwicklungen, Verhaltensänderungen oder die Leistung von Politikmaßnahmen kommen, darauf sollte die Gestaltung der öffentlichen Politik ausgerichtet sein. Wie werden sich die Kosten eines BEVs angesichts der weltweit steigenden Nachfrage nach den erforderlichen Grundressourcen entwickeln? Werden sich das Materialangebot oder technologische Entwicklungen rasch an die Nachfrage anpassen und sinkende Batteriepreise ermöglichen? Werden Krisen wie die Pandemie oder geopolitische Spannungen die Lieferketten unterbrechen und die Preise in die Höhe treiben? Wie wird sich der Markt für Benzin- und Dieseltankstellen entwickeln, wenn die Zahl der ICE-Fahrzeuge auf den Straßen bis Ende der 2020er Jahre zurückgeht? Werden die abnehmenden Skalenvorteile den Ausstieg aus der Nutzung von ICE-Fahrzeugen beschleunigen? Die Steuerung der Politik muss anpassungsfähig sein, Trends müssen kontinuierlich überwacht werden und der Politikmixpfad angepasst, wenn die Herausforderungen zunehmen (Flachsland et al. 2021). Eine Möglichkeit, solche Unwägbarkeiten in unsere Analyse der Politikmixpfade einzubeziehen, besteht darin, die Möglichkeit sowohl sehr hoher als auch sehr niedriger Kosten für den Umstieg auf BEVs zu berücksichtigen. Die zweite Möglichkeit besteht darin, zu bewerten, wie sich die verschiedenen Politikmixpfade im Hinblick auf die im folgenden Abschnitt genannten Herausforderungen des technologischen Wandels im Automobilsektor verhalten, ungeachtet der erheblichen Ex-ante Ungewissheiten hinsichtlich ihrer Realisierung. Der dritte Weg besteht darin, die Komplexität der Verwaltung (hier einschließlich der Überwachung, Bewertung und Anpassung) der verschiedenen Politikmixpfade zu bewerten.

3. Herausforderungen des Politikmixdesigns und ex-ante-Bewertungskriterien für die Wende im Automobilsektor

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Herausforderungen für das Erreichen der ambitionierten Ziele Deutschlands für die Emissionsreduktion im Straßenverkehr und für BEVs im Jahr 2030 aufgezeigt. Auf der Grundlage einer Überprüfung von wissenschaftlicher Fachliteratur und politischen Papieren (siehe Anhang II) konzentrieren wir uns insbesondere auf die Identifizierung *intertemporaler* Herausforderungen bei der Transformation des Sektors. Wir werden diese Herausforderungen als Bewertungskriterien für verschiedene Pfadoptionen in den Abschnitten 4 (Ausgangssituation) und 5 (alternative politische Pfade) verwenden.

3.1 Umweltwirksamkeit

Bei der Ausgestaltung der Politikpfade steht die Umweltwirksamkeit im Vordergrund. Um eine positive Wirkung auf die Umwelt zu gewährleisten, verwendet jeder Politikpfad, seiner Gestaltungslogik folgend, eine Kombination von Instrumenten, die in einem Umfang eingesetzt werden, der die Ziele für den Verkehrssektor bis 2030 erreicht. Dies ermöglicht einen Vergleich der verschiedenen Wege im Hinblick auf zuvor formulierte Herausforderungen bei der Gestaltung, da sie alle dasselbe Niveau der THG-Reduzierung erreichen. Dementsprechend wird davon ausgegangen, dass beispielsweise Marktversagen nur die dynamische Kosteneffizienz beeinträchtigt, denn selbst wenn dieses Versagen fortbestehen, sind die Pfade in der Lage, die THG-Vermeidung zu erreichen, wenn auch zu deutlich höheren Kosten (geringe Kostenwirksamkeit).

Es gibt keinen expliziten Emissionsminderungspfad für den Lkw-Sektor in Deutschland, aber die Anpassung der Emissionen der Lkw-Flotte an das THG-Ziel für den Verkehrssektor für 2030 und das Ziel der THG-Emissionsneutralität für 2045 in Deutschland erfordern einen tiefgreifenden Strukturwandel. Das überarbeitete Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG 2021) sieht eine Reduzierung der THG-Emissionen des gesamten Verkehrssektors von 139 MtCO_{2eq} im Jahr 2022 auf 85 MtCO_{2eq} im Jahr 2030 vor (~40% unter dem Wert von 2022), mit linearen jährlichen Reduktionszielen dazwischen. Bis 2045

strebt Deutschland die THG-Emissionsneutralität an, was wir so interpretieren, dass der Bestand an Personenkraftwagen (Pkw) in Deutschland keine CO₂ Emissionen verursacht. Auch wenn das KSG kein THG-Ziel für den Pkw-Verkehr vorgibt (der Verkehr umfasst auch schwere Nutzfahrzeuge und andere Verkehrsträger), trägt der Pkw-Verkehr derzeit etwa zwei Drittel zu den gesamten direkten THG-Emissionen des Verkehrs bei und muss daher bis 2030 erheblich reduziert werden. Diese äußerst anspruchsvolle Reihe von THG-Zielen erfordert eine grundlegende Umgestaltung des Sektors. Anders als bei einer Modellierung des Verkehrssystems gehen wir nicht von einem numerischen Ziel für die THG-Emissionen des Fahrzeugsektors aus, da wir eine qualitative Analyse durchführen. Außerdem könnten unterschiedliche politische Wege in verschiedenen Sektoren zu unterschiedlichen optimalen THG-Werten im Pkw-Sektor führen (abhängig von der Interaktion mit der Emissionssenkung in anderen Sektoren).

Wir konzentrieren uns auf zwei Schlüsseloptionen, um die angestrebten Emissionsminderungen bei leichten Automobilen zu erreichen: Die Erhöhung des Absatzes der BEVs und die Verringerung des ICE-Fahrzeug-Bestands. Mit unserem Fokus auf leichte Automobile können THG-Emissionsminderungen im Allgemeinen aus fünf zusammenwirkenden Aspekten resultieren: (1) Verringerung der Kohlenstoffintensität von Neuwagen mit Verbrennungsmotoren (d. h. schrittweise Innovationen bei ICE-Fahrzeugen, Verlagerung des Kaufverhaltens hin zu effizienteren Fahrzeugen); (2) Verringerung des THG-Gehalts der von ICE-Fahrzeugen verwendeten Kraftstoffe (z.B. THG-arme Bio- und E-Fuels); (3) Verringerung der Nutzung von ICE-Fahrzeugen durch Verlagerung auf andere Verkehrsträger oder Verringerung der Reisetätigkeit und Fahrzeit; (4) Abwrackung und Export von ICE-Fahrzeugen; und (5) Aufnahme neuer BEVs in die Flotte anstelle von ICE-Fahrzeugen bei gleichzeitiger Dekarbonisierung der Stromerzeugung. In unserer Arbeit konzentrieren wir uns auf die Optionen 4-5, d.h. die Ausweitung des Verkaufs neuer BEVs, die schrittweise Ausmusterung des bestehenden ICE-Fahrzeugbestands und die Reduzierung der Nutzung von ICE-Fahrzeugen. Wir betrachten keine Maßnahmen, die explizit auf die Optionen 1-3 abzielen. Der Grund dafür ist, dass wir (a) erwarten, dass der Großteil der Emissionsreduzierungen aus dem Ausstieg aus dem ICE-Fahrzeugbestand und der Einführung von BEVs resultieren wird, und wir (b) unsere Analyse so einfach und nachvollziehbar wie möglich halten wollen.

3.2 Statische und dynamische Kostenwirksamkeit

Wir verwenden einen weit gefassten Begriff von Kosten. Wir definieren "Kosten" als die gesellschaftlichen Ressourcen in Form von Opportunitätskosten (z.B. Konsumverzicht), die erforderlich sind, um ein bestimmtes THG-Reduktionsziel im Bereich des motorisierten Individualverkehrs zu erreichen. In einer quantitativen Modellierungsanalyse können verschiedene Kostenindikatoren verwendet werden (z.B. die Gesamtausgaben für das Verkehrssystem). Um die Analyse zu vereinfachen, berücksichtigen wir nicht die Nebenefekte der Umstellung auf den motorisierten Individualverkehr, wie z.B. verbesserte Luftqualität, geringere Lärmbelastung und daraus resultierende positive Auswirkungen auf die Gesundheit.

Kostenwirksamkeit ist definiert als die Minimierung der Kosten für das Erreichen eines bestimmten THG-Reduktionsziels. Eine so definierte Kostenwirksamkeit (z.B. IPCC 2014) ist wünschenswert, weil sie (a) Ressourcen für ehrgeizigere Emissionsminderungsziele und/oder andere wichtige gesellschaftliche Ziele (z.B. Gesundheitsversorgung, Bildung) freisetzt und (b) die auf verschiedene Akteursgruppen zu verteilende Gesamtkostenlast minimiert und damit politische Herausforderungen verringert (siehe unten). Umgekehrt kann eine geringe Kostenwirksamkeit die Akzeptanz des Politikpfades untergraben, indem sie die verfügbaren gesellschaftlichen Ressourcen verringert und Verteilungskonflikte verschärft, wodurch die politischen Herausforderungen bei der Erreichung der THG-Ziele zunehmen. **Es ist sinnvoll, zwischen (a) den Kosten und (b) der Kostenwirksamkeit von Policy-Mix-Pfaden zu unterscheiden.** Die Gesamtkosten der THG-Reduktionspfade werden sowohl durch Faktoren innerhalb als auch außerhalb der Kontrolle der politischen Entscheidungsträger*innen bestimmt. Unser Ansatz für die Analyse von Policy-Mix-Pfaden konzentriert sich auf die Herausforderungen, die die politischen Entscheidungsträger*innen (in unserem Fall: in Deutschland und der EU) angehen können: Marktversagen, politische und Governance-Herausforderungen und andere Hindernisse für die Kostenwirksamkeit. Auf diese Hindernisse gehen wir weiter unten näher ein. Doch selbst bei der Gestaltung von Policy-Mix-Pfaden zur Maximierung der Kostenwirksamkeit werden die Kosten der Einführung von Pkw immer noch von Faktoren beein-

flusst, die außerhalb der Kontrolle der deutschen und europäischen Entscheidungsträger*innen liegen. So werden beispielsweise die Preise und der Zugang zu grundlegenden Ressourcen auf den Weltmärkten nur teilweise oder gar nicht durch die nationale oder multilaterale Politik beeinflusst (sondern vielmehr durch geopolitische Schocks oder Pandemien, die die Lieferketten unterbrechen). Technologischer Fortschritt, der die Kosten von Batterietechnologien senkt, wird zum Teil von der Politik und den Institutionen in Deutschland und der EU beeinflusst, beinhaltet aber auch exogene Unsicherheit über physikalische und chemisch-technische Limitierungen. Wenn wir uns auf die (Maximierung) der Kostenwirksamkeit von Policy-Mixes und Pfaden beziehen, sind wir daran interessiert, wie der Policy-Instrumenten-Mix die Gesamtkosten angesichts dieser exogenen Faktoren minimieren kann. Bei unserer Bewertung von Politikpfaden berücksichtigen wir auch die Kostenunsicherheit in dem Maße, wie sie sich auf die Kalibrierung von Politikinstrumenten auswirkt, z.B. auf die Höhe der Kohlenstoff-(Brennstoff-)Preise, die erforderlich sind, um bestimmte Umweltziele unter verschiedenen Kostenszenarien zu erreichen.

Herausforderungen		Wichtige Aspekte
Umwelt-wirk-samkeit	<i>BEV-Verkäufe</i>	- Anzahl der verkauften BEVs (Marktanteil)
	<i>THG-Emissionen der bestehenden Flotte</i>	- Nachfragereduzierung (geringere Nutzung des vorhandenen ICE-Fahrzeug-Bestands oder Umstieg auf andere Verkehrsträger) - Ausmusterung bestehender ICE-Fahrzeuge aus der Flotte
Kosten-wirk-samkeit	<i>Statische Kostenwirksamkeit</i>	- Harmonisierung der Grenzermeidungskosten für alle kurzfristigen Minderungsoptionen
	<i>Dynamische Kostenwirksamkeit</i>	- Erzielung eines kostengünstigen Zeitplans für die Einführung von BEVs im Laufe der Zeit: weder zu wenig (Verzicht auf „Learning by Doing“-Effekte) noch zu starke (kostspielige) Einführung von BEVs zu einem frühen Zeitpunkt (und umgekehrt zu stark/schwach später) - Behebung aller Marktdefizite, die die dynamische Kostenwirksamkeit beeinträchtigen, einschließlich des Kurzfristdenken der Verbraucher*innen, der Spillover-Effekte durch „Learning by Doing“, der Spillover-Effekte im Bereich Forschung und Entwicklung sowie der externen Effekte von Netzwerken - Gewährleistung der Glaubwürdigkeit der Politik, um eine Investitionszurückhaltung der Unternehmen zu vermeiden - Erfordernis begrenzter Informationen durch die politischen Entscheidungsträger*innen und geringe Kosten für die Anpassung des Policy-Mix unter Unsicherheit (siehe auch "Governance" unten)
Fiskalische Belastung	<i>Kosten und Einnahmen für den Staat</i>	- Fiskalische Kosten/Einnahmen durch den Policy-Mix - Höhere fiskalische Kosten belasten die Staatsfinanzen stärker und sind anfälliger für Anfechtungen/Widersprüche
Verteilung - Bevölkerung	<i>Auswirkungen auf Bevölkerungsgruppen</i>	- Wie der Policy-Mix die Kosten auf die Bevölkerung verteilt - Der Policy-Mix unterscheidet sich in der Bedeutung der Kosten (z.B. höher für Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise, niedriger für Subventionen und Standards)
Politische Durchführbarkeit	<i>Bevölkerung</i>	- Akzeptanz in unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen - Beeinflusst durch Faktoren wie Vertrauen in die Regierung, politische Präferenzen, Ideologien, Werte, Wissen und empfundene Aufdringlichkeit der Instrumente - Eng verknüpft mit den wahrgenommenen Verteilungseffekten zwischen den Bevölkerungsgruppen
	<i>Firmen</i>	- Akzeptanz bei den Interessengruppen/Stakeholdern der Branche - verbunden mit der Verteilung von Kosten (einschließlich der Wettbewerbsfähigkeit) und Vorteilen für etablierte Automobilhersteller und neue Unternehmen
Governance	<i>Administrative/ informationelle Anforderungen</i>	- Anforderungen an den Staat, den Policy-Mix im Laufe der Zeit zu überwachen, zu bewerten und zu erneuern - Die Informations-, Verwaltungs- und Durchsetzungsanforderungen sind bei einigen Instrumentenoptionen höher als bei anderen - Die Komplexität steigt mit der Anzahl der Instrumente, erhöht die Wechselwirkungen und die Wahrscheinlichkeit unbeabsichtigter Folgen

Tabelle 1: Tabelle der Übergangsprobleme im Segment der Pkw und leichten Nutzfahrzeuge, die auch als Bewertungskriterien für die ex-ante-Politikpfade dienen.

Die statische Kostenwirksamkeit ist ein wünschenswertes, aber kein ausreichendes Kriterium für die Bewertung von Politikpfaden.

Statische Kostenwirksamkeit bezieht sich auf die Minimierung der kurzfristigen Minderungskosten durch die Harmonisierung der Grenzkosten von Minderungsoptionen innerhalb und zwischen Sektoren und Regionen über einen kurzen Zeitraum (z.B. ein Jahr). Indem sichergestellt wird, dass alle Akteur*innen mit demselben THG-Preissignal für alle ihre verfügbaren Minderungsoptionen konfrontiert werden, werden sie bei der Herstellung, dem Kauf und dem Betrieb von Pkw stets diejenigen kurzfristigen Minderungsoptionen wählen, die billiger sind als dieser explizite oder implizite Preis, sofern sie nicht durch Marktversagen oder andere Hindernisse daran gehindert werden (Staub-Kaminski et al. 2014). Aus der Perspektive der statischen Kosteneffizienz gilt die Bepreisung von Kohlenstoff (Kraftstoff) als ideales Instrument, da sie Anreize für alle verfügbaren kurzfristigen Minderungsoptionen schafft (insbesondere für die Nutzung, aber auch für die Abwrackung und den Kauf). Im Gegensatz dazu bieten politische Maßnahmen wie Emissionsstandards für Neufahrzeuge keine Anreize zur Verringerung der Fahrzeugnutzung. Das Konzept der statischen Kostenwirksamkeit ignoriert jedoch Marktversagen, das sich auf die Verringerung der Minderungskosten im Laufe der Zeit bezieht.

Die dynamische (oder intertemporale) Kostenwirksamkeit ist für die Analyse von Policy-Mix-Pfaden unerlässlich.

Die dynamische Kostenwirksamkeit bezieht sich auf die Minimierung der Minderungskosten für das Erreichen von Umweltzielen über einen längeren Zeitraum, z.B. ein oder mehrere Jahrzehnte, und kann in Form von kumulierten Minderungskosten ausgedrückt werden. Sie erfordert insbesondere die Berücksichtigung von Reduzierungen der Minderungskosten (z.B. konzeptualisiert als Grenzvermeidungskostenkurven) aufgrund des technologischen Fortschritts im Laufe der Zeit. Auch die Art und Weise, wie die Politik mit Marktversagen umgeht, das sich auf die Geschwindigkeit und das Ausmaß des technologischen Fortschritts auswirkt, ist wichtig für die Bewertung der dynamischen Kosteneffizienz von Politikpfaden. Im Fall von BEVs bezieht sich die Optimierung der dynamischen Kostenwirksamkeit auf die Förderung eines Einführungspfades, der einen Ausgleich zwischen der frühen Einführung von teureren BEVs zur Erleichterung weiterer Kostensenkungen durch „Learning by Doing“-Effekte und der späteren

Einführung von dann billigeren BEVs schafft (z.B. aufgrund des technologischen Fortschritts bei der Batterieproduktion und der Ausweitung der globalen Rohstoffabbaukapazitäten; siehe Abbildung 7 zur Veranschaulichung). Wir interessieren uns hier besonders für das Risiko und die Möglichkeiten zur Vermeidung größerer "politischer Fehler", die eine dynamische geringe Kostenwirksamkeit in großem Maßstab zur Folge hätten, d. h. in einer Größenordnung, die dazu führen würde, dass Emissionsreduktionsziele verletzt oder sogar reduziert würden, weil sie politisch nicht mehr akzeptabel sind. Dies könnte z.B. der Fall sein, wenn relativ teure BEVs frühzeitig massiv subventioniert werden und dadurch ihr Einsatz enorm ausgeweitet wird, anstatt mit der Ausweitung des Einsatzes zu warten, bis Kostensenkungen realisiert werden. Umgekehrt könnten sehr niedrige frühe Adoptionsraten, z.B. aufgrund mangelnder Stringenz der Maßnahmen in kurzer Frist, zu einem nicht optimalen „Learning by Doing“ und damit zu einer Verzögerung möglicher Kostensenkungen führen und später auch extrem hohe Verbreitungsraten (und die Abwrackung von ICE-Fahrzeugen) erforderlich machen, was z.B. im Falle von Produktionsengpässen besonders kostspielig sein könnte (Abbildung 7).

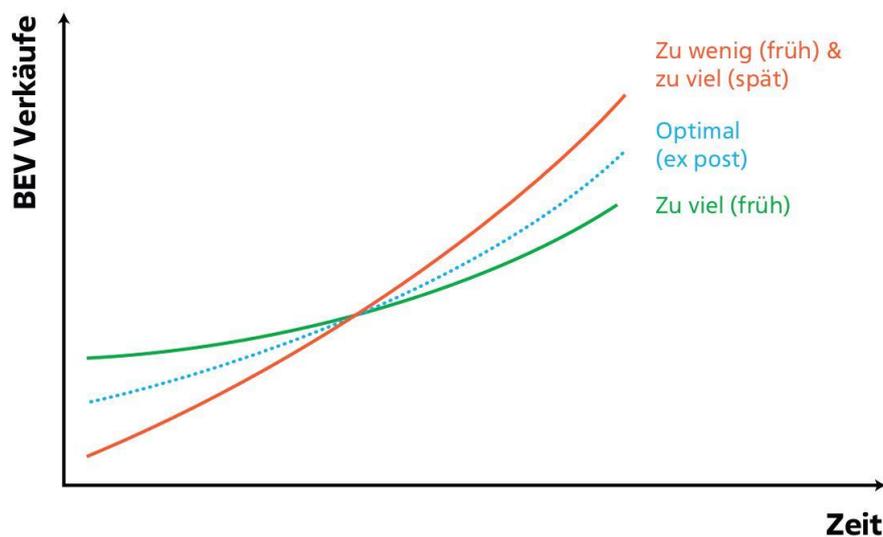


Abbildung 7: Dynamisch kostenwirksamer („optimaler“) Einführungspfad für BEVs im Laufe der Zeit (nur ex post bestimmt, da ex ante Unsicherheit herrscht). Demgegenüber stehen zwei Pfade mit geringer dynamischer Kostenwirksamkeit: Bei dem einen wird frühzeitig zu wenig getan (z.B. Verzicht auf „Learning by Doing“-Effekte, die künftige Kosten senken), so dass später strengere Maßnahmen erforderlich sind, um das gleiche kumulative Einführungsziel für BEVs zu erreichen (wie hier angenommen). Der andere Weg führt dazu, dass zu früh zu viele teure BEVs und später zu wenig günstige BEVs eingesetzt werden. Quelle: Eigene Darstellung

Marktversagen, das die dynamische Kostenwirksamkeit beeinträchtigt, muss durch gezielte politische Instrumente behoben werden. In einem einfachen LehrbuchszENARIO mit perfekt informierten, rationalen Produzent*innen, Verbraucher*innen und allmächtigen Regierungen, die ein kumulatives Kohlenstoffbudget auferlegen, sowie ohne zusätzliches Marktversagen ist ein CO₂-(Kraftstoff-)Preis, der mit einem optimalen Diskontsatz steigt, das einzige erforderliche klimapolitische Instrument, um sowohl die statische als auch die dynamische Kostenwirksamkeit zu maximieren. Zusätzliches Marktversagen und Governance-Probleme, wie z.B. das Kurzfristdenken der Verbraucher*innen, externe Effekte der Ladeinfrastruktur für BEVs, positive Lerneffekte bei der Einführung von BEVs oder das Fehlen eines glaubwürdigen Engagements der Regierung für eine bestimmte Politik, bedeuten jedoch, dass selbst ein perfekter CO₂-(Kraftstoff-)Preis allein nicht das kostenwirksamste Ergebnis erzielen kann (Fischer und Newell 2008, Vogt-Schilb und Hallegatte 2014). Der theoretisch perfekte Verlauf des CO₂-(Kraftstoff-)Preises (ohne Berücksichtigung von Marktversagen) würde in diesem Fall zu einem Defizit an kumulierten Minderungsmaßnahmen führen, wenn er über eine feste Kohlenstoffsteuer umgesetzt würde. Im Falle eines Emissionshandelssystems könnte dies zu anfänglich niedrigen und dann steil ansteigenden und übermäßig kostspieligen (d.h. dynamisch unwirksamen) Preisen für Emissionszertifikate und Emissionsreduktionen in den späten 2020er Jahren und darüber hinaus führen. Dies gilt unter der Bedingung, dass die Antizipation auf den Märkten, an denen die Zertifikate gehandelt werden, im Vergleich zum sozialen Optimum unvollkommen ist, was einen solchen Pfad möglicherweise auch politisch undurchführbar macht und seine Glaubwürdigkeit ex ante beeinträchtigt, siehe unten. Auf einem vollkommen rationalen Markt für Emissionszertifikate könnte ein unnötig hoher Preispfad für Emissionszertifikate entstehen, um die Nichtumsetzung zusätzlicher Instrumente teilweise zu kompensieren. Selbst ein „optimierter“ CO₂-(Kraftstoff-)Preispfad, der diese zusätzlichen Herausforderungen berücksichtigt (z.B. durch die frühzeitige Einführung eines höheren CO₂-(Kraftstoff-)Preisniveaus), wäre nicht optimal, da die Bewältigung zusätzlicher externer Effekte und Herausforderungen durch separate Instrumente zu einem insgesamt kostengünstigeren Ergebnis führen kann (Kalkuhl et al. 2012). Im Folgenden werden die wichtigsten externen Effekte und Marktunvollkommenheiten erörtert, die für

die dynamische Kosteneffizienz bei der Umstellung des Fahrzeugsektors von Bedeutung sind.

Das Kurzfristdenken von Verbraucher*innen bedeutet, dass Verbraucher*innen die Lebensdauerkosten von Fahrzeugen überproportional hoch ansetzen. BEVs haben derzeit höhere Anschaffungskosten als ICE-Fahrzeuge, aber niedrigere Betriebskosten, wodurch sie bereits vergleichbare oder sogar niedrigere Lebensdauerkosten haben (Agora Verkehrswende 2022; BloombergNEF 2021). Eine häufige Erkenntnis ist jedoch, dass die Verbraucher*innen die langfristigen Kosten und Einsparungen unterbewerten (Allcott und Wozny 2014; Gillingham und Munk-Nielsen 2019; Wolfram et al. 2021) und aufgrund der begrenzten Rationalität eher suboptimale Entscheidungen treffen.¹ Die Politik muss so konzipiert sein, dass sie diese Verhaltenseigenschaft überwindet, da sonst kurzfristig denkende Verbraucher*innen, gemessen an den Lebensdauerkosten, weiterhin zu teure Autos kaufen könnten. Ein damit zusammenhängendes Problem ist die Frage, ob die Verbraucher*innen in der Lage sind, rationale Entscheidungen zu treffen, weil sie nicht über „perfekte“ Informationen verfügen (Safarzyńska und van den Bergh 2018). So wird zum Beispiel weithin angenommen, dass Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge die Treibhausgasemissionen verringern und niedrigere Kraftstoffkosten verursachen, doch gibt es Hinweise auf eine erhebliche Leistungslücke zwischen den Emissionsreduzierungen in der Praxis und den in Labortests ermittelten Werten (Tietge et al. 2019; Plötz et al. 2020). Im Durchschnitt sind der reale Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen von Hybriden für Privatfahrende in Deutschland mehr als doppelt so hoch wie in offiziellen Testverfahren und bis zu viermal höher für Firmenwagen.

Die Politik kann dazu beitragen, die kognitiven Erwartungen zu beeinflussen, indem sie genaue Informationen über die Lebensdauerkosten von Fahrzeugen bereitstellt und Zulassungs- oder Kaufsteuern einführt, die auf genauen Leistungsdaten von Neufahrzeugen basieren. Der Grundgedanke wäre, die Vorlaufkosten für teurere (Lebensdauer-)Optionen zu erhöhen und/oder die Kosten für Optionen mit niedrigeren Lebensdauerkosten zu senken. So kann die Verzerrung korrigiert werden, die durch das Kurzfristdenken der Verbraucher*innen und ihre begrenzte Rationalität entsteht. Es besteht jedoch erhebliche

¹ Das Ausmaß dieses Effekts ist umstritten, und einige Untersuchungen deuten darauf hin, dass das Kurzfristdenken der Verbraucher nur begrenzt ist (Busse et al. 2013; Sallee et al. 2016).

Unsicherheit über das Ausmaß dieses potenziellen Effekts und damit über die optimale Ausgestaltung und Justierung der Politik.

Spillover-Effekte bei der Wissensproduktion durch „Learning by Doing“ bei der Entwicklung, Produktion und Nutzung von BEV, können für die dynamische Kosteneffizienz von Bedeutung sein. Grundlegende F&E-Spillover zwischen Unternehmen (Jaffe et al. 2005) und Lerneffekte innerhalb von Unternehmen sowie die Bildung von stillschweigendem Wissen (Nelson und Winter 1982; Nightingale 2003) senken die Kosten von BEVs im Laufe der Zeit. Lerneffekte können auch für die Verbraucher*innen gelten. Zum einen auf lokaler Ebene durch positive Spillover-Effekte, wenn die Zahl der Anwendenden der neuen Technologie steigt, und zum anderen auf kollektiver Ebene, wenn sich kognitive Ansichten und Werte ändern, weil die neue Technologie kulturell und symbolisch in normative Ansichten eingebettet wird. Lerneffekte verringern nicht nur das Kurzfristdenken bei Verbraucher*innen, indem sie Informationen bereitstellen und dazu beitragen, Verhaltensweisen hin zu einem verstärkten Kauf von BEVs zu lenken, sondern verstärken auch die Marktdynamik, indem sie Anreize für eine verstärkte Unternehmensinnovation schaffen. So kann ein sich selbst verstärkender Kreislauf entstehen (Aravena und Denny 2021). Aus gesellschaftlicher Sicht führt diese "Learning by Doing"-Dynamik ohne politische Interventionen zu Marktversagen, da Automobilhersteller und Verbraucher*innen im Vergleich zum gesellschaftlich dynamisch kostenwirksamen Niveau zu wenig investieren, insbesondere in früheren Phasen der BEV-Produktion. Hier sind die Spillover-Effekte besonders hoch, sie können aber von den Unternehmen (z.B. aufgrund von Reverse Engineering) und den Verbraucher*innen nicht vollständig genutzt werden. Dies rechtfertigt zusätzliche politische Instrumente, die eine frühe Einführung unterstützen. Lerneffekte können so realisiert werden - wenn diese mit der Zeit abnehmen, laufen parallel dazu die unterstützenden Instrumente aus.

Netzwerkexternalitäten können die Einführung von BEVs hemmen oder verlangsamen.

Bei BEVs ist der anfängliche Aufbau der Ladeinfrastruktur mit potenziellen Netzwerkexternalitäten verbunden (Zhou und Li 2018; Springel 2021). Private Akteur*innen sind zu Beginn des Übergangs möglicherweise nicht oder nur in geringem Maße dazu bereit, in die Infrastruktur zu investieren, da die Investitionen nicht voll ausgeschöpft werden. Damit BEVs trotzdem eine attraktive Alternative zu ICE-Fahrzeugen darstellen, muss aber

eine ausreichende Infrastruktur vorhanden sein. Mit zunehmender Verbreitung von BEVs wird erwartet, dass der private Sektor seine Investitionen in die Ladeinfrastruktur erhöht, da das Risiko sinkt und die erwarteten Einnahmen steigen. Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Verbreitung von Ladepunkten in Deutschland bereits über dem von der EU empfohlenen Mindestverhältnis von einem Ladepunkt auf zehn E-Fahrzeuge liegt, dass aber die unzureichende Infrastrukturabdeckung nach wie vor ein entscheidendes Hindernis für die Verbreitung von E-Fahrzeugen darstellt und die Fortsetzung der öffentlichen Förderung daher gerechtfertigt erscheint (Sommer und Vance 2021). Diese öffentliche Förderung des Infrastrukturausbaus hat auch indirekte Auswirkungen auf die Akzeptanz von BEVs, da sie Angst vor mangelnder Reichweite abbaut, die Bequemlichkeit erhöht und den Lerneffekt verstärkt, wenn die Zahl der BEVs mit der Zeit steigt. Auch hier würden die damit verbundenen öffentlichen Maßnahmen mit der Zeit auslaufen, wenn die externen Effekte abnehmen.

Ein glaubwürdiges staatliches Engagement und größere Marktsicherheit verringern das Investitionsrisiko, was zu mehr Investitionen in BEVs von Seiten der Herstellenden und höheren Kostensenkungen führen kann. Ein hohes politisches Engagement für Policy-Mix-Pfade zur Erreichung von Übergangsziele verringert das Investitionsrisiko, und Unternehmen haben einen höheren Anreiz, in kohlenstoffarme Optionen zu investieren (Newell und Goldsmith 2001; Brunner et al. 2012). Dies hängt mit den interpretativen Effekten eines Policy-Mix-Wechsels zusammen (Pierson 1993; Edmondson et al. 2019) - den Informationen, die formalisierte oder informelle Ergebnisse der Politikgestaltung für die Akteur*innen bereitstellen und dadurch Erwartungen formen und Investitionen und innovative Aktivitäten lenken (Edmondson et al. 2019). Wenn Unternehmen Zweifel an der Glaubwürdigkeit des staatlichen Engagements haben - beispielsweise wenn sie einen unerwarteten Abbau von Unterstützungsmaßnahmen erleben -, werden sie sich eher auf Lobbyarbeit und Rent-Seeking konzentrieren, um den Status quo aufrechtzuerhalten oder den Übergang in eine Richtung zu lenken, die ihren Interessen entspricht, als dass sie ihre Ressourcen vollständig für eine radikale Änderung ihrer Geschäftsmodelle und Lieferketten einsetzen (Roberts und Geels 2019).

Die Glaubwürdigkeit kann erhöht werden, indem Investitionen gegenüber Emissionen in den Vordergrund gestellt werden und indem politische Maßnahmen den prognostizierten Pfad verfolgen. Instrumente, die auf Investitionen abzielen, können die Probleme der zeitlichen Inkonsistenz verringern, was die Unsicherheiten reduziert (Kalhuhl et al. 2020). Dies ist in der Regel häufiger bei Vorschriften und Subventionen der Fall, die auf Investitionen (Bestand) abzielen, kann aber auch durch Investitionssteuern erreicht werden. Größere Sicherheit kann auch durch die Umsetzung von Verpflichtungen zu einem Übergangspfad erreicht werden. Subventionen und möglicherweise in der Gesetzgebung verankerte Regelungen (die durchsetzbare Eigentumsrechte schaffen) können mehr Sicherheit bieten (Brunner et al. 2012). Die Technologiespezifität des Policy-Mix kann ebenfalls die Marktsicherheit erhöhen, was zu höheren Investitionen in Innovation, Upscaling und Infrastrukturbereitstellung für bestimmte Technologien führt (Bhadwaj et al. 2020). Allerdings besteht die Gefahr, dass die Regierung möglicherweise Fehler bei der Auswahl der Profiteur*innen macht und auf Innovationen bei nicht berücksichtigten Technologien verzichtet.

Die Festlegung politischer Pfade, die eine dynamische Kostenwirksamkeit unter Unsicherheit erreichen, ist eine große Herausforderung. Die optimale Abfolge von technologischen (z.B. optimaler Zeitpunkt der Einführung von BEVs) und verhaltensbezogenen Maßnahmen (z.B. Ausmusterung und Kaufentscheidungen) numerisch zu beschreiben, ist selbst mit numerischen Modellen schwierig. Modellierer*innen, politische Entscheidungsträger*innen und Unternehmer*innen sehen sich alle mit (unterschiedlichen) Informationsbeschränkungen und Unsicherheiten konfrontiert, einschließlich des genauen Ausmaßes der oben diskutierten externen Effekte und der entsprechenden optimalen Politikgestaltung und -justierung. Diese Unsicherheiten verringern sich erst langsam im Laufe des Übergangsprozesses und mit der Entwicklung strenger Ex-post-Forschung, die immer mehr empirische Hinweise über das Ausmaß der externen Effekte, der Kostensenkungen und der Elastizitäten liefert. Die tatsächliche Kostenwirksamkeit eines Policy-Mix-Pfades hängt auch davon ab, inwieweit die politischen Entscheidungsträger*innen die Herausforderungen der Governance bewältigen können. Das gilt insbesondere mit Blick auf die Informationsanforderungen und den dynamischen Anpassungsbedarf. Unterschiede bei den Informationsanforderungen und dem Anpassungsbedarf müssen daher als relevante

Elemente bei der Bewertung alternativer Policy-Mix-Pfade berücksichtigt werden. Die Operationalisierung dieses Kriteriums ist ebenfalls eine Herausforderung. Als eine Möglichkeit betrachten wir die Informationsanforderungen und den Bedarf an dynamischen Anpassungen (und deren Komplexität) durch die politischen Entscheidungsträger*innen für die verschiedenen Pfadoptionen in der Bewertungskategorie "Governance". Wir betonen jedoch, dass weitere Arbeiten, z.B. zum institutionellen Aufbau für die Steuerung von Policy-Mixes im Laufe der Zeit, sinnvoll wären.

Bei der dynamischen Kostenwirksamkeit gibt es Zielkonflikte in Hinblick auf Unsicherheiten und den Grad der Marktintervention. Weniger interventionistische Ansätze (z.B. nur Preisgestaltung) mit einem höheren Maß an Flexibilität können es dem Markt ermöglichen, sich leichter an exogene Schocks im System anzupassen, wie z.B. starken Preisschwankungen bei Komponenten und Materialien. Ein solcher Ansatz ist jedoch anfällig für Marktversagen, was zu einer langsameren Verbreitung von BEVs führen kann, was wiederum Anreize für geringere Investitionen schafft, die dynamische Kostenwirksamkeit beeinträchtigt und im schlimmsten Fall dazu führen kann, dass die Verbreitungsziele für 2030 nicht erreicht werden. Umgekehrt ist ein stark präskriptiver Ansatz, der versucht, die Entwicklung zu lenken und alle Fehler zu beheben, um den Übergang zu beschleunigen, potenziell anfälliger für eine verminderte dynamische Kostenwirksamkeit in Gegenwart exogener Unsicherheiten. Wenn sich herausstellt, dass die Kosten in der Lieferkette viel höher sind als erwartet (aufgrund von Krisen, Material- und Komponentenknappheit usw.), dann könnten die vorgeschriebenen Richtwerte für die Verbreitungsraten von BEVs zu viel höheren Kosten führen. Im schlimmsten Fall könnten hohe Kosten und Lieferengpässe zu politischem Druck führen, die Ziele zu lockern, was wiederum die Glaubwürdigkeit untergraben könnte. Folglich ist es für die intertemporale Kostenwirksamkeit von zentraler Bedeutung, das richtige Gleichgewicht zwischen der Behebung von Marktversagen und der Glaubwürdigkeit der Politik (durch Richtungsvorgaben) zu finden und gleichzeitig genügend Flexibilität zuzulassen, um sich an unsichere Bedingungen anzupassen und den Marktmechanismen die Möglichkeit zu geben, Verbesserungen der Preisleistung vorzunehmen. Wünschenswert ist ein Policy-Mix, der zu einer verstärkten Nutzung alternativer Emissionsreduktionsoptionen (z.B. Verringerung der Nutzung von ICE-Fahrzeu-

gen) und einer zeitlichen Verschiebung des BEV-Einführungszeitplans führt. Dadurch können die Kosten im Laufe der Zeit minimiert und gleichzeitig die Umweltziele gewahrt werden. Empirische Studien zur weiteren Klärung und vorzugsweise Quantifizierung dieser Unsicherheiten im spezifischen EU- und deutschen Kontext (und darüber hinaus) wären äußerst wertvoll.

3.3 Fiskalische Belastungen

Die fiskalischen Auswirkungen können sich auf die Kosten beziehen, die dem Staat durch die Unterstützung des Policy-Mix im Laufe der Zeit entstehen, oder umgekehrt, wenn das Policy-Mix-Design Einnahmen generiert. Die Gestaltung des Policy-Mix kann den Staatshaushalt stark belasten, wenn er stark auf Subventionen angewiesen ist. Umgekehrt können Preismechanismen die relativen Anschaffungskosten von BEVs verändern, entweder direkt durch Zulassungssteuern oder indirekt durch die Bepreisung von CO₂ (Kraftstoffen), und gleichzeitig Einnahmen generieren.

Die Kombination von Instrumenten kann die fiskalische/finanzielle Belastung des Staatshaushalts verringern. Bei der Gestaltung des Policy-Mix können Instrumentenarten kombiniert werden, um die Gesamtsteuerlast zu verringern. So können beispielsweise Politikkonzepte, die sowohl einnahmenerzeugende als auch subventionierende Komponenten enthalten (z.B. „Bonus-Malus“), einander ergänzen, um die fiskalischen/finanziellen Kosten zu begrenzen. Negative Anreize durch die Preisgestaltung können Einnahmen generieren und gleichzeitig (positive) Anreize für ein anderes Verhalten schaffen, was auch die Höhe der erforderlichen Subventionen verringert, da die Anschaffungskosten für steuerpflichtige Fahrzeuge (ICE-Fahrzeuge) im Vergleich zu steuerfreien Fahrzeugen (BEVs) steigen.

Die fiskalischen/finanziellen Auswirkungen stehen im Zusammenhang mit der Unterstützung und dem Widerstand von Haushaltsverantwortlichen für die Klimapolitik.

Wenn der Policy-Mix hohe fiskalische/finanzielle Kosten verursacht, ist es wahrscheinlicher, dass er bei den Haushaltsverantwortlichen und denjenigen, die anderen staatlichen Ausgaben (z.B. im Bereich Gesundheit oder Bildung) Priorität einräumen, Bedenken hervorruft und somit politischen Widerstand hervorruft (Oberlander und Weaver 2015;

Edmondson et al. 2019). Eine Verringerung der fiskalischen Belastung kann daher dazu beitragen, den Policy-Mix vor politischer Anfechtung zu schützen, insbesondere in Zeiten, in denen die staatlichen Einnahmen eingeschränkt sind (z.B. bei wirtschaftlichen Rezessionen, Sparmaßnahmen oder Krisen). Wenn der Policy-Mix zu höheren Einnahmen führt, ist es nicht nur wahrscheinlicher, dass der Policy-Mix weiterhin unterstützt wird, sondern die Mittel können auch für verschiedene Zwecke verwendet werden, z.B. für Rück- und Umverteilungsmaßnahmen, Investitionen in grüne Technologien oder zur Unterstützung des allgemeinen Haushalts (Klenert et al. 2018, Kellner et al. 2022).

Die geplante Erosion der Einnahmen aus der Benzin- und Dieselkraftstoffsteuer stellt eine Herausforderung für die öffentlichen Finanzen dar. Der schrittweise Ausstieg aus Benzin und Diesel bedeutet für den Staat einen allmählichen Verlust von ca. 36 Mrd. EUR an jährlichen Kraftstoffsteuereinnahmen (Haushaltsgesetz 2021). Wenn der Staatshaushalt nicht entsprechend gekürzt werden soll, müssen andere Steuerquellen innerhalb oder außerhalb des Fahrzeugsektors erschlossen werden. Diese Herausforderung gilt gleichermaßen für alle politischen Wege zur Erreichung von Null-THG-Emissionen bei Automobilen.

3.4 Verteilungseffekte

Wir konzentrieren uns auf die Verteilungseffekte zwischen den Bevölkerungsgruppen. Ein Policy-Mix, der den Zielgruppen Ressourcen zur Verfügung stellt, wird mit größerer Wahrscheinlichkeit ihre politische Unterstützung im Laufe der Zeit erzeugen und aufrechterhalten (Campbell 2012). Ein Policy-Mix kann den Zielgruppen entweder Ressourcen zuführen oder Kosten und Verluste verursachen (Pierson 1993; Edmondson et al. 2019). Die Stärke dieser „Ressourceneffekte“ hängt davon ab, wie sichtbar und nachvollziehbar die Vorteile/Kosten sind (Pierson 1993) und inwieweit sie in der Bevölkerung verstreut oder konzentriert sind. Ressourceneffekte können sich auf Interessengruppen und Stakeholder auswirken, aber wir betrachten hier nicht die Verteilungseffekte auf die Unternehmen, da es schwierig ist, Asymmetrien in Bezug auf die unterschiedlichen Auswirkungen auf die Unternehmen bei unseren alternativen Politikpfaden zu erkennen. Unsere alternativen Pfade führen alle dazu, dass bis 2030 die gleiche Menge an BEVs eingesetzt

wird (Grundannahme), was für die Hersteller die gleichen Herausforderungen und Chancen auf dem Markt bedeutet. Wir befassen uns auch nicht mit Fragen zu nationalen Komponentenanforderungen und Industriepolitik, die eine spezielle Kosten-Nutzen-Analyse erfordern würden. Weitere Arbeiten, die sich mit der Verteilungspolitik für Automobilhersteller und Unternehmen im Allgemeinen bei alternativen Politik-Mix-Pfaden befassen, sind erforderlich und könnten einen wichtigen Beitrag leisten.

Es ist zu erwarten, dass die Umstellung auf BEVs unterschiedliche Auswirkungen auf die verschiedenen Einkommensgruppen haben wird. In dem Maße, in dem ärmere Haushalte in Deutschland ein Auto besitzen (in den ärmsten Dezilen sind es relativ wenige, Kalkuhl et al. 2022), könnte eine Erhöhung der Kosten für den Betrieb bestehender ICE-Fahrzeuge (z.B. über CO₂-(Kraftstoff-)Preise) oder für den Kauf neuer Fahrzeuge (z.B. BEVs oder über Emissionsstandards bei ICE-Fahrzeugen) sie überproportional hart treffen, da sie tendenziell einen höheren Anteil ihres Einkommens für Mobilität in Pkw ausgeben als reichere Gruppen (zum höheren Anteil der Kraftstoffausgaben am Haushaltsverbrauch siehe Kalkuhl 2022). Der damit verbundene Verlust an verfügbarem Einkommen und reduzierten Mobilitätsmöglichkeiten sind untrennbar mit sozialer Benachteiligung und Ausgrenzung verbunden (Ohnmacht et al. 2009, Lucas 2012; Schwanen et al. 2015; Urry 2016). Zu den besonders betroffenen bzw. gefährdeten Gruppen gehören: ältere Menschen, Menschen mit eingeschränkter Mobilität, Menschen mit niedrigem Einkommen und Arbeitslose. Diese Auswirkungen treten mit größerer Wahrscheinlichkeit in ländlichen und benachteiligten Gebieten auf, in denen es weniger alternative (öffentliche) Verkehrsmittel gibt (Caulfield et al. 2022).

Zwar sind alle Politikpfade mit Kosten verbunden, aber die Höhe der Gesamtkosten (d. h. die Kostenwirksamkeit) und ihr Stellenwert sind bei den verschiedenen Politikpfaden unterschiedlich. Eine höhere dynamische Kostenwirksamkeit verringert die Gesamtheit der Kosten, die es auf die Einkommensgruppen zu verteilen gibt (Abschnitt 3.2). Die Bedeutung von Maßnahmen zur Bepreisung von THG (THG-Steuern, Emissionshandelsysteme) wird höher eingeschätzt als die von Emissionsstandards, die indirekt die Kosten verändern (z.B. für neue Fahrzeuge oder Kraftstoffe). Es wird allgemein angenommen, dass dies die politische Mobilisierung gegen Maßnahmen zur Bepreisung von (Kraftstoffen) erleichtert (Douenne und Fabre 2020). Insbesondere gibt es erhebliche Bedenken

hinsichtlich der politischen Akzeptanz sehr hoher CO₂-(Kraftstoff-)Preise (Axsen et al. 2020, siehe unten).

Politikpfade, die zu erheblichen Steuereinnahmen führen, bieten die Möglichkeit, die Verteilungsergebnisse durch Rückverteilung direkt zu steuern. Politische Maßnahmen, die Steuereinnahmen generieren, eröffnen Möglichkeiten für die Rückverteilung von Einnahmen und damit für die direkte Steuerung der Verteilungseffekte zwischen den Einkommensgruppen, z.B. durch pauschale Rückverteilung, die in Deutschland (insgesamt) zu progressiven Ergebnissen führen dürfte (Baldenius et al. 2021).

3.5 Politische Durchführbarkeit

Die politische Umsetzbarkeit ist ein zentraler Gesichtspunkt bei der Gestaltung des Policy-Mix und bezieht sich auf das Potenzial zur Umsetzung der politischen Reform und ihre Beständigkeit im Laufe der Zeit. Die Frage, ob eine Reformoption umgesetzt werden kann und ob die politische Unterstützung dafür im Laufe der Zeit anhalten wird, ist ein zentrales Anliegen bei der Gestaltung von Politikpfaden. Die politische Umsetzbarkeit steht außerdem in engem Zusammenhang mit anderen Herausforderungen bei der Gestaltung: Kostenwirksamkeit, Verteilungseffekte und steuerliche Auswirkungen. Daher erhöht die Bewältigung der vorgenannten Herausforderungen bei der Gestaltung von Politikpfaden auch die Aussichten auf Akzeptanz und dauerhafte politische Unterstützung des Pfads im Laufe der Zeit.

Die Aussichten auf eine Reform des Policy-Mixes hängen von den politischen Plattformen der Parteien und den politischen Koalitionen ab, die diese ermöglichen oder einschränken. Die Auswahl und Stringenz der Instrumente hängen weitgehend von der Stärke und Größe der unterstützenden politischen Koalitionen (insbesondere zwischen den Parteien, die eine Regierungskoalition bilden) ab, die für die Umsetzung und Unterstützung von Reformen erforderlich sind. Unter den derzeitigen politischen Bedingungen sind einige Reformen möglicherweise nicht möglich, bis sich kohärentere politische Koalitionen bilden (Patashnik und Zelizer 2013; Oberlander und Weaver 2015). Wenn umgekehrt unterstützende politische Koalitionen nach der Umsetzung schwächer werden,

können Reformen im Laufe der Zeit zunehmend angefochten werden, was zu einer Demontage führt.

Die Bildung politischer Plattformen und politischer Koalitionen wird maßgeblich von der Akzeptanz und Unterstützung durch (a) die Wähler*innen und (b) die Industrie beeinflusst. Politische Parteien bilden ihre klimapolitischen Plattformen im Kontext von Wahlsystemen, öffentlicher Meinung und (konkurrierenden) Industrieinteressen. Demokratisch gewählte Politiker*innen werden es vermeiden, klimapolitische Maßnahmen einzuführen, für die sie bei der Wahl bestraft werden könnten (z.B. durch den Verlust von Stimmenanteilen, was die Wahrscheinlichkeit einer Regierungsbeteiligung verringert) (Stokes 2016). Generell werden ehrgeizige klimapolitische Maßnahmen eher dort angewendet, wo die öffentliche Meinung zu diesen Maßnahmen positiv ist (Levi et al. 2020). Umgekehrt kann ein Mangel an Akzeptanz für den Policy-Mix oder seine Verschlechterung im Laufe der Zeit zu seiner Verwässerung oder sogar Abschaffung führen, wodurch die Erreichung der THG-Ziele gefährdet wird. Obwohl die meisten deutschen Bürger*innen über den Klimawandel besorgt sind und den Klimaschutz unterstützen, sind viele ehrgeizige Maßnahmen, insbesondere im Verkehrssektor, nach wie vor umstritten (Levi et al. 2021). Die Bepreisung von CO₂(Kraftstoff) ist zum Beispiel eine der unpopulärsten Klimapolitiken im Verkehrssektor. Das liegt wahrscheinlich daran, dass die Kosten sehr sichtbar sind und das Vertrauen in die politische Umsetzung der CO₂-Besteuerung begrenzt ist.

Die öffentliche Akzeptanz von Reformen wird von einer Reihe von Faktoren beeinflusst, darunter Verteilungseffekte, allgemeine politische Präferenzen, Werte, Vertrauen in die Regierung und wahrgenommene politische Ergebnisse (z.B. die Emissionsreduzierungen). Studien zeigen, dass die Akzeptanz bestimmter klimapolitischer Instrumente durch wirtschaftliches Eigeninteresse, Einstellungen zum Klimawandel und politisches Vertrauen sowie durch die Wahrnehmung von Fairness und Wirksamkeit bestimmt wird (Carattini et al. 2019; Douenne und Fabre 2020; Maestre-Andrés et al. 2021). Die Bepreisung von Kohlenstoff (Kraftstoff) wird beispielsweise eher akzeptiert, wenn die politischen Institutionen gut geführt sind, wenn die Bürger*innen für die Belastung durch die Bepreisung von Kohlenstoff (Kraftstoff) entschädigt werden und wenn sozialpolitische Maßnahmen in den Policy-Mix einbezogen werden (Levi et al. 2021). Um die öffentliche

Meinung zu verschiedenen Arten von Politikinstrumenten zu verstehen, konzentrieren wir uns auf ihre (wahrgenommenen) Folgen, insbesondere auf das Ausmaß, in dem sie als wirksam, gerecht und unaufdringlich angesehen werden.

Die öffentliche Akzeptanz kann durch eine sequenzielle Design-Logik der Maßnahmen erhöht werden. Die Einführung einer behutsamen CO₂-Steuer zu Beginn und die schrittweise Erhöhung der Stringenz des Instruments im Laufe der Zeit, können anfänglichen Widerstand gegen die Umsetzung der Politik begrenzen und die öffentliche Anfechtung (bei sofortigen hohen Preisen) im besten Fall eindämmen. Studien deuten darauf hin, dass sich die Bürger*innen schnell an Maßnahmen gewöhnen, nachdem sie eingeführt wurden, insbesondere wenn sich die wahrgenommenen Belastungen als geringer erweisen als vor der Umsetzung befürchtet (Harrison 2013; Jagers et al. 2020; Konc et al. 2022). Eine anfänglich moderate CO₂-Bepreisung könnte auch durch andere, anfänglich mäßig strenge Instrumente ergänzt werden, die zusätzliche Emissionsminderungseffekte erzielen, wodurch sich die Bedeutung der Intervention möglicherweise auf mehrere Instrumente verteilt (statt auf ein einziges, stark sichtbares und potenziell politisiertes Instrument mit einer deutlichen Erhöhung der Stringenz). Uns sind jedoch keine belastbaren Belege für einen solchen potenziellen Mechanismus bekannt.

Die öffentliche Akzeptanz kann auch durch Ausgleichsmaßnahmen erhöht werden. Die besonders hohen Vorlaufkosten für die Bepreisung von Kohlenstoff (Brennstoffen) beeinträchtigen die öffentliche Akzeptanz von Preisen mit hohen Grenzwerten. Untersuchungen zeigen jedoch, dass eine Rückverteilung der Einnahmen zur Entschädigung der Öffentlichkeit den Widerstand abschwächen kann. Es wird jedoch angenommen, dass dieser Effekt bei nachvollziehbaren „Pauschalzahlungen“ ausgeprägter ist und bei indirekten Ausgleichsmechanismen nur gering ist (Baldenius et al. 2021, Mildemberger et al. 2022, Kellner et al. 2022).

Die Industrie und insbesondere die Interessengruppen der Automobilhersteller können ehrgeizige politische Reformen durch Lobbyarbeit erschweren. Der Einfluss von Interessengruppen wird als ein Haupthindernis für die Verabschiedung von Klimaschutzmaßnahmen angesehen, insbesondere im Verkehrssektor, wo das Kapital sehr kon-

zentriert ist (Kornek et al. 2020). In Deutschland sind einige der größten Automobilunternehmen der Welt ansässig, und in den südlichen Bundesländern beschäftigen die Automobilhersteller und ihre Zulieferer*innen einen erheblichen Teil der deutschen Wählerschaft. Außerdem werden die deutschen Verkehrsministerien meist von konservativen Parteien geführt, die es als ihre Aufgabe ansehen, die deutsche Automobilindustrie zu schützen (Flachland und Levi 2021). Wir betrachten die potenzielle Opposition und Unterstützung durch die deutschen Automobilhersteller und weisen darauf hin, dass weitere Ex-ante-Analysen zum Vergleich potenzieller Reaktionen auf alternative Politikmischpfade im deutschen korporatistischen Umfeld nützlich wären.

Die Unterstützung der Hersteller für die Elektrifizierung scheint in letzter Zeit zugenommen zu haben. Einige Hersteller mögen eine rasche Elektrifizierung der Neuwagenverkäufe weiterhin ablehnen, im Allgemeinen haben sich die Präferenzen aber geändert. Die deutsche Automobilindustrie hat sich bis vor kurzem gegen klimapolitische Maßnahmen im Verkehrssektor gewehrt, zum Teil weil sie eine extrem mächtige Interessengruppe mit einem hochprofitablen Geschäftsmodell darstellt, das auf dem ICE-Fahrzeug basiert und fest in einem korporatistischen Governance-Kontext verankert ist (Meckling und Nahm 2018; Flachland und Levi 2021). Dieses Verhalten könnte als Kurzfristen denken der Hersteller interpretiert werden, die die Ankündigungen der politischen Entscheidungsträger*innen zu langfristigen Dekarbonisierungsbemühungen ignorieren. Einige Unternehmen setzen sich nach wie vor für die weitere Produktion von ICE-Fahrzeugen und die damit verbundene Nutzung von Wasserstoff oder E-Fuels ein (zumindest bei Pkw oder Lkw). Der größte deutsche Automobilhersteller VW hat jedoch stark in die Elektromobilität investiert und unterstützt offen eine strengere Klimapolitik im Verkehrssektor. Derzeit investieren fast alle deutschen Automobilhersteller in die Elektrifizierung ihres Produktportfolios, aber das Ausmaß, in dem sie strengere klimapolitische Vorgaben einhalten können, und ihre Akzeptanz gegenüber diesen, sind von Unternehmen zu Unternehmen sehr unterschiedlich.

Das Verständnis für die Bildung von klimapolitischen Programmen der politischen Parteien im Kontext des deutschen (und anderer) Wahlsystems, der Wählerpräferenzen und der Interessen der Industrie ist nach wie vor begrenzt. Auch wenn die politische Umsetzbarkeit eine wichtige Überlegung bei der Gestaltung und Bewertung von

Klimapolitiken ex ante ist, fehlt ein konzeptionell klarer und empirisch operationalisierter Rahmen für eine präzise Analyse. Angesichts der hohen Relevanz für die gesellschaftliche Entscheidungsfindung und das Wohlergehen sollte die Forschung das Verständnis in dieser Richtung vorantreiben. In der Zwischenzeit müssen Vorhersagen über die politische Umsetzbarkeit mit Vorsicht behandelt werden, und die erheblichen Unsicherheiten sollten klar kommuniziert werden. Eine Möglichkeit, mit diesen Unsicherheiten in der realen Politikgestaltung umzugehen, sind Governance-Bestimmungen, die die Option einer (nicht-)schrittweisen Erhöhung der politischen Stringenz des Instrumentenmixes regelmäßig auf die Tagesordnung setzen (z.B. der jährliche Überprüfungsmechanismus des deutschen Klimagesetzes, siehe Flachsland und Levi 2021). Solche institutionellen Gelegenheitsfenster könnten sich dann mit günstigen (oder ungünstigen) Veränderungen in politischen Plattformen und politischen Koalitionen decken.

3.6 Governance

Unsere Politikpfade gehen von einer Logik der kontinuierlichen Ausbesserung aus, die eine Änderung und Neukonfiguration des bestehenden, derzeit umgesetzten Policy-Mix beinhaltet. Die Politikgestaltung in der realen Welt ist chaotisch und beinhaltet oft das Zusammenspiel und die Überlagerung bestehender Politiken (Howlett und Rayner 2013). Eine wichtige Überlegung ist, dass die politischen Entscheidungsträger*innen nicht von null starten. Viel häufiger handelt es sich bei den Anpassungen des Policy-Mixes um eine Schichtung (Hinzufügen von Maßnahmen zu bestehenden Maßnahmen), Verschiebung (Änderung des Inhalts bestehender Maßnahmen) und Konvertierung (wesentliche Änderungen der Maßnahmen; Howlett und Rayner 2007) oder das Hinzufügen bzw. die Einstellung von Instrumenten. Bestimmte Maßnahmen wieder einzustellen ist verfahrenstechnisch schwieriger als andere Interventionen. Unsere Pfade tragen diesen Überlegungen Rechnung, indem sie auf den derzeit in Kraft befindlichen Instrumentenmixen und deren Reformplänen aufbauen (z.B. Fit für 55-Vorschlag der EU-Kommission, deutscher Koalitionsvertrag).

Die Governance-Anforderungen hängen von mehreren Faktoren ab, die sich auf die Gestaltung der Politikpfade und die Wahl der Instrumente beziehen. Die Governance-Anforderungen für die Politikpfade hängen ab von: (a) den Informations- und Verwaltungsanforderungen der ausgewählten Instrumente, (b) der Notwendigkeit ihrer Rekalibrierung und Anpassung im Laufe der Zeit und (c) der Anzahl der verwendeten Instrumente und der damit verbundenen Komplexität des Pfads.

Die Wahl der Instrumente ist mit unterschiedlichen Informations- und Verwaltungsanforderungen verbunden. Regulierungsbasierte Ansätze haben in der Regel höhere administrative Anforderungen, wie z.B. robuste Verfahren zur Überwachung der Emissionsintensität von Fahrzeugen, die anfällig für Manipulationen sind (Reynaert 2021). Für die Überwachung sind technische Fähigkeiten und der Zugang zu genauen Informationen erforderlich. Fehlende oder unzureichende Kapazitäten von durchsetzenden Behörden erschweren die Umsetzung oder Aktualisierung/Anpassung strenger politischer Maßnahmen (z.B. technologischer Standards), was sich negativ auf die Glaubwürdigkeit des Policy-Mix auswirken kann (Edmondson et al. 2020). In ähnlicher Weise erfordern Emissionshandelsmechanismen und die CO₂-Besteuerung eine glaubwürdige Überwachung und kompetente Verwaltungsinfrastrukturen. Instrumente zur Bepreisung von CO₂ (Brennstoffen) müssen ebenfalls aktualisiert werden, sobald ihre Performance überprüft werden konnte und sich ggf. äußere Umstände verändern, wie die ständigen Reformen des EU-ETS seit der Einführung zeigen. Die Wahl von Instrumenten, die hohe Informations- und Verwaltungsanforderungen stellen, erhöht die Governance-Herausforderung. Folglich kommt es mit höherer Wahrscheinlichkeit zum Governance-Versagen, was wiederum die politische Glaubwürdigkeit untergraben kann.

Die Steuerung der Politikpfade muss anpassungsfähig sein, daher müssen Mechanismen zur Rekalibrierung von Instrumenten und geplante Revisionschritte in das Design aufgenommen werden. Aufgrund der Komplexität der Politikgestaltung in der realen Welt ändern sich die Bedingungen und es treten unbeabsichtigte Folgen auf, die Änderungen oder nachträgliche Anpassungen der Politik erfordern (Howlett und Rayner 2013). Der Policy-Mix muss sich mit den Veränderungen in der Welt weiterentwickeln (Edmondson et al. 2019), sowohl mit der internen Systemdynamik (z.B. Markttrends, öf-

fentliche Akzeptanz) als auch mit externen Schocks (z.B. plötzliche Änderungen der internationalen Lieferketten). Dies erfordert reflexive und iterative politische Entscheidungsprozesse (Hoppmann et al. 2014). Außerdem sollten die Mechanismen mit Instrumenten ausgestattet sein, die entweder automatische oder strukturierte diskretionäre politische Anpassungen vorsehen, um wirksam auf veränderte Bedingungen reagieren zu können (Jordan und Moore 2020). Einige Instrumentenoptionen werden eine stärkere Rekalibrierung erfordern, vor allem solche, die sich an exogene Trends wie Preise von Komponenten oder Marktpreise von BEVs anpassen müssen. Dies geht mit einem erhöhten Informations- und Verwaltungsaufwand und einer geringeren Sicherheit einher, was die dynamische Kostenwirksamkeit beeinträchtigen kann.

Komplexität erhöht den Verwaltungsaufwand aufgrund der gestiegenen Wahrscheinlichkeit von Fehlern und unbeabsichtigten Folgen, was den Bedarf an Rekalibrierung erhöht. Komplexere Policy-Mix-Designs erhöhen die Wahrscheinlichkeit unbeabsichtigter Wechselwirkungen, da es in einer komplexen, sich verändernden und unsicheren Welt zu mehr Interaktionen zwischen den Instrumenten kommt (Jacobs und Weaver 2015). Häufige Überarbeitungen und Änderungen erhöhen die verwaltungstechnische Komplexität und machen den Policy-Mix anfällig für Fehler sowie für eine stärkere politische Anfechtung, wodurch das Risiko einer Politisierung bestimmter Themen steigt (Jordan und Matt 2014). Die politische Anfechtung des Policy-Mix kann die Wirksamkeit eines Entwurfs verringern, wenn die Ziele „verwässert“ werden, zum Beispiel wenn andere politisch relevante Krisen auftreten. Mechanismen können als sekundäre Gesetzgebung konzipiert werden, als eine Form der institutionellen Abschirmung (Lockwood et al. 2017), die es Bürokrat*innen ermöglicht, Änderungen ohne parlamentarische Zustimmung vorzunehmen, wodurch die Wahrscheinlichkeit einer anhaltenden Anfechtung der Maßnahmen verringert wird. Mehrere sich überschneidende und vielleicht sogar redundante Politiken könnten eine weitere Möglichkeit sein, Bedenken hinsichtlich politischer Anfechtung und Verwässerung aus der Perspektive der Umweltwirksamkeit zu begegnen, aber obwohl dieses Argument im politischen Diskurs (implizit) relevant zu sein scheint, verfolgen wir diese Argumentation nicht weiter, da es an systematischen Untersuchungen in der Fachliteratur mangelt.

4. Zukünftige Politikmixpfade - Konstruktion und Ausgangssituation

Konstruktion von Klimapolitikmixpfaden und Festlegung der Ausgangssituation. Wir wenden uns nun der Analyse zukünftiger Politikmixpfade zu. Zunächst beschreiben wir kurz unseren deskriptiven Rahmen (Abschnitt 4.1). Anschließend rekonstruieren und bewerten wir den Basispfad der gegenwärtig in Deutschland und Europa geltenden Politiken unter Berücksichtigung des „Fit for 55“-Vorschlags der EU-Kommission (Abschnitt 4.2). Eine statische Übersicht über den aktuellen Politikmix für Deutschland findet sich in Anhang I.

4.1 *Konstruktion und Bewertung von Politikmixpfaden*

Drei Arten von Verbraucher*innenentscheidungen bestimmen den Transformationspfad im Automobilsektor: Abwracken, Kauf und Nutzung von Fahrzeugen. Erstens ist die Entscheidung, ICE-Fahrzeuge durch Abwracken oder Export aus dem Bestand zu entfernen, von zentraler Bedeutung für die schrittweise Abschaffung des ICE-Fahrzeug-Bestandes. Sie hängt von den erwarteten Kosten und Nutzen eines erwarteten Neukaufs ab (oder von der Entscheidung, kein weiteres Fahrzeug zu kaufen). Zweitens bestimmt die Entscheidung für den Kauf eines neuen (oder gebrauchten) Fahrzeugs und insbesondere die Frage, ob es sich dabei um ein BEV (und damit um einen Beitrag zur Erreichung der Umweltziele) oder um ein neues ICE-Fahrzeug handelt, die Langlebigkeit des Bestands an ICE-Fahrzeugen und damit die Gesamtemissionen. Dies hängt von den erwarteten Kosten und Nutzen der Fahrzeugnutzung ab. Drittens bestimmen marginale Entscheidungen über die Nutzung bestehender ICE-Fahrzeuge das Volumen der sektoralen CO₂-Emissionen (Abbildung 8). Der Einfachheit halber ignorieren wir die schrittweise Entwicklung neuer Fahrzeugtypen durch die Automobilhersteller, die das Portfolio der zum Kauf verfügbaren Fahrzeuge bestimmen (und die damit verbundenen Marktversagen, politischen Herausforderungen und Maßnahmen).

Mit diesen drei Arten von Entscheidungen sind unterschiedliche externe Effekte verbunden. Das Kurzfristdenken der Verbraucher*innen wirkt sich auf die Kaufentscheidungen aus. Die „Learning by Doing“ Effekte der Hersteller hängen von ihrem Produktionsvolumen für den Verkauf ab, was die Kehrseite der Käufe ist. Im Gegensatz dazu spielen die Lerneffekte der Verbraucher*innen bei der Nutzung von BEVs eine Rolle, und externe Netzwerkeffekte können den Ausbau der Ladeinfrastruktur für BEVs behindern, was sich auf die Bequemlichkeit der Nutzung von BEVs auswirkt. Schließlich führen die CO₂-Emissionen aus dem Betrieb von Verbrennungsmotoren zu den grundlegenden Klimaexternalitäten, die durch die Klimapolitik gemildert werden müssen (unten in Abbildung 8). Auch hier ignorieren wir der Einfachheit halber die externen Effekte in der Entwicklungsphase neuer Fahrzeuge, in der insbesondere Spillover von Wissen in Forschung und Entwicklung und die politischen Herausforderungen in den kommenden Phasen der Umstellung auf BEVs in Deutschland weniger relevant erscheinen.

Wir konzentrieren uns auf Instrumente, die einen entscheidenden Einfluss auf diese drei Arten von Entscheidungen haben. Wir beschränken unsere Analyse auf die Instrumente, die wir auf der Grundlage unserer Literaturübersicht über klimapolitische Instrumente im Straßenverkehr (Anhang II) als die wirksamsten und wichtigsten für die Förderung des Übergangs zum motorisierten Individualverkehr ansehen (Bhardwaj et al. 2020; Levi et al. 2021; Agora Verkehrswende 2021). Diese Instrumente wirken sich direkt auf verschiedene Arten von Entscheidungen aus (Abbildung 8), aber es ist zu beachten, dass sich die Instrumente auch auf andere Entscheidungen auswirken, da sie in Wechselwirkung zueinanderstehen (z.B. wirkt sich die erwartete CO₂-(Kraftstoff-)Preisgestaltung für Benzin oder Diesel auf das Kalkül des Neuwagenkaufs aus, was wiederum die Abwrackentscheidung beeinflusst). Der Grundgedanke besteht darin, die Anzahl der betrachteten Instrumente zu minimieren (sie liegt in unseren Szenarien zwischen 4 und 8), um die Komplexität zu verringern, und gleichzeitig eine ausreichend breite Perspektive beizubehalten, um Politiken abzudecken, die den Kern alternativer Politikmixe bilden. Zusätzliche Maßnahmen können eine wichtige ergänzende Rolle spielen (z.B. durch die Beseitigung regulatorischer/rechtlicher/institutioneller/verhaltensbezogener Herausforderungen), aber ihre vollständige Berücksichtigung würde die Analyse zu sehr verkomplizieren.

Wir gehen über eine statische Betrachtung von Preisgestaltung vs. Regulierung bzw. eines Mixes als Hauptarchetypen für die Gestaltung des Politikmixpfades hinaus. Wir bringen die Politikdebatte voran, indem wir (a) den Schwerpunkt auf die Dynamik des technologischen Wandels im privaten Straßenverkehr legen (Abbildung 8), (b) innovative Kombinationen von Instrumenten entwickeln, die den Übergang vorantreiben und gleichzeitig die Herausforderungen adressieren können, z.B. durch die Verringerung der fiskalischen Belastung, indem die Kosten von Subventionen durch ergänzende Preisgestaltung ausgeglichen werden (Malus), und indem wir (c) die Politikgestaltung als evolutionär und dynamisch betrachten.

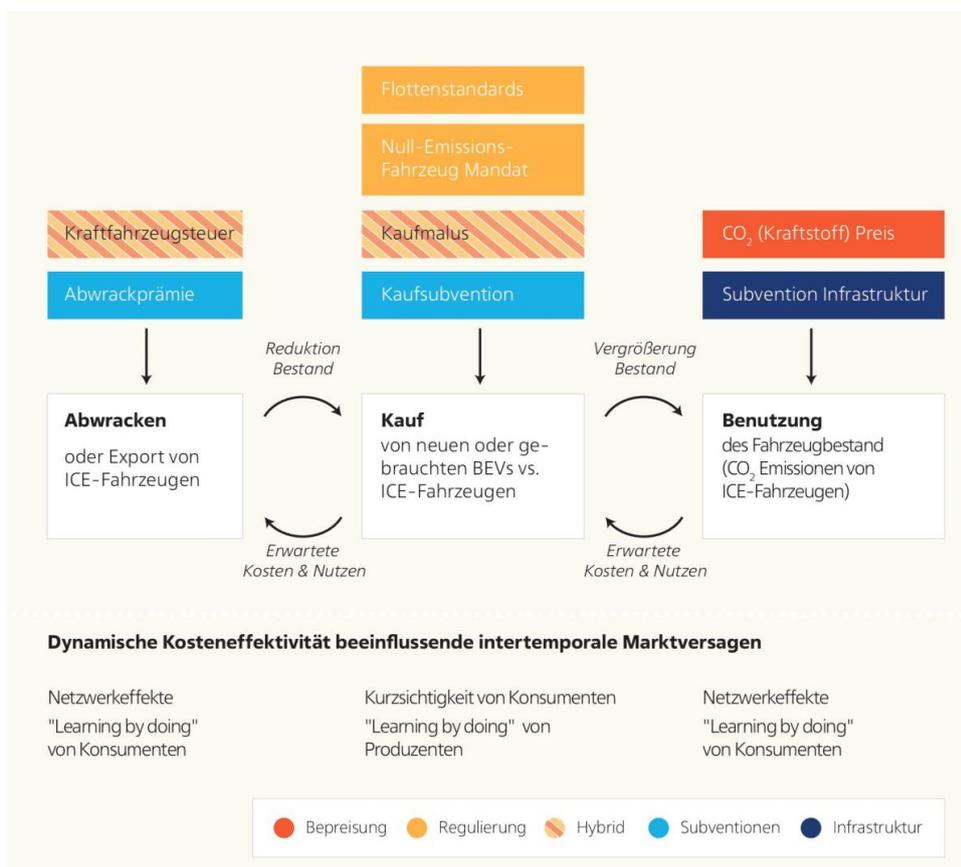


Abbildung 8: Die Dynamik des technologischen Wandels im Automobilsektor wird hauptsächlich durch die Entscheidungen der Verbraucher*innen bestimmt, (a) vorhandene Fahrzeuge zu verschrotten, (b) neue (oder gebrauchte) BEVs oder ICE-Fahrzeuge zu kaufen (oder überhaupt kein neues Fahrzeug) und (c) den vorhandenen Fahrzeugbestand zu nutzen, der im Falle von ICE-Fahrzeugen CO₂-Emissionen erzeugt. Diese Entscheidungen können mit unterschiedlichen Marktversagen einhergehen. Verschiedene Instrumente zielen auf unterschiedliche Entscheidungen und damit verbundene Marktversagen ab (sowie auf andere Herausforderungen, die hier nicht behandelt werden). Es ist zu beachten, dass die Entscheidungen in Wechselwirkung stehen (z.B. werden Abwracken und Kauf von den erwarteten Kosten und Nutzen des Gebrauchs von Neufahrzeugen beeinflusst), sodass Instrumente, die sich auf eine Art von Entscheidung auswirken, indirekt auch andere beeinflussen können, Quelle: Eigene Darstellung

Die Konstruktion der Politikmixpfade bezieht sich auf unterschiedliche Schwerpunkte bei der Dynamik des Fahrzeugbestands. Wir konstruieren drei alternative Pfade, die sich in ihrem Ansatz und ihren Instrumenten zur Bewältigung des Wandels im Fahrzeugbestand unterscheiden. Wir beginnen mit der Konstruktion und Bewertung des Status-quo-Instrumentenmixes für den Automobilsektor in Deutschland und konstruieren dann alternative Pfade, die sich aus dem Status-quo durch kontinuierliche Ausbesserung entwickeln (Howlett und Rayner 2013). Wir versuchen, jeden Weg so zu gestalten, dass die Umweltwirkung und die politische Durchführbarkeit gewährleistet sind (soweit dies angesichts der begrenzten Anzahl der in Betracht gezogenen Instrumente möglich ist) und die bestmöglichen Ergebnisse bei den anderen Herausforderungen/Bewertungsdimensionen im Rahmen einer iterativen Anwendung von ex ante Bewertungskriterien und einer Neudefinition des Politikmixdesigns erzielt werden.

Es werden Pfade konstruiert, die die Verbreitung von BEVs als zentrale Technologie anstreben. Wir konzentrieren uns auf BEVs als Hauptoption für die Dekarbonisierung des Automobilsektors. In erster Linie sind BEVs derzeit die am besten geeignete Technologieoption, um THG-Emissionen in großem Umfang zu reduzieren. Da wir uns auf die Erreichung der sektoralen Ziele für 2030 in Deutschland konzentrieren, halten wir dies für die einzige praktikable Option, um eine ausreichende THG-Reduzierung zu erreichen. Wir nehmen die derzeitige Debatte über die Verwendung von E-Fuels als Alternative zu BEVs zur Kenntnis, wobei das Hauptargument darin besteht, dass der vorhandene Bestand an ICE-Fahrzeugen mit einem neuen Kraftstoff genutzt werden kann. Aufgrund der derzeitigen Kosten und Energieintensität der E-Fuel-Produktion halten wir dies jedoch in naher Zukunft nicht für realisierbar. Wir schließen nicht aus, dass E-Fuels in Zukunft eine größere Rolle bei der Dekarbonisierung des Bestands spielen könnten, aber da unsere Pfade bis 2035 reichen, gehen wir nicht davon aus, dass E-Fuels vor diesem Zeitpunkt eine bedeutende Rolle spielen, was mit der aktuellen Modellierung des Verkehrs in Deutschland übereinstimmt.

Die alternativen Pfade werden in Bezug auf die Bepreisung des Kohlenstoffs im Kraftstoff oder im Fahrzeugbestand gekennzeichnet. Wir verwenden verschiedene Kombina-

tionen von Instrumenten, die entweder auf den Kraftstoff (Verbrauch), den Fahrzeugbestand oder einen gemischten sequenziellen Ansatz abzielen. Die ersten beiden nennen wir „CO₂-Bepreisung von Kraftstoffen (Fokus: CO₂-Preise Kraftstoffe)“ und „CO₂-Bepreisung des Fahrzeugbestands (Fokus: Fahrzeugbestand)“, da sie sich entweder hauptsächlich auf die Kohlenstoffbepreisung (Kraftstoff) oder auf die Verwendung von Fahrzeugsteuern (Zulassung und Nutzung) stützen, die auf den Bestand der Fahrzeugflotte erhoben werden.

Die Instrumentenstringenz wird als Konzept verwendet, um die zeitliche Dynamik von Instrumentendesigns innerhalb und zwischen den Pfaden im Laufe der Zeit zu vergleichen. Wir legen eine maximale und minimale Stringenz für jeden Instrumententyp fest, die für alle Pfade gilt und einen Vergleich der Logik der Pfade ermöglicht. Beispielsweise ist die Bepreisung von Kohlenstoff (Treibstoff) am höchsten in dem Pfad, der sich stark auf dieses Instrument stützt, um den Übergang voranzutreiben (siehe Fokus: CO₂-Preise Kraftstoffe). Bei diesem Pfad steigt dieses Instrument schnell an und erreicht die maximale Stringenz von 500 EUR/Tonne CO₂. Das soll nicht heißen, dass wir 100% Stringenz als optimal oder als gewünschtes Ergebnis des Instruments ansehen, sondern vielmehr als den Wert, der möglicherweise erforderlich ist, um den Übergang gemäß der Gestaltungslogik des jeweiligen Pfades voranzutreiben. Zum Vergleich: Der Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preis im Mix-Pfad steigt allmählich an und erreicht im dargestellten Zeitrahmen keine 500 EUR, wobei sein zentrales Szenario bis 2035 maximal rund 300 EUR erreicht.

Erarbeitung von Stringenzspannen für verschiedene Politikpfade. Um eine maximale und minimale Stringenz zu bestimmen, stützen wir uns auf vergangene, aktuelle und geplante politische Vorgaben, bestehende Modellierungsarbeiten und verfügbare politische Analysen der Umsetzung von Instrumenten in Deutschland und anderen Ländern. Wichtig ist, dass wir diese Werte nicht im Rahmen einer integrierten numerischen Modellierung quantitativ ableiten oder bewerten, was in Zukunft wünschenswert wäre. Unser Ziel ist es, einen konzeptionellen Rahmen zu entwickeln und zu testen, der qualitative, modelltechnische und empirische Erkenntnisse für die Konstruktion von Politikpfaden und die Ex-ante-Bewertung zusammenführt. Ausführliche Informationen darüber, wie wir die spezifischen Werte ermittelt haben, finden Sie in Anhang III.

Die Politikpfade umfassen zentrale und unterstützende Instrumente. Im Basisszenario und in unseren alternativen Szenarien in Abschnitt 5 werden die Instrumente als *Kerninstrumente*, *unterstützende Instrumente* oder *Restinstrumente* klassifiziert. Die *Kerninstrumente* sind von zentraler Bedeutung für die Umweltwirksamkeit des Politikmixes, und ohne die Kerninstrumente, die mit ausreichender Stringenz umgesetzt werden, dürfte der Mix die THG-Ziele für 2030 nicht erreichen. In einer numerischen Modellanalyse würde die Abschaffung oder Lockerung der Stringenz dieser Instrumente zu einem Scheitern bei der Erreichung der THG-Ziele führen. *Unterstützende Instrumente* dienen der Bewältigung anderer Herausforderungen wie Verteilungseffekte oder Kosteneffizienz (z.B. externe Netzwerkeffekte). Ihre Abschaffung würde die ökologische Wirksamkeit nicht gefährden, aber die Leistung in diesen anderen Bereichen beeinträchtigen. *Restliche Instrumente* sind redundante, sich überschneidende Instrumente, deren Abschaffung die THG-Ergebnisse nicht verändern würde.

Alle Politikmixpfade gehen von der gleichen Unsicherheit bei den Vermeidungskosten aus. Wie in Abschnitt 3.2 erwähnt, sind einige Elemente der Vermeidungskosten unabhängig von der deutschen und europäischen Politikgestaltung (z.B. Kosten für Batterien und elektrische Fahrzeuge, Einfachheit von Verhaltensanpassungen). Sie sind ungewiss und können sich in zukünftigen Szenarien als hoch/niedrig erweisen, unabhängig von dem bestehenden Mix. Politikmixpfade unterscheiden sich darin, wie sie unter verschiedenen Realisierungen dieser Ungewissheiten abschneiden. So wird beispielsweise davon ausgegangen, dass der Politikmix, der einen uneingeschränkten Anstieg der Kohlenstoff- (Brennstoff-)Preise zulässt, endogen auf die Realisierung hoher Minderungskosten reagiert, indem er hohe CO₂- (Brennstoff-)Preise hervorbringt, die die THG-Ziele erfüllen, entweder durch Marktanpassung in einem ETS oder durch CO₂-Steuererhöhungen durch die Politik. In Szenarien mit Obergrenzen für die Höhe der CO₂- (Kraftstoff-)Preise wird die Wirksamkeit durch regulatorische oder hybride (Preis-/Regulierungs-) Mechanismen sichergestellt, die bei abnehmender Unsicherheit angepasst werden. Umgekehrt würde die Realisierung niedriger Minderungskosten in allen Szenarien niedrige CO₂- (Kraftstoff-)Preise nach sich ziehen und könnte eine Lockerung anderer Instrumente (oder eine Erhöhung der Emissionsreduktionsziele) ermöglichen. Wir stellen diese Unsicherheiten bei

der Kalibrierung von Politikinstrumenten durch stilisierte schattierte Unsicherheitsbereiche in den Abbildungen dar. Es ist zu beachten, dass diese Bereiche hauptsächlich der Veranschaulichung dienen und nicht auf präzisen numerischen Bewertungen, sondern auf plausiblen Annahmen beruhen. Zukünftige Modellierungsarbeiten, die diese Unsicherheitsbereiche spezifizieren und so weit wie möglich einschränken, könnten diese Einschätzungen deutlich verbessern.

4.2 Politik-Basispfad mit Fit für 55-Paket

Der Basispfad stützt sich auf der nationalen und der EU-Politik einschließlich der Fit für 55-Vorschläge. Wir stellen den Basispfad für den Politikmixpfad dar, der die derzeit in Deutschland geltenden Maßnahmen für den Automobilssektor und den Vorschlag der EU-Kommission zum Fit für 55-Paket beinhaltet (siehe Anhang I für einen Überblick). Wir betrachten zwei besonders relevante Elemente des Fit für 55 Vorschlags: die angepassten Emissionsnormen für neue ICE-Fahrzeuge und die Einführung eines zweiten EU-Emissionshandelssystems für Verkehr und Gebäude (ETS-2). Wir betrachten zudem einige schrittweise Reformen des Politik-Basispfades, die dessen Leistung zu verbessern versprechen.

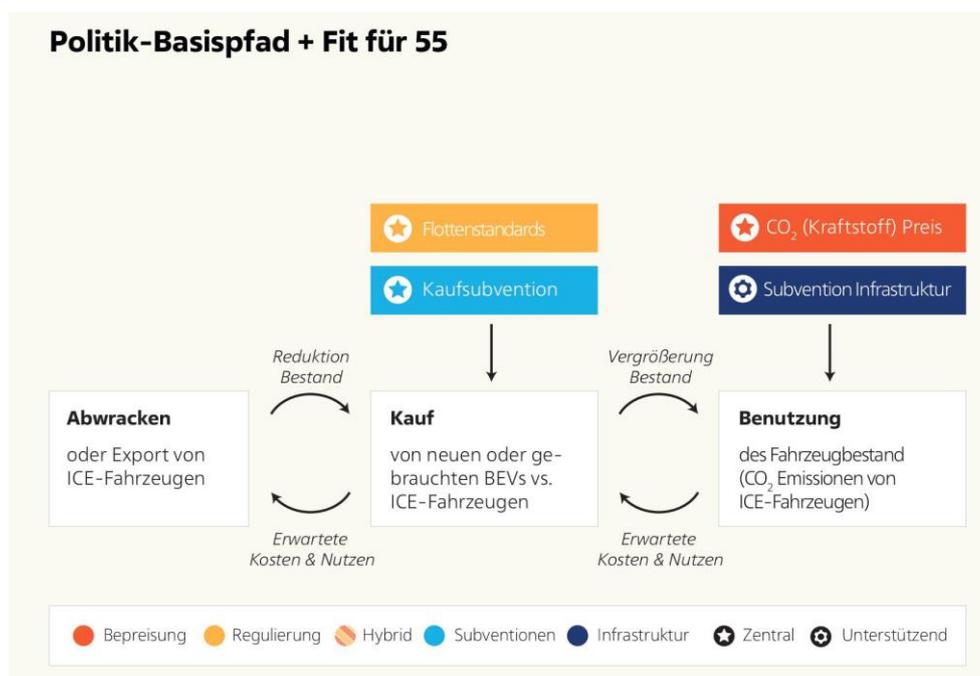


Abbildung 9: Politik-Basispfad + Fit für 55, Quelle: Eigene Darstellung

Der Basispfad nutzt eine Kombination von Instrumenten, die sich auf Kaufentscheidungen und die Nutzung konzentrieren, wobei die meisten Instrumente derzeit von geringer Stringenz geprägt sind. Das aktuelle Pfad-Design legt den Schwerpunkt auf die Förderung der Marktdiffusion von BEVs und PHEV-Fahrzeugen. Derzeit werden Bepreisungs- und Regulierungsmaßnahmen mit geringer Stringenz eingesetzt, was die Marktdynamik nicht ausschlaggebend zugunsten der Verbreitung von BEVs bis 2030 verändert und keine ausreichenden Anreize für eine geringere Nutzung von ICE-Fahrzeugen oder deren Abwrackung bietet. Wir beschreiben und bewerten die wichtigsten Instrumente, die im Politikmix-Basispfad eingesetzt werden, einschließlich der erwarteten Änderungen durch das Fit für 55-Reformpaket.

Wir bewerten den Politikmix-Basispfad Pfad indem wir uns auf bestehende empirische Analysen, Modellierungen und Erkenntnisse aus der akademischen Literatur zu den Gestaltungsmerkmalen von Instrumenten und Politikmixen stützen. Die Gestaltungsmerkmale und Bewertungen der Basisinstrumente sind in Tabelle 2 dargestellt. Nachdem wir die Instrumente im Detail bewertet haben, folgt eine Gesamtbewertung des Basispfads, die in Tabelle 3 zusammengefasst ist. Wir kommen zu dem Schluss, dass der Basispfad höchstwahrscheinlich selbst bei einer verbesserten Ausgestaltung der Instrumente die erforderlichen THG-Reduzierungen im Einklang mit den Zielen für 2030 nicht erreichen wird.

Basispfad - Merkmale der Instrumente und Bewertung

Wir beschreiben und bewerten vier Hauptinstrumente, die den Basispfad charakterisieren. Wir beschreiben die vier Hauptinstrumente des Basispfads und bewerten ihre aktuelle Umsetzung in Deutschland. In Übereinstimmung mit unseren in Abschnitt 3 dargelegten Herausforderungen/Bewertungskriterien geben wir der Umweltwirksamkeit bei unserer Bewertung höchste Priorität, weshalb wir den Basispfad hauptsächlich auf die Umweltwirksamkeit hin prüfen.

Das deutsche System zur Bepreisung von Kraftstoff-Kohlenstoff im Straßenverkehr

(nETS) ist nur bis 2026 festgeschrieben. Es ist noch nicht festgelegt, wie sich der Preis danach entwickeln wird oder ob ein ETS-2 eingeführt wird. Der Koalitionsvertrag der derzeitigen Regierung lässt zwar vermuten, dass es *eine gewisse* CO₂-Bepreisung für Kraftstoffe geben wird, aber der künftige CO₂- Preis für den Straßenverkehr bleibt ungewiss. Wir haben uns dafür entschieden, in unserer Analyse eine Bandbreite potenzieller CO₂-Preise für Kraftstoffe darzustellen, die sich am oberen Ende für die Höchstwerte auf die im Rahmen des Ariadne-Projekts (Pietzcker et al. 2021) durchgeführte Modellierung stützt. Die niedrigsten Werte werden basieren auf Schätzungen der EU-Kommission (2021b) für die ETS-2 Preise.

Politik-Basispfad + Fit für 55		
Bepreisung	CO₂- Preis - unterstützendes Instrument (abhängig vom Entwicklungspfad) 	- Das aktuelle nETS-Ziel ist zu niedrig, um Wirksamkeit zu entfalten (25 EUR im Jahr 2021 -> 55 EUR im Jahr 2026). - Nach 2026 unbestimmt. - Große Unsicherheit in Bezug auf die Vorschläge für das EU ETS 2. - Eine geringe Intensität des Instruments verringert die Kostenwirksamkeit und reduziert die Steuereinnahmen.
Regulierung	EU-Flottengrenzwerte mit Fit für 55 Änderungen - derzeit Kerninstrument 	- Zu den aktuellen Vorschlägen gehören die Verschärfung der Flottengrenzwerte für Neufahrzeuge ab 2030 und ein Verbot von Neuwagen mit Verbrennungsmotor ab 2035. - Sie tragen nicht wesentlich zur Verbreitung von Elektroautos in diesem Jahrzehnt bei, da sie nur auf Neufahrzeuge ausgerichtet sind. - Ohne eine Reform des Monitoring- und Umsetzungsverfahrens muss mit starken Manipulationen gerechnet werden, was die Wirksamkeit des Instruments weiter verringern würde.
Subventionen	Kaufsubvention (Umweltbonus + Innovationsprämie) - derzeitig Kerninstrument 	- Hohe Subventionen (bis zu 6.000 EUR staatlicher Zuschuss beim Kauf) zur Unterstützung der Marktentwicklung. - Differenziert nach Kauf/Leasing und Fahrzeugwert (Obergrenze 65.000 EUR). - Innovationsprämie bis Ende 2022 (insgesamt bis zu 6.000 EUR). - Umweltbonus bis 2025 (bis zu 3.000 EUR). - Voraussichtlich hohe finanzielle Kosten, wenn das Marktwachstum von Elektroautos deutlich zunimmt.
Infrastruktur	Öffentliche Infrastruktur - derzeit unterstützendes Instrument 	- Die derzeitigen Mittel belaufen sich auf 3,2 Mrd. EUR. - Derzeitiges Ziel ist es, bis 2030 1 Mio. Ladestationen zu installieren.

 Kerninstrument  Unterstützendes Instrument

Tabelle 2: Mischkonzept des Pfads „Politik-Basispfad + Fit für 55“

Die geplante nETS-Preisobergrenze ab 2026 - oder eine analoge ETS-2-Preisobergrenze - kann zu höheren Emissionen führen als eine feste Emissionsobergrenze. Wenn die Minderungskosten und damit die CO₂-Preise sehr hoch ausfallen und die vorgesehene Preisobergrenze im nETS ausgelöst wird, könnten die Emissionen des Sektors das KSG-Ziel übersteigen. Ein solches Defizit könnte durch verschiedene Flexibilitätsmechanismen ausgeglichen werden, einschließlich der Übererfüllung von Zielen in anderen deutschen Sektoren, zwischenstaatlichen Flexibilitätsmechanismen der EU sowie Bank- und Anleihebestimmungen im Rahmen des EU-Lastenausgleichs (Effort Sharing Regulation). Im Falle einer Preisobergrenze in einem ETS-2 und der Auslösung eines analogen Falls könnte Deutschland zusätzliche preisliche (z.B. nationale CO₂- Preisaufschläge) oder nicht-preisliche Instrumente (z.B. stringenterer Regulierung oder Subventionen) einsetzen.

Die geringe Stringenz und die fehlenden Spezifizierungen des nETS nach 2026 beeinträchtigen die dynamische Kostenwirksamkeit. Der derzeitige feste Preispfad liegt unterhalb des nötigen Niveaus und der Steigerungsrate, die voraussichtlich zum Erreichen der THG-Ziele für 2030 gebraucht werden (Edenhofer et al. 2019, Repenning et al. 2021). Aus diesem Grund liefert der jetzige Preispfad höchstwahrscheinlich kein glaubwürdiges Signal um die Investitionen der Hersteller und Verbraucher*innen zu verändern und die intertemporale Kostenwirksamkeit zu maximieren. Darüber hinaus wird die Ungewissheit über das Preisniveau (Preisobergrenze, Art des Preissystems auf deutscher oder EU-Ebene) nach 2026 wahrscheinlich zu Unterinvestitionen führen (Ohlendorf et al. 2022).

Die derzeitige Preisentwicklung des nETS bis 2026 führt zu niedrigen Steuereinnahmen und der eingeführte Mechanismus zur Rückverteilung der Einnahmen ist nicht progressiv. Edenhofer et al. (2019) stellen fest, dass der Verteilungseffekt des nETS eine umgekehrten U-Form für die Einkommensgruppen aufweist: Während niedrige und hohe Einkommensdezile relativ geringe zusätzliche Ausgaben haben, tragen die mittleren Einkommensgruppen nach dem Einnahmenrecycling die größte Last. Insgesamt sind die Verteilungseffekte jedoch aufgrund der geringen Stringenz des Bepreisungsinstruments

derzeit begrenzt. Andere Rückverteilungsmechanismen, wie das pauschale Pro-Kopf-Recycling, würden zu progressiveren Verteilungseffekten führen (Eisenmann et al. 2020; Kalkuhl et al. 2021, Budolfson et al. 2021).

Emissionsstandards - EU-Normen für die Fahrzeugflotte

Die im "Fit für 55"-Vorschlag vorgeschlagene Verschärfung des CO₂-Emissionsstandards der EU-Fahrzeugflotte trägt nicht wesentlich zur Erreichung der deutschen Klimaziele für 2030 bei. Der Vorschlag zur Anpassung der durchschnittlichen Fahrzeugflotten-Emissionsintensität für 2030 würde diese um etwa 15% stringenter machen als derzeit (EU-Kommission 2021c; Wappelhorst et al. 2021). Mit Blick auf die deutschen THG-Ziele für 2030, werde die Verschärfung der Emissionsstandards, die im Fit für 55 Vorschlag festgehalten sind, erst nach 2030 einen zusätzlichen Minderungsbeitrag leisten – da die Stringenz über Fünfjahreszeiträume konstant bleibt (und nicht schrittweise ansteigt). Die Emissionsstandards werden deshalb nicht dazu beitragen die deutschen Ziele für 2030 über den derzeitigen Zeitplan hinaus zu erreichen. Die wichtigste Änderung die durch Fit für 55 eingeführt wird besteht darin, dass die Standards effektiv zu einem Verkaufsverbot für ICE-Fahrzeuge im Jahr 2035 führen werden. Viele politische Analyst*innen haben jedoch darauf hingewiesen, dass die für 2030 vorgeschlagene Verschärfung möglicherweise nicht ausreicht um ein ICE-Fahrzeugverbot für 2035 zu erreichen (Gimbert 2021; Wappelhorst et al. 2021)². Darüber hinaus würde eine jährliche Anhebung der Emissionsstandards anstatt in Fünf-Jahres-Schritten den Bestandumschlag im Laufe der Zeit gleichmäßiger unterstützen. Außerdem kann durch die kumulative Stringenz Kohlenstoff schneller und in höherem Maße reduziert werden (Wappelhorst et al. 2021).

Die Überwachung des CO₂-Ausstoß von Fahrzeugen muss verbessert werden, um Manipulationen zu vermeiden. Die derzeitigen laborgestützten Überprüfungen des Ausstoßes untergräbt die Wirksamkeit der CO₂-Emissionsstandards für die Fahrzeugflotte (Tietge et al. 2019; Reynaert 2021). Die Überwachung und Durchsetzung dieses Instruments muss reformiert werden, wenn es ein oder das Hauptinstrument zur Förderung

² Wappelhorst et al. (2021) empfehlen eine um 25 % erhöhte Stringenz.

von Innovation und BEV-Verkäufen werden soll. Eine Option könnte die Echtzeit-Berichterstattung über die CO₂-Emission von Fahrzeugen sein (EU-Kommission 2021c).

Die derzeitigen CO₂-Leistungsstandards der EU haben eine leicht regressive Wirkung.

Die Emissionsstandards erhöht die Kosten für Autos. Auch wenn ärmere Haushalte tendenziell kleinere und effizientere Autos fahren und die Folgen des Kostenanstiegs gering sind, sind sie im Verhältnis zu ihrem Einkommen dennoch höher als bei wohlhabenderen Gruppen (Baldenius et al. 2021).

Subventionen - Umweltbonus und Innovationsprämie

Der Umweltbonus bleibt bis 2025 bestehen, die Innovationsprämie bis Januar 2023.

Ab Februar 2022 werden die derzeitigen Bundeszuschüsse (bis zu 6000 EUR insgesamt) für BEVs das ganze Jahr 2022 über beibehalten. Ab dem 1. Januar 2023 wird der Bundeszuschuss voraussichtlich auf 4000 EUR und 2024 auf 3000 EUR sinken, bis er Ende 2025 eingestellt wird. Sollte der Markt für BEVs vor 2025 erheblich ansteigen, könnte dies zu hohen fiskalischen Belastungen führen.

Umweltbonus und Innovationsprämie werden mit vielen Käufen von BEVs in Verbindung gebracht, auch wenn keine strenge Bewertung vorliegt, bei der die Verkäufe den politischen Instrumenten und insbesondere den potenziellen Wechselwirkungen mit den CO₂-Emissionsstandards der Fahrzeugflotte zugeordnet werden. Insgesamt wurden in Deutschland fast 900 000 Fahrzeuge gefördert (45% davon sind PHEVs und 55% BEVs) (BAFA 2021). Von den derzeit ca. 600 000 zugelassenen BEVs auf deutschen Straßen wurden 83,4% gefördert. Die Zahl der Zulassungen stieg deutlich an, nachdem der Wert des Kaufzuschusses im Jahr 2020 erhöht wurde. Eine sorgfältige empirische Ex-post-Analyse, die das Ausmaß der Auswirkungen dieser Zuschüsse aufzeigt und sie von den Auswirkungen anderer politischer Maßnahmen und Faktoren trennt, ist jedoch nicht verfügbar und wäre sehr nützlich. Die hohe Akzeptanz hat bereits dazu geführt, dass die für die Unterstützung des Mechanismus vorgesehenen Mittel in Höhe von 3,2 Mrd. EUR (ab Februar 2022) in erheblichem Umfang in Anspruch genommen wurden.

Durch eine verbesserte Gestaltung der Subventionen könnten Mitnahmeeffekte verringert und die Wirksamkeit erhöht werden. Die Anzahl der Fahrzeuge, die mit der gleichen Menge an Mitteln gefördert werden können, könnte durch eine Reform des Mechanismus erhöht werden. Die Prognosen für die Herstellungs- und Vertriebskosten von BEVs deuten auf erhebliche Kostensenkungen in diesem Jahrzehnt hin, wobei in einigen Segmenten bereits Preisparität erreicht wurde und andere Segmente im Laufe des Jahrzehnts wettbewerbsfähig werden (BloombergNEF 2021; Transport & Environment 2021). Wenn diese Kostensenkungen eintreten, besteht die Gefahr, dass das derzeitige Subventionskonzept den Kauf von BEVs bis 2025 übersubventioniert. Wird sie beibehalten, sollte der Subventionswert jährlich neu kalibriert werden, um eine bessere Korrelation mit dem Preisunterschied zwischen ICE-Fahrzeugen und BEVs herzustellen.

Die Wirksamkeit von Subventionen könnte auch durch eine bessere Ausrichtung auf bestimmte Zielgruppen verbessert werden, was zudem die Akzeptanz erhöhen könnte.

In der Literatur wurde nachgewiesen, dass die Ausrichtung auf verschiedene Einkommensgruppen die Umwelt- und Kostenwirksamkeit des Instruments durch die Verringerung von Mitnahmeeffekten verbessert. Sie mildert auch regressive Ergebnisse, indem sie denjenigen hilft die andernfalls nicht in der Lage wären, neue Fahrzeuge zu kaufen. Diese Gruppe wäre ansonsten gezwungen, mehr fürs Fahren zu bezahlen oder aufgrund hoher Kosten ausgeschlossen. Diese Reformen könnten die Akzeptanz dieser Maßnahme erhöhen. Weitere Studien zu den Verteilungseffekten der derzeitigen Subventionsregelungen wären hilfreich.

Die Streichung der Förderung für PHEVs würde eine höhere THG-Vermeidung erreichen und die intertemporale Kosteneffizienz erhöhen. Ab dem 1. Januar 2023 gibt es den Umweltbonus nur noch für Fahrzeuge, die nachweislich einen positiven Klimaschutzeffekt haben, der durch den elektrischen Fahranteil und eine elektrische Mindestreichweite definiert ist. Die alternative CO₂-Anforderung von maximal 50 Gramm CO₂/km wird daher voraussichtlich entfallen. Bereits ab dem 1. August 2023 soll eine Mindestreichweite von 80 Kilometern gelten. Diese Änderungen stellen zwar eine Verbesserung gegenüber dem derzeitigen Entwurf dar, jedoch wäre eine vollständige Streichung der För-

derung von PHEVs wirksamer für die Verringerung der THG-Emissionen. Jüngste Erkenntnisse deuten darauf hin, dass PHEVs die erwarteten Emissionsreduzierungen nicht erreichen (Plötz et al. 2020). Der Kanton Wallis (Schweiz) hat kürzlich die politische Unterstützung für PHEVs zurückgezogen, um sich auf die Förderung von BEVs zu konzentrieren (Borrás 2022). Derzeit wird diskutiert, ob der Rest der Schweiz diesem Beispiel folgen wird. Die Konzentration auf BEVs stellt sicher, dass die Nutzungsemissionen den erwarteten Emissionen entsprechen. Ebenso würde die Konzentration der Politik auf BEVs die intertemporale Kostenwirksamkeit erhöhen, indem sie mehr Klarheit schafft und Investitionen in BEV-Technologien statt in PHEVs fördert, die nicht in der Lage sind, Netto-Null-Emissionen zu erreichen.

Infrastruktur - Bereitstellung öffentlicher Infrastruktur

Während das Infrastrukturziel für die Elektromobilität bis 2030 reicht, ist die Förderung der Elektromobilität derzeit bis 2025 geplant. Die aktuelle Förderrichtlinie Elektromobilität läuft bis zum 31. Dezember 2025 und hat ein Gesamtvolumen von rund 551 Mio. EUR (BMVI 2022). Das Infrastrukturziel 2030 sieht 1 Mio. öffentliche Ladestationen vor (KoaV 2021, S.51f)³. Nicholas und Wappelhorst (2020) stellen bestehende Modell-schätzungen zum Verhältnis von öffentlichen Ladestationen zu Fahrzeugen zusammen und kommen auf einen Durchschnitt von etwa 1:13-1:14 im Jahr 2030. Auf dieser Grundlage würden die derzeitigen Ziele für die Infrastruktur ausreichen um die angestrebten 15 Mio. BEVs bis 2030 zu versorgen, vorausgesetzt es gibt zusätzliche Bereitstellungen aus der Privatwirtschaft.

Die derzeitigen Ausbauraten für die öffentliche Infrastruktur reichen nicht aus um bis 2030 eine Million öffentliche Ladestationen zu erreichen. Wir konzentrieren uns auf das Ambitionsniveau als Proxy-Indikator für die Infrastruktur, wobei wir anerkennen, dass dies lediglich eine Annäherung an die aktuellen politischen Initiativen darstellt. Wir stellen fest, dass die derzeitigen Einführungsraten nicht mit den ehrgeizigen Zielen übereinstimmen (wie in Abbildung 6 - Abschnitt 2 dargestellt), und dass die Umsetzung der

³ KoaV (2021, S. 51f): "Ziel von einer Million öffentlich und diskriminierungsfrei zugänglichen Ladepunkten bis 2030 mit Schwerpunkt auf Schnellladeinfrastruktur ..."

ehrgeizigen politischen Ziele verbessert werden muss. Die Bewertung der Infrastrukturpolitik ist aus mehreren Gründen komplexer als bei den anderen Instrumentenoptionen. Erstens handelt es sich bei der Infrastrukturförderung um ein Paket von Instrumenten, das sowohl fiskalpolitische (Subventionen) als auch ordnungspolitische Maßnahmen (z.B. die Auflagen für bestehende Autobahntankstellen, Ladestationen zu installieren) umfasst. Diese Instrumente werden außerdem sowohl auf regionaler als auch auf nationaler Ebene eingesetzt, was die Komplexität weiter erhöht. Daher ist die Gesamtfinanzierung kein guter Indikator da es nicht möglich ist die aktuellen Einführungsraten mit der Gesamtfinanzierung in Beziehung zu setzen. Wir haben auch keinen Zugang dazu, wie viel von den aktuellen Fördermitteln ausgeschöpft wurde, sodass wir keinen Näherungswert für die Skalierung auf der Grundlage der aktuellen Verbreitung angeben können. Der Fördersatz pro installierte Einheit ist ebenfalls kein guter Indikator da die Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Stückkosten wesentlich größer ist als bei BEVs.

Es bleibt eine offene Frage, wie lange der Staat den Ausbau der privaten und öffentlichen Ladeinfrastruktur aktiv subventionieren oder regulieren sollte. Es erscheint plausibel, dass in der Anfangsphase des Übergangs eine aktive Rolle des Staates beim Ausbau des privaten und öffentlichen Ladens von Elektrofahrzeugen aufgrund von Netzwerkeffekten gerechtfertigt ist (Maurer 2022). Jüngste Daten aus Norwegen (Koch et al. 2021) deuten darauf hin, dass die Märkte irgendwann die Führung übernehmen können und werden: früher für privates Laden aufgrund des Eigeninteresses der Nutzer und später für öffentliche Infrastrukturen. Wann genau diese Punkte erreicht werden, ist derzeit nicht gut vorhersagbar (Anhang I) und stellt einen wichtigen Bereich für weitere Forschung dar. Es gibt zudem Hinweise darauf, dass z.B. Tankstellenketten beginnen ihre Geschäftsmodelle anzupassen (Stüber 2021). Darüber hinaus wird der Staat auf lokaler bis (trans-)nationaler Ebene eine Rolle beim Abbau von Mikrobarrieren spielen müssen, z.B. bei der lokalen Raumordnung oder der Regulierung der Stromnetze. In unserer Analyse verzichten wir allerdings auf diese (wichtigen) Fragen, um den Hintergrundbericht fokussiert zu halten.

Politik-Basispfad + Fit für 55

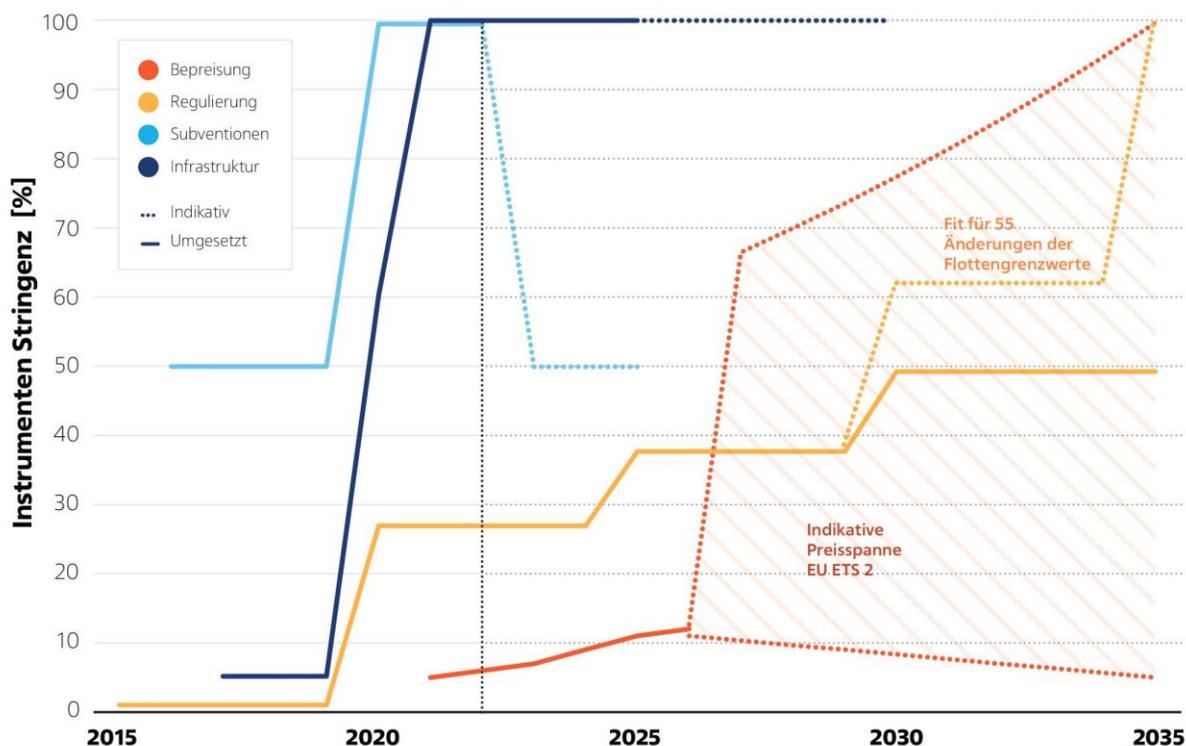


Abbildung 10: Politikmix-Basispfad einschließlich der Fit für 55-Vorschläge. Die vertikale Achse stellt die Stringenz als Prozentsatz des höchsten Ambitionsniveaus für den Instrumententyp in allen Szenarien in diesem Bericht dar. Der schattierte Bereich für die Stringenz der Kohlenstoff- (Brennstoff-) Preise zeigt die Unsicherheit über die erforderliche Höhe und den Verlauf der Kohlenstoff- (Brennstoff-) Preise zur Erreichung des THG-Ziels an (z.B. der Preis für Zertifikate, der zur Erreichung einer bestimmten Obergrenze eines ETS-2 erforderlich ist). Quelle: Eigene Darstellung

Um wirksam zu sein, sind die Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise viel zu niedrig. Dies scheint sich Zukunft nicht zu ändern. Wie zuvor dargelegt, ist die Stringenz des nETS derzeit viel zu gering, um spürbare Auswirkungen auf den Verkauf von BEVs oder die Emissionsreduzierung des bestehenden Fahrzeugbestands zu haben. Ein weiteres zentrales Problem des nETS ist die fehlende Klarheit über die Zeit nach 2026. Der aktuelle Politikmix sendet kein langfristiges Signal, was die Glaubwürdigkeit des politischen Engagements für substantielle Veränderungen im Sektor vor 2030 nicht fördert.

Der Basispfad mit den derzeit angenommenen Instrumenten und Fit für 55 Vorschlägen reicht nicht aus um die Umweltziele für 2030 zu erreichen. Eine Bewertung des Basispfads anhand der Herausforderungen bei der Gestaltung von Politikmixpfaden ist in Tabelle 3 zusammengefasst. Im Allgemeinen wird der deutsche Politikmixpfad für den Straßenverkehr – sollte er unverändert beibehalten werden, die Ziele für 2030 nicht erreichen. Dies ist vor allem auf die geringe Stringenz der zwei Kerninstrumente, dem Kohlenstoffpreis für Kraftstoffe und den Emissionsnormen, zurückzuführen. Der von der deutschen Regierung in Auftrag gegebene Emissionsprognosebericht kommt zu dem Ergebnis, dass – selbst unter der Annahme verlängerter und erhöhter CO₂-Preise – das 2030-Ziel für den Verkehrssektor um etwa 50% verfehlt wird (projizierte Emissionen im Jahr 2030: 126 MtCO₂, Sektorziel des KSG: 85 MtCO₂) (Repenning et al. 2021).

Die CO₂-Preise für Kraftstoffe sind zu niedrig, um wirksam zu sein. Außerdem untergräbt der fehlende Zukunftspfad nach 2026 die politische Glaubwürdigkeit und die dynamische Kostenwirksamkeit. Wie oben dargelegt, ist die Stringenz des nETS derzeit zu gering, um spürbare Auswirkungen auf den Verkauf von BEVs oder die Emissionsreduzierung des bestehenden Fahrzeugbestands zu haben. Ein weiteres Problem des nETS ist die mangelnde Klarheit für die Entwicklung nach 2026. Die langfristige Klarheit und Glaubwürdigkeit der künftigen CO₂-Preise ist von grundlegender Bedeutung für die intertemporale Kostenwirksamkeit und die Schaffung eines langfristigen und glaubwürdigen Signals für einen substanziellen Wandel in der Branche vor 2030. Es bedarf politischen Handelns, um das Kurzfristen Denken von Verbraucher*innen und Herstellern zu überwinden und Innovationen des Preis-Leistungs-Verhältnisses voranzutreiben. Während sich die deutsche Regierung derzeit für die Verabschiedung des ETS-2 (Graichen 2021) einsetzt, bleiben die Höhe und der Verlauf der mittel- bis langfristigen CO₂-Preise für Kraftstoffe unklar.

Die im Fit für 55-Paket vorgeschlagenen CO₂-Emissionsnormen für die Fahrzeugflotte sind im Hinblick auf die deutschen Ziele für 2030 nicht ehrgeizig genug. Ebenso sind die derzeitigen Flottenstandards zu niedrig, um eine signifikante Wirkung zu erzielen. Auch wenn es mehr Klarheit über die Flottenstandards bis 2030 gibt, sie Anreize für den

Kauf von BEVs und PHEVs setzen und einen moderaten Effizienzzuwachs von ICE-Fahrzeugen ermöglichen, sind die geplanten Standards nicht in der Lage, das erforderliche Minderungsniveau zu erreichen.

Subventionen können zu der Verbreitung von BEVs führen, sind aber mit hohen staatlichen Kosten verbunden und es liegen keine robusten ex-post Bewertungen vor. Subventionen könnten so angepasst werden, dass sie kosteneffizienter (mehr zusätzliche E-Fahrzeuge bei gleichen Kosten) und gerechter werden. Ein dauerhafter Rückgriff auf Subventionen zur Förderung des Umstiegs auf BEVs würde jedoch sehr hohe fiskalische Kosten nach sich ziehen.

Der geplante Ausbau der Infrastruktur ist ehrgeizig, aber die Wirksamkeit der derzeitigen Politik und der Zeitpunkt für ein staatliches Eingreifen sind unklar. Bauer et al. (2021) gehen davon aus, dass 1 Mio. Ladepunkte bis 2030 das Ziel von 15 Mio. Fahrzeugen erreichen könnte. Wie jedoch kürzlich vom BDEW (2021) hervorgehoben, ist es aufgrund des technologischen Wandels schwierig, die genaue Anzahl der bis Ende des Jahrzehnts benötigten Ladepunkte vorherzusagen. Aus diesem Grund sollten die Ziele für den Ausbau der Infrastruktur flexibel bleiben, um potenzielle Technologie- und Marktentwicklungen zu berücksichtigen. Infolgedessen ist die Wirksamkeit der derzeitigen Politik und Planung sowie die Notwendigkeit einer weiteren staatlichen Unterstützung in der nächsten Phase des technologischen Wandels im motorisierten Individualverkehr nicht ausreichend bekannt.

Eine Überarbeitung dieser Schlüsselinstrumente ist dringend erforderlich, um die deutschen THG-Ziele zu erreichen. Die derzeitige rasante Verbreitung von BEVs könnte zu einem erheblichen Teil durch den *Umweltbonus (+ Innovationsprämie)* angetrieben werden. Die Fortführung dieser Subventionen wird sehr teuer werden. Wenn sie aufgrund der hohen fiskalischen Belastung gestrichen werden, könnte das jüngste Wachstum der BEV-Verkäufe zurückgehen. Andere strenge politische Maßnahmen müssten ergriffen werden, um die Verbreitungsrate aufrechtzuerhalten, wie bereits bei der *Abwrackprämie* 2009 beobachtet. Um das rasche Wachstum des BEV-Marktes zu unterstützen und eine höhere HG-Minderung durch gezielte Minderung der THG desvorhandenen Bestandes zu erreichen, sind ehrgeizigere Instrumentenmixe erforderlich.

Im Falle, dass der Fit für 55-Vorschlag für angenommen wird, hängt die Umweltwirksamkeit entscheidend von der Gestaltung und den Auswirkungen des ETS-2 ab. Im Prinzip könnte ein ETS-2, welcher 2026 eingeführt wird und sehr hohe Preise erreicht, Anreize für die breite Einführung neuer BEVs schaffen und die Emissionen der bestehenden ICE-Fahrzeugflotte verringern. Dies müsste jedoch nicht nur innerhalb von nur vier Jahren geschehen (unter der Annahme, dass das EU-ETS-2 im Jahr 2026 eingeführt wird), sondern erfordert auch politische Unterstützung in allen EU-Mitgliedstaaten. Darüber hinaus würde das Erreichen des deutschen THG-Ziels mit einem EU-Instrument nicht zielgerichtet erfolgen, da es nicht darauf abgestimmt ist.

	Politik-Basispfad	Fit für 55
Umweltwirksamkeit (BEV-Verkäufe)	Mittel Subventionen als Anreiz für eine frühzeitige Einführung, gewisse Auswirkungen durch die Verschärfung der Flottenstandards, geringe Verringerung durch geringe Stringenz nETS (BEHG) (abhängig von der Entwicklung der Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise nach 2026).	
Umweltwirksamkeit (reduzierte Nutzung und Besitz von ICE-Fahrzeugen)	Niedrig Die Ausweitung und Verschärfung von Umweltzonen in städtischen Gebieten kann zu einer gewissen Verringerung der Emissionen führen, dürfte aber nicht signifikant sein (abhängig von der Entwicklung der Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise nach 2026).	
Kosteneffektivität (Statisch)	Niedrig nETS (BEHG) zu niedrig, um nennenswerte Auswirkungen auf die Nachfragereduktion zu haben.	
Kosteneffektivität (Dynamisch)	Mittel Der Mix behebt Kurzsichtigkeit teilweise durch Subventionen. Netzwerkeffekte werden durch die Bereitstellung von Infrastruktur angegangen. Keine langfristige Glaubwürdigkeit oder Sicherheit durch fehlende stringente Regulierung oder Preismechanismen.	
Fiskalische Belastung	Hoch Subventionen werden zu einer sehr hohen fiskalischen Belastung führen, wenn der Anteil der BEV-Verkäufe weiter steigt.	
Verteilung - Bevölkerung	Mittel-niedrig Die Ausgestaltung der Subventionen und die CO ₂ -Intensitätsstandards sind regressiv. Der Verteilungseffekt der Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise ist gering und hat eine umgekehrte U-Form.	
Politische Durchführbarkeit	Mittel-Hoch Derzeit geringer Widerstand der Öffentlichkeit gegen eingeführte oder vorgeschlagene Maßnahmen, vor allem wegen der geringen Stringenz dieser Optionen.	
Governance	Mittel-Hoch Überwachung und Durchsetzung von Vorschriften und nETS (BEHG), Zuweisung von Subventionen, Zuweisung von Infrastrukturmitteln.	

Tabelle 3: Bewertung des Pfads „Politik-Basispfad + Fit für 55“. Erklärung Farbschema: Leistung des Politikpfads in Bezug auf die Herausforderungen/Bewertungskriterien: niedrig bis hoch.

5. Alternative Politikmixpfade

Charakterisierung von drei Politikmixpfaden zur Erreichung des THG-Ziels für 2030.

Unsere Bewertung des Politik-Basispfads hat ergeben, dass die THG- und BEV-Ausbauziele für den deutschen Verkehrssektor für 2030 nicht erreicht werden können und gleichzeitig hohe fiskalische Kosten anfallen. Wir schlagen nun drei alternative Politikmixpfade vor, welche eine höhere THG-Reduktion versprechen und gleichzeitig die fiskalischen Kosten senken und die Kostenwirksamkeit erhöhen. Für jeden Mix spezifizieren wir zunächst die Konfiguration der politischen Instrumente im Zeitverlauf und erörtern wichtige Effekte im Hinblick auf die Herausforderungen des Übergangs und die Wechselwirkungen zwischen den Instrumenten (mit detaillierten Beschreibungen und quantitativen Spezifikationen in Anhang [III]).

Wir bewerten jeden Politikmixpfad separat über drei Zeiträume hinweg (bis 2025, 2025-2030 und 2030-2035). Wir dehnen die Analyse bis 2035 aus, da dies der vorgesehene Zeitpunkt für das Verbot neuer ICE-Fahrzeuge gemäß den Fit für 55-Vorschlägen ist. Der erste Zeitraum ist die Umsetzungsphase 2023-2025, in der der Status quo Politikmix durch die Umsetzung von Reformen neu kalibriert wird. Der darauffolgende Zeitraum ist 2025-2030, welches die verbleibende Zeit darstellt, um die Politikmixpfade zur Erreichung der sektoralen Ziele für 2030 anzupassen und auszubauen. Die letzte Phase erstreckt sich von 2030 bis 2035, d. h. in einem Zeitraum, in welchem alle Instrumentenpfade mit hoher Stringenz und Effektivität betrieben werden und einen erheblichen Druck auf die Abwrackung von ICE-Fahrzeugen ausüben, wodurch die Transformation des Sektors beschleunigt wird. Wir dehnen die Analyse bis 2035 aus, da dies der vorgesehene Zeitpunkt für die schrittweise Abschaffung der Zulassung neuer ICE-Fahrzeuge gemäß den Fit für 55-Vorschlägen ist.

Wir bezeichnen die Pfade nach der unterschiedlichen Rolle der Kohlenstoff- (Kraftstoff-) Preise im jeweiligen Politikmixpfad. Innerhalb des ersten Politikmixpfades („Fokus: CO₂-Preise Kraftstoffe“) ist die Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Bepreisung das Hauptinstrument, das die Kraftstoffpreise deutlich erhöht. Bei diesem Weg wird davon ausgegangen, dass zusätzliche Marktversagen und Netzwerkeffekte nicht sehr bedeutend sind und dass ergänzende Maßnahmen schnell auslaufen. Beim zweiten Politikmixpfad („Fokus:

Fahrzeugbestand“) spielt die direkte Bepreisung von Kohlenstoff (Kraftstoff) eine geringere Rolle und ist ein unterstützendes Instrument, das hauptsächlich auf die Verringerung der Nachfrage nach dem vorhandenen Bestand abzielt, während andere Instrumente den Hauptanreiz für den Verkauf von BEV und die Abwrackung von ICE-Fahrzeugen liefern. Beim dritten Politikmixpfad („Mix“) ist die Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Bepreisung ein zentrales Instrument, die Entwicklung beginnt jedoch auf einem niedrigeren Niveau und steigt dann im Laufe der Zeit rasch an. Es wird durch zusätzliche Instrumente mit einer höheren anfänglichen Stringenz unterstützt, um die Herausforderungen zu bewältigen, die das Marktwachstum beim Verkauf neuer BEV behindern, und um den anfänglich moderaten Preis für kohlenstoffhaltige Kraftstoffe zu kompensieren. Dementsprechend variiert die Bandbreite der Stringenz der Kohlenstoff-(Kraftstoff)Preise zwischen den einzelnen Pfaden, was die unterschiedlichen Rollen widerspiegelt, die das Instrument in diesen Kombinationen erfüllt (Abbildung 11).

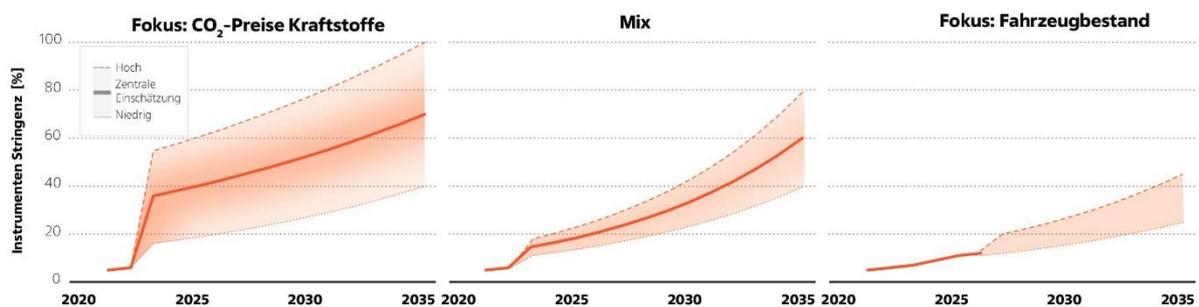


Abbildung 11: Stringenz der Kohlenstoff-(Brennstoff-)Preise im Vergleich zwischen den verschiedenen Pfaden. Quelle: Eigene Darstellung

Jeder alternative Pfad bietet eine höhere Umweltwirksamkeit und eine geringere fiskalische Belastung als der Politik-Basispfad. Wir entwerfen jeden Politikmixpfad, um die fiskalische Belastung des Staates zu senken und eine THG-Reduktion zu erreichen, die mit den deutschen THG-Werten für 2030 von 15 Mio. BEV und 1 Mio. EV-Ladestationen zu erreichen. Kohlenstoff- (Kraftstoff-) Preise und hybride Instrumente (Regulierungsinstrumente mit Besteuerung des Fahrzeugkaufs und des Fahrzeugbesitzes) sind die Hauptinstrumente in allen Pfaden. Die Einnahmen aus der Bepreisung von Fahrzeugen und Kraftstoffen können zur Finanzierung von Subventionsmaßnahmen verwendet oder um-

verteilt werden, um eine progressivere Verteilungswirkung zu erzielen. Bei den Mix-Optionen, die weiterhin Kaufsubventionen unterstützen („Mix“ und „Stock focus“), werden die Kosten für die Finanzierung dieser „Bonus“-Instrumente durch die Einnahmen aus ergänzenden Preismechanismen („Malus“) gedeckt.

Einen eigenen Vorschlag zur Reform der CO₂-Emissionsnormen für die EU-Fahrzeugflotte haben wir aufgrund der Herausforderungen bei der Gestaltung und Umsetzung nicht aufgenommen. Selbst bei den in den Fit für 55-Vorschlägen vorgeschlagenen stringenteren Standards erwarten wir nur einen begrenzten Beitrag zur Erreichung der Ziele für 2030. Um einen signifikanten Beitrag zur THG-Reduzierung vor 2030 zu leisten, wären wesentlich ehrgeizigere Standards erforderlich, einschließlich einer Reform des Designs in Richtung schrittweise (jährlich) steigender Ziele (Transport & Environment 2021). Darüber hinaus sind die Flottenstandards derzeit anfällig für Manipulationen (Reynaert 2021) und die Ausnutzung von Flexibilitätsmechanismen (Tietge et al. 2021), wodurch eine Leistungslücke zwischen der geschätzten und der beobachteten Wirksamkeit entsteht, die dringend einer Reform bedarf und bei der offen bleibt, ob sie wirksam gelöst werden kann. Diese Auslegungs- und Durchsetzungsreformen erfordern einen Konsens zwischen den Mitgliedstaaten und eine baldige Umsetzung, um vor 2030 eine spürbare Wirkung zu erzielen. Noch wichtiger ist, dass diese Reformen, selbst wenn sie umgesetzt werden, wahrscheinlich nicht mit den ehrgeizigen deutschen Zielen für 2030 übereinstimmen werden. Daher betrachten unsere Wege politische Optionen, die Deutschland auf nationaler Ebene verfolgen kann, wobei davon ausgegangen wird, dass die Aussichten auf ehrgeizigere Reformen sowohl in Bezug auf die Stringenz als auch auf die Umsetzungszeit größer sind.

Die CO₂-Leistungsstandards der Fit für 55 EU-Fahrzeugflotte werden in allen unseren Mix-Optionen als Restinstrument berücksichtigt. Wir haben jeden Pfad so gestaltet, dass er deutlich ehrgeiziger ist als die anvisierten Fit für 55 EU-Flottenstandards. Darüber hinaus machen die oben erwähnten Probleme mit der Gestaltung und Umsetzung dieser Standards sie zu einer suboptimalen Instrumentenoption. Bei dem „kraftstofforientierten“ Pfad wird ein sehr strenger Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preis verwendet, von dem erwartet wird, dass er sowohl für die Hersteller als auch für die Verbraucher*innen einen

starken Anreiz darstellt, der die Verbreitung von BEVs in einem ehrgeizigeren Tempo als die Flottenstandards anregt. In unserem „Mix“-Pfad verwenden wir stattdessen einen Bonus-Malus-Mechanismus zur Unterstützung des frühen BEV-Marktwachstums. Dieser Mechanismus bietet drei wesentliche Vorteile: Einnahmen, Flexibilität bei der Preisstaffelung und eine einfachere Gestaltung. Das bedeutet, dass er zwar immer noch von genauen Testverfahren abhängt und daher immer noch anfällig für Manipulationen ist, aber die Probleme, die mit der Ausnutzung von Flexibilitätsmechanismen verbunden sind, werden entschärft. Der auf den Bestand ausgerichtete Weg verwendet ein Null-Emissions-Fahrzeug-Mandat, das den Hersteller als Kerninstrument auferlegt wird. Dies hat den Vorteil, dass es transparenter ist und sich nicht auf Emissionsprüfungen stützt, was das Problem der Manipulationen entschärft. Diese Konzepte machen Flottenstandards zu einem Rest- oder überflüssigen Instrument für alle Pfade.

Innerhalb ihrer jeweiligen Logik sind alle Pfade so angelegt, dass sie die sektoralen Herausforderungen „optimal“ bewältigen. Unsere Vorschläge für die Gestaltung basieren auf der verfügbaren wissenschaftlichen (siehe Anhang [II]) und politischen Literatur darüber, wie die Leistung der einzelnen Wege im Hinblick auf die Bewältigung der Herausforderungen des Übergangs maximiert werden kann. Ein Hauptziel dieses Berichts ist es, zu Herausforderungen und Diskussionen über (a) die Logik alternativer Wege des Policy-Mixes, (b) ihre genaue Spezifikation angesichts unterschiedlicher Herausforderungen oder Bewertungskriterien und (c) die Analyse der Auswirkungen von Instrumenten und ihrer Wechselwirkungen anzuregen, die idealerweise quantitativ unter Verwendung geeigneter Modelle, die wichtige Effekte einbeziehen, erfolgen sollte.

Die drei Policy-Mix-Pfade tragen dazu bei, die THG-Sektor- und BEV-Einführungsziele für 2030 zu erreichen, unterscheiden sich aber in der Art und Weise, wie sie die Herausforderungen des Übergangs im Sektor angehen. Alle Pfade gehen von der gleichen Unsicherheit bei den Minderungskosten aus. Wir bewerten jeden dieser Pfade im Hinblick auf die Herausforderungen beim Übergang zum motorisierten Individualverkehr und vergleichen abschließend in Abschnitt 6.4 die Hauptrisiken der Mixe.

5.1 CO₂-Bepreisung von Kraftstoffen (Fokus: CO₂-Preise Kraftstoffe)

Kraftstofforientiertes Design

Dieser Politikmixpfad nutzt die Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preisgestaltung als Hauptinstrument, was nach Ansicht der Befürworter*innen die Kostenwirksamkeit maximieren kann, sofern keine zusätzliche Marktversagen keine wesentliche Rolle spielen. Bei diesem Pfad liegt der Schwerpunkt auf der Bepreisung von Kohlenstoff (Kraftstoff), um den Übergang zu fördern, wobei die Kaufentscheidungen für ein Fahrzeug durch Effekte zweiter Ordnung beeinflusst werden, die das Verhalten der Verbraucher*innen beeinflussen (Abbildung 12). Der Grundgedanke ist die Maximierung der statischen wirtschaftlichen Kostenwirksamkeit durch Anreize für alle Optionen der Emissionsreduktions durch die explizite Festlegung der vollständigen Grenzvermeidungskosten. Wenn die in Abschnitt 3 aufgezeigten Markt- oder Politikversagen nicht signifikant oder tiefgreifend sind, könnte dies gut funktionieren. Wenn sie jedoch erheblich und anhaltend sind, wird die Kostenwirksamkeit und sogar die Umweltwirksamkeit (z.B. wenn Ziele oder Preissignale als Reaktion auf politische Gegenreaktionen gelockert werden) im Vergleich zu den anderen Politikpfaden beeinträchtigt. Es wird erwartet, dass die hohen Preise bei dieser Option erhebliche Auswirkungen sowohl auf die Nutzung des vorhandenen Fahrzeugbestands als auch auf den Fahrzeugverkauf haben, d. h. den Absatz von BEVs steigern. Dieser Politikpfad minimiert zudem die fiskalische Belastung, da Subventionen und Infrastrukturmaßnahmen zeitnah auslaufen. Er generiert beträchtliche Einnahmen, mit welchen durch gezielte Rückverteilungen Verteilungseffekte adressiert werden können.

Hohe Kohlenstoff- (Kraftstoff-)Preise sind sofort erforderlich und werden im Laufe der Zeit weiter steigen. Eine sofortige Preiserhöhung durch eine Anpassung des nETS würde dazu beitragen, die kurzfristige Umweltwirksamkeit zu verbessern, das Marktwachstum von Elektrofahrzeugen aufrechterhalten und gleichzeitig die Subventionen auslaufen zu lassen. Es bleibt jedoch eine gewisse Unsicherheit über die kurzfristigen Reaktionen (Preiselastizitäten), so dass ein Flexibilitätsmechanismus eingebaut werden müsste um Schwankungen im Falle eines weiterhin festen Preises zu ermöglichen. In einem Emissionshandelssystem wie dem geplanten EU ETS-2 würde dies automatisch geschehen. Die

anfängliche Erhöhung des Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preises kann durch eine Anpassung des nETS umgesetzt werden, entweder durch eine direkte Erhöhung des Festpreises oder durch die Ermöglichung frei schwankender Preise (Pahle et al. 2022). Mittel- bis langfristig könnte das nETS fortbestehen oder durch das EU ETS-2 ersetzt werden, das möglicherweise durch einen nationalen deutschen Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preiszuschlag ergänzt werden muss, sollte der Preis des ETS-2 nicht ausreichen um die nationalen THG-Ziele zu erreichen. Sollte das nETS oder der EU ETS-2 ein maximales Preisniveau aufweisen und die Preise dieses erreichen, müsste die daraus resultierende Minderungslücke entweder durch andere politische Instrumente innerhalb des Sektors oder außerhalb des Sektors geschlossen werden. Andernfalls würde das Minderungsziel verfehlt.

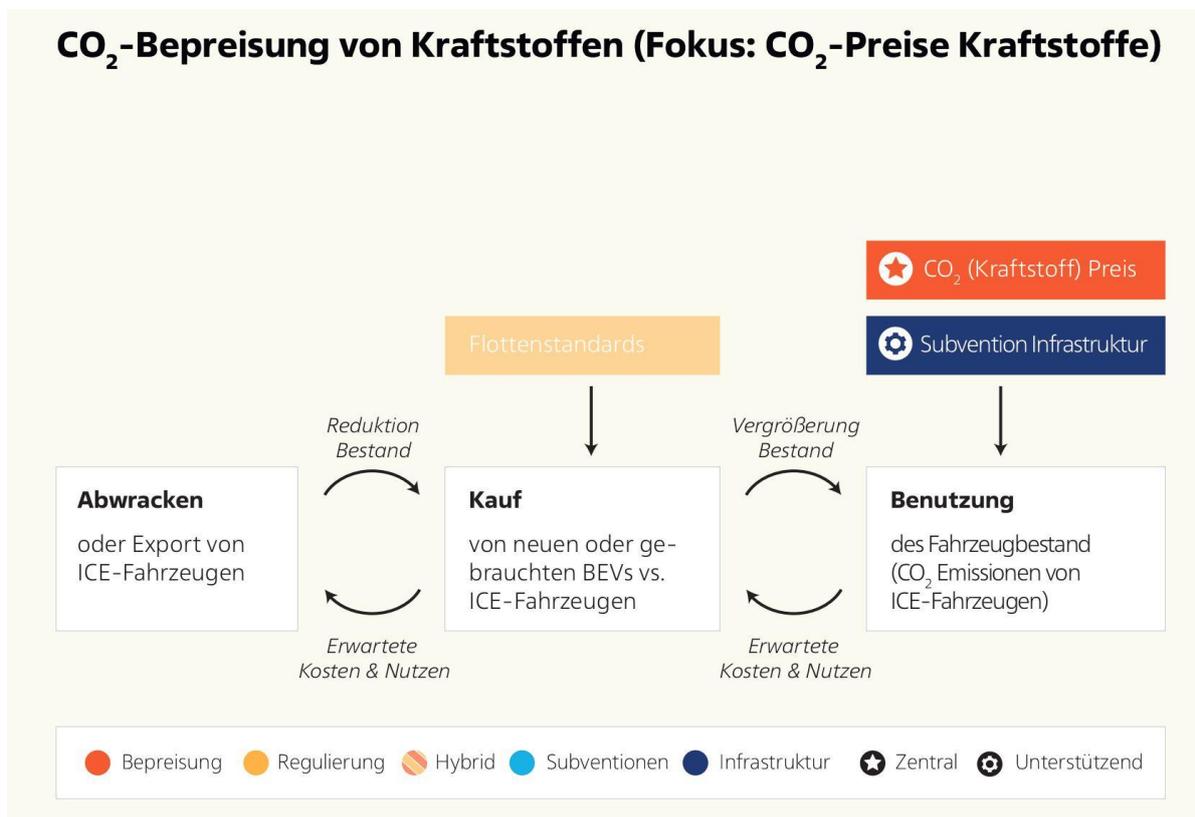


Abbildung 12 - Statisches Design des Politikmixes für den Pfad der CO₂-Bepreisung von Kraftstoffen (Fokus: CO₂-Preise Kraftstoffe). EU-Flottenstandards sind leicht eingefärbt, um anzuzeigen, dass sie in diesem Pfad redundant sind. Kaufsubventionen sind nicht dargestellt, da sie nach der Logik dieses Pfads rasch auslaufen. Quelle: Eigene Darstellung

Ein weiterer Grund ist die Verringerung des Verwaltungs- und Informationsaufwands für den Staat. Die wichtigsten administrativen Aufgaben des Staates sind die Überwachung und gegebenenfalls die Aktualisierung des Preisbildungsmechanismus. Die andere Hauptaufgabe besteht darin, den Mechanismus zur gezielten Umverteilung der Einnahmen aktiv aufrechtzuerhalten und umzusetzen, um die Verteilungseffekte abzumildern, die eine hohe Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Bepreisung für die Bevölkerung hätte.

CO ₂ -Bepreisung von Kraftstoffen		
Bepreisung	CO₂-Preis - wichtigstes/einziges Instrument zur Verringerung der Treibhausgasemissionen von bestehender und neuer Fahrzeuge 	- Hohe Intensität des Instruments. - Unmittelbarer (2023) Anstieg des Preises für Netze, möglicherweise sofort frei schwankend oder zur Erfüllung der Emissionsziele angepasst. - Rascher Anstieg. - Es ist plausibel, dass der Preis bis 2035 auf 500 EUR steigt (Pietzcker et al. 2021), aber es ist keine verlässliche Modellierung für Deutschland verfügbar. - Der Kohlenstoff- (Kraftstoff-)Preis ist das wichtigste Instrument, um Anreize sowohl für die Markteinführung neuer Elektroautos als auch für die Verschrottung von Verbrennern in dieser Mix-Option zu schaffen, und hat erhebliche Auswirkungen auf den Betrieb der derzeitigen Verbrennerfahrzeugflotte.
Regulierung	EU-Flottengrenzwerte - redundantes Instrument	- Status quo Regelung und Umsetzung der vorgeschlagenen EU-Emissionsgrenzwerte für Fit für 55.
Subventionen	Kaufsubventionen - auslaufen lassen	- Bedeutung über die derzeitige Umsetzung hinaus ist gering - Vorzeitiges Auslaufen der wichtigsten Subventionen (Umweltbonus).
Infrastruktur	Öffentliche Infrastruktur - auslaufend nach 2025 	- Nutzung der derzeit vorgesehenen Mittel zur Bewältigung der anfänglichen externen Effekte des Netzes (z.B. bis 2025), aber keine weitere Fortführung oder Ausweitung.

 Kerninstrument
  Unterstützendes Instrument

Tabelle 4: Überblick über die Konfiguration der politischen Instrumente und die Gründe für den „Fokus: CO₂-Preise Kraftstoffe“-Pfad. Sowohl Regulierungen als auch Subventionen sind leicht eingefärbt, um darauf hinzuweisen, dass sie entweder auslaufen oder im Rahmen des Pfads überflüssig sind.

Diese Politikmix-Option umfasst die Fit für 55-Vorschläge für Emissionsstandards, die jedoch voraussichtlich überflüssig werden. Mit dieser Entscheidung soll vor allem vermieden werden, dass durch die Abkopplung Deutschlands von den EU-Vorschlägen weitere Probleme der politischen Machbarkeit entstehen. Nach dem Konzept dieser Politikmix-Option sollte jedoch allein der CO₂-Preis hoch genug sein, um Anreize für den Verkauf von BEVs zu schaffen. Es wird erwartet, dass die Verkaufsrates die durch die Flottenstandards vorgeschriebene Rate übersteigt.

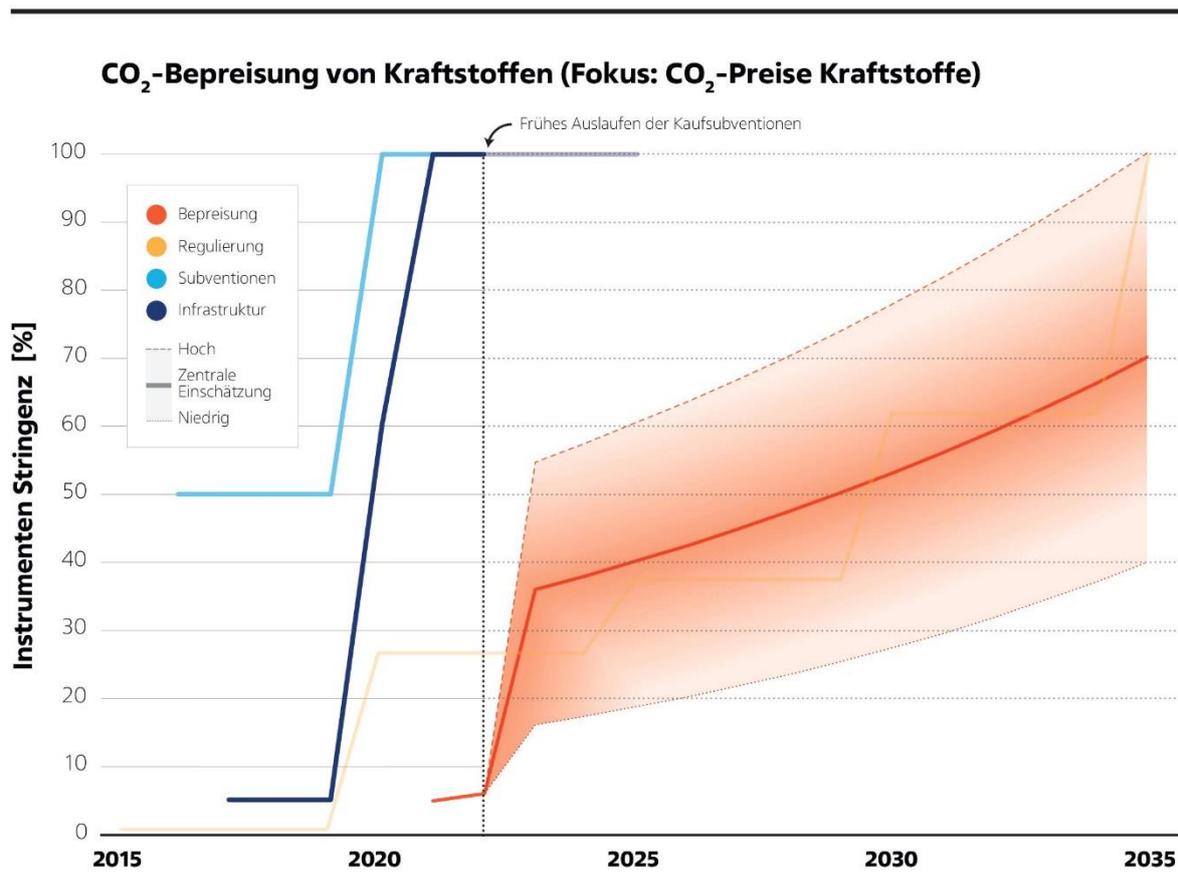


Abbildung 13: Dynamischer Politikmixpfad „Fokus: CO₂-Preise Kraftstoffe“. Die Stärke der Einfärbung zeigt die relative Bedeutung des jeweiligen Instruments im Mix an, d.h. fett=Kerninstrument; durchscheinend=unterstützend. Die EU-Flottenstandards sind leicht eingefärbt, um anzuzeigen, dass sie in dem Pfad redundant sind. Der schattierte Bereich für den Kohlenstoffpreis spiegelt die Ungewissheit über die erforderlichen Preisniveaus und Steigerungsraten wider. Quelle: Eigene Darstellung

Das nationale Subventionsprogramm für den Fahrzeugkauf würde sofort auslaufen. In diesem Politikmix soll die Bepreisung von Kohlenstoff (Kraftstoffen) eine kosteneffizientere Maßnahme sein, um Anreize für eine frühzeitige Markteinführung zu schaffen, da davon ausgegangen wird, dass ein zusätzliches Marktversagen seltener auftritt und außerdem deutlich geringere Ausmaße annimmt.

Bei dieser Politikmix-Option wird die derzeitige Unterstützung für die Bereitstellung von Infrastruktur nicht über das Jahr 2025 hinaus verlängert. Grund dafür ist, dass sich bis dahin ein privatwirtschaftlicher Markt für die Bereitstellung von Infrastrukturen entwickelt haben wird, der durch das hohe und steigende Preissignal einen Anreiz erhält.

Bewertung des CO₂-Preis Kraftstoffe-Politikpfads

Die ökologische Wirksamkeit dieser Politikmixon zur Förderung des Absatzes von BEVs ist hoch. Der rasch steigende Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preis bietet einen bedeutenden und unmittelbaren Anreiz zur Verringerung der Nutzung und insbesondere der Anzahl von ICE-Fahrzeugen. Unsicherheiten in Bezug auf die kurzfristigen Elastizitäten könnten kurzfristig noch höhere Preiserhöhungen als die hier geschätzten erfordern, wenn die Emissionen sofort reduziert werden sollen. Die längerfristige Reaktion auf die Preisgestaltung ist weniger ungewiss. Es kann davon ausgegangen werden, dass hohe Preise sehr wirksam sein werden, vorausgesetzt, dass das erforderliche hohe Preisniveau politisch aufrechterhalten werden kann (siehe unten).

CO₂-Bepreisung von Kraftstoffen			
	2023-2025	2025-2030	2030-2035
Umweltwirksamkeit (BEV-Verkäufe)	Ungewissheit über die kurzfristige Reaktion der BEV-Verkäufe auf den Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preis. Möglicherweise begrenzte Akzeptanz von BEV.	Es wird erwartet, dass die BEV-Verkäufe nach 5 Jahren ansteigender Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise und Glaubwürdigkeit steigen werden.	Starker Anreiz zum Kauf von BEV aufgrund des sehr hohen CO ₂ -Preises und der erwarteten Preisgleichheit zwischen BEV und ICE.
Umweltwirksamkeit (reduzierte Nutzung und Besitz von ICE-Fahrzeugen)	Preiserhöhung wird zu einer erheblichen (aber ungewissen) Reduzierung der Nutzung von ICE-Fahrzeugen führen. Abwrackraten für ICE-Fahrzeuge ungewiss.	Steigende Preise werden zu einer erheblichen (aber unsicheren) Reduzierung der Nutzung von ICE-Fahrzeugen führen. Die Abwrackrate von Verbrennungsmotoren steigt mit den billigeren verfügbaren BEV.	Ein sehr hoher Kohlenstoff- (Kraftstoff-)Preis ist ein starker Anreiz für eine geringere Nutzung von Verbrennungsmotoren und für die Verschrottung von Fahrzeugen.
Kosteneffektivität (Statisch)	Harmonisierte marginale Minderungskosten für alle kurzfristigen Minderungsoptionen durch einen signifikanten Kohlenstoff- (Kraftstoff-) Preis.	Harmonisierte marginale Minderungskosten für alle kurzfristigen Minderungsoptionen durch einen signifikanten Kohlenstoff- (Kraftstoff-) Preis.	Harmonisierte marginale Minderungskosten für alle kurzfristigen Minderungsoptionen durch einen signifikanten Kohlenstoff- (Kraftstoff-) Preis.
Kosteneffektivität (Dynamisch)	Marktversagen (von ungewissem Ausmaß), das die dynamische Kosteneffizienz beeinflusst, wird nicht berücksichtigt. Risiko des frühen Einsatzes von zu wenigen BEV im Sinne eines Verzichts auf "learning by doing"-Effekte, die spätere Kostensenkungen ermöglichen. Die Rücknahme von Kaufsubventionen kann als geringeres staatliches Engagement interpretiert werden. Die Ungewissheit über die künftige Marktentwicklung könnte Investitionen und die Ausweitung der Produktion verringern/verhindern. Die Entwicklung des Kohlenstoff- (Kraftstoff-) Preises kann aufgrund der politischen Machbarkeit an Glaubwürdigkeit verlieren.	Dieselben Probleme bleiben bestehen, aber in geringerem Umfang. Marktversagen sollte weniger relevant werden, die Glaubwürdigkeit der Kohlenstoff- (Kraftstoff-) Preise sollte erhöht sein, wenn sie bis hierher überlebt haben. Die Beendigung der Infrastrukturförderung könnte jedoch zu Engpässen führen, wenn der Privatsektor durch die langsame Verbreitung in der vorherigen Phase nicht mobilisiert wurde.	Eine hohe Preisgestaltung ist ein klares Signal für Verbraucher und Hersteller, das zusätzliche Herausforderungen begrenzt, da BEVs und die Infrastruktur wahrscheinlich ausgereift sind und externe Effekte weniger relevant sind.
Fiskalische Belastung	Kontinuierliche Bereitstellung von Infrastruktur.	Wenig/keine Ausgaben	Wenig/keine Ausgaben
Verteilung - Bevölkerung	Geht man von einer progressiven Rückführung der Einnahmen aus, so werden die Auswirkungen auf die Verteilung weitgehend gemildert, aber einige Haushalte werden dennoch sehr stark betroffen sein.	Unter der Annahme, dass die Einnahmen progressiv recycelt werden, werden die Verteilungseffekte weitgehend abgeschwächt. Stark betroffene Haushalte, die auf BEV umsteigen können, werden dies tun, um die Belastung zu verringern.	Unter der Annahme einer progressiven Rückführung der Einnahmen werden die Verteilungseffekte weitgehend abgeschwächt. Stark betroffene Haushalte können weitgehend auf erschwingliche BEVs umsteigen (gebrauchte BEVs).
Politische Durchführbarkeit	Geringe Akzeptanz in der Bevölkerung für eine sehr deutliche, sofortige Erhöhung der Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise. Ein frühzeitiges Auslaufen der Kaufsubventionen könnte bei den Herstellern auf Widerstand stoßen.	Geringe Akzeptanz in der Bevölkerung für sehr hohe Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise. Lerneffekte (erwartete Verteilungseffekte sind weniger signifikant) aufgrund der Rückführung von Einnahmen (und positiver Umwelteffekte) könnten die Bedenken abschwächen.	Nach einem Jahrzehnt: sehr hoher Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preis ist die Vertrautheit nun groß, aber einige Bevölkerungsgruppen könnten immer noch dagegen sein.
Governance	Festlegung und Verwaltung der Umverteilung von Einnahmen. Verwaltung der Infrastrukturbereitstellung. Überwachung, Bewertung und Aktualisierung des Preisbildungsmechanismus im Lichte neuer Informationen.	Überwachung, Bewertung und Aktualisierung des Preisbildungsmechanismus im Lichte neuer Informationen. Verwaltung der Umverteilung der Einnahmen.	Überwachung, Bewertung und Aktualisierung des Preisbildungsmechanismus im Lichte neuer Informationen.

Tabelle 5: Dynamische Bewertung des „Fokus: CO₂-Preise Kraftstoffe“-Pfads in verschiedenen Phasen im Laufe der Zeit. Farbschema: Leistung des Politikpfads in Bezug auf die Herausforderungen/Bewertungskriterien: niedrig bis hoch.

Die dynamische Kostenwirksamkeit dieses Politikpfades hängt vom Ausmaß des zusätzlichen Marktversagens ab. Die statische Kostenwirksamkeit (Harmonisierung der marginalen Grenzvermeidungskosten) innerhalb des Sektors wird dadurch gewährleistet, dass die Kohlenstoffpreise für Kraftstoffe Anreize für alle kurzfristigen Vermeidungsoptionen bieten. Die Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preisgestaltung kann auch ein dynamisch kostenwirksames Instrument sein, vorausgesetzt, es gibt nur minimale unvorhergesehene zusätzliche Marktversagen. Außerdem wird davon ausgegangen, dass der Preis genügend Glaubwürdigkeit verleiht um das Handeln der Unternehmen zu steuern. Wenn Marktversagen jedoch in erheblichem Umfang bestehen, ist dieser Mix nicht dynamisch kostenwirksam da sie nicht adressiert werden. Im Vergleich zu einem „optimalen“ Fall, welcher z.B. Spillover-Effekte durch „Learning by Doing“ berücksichtigt, werden möglicherweise zu wenige BEVs früh eingeführt. Es ist unklar, ob die derzeitige Infrastrukturbereitstellung und die Glaubwürdigkeit eines hohen Preissignals ausreichen, um einen privaten Markt für die Infrastruktur zu schaffen, da die Netzwerkeffekte ungewiss sind. Wir gehen davon aus, dass die derzeitige Unterstützung bestehen bleibt und ausreicht. Außerdem bleibt offen, ob sich die deutsche Regierung angesichts der zu erwartenden politischen Herausforderungen (siehe unten) glaubhaft zu einem sehr ehrgeizigen Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preisfad für mindestens ein Jahrzehnt verpflichten kann.

Diese Politikmix-Option hat eine geringe fiskalische Belastung für die Regierung.

Diese Politikmix-Option ist mit einigen anfänglichen Kosten für die Unterstützung des Infrastrukturausbaus bis 2025 verbunden, die jedoch nach dieser Anfangszeit auslaufen. Der Preisbildungsmechanismus würde eher zu Einnahmen als zu Kosten für die Regierung führen. Die Einnahmen würden in erster Linie für den Mechanismus der Rückführung von Einnahmen verwendet, um die Verteilungseffekte der hohen Kohlenstoffpreise (für Kraftstoffe) auszugleichen. Ein gewisser Prozentsatz der Einnahmen könnte zur Unterstützung anderer politischer Ziele verwendet werden.

Die Verteilungseffekte dieser Politikmixoption könnten erheblich variieren. Die Verteilungseffekte hängen von der Ausgestaltung und Umsetzung des Mechanismus für die Rückverteilung der Einnahmen aus der Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Bepreisung ab. Eine Analyse von Kalkuhl et al. (2021) legt nahe, dass eine pauschale Rückverteilung, ergänzt

durch gezielte Ausgleichszahlungen (z.B. Fernpendlerpauschale), im Durchschnitt progressive Ergebnisse gewährleisten kann. Doch selbst bei einer generell progressiven Rückverteilung werden einige einkommensschwache Haushalte mit hohem Kraftstoffverbrauch, die es sich nicht leisten können auf BEVs umzusteigen, und die eine relativ unelastische Nachfrage nach ICE-Fahrzeugen haben, negativ betroffen sein. Dies wird zu konzentriert regressiven Auswirkungen innerhalb dieser Bevölkerungsgruppen führen. Darüber hinaus könnten einige Haushalte zu den Verlierer*innen gehören, weil ihr Einkommen der Regierung nicht ausreichend bekannt sind um gezielte Ausgleichsmaßnahmen durchzuführen. Falls ein sehr hohes Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preissignal über ein EU ETS-2 eingeführt wird, sind Gegenreaktionen von Bevölkerungssegmenten mit niedrigerem Pro-Kopf-Einkommen und höherem Anteil an Kraftstoffausgaben zu erwarten, sofern keine wirksamen Ausgleichsmechanismen eingeführt werden (Held et al. 2022).

Die politische Durchführbarkeit erscheint aufgrund der hohen Bedeutung der Kohlenstoff- (Kraftstoff-)Bepreisung und der potenziellen Schwierigkeiten, wenn die Rückführung der Einnahmen nur unvollkommen funktioniert, gering. Derzeit gibt es in Deutschland wenig Unterstützung für eine starke Erhöhung der Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise; der aktuelle Koalitionsvertrag schließt diese Option aus. Die geringe Unterstützung für die Bepreisung hat mehrere Gründe (Sapienza und Zingales 2013; Douenne et al. 2022; Sommer et al. 2022). Erstens bestehen Zweifel an den potenziellen Emissionsminderungseffekten. Zweitens besteht die Skepsis, ob die Regierung die Einnahmen aus den CO₂-Preisen umverteilen wird. Schließlich werden die Auswirkungen auf die persönlichen Nettokosten und die Auswirkungen auf die ärmeren Teile der Bevölkerung überschätzt. Das Hauptrisiko dieses Politikpfades besteht darin, dass es einen anhaltenden und starken politischen Widerstand gegen eine Erhöhung der Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise geben wird, was verhindert, dass die Preise kurz- bis mittelfristig genügend stark steigen, um eine nachhaltige Einführung von BEVs zu ermöglichen. Selbst wenn ein ausreichendes Preisniveau erreicht wird, könnte es zu einer politischen Gegenreaktion kommen, insbesondere wenn Ausgleichsmaßnahmen nicht mit ausreichender Qualität oder Geschwindigkeit umgesetzt werden. Dies kann dazu führen, dass die Ambition nachlässt (z.B. in Frankreich nach den Gelbwesten-Protesten) oder die Bepreisung sogar beendet wird.

Es gibt einige administrative Anforderungen, die jedoch im Allgemeinen gering bis moderat sind. Dazu gehören die Aktualisierung und Verwaltung des Preisbildungsmechanismus sowie die Verwaltung der Rückführung und Ausrichtung der Einnahmen. Insgesamt bleiben die Anforderungen an die Verwaltung relativ gering.

5.2 CO₂-Bepreisung des Fahrzeugbestandes (Fokus: Fahrzeugbestand)

Bestandsorientiertes Design

Die Grundidee dieses Politikmixpfades besteht darin, dass sich Kernmaßnahmen (Null-Emissionen-Fahrzeug-(ZEV-)Mandat, Bonus-Malus-Systeme für den Fahrzeugerwerb und den Fahrzeugbestand) auf die Dynamik des Bestandumschlags und die damit verbundenen Marktversagen sowie Herausforderungen konzentrieren, während eine moderate kraftstofforientierte CO₂-Bepreisung als unterstützendes Instrument dient. Dieser Weg fokussiert politische Maßnahmen, die direkt auf Entscheidungen zum Bestandumschlag abzielen, um den Umstieg von ICE- auf BEV-Fahrzeuge voranzutreiben und Marktversagen im Zusammenhang mit Abwrack- und Kaufentscheidungen abzubauen (Abbildung 14). Eine moderate kraftstofforientierte CO₂-Bepreisung trägt bis zu einem gewissen Grad zur Emissionsreduzierung bei, indem sie Anreize zur Nachfragereduzierung bei ICE-Fahrzeugen schafft; sie ist aber kein zentrales Instrument. Ein ZEV-Mandat in Kombination mit fiskalischen Malus- (Steuern) und Bonussystemen (Subventionen) für Neukäufe und eine signifikant steigende Kfz-Steuer auf den vorhandenen Fahrzeugbestand sind die wichtigsten Instrumente, um Anreize für den Verkauf neuer BEVs (im Vergleich zu ICE-Fahrzeugen) zu schaffen und ICE-Fahrzeuge schrittweise aus dem Bestand zu nehmen.

Ein nationales ZEV-Verkaufsmandat wird als zentrales Instrument eingesetzt, um die Anzahl an BEV-Fahrzeugen zu erhöhen und dadurch die Umweltwirksamkeit sicherzustellen. Das Mandat verpflichtet Automobilhersteller, einen bestimmten Anteil der von ihnen produzierten Fahrzeuge als BEVs zu verkaufen⁴ oder Strafen zu zahlen. Das Mandat könnte im Jahr 2025 mit mäßiger Stringenz eingeführt werden. Es könnte aber

⁴ Dieser Gerätetyp wurde erstmals 1990 in Kalifornien eingeführt. Seitdem wurden weitere Versionen in den USA, regional in Kanada und als nationale Regelung in China eingeführt.

schnell in einem Verkaufsverbot für ICE-Fahrzeuge münden, z.B. bis 2030 (siehe Anhang IV). Ein solch ehrgeiziges nationales ZEV-Verkaufsmandat würde die europäischen CO₂-Flottenzielwerte in Deutschland überflüssig machen, da es einen viel schnelleren Anstieg der Verkaufszahlen von BEV-Fahrzeuge erfordert.

Im Unterschied zu Flottenzielwerten ist das ZEV-Mandat ein weitaus transparenterer Regulierungsmechanismus, da Manipulation und Betrug einschränkt werden. Das ZEV-Mandat verfügt über transparentere Berichts- und Überwachungsanforderungen als die auf genauen Fahrzeug-Emissionsleistungstests beruhenden herkömmlichen Leistungsstandards. Dementsprechend ist das Mandat robuster und schwerer manipulierbar (Reynaert 2021; Tietge et al. 2021).

Um die Kostenwirksamkeit zu maximieren, sollte das ZEV-Mandat über ein handelbares Quotensystem verfügen. In einem wettbewerbsorientierten Markt würde der Handel von Emissionsrechten zwischen den Herstellern deren Flexibilität erhöhen und die Kostenwirksamkeit nachweislich verbessern. (Greene et al. 2014; Lutsey et al. 2015; Sykes und Axsen 2017; Ou et al. 2018).

Ein ZEV-Verkaufsmandat bietet mehr Sicherheit und wirkt damit dem Kurzfristdenken der Hersteller entgegen. Das Mandat macht eine jährliche Neuanpassung und Neukalibrierung, zur Erhöhung des BEV-Bestands überflüssig. Dies bietet mehr Sicherheit als ein Preis- oder Hybridmechanismus mit schwankenden Preisen. Dadurch wird das unternehmerische Risiko verringert und die Investitionen erhöht, was zu einer Verbesserung der dynamischen Kostenwirksamkeit führen kann. Sollten die Kosten für BEVs jedoch deutlich höher ausfallen als heute erwartet, könnte ein ehrgeiziges Mandat zu höheren, für die Verbraucher*innen unerschwinglichen Kosten führen. Um politische Akzeptanzspannungen abzubauen, müsste das Mandat im schlimmsten Fall gelockert werden.

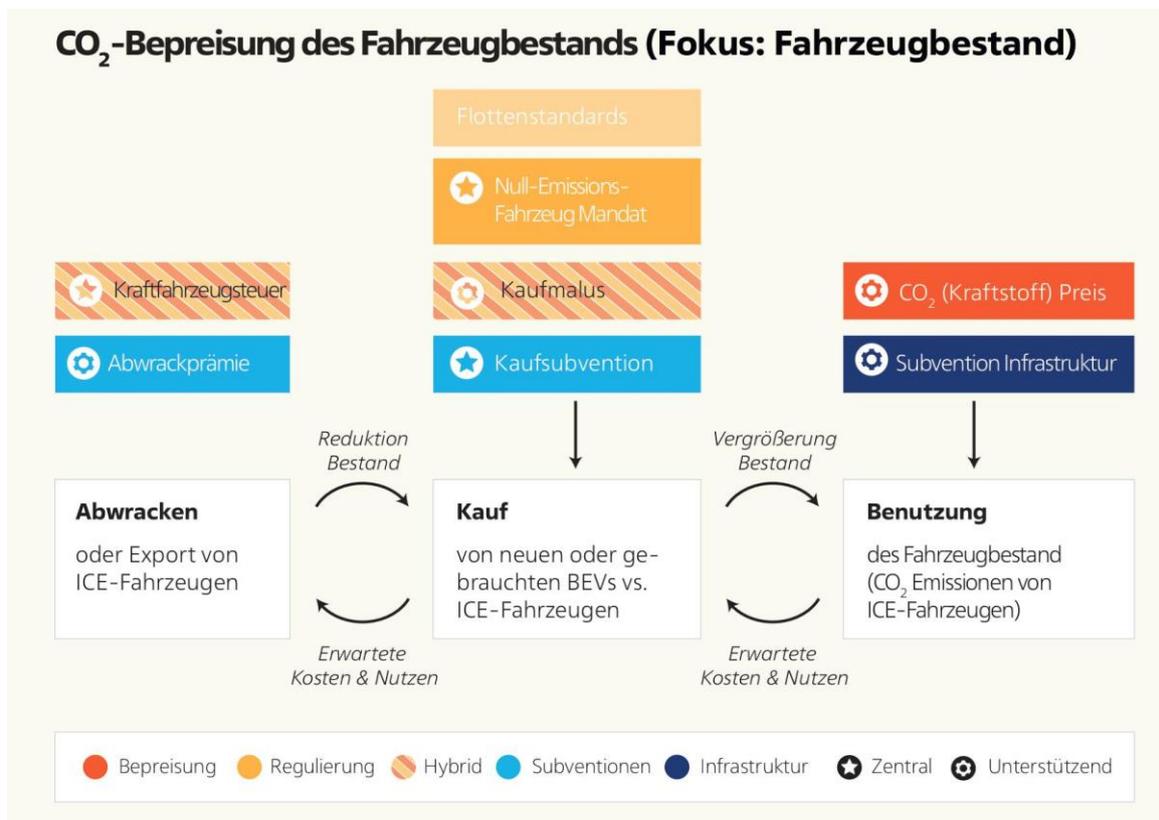


Abbildung 14: Statisches Mischungsdesign für den bestandsorientierten Kohlenstoffbepreisungspfad (Fokus: Fahrzeugbestand). Die EU-Flottenzielwerte sind leicht eingefärbt, um anzuzeigen, dass sie in diesem Pfad überflüssig sind. Quelle: Eigene Darstellung

Um die Verteilungseffekte zu verbessern, könnten Nullemissions-Anforderungen zunächst gezielt bei Firmenwagen angewendet werden. Derzeit sind 65 % der in Deutschland verkauften Neuwagen Firmenwagen (Verkehr & Umwelt 2021). Die Einführung strengerer Anforderungen für die Anschaffung von Nullemissions-Fahrzeugen bei Unternehmen verlagert das Ziel, die Zahl der BEV-Fahrzeuge zu erhöhen, auf die Unternehmen (und nicht auf die einzelnen Verbraucher*innen). Firmenwagen haben darüber hinaus eine höhere Umschlagshäufigkeit, was zusätzlich den Vorteil bietet, dass es relativ schnell eine große Anzahl von Gebrauchtfahrzeugen gibt und ein Gebrauchtwagenmarkt entsteht, wodurch BEVs für breitere Bevölkerungsgruppen erschwinglicher werden.

Bei Neuwagenkäufen wird das ZEV-Mandat durch ein Bonus-Malus-System unterstützt. Bonus-Malus-Systeme umfassen die Einführung einer strengen Besteuerung beim Kauf von ICE-Fahrzeugen und die Verwendung eines Teils dieser Einnahmen, um die Anschaf-

fungskosten neuer BEVs⁵ zu subventionieren. Die derzeitigen Konzepte sehen unterschiedliche, von der CO₂-Emissionsintensität der Fahrzeuge abhängige Steuersätze vor und unterscheiden sich in Bezug auf die in den Steuersatz einbezogenen Fahrzeuge. Beispielsweise gilt der Malus in Frankreich derzeit nur für Fahrzeuge über 128g/km CO₂ und steigt exponentiell mit zunehmender CO₂-Intensität des Fahrzeugs an, wobei der höchste Steuersatz für Fahrzeuge über 223g/Km bei 40.000 EUR liegt (République Française 2022).

CO ₂ -Bepreisung des Fahrzeugbestands (Fokus: Fahrzeugbestand)		
Bepreisung	CO₂-Price - unterstützendes Instrument zur Verringerung der Treibhausgasemissionen von bestehenden Fahrzeugen 	- Anfänglich niedriges Niveau, Anstieg nach 2026 - Das derzeitige nETS bleibt bis 2026 in Kraft, gefolgt von ETS II oder nETS mit Preiskorridor - Kohlenstoffpreise (Kraftstoff) bieten Anreize für Verhaltensänderungen (weniger Verbrenner-Fahrten), erhöhen die Attraktivität von Elektroautos.
Hybride	Malus (Steuer beim Kauf eines neuen Fahrzeugs) - unterstützendes Instrument zur Verhinderung der Umgehung des Null-Emissionen-Fahrzeug Mandats 	- Kfz-Zulassungssteuer in Verbindung mit Emissionsanforderungen. - Einführung zusammen mit einem Null-Emissionen-Fahrzeug Mandat, um potenzielles Einsickern (leakage) aus anderen Ländern abzuschwächen.
	Malus (Kfz-Steuer auf bestehende Fahrzeuge) - Kerninstrument zur Änderung des Fahrzeugbestands in Richtung Elektrofahrzeug 	- Signifikante jährliche Kfz-Steuer für bestehende Autos auf Grundlage der CO ₂ -Performance des Fahrzeuges. - Eingeführt um das Jahr 2025. - Beseitigung umweltschädlicherer Fahrzeuge mit hohen jährlichen Preisen (d. h. Tausende von EUR) an der oberen Schwelle. - Intensität des Instruments ist anfangs gering und nimmt mit der Zeit zu.
Regulierung	Null-Emissionen-Fahrzeug-Mandat - Kerninstrument zur Verringerung der Treibhausgasemissionen von Neufahrzeugen 	- Zertifikat für den Verkauf von Fahrzeugen mit Elektroantrieb, führt zu einem Ausstieg aus dem Verkauf von Verbrennerautos um 2030. - Handelbare Quoten zwischen Herstellern erhöhen die Effizienz.
	EU-Flottengrenzwerte, wie im Fit for 55-Paket vorgesehen - redundantes Instrument 	- Status-quo-Regelung und Umsetzung der vorgeschlagenen EU-Leistungsnormen für Fit für 55. - Sehr wahrscheinlich keine verbindliche Flottengrenzwertregelungen (d. h. sie könnte ohne Folgen aufgehoben werden).
Subventionen	Bonus/Subvention (für den Kauf neuer Elektroautos) - Kerninstrument zur Verringerung der Treibhausgasemissionen von Neufahrzeugen 	- Kerninstrument, frühzeitiger Anreiz, kurz- bis mittelfristig hoch. - finanziert durch Einnahmen aus der Zulassungssteuer der Verbrenner (Malus auf den Kauf von Neuwagen).
	Abwrackprämie (Bonus) - unterstützendes Instrument zur Verringerung der Verteilungseffekte des Malus auf bestehende Fahrzeuge und zur Förderung der Umstellung des Fahrzeugbestands auf Elektroautos 	- Zusätzliche Abwrackprämie ab 2025 eingeführt - Konstruktionsmerkmale der Abwrackprämie zielen darauf ab, mögliche regressive Auswirkungen des Malus auf bestehende Verbrenner zu vermeiden. - Der Mechanismus ist auf einkommensschwächere Gruppen ausgerichtet, kann geografisch verteilt werden und ist nur für Fahrzeuge im unteren Preissegment verfügbar.
Infrastruktur	Bereitstellung öffentlicher Infrastruktur - unterstützende Instrumente für eine verstärkte Einführung von Elektroautos 	- Hohe Intensität des Instruments, Ausstieg bis spätestens ~2030 - Staatliche Bereitstellung von Infrastruktur zur Erleichterung der Markteinführung. - Bestehende Finanzierung wird bis 2030 fortgesetzt/verlängert, um das Ziel von 1 Mio. Ladestationen zu erreichen.

 Kerninstrument
  Unterstützendes Instrument

Tabelle 6: Überblick über die Konfiguration der politischen Instrumente und die Gründe für den „Fokus: Fahrzeugbestand“-Pfad. Die EU-Flottenstandards sind leicht eingefärbt, um anzuzeigen, dass sie im Rahmen des Pfads überflüssig sind.

⁵ Bislang wurden Bonus-Malus-Mechanismen in Frankreich, Schweden und Italien eingeführt (République Française 2020; Transportstyrelsen 2022; Tomo 2020).

Da ein ZEV-Verkaufsmandat allein aufgrund des EU-Binnenmarktes für Verlagerungseffekte anfällig ist, wird eine Zulassungssteuer (Malus) benötigt, um potenzielle Verlagerungseffekte zu reduzieren. Wenn ZEV-Mandate beim Fahrzeugverkauf als Regulierungsinstrumente eingesetzt werden - wie es dort, wo sie bereits eingeführt sind, gängige Praxis ist (ein alternatives Regulierungsinstrument wären Zulassungen) - können sie anfällig für Verlagerungseffekte sein. Aufgrund des EU-Binnenmarktes könnten die Verbraucher*innen ein nationales Null-Emissionen-Mandat umgehen, mit welchem Hersteller höhere Preise für ICE-Fahrzeuge festlegen würden, um vom Kauf abzuschrecken, indem Verbraucher*innen ICE-Fahrzeuge zu niedrigeren Preisen in Nachbarländern kaufen und in Deutschland zulassen. Eine Zulassungssteuer (Malus), die auf Neuzulassungen von ICE-Fahrzeugen erhoben wird und die mit der CO₂-Intensität des Fahrzeugs steigt, würde bei den Verbraucher*innen einen zusätzlichen Anreiz schaffen, den Kauf (und die Zulassung) von CO₂-intensiven ICE-Fahrzeugen zu reduzieren und verringert somit die Motivation, das Null-Emissionen-Mandat zu umgehen. Der Malus (Steuer) generiert zusätzliche Einnahmen und bietet gleichzeitig einen preislichen Anreiz für Verhaltensänderungen. Wie bei den Leistungsstandards gibt es Fragen bezüglich der korrekten CO₂-Klassifizierung von Fahrzeugen. Diese sind aber weniger nachteilig für die Umweltwirksamkeit, da das System unterstützend bei der Vermeidung von Verlagerungseffekten wirkt und nicht primär den Verkauf von BEVs steuert, sowie jederzeit neu kalibriert werden kann, um sicherzustellen, dass die Umweltziele erreicht werden. Es wird nicht erwartet, dass Verlagerungseffekte anhalten, da die erwarteten Kostensenkungen bei der Herstellung von BEVs diese ab 2027 preiswerter machen als ICE-Fahrzeuge (Bloomberg NEF 2021). Sollten die erwarteten Kostensenkungen aufgrund von Komponentenknappheit jedoch später eintreten als prognostiziert, wird eine Zulassungssteuer die Verlagerungseffekte erheblich dämpfen.

Die fiskalischen Kosten eines Bonus-Malus-Systems können sehr niedrig gehalten werden. Der Hauptvorteil eines Bonus-Malus-Systems sind höhere Steuereinnahmen, die die Subventionierung von Neufahrzeugen unterstützen und die durch die Marktunterstützung entstandene fiskalische Belastung des Staatshaushaltes verringern, verbunden mit Vorteilen eines verstärkten „Learning by Doing“ und einem geringeren Kurzfristdenken der Verbraucher*innen. Darüber hinaus schafft der Malus (die höhere Steuer) auch

einen Anreiz zur Verhaltensänderung und zur Subventionierung des Kaufs von BEV-Fahrzeugen. Dies bedeutet, dass BEV-Fahrzeuge attraktiver werden, da sie selbst bei einem niedrigeren Subventionssatz nicht dem Malus unterliegen.

Der Bonus (die Subvention) für den Kauf von BEV-Fahrzeugen beinhaltet eine stärkere Zielorientierung als die derzeitige Gestaltung, was die Durchschlagskraft und Kostenwirksamkeit erhöht. Gezielte Bonusregelungen, welche höhere Einkommensgruppen ausschließen, verbessern die Kostenwirksamkeit des Systems, indem sie Mitnahmeeffekte für diejenigen Verbraucher*innen reduzieren, die ohnehin ein neues Fahrzeug gekauft hätten. Diese Bonuszahlungen könnten über die Einreichung einer Anspruchsbeurteilung zur Steuerrückzahlung (ähnlich dem Kindergeld) erfolgen. Mögliche Vorteile sollten die Empfänger dazu motivieren, die erforderlichen Formulare einzureichen. Der Verwaltungsaufwand für die Authentifizierung und Genehmigung des Antrags sollte sich in Grenzen halten. Auf diese Weise wird auch die Wahrscheinlichkeit negativer Wechselwirkungen mit dem ZEV-Mandat verringert, und die Hersteller werden stärker in die Pflicht genommen, interne Subventionen zu gewähren, um die Akzeptanz von Luxusfahrzeugen bei wohlhabenderen Verbraucher*innen zu fördern.

Der Bonus (die Subvention) für den Kauf von BEVs könnte aufgrund des Null-Emissions-Mandats und der damit verbundenen internen Subventionierung durch die Hersteller früher auslaufen. Da ein Null-Emissions-Mandat eine interne Subventionierung der Verkaufspreise für BEVs durch die Hersteller erfordert (d. h. Senkung der ZEV-Kosten zur Steigerung des Absatzes, quersubventioniert durch höhere Kosten für ICE-Fahrzeuge), kann dies früher zu niedrigeren Preisen für BEVs führen, was bedeutet, dass die zusätzliche Marktsubventionierung möglicherweise früher ausläuft als beim „Mix“-Pfad (siehe unten). Bei einem ZEV kann davon ausgegangen werden, dass das Bonus-Malus-System von den Herstellern und nicht vom Staat umgesetzt wird. Daher kann das ZEV-Mandat als ein Preisgestaltungsinstrument betrachtet werden, das dem Bonus-Malus-System und dem Eigentums-/Abwracksystem mit positiven (Steuern) und negativen (Subventionen) Bestandspreisen ähnelt.

Ein zweiter Malus (Kfz-Besitzsteuer) auf vorhandene Fahrzeuge schafft Anreize, ICE-Fahrzeuge aus dem aktuellen Bestand zu entfernen und verhindert Verlagerungseffekte in den Gebrauchtwagenmarkt. Dieser Weg zielt darauf ab, die jährliche Kfz-Steuer auf ein beträchtliches (noch nie dagewesenes) Niveau anzuheben, welches in Abhängigkeit von der CO₂-Emissionsklasse eines Fahrzeugs steigt. Ähnlich wie bei der Zulassungssteuer für Neufahrzeuge würde das Instrument eine steuerpflichtige Emissionsspanne aufweisen. Bei einem niedrigen Grenzwert (z.B. zunächst 200 g/km) würde ein geringerer Steuersatz gelten, der im Laufe der Zeit exponentiell ansteigen könnte. Zu einem späteren Zeitpunkt (z.B. 2030) könnte ein oberer Emissionsgrenzwert eingeführt werden, der sehr hohe steuerliche Sanktionen nach sich ziehen würde (möglicherweise Tausende von Euro pro Jahr). Da die CO₂-Preisentwicklung zur Erreichung der THG-Ziele in diesem Mix zu niedrig angesetzt ist, würde diese Maßnahme stark abschreckend wirken, und ältere, ineffizientere Fahrzeuge schnell aus dem Bestand entfernen. Die Emissionssteuersätze sollten so stark erhöht werden, dass ICE-Fahrzeuge, bis zum Jahr 2040 vollständig abgeschafft werden könnten. Ohne ein solches im Mix enthaltenes Instrument werden die THG-Ziele für 2030 und darüber hinaus wahrscheinlich nicht erreicht, da die Lebensdauer vorhandener ICE-Fahrzeuge - vor dem Hintergrund potenziell höherer Kosten für (alle) Neufahrzeuge und relativ niedriger Kosten für Benzin und Diesel ohne eine signifikante CO₂-Bepreisung von Kraftstoffen - verlängert würde.

Eine Abwrackprämie erhöht die Umschlagshäufigkeit und verringert mögliche Verteilungseffekte des Malus auf den vorhandenen Fahrzeugbestand. Eine Abwrackprämie würde zunächst zusätzliche Anreize für den Umschlag des Fahrzeugbestands schaffen. Für dieses System könnten die Einnahmen aus dem Malus für vorhandene Fahrzeuge (jährliche Kraftfahrzeugsteuer) verwendet werden, so dass dem Staat keine fiskalischen Kosten entstehen. Die Abwrackprämie könnte darüber hinaus die Verbraucher*innen unterstützen, die am stärksten vom Malus betroffen sind (vorhandene Fahrzeuge) und die aufgrund finanzieller Engpässe sonst nicht auf ein BEV umsteigen könnten.

Die Abwrackprämie kann so gestaltet werden, dass sie gezielt benachteiligte Gruppen anspricht. Die Abwrackprämie könnte geografisch differenziert werden (wie von Holland

et al. 2016 vorgeschlagen) und zunächst auf ländliche Gebiete ausgerichtet sein, in denen weniger alternative, emissionsarme Verkehrsmittel zur Verfügung stehen. Die Anspruchsberechtigung der Antragsteller könnte auch anhand demografischer Informationen, wie z.B. der Einkommensgruppe beurteilt werden. Wenn die Abwrackprämie auf Gebrauchtwagen ausgeweitet wird, kann sie auch für einkommensschwache Gruppen wirksamer sein, da diese Fahrzeuge später im Jahrzehnt in größerer Anzahl verfügbar sind. Die Abwrackprämie könnte auch die Umrüstung bestehender ICE-Fahrzeuge auf Elektroantrieb finanzieren⁶, was die zusätzlichen Treibhausgasemissionen bei der Herstellung von Neufahrzeugen verringern und eine kostengünstigere Alternative für die emissionsfreie Mobilität von Automobilen bieten würde.

Die Bereitstellung von Infrastruktur wird bis 2025 fortgesetzt und danach überprüft.

Wir halten die Ziele der Infrastrukturbereitstellung momentan für ausreichend, jedoch ist die Evidenzbasis für dieses Urteil gering. Selbst bei einem weitaus größeren Marktanteil von BEV-Fahrzeugen bis 2030 und 15 Mio. BEVs auf der Straße sollte die geplante Bereitstellung von öffentlichen Ladepunkten ausreichen, um diesen neuen Markt zu unterstützen (wie im Abschnitt 4.2 zur Ausgangssituation diskutiert). Im Vergleich zur Ausgangssituation gehen wir davon aus, dass eine höhere Planungssicherheit und ein deutlicher Anstieg der Zahl an BEVs auf ein größeres Interesse des privaten Sektors treffen würde, was den Ausbau der Ladeinfrastruktur durch Vehicle-to-Grid (V2G)-Lösungen fortsetzen könnte, da Investitionen mit einem viel geringeren Risiko verbunden wären und eine höhere Nachfrage nach Ladeinfrastruktur auch höhere Renditen verspricht. Bei einem stärkeren Einstieg des privaten Sektors in die Bereitstellung der Infrastruktur könnte die staatliche Förderung früher als 2030 auslaufen.

Bestandsorientierte Bewertung

Diese Option ist höchstwahrscheinlich zielführend, um Anreize für den Verkauf von BEV-Fahrzeugen zu schaffen. ZEV-Mandate haben sich als wirksames Instrument erwiesen, Anreize für den Verkauf von BEVs zu schaffen (Bhardwaj et al. 2022; Sykes und Axsen 2017). Darüber hinaus sind die anfänglich hohen und anhaltenden Subventionen dieser Option wahrscheinlich sehr wirksam, um kurzfristig Anreize für den Verkauf von

⁶ Frankreich hat eine Subvention in Höhe von 5000 Euro für die Nachrüstung bestehender ICE-Fahrzeuge eingeführt.

BEVs zu schaffen. Gemeinsam angewendet, können das ZEV-Mandat und das Bonus-Malus-System die Verkaufszahlen für Neufahrzeuge erhöhen und gleichzeitig helfen, alte Fahrzeuge aus dem Bestand zu nehmen. Eine Studie von Wolinetz und Axsen (2017) weist darauf hin, dass die Wechselwirkung zwischen einer Subvention und dem ZEV-Mandat unklar ist, da die Subvention möglicherweise nur einen Teil der unternehmensinternen Quersubventionierung ausgleicht, die Autohersteller vornehmen, um das ZEV-Mandat zu erfüllen. Da die Bonus- und Abwrackprämien in diesem Mix jedoch zielgerichtet sind und nicht allen Käufern zur Verfügung stehen, dürften solche Effekte geringer ausfallen. Ab 2030 würde der Verkauf von ICEs verboten werden. Eine Herausforderung bei der Umsetzung ist, ähnlich wie bei den oben erörterten EU-CO₂-Flottenzielwerten (und den Optionen zu deren Lösung), die Einstufung der CO₂-Intensität von ICE-Fahrzeugen, um den Kauf-Malus zu bestimmen.

Während dieser Weg wahrscheinlich dazu führt ICE-Fahrzeuge aus dem Bestand zu entfernen, ist er weniger wirksam, wenn es darum geht, Anreize zur Verringerung des Verkehrsaufkommens durch die derzeitige ICE-Fahrzeugflotte zu schaffen. Nach der Einführung eines Malus auf den Fahrzeugbestand könnten die THG-Emissionen deutlich sinken, wenn der jährliche Malus bei der Kfz-Steuer schnell zu einer vorzeitigen Stilllegung erheblicher Teile der ICE-Fahrzeugflotte führt. Im Jahr 2019 waren 39,5 % der in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge (18,9 Mio. von insgesamt 48 Mio.) älter als 10 Jahre (KBA 2021). Die schrittweise Ausmusterung dieser älteren und ineffizienten Fahrzeuge dürfte sich erheblich auf die Treibhausgasemissionen auswirken. Vor ihrer Umsetzung dürfte die THG-Vermeidung durch die bestehende Flotte jedoch gering sein. Es gibt ansonsten nur begrenzte Anreize, das Fahren von ICE-Fahrzeugen zu reduzieren, da der kraftstoffbezogene CO₂-Preis moderat bleibt. Dieses Defizit bei der kurzfristigen THG-Reduzierung (im Vergleich zu "Fuel Focus" mit sehr hohen kraftstoffbezogenen CO₂-Preisen muss möglicherweise durch eine höhere Umstellung der Fahrzeugflotte auf BEV oder durch verstärkte Anstrengungen bei der Nachrüstung des vorhandenen Fahrzeugbestands ausgeglichen werden.

Die Kostenwirksamkeit dieser Option ist unklar. Die intertemporale Kostenwirksamkeit kann relativ hoch sein, da sie Anreize für „Learning by Doing“-Effekte schafft (insbesondere, wenn sich das ZEV-Mandat auf eine einzige Technologie wie BEV konzentriert; Fox et al. 2017), auf das Kurzfristenverhalten der Verbraucher*innen und auf bedingtes Marktversagen durch externe Effekte abzielt, sowie möglicherweise eine höhere Glaubwürdigkeit bietet. Andererseits kann die intertemporale Kostenwirksamkeit dadurch beeinträchtigt werden, dass die Regulierungsbehörden das Timing der politischen Strategien falsch wählen - z.B. zu hohe/niedrige Restriktionen in den ersten Jahren, was zu eskalierenden Fahrzeugpreisen am Anfang/am Ende des Weges und zu höheren Gesamtkosten führen kann. Das Potenzial für eine stärkere Emissionsminderung durch einen geringeren Benzin- und Dieserverbrauch aufgrund einer erheblichen Bepreisung von CO₂-Kraftstoffen wird nicht genutzt und muss durch andere, teurere Optionen kompensiert werden. Im Laufe der Zeit dürfte sich die Kostenwirksamkeit dieser Option verbessern, da die kraftstoffbezogenen CO₂-Preise eine größere Rolle spielen, der Anteil der ICE-Fahrzeuge im Fahrzeugbestand zurückgeht und Marktversagen mit zunehmender Reife des Übergangs seltener auftritt.

Die fiskalische Belastung durch diese Politikmix-Option ist moderat. Die Finanzierung der Infrastruktur wird bis 2030 verlängert. Die Kaufprämie und die zusätzliche Abwrackprämie werden den Staat voraussichtlich nicht extra belasten, da die Einnahmen aus den beiden Malus-Systemen (neue und vorhandene Fahrzeuge) so umverteilt werden, dass das System aufkommensneutral ist.

Verteilungseffekte sind bei diesem Weg aufgrund der komplexen und neuartigen Ausgestaltung höchst ungewiss, aber potenziell regressiv, da ein erheblicher Malus für den vorhandenen Fahrzeugbestand eingeführt wird. Es wird erwartet, dass der Malus für vorhandene Fahrzeuge Haushalte mit niedrigem Einkommen stärker belasten wird, da diese in der Regel ältere Fahrzeuge fahren. Das Ausmaß dieser Auswirkungen ist spekulativ, da das System in dieser Form noch nie umgesetzt oder - unseres Wissens nach - analysiert wurde. Wir erwarten jedoch, dass der Malus für vorhandene Fahrzeuge regres-

sive Auswirkungen hat (Baldenius et al. 2021), die durch ergänzende Maßnahmen abgemildert werden müssten. Ein gezieltes Abwrack- (und Nachrüst-)System könnte einige regressive Verteilungseffekte minimieren, aber auch hier ist das Ausmaß ungewiss.

CO₂-Bepreisung des Fahrzeugbestands			
	2023-2025	2025-2030	2030-2035
Umweltwirksamkeit (BEV-Verkäufe)	Bonus-Malus (neue Fahrzeuge) als Anreiz für eine frühzeitige Einführung.	Verkaufsmandat und Bonus-Malus bieten starke Anreize, Abwrackprämien tragen ebenfalls zu einigen zusätzlichen Verkäufen bei.	ICE-Verkäufe nicht mehr erlaubt.
Umweltwirksamkeit (weniger ICE-Fahrzeuge und Verschrottung)	Mögliche Nachfragereduzierung durch Kohlenstoff- (Kraftstoff-)Preise, aber ansonsten zunächst keine Ausrichtung auf den bestehenden Fahrzeugbestand.	Malus für bestehende Fahrzeuge dürfte sich stark auf die Verringerung des Bestands an Verbrennungsmotoren auswirken (Fluktuation oder Veralterung). Abwrackprämie reduziert auch den ICE-Bestand. Ein gewisser Nachfragerückgang durch leicht höhere Kraftstoffpreise, der jedoch aufgrund des niedrigen CO ₂ -Preises begrenzt ist.	Durch den Malus für bestehende Fahrzeuge werden viele ältere Fahrzeuge aus dem Verkehr gezogen, und ein erheblicher CO ₂ -Preis wird die verringerte Nutzung von Verbrennungsmotoren oder den Umstieg auf BEV oder alternative Verkehrsmittel fördern.
Kosteneffektivität (Statisch)	Begrenzter Kohlenstoff- (Kraftstoff-)Preis, wahrscheinlich sehr heterogene marginale Minderungskosten für alle Minderungsoptionen, insbesondere sehr begrenzte Reduzierung der Nutzung von ICE-Fahrzeugen.	Wie im vorangegangenen Zeitraum.	Zunehmend harmonisierte marginale Minderungskosten für alle kurzfristigen Minderungsoptionen durch einen (jetzt) höheren Kohlenstoff- (Kraftstoff-)Preis und die schrittweise Abschaffung einiger Instrumente.
Kosteneffektivität (Dynamisch)	Bonus-Malus-Mechanismus schafft Anreize für „Learning by doing“, wirkt der Kurzsichtigkeit der Verbraucher entgegen und erhöht die Glaubwürdigkeit. Netzwerkeffekte werden über die Förderpolitik berücksichtigt. Risiko, zu früh zu viele kostspielige BEV einzuführen.	Das Null-Emissions-Mandat ergänzt die Wirkung des Bonus-Malus, indem es externe Effekte und Glaubwürdigkeit berücksichtigt, aber möglicherweise nicht den kostengünstigsten Weg im Falle unerwarteter Kostenschwankungen vorschreibt.	BEVs und die Infrastruktur sind wahrscheinlich ausgereift und externe Effekte weniger relevant.
Fiskalische Belastung	Fortgesetzte Bereitstellung von Infrastruktur. Bonus-Malus senkt die fiskalischen Kosten im Vergleich zur Status quo.	Fortsetzung der Infrastrukturförderung (voraussichtlich bis 2030). Abwrackprämie verursacht keine zusätzlichen Kosten. Bonus-Malus senkt die fiskalischen Kosten.	Keine Infrastruktursubventionen in diesem Zeitraum. Die Abwrackung verursacht keine zusätzlichen Kosten.
Verteilung - Bevölkerung	Subventionen für BEV sind tendenziell regressiv. Der Malus betrifft nur neue Fahrzeuge mit hohem Schadstoffausstoß.	Der Malus (bestehende Fahrzeuge) wird einkommensschwache Gruppen unverhältnismäßig stark treffen. Eine höhere Verfügbarkeit gebrauchter BEVs (Umsatz aus dem Mandat) und eine gezielte Abwrackprämie könnten die schlimmsten Auswirkungen möglicherweise abmildern.	Es wird erwartet, dass der Malus (bestehende Fahrzeuge) immer noch regressiv ist, aber eine höhere Verfügbarkeit von gebrauchten BEVs, Abwrackprämien und ein moderates Recycling von Einnahmen aus der Kohlenstoff- (Kraftstoff-)Preisgestaltung werden diese Auswirkungen voraussichtlich verringern.
Politische Durchführbarkeit	Abhängig von der Akzeptanz des Malus (neue Fahrzeuge). Es wird erwartet, dass die Verfügbarkeit des Bonus die Akzeptanz erhöht.	Abhängig von der Akzeptanz des Malus für bestehende Fahrzeuge. Die Umsetzung mit anfänglich geringer Stringenz (die nur die Fahrzeuge mit den schlechtesten Ergebnissen betrifft) und die Kompensation der meisten negativen Auswirkungen durch Abwrackprämien kann die Akzeptanz erhöhen.	Längerfristige Akzeptanz des Malus für bestehende Fahrzeuge ungewiss. Es wird erwartet, dass die Akzeptanz im Laufe der Zeit durch Ausgleichsmaßnahmen, die Verfügbarkeit von gebrauchten BEVs und den Bekanntheitsgrad steigt.
Governance	Überwachung und Durchsetzung des Malus (Neufahrzeuge), Zuteilung des Bonus und Unterstützung der Infrastruktur.	Notwendigkeit einer kontinuierlichen Anpassung der Instrumente, um die Erreichung der Treibhausgasziele zu gewährleisten. Überwachung und Durchsetzung von Malus (Gebrauchtwagen), Abwrackprämie, zusätzliche administrative Anforderungen.	Überwachung und Durchsetzung von Malus (Gebrauchtwagen), Abwrackprämie, zusätzliche administrative Anforderungen. Die Kapazitäten können sich durch institutionelles Lernen erhöhen.

Tabelle 7: Dynamische Bewertung des „Fokus: Fahrzeugbestand“-Pfads in verschiedenen Phasen im Laufe der Zeit. Der Farbbereich zeigt den hohen (=grünen) bis niedrigen (=roten) Bereich an. Die Schattierung zeigt die Bereiche, in denen Ungewissheit herrscht.

Dieser Mix birgt wahrscheinlich erhebliche Akzeptanzprobleme in Bezug auf den Malus für den vorhandenen Fahrzeugbestand und den möglichen Widerstand der Automobilhersteller gegen ein ZEV-Mandat. In der Vergangenheit sind ZEV-Mandate auf den Widerstand der Automobilindustrie gestoßen (Collantes und Sperling 2008; Wesseling et al. 2015), was aufgrund der starken Lobby der Autohersteller ein wichtiger Punkt für die politische Umsetzung in Deutschland ist. Da einige Hersteller (z.B. VW) die beschleunigte Verbreitung von BEV zunehmend unterstützen, würden sie wahrscheinlich auch ein Mandat befürworten. Es ist jedoch zu erwarten, dass andere Akteure, die sich für die Beibehaltung der ICE-Produktionslinien eingesetzt haben (z.B. BMW), die Umsetzung des Mandats anfechten werden. Darüber hinaus haben angebotsorientierte Vorschriften in der Regel eine hohe Akzeptanz in der Öffentlichkeit (Rhodes et al. 2017). Akzeptanzprobleme sind jedoch beim Malus für vorhandene ICE zu erwarten. Die Akzeptanz könnte durch die Planung einer Umsetzung mit anfänglich geringer Stringenz und gezielter Unterstützung durch das Abwracksystem verbessert werden.

Dieser Mix stellt durchweg sehr hohe Anforderungen an die Verwaltung. Das ZEV-Mandat ist mit administrativen Anforderungen wie der Ausgabe und Zuordnung von Gutschriften sowie der ZEV-Durchsetzung verknüpft. Die Umsetzung beider Malus (für neue und vorhandene Fahrzeuge) bringt einen erheblichen Verwaltungsaufwand mit sich und erfordert ein genaues Messsystem für die CO₂-Leistung von Fahrzeugen. Die Durchsetzungsregelung muss robust und glaubwürdig sein, da sonst die Umweltwirksamkeit des Mixes in Frage gestellt wird. Aufgrund der höheren Komplexität des Mix-Designs erhöht sich auch das Risiko unerwünschter Ergebnisse. Die hohe Komplexität erfordert eine ständige Überwachung, Neukalibrierung und reflexive Steuerung, andernfalls besteht die Gefahr eines Versagens der Politik (z.B. in Bezug auf die Kosten und möglicherweise die Umweltwirksamkeit oder die politische Durchführbarkeit).

5.3 Sequentielle CO₂-Bepreisung von Bestand und Kraftstoffen (Mix)

Gemischtes Design

Die CO₂-Bepreisung beginnt auf einem mittleren Niveau (um die politische Umsetzbarkeit zu erleichtern) und steigt im Laufe der Zeit deutlich an, so dass es zum Hauptinstrument des Politikpfades wird; anfangs wird die Bepreisung durch einen Bonus-Malus-Mechanismus ergänzt, der sich mit der Veränderung des Fahrzeugbestands und damit verbundenen Marktversagen befasst und mit der Zeit ausläuft. Bei diesem Pfad wird ein sequenzieller Politikmix verfolgt, der zunächst auf die Veränderung des Fahrzeugbestandes (BEV-Verkäufe) durch entsprechende Preisgestaltung abzielt und dann im Laufe der Zeit den Schwerpunkt auf die Bepreisung von Kraftstoffen legt (Abbildung 16). Ausreichend hohe und steigende CO₂-Preise für Kraftstoffe als Kernstück des Politikmixpfades sind letztendlich das Schlüsselinstrument, um sowohl Anreize für BEV-Kaufentscheidungen als auch für die Reduktion von ICE-Nachfrage (durch geringere Nutzung und frühere Abwrackung) zu schaffen. Kurzfristig spielen Subventionen, Normen und der Infrastrukturausbau eine wichtige Rolle, um Herausforderungen wie „Learning by Doing“, Kurzfristdenken der Verbraucher*innen und Netzwerkeffekte zu bewältigen. Außerdem soll dadurch auch die politische Umsetzbarkeit gewährleistet werden (d.h. Gegenreaktionen vermeiden, wenn der CO₂-Preis für Kraftstoffe sofort auf ein hohes Niveau angehoben wird). Diese ergänzenden Maßnahmen werden schrittweise abgebaut, wenn der CO₂-(Kraftstoff-)Preis auf ein hohes Niveau angestiegen ist und die oben genannten Herausforderungen an Bedeutung verlieren.

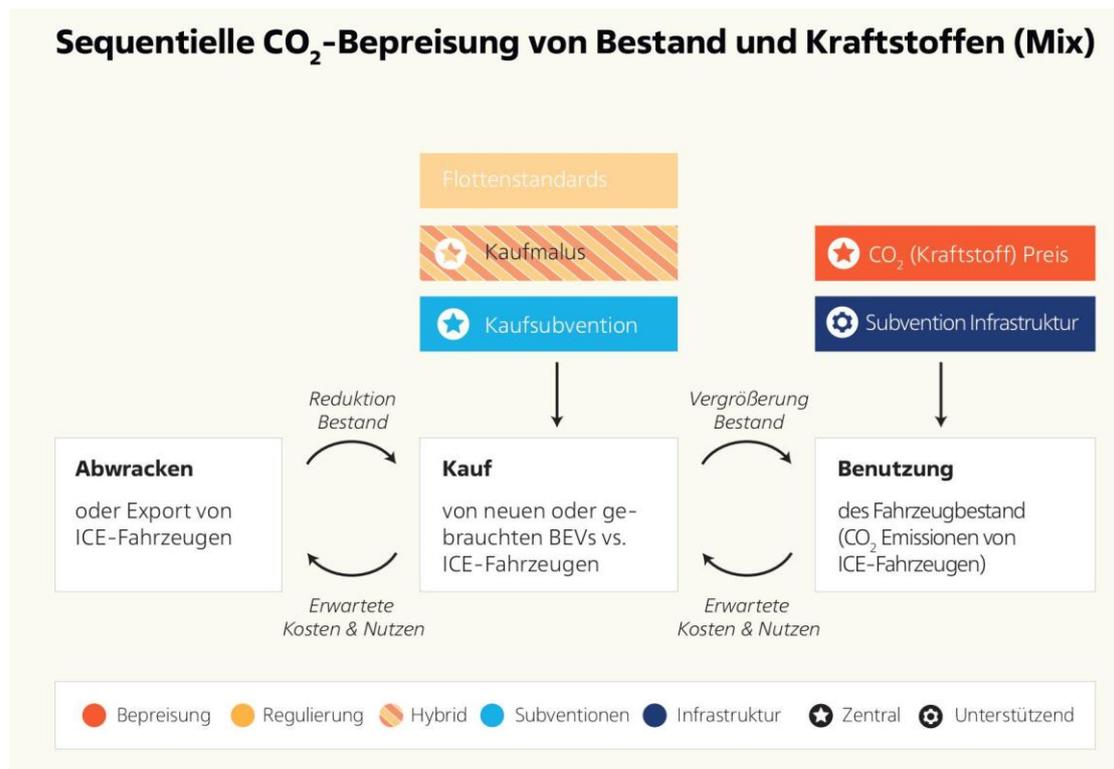


Abbildung 16: Statisches gemischter Politikpfad für den sequenziellen Kohlenstoffpreis (Mix). Die EU-Flottenstandards sind leicht eingefärbt, um zu zeigen, dass sie in diesem Pfad überflüssig sind. Quelle: Eigene Darstellung

Eine moderate kurzfristige Anhebung des Preisniveaus und ein mittelfristiger Preiskorridor für Kraftstoffe verbessert die politische Umsetzbarkeit der Bepreisung von Kraftstoffen in diesem Pfad im Vergleich zum Pfad „CO₂-Bepreisung von Kraftstoffen (Fokus: CO₂-Preise Kraftstoffe)“. Eine schrittweise Anhebung der CO₂-(Kraftstoff-)Preise (gesteuert über einen Preiskorridor) erhöht die politische Umsetzbarkeit im Vergleich zu einem sofortigen sehr hohen CO₂-Preis. Eine nEHS-Preisobergrenze könnte bereits 2023 eingeführt werden (Pahle et al. 2022). Der CO₂-(Kraftstoff-)Preis erreicht gegen Ende des Jahrzehnts eine hohe Stringenz. Zu diesem Zeitpunkt steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Akzeptanz der Hersteller und der Bürger*innen für sehr hohe CO₂-Preise zunimmt, da sich der Fahrzeugbestand sowie die Wahrnehmung und die Präferenzen hinsichtlich der Klimapolitik ändern (Mattauch et al. 2022). Es ist zu erwarten, dass einige Automobilhersteller einen sehr hohen CO₂-(Kraftstoff-)Preis fordern, um ihre Geschäftsmodelle für BEVs zu unterstützen. Schließlich wird erwartet, dass der CO₂ Preis für Kraftstoffe aufgrund ergänzender Instrumente, die Anreize für die Einführung von BEVs schaffen, nicht

so stark ansteigen muss wie in einem Szenario, in dem die Bepreisung als primärer Mechanismus zur Förderung des BEV-Verkaufs eingesetzt wird („Fokus: Kraftstoffe“).

Sequentielle CO ₂ -Bepreisung von Bestand und Kraftstoffen (Mix)		
Bepreisung	<p>CO₂-Preis</p> <ul style="list-style-type: none"> - zentrales Instrument zur Verringerung der Treibhausgasemissionen von bestehenden Fahrzeugen 	<ul style="list-style-type: none"> - Sofortige Anhebung des Preises auf etwa 65 EUR (Spielraum von 50-80 EUR) - Danach schrittweise Anhebung des Preises innerhalb eines Preiskorridors - flexible Anpassung des Preises je nach Kostenentwicklung und angesichts der Minderungseffekte anderer Instrumente zur Erreichung des Emissionsziels - Der CO₂-Preis ist das wichtigste Instrument, um mittelfristig Anreize für das Abwracken von Verbrennern zu schaffen. - Bietet mittel- und langfristig einen gewissen Anreiz für die Einführung von Elektroautos.
Hybride	<p>Malus (neue Fahrzeuge)</p> <ul style="list-style-type: none"> - zentrales Instrument zur Verringerung der Treibhausgasemissionen von Neufahrzeugen 	<ul style="list-style-type: none"> - Kfz-Zulassungssteuer sofort eingeführt (2023) - Erheblicher Grundsteuersatz für alle neuen Verbrenner - Steigender Steuersatz bei Überschreitung eines bestimmten Schwellenwertes für neue Verbrenner - Hoher Spitzensteuersatz für neue Verbrenner oberhalb des Schwellenwertes. - Bewältigung der potenziellen Kurzsichtigkeit der Verbraucher*innen in Bezug auf die höheren Lebenszeitkosten von Verbrennern, externen Effekte "Learning by doing".
Regulierung	<p>EU-Flottengrenzwerte</p> <ul style="list-style-type: none"> - redundantes Instrument 	<ul style="list-style-type: none"> - Vorschlag Fit für 55, einschließlich Verbrenner-Verkaufsverbot ab 2035.
Subventionen	<p>Subvention/Bonus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kerninstrument für die Verringerung der Treibhausgasemissionen von Neufahrzeugen 	<ul style="list-style-type: none"> - Einnahmen aus Malus werden teilweise und über die Zeit umverteilt, um den Kauf von Elektroautos zu subventionieren und die normale Kaufsubvention zu ersetzen. - Reduzierung der Kapitalkosten für den Kauf von Elektroautos, was eine frühe Marktakzeptanz fördert. - mögliche Kurzsichtigkeit der Verbraucher*innen in Bezug auf die niedrigeren Lebensdauerkosten von Elektroautos werden adressiert., externe Netzwerkeffekte, externe Effekte durch "Learning by doing". - Mit steigendem Marktanteil der Elektroautos sinkt die Subvention pro Fahrzeug, da die Herstellungskosten und andere Herausforderungen sinken.
Infrastruktur	<p>Bereitstellung öffentlicher Infrastruktur</p> <ul style="list-style-type: none"> - unterstützendes Instrument für die Vergrößerung der Elektroautoflotte 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Intensität des Instruments, Ausstieg bis spätestens ~2030 - Staatliche Unterstützung für die Bereitstellung der Infrastruktur zur Vermeidung potenzieller negativer externer Effekte und Engpässe im Netz - Vermeidung von Verzerrungen durch staatliche Eingriffe - Kontinuierliche Überprüfung, um festzustellen, ob noch Bedarf besteht, und Einstellung des Instruments, wenn die externen Effekte des Netzes kein Problem mehr darstellen

 Kerninstrument  Unterstützendes Instrument

Tabelle 8: Konfiguration der politischen Instrumente und Gründe für den „Mix“-Pfad. EU-Flottenstandards sind leicht eingefärbt, um zu zeigen, dass sie auf dem Pfad redundant sind.

Ein Bonus-Malus-Mechanismus für den Kauf von Neufahrzeugen nutzt die Zulassungssteuer (Malus) und die Kaufsubvention (Bonus) als zentrale Instrumente zur Förderung des BEV-Absatzes, insbesondere in den ersten Jahren. Dieses Mix-Design legt mehr Gewicht auf die Zulassungssteuer (Malus), um die Verbreitung von BEVs zu fördern (da es kein ZEV-Mandat verwendet). Um eine hohe Wirksamkeit zu gewährleisten und

gleichzeitig Probleme der unvollkommenen Überwachung und der damit verbundenen Steuerhinterziehung zu adressieren, wird die Steuer mit einem Basissteuersatz eingeführt. Dieses effektive Konzept ist möglicherweise mit Herausforderungen der politischen Umsetzbarkeit verbunden. Das Malus-Instrument unterscheidet sich vom „Fokus: Fahrzeugbestand“ durch die Anwendung eines Basissteuersatzes (z.B. 500-1.000 EUR) auf *alle neu* zugelassenen ICE (unabhängig von der CO₂-Einstufung) und durch die Anwendung einer exponentiellen Besteuerung basierend auf einem Mindestschwellenwert (z.B. 100 g/km CO₂), wie beim Pfad „Fokus: Fahrzeugbestand“ eingesetzt. Dieses angepasste Instrument hat eine unmittelbar höhere Wirksamkeit, macht BEVs auch ohne Subvention wettbewerbsfähiger und generiert wesentlich mehr Einnahmen.

Eine regelmäßige Anpassung des Malus ist erforderlich, um die Verbreitung von BEVs voranzutreiben, und kann eine Erhöhung der Preise erfordern, um die Ziele zu erreichen. Die Zulassungssteuer (Malus) hat einen integrierten Preispfad basierend auf dem Emissionsverlauf, den die Regulierungsbehörden einhalten müssen und eventuell die Steuerhöhe im Verhältnis zur CO₂-Intensität anpassen. Der Mechanismus muss neu kalibriert werden, um sich an Änderungen bei den Preisen für neue ICE-Fahrzeuge und BEVs anzupassen. Daher sollte von Anfang an ein Feedback-Mechanismus eingeführt werden, z.B. auf jährlicher Basis.

Sehr strenge Bonus-Malus-Instrumente können regressiv sein. Es hat sich gezeigt, dass strenge Bonus-Malus-Systeme regressiver sind als eine moderatere Kombination aus Steuer und Bonus-Malus (Pyddoke et al. 2021), jedoch ist dies mit Ungewissheiten verbunden. Die größten Wohlfahrtsunterschiede bestehen zwischen städtischen und ländlichen Gebieten, so dass eine Anpassung des Instrumentendesigns zur Ausrichtung auf unterschiedliche geografische Standorte die regressiven Auswirkungen verringern könnte. Ein Instrument, das den Fahrzeugwert und das Einkommen der Antragsteller*innen miteinbezieht, könnte die Progressivität weiter erhöhen. Dies könnte unterschiedliche Steuersätze für Fahrzeuggrößen und -preise beinhalten. Zu den alternativen Gestaltungsmerkmalen könnte auch die Ausrichtung auf Einkommensgruppen gehören (z.B. die Vorlage von Steuerunterlagen zum Nachweis der Förderfähigkeit), was nachweislich die Wirksamkeit von Kaufprämien verbessert (Anhang II.3).

Der Bonus (Kaufsubvention) ist ein wichtiges Instrument, um zunächst Anreize für das weitere Marktwachstum von BEVs zu schaffen. Der Bonus für den Kauf von ZEVs in diesem Pfad hat wesentlich geringere fiskalische Kosten als der Basispfad, da er durch Einnahmen aus dem Malus unterstützt wird. Abhängig von der Kostenentwicklung könnte die Dauer der Bonusverfügbarkeit verlängert werden, möglicherweise bis 2030. Aufgrund der höheren Einnahmen, die durch die Malus-Basissatzgestaltung erzielt werden, wird dies keine zusätzlichen fiskalischen Belastungen mit sich bringen. Wie bereits erwähnt, bleibt offen, inwieweit Kaufsubventionen zusätzliche BEV-Käufe zur Einhaltung der CO₂-Leistungsstandards der EU-Fahrzeugflotte bewirken können.

Wenn die Höhe des Bonus an die Entwicklung der Herstellungskosten von Elektrofahrzeugen gebunden wird, kann die Wirksamkeit erhöht werden. Der Bonus sollte jährlich angepasst werden, um den sinkenden Herstellungskosten für Elektrofahrzeuge Rechnung zu tragen. Die Wirksamkeit des Instruments kann verbessert werden, da eine Übersubventionierung vermieden wird, unerwartete Zusatzprofite reduziert werden und potenziell mehr Fahrzeugkäufe ohne zusätzliche fiskalische Belastungen gefördert werden. Wir schlagen vor, den Bonussatz von 2028 bis 2030 zu senken, was zu einer langsameren Verbesserung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses von BEVs als erwartet führt.

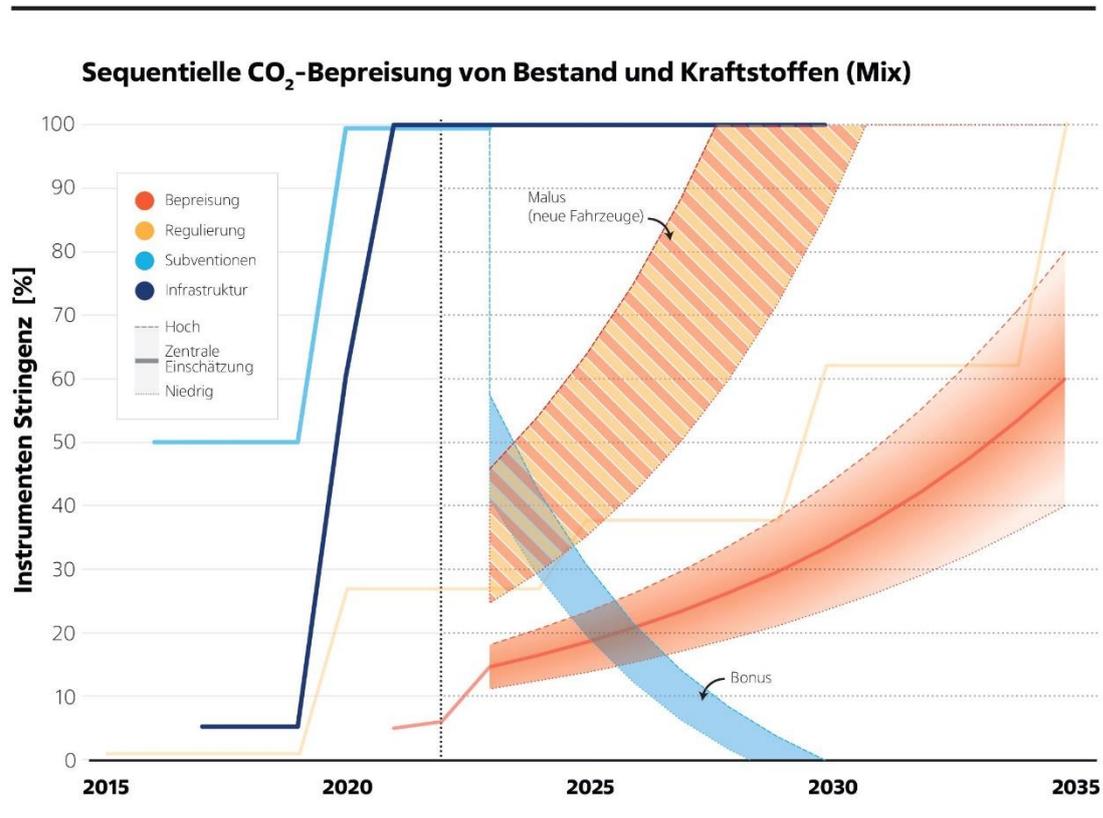


Abbildung 17: Dynamischer Politikmixpfad „Mix“. Die Stärke der Einfärbung zeigt die relative Bedeutung des jeweiligen Instruments im Mix an, d.h. fett=Kerninstrument; durchscheinend=unterstützend. Die EU-Flottenstandards sind leicht eingefärbt, um anzuzeigen, dass sie in dem Pfad überflüssig sind. Der schattierte Bereich für den Kohlenstoffpreis zeigt die Ungewissheit über die erforderlichen Preisniveaus und Steigerungsraten. Die Spannen für den Malus zeigen die oberen und unteren Grenzwerte an (basierend auf der Emissionsleistung), die Preisgestaltung kann innerhalb dieser Emissionsspannen flexibel an die Marktbedingungen angepasst werden. Quelle: Eigene Darstellung

Die Bereitstellung von Infrastruktur wird entsprechend den derzeitigen Ausbauzielen fortgesetzt, wobei die Entwicklungen im Privatsektor flexibel gehandhabt werden.

Wenn der Privatsektor bei der Bereitstellung von Infrastrukturen ein erhebliches Wachstum verzeichnet, kann die staatliche Unterstützung früher als 2030 auslaufen.

Bewertung des Mixes

Die Umweltwirksamkeit dieses Politikpfades wird hauptsächlich durch eine Kombination aus CO₂-(Kraftstoff-)Preisen und einem Bonus-Malus-Mechanismus für den Kauf von Neufahrzeugen erreicht. Die Kerninstrumente werden durch Maßnahmen zur Förderung der Infrastruktur ergänzt. Es wird erwartet, dass die Kombination aus Bonus-

Malus (für Neufahrzeuge) und CO₂-Bepreisung für Kraftstoffe den Verkauf von BEVs anfänglich und im Laufe der Zeit sehr effektiv fördert. Es besteht eine Ungewissheit über die Auswirkungen der CO₂-Bepreisung auf die Änderungen im Fahrzeugbestand und die Reduzierung der Nachfrage für ICE-Fahrzeuge. Dies kann bedeuten, dass eine signifikante Reduktion der Nachfrage erst eintritt, wenn die Preise sich in ihrer Stringenz erhöhen. Daher ist die potenzielle Spanne für die erforderlichen CO₂-Preise groß. Wir gehen davon aus, dass die in Abbildung 17 gezeigte Preisspanne wirksam sein wird, wenn sie durch den Bonus-Malus ergänzt wird. Wenn die Elastizitäten für die Emissionsreduzierung des Fahrzeugbestands gering sind, muss die Gestaltung flexibel sein, um ausreichend hohe Preise für eine hohe Umweltwirksamkeit zu ermöglichen. Falls die Preisobergrenze überschritten wird, sind andere Instrumente erforderlich, um die Umweltwirksamkeit zu gewährleisten.

Die Kostenwirksamkeit dieses Politikpfades ist wahrscheinlich hoch. Eine hohe CO₂-Bepreisung für Kraftstoffe trägt dazu bei, die nötigen Vermeidungsoptionen relativ schnell zu erreichen, was die Kosteneffizienz des Pfades erhöht. Der sofort wirksame Bonus-Malus und der langfristige CO₂-Preis mit einer im Voraus angekündigten Preisobergrenze dürften eine hohe intertemporale Kosteneffizienz aufweisen. Das starke Preissignal und die Infrastruktur-Förderungen signalisieren ein glaubwürdiges Engagement und wirken dem Kurzfristdenken der Verbraucher*innen über den Bonus-Malus und dem Netzwerkeffekt entgegen.

Diese Option verursacht eine moderate steuerliche Belastung. Die fiskalische Belastung dieses Pfades ist deutlich geringer als bei dem Basispfad, da der Malus-Mechanismus die Einnahmen erhöht und somit die „Bonus“-Subvention ausgleicht. Die Hauptkosten dieses Pfades sind die fortgesetzten Investitionen in die Infrastruktur. Abhängig von der Ausgestaltung des Mechanismus zur Umverteilung der CO₂-Preise und der Höhe der Einnahmen aus dem Malus-Mechanismus könnten überschüssige Einnahmen für die Infrastrukturförderung verwendet werden.

Die Verteilungseffekte dieses Mixes hängen in hohem Maße von der Rückverteilung der Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung und der Gestaltung des Bonus-Malus-Systems

ab. Die Progressivität des Rückverteilungsmechanismus der CO₂-Preiseinnahmen ist ausschlaggebend. Zudem werden auch andere Effekte wie die Entstehung eines Marktes für BEV-Gebrauchtwagen eine wichtige Rolle spielen, auch wenn bisher wenig zu diesem Thema bekannt ist. Ein hoher Bonus aus einer strikten Preisgestaltung könnte möglicherweise dazu genutzt werden, den Kauf von BEVs zu verbilligen. Ein Bonus-Malus kann auch regressive Auswirkungen haben, je nach genauer Gestaltung der Politik.

Die politische Umsetzbarkeit dieses Pfades wird als moderat, doch ungewiss angesehen.

Eine plötzliche Erhöhung der CO₂-(Kraftstoff-)Preise könnte bei großen Teilen der deutschen Bevölkerung starken Widerstand hervorrufen. Dieser Widerstand könnte im Laufe der Zeit aufgrund von Gewöhnung und Lernprozessen nachlassen, wenn mehr Personen von der Rückverteilung der Einnahmen profitieren und sich die Befürchtungen von Gegnern bezüglich negativer Auswirkungen nicht bewahrheiten (Mattauch et al. 2022). Der Widerstand könnte auch abnehmen, wenn der Bonus-Malus-Mechanismus dazu beigetragen hat, die Verbreitung von BEVs zu fördern und weniger Menschen direkt von höheren Kraftstoffkosten betroffen sind. Es gibt wenig Evidenz für die Akzeptanz eines Bonus-Malus (für Neufahrzeuge), aber wir gehen davon aus, dass die Akzeptanz höher sein wird als bei der CO₂-(Kraftstoff-)Bepreisung, aufgrund von z.B. anderer Aufmerksamkeit und Fairnesswahrnehmung, da nur die Käufer*innen von Neufahrzeugen betroffen sind. Dennoch wird es wahrscheinlich immer noch Widerstand von bestimmten Bevölkerungsgruppen und möglicherweise von Autoherstellern geben. Autohersteller, die überlegen, BEVs anzubieten, könnten diesen Mix angesichts der relativ guten Gesamtleistung bei unseren Bewertungskriterien (siehe nächster Abschnitt) und der potenziell hohen politischen Glaubwürdigkeit und Machbarkeit stark unterstützen.

Diese Mix-Option ist vor allem in der Anfangsphase mit erheblichen Governance-Anforderungen verbunden.

In der ersten Phase müsste ein Mechanismus zur Rückverteilung der Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung eingerichtet werden, um progressive Ergebnisse zu gewährleisten. Die Infrastrukturinvestitionen und gezielte Kaufsubventionen

sowie deren dynamische Anpassung in Reaktion auf Marktentwicklungen erfordern angemessene Verwaltungskapazitäten und -verfahren.

Sequentielle CO₂-Bepreisung von Bestand und Kraftstoffen (Mix)			
	2023-2025	2025-2030	2030-2035
Umweltwirksamkeit (BEV-Verkäufe)	Bonus-Malus bietet starke Anreize für den Kauf von E-Fahrzeugen. Ein gewisser zusätzlicher Anreiz durch den Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preis, aber die erste Reaktion könnte langsam sein.	Bonus-Malus und steigende Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise bieten starke Anreize für den Kauf von BEVs.	Hohe Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise und Malus setzen starke Anreize für den Kauf von BEVs.
Umweltwirksamkeit (weniger ICE-Fahrten und Abwrackprämien)	Ein Anstieg der Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise führt zu einer geringeren Nutzung von ICE-Fahrzeugen. Anfänglicher Effekt ungewiss, aber proportional zum Anstieg der Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise.	Erhöhte Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise bieten einen (unsicheren) Anreiz für eine geringere Nutzung und Abwrackung von Verbrennungsmotoren.	Erhebliche Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise schaffen Anreize für einen geringeren Verbrauch und die Verschrottung.
Kosteneffektivität (Statisch)	Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise sind ein wichtiges Instrument zur Harmonisierung der marginalen Minderungskosten über alle Optionen hinweg, aber Bonus-Malus führt zu Heterogenität der marginalen Minderungskosten.	Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preise sind ein wichtiges Instrument zur Harmonisierung der marginalen Minderungskosten über alle Optionen hinweg, aber Bonus-Malus führt zu Heterogenität der marginalen Minderungskosten.	Harmonisierte marginale Minderungskosten für alle kurzfristigen Minderungsoptionen durch einen signifikanten Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preis.
Kosteneffektivität (Dynamisch)	Bonus-Malus-Mechanismus schafft Anreize für „Learning by doing“, wirkt der Kurzsichtigkeit der Verbraucher entgegen und erhöht die Glaubwürdigkeit. Netzwerkeffekte werden über die Förderpolitik berücksichtigt. Risiko, zu früh zu viele kostspielige BEV einzuführen.	Der Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preis schafft zunehmend Anreize für alle Optionen. Der Bonus-Malus wirkt der abnehmenden Kurzsichtigkeit und des „Learning by doing“-Effekts entgegen. Die Infrastruktur trägt den abnehmenden externen Netzwerkeffekten Rechnung.	BEVs und die Infrastruktur sind wahrscheinlich ausgereift und externe Effekte weniger relevant.
Fiskalische Belastung	Fortgesetzte Bereitstellung von Infrastruktur bleibt kostspielig, Bonus-Malus senkt die fiskalischen Kosten im Vergleich zu reinen Subventionen	Fortgesetzte Bereitstellung von Infrastruktur, Bonus-Malus senkt die fiskalischen Kosten.	Keine Subventionen/Infrastruktur in diesem Zeitraum.
Verteilung-Bevölkerung	Starke Abhängigkeit vom Mechanismus zur Rückführung der Einnahmen.	Die Auswirkungen des Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preises hängen von der Ausgestaltung des Mechanismus zur Rückführung der Einnahmen ab.	Die Auswirkungen des Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preises hängen von der Ausgestaltung des Mechanismus zur Rückführung der Einnahmen ab.
Politische Durchführbarkeit	Die Akzeptanz der Preisgestaltung ist gering, so dass eine plötzliche Preiserhöhung bzw. eine landesweite Einführung wahrscheinlich angefochten werden wird. Recycling der Einnahmen dürfte die Akzeptanz in der Bevölkerung erhöhen. Die Einführung eines hohen Malus könnte auf einigen Widerstand stoßen.	Es wird erwartet, dass das Recycling von Einnahmen durch die Erhöhung des CO ₂ -Preises die Akzeptanz erhöht. Die Akzeptanz kann auch durch den Bekanntheitsgrad im Laufe der Zeit steigen.	Es wird erwartet, dass die Akzeptanz im Laufe der Zeit durch den Bekanntheitsgrad und die Recycling der Einnahmen steigt.
Governance	Sofortige Erhöhung der Kohlenstoff-(Kraftstoff-) Preise und Umsetzung der Umverteilung der Einnahmen. Umsetzung, Aktualisierung, Überwachung und Durchsetzung von Bonus und Malus. Infrastruktur.	Reflexive Aktualisierungen des Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preises, des Bonus und des Malus auf der Grundlage der Marktreaktion. Wirksame Tests der Leistung neuer Fahrzeuge erforderlich. Umverteilung der Einnahmen des Preisinstruments.	Wirksame Tests der Leistung neuer Fahrzeuge erforderlich. Umverteilung der Einnahmen aus der Preisgestaltung.

Tabelle 9: Dynamische Bewertung des „Mix“-Pfads in verschiedenen Phasen im Laufe der Zeit. Die Farben zeigen hohe (=grünen) bis niedrige (=roten) Leistung in den Kriterien an. Schattierungen zeigen Ungewissheiten an.

5.4 Vergleichende Bewertung

Jeder Politikpfad erfordert ein gewisses Maß an CO₂-(Kraftstoff-)Bepreisung, um alle Emissionsreduktionsoptionen zu erreichen und die Kostenwirksamkeit zu maximieren. Die Bepreisung von CO₂ ist der wichtigste Mechanismus, der auf die THG-Vermeidung durch Nachfragereduzierung/erhöhte Kraftstoffpreise bei allen Optionen abzielt. Ohne eine gezielte Bepreisung der Kraftstoffe wird die mit der Nachfragereduzierung des vorhandenen Fahrzeugbestands verbundene THG-Vermeidung nicht ausreichend genutzt, was die Umweltwirksamkeit verringert und/oder den Schwerpunkt stärker auf den Wechsel des Fahrzeugbestands legt, was die Kostenwirksamkeit verringert. Dementsprechend ist eine CO₂-(Kraftstoff-)Preisgestaltung auch bei komplizierteren Politikmixkonzepten (z.B. Konzentration auf den Fahrzeugbestand) erforderlich, da andernfalls ein übermäßiges Vertrauen auf den Bestandswechsel als Emissionsreduzierungsoption die Kosten erhöht.

		Fokus: CO ₂ -Preise Kraftstoffe	Fokus: Fahrzeugbestand	Mix
Bepreisung	Kohlenstoff-(Kraftstoff-)Preis	★	⚙️	★
Hybride	Malus (neue Fahrzeuge)		⚙️	★
	Malus (bestehende Fahrzeuge)		★	
Regulierung	Flottengrenzwerte			
	Null-Emissionen-Fahrzeug-Mandat		★	
Subventionen	Bonus		★	★
	Abwrackprämie		⚙️	
Infrastruktur	Bereitstellung öffentlicher Infrastruktur	⚙️	⚙️	⚙️

Abbildung 18: Vergleich der Politikmixentwürfe nach Instrumententyp und ihrer Rolle in dem jeweiligen Politikmix. Quelle: Eigene Darstellung

Reformen der Emissionsperformance und der Klassifizierung von Fahrzeugen sind erforderlich, um die Wirksamkeit und Glaubwürdigkeit von Emissionsstandards und Bonus-Malus-Instrumenten zu verbessern, die an die CO₂-Intensität der Fahrzeuge gekoppelt sind. Die Labortests zur Klassifizierung der CO₂-Intensität neuer ICE-Fahrzeuge für

EU-Flottenstandards haben sich als anfällig für Manipulation erwiesen. Daher ist eine Reform der Überprüfungs- und Bewertungs- bzw. Klassifizierungsverfahren für Fahrzeuge und Fahrleistungen erforderlich, um das tatsächliche Fahrverhalten korrekt zu beschreiben, da andernfalls die ökologische Wirksamkeit der Malus-Instrumente, die im Rahmen des „Fokus: Fahrzeugbestand“ und des „Mix“-Politikpfades vorgeschlagen werden, in Frage gestellt würde.

Die politische Umsetzbarkeit ist bei allen Politikpfaden eine Herausforderung, aber angesichts der großen Bedeutung, des geringen Bekanntheitsgrads und der wahrscheinlich verzerrten Wahrnehmung der Verteilungseffekte von CO₂-(Kraftstoff-)Preisen in signifikanter Höhe könnte die Rückverteilung von Einnahmen selbst bei sorgfältiger Ausgestaltung anfangs eine größere Herausforderung darstellen als Instrumente, die den aktuellen Fahrzeugbestand bepreisen (z.B. Bonus-Malus). Die politische Umsetzbarkeit stellt bei allen Politikpfaden eine Herausforderung für die Durchführung dar, insbesondere aber bei stringenten CO₂-(Kraftstoff-)Preisen. Die geringe Akzeptanz scheint jedoch auf den Erwartungen (Befürchtungen) negativer Verteilungseffekte zu beruhen, die nicht mit den prognostizierten Ergebnissen übereinstimmen, sofern eine wirksame Umverteilung der Einnahmen und eine gezielte Bekämpfung konzentrierter Verluste und Ausgleichsmaßnahmen ebenfalls in Kraft gesetzt werden. Diese Maßnahmen sind von entscheidender Bedeutung für die Verringerung regressiver Verteilungsergebnisse. Die geringe öffentliche Akzeptanz könnte auf einen Mangel an Informationen über die zu erwartenden Auswirkungen und/oder auf ein fehlendes Vertrauen in die wirksame Umsetzung dieser Maßnahmen zurückzuführen sein. Das Anstoßen eines sozialen Lernprozesses, um die öffentliche Wahrnehmung mit den besten verfügbaren Bewertungen der Verteilungsauswirkungen in Einklang zu bringen, wird entscheidend sein, um die Akzeptanz der Instrumente im Laufe der Zeit zu steigern.

Alle Politikmixoptionen haben Stärken und Schwächen. Wir vergleichen nun die Politikpfade mit einer vergleichenden/summativen Bewertung und im Hinblick auf die Hauptrisiken, die mit jedem Pfad verbunden sind. Die Hauptrisiken jedes einzelnen Politikpfades werden in Tabelle 10 dargestellt. Die aufgeführten Risiken, bedrohen zum großen Teil

auch die Umweltwirksamkeit. Um unsere Bewertungen der Pfade direkter vergleichen zu können, wird in Tabelle 11 ein zusammenfassender Überblick gegeben.

Der Hauptvorteil des Politikmixes „Fokus: Kraftstoff“ liegt in seiner Einfachheit und den geringen steuerlichen Kosten. Der Informationsbedarf für die Regulierungsbehörde ist aufgrund der Einfachheit der Option gering. Diese Politikmixoption hat auch sehr niedrige fiskalische Kosten, vorausgesetzt, die Großhandelspreise für Öl bleiben relativ konstant, was andernfalls staatliche Mittel zur Unterstützung von Ausgleichsmechanismen erfordern könnte. Wenn der CO₂-(Kraftstoff-)Preis hoch genug ist, sollte er im Allgemeinen ausreichen, um den Übergang des Sektors und die Verringerung der THG-Emissionen voranzutreiben. Das gelingt allerdings nur, wenn das Markt- und Netzwerkversagen nicht signifikant oder gar anhaltend sind.

Die politische Umsetzbarkeit ist eine der größten Herausforderungen bei der Verfolgung des „Fokus: Kraftstoff“, die andere ist mögliches Marktversagen, das hier aber nicht adressiert wird. Der Politikmix beruht auf einer sofortigen und deutlichen Anhebung der Preise. Die Preisgestaltung war in der Vergangenheit das am wenigsten akzeptierte Instrument, weshalb eine plötzliche Erhöhung auf ein noch nie dagewesenes Niveau, bei den Gegner*innen der CO₂-(Kraftstoff-)⁷ Eine weitere Überlegung ist, dass dieses Konzept, sobald es umgesetzt ist, ein hohes politisches Engagement erfordert, da eine unvollständige Umsetzung dazu führen würde, dass die THG-Reduktionsziele nicht erreicht werden. Wenn darüber hinaus zusätzliche unvorhergesehene Marktmängel auftreten, die selbst durch einen sehr hohen CO₂-(Kraftstoff-)Preis nicht behoben werden, wird dies die dynamische Kostenwirksamkeit beeinträchtigen. Dies impliziert die Notwendigkeit noch höherer CO₂-(Kraftstoff-)Preise, was die Bedenken hinsichtlich der politischen Umsetzbarkeit verstärkt. wird eine strenge Preisgestaltung zwar langfristig ein sehr wirksames Instrument sein, aber es bleiben Unsicherheiten, die sich aus der kurzfristigen Elastizität der Preisgestaltung ergeben, insbesondere in Bezug auf den Fahr-

⁷ Oder auch diejenigen, die einen moderateren Ansatz der Preisgestaltung als Teil eines umfassenderen politischen Konzepts befürworten.

zeugflottenwechsel. Dies kann zu einer Anpassungsphase (bis zu fünf Jahren) führen, bevor sich die (kurzsichtigen) Verbraucherpräferenzen deutlich in Richtung der Einführung von BEVs und/oder einer geringeren Nachfrage nach ICE-Fahrzeugen verschieben.

Der Hauptvorteil des Pfads „Fokus: Bestand“ besteht darin, dass er auf potenzielle zusätzliche Herausforderungen abzielt und ein geringeres Risiko in Bezug auf die Umweltwirksamkeit aufweist. Bei dieser Politikmixoption werden Instrumente eingesetzt, die Aspekte wirtschaftlicher und regulatorischer Mechanismen kombinieren (ZEV-Mandat und Malus für neue und bestehende Fahrzeuge). Im Wesentlichen schaffen die Preiskomponenten dieser Instrumente direkte Anreize für Veränderungen in der Zusammensetzung des Kapitalbestands. Dadurch wird das Verhalten direkter gelenkt als durch ein Kraftstoffpreissignal, bei dem es darauf ankommt, dass Marktakteur*innen und Verbraucher*innen ihr Verhalten rational anpassen. Dementsprechend ist dieser Mix weniger anfällig für Kurzfristdenken bei Verbraucher*innen und Herstellern sowie für andere Markt-/Netzwerkversagen, was die Risiken im Zusammenhang mit der Wirksamkeit der Kerninstrumente zur Verringerung der THG-Emissionen verringert.

Die Hauptrisiken, die mit dem Politikpfad „Fokus: Bestand“ verbunden sind, stehen im Zusammenhang mit der Klassifizierung der Emissionsintensität von ICE-Fahrzeugen, der Unsicherheit, unbeabsichtigten Folgen, potenziellem Politikversagen und damit verbundenen Risiken für die Kostenwirksamkeit. Da sich dieser Politikmix auf mehrere interagierende Instrumente stützt, ist die Wahrscheinlichkeit des Governanceversagens größer, einschließlich des Versagens der Umsetzung, Überprüfung und Durchsetzung, sowie der ordnungsgemäßen Kalibrierung der Instrumente, was die Umwelt- und Kostenwirksamkeit beeinträchtigen könnte. Während die in diesem Politikmix verwendeten Instrumententypen darauf abzielen, das Auftreten von Umgehung und Manipulation (im Zusammenhang mit den aktuellen Flottenstandards) zu verringern, erfordern die Instrumente hier eine starke Rolle des Staates bei der Überprüfung und Durchsetzung mehrerer (und sich zum Teil überschneidender) Mechanismen. Dies stellt eine größere Belastung für den Staat dar und erhöht die Wahrscheinlichkeit unbeabsichtigter Wechselwirkungen, die möglicherweise ein häufigeres Eingreifen und eine Neukalibrierung erfor-

dern als bei einem einfacheren Politikmixdesign. Vor allem die Einhaltung und Durchsetzung der steuerlichen Sanktionen ist wichtig, damit der Mechanismus „Zähne“ hat, und rechtlicher Schritte gegen Unternehmen und Einzelpersonen bei Nichteinhaltung umsetzen kann. Ansonsten wird die Glaubwürdigkeit und Legitimität des Politikmixes untergraben.

Besonders groß ist die Ungewissheit über die verteilungspolitischen Auswirkungen der Einführung eines Malus für bestehende Fahrzeuge. Ein Malus für bestehende Fahrzeuge wurde bisher nicht in dem von uns vorgeschlagenen Umfang eingeführt, was im Wesentlichen einer schrittweisen Ausmusterung des ICE-Fahrzeugbestands durch hohe steuerliche Sanktionen gleichkommt. Da dieser Mechanismus in erster Linie auf die niedrigen Emissionswerte älterer Fahrzeuge abzielt, die eher in den unteren Einkommensgruppen zu finden sind, dürften die Verteilungseffekte des Mechanismus erheblich sein. Eine Option ist die Einführung einer Abwrackprämie neben dem Malus, die darauf abzielt, die regressivsten Auswirkungen zu verringern. Da es sich hierbei um einen noch nie dagewesenen Ansatz handelt, ist die Unsicherheit in Bezug auf die Verteilungseffekte selbst bei gezielten Unterstützungsmechanismen sehr groß.

Der Hauptvorteil des „Mix“-Pfads besteht darin, dass er die Akzeptanz erhöht, indem er zunächst auf Kaufentscheidungen abzielt und eine schrittweise Anhebung der CO₂- (Kraftstoff-)Preise ermöglicht, während er gleichzeitig in Bezug auf die Kostenwirksamkeit am besten abschneidet. Bei diesem Mix werden weitgehend akzeptierte Instrumente eingesetzt, um die frühe Verbreitung von BEVs zu fördern, während die CO₂-Bepreisung allmählich ansteigt, um die Herausforderungen der politischen Durchführbarkeit der CO₂- (Kraftstoff-)Bepreisung zu vermeiden. Dies geschieht, indem der Preis anfangs moderater erhöht wird als beim Politikmix „Fokus: Kraftstoff“. Wir gehen davon aus, dass die Akzeptanz im Laufe der Zeit zunehmen wird, da sich viele Bürger*innen mit der Bepreisung vertraut machen und durch die Rückzahlung der Einnahmen von ihr profitieren, insbesondere einkommensschwache Gruppen, die tendenziell weniger Auto fahren. Die größte politische Herausforderung ist daher die anfängliche Anhebung des CO₂- (Kraftstoff-)Preises.

Während der „Mix“-Pfad nur wenige größere Schwächen aufweist, sind seine (anfänglich) relativ begrenzte Wirkung als Anreiz zur Nachfragereduzierung und zur Abwrackung bestehender ICE-Fahrzeuge sowie die Ungewissheit über die politische Umsetzbarkeit vielleicht die größten Nachteile. Dieser Mix beruht auf der Bepreisung von CO₂ (Kraftstoff), um Anreize für die Verringerung der Nachfrage nach bestehenden ICE-Fahrzeugen oder für die Umstellung der gesamten Fahrzeugflotte zu schaffen. Da die Elastizitäten ungewiss sind, kann die Preisgestaltung erst bei einem sehr hohen Preisniveau (2030-2035) zu einer signifikanten Verringerung der THG-Emissionen bestehender Fahrzeuge führen, was zu einer verminderten Senkung vor 2030 führen kann. Da dieser Mix nicht über zusätzliche Instrumente zur Verringerung der THG-Emissionen von bestehenden Fahrzeugen und zur schrittweisen Abschaffung von ICE-Fahrzeugen verfügt, stellt dies ein Risiko für die allgemeine Umweltwirksamkeit dar.

Die Bewertung aller Pfade ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Wir versuchen, Unsicherheiten in Bezug auf die Leistung einzelner Instrumente, exogene Unsicherheiten in Bezug auf Kostenentwicklungen und Preiselastizitäten durch Bandbreiten von Kalibrierungen politischer Instrumente innerhalb unserer Pfade sowie durch Unsicherheitsbandbreiten in unseren Pfadbewertungen zu berücksichtigen. Eine numerische Modellierung wäre sehr nützlich, um diesen Unsicherheitsraum genauer zu spezifizieren, kann ihn aber nicht vollständig auflösen.

Auch instrumentenbedingte Unsicherheiten beeinflussen die Genauigkeit der Schätzungen. Die in unseren Mix-Optionen dargelegten Ambitionsniveaus sind derzeit weltweit beispiellos. Wir gehen davon aus, dass die Stringenz der klimapolitischen Politikmix-Instrumente in den kommenden Jahrzehnten erheblich zunehmen wird, so dass die derzeitigen Erwartungen in Bezug auf Aspekte wie Umweltwirksamkeit, Kosteneffizienz und Verteilung bei solch hoher Stringenz anders ausfallen könnten als in der Vergangenheit und bei aktuellen Beobachtungen. Dies gilt für Preisbildungsmechanismen, bei denen die historischen Elastizitätsschätzungen häufig auf den Preisschwankungen auf dem Benzin- und Dieselmotormarkt beruhen, aber auch für andere Instrumente, da die Reaktionen des Verhaltens unklar sind. Besonders groß ist die Unsicherheit bei den Bestandswechselelastizitäten. Wir könnten potenziell höhere Elastizitäten als die in der Vergangenheit

beobachteten erwarten, insbesondere wenn BEVs und die Infrastruktur billiger verfügbar werden und sich die Verbrauchernormen im Laufe der Zeit in Richtung einer höheren Akzeptanz von BEVs ändern.

Exogene Unsicherheiten - z.B. sich ändernde sozioökonomische Bedingungen - werden die künftige Entwicklung beeinflussen. Andere unvorhersehbare Ereignisse auf Makroebene (geopolitische Schocks, Finanzkrisen, Pandemien, zunehmende klimabedingte Naturkatastrophen usw.) werden unvorhersehbare Auswirkungen auf die beschriebenen Pfade haben. Sie können das Tempo des Übergangs entweder fördern (Beschleunigung der Dynamik) oder auch behindern (Neuausrichtung der Mittel in der Krise). Zu diesen makroökonomischen Überlegungen gehören auch mögliche internationale Handelsbedingungen, die sich auf das Angebot und die Kosten von Fahrzeugkomponenten auswirken können.

Unsicherheit bedeutet, dass der Politikmix ständig neu bewertet und im Lichte der gewonnenen Erkenntnisse angepasst werden muss. Die Erreichung einer hohen Treibhausgasreduzierung im Jahr 2030 erfordert bei allen Politikmischen eine ständige nationale Anpassung der Kalibrierung des Mixes. Angemessene Institutionen und Fachkenntnisse für die Überwachung der Leistungen des Mixes und dessen Anpassung sind von entscheidender Bedeutung.

Fokus: CO ₂ -Preise Kraftstoffe	Fokus: Fahrzeugbestand	Mix
<p>POLITISCHE UMSETZBARKEIT, DIE DIE ÖKOLOGISCHE WIRKSAMKEIT BEEINTRÄCHTIGT:</p> <p>Eine geringe Akzeptanz stellt eine Herausforderung für die Umsetzbarkeit dar und könnte zu einer Schwächung der Zielsetzung und der Obergrenzen führen, was die ökologische Wirksamkeit beeinträchtigen würde.</p> <p>Möglicherweise sind schnell steigende CO₂-Preise erforderlich, um Elektroautos großflächig in den Markt einzuführen und Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Dies birgt kurzfristig das Risiko eines großen politischen Rückschlags, selbst bei einer effektiven Rückverteilung der Einnahmen. Auch längerfristig könnten sehr hohe CO₂-Preise erforderlich sein, um ambitionierte Treibhausgasziele zu erreichen. Politische Gegenreaktionen könnten zu einer Senkung bzw. Aufhebung der CO₂-Preise und zur Nichterreichung der Treibhausgasziele führen, was die politische Glaubwürdigkeit beeinträchtigt.</p>	<p>GOVERNANCE UND KOSTENWIRKSAMKEIT:</p> <p>Zeitplanung und Kalibrierung der Instrumente stellen Herausforderungen für die dynamische Kostenwirksamkeit dar.</p> <p>Probleme in der Anpassung der Politikinstrumente über die Zeit können entstehen, was zu Governancefehlern führt. Der falsche Einsatz von Instrumenten zum falschen Zeitpunkt (z. B. eine zu frühe und kostspielige Einführung von Elektroautos) beeinträchtigt die Kosteneffektivität.</p>	<p>POLITISCHE UMSETZBARKEIT, DIE DIE ÖKOLOGISCHE WIRKSAMKEIT BEEINTRÄCHTIGT:</p> <p>Eine anfänglich träge ökologische Wirksamkeit könnte höhere CO₂-Preise als vorhergesagt erfordern, was politisch umstritten sein könnte.</p> <p>Die anfängliche Erhöhung der CO₂-Preise könnte politisch umstritten sein, vor allem wenn diese höher als erwartet ausfallen, um die erforderlichen Flottenumschlagsraten zu erreichen. Dann besteht das Risiko einer politischen Gegenreaktionen, selbst wenn die Rückverteilung der Einnahmen sorgfältig ausgearbeitet ist. Wenn die Preisobergrenze verbindlich wird, sind zusätzliche Instrumente erforderlich, um die ökologische Wirksamkeit sicherzustellen.</p>
<p>KOSTENWIRKSAMKEIT:</p> <p>Market failures hinder dynamic cost effectiveness.</p> <p>Der Mangel an unterstützenden Instrumenten, die auf Verbraucher-kurzichtigkeit, Netzwerkeffekte und learning-by-doing-Effekte abzielen, könnte die dynamische Kostenwirksamkeit beeinträchtigen.</p>	<p>VERTEILUNG:</p> <p>Potenziell regressive Auswirkungen eines Malus auf den Fahrzeugbestand.</p> <p>Es besteht eine hohe Unklarheit über regressive Auswirkungen eines Malus auf den Fahrzeugbestand. Möglicherweise erhebliche Regressivität der Maßnahme, wenn sie nicht durch ergänzende Maßnahmen (Abwrackprämie) ausreichend abgemildert werden.</p>	
<p>ÖKOLOGISCHE WIRKSAMKEIT:</p> <p>Aufgrund der langsamen Marktverbreitung von Elektroautos könnte das Ziel von 15 Mio. Elektroautos bis 2030 nicht erreicht werden.</p> <p>Lower initial investment due to market uncertainty may result in less diffusion of BEVs. This increases the risk of un-attainment of 15milo EV and transport sector GHG targets.</p>	<p>GOVERNANCE & UMWELTWIRKSAMKEIT:</p> <p>Die Überwachungsanforderungen könnten die Umweltwirksamkeit des Malus-Instruments beeinträchtigen.</p> <p>Eine ungenaue Einstufung der CO₂-Intensität von Fahrzeugen für den Malus (neue und bestehende Fahrzeuge) würde die Wirksamkeit des Politikmixpfades beeinträchtigen und eine rechtzeitige Verstärkung anderer Instrumente erfordern.</p>	<p>GOVERNANCE & UMWELTWIRKSAMKEIT:</p> <p>Spekulation/Umgehung von Maßnahmen könnte eine rasche Verschärfung erfordern, um die Umweltwirksamkeit sicherzustellen.</p> <p>Eine ungenaue Einstufung der CO₂-Intensität von Fahrzeugen für den Malus auf Neufahrzeuge würde die Wirksamkeit des Politikmixpfades beeinträchtigen, sodass dieses und andere Instrumente rechtzeitig verschärft werden müssten.</p>
<p>VERTEILUNGSEFFEKTE:</p> <p>Unmittelbar hohe CO₂-Preise werden zu einigen Härtefällen führen.</p> <p>Es besteht das Risiko, dass der Rückverteilungsmechanismus so konzipiert ist, dass er die starken Verteilungseffekte auf gefährdete Gruppen nicht abbildern kann. Selbst bei einer sehr gut ausgearbeiteten Rückverteilung der Einnahmen wird es voraussichtlich zu unmittelbaren Härtefällen kommen.</p>	<p>POLITISCHE UMSETZBARKEIT:</p> <p>Die Einführung eines Malus für den Fahrzeugbestand wird wahrscheinlich auf geringe Akzeptanz stoßen.</p> <p>Ein Malus für bestehende Fahrzeuge ist eine politische Herausforderung. Es könnte zu politischen Rückschlägen kommen, wenn die regressive Verteilungseffekte als hoch empfunden werden und nicht durch ergänzende Maßnahmen abgemildert werden. Möglicher politischer Widerstand einiger Automobilhersteller*innen gegen das Null-Emissions-Fahrzeug Mandat besteht.</p>	

● Hohes Risiko ● Signifikantes Risiko

Tabelle 10: Hauptrisiken in Verbindung mit jedem Politikmix-Pfad

	Kostenwirksamkeit	Verteilungseffekte	Fiskalische Belastung	Politische Umsetzbarkeit	Governance
Fokus: CO₂-Preise Kraftstoffe	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe statische Kostenwirksamkeit. - Ungewissheit über das Auftreten und die Dauer von zusätzlichen Herausforderungen/Marktversagen (z. B. learning-by-doing, Netzwerkeffekte) können die Kostenwirksamkeit (möglicherweise erheblich) beeinträchtigen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bepreisung erhöht die Fahrtkosten von Verbrennern erheblich. - Selbst bei einer Rückverteilung der Einnahmen wird es Härtefälle geben. 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Kosten für den Staat. - Anfänglich Kosten für die Bereitstellung von Infrastruktur (vorläufig zur Reaktion des Privatsektors). 	<ul style="list-style-type: none"> - Sofortiger und (möglicherweise extrem) hoher Anstieg des nationalen CO₂-Preises. - Politische Gegenreaktionen auf hohe CO₂-Preise von Verbraucher*innen und der Industrie (z.B. aufgrund von Subventionskürzungen) bedrohen die Durchführbarkeit und damit die ökologische Wirksamkeit dieses Politikpfades. 	<ul style="list-style-type: none"> - Relativ einfache Design- und Informationsanforderungen, da nur ein Kerninstrument. - Anpassungen des Designs (Obergrenze, Preisobergrenzen, Preisverlauf usw.) erforderlich, wenn die Verhaltensreaktionen erheblich von den Erwartungen abweichen. - Die Rückverteilung der Einnahmen bringt die geringsten Verwaltungsanforderungen mit sich.
Fokus: Fahrzeugbestand	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe statische Kostenwirksamkeit. - Kurzsichtigkeit, Netzwerkeffekte und "learning-by-doing" werden direkt adressiert - Erhöht die Marktsicherheit und verringert das Investitionsrisiko. - Risiko von Fehlern bei der politischen Kalibrierung/Nichtanpassung. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ein Malus auf bestehende Fahrzeuge verursacht möglicherweise Kosten für einen großen Teil der Bevölkerung, was die politische Umsetzbarkeit beeinträchtigen könnte. - Möglicher ausgleichender Effekt durch eine gezielte Abwrackprämie. - Große Unsicherheiten bestehen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Kosten für die Bereitstellung zusätzlicher Infrastruktur. - Kaufsubventionen und eine Abwrackprämie werden durch die Einnahmen aus dem Malus auf Neufahrzeuge finanziert, sodass dem Staat keine zusätzlichen Kosten entstehen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Möglicherweise eine geringe Akzeptanz für die Einführung eines Malus für bestehende Fahrzeuge, da ein großer Teil der Bevölkerung betroffen ist. - Einführung bei geringer Intensität und in Verbindung mit einer Abwrackprämie dürfte die Akzeptanz erhöhen. - Im Falle einer hohen Regressivität besteht das Risiko eines politischen Rückschlags, der die ökologische Wirksamkeit beeinträchtigt. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verwaltungs- und Informationsanforderungen sind bei diesem Politikpfad am höchsten. - Zur Gewährleistung der ökologischen Wirksamkeit, muss die CO₂-Intensität von Verbrennern richtig eingestuft werden. - Wenn die Instrumente nicht optimal angepasst werden, beeinträchtigt dies die Kosten- und ökologische Wirksamkeit.
Mix	<ul style="list-style-type: none"> - Anfänglich mäßige, aber zunehmende statische Kostenwirksamkeit. - Alle Herausforderungen der dynamischen Kostenwirksamkeit werden durch unterschiedliche Instrumente adressiert. - Weniger anfällig für Zeit- und Kalibrierungsprobleme. 	<ul style="list-style-type: none"> - Abhängig vom Mechanismus zur Rückverteilung der CO₂-Preiseinnahmen. - Verteilungseffekte des Bonus-Malus-Instruments sind unklar, sind aber auf den Kauf von Neufahrzeugen beschränkt. 	<ul style="list-style-type: none"> - Kosten für die Bereitstellung zusätzlicher Infrastruktur. - Kaufsubventionen werden durch die Einnahmen aus dem Malus auf neue Fahrzeuge finanziert, sodass dem Staat keine zusätzlichen Kosten entstehen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vorzeitige Preiserhöhung wahrscheinlich umstritten. - Wenn sehr hohe CO₂-Preise erforderlich sind, besteht das Risiko von Gegenreaktionen. - Es wird erwartet, dass die Rückverteilung der CO₂-Preiseinnahmen die Akzeptanz in der Bevölkerung erhöht und die Vertrautheit mit dem System mit der Zeit zunimmt. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mittlerer Informationsbedarf bei der Anpassung der verschiedenen politischen Instrumente im Laufe der Zeit. - Rückverteilung der Einnahmen, Bonus-Malus und Infrastrukturförderung erfordern zusätzliche Verwaltungsanforderungen.

Tabelle 11: Vergleichende Bewertung der verschiedenen Pfade. Farbcode: Dunkelgrün = sehr gut, hellgrün = gut, gelb = mittelmäßig, orange = problematisch, rot = sehr problematisch

5.5 Beschränkungen und weitere Arbeiten

Wir beschränken den Umfang der Optionen zur Verringerung der Verkehrsnachfrage auf den motorisierten Individualverkehr und eine Reihe von Instrumenten. Wir berücksichtigen nicht umfassend das breitere Spektrum an Verkehrsoptionen und politischen Instrumenten, die zur Nachfragereduzierung beitragen könnten. Dazu gehören die Förderung des öffentlichen Verkehrs und die verstärkte Bereitstellung von Infrastrukturen für den öffentlichen und Radverkehr. Wir schließen diese aus, um die Komplexität zu verringern, erkennen aber an, dass sie wichtige unterstützende Maßnahmen sind, um die THG-Emissionen durch die Verringerung des Fahrzeugbesitzes und der Nutzung von Pkw weiter zu senken. Zudem berücksichtigen wir den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und die mit dem Übergang zu einer vollständigen BEV-Flotte verbundenen Netzherausforderungen nicht. Ohne die Anreize für einen Wechsel des Verkehrsträgers, die durch diese ergänzenden Maßnahmen geschaffen werden, führen einige auf den Fahrzeugbestand fokussierte Maßnahmen - zumindest, wenn sie Subventionen für den Autokauf oder implizite Subventionen (wie Emissionsstandards oder Rabatte, die implizite Produktionssubventionen darstellen) beinhalten - tendenziell zu einer größeren als der optimalen Flottengröße, d. h. zu einer suboptimalen Nutzung anderer Verkehrsmittel. Eine Politik der Kohlenstoffbepreisung bietet einen Anreiz zur Verlagerung auf weniger kohlenstoffintensive Verkehrsträger. Dies gilt sowohl für die intensive als auch für die extensive Marge. Wir gehen auch davon aus, dass der Malus für bestehende Fahrzeuge (Straßenbenutzungsgebühr) Anreize für einen gewissen Wechsel des Verkehrsträgers schafft, aber dieser Effekt ist ungewiss und ist ein Bereich, in dem weitere Forschung sehr nützlich wäre.

Um die Umstellung zu beschleunigen, müssen möglicherweise auch die bestehenden ICE-Fahrzeug Unterstützungsmechanismen abgebaut werden. Wir erkennen an, dass es mehrere bestehende politische Maßnahmen gibt, die negative Wechselwirkungen mit den ICEs haben können und die möglicherweise beseitigt werden müssen, um einen effektiveren und schnelleren Übergang zu ermöglichen und gleichzeitig die Kosteneffizienz zu maximieren. Solche politischen Maßnahmen, die die fortgesetzte Nutzung von ICE-

Fahrzeugen unterstützen, liegen außerhalb des Rahmens unserer Analyse, aber wir erkennen sie als potenziell signifikante einschränkende Faktoren an und empfehlen, auf den Abbau dieser bestehenden einschränkenden Maßnahmen zu achten. Insbesondere die bestehenden Steuervergünstigungen für Firmenwagen und die Pendlerpauschale werden als wichtige bestehende Regelungen angesehen, die reformiert werden sollten, um den Wandel in diesem Sektor zu beschleunigen. Es kann auch umfassendere konkurrierende Politiken geben, die für die Gebührenerhebung und die Stromversorgung gelten, wie z.B. die Stromsteuer und die Mautsysteme, um eine faire Preisgestaltung für die Infrastruktur zu gewährleisten. Wir sind uns dieser potenziellen Konflikte, die gelöst werden müssen, zwar bewusst, doch liegen sie außerhalb des Rahmens unserer Arbeit.

Unsere Bewertungen spiegeln die sozioökonomischen Bedingungen vor der jüngsten russischen Invasion in der Ukraine und der darauffolgenden Energiekrise wider. Unsere Einschätzungen basieren überwiegend auf Daten und bestehenden Analysen bis zum Jahr 2021 und berücksichtigen daher nicht die jüngsten Änderungen der Marktbedingungen bei den Kraftstoffpreisen infolge des Embargos für russische Energieimporte. Dementsprechend müssen einige unserer Schätzungen, zumindest kurzfristig, innerhalb der Politikpfade angepasst werden. Insbesondere die CO₂-(Kraftstoff-)Preise werden derzeit überschätzt, da die Kraftstoffpreise höher sind als erwartet und kurz- und vielleicht auch mittelfristig zu erheblichen Emissionssenkungen führen werden. Darüber hinaus könnte die derzeitige Energiekrise Auswirkungen auf die politische Durchführbarkeit einiger Optionen gegenüber anderen haben, doch ist es derzeit noch zu früh, um sich zu diesen Auswirkungen substantiell zu äußern. Der wichtigere Punkt, der eingehender erforscht werden sollte, ist die Frage, ob sich die Wege des Politikmixes darin unterscheiden, wie sie auf größere externe Schocks reagieren können.

Viele Auswirkungen einzelner Instrumente und ihre Wechselwirkungen sind höchst ungewiss, und Forschungsarbeiten, die die Robustheit der Bewertungsmatrix von Politikmixpfaden verbessern können, wären sehr wertvoll. Zum Beispiel wäre ein besseres Verständnis des relativen Beitrags verschiedener politischer Maßnahmen zur bisherigen Verbreitung von BEVs in Deutschland (und anderswo) sehr nützlich, auch wenn dies eine

Herausforderung ist. Forschung, die darauf abzielt, die Gestaltung von Subventionsinstrumenten zu verstehen und zu verbessern, um die Kostenwirksamkeit zu maximieren und Mitnahmeeffekte im deutschen und anderen Kontexten zu minimieren, wäre ebenfalls sehr hilfreich. Die mit dem "Fokus: Fahrzeugbestand"-Pfad verbundenen Verteilungswirkungen sind besonders unsicher, und Arbeiten hierzu wären von Interesse.

Die Spanne für die Stringenz der Infrastruktur basiert auf einem Zielniveau für ein Paket an Instrumenten und nicht auf den aktuellen Subventionen pro Einheit oder der aggregierten Mittelzuweisung. Wir stützen die Stringenz der öffentlichen Infrastrukturbereitstellung auf das Einführungsziel und nicht auf die Gesamtmittelzuweisung für die unterstützende Infrastrukturbereitstellung. Dies geschieht aus mehreren Gründen. Erstens ist der Technologietrend bei öffentlichen Ladestationen ungewiss. Zweitens entspricht die Zuweisung von Mitteln nicht unbedingt der Kostenwirksamkeit. Es gibt eine breite Palette nationaler und regionaler Anreize zur Förderung der öffentlichen Infrastruktur, daher handelt es sich eher um ein Paket von Instrumenten als um eine einzelne Instrumentenoption. Eine andere Option wäre, die Einführungsrate als Stringenz zu verwenden. Jedoch sind die direkten Auswirkungen der Infrastrukturbereitstellung ungewiss, und es gibt unterschiedliche Meinungen über die Rate und den Umfang der erforderlichen Infrastrukturbereitstellung. Daher ist es nicht möglich, einen optimalen Pfad auf der Grundlage der Interaktion zusätzlicher Instrumente in jedem Pfad zu bestimmen, ohne dass weitere Forschung betrieben wird. Wir räumen daher ein, dass die Verwendung von Zielvorgaben als grober Näherungswert für die installierte Kapazität suboptimal ist, kommen aber zu dem Schluss, dass dies ein notwendiger Kompromiss ist.

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen zielt dieser Bericht darauf ab, einen konzeptionellen Ansatz zu entwickeln, der die erforderliche künftige Zusammenarbeit mit (Verkehrs- und anderen sektoralen/sectorübergreifenden) Modellierungsteams und anderen Gemeinschaften (z.B. aus dem Rechtsbereich) erleichtert, um die Bewertung von Klimapolitikmixpfaden zu erweitern. Schließlich sind wir der Meinung, dass ähnliche integrierte Analysen von Politikmixpfaden für andere Sektoren durchgeführt

werden sollten, die für den Übergang zu Netto-Null-Emissionen relevant sind. Dazu gehören Industrie, Gebäude, Energie und Landwirtschaft. Dies erfordert die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Disziplinen und Sektoren sowie die Kombination von Top-down- und Bottom-up-Perspektiven. Unsere Arbeit ist auch für die internationale Klimapolitik von Bedeutung, da alle Länder zusammen mit ihren national festgelegten Beiträgen im Rahmen der Mechanismen des Pariser Abkommens klimapolitische Politikmixpfade entwickeln müssen. Die Ausarbeitung exemplarischer Pfade kann wichtige Ansatzpunkte für die internationale politische Koordinierung und Zusammenarbeit bieten (z.B. Wettbewerbsfähigkeit des Industriesektors, Finanzmittel zur Unterstützung des Übergangs). Vor allem aber braucht es Geduld und die Bereitschaft, unvermeidliche Meinungsverschiedenheiten über wichtige, komplexe und normativ aufgeladene politische Fragen in konstruktive Beratungen und letztlich solide politische Entscheidungen umzuwandeln.

In unserem Bericht werden die wichtigsten aktuellen Unsicherheiten aufgezeigt, die Herausforderungen für eine wirksame politische Gestaltung und Steuerung darstellen und wichtige Bereiche für weitere Forschung sind. Es gibt drei Hauptbereiche, die weiter erforscht werden müssen, um zu besseren Bewertungen und einer besseren Politikgestaltung zu gelangen (Tabelle 12). Diese beziehen sich auf: (a) Folgenabschätzungen von Instrumenten und Politikpfaden; (b) dynamische Gestaltung und Steuerung im Zeitverlauf und (c) politische Dynamik. Glaubwürdige empirische Studien zur weiteren Klärung und vorzugsweise Quantifizierung dieser Unsicherheiten wären äußerst wertvoll, insbesondere im deutschen Kontext, da ein Großteil der vorhandenen Verkehrsliteratur die USA und Kanada behandelt. Eine solidere Forschung in diesen Bereichen würde dazu beitragen, das Risiko von Governance-Fehlern zu mindern.

Thema für weitere Arbeiten	Schwerpunktbereiche	Kernpunkte/Untersuchungsschwerpunkte
In einigen Bereichen ist eine zuverlässigere Bewertung der Auswirkungen von Instrumenten (Mixen) erforderlich	<i>Ökonometrische Analyse der derzeitigen Instrumente (Subventionen und Bereitstellung von Infrastruktur, Straßenbenutzungsgebühren)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Eine ökonometrische Analyse der Auswirkungen der derzeitigen Instrumente auf Investitionen, Emissionen und Verteilungsergebnisse für Kaufsubventionen für den Verkauf von BEVs und die Bereitstellung von Infrastruktur wäre sehr nützlich. - Insbesondere im Bereich der Infrastruktur könnte dies eine Ergänzung zu weiteren Studien über den Umfang und die Dauer der erforderlichen Unterstützung und die Anzahl der bereitgestellten öffentlichen Ladeinfrastrukturen sein.
	<i>Wirksamkeit und Verteilungseffekte des "Fokus: Fahrzeugbestand"-Pfad, in erster Linie eine stringente Kfz-Steuer (auf bestehende Fahrzeuge)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Wie in unserer Arbeit dargelegt, ist eine Form der Intervention erforderlich, um die Verringerung von ICE-Fahrzeugbeständen zu beschleunigen, damit die Umweltziele erreicht werden können. - Die beiden wichtigsten Optionen sind die Bepreisung von Kohlenstoff (Kraftstoff) oder die Bepreisung (oder Regulierung) der Nutzung des vorhandenen ICE-Fahrzeugbestands. - Die Auswirkungen einer strengen Besteuerung des Straßenverkehrs (Malus im Fokus: Fahrzeugbestand-Pfad) auf die Verringerung des ICE-Fahrzeugbestands bzw. Die Verlagerung auf andere Verkehrsträger müssen weiter untersucht werden. - Die Verteilungseffekte der Bepreisung des bestehenden Fahrzeugbestandes mit hohen Grenzwerten sind höchst ungewiss (dürften aber regressiv sein) und sollten im Mittelpunkt weiterer Arbeiten stehen, insbesondere angesichts der politischen Bedeutung (des Widerstands) gegen die Einführung strenger CO₂-(Kraftstoff-)Preise.
Konzeptualisierung der dynamischen Gestaltung und Steuerung von Politikmixpfaden im Laufe der Zeit und Integration mit Modellierungsarbeiten	<i>Quantifizierung von Marktversagen und Verfeinerung des Konzepts der dynamischen Kostenwirksamkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Obwohl Marktversagen ein Hauptgrund für politische Maßnahmen zur Verbesserung der Kostenwirksamkeit ist, gibt es kaum Quantifizierungen - Das Verständnis der dynamischen Kostenwirksamkeit und die Frage, wie spezifische Instrumente sie fördern können (z.B. durch Behebung von Marktversagen), würde von weiteren Forschungsarbeiten profitieren. - Insbesondere sind Forschungsarbeiten zu den Auswirkungen strenger CO₂-(Kraftstoff-)Preise zweiter Ordnung in fortgeschritteneren Stadien des Übergangs zum motorisierten Individualverkehr erforderlich.
	<i>Reaktion der Pfade auf Schocks und exogene Trends</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Künftige Arbeiten sollten sich darauf konzentrieren, wie die politischen Pfade auf Schocks und exogene Trends unterschiedlich reagieren (sollten). - Dies ist besonders wichtig angesichts der derzeitigen Unsicherheiten in Bezug auf Lieferketten, die Verfügbarkeit von einzelnen Fahrzeugkomponenten und internationale Handelsabkommen.
	<i>Bessere Integration in die Modellierungsarbeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Die derzeitigen Modelle berücksichtigen nicht die gesamte Bandbreite der Herausforderungen/Bewertungskriterien, auf die wir in diesem Bericht aufmerksam machen. - Eine bessere Integration dieser Faktoren würde eine solidere Bewertung und Kalibrierung der Stringenz der Instrumente und der Politikpfade ermöglichen.
Politische Dynamik	<i>Verknüpfung der Auswirkungen der Politik und der Akzeptanz von Bevölkerungs- und Industriegruppen mit den Reformaussichten (Feedback zur Politik)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Wir verwenden in unserer Arbeit die Akzeptanz als Proxy für die politische Umsetzbarkeit, erkennen aber an, dass diese eng mit anderen wichtigen Variablen zusammenhängt, z.B. mit den Auswirkungen auf die Verteilung und deren Wahrnehmung. - Weitere Arbeiten sollten sich darauf konzentrieren, die verschiedenen Auswirkungen von Politikmischen auf die Akzeptanz von Bevölkerungsgruppen (Wähler*innen) und Interessengruppen (Industrie) besser zu verknüpfen und diese dann expliziter mit Reformen zu verknüpfen, um fundierte Erkenntnisse darüber zu gewinnen, wie diese Gruppen Reformen ermöglichen oder behindern.
	<i>Klima der politischen Parteien Parteiprogramme</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Die Bedingungen, unter denen Klimaprogramme politischer Parteien gebildet und geändert werden, und ihre Auswirkungen auf die Reformaussichten in Richtung eines klimapolitischen Politikmixes, der mit den Treibhausgaszielen übereinstimmt.

Tabelle 12: Themen für die weitere Arbeit und spezifische Schwerpunktbereiche.

6. Schlussfolgerungen

Die Formulierung und Bewertung klimapolitischer Instrumentenmixpfade erfordert eine anspruchsvolle Wissensintegration über verschiedene Bereiche und Disziplinen hinweg. Wir schlagen vor, eine sequenzielle Perspektive für die Charakterisierung von Politikmixpfaden für den sektoralen Wandel zu nutzen, die wichtigsten intertemporalen Herausforderungen hervorzuheben und die Status-Quo-Situation („policy as usual“-) sowie mögliche alternative Politikmixpfade zu konstruieren und zu bewerten. Dies erfordert die Integration von Wissen über (mindestens): Technologie-, Verhaltens- und Kostendynamik in Wandelprozessen (ingenieur- und wirtschaftswissenschaftliche Perspektiven); klima- und verkehrspolitische Instrumente (empirische und konzeptionelle Forschung zu wirtschaftlichen und anderen politischen Instrumenten); institutionelle und politische Details (rechtliche und praktische Perspektiven der Politikgestaltung); und empirische Forschung, die für die Bewertung der Politikinstrumente relevant ist (Politikwissenschaft). Dies stellt in der Praxis eine große Herausforderung dar, aber das Übergehen einer der Perspektiven würde dazu führen, dass Schlüsselaspekte ausgelassen werden und somit die Bewertung – und letztendlich die Politik – fehlerhaft wäre.

Unser Ansatz unterstreicht die Notwendigkeit eines Politikmixpfades, der die Nutzung bestehender ICE-Fahrzeuge aktiv auslaufen lässt. Die bloße Förderung der Verbreitung neuer Elektrofahrzeuge (oder anderer kohlenstofffreier Technologien) reicht nicht aus, um die Wende im Pkw-Sektor (oder in anderen Bereichen) in dem Umfang und mit der Geschwindigkeit voranzutreiben, die für die Verwirklichung der THG-Emissionsneutralität bis 2030 erforderlich sind. Unser Ansatz unterstreicht die Notwendigkeit von Politikmixpfaden, die Instrumente nutzen, welche Druck auf die derzeitigen Märkte, Praktiken und Normen ausüben. Dies kann durch neue hohe Instrumentenstringenzen geschehen, die in der Lage sind, etablierte Geschäftsmodelle auslaufen zu lassen und gleichzeitig neue und THG-freie Geschäftsmodelle einzuführen.

Wir haben Politikmixpfade entwickelt, die sich auf einen kraftstofforientierten CO₂-Preismix, einen bestandsorientierten CO₂-Preismix und einen gemischten Ansatz konzentrieren. Der Kraftstoff- und Bestands-Fokus können gleichermaßen THG-Emissionen

reduzieren, allerdings birgt ein zu starker Fokus auf eine dieser beiden Logiken potenzielle Nachteile. Wir heben hervor, dass diese Logiken durch einen sequenziellen Ansatz kombiniert werden können. Dabei liegt der Schwerpunkt eines gemischten Ansatzes zunächst auf der Veränderung des Fahrzeugbestandes und geht dann zunehmend zur Preisgestaltung von Kraftstoffen über, die dann ausreicht, um die Antriebswende voranzutreiben. Wir haben drei Politikmixpfade konstruiert, um diese verschiedenen Gestaltungslogiken darzustellen: „CO₂-Bepreisung von Kraftstoffen (Fokus: Kraftstoff)“, „CO₂-Bepreisung des Fahrzeugbestandes (Fokus: Bestand)“ und „sequentielle CO₂-Bepreisung von Bestand und Kraftstoffen (Mix)“.

Der „Mix“-Pfad schneidet in unserer Bewertung am besten ab, da er die meisten Herausforderungen der Pfade „Fokus: Kraftstoff“ und „Fokus: Bestand“ überwindet. Während jeder Pfad so konzipiert ist, dass er die Ziele für 2030 erreichen kann, stehen die Pfade „Fokus: Kraftstoff“ und „Fokus: Bestand“ vor großen Herausforderungen in Bezug auf politische Akzeptanz, Kostenwirksamkeit und Governance-Anforderungen. Der „Mix“-Pfad nutzt die Sequenzierung von Instrumenten, um schrittweise zu strengeren Kohlenstoffpreisen für Kraftstoffe überzugehen, was die politische Umsetzbarkeit verbessert. Das Mix-Konzept konzentriert sich stärker auf Instrumente mit höherer gesellschaftlicher Akzeptanz, um die anfängliche Verbreitung von BEVs voranzutreiben. Dies ermöglicht es, den CO₂-(Kraftstoff-)Preis zu erhöhen und ihn stärker für die verringerte Nutzung des vorhandenen Fahrzeugbestands und für die Abwrackung von ICE-Fahrzeugen zu nutzen. Der Einsatz dieser auf den Kauf ausgerichteten Instrumente erhöht nicht nur die politische Akzeptanz insgesamt, sondern steigert auch die intertemporale Kostenwirksamkeit, indem er Marktversagen direkt entgegenwirkt und mehr Marktsicherheit als ein schwankendes Preissignal allein bietet. Unsere Bewertung deutet daher darauf hin, dass die Kombination von Bepreisungsmaßnahmen mit ergänzenden Instrumenten ein vielversprechender Ansatz ist, um politische Umsetzbarkeit zu gewährleisten und dazu die Kostenwirksamkeit zu verbessern. Allerdings sollten die Stringenz und die Dauer der unterstützenden Instrumente auf das Ausmaß des Marktversagens abgestimmt werden.

Dieser Bericht dient als Ausgangspunkt für weitere Forschungsarbeiten, um konzeptionelle Entwicklungen im Konstruieren und Bewerten von Politikmixpfaden besser zu verknüpfen, im Besonderen mit Modellierungsarbeiten. Eine Ex-ante Modellierung, die Politikmixpfade systematisch untersucht, kann die auf empirischer Literatur aufbauende konzeptionelle Analyse ergänzen und verspricht damit politisch relevantere Ergebnisse. Außerdem erlaubt sie eine quantitative Bewertung der Politikmixpfade. Wir gehen davon aus, dass es sehr nützlich wäre, Modellexperimente durchzuführen, bei denen verschiedene Politikinstrumente im Mix einbezogen und ausgeschlossen werden können. Dies würde helfen, zu testen, wie Instrumente verschärft werden müssten, um andere weniger stringente Politikinstrumente zu ersetzen; wie Politikmixpfade auf externe Schocks reagieren; und wie sich all dies auf ihre jeweilige Kostenwirksamkeit auswirkt. Eine stärkere Berücksichtigung von Marktversagen in den Modellen sowie eine Berechnung mit (in vielen Teilen noch ausstehenden) empirischen Daten für den deutschen Kontext wären für derartige Untersuchungen äußerst nützlich. Abschließend erlaubt und fordert unser Ansatz die weitere Entwicklung und Bewertung zusätzlicher alternativer Politikmixpfade sowie die Verbesserung des Ansatzes selbst. Wir hoffen, dass dies die wichtigen und kontroversen klimapolitischen Debatten über Politikmixpfade verbessern kann, indem es im Laufe der Zeit an Struktur und Strenge gewinnt.

Liste der Abkürzungen

BEV – Batteriebetriebenes Elektrofahrzeug

BEHG – Brennstoffemissionshandelsgesetz

E-fuel - Kohlenwasserstoff-Kraftstoff auf Wasserstoffbasis, der bei der Verbrennung kein CO₂ freisetzt wird

THG – Treibhausgas

F&E – Forschung und Entwicklung

ICE – Verbrennungsmotor

nETS – Nationales Emissionshandelssystem

PHEV – Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeug

PKW – Personenkraftwagen

HFCV - Wasserstoff-Brennstoffzelle

ZEV – Null-Emissions-Fahrzeug (Zero Emission Vehicle)

Liste der Abbildungen

Abbildung 1 - Entscheidungen der Verbraucher*innen	4
Abbildung 2 - Illustrative klimapolitische Politikmixpfade	15
Abbildung 3 - Monatliche Zulassungen von BEVs in Deutschland	18
Abbildung 4 - Kumulative Verbreitung von Elektrofahrzeugen in Deutschland	18
Abbildung 5 - Kumulative Anzahl an BEVs relativ zur Gesamtzahl der Fahrzeuge	19
Abbildung 6 - Historische Entwicklung und 2030-Ziel für öffentliche Ladeinfrastruktur	21
Abbildung 7 - Dynamisch kostenwirksamer Einführungspfad für BEVs im Laufe der Zeit	29
Abbildung 8 - Entscheidungen der Verbraucher*innen	48
Abbildung 9 - Basispfad + Fit für 55	52
Abbildung 10 – Politikmix-Basispfad einschließlich der Fit für 55-Vorschläge	61
Abbildung 11 – Stringenz der CO ₂ -Preise im Vergleich zwischen den verschiedenen Pfaden	66
Abbildung 12 - Statisches Design des „Fokus: CO ₂ -Preise Kraftstoffe“-Pfads	70
Abbildung 13 - Dynamischer Politikmixpfad „Fokus: CO ₂ -Preise Kraftstoffe“	72
Abbildung 14 - Statisches Mischungsdesign für den „Fokus: Fahrzeugbestand“-Pfad	78
Abbildung 15 - Dynamischer Politikpfad „Fokus: Fahrzeugbestand“	82
Abbildung 16 - Statischer Politikpfad für den sequenziellen Kohlenstoffpreisfad (Mix)	90
Abbildung 17- Dynamischer Politikmixpfad „Mix“	94
Abbildung 18 - Vergleich der Politikmixentwürfe nach Instrumententyp und ihrer Rolle	98
Abbildung 19. Aktueller Politikmix nach Emissionsreduktionsoptionen	128
Abbildung 20- Derzeitige Gestaltung des Malus-Mechanismus in Frankreich	144
Abbildung 21- Marktwachstumsrate von BEVs und die kumulative Verbreitung bis 2030	149

Liste der Tabellen

Tabelle 1 - Tabelle der Übergangsprobleme im Sektor der leichten Automobile	27
Tabelle 2 - Mischkonzept des Pfads „Politik-Basispfad + Fit für 55“	54
Tabelle 3 - Bewertung des Pfads „Politik-Basispfad + Fit für 55“	64
Tabelle 4 - Konfiguration der Politikinstrumente für den „Fokus: CO ₂ -Preise Kraftstoffe“-Pfad	71
Tabelle 5 - Dynamische Bewertung des „Fokus: CO ₂ -Preise Kraftstoffe“-Pfads	73
Tabelle 6 - Konfiguration der Politikinstrumente für den „Fokus: Fahrzeugbestand“-Pfad	79
Tabelle 7 - Dynamische Bewertung des „Fokus: Fahrzeugbestand“-Pfads	87
Tabelle 8 - Konfiguration der Politikinstrumente für den „Mix“-Pfad	91
Tabelle 9 - Dynamische Bewertung des „Mix“-Pfads	97
Tabelle 10 - Hauptrisiken in Verbindung mit jedem Politikmix-Pfad	105
Tabelle 11 - Vergleichende Bewertung der verschiedenen Pfade	106
Tabelle 12 - Themen für die weitere Arbeit und spezifische Schwerpunktbereiche	111
Tabelle 13 - Verwendete Instrumente und Stringenzbereiche für die Politikpfade	142

Literaturangaben

- Agora Verkehrswende (2022): The Bottom Line of Electric Cars. Comparing the Cost of Ownership of Electric and Combustion-Engine Vehicles.
- Allcott, H., & Wozny, N. (2014). Gasoline prices, fuel economy, and the energy paradox. *96*(5), 779–795. <https://doi.org/10.1162/REST>
- Anderson, S. T., & Sallee, J. M. (2016). Designing Policies to Make Cars Greener. *Annual Review of Resource Economics*, *8*(1), 157–180. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100815-095220>
- Andor, M. A., Gerster, A., Gillingham, K. T., & Horvath, M. (2020). Running a car costs much more than people think — stalling the uptake of green travel. *Nature* *580*, 453-455 (2020). Abgerufen: doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01118-w>
- Aravena, C., & Denny, E. (2021). The impact of learning and short-term experience on preferences for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *152*, 111656. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111656>
- Aravena, C., & Denny, E. (2021). The impact of learning and short-term experience on preferences for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *152*, 111656. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111656>
- Axsen, J., Plötz, P., & Wolinetz, M. (2020). Crafting strong, integrated policy mixes for deep CO₂ mitigation in road transport. *Nature Climate Change*, *10*(9), 809–818. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0877-y>
- BAFA (2021). Elektromobilität (Umweltbonus). Monatlich aktualisierte Zwischenbilanz des Förderprogramm Elektromobilität (Umweltbonus). https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/emob_zwischenbilanz.html
- Baldenius, T., Bernstein, T., Kalkuhl, M., von Kleist-Retzow, M., & Koch, N. (2021). *Ordnungsrecht oder Preisinstrumente? Zur Verteilungswirkung von Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr.*
- BDEW (2021). Ausbau leistungsstarker Schnellladesäulen gewinnt weiter an Fahrt. <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/ausbau-leistungsstarker-schnellladesaeulen-gewinnt-weiter-an-fahrt/>
- Bhardwaj, C., Axsen, J., & McCollum, D. (2022). How to design a zero-emissions vehicle mandate? Simulating impacts on sales, GHG emissions and cost-effectiveness using the AUTomaker-Consumer Model (AUM). *Transport Policy*, *117*, 152–168. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.12.012>
- Bhardwaj, C., Axsen, J., Kern, F., & McCollum, D. (2020). Why have multiple climate policies for light-duty vehicles? Policy mix rationales, interactions and research gaps. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *135*(February), 309–326. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.03.011>
- BloombergNEF. (2021). *Hitting the EV Inflection Point.*
- BMVI (2022). Ladeinfrastruktur. <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Elektromobilitaet/Ladeinfrastruktur/Ladeinfrastruktur.html>
- Borrás, J (2022). Valais, Switzerland pulls plug on hybrid incentives, should the rest of the world follow? <https://electrek.co/2022/01/13/valais-region-of-switzerland-pulls-the-plug-on-hybrid-and-phev-incentives/>
- Brunner, S., Flachsland, C., & Marschinski, R. (2012). Credible commitment in carbon policy. *Climate Policy*, *12*(2), 255-271.
- Brunner, S., Flachsland, C., & Marschinski, R. (2012). Credible commitment in carbon policy. *Climate Policy*, *12*(2), 255–271. <https://doi.org/10.1080/14693062.2011.582327>

- Budolfson, M., Dennig, F., Errickson, F., Feindt, S., Ferranna, M., Fleurbaey, M., ... Zuber, S. (2021). Protecting the poor with a carbon tax and equal per capita dividend. *Nature Climate Change*, 11(12), 1025–1026. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01228-x>
- Bundesnetzagentur. (2022). Elektromobilität: Öffentliche Ladeinfrastruktur. Retrieved February 25, 2022, from https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/E-Mobilitaet/start.html
- Burnham, A., Gohlke, D., Rush, L., Stephens, T., Zhou, Y., Delucchi, M., ... Bloor, M. (2021). *Comprehensive Total Cost of Ownership Quantification for Vehicles with Different Size Classes and Powertrains*. Argonne, IL (United States). <https://doi.org/10.2172/1780970>
- Busse, M. R., Knittel, C. R., & Zettelmeyer, F. (2013). Are Consumers Myopic? Evidence from New and Used Car Purchases. *American Economic Association*, 103(1), 220–256.
- Campbell, A. L. (2012). Policy Makes Mass Politics. *Annual Review of Political Science*, 15(1), 333–351. <https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-012610-135202>
- Carattini, S., Baranzini, A., Thalmann, P., Varone, F., & Vöhringer, F. (2017). Green Taxes in a Post-Paris World: Are Millions of Nays Inevitable? *Environmental and Resource Economics*, 68(1), 97–128. <https://doi.org/10.1007/s10640-017-0133-8>
- Carattini, S., Kallbekken, S., & Orlov, A. (2019). How to win public support for a global carbon tax. *Nature*, 565(7739), 289–291. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00124-x>
- Caulfield, B., Furszyfer, D., Stefaniec, A., & Foley, A. (2022). Measuring the equity impacts of government subsidies for electric vehicles. *Energy*, 248, 123588. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123588>
- Collantes, G., & Sperling, D. (2008). The origin of California's zero emission vehicle mandate. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(10), 1302–1313. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.05.007>
- Degroot, D., Anchukaitis, K., Bauch, M., Burnham, J., Carnegy, F., Cui, J., ... Zappia, N. (2021). Towards a rigorous understanding of societal responses to climate change. *Nature*, 591(7851), 539–550. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03190-2>
- Del Río, P. (2014). On evaluating success in complex policy mixes: The case of renewable energy support schemes. *Policy Sciences*, 47(3), 267–287. <https://doi.org/10.1007/s11077-013-9189-7>
- Douenne, T., & Fabre, A. (2020). French attitudes on climate change, carbon taxation and other climate policies. *Ecological Economics*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106496>
- Douenne, T., & Fabre, A. (2020). French attitudes on climate change, carbon taxation and other climate policies. *Ecological Economics*, 169, 106496. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106496>
- Douenne, T., & Fabre, A. (2022). Yellow Vests, Pessimistic Beliefs, and Carbon Tax Aversion. *American Economic Journal: Economic Policy*, 14(1), 81–110. <https://doi.org/10.1257/pol.20200092>
- Drews, S., & van den Bergh, J. C. J. M. (2016). What explains public support for climate policies? A review of empirical and experimental studies. *Climate Policy*, 16(7), 855–876. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1058240>
- Edenhofer, O., & Kowarsch, M. (2015). Cartography of pathways: A new model for environmental policy assessments. *Environmental Science and Policy*, 51, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.017>
- Edmondson, D. L., Kern, F., & Rogge, K. S. (2019). The co-evolution of policy mixes and socio-technical systems: Towards a conceptual framework of policy mix feedback in sustainability transitions. *Research Policy*, 48(10). <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.03.010>
- Edmondson, D. L., Rogge, K. S., & Kern, F. (2020). Zero carbon homes in the UK? Analysing the co-evolution of policy mix and socio-technical system. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 35, 135–161. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.02.005>

- Eisenmann, C., Steck, F., Hedemann, L. *et al.* Distributional effects of carbon taxation in passenger transport with lump-sum offset: low income households, retirees and families would benefit in Germany. *Eur. Transp. Res. Rev.* **12**, 51 (2020).
<https://doi.org/10.1186/s12544-020-00442-6>
- European Commission. (2021a). Commission implementing regulation (EU) 2021/392 - on the monitoring and reporting of data relating to CO₂ emissions from passenger cars and light commercial vehicles pursuant to Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Implementing Regulations (EU) No 1014/2010, (EU) No 293/2012, (EU) 2017/1152 and (EU) 2017/1153. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021R0392&from=EN>
- EU Commission (2021b) - proposal for decision (EU) 2015/1814. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0571>
- European Commission. (2021c). CO₂ emission performance standards for cars and vans. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en
- Fischer, C., & Newell, R. G. (2008). Environmental and technology policies for climate mitigation. *Journal of environmental economics and management*, *55*(2), 142-162.
- Flachsland, C., & Levi, S. (2021). *Das deutsche Klimaschutz-gesetz: Möglichkeiten einer sektorübergreifenden Klima-governance*. Abgerufen: <https://ariadneprojekt.de/publikation/klimaschutzgesetz-sektorübergreifende-klimagovernance/>
- Flachsland, C., aus dem Moore, N., Müller, T., Edmondson, D., Görlach, B., Kalkuhl, M., ... Pahle, M. (2021). Wie die Governance der deutschen Klimapolitik gestärkt werden kann. *Ariadne-Kurzossier*.
- Fox, J., Axsen, J., & Jaccard, M. (2017). Picking Winners: Modelling the Costs of Technology-specific Climate Policy in the U.S. Passenger Vehicle Sector. *Ecological Economics*, *137*, 133–147.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.002>
- Funke, S. Á., Sprei, F., Gnann, T., & Plötz, P. (2019). How much charging infrastructure do electric vehicles need? A review of the evidence and international comparison. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *77*, 224–242. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.10.024>
- Gillingham, K., & Munk-Nielsen, A. (2019). A Tale Of two tails: Commuting and the fuel price response in driving. *Journal of Urban Economics*, *109*(May 2018), 27–40.
<https://doi.org/10.1016/j.jue.2018.09.007>
- Gimbert, Y. (2021). *Electric car boom at risk Why the current EU car CO₂ rules will do little to accelerate the switch to zero-emissions mobility* Transport & Environment Further information. Abgerufen: Gimbert, Y. (2021). *Electric car boom at risk Why the current EU car CO₂ rules will do little to accelerate the switch to zero-emissions mobility* Transport & Environment Further information. Abgerufen: www.transportenvironment.org
- Graichen, J., Graichen, V., Jakob, M., & Wissner, N. (2021). Including transport sectors in the EU ETS Background paper for the ENVI Committee. www.oeko.de
- Greene, D. L., Park, S., & Liu, C. (2014). Public policy and the transition to electric drive vehicles in the U.S.: The role of the zero emission vehicles mandates. *Energy Strategy Reviews*, *5*, 66–77.
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2014.10.005>
- Harrison, E. (2013). Bouncing back? Recession, resilience and everyday lives. *Critical Social Policy*, *33*(1), 97–113. <https://doi.org/10.1177/0261018312439365>
- Haushaltsgesetz 2021. Gesetz. über die Feststellung des Bundeshaushaltsplans für das Haushaltsjahr 2021. Vom 21. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3208).
<https://www.bundeshaushalt.de/static/daten/2021/soll/BHH%202021%20gesamt.pdf>
- Held, B., Leisinger, C., & Runkel, M. (2022). *Assessment of the EU Commission's Proposal on an EU ETS for buildings & road transport (EU ETS 2) Criteria for an effective and socially just EU ETS*

- 2.https://www.germanwatch.org/sites/default/files/criteria_for_an_effective_and_socially_just_eu_ets_2.pdf
- Holland, S. P., Mansur, E. T., Muller, N. Z., & Yates, A. J. (2016). Are There Environmental Benefits from Driving Electric Vehicles? The Importance of Local Factors. *American Economic Review*, 106(12), 3700–3729. <https://doi.org/10.1257/aer.20150897>
- <https://www.bundeshaushalt.de/static/daten/2021/soll/BHH%202021%20gesamt.pdf>
- Hoppmann, J., Huenteler, J., & Girod, B. (2014). Compulsive policy-making—The evolution of the German feed-in tariff system for solar photovoltaic power. *Research Policy*, 43(8), 1422–1441. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.01.014>
- Howlett, M., & Rayner, J. (2007). Design Principles for Policy Mixes: Cohesion and Coherence in ‘New Governance Arrangements.’ *Policy and Society*, 26(4), 1–18. [https://doi.org/10.1016/S1449-4035\(07\)70118-2](https://doi.org/10.1016/S1449-4035(07)70118-2)
- Howlett, M., & Rayner, J. (2013). Patching vs Packaging in Policy Formulation: Assessing Policy Portfolio Design. *Politics and Governance*, 1(2), 170–182. <https://doi.org/10.17645/pag.v1i2.95>
- Howlett, M., How, Y. P., & del Rio, P. (2015). The parameters of policy portfolios: verticality and horizontality in design spaces and their consequences for policy mix formulation. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 33(5), 1233–1245. <https://doi.org/10.1177/0263774X15610059>
- ICCT (2021). Charging up America: Assessing the growing need for U.S. charging infrastructure through 2030. *ICCT - White Paper*.
- IPPC. (2014). *Climate change 2014 : mitigation of climate change : Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Jacobs, A. M., & Weaver, R. K. (2015). When Policies Undo Themselves: Self-Undermining Feedback as a Source of Policy Change. *Governance*, 28(4), 441–457. <https://doi.org/10.1111/gove.12101>
- Jaffe, A. B., Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2005). A tale of two market failures: Technology and environmental policy. *Ecological Economics*, 54(2–3), 164–174. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.12.027>
- Jagers, S. C., Matti, S., & Nordblom, K. (2020). The evolution of public policy attitudes: comparing the mechanisms of policy support across the stages of a policy cycle. *Journal of Public Policy*, 40(3), 428–448. <https://doi.org/10.1017/S0143814X19000023>
- Jordan, A. J., & Moore, B. (2020). *Durable by Design?* Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108779869>
- Jordan, A., & Matt, E. (2014). Designing policies that intentionally stick: Policy feedback in a changing climate. *Policy Sciences*, 47(3), 227–247. <https://doi.org/10.1007/s11077-014-9201-x>
- Kalkuhl, M., Edenhofer, O., & Lessmann, K. (2012). Learning or lock-in: Optimal technology policies to support mitigation. *Resource and Energy Economics*, 34(1), 1–23.
- Kalkuhl, M., Flachsland, C., Knopf, B., Amberg, M., Bergmann, T., Kellner, M., Stüber, S., Haywood, L., Rooffs, C., Edenhofer, O. (2022). Auswirkungen der Energiepreiskrise auf Haushalte in Deutschland: sozialpolitische Herausforderungen und Handlungsoptionen. MCC-Arbeitspapier. <https://www.mcc-berlin.net/en/research/publications/publications-detail/article/auswirkungen-der-energiepreiskrise-auf-haushalte-in-deutschland-sozialpolitische-herausforderungen-und-handlungsoptionen.html>
- Kalkuhl, M., Rooffs, C., Edenhofer, O., Haywood, L., Heinemann, M., Bekk, A., Flachsland, C., George, J., Held, A., aus dem Moore, N., Luderer, G., Koch, N., Nikodinoska, D., Pahle, M., Schill, W.-P., Amberg, M., Bergmann, T., & Meyer, H. (2021). *Reformoptionen für ein nachhaltiges Steuer- und Abgabensystem*.
- Kalkuhl, M., Steckel, J. C., & Edenhofer, O. (2020). All or nothing: Climate policy when assets can become stranded. *Journal of Environmental Economics and Management*, 100, 102214. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.01.012>

- KBA. (2021). Fahrzeugzulassungen im Dezember 2021 – Jahresbilanz. Pressemitteilung Nr. 01/2022.
https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugzulassungen/2022/pm01_2022_n_12_21_pm_komplett.html?snn=3662144
- KBA. (2022). EV market data. https://www.kba.de/EN/Home/home_node.html
- Kellner, M., Knopp, F., Haywood, L., Roolfs, C., Flachsland, C., & Kalkuhl, M. (2022). *Klimapolitik zwischen CO₂-Bepreisung und Förderprogrammen – eine fiskalpolitische Betrachtung*. Potsdam.
- Kerstin, M., & Tausendteufel, F. (2022). *Schnellladen fördern, Wettbewerb stärken - Finanzierungsmodelle für den Aufbau von öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur für Pkw*.
 Abgerufen: www.consentec.de
- Kivimaa, P., & Kern, F. (2016). Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions. *Research Policy*, 45(1), 205–217.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.09.008>
- Kivimaa, P., Hyysalo, S., Boon, W., Klerkx, L., Martiskainen, M., & Schot, J. (2019). Passing the baton: How intermediaries advance sustainability transitions in different phases. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 31, 110–125.
<https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.001>
- Klenert, D., Mattauch, L., Combet, E., Edenhofer, O., Hepburn, C., Rafaty, R., & Stern, N. (2018). Making carbon pricing work for citizens. *Nature Climate Change*, 8(8), 669–677.
<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0201-2>
- Koch, N., Klauber, H., Rohlf, A., & Ritter, N. (2019). Designing Policies to Green Road Transportation. *The Next Generation Policies Project*.
- Koch, N., Ritter, N., Rohlf, A., & Scarazzato, F. (2021). *When is the electric vehicle market self-sustaining? Evidence from Norway*.
- Köhler, J., Geels, F. W., Kern, F., Markard, J., Onsongo, E., Wiczorek, A., ... Wells, P. (2019). An agenda for sustainability transitions research : State of the art and future directions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, (January), 1–32.
<https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.004>
- Koller, F., Winkler, C., Liedtke, G., Österle, I., Mocanu, T., Seibert, D., Deniz, Ö., Matteis, T., Bergfeld, M., Sehn, V., Kattelman, F., Haun, M., & Dirnhaichner, A. (2021). Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich. *Ariadne-Report*.
<https://doi.org/10.48485/pik.2021.006>
- Konc, T., Drews, S., Savin, I., & van den Bergh, J. C. J. M. (2022). Co-dynamics of climate policy stringency and public support. *Global Environmental Change*, 74, 102528.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102528>
- Konc, T., Drews, S., Savin, I., & van den Bergh, J. C. J. M. (2022). Co-dynamics of climate policy stringency and public support. *Global Environmental Change*, 74, 102528.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102528>
- Kornek, U., Flachsland, C., Kardish, C., Levi, S., & Edenhofer, O. (2020). What is important for achieving 2 °C? UNFCCC and IPCC expert perceptions on obstacles and response options for climate change mitigation. *Environmental Research Letters*, 15(2), 024005.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6394>
- Knodt, M., Pahle, M., aus dem Moore, N., Edenhofer, O., Fahl, U., Görlach, B., Kosch, M., Pause, F., Perino, G., Schlacke, S. (2020): Wegmarken für das EU-Klimaziel 2030. Kopernikus-Projekt Ariadne.
- KSG (2021). Climate Change Act 2021. Intergenerational contract for the climate.
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/climate-change-act-2021-1936846>
- Levi, S., Flachsland, C., & Jakob, M. (2020). Political Economy Determinants of Carbon Pricing. *Global Environmental Politics*, 20(2), 128–156. https://doi.org/10.1162/glep_a_00549

- Levi, S., Wolf, I., Flachsland, C., Koch, N., Koller, F., & Edmondson, D. (2021). *Klimaschutz und Verkehr: Zielerreichung nur mit unbequemen Maßnahmen möglich Ariadne-Analyse*.
- Lockwood, M., Kuzemko, C., Mitchell, C., & Hoggett, R. (2017). Historical institutionalism and the politics of sustainable energy transitions: A research agenda. *Environment and Planning C: Politics and Space*, 35(2), 312–333. <https://doi.org/10.1177/0263774X16660561>
- Lucas, K. (2012). Transport and social exclusion: Where are we now? *Transport Policy*, 20, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.01.013>
- Lutsey, N., Searle, S., Chambliss, S., & Bandivadekar, A. (2015). *Assessment of leading electric vehicle promotion activities in United States cities*. www.theicct.org
- Maestre-Andrés, S., Drews, S., Savin, I., & van den Bergh, J. (2021). Carbon tax acceptability with information provision and mixed revenue uses. *Nature Communications*, 12(1), 7017. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27380-8>
- Mattauch, L., Hepburn, C., Spuler, F., & Stern, N. (2022). The economics of climate change with endogenous preferences. *Resource and Energy Economics*, 101312. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2022.101312>
- Meckling, J., Sterner, T. & Wagner, G. Policy sequencing toward decarbonization. *Nat Energy* 2, 918–922 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41560-017-0025-8>
- Meckling, J., & Nahm, J. (2018). The power of process: State capacity and climate policy. *Governance*, 31(4), 741–757. <https://doi.org/10.1111/gove.12338>
- Meckling, J., Kelsey, N., Biber, E., & Zysman, J. (2015). Winning coalitions for climate policy. *Science*, 349(6253), 1170–1171. <https://doi.org/10.1126/science.aab1336>
- Mildenberger, M., Lachapelle, E., Harrison, K., & Stadelmann-Steffen, I. (2022). Limited impacts of carbon tax rebate programmes on public support for carbon pricing. *Nature Climate Change*, 12(2), 141–147. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01268-3>
- Mulholland, E., Miller, J., Braun, C., Sen, A., Ragon, P.-L., & Rodríguez, F. (2022). *THE CO 2 STANDARDS REQUIRED FOR TRUCKS AND BUSES FOR EUROPE TO MEET ITS CLIMATE TARGETS*. Abgerufen: www.theicct.orgcommunications@theicct.org
- Nelson, Richard R., and Sidney G. Winter. "The Schumpeterian Tradeoff Revisited." *The American Economic Review*, vol. 72, no. 1, 1982, pp. 114–32. *JSTOR*, <http://www.jstor.org/stable/1808579>. Accessed 14 Jul. 2022.
- Newell, S. J., & Goldsmith, R. E. (2001). The development of a scale to measure perceived corporate credibility. *Journal of Business Research*, 52(3), 235–247. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(99\)00104-6](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(99)00104-6)
- Nicholas, M., & Wappelhorst, S. (2020). Regional charging infrastructure requirements in Germany through 2030.
- Nightingale, P. (2003). If Nelson and Winter are only half right about tacit knowledge, which half? A Searlean critique of "codification." *Industrial and Corporate Change*, 12(2), 149–183. <https://doi.org/10.1093/icc/12.2.149>
- Oberlander, J., & Weaver, R. K. (2015). Unraveling from Within? The Affordable Care Act and Self-Undermining Policy Feedbacks. *The Forum*, 13(1), 37–62. <https://doi.org/10.1515/for-2015-0010>
- Ohlendorf, N., J. Steckel, G. Nemet, C. Flachsland (2022): Carbon price floors and low-carbon investment: a survey of German firms. Under Review.
- Ohnmacht, T., Maksim, H., & Bergman, M. M. (2009). *Mobilities and inequality*. . Ashgate Publishing, Ltd..
- Ou, S., Lin, Z., Qi, L., Li, J., He, X., & Przesmitzki, S. (2018). The dual-credit policy: Quantifying the policy impact on plug-in electric vehicle sales and industry profits in China. *Energy Policy*, 121, 597–610. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.06.017>
- Pahle, M., Edenhofer, O., Pietzcker, R. C., Tietjen, O., Osorio, S., & Flachsland, C. (2019). Die unterschätzten Risiken des Kohleausstiegs. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 69(6), 31-34.

- Pahle, M., Kosch, M., Knopf, B., Flachsland, C., & Edenhofer, O. (2022). Eckpunkte und no-regret Maßnahmen für die Weiterentwicklung der CO₂-Bepreisung auf deutscher und europäischer Ebene. Ariadne-Hintergrund.
- Patashnik, E. M., & Zelizer, J. E. (2013). The Struggle to Remake Politics: Liberal Reform and the Limits of Policy Feedback in the Contemporary American State. *Perspectives on Politics*, 11(4), 1071–1087. <https://doi.org/10.1017/S1537592713002831>
- Pevec, D., Babic, J., & Podobnik, V. (2019). Electric Vehicles: A Data Science Perspective Review. *Electronics*, 8(10), 1190. <https://doi.org/10.3390/electronics8101190>
- Pierson, P. (1993). When Effect Becomes Cause: Policy Feedback and Political Change. *World Politics*, 45(4), 595–628. <https://doi.org/10.2307/2950710>
- Pietzcker, R. C., Osorio, S., & Rodrigues, R. (2021). Tightening EU ETS targets in line with the European Green Deal: Impacts on the decarbonization of the EU power sector. *Applied Energy*, 293, 116914. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116914>
- Plötz, P., Moll, C., Bieker, G., Mock, P., & Li, Y. (2020). Real-world usage of plug-in hybrid electric vehicles: Fuel consumption, electric driving, and CO₂ emissions.
- Pyddoke, R., Swärdh, J.-E., Algers, S., Habibi, S., & Sedehi Zadeh, N. (2021). Distributional effects from policies for reduced CO₂-emissions from car use in 2030. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 101, 103077. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103077>
- Repenning, J., Harthan, R. O., Blanck, R., Böttcher, H., Braungardt, S., Bürger, V., ... Zerrahn, A. (2021). *Projektionsbericht 2021 für Deutschland*.
- République Française (2020) Bonus-malus dans l'assurance automobile. <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F2655>
- République Française (2022). Taxe malus 2022 sur les véhicules les plus polluants. <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F35947>
- Reynaert, M. (2021). Abatement Strategies and the Cost of Environmental Regulation: Emission Standards on the European Car Market. *Review of Economic Studies*, 88(1), 454–488. <https://doi.org/10.1093/restud/rdaa058>
- Reynaert, M., & Sallee, J. M. (2021). Who Benefits When Firms Game Corrective Policies? *American Economic Journal: Economic Policy*, 13(1), 372–412. <https://doi.org/10.1257/pol.20190019>
- Rhodes, E., Axsen, J., & Jaccard, M. (2017). Exploring Citizen Support for Different Types of Climate Policy. *Ecological Economics*, 137, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.02.027>
- Roberts, C., & Geels, F. W. (2019). Conditions for politically accelerated transitions: Historical institutionalism, the multi-level perspective, and two historical case studies in transport and agriculture. *Technological Forecasting and Social Change*, 140, 221–240. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.11.019>
- Rogge, K. S., & Reichardt, K. (2016). Policy mixes for sustainability transitions : An extended concept and framework for analysis. *Research Policy*, 45(8), 1620–1635. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.04.004>
- Safarzyńska, K., & van den Bergh, J. C. J. M. (2018). A higher rebound effect under bounded rationality: Interactions between car mobility and electricity generation. *Energy Economics*, 74, 179–196. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.06.006>
- Sallee, J. M., West, S. E., & Fan, W. (2016). Do consumers recognize the value of fuel economy? Evidence from used car prices and gasoline price fluctuations. *Journal of Public Economics*, 135, 61–73. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2016.01.003>
- Sapienza, P., & Zingales, L. (2013). Economic Experts versus Average Americans. *American Economic Review*, 103(3), 636–642. <https://doi.org/10.1257/aer.103.3.636>
- Schill, P. (2022). Koavtracker.
- Scholz, O., Esken, S., Baerbock, A., Göring-Eckardt, K., Lindner, C., Walter-Borjans, N., ... Hofreite, A. (2021). *Mehr Fortschritt wagen – Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021–2025 zwischen SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP*.

- Schwanen, T., Lucas, K., Akyelken, N., Cisternas Solsona, D., Carrasco, J. A., & Neutens, T. (2015). Rethinking the links between social exclusion and transport disadvantage through the lens of social capital. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 74, 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.02.012>
- Sommer, S., & Vance, C. (2021). *Do More Chargers Mean More Electric Cars?*
- Sommer, S., Mattauch, L., & Pahle, M. (2022). Supporting carbon taxes: The role of fairness. *Ecological Economics*, 195, 107359. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107359>
- Springel, K. (2021). Network Externality and Subsidy Structure in Two-Sided Markets: Evidence from Electric Vehicle Incentives. *American Economic Journal: Economic Policy*, 13(4), 393–432. <https://doi.org/10.1257/pol.20190131>
- Staub-Kaminski, I., Zimmer, A., Jakob, M., & Marschinski, R. (2014). Climate policy in practice: a typology of obstacles and implications for integrated assessment modeling. *Climate Change Economics*, 5(01), 1440004.
- Stokes, Leah C. "Electoral Backlash against Climate Policy: A Natural Experiment on Retrospective Voting and Local Resistance to Public Policy: ELECTORAL BACKLASH AGAINST CLIMATE POLICY." *American Journal of Political Science* 60, no. 4 (October 2016): 958–74. <https://doi.org/10.1111/ajps.12220>.
- Stüber, J. (2021). Was wird im Elektrozeitalter aus den Tankstellen? *Tagesspiegel*. <https://www.tagesspiegel.de/Wirtschaft/e-Autos-Brauchen-Neue-Infrastruktur-Was-Wird-Im-Elektrozeitalter-Aus-Den-Tankstellen/27177538.html>.
- Sykes, M., & Axsen, J. (2017). No free ride to zero-emissions: Simulating a region's need to implement its own zero-emissions vehicle (ZEV) mandate to achieve 2050 GHG targets. *Energy Policy*, 110, 447–460. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.031>
- Tietge, U., Díaz, S., Mock, P., Bandivadekar, A., Dornoff, J., & Ligterink, N. (2019). From laboratory to road: A 2018 update.
- Tietge, U., Mock, P., Díaz, S., & Dornoff, J. (2021). CO2 emissions from new passenger cars in Europe: Car manufacturers' performance in 2020. *ICCT*.
- Tomo, A. (2020). Chapter 6: "Ecobonus" and "ecotax": two recent Italian fiscal measures to promote the decarbonisation in the vehicles system. <https://doi.org/10.4337/9781839109911.00017>
- Transport and Environment (2021). Car CO₂ review: getting Europe's car market 'fit for 55' on time and affordably. T&E recommendations for the review of the EU car CO₂ standards.
- Transportstyrelsen (2022). Bonus - for low emission vehicles. <https://www.transportstyrelsen.se/en/road/Vehicles/bonus-malus/bonus/>
- Ulen, T. S. (1983). An Evolutionary Theory of Economic Change. By Richard R. Nelson and Sidney G. Winter. (Cambridge: Harvard University Press, 1982. xi + 437 pp. \$25.00.). *Business History Review*, 57(4), 576–578. <https://doi.org/10.2307/3114818>
- Urry, J. (2016). *Mobilities: new perspectives on transport and society*. . Routledge.
- Vogt-Schilb, A., & Hallegatte, S. (2014). Marginal abatement cost curves and the optimal timing of mitigation measures. *Energy Policy*, 66, 645–653. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.045>
- Wappelhorst, S., Tietge, U., Bieker, G., & Mock, P. (2021). *Europe's CO₂ emission performance standards for new passenger cars: Lessons from 2020 and future prospects*. Abgerufen: www.theicct.org
- Wappelhorst, S., Tietge, U., Bieker, G., & Mock, P. (2021). *Europe's CO₂ emission performance standards for new passenger cars: Lessons from 2020 and future prospects*. Abgerufen: www.theicct.org
- Wesseling, J. H., Farla, J. C. M., & Hekkert, M. P. (2015). Exploring car manufacturers' responses to technology-forcing regulation: The case of California's ZEV mandate. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 16, 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.03.001>

- Wolfram, P., Weber, S., Gillingham, K., & Hertwich, E. G. (2021). Pricing indirect emissions accelerates low—carbon transition of US light vehicle sector. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27247-y>
- Wolinetz, M., & Axsen, J. (2017). How policy can build the plug-in electric vehicle market: Insights from the REspondent-based Preference And Constraints (REPAC) model. *Technological Forecasting and Social Change*, 117, 238–250. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.11.022>
- Zhou, Y. and Li, S. (2018), Technology Adoption and Critical Mass: The Case of the U.S. Electric Vehicle Market. *J Ind Econ*, 66: 423-480. <https://doi.org/10.1111/joie.12176>

Anhang [I] - Der aktuelle Politikmix für das Segment Pkw und leichte Nutzfahrzeuge in Deutschland

Wir beschreiben und bewerten den aktuellen Politikmix für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge in Deutschland (zum Teil über die EU) auf der Grundlage einer Überprüfung der politischen und wissenschaftlichen Literatur. Hier nehmen wir eine eher statische Momentaufnahme des aktuellen Politikmixes in Deutschland vor und kategorisieren sie in Abbildung 19 entsprechend der von Axsen et al. (2020) aufgestellten Klassifizierung des Instrumentenmixes.

Wir konzentrieren uns auf Instrumente, die den laufenden Übergang unterstützen, und schließen diejenigen aus, die den ICE-Fahrzeugverkehr fördern. Wir ignorieren die aktuellen Subventionen für den ICE-Fahrzeug- oder Pkw-Verkehr (z.B. Dienstwagenpauschale, Pendlerpauschale), nicht weil diese nicht wichtig wären, sondern um sich auf die Hauptinstrumente zu konzentrieren, die den Übergang potenziell vorantreiben.

1.1. Preisgestaltung

In Deutschland werden derzeit mehrere Preisinstrumente für Kraftstoffe, Fahrzeuge und Parkraum eingesetzt. Die wichtigsten sind (a) das deutsche CO₂-Preissystem (nETS), das den Straßenverkehr und die Heizung abdeckt, (b) die Kraftstoffsteuer auf Benzin und Diesel und (c) die jährliche Kraftfahrzeug- und Umsatzsteuer (*Kfz-Steuer*)⁸. Wir gehen kurz auf diese in umgekehrter Reihenfolge ein.

Die jährliche Kfz-Steuer und die Umsatzsteuer haben nur sehr begrenzte Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen. Die Steuersätze sind sehr niedrig angesetzt. Ab Januar 2021 werden nach dem Kraftfahrzeugsteuergesetz die Besitzer*innen von Fahrzeugen mit hoher CO₂-Emissionsintensität stärker besteuert als andere Fahrzeuge (bis zu 4 EUR pro Gramm pro Kilometer), während die Besitzer*innen von Autos mit geringer Emissionsintensität mit einem jährlichen Steuerbonus von 30 EUR belohnt werden. Bei einer solch geringen Stringenz hat die Steuer keine wichtige Lenkungsfunktion für den Übergang zum Straßenverkehr (Gerlagh et al. 2018).

Die Kraftstoffsteuern haben sich erheblich auf die CO₂-Emissionen ausgewirkt, auch wenn sie nicht aus klimapolitischen Gründen eingeführt wurden. Die Kraftstoffsteuern werden auf 47,04ct/l (Diesel) und 65,45ct/l (Benzin) festgesetzt, was 178 und 274 EUR/tCO₂ (Ecoscore 2021) entspricht. Zusätzlich werden 0,36ct/l "Erdölbevorratungsbeitrag" (AVD 2021) auf Benzin (Diesel) erhoben und eine Mehrwertsteuer (19%) auf den Kraftstoff selbst und die Kraftstoffsteuer erhoben. Runst und Höhle (2022) stellen fest, dass die Erhöhung der Energiesteuer auf Benzin und Diesel um etwa 15 ct/l (was einer CO₂-Steuer von etwa 66 EUR/tCO₂ entspricht) die CO₂-Emissionen um 11,5 bis 16% gesenkt hat. Die Energiesteuer wurde jedoch eingeführt, um die Steuereinnahmen zu erhöhen (sie brachte 2019 38 Mrd. EUR ein, was 11,6% der gesamten

⁸ Ein weiteres (potenziell) wichtiges Preisinstrument sind Parkgebühren. Diese sind vor allem im Zusammenhang mit dem Übergang zur Mobilität in der Stadt von Bedeutung, aber wir klammern diese Dimension hier aus, um unsere Analyse zu konzentrieren.

Steuereinnahmen des Bundes entspricht (Destatis 2021) und zumindest indirekt und unvollkommen andere externe Effekte des Straßenverkehrs wie lokale Luftverschmutzung, Staus oder Unfälle anzugehen (Knittel und Sandler 2018). Während eine mögliche Reform der EU-Energiesteuer, die in den Fit für 55-Vorschlägen enthalten ist, die Höhe der Kraftstoffbesteuerung in den nächsten Jahren verändern könnte, betrachten wir in unserer Analyse der Politikpfade keine Änderungen der Kraftstoffsteuer, sondern konzentrieren uns auf die CO₂-(Kraftstoff)-Bepreisung. Eine CO₂-Steuer hat zumindest im Prinzip (z.B. abstrahiert man von Saliens-Effekten) die gleiche Wirkung auf die CO₂-Emissionen.

Die Bepreisung von CO₂ (Kraftstoff) ist das wichtigste Instrument im derzeitigen Instrumentenmix. Wie die Kraftstoffbesteuerung hat auch die CO₂-(Kraftstoff)-Bepreisung gegenüber anderen klimapolitischen Instrumenten für Automobile den entscheidenden Vorteil, dass sie Emissionsreduzierungen bei allen drei Aspekten der Treibhausgasminde rung von Automobilen erreichen kann, indem sie gleichzeitig auf Neufahrzeuge und den aktuellen Bestand abzielt (Abbildung 8).

Der durch das nETS eingeführte CO₂-(Kraftstoff)-Preis ist derzeit niedrig und zeitlich begrenzt. Ende 2019 haben der Deutsche Bundestag und der Bundesrat ein neues nationales CO₂-(Kraftstoff)-Preissystem für den Gebäude- und Verkehrssektor (d.h. Benzin und Dieselkraftstoff) beschlossen. Das *nationale Emissionshandelssystem* (nETS) führt zunächst einen steigenden Festpreispfad bis 2025 ein (von 25 EUR/tCO₂ im Jahr 2021 auf 55 EUR/tCO₂ im Jahr 2025). Ab 2026 wird eine Preisobergrenze von 55-65 EUR/tCO₂ eingeführt, über deren Fortführung 2024 entschieden und die möglicherweise 2025 umgesetzt werden soll. Wichtig ist, dass der Preispfad nach 2026 noch nicht festgelegt ist. Ein CO₂-(Kraftstoff)-Preis von 25 EUR/tCO₂ entspricht 6,6ct/l Benzin und 7,8ct/l Diesel. Dies sind nur marginale Zusatzkosten, so dass selbst bei sehr optimistischen Elastizitäten bei einer so geringen Stringenz nicht mit einer nennenswerten Verringerung der derzeitigen THG-Emissionen durch die Netze zu rechnen ist.

Die Akzeptanz des Politikmixes in der breiten Öffentlichkeit wird als mittel bis gering eingeschätzt. Das nETS wurde mit relativ wenig Widerstand umgesetzt, und die Proteste hielten sich in Grenzen (Spiegel 2019). Dennoch zeigen Umfragen eine relativ geringe Unterstützung für CO₂-(Kraftstoff)-Preise (Levi et al. 2021). Wichtige politische Entscheidungsträger*innen, wie der derzeitige Bundeskanzler Olaf Scholz, haben im Wahlkampf 2021 betont, dass sie nicht beabsichtigen, den nETS-Preis kurzfristig deutlich zu erhöhen. Im Koalitionsvertrag der Bundesregierung von 2021 wird der nETS in einem Unterkapitel zu hohen Energiepreisen und sozialen Auswirkungen diskutiert, was auf eine begrenzte öffentliche Zustimmung für eine Erhöhung der CO₂-Preise hindeutet (Koalitionsvertrag 2021, S.62f).

Die Akzeptanz bei den Unternehmen ist derzeit weniger umstritten, da die Marktführenden die Preisgestaltung befürworten. Nach anfänglichen Vorbehalten von Unternehmen und Industrieverbänden gegenüber einem CO₂-(Kraftstoff)-Preis, die vor allem auf Bedenken hinsichtlich der Wettbewerbsfähigkeit zurückzuführen waren (EURACTIVE 2019, Handelsblatt 2021), betrachten einige Interessengruppen einen CO₂-(Kraftstoff)-Preis nun als wesentliches Element. Die deutschen Automobilhersteller scheinen jedoch unterschiedliche Strategien zu verfolgen: Während

VW die vollständige Elektrifizierung seiner Fahrzeuge in den Vordergrund stellt und der bis August 2022 Vorstandsvorsitzende von VW, Herbert Diess, eine deutliche und steile Erhöhung des Nettopreises auf 65 EUR/t CO₂ im Jahr 2024 fordert, lehnen andere, wie der Vorstandsvorsitzende von BMW, Oliver Zipse, ein Verbot von ICE-Fahrzeugen ab (O'Hare 2022).



Abbildung 19. Aktueller Politikmix für Automobile, insbesondere Pkw, in Deutschland, zugeordnet zu den wichtigsten Emissionsreduktionsoptionen (in Anlehnung an Axsen et al. 2020). Quelle: Eigene Darstellung

1.2. Verordnung

Der derzeitige Politikmix umfasst mehrere Regulierungsmaßnahmen. Als Mitgliedstaat ist Deutschland derzeit verpflichtet, zwei von der EU vorgeschriebene Standards einzuhalten: Die CO₂-Emissionsnormen für die Fahrzeugflotte und die Norm für CO₂-arme Kraftstoffe. Darüber hinaus hat Deutschland derzeit eine große Anzahl von Umweltzonen in vielen Städten eingerichtet.

CO₂-arme Kraftstoffstandards sind für ICE-Fahrzeuge von Bedeutung. Die Kraftstoffqualitätsrichtlinie berücksichtigt eine „Well-to-Wheel“-Perspektive bei der Produktion von Benzin und Diesel sowie die Beimischung von Biokraftstoffen. Dies ist für BEVs nicht relevant, da die betrieblichen Emissionen von BEVs durch die CO₂-Intensität der Stromerzeugung bestimmt werden. Eine aktualisierte EU-Kraftstoffqualitätsrichtlinie könnte jedoch überarbeitet werden, um E-Fuels einzubeziehen, was angesichts der prognostizierten Kosten dieser Kraftstoffe zu erheblichen Kraftstoffpreissteigerungen führen könnte (Ueckerdt et al. 2021).

Die CO₂-Emissionsnormen für die EU-Fahrzeugflotte waren und sind derzeit das wichtigste Regulierungsinstrument. Diese von der EU festgelegten Normen sind das wichtigste Regulierungsinstrument im derzeitigen Politikmix (Wappelhorst et al. 2021). Dementsprechend betrachten wir sie als das derzeit bedeutendste Instrument in dieser Kategorie. Aufgrund der Flexibilität bei der Ausgestaltung des Instruments (Mathieu et al. 2021) und aufgrund von Hinweisen darauf, dass die in der Praxis erzielten Emissionsminderungen deutlich unter denen liegen, die bei laborgestützten Prüfverfahren erzielt werden (Reynaert 2021), war der aktuelle und frühere Beitrag zur tatsächlichen Emissionsminderung jedoch gering. Er könnte dennoch eine gewisse Signalwirkung gehabt haben, die zu höheren Investitionen in die BEV-Herstellung geführt hat.

Die derzeitige Durchsetzungsregelung muss reformiert werden, da sie sonst anfällig für Manipulationen ist. Untersuchungen haben gezeigt, dass Emissionsstandards aufgrund von Überwachungs- und Durchsetzungsproblemen, die sich aus Manipulationen ergeben, wesentlich weniger THG-Reduzierung bewirken als erwartet. Manipulation bedeutet, dass Fahrzeuge im Laborversuchszyklus auf hohe Leistung getrimmt werden, wobei die tatsächliche Performance der Fahrzeuge einer um bis zu 70 % höheren Emissionsintensität entspricht (Reynaert 2021).

1.3. Subventionen

Subventionen in Deutschland beziehen sich vor allem auf den Einsatz von BEVs und die Förderung von Forschung und Entwicklung (F&E). In Deutschland gibt es mehrere F&E-Subventionsprogramme. Obwohl eine kontinuierliche F&E-Förderung für die Innovation wichtig ist, halten wir in dieser Phase des Übergangs Marktmechanismen für wichtiger und konzentrieren unsere Aufmerksamkeit auf diese. Es gibt auch mehrere regionale Subventionen, um die Einführung von BEVs zu unterstützen, aber wir konzentrieren uns auf die nationale Ebene, wo das wichtigste Instrument der „Umweltbonus“ ist, der 2016 als Subvention für den Kauf zur BEVs eingeführt wurde (später mit der „Innovationsprämie“ im Jahr 2020 kombiniert).

Subventionen für den Kauf von BEVs sind in der Regel wirksam, um den Absatz von BEVs zu steigern, und können einige Marktmängel beheben, sind aber (im Allgemeinen) regressiv. Die

Subventionierung des Verkaufs von BEVs hat sich (im Allgemeinen) als wirksame Strategie zur Steigerung des Absatzes erwiesen. Bis Dezember 2021 hat der Umweltbonus zum Verkauf von über 900.000 BEVs beigetragen (BAFA 2021). Eine ökonometrische Analyse, die den Anteil des Umweltbonus an der Steigerung der Verkäufe von BEVs im Vergleich zur kontrafaktischen Situation ohne Umweltbonus ermittelt, ist jedoch nicht verfügbar. Subventionen können auch dazu beitragen, Innovations- und Netzwerkexternalitäten zu adressieren, indem sie einen Inlandsmarkt für Hersteller schaffen, aber es gibt keine Analyse für den deutschen Kontext. Es hat sich außerdem gezeigt, dass Subventionen regressiv wirken, wenn sie nicht nach Fahrzeuggröße und –wert sowie nach Einkommensgruppen gestaffelt sind, was die relative Wirksamkeit des Instruments verringert.

Die Gestaltung der Subventionen sieht eine gewisse Ausrichtung auf Verbraucher*innengruppen in Form von Preisdifferenzierungen für Fahrzeugwert, BEVs vs. PHEV und Leasingverträge vor. Es gibt einige zielgerichtete Elemente in der Gestaltung des Instruments, die eine Subventionierung von Luxusfahrzeugen vermeiden und dazu beitragen, regressive Verteilungsergebnisse zu vermeiden. Es gibt getrennte Sätze für BEVs und für PHEVs, wobei letztere eine geringere Förderung erhalten⁹. Das trägt dazu bei, die intertemporale Kostenwirksamkeit zu verbessern, indem BEVs stärker subventioniert werden. Die Gesamtsubvention, die den Verbraucher*innen zur Verfügung steht, besteht aus einer Kombination von 2/3 staatlicher Subvention (Bundesanteil – BA), die zu 1/3 durch den Eigenanteil der Hersteller (EA)¹⁰ finanziert wird. Neben dem Kauf wird auch das Leasing von Fahrzeugen gefördert, wobei für Verträge mit einer Laufzeit von 6 bis 11 Monaten bzw. 12 bis 24 Monaten eine separate Finanzierung zur Verfügung steht.

Die fiskalischen Kosten sind hoch. Subventionen zum Kauf von BEVs können auch eine hohe fiskalische Belastung für den Staat darstellen, und der Umweltbonus hat insgesamt 3,2 Mrd. EUR für die Förderung des Kaufs von BEVs- und PHEVs (bis 2025) vorgesehen¹¹. Der Umweltbonus hat bereits den Kauf von 900.000 BEVs unterstützt. Ein nachhaltiges Marktwachstum durch die derzeitige Ausgestaltung der Förderung ist zwar mit steigenden Absatzzahlen verbunden, würde aber sehr hohe fiskalische Kosten nach sich ziehen. Die jüngste Verlängerung der Innovationsprämie bis Ende 2022 wird voraussichtlich höhere finanzielle Kosten als im Vorjahr verursachen, da höhere Verbreitungsraten ein höheres Fördervolumen bedeuten. Dementsprechend ist zu erwarten, dass die derzeit vorgesehenen Mittel bei erhöhter Förderquote überschritten werden und aufgestockt werden müssten.

Die politische Akzeptanz des Umweltbonus ist mittelhoch. Die öffentliche Akzeptanz von Kaufprämien wird in der verkehrspolitischen Literatur im Allgemeinen als relativ hoch eingeschätzt, und zwar sowohl bei den Herstellern als auch bei der Allgemeinheit, die von der Bereitstellung von Fördermitteln profitiert. Jüngste Umfragedaten (Levi et al. 2021) deuten jedoch darauf hin, dass die Unterstützung für Kaufprämien in Deutschland nicht so hoch zu sein scheint wie in anderen Ländern. Diese Beobachtung ist nicht vollständig geklärt, aber die Akzeptanz hängt im Allgemeinen mit der Verteilung und der öffentlichen Wahrnehmung von Fairness zusammen. Ein

⁹ BEVs erhalten insgesamt 9.000 €, wenn das Fahrzeug weniger als 40.000 € kostet, und 7.500 €, wenn der Wert zwischen 40.000 und 65.000 € liegt.

¹⁰ Der höchste Satz, der für den Umweltbonus zur Verfügung steht, beträgt z.B. insgesamt 9000: Staat 6000 + Herstellerstipendium 3000.

¹¹ Für den Umweltbonus waren ursprünglich 2,2 Mrd. vorgesehen, durch den Innovationsbonus kam eine weitere Milliarde hinzu.

reformierter Mechanismus, der Mitnahmeeffekte und Übersubventionierung vermeidet und für untere Einkommensgruppen leichter zugänglich ist, könnte die Akzeptanz verbessern.

1.4. Infrastruktur

Deutschland verfügt über zahlreiche Instrumente zum Ausbau der E-Infrastruktur. Als E-Infrastruktur bezeichnen wir die Verfügbarkeit von E-Ladestationen (Standard- und Schnellladestationen). Bestehende Fördermechanismen zielen auf private und öffentliche Infrastruktur ab. Es gibt zahlreiche Mechanismen zur Unterstützung privater Ladeeinrichtungen, von denen viele auf kommunaler Ebene angeboten werden. Zusätzlich zu den Subventionen schreibt der Gesetzgeber die Installation von Ladestationen an Autobahntankstellen vor.

Deutschland hat die Mittel für die Bereitstellung von Infrastruktur erheblich aufgestockt. Zunächst (2017) wurden nur 300 Mio. EUR zur Verfügung gestellt, die dann 2019 auf 3,5 Mrd. EUR und 2021 erneut auf 5,5 Mrd. EUR (insgesamt) erhöht wurden, gefolgt von weiteren 300 Mio. EUR für KMU (insgesamt 5,8 Mrd. EUR) und weiteren 500 Mio. EUR für die Bereitstellung öffentlicher Infrastruktur bis 2025 (insgesamt 6,3 Mrd. EUR). Die Anreize richten sich sowohl an private als auch an öffentliche Ladeinstallationen, wobei auch eine Reihe regionaler Anreize in vielen verschiedenen Gemeinden angeboten werden.

Es bestehen nach wie vor Ungewissheiten über den künftigen Bedarf an öffentlicher Infrastruktur. Die genauen Anforderungen an die Gebühreninfrastruktur sind aufgrund der unsicheren Marktentwicklungen unbekannt. Wie in Anhang II erörtert, ist der direkte Zusammenhang zwischen Infrastruktur und Wirksamkeit bei der Dekarbonisierung weniger bekannt als bei anderen Instrumentenarten. Dies gilt insbesondere für die Präferenzen der Verbraucher*innen, die beispielsweise BEVs lieber zu Hause oder im Büro aufladen. Es ist daher schwierig, die bestehenden Infrastrukturprogramme zu bewerten. Dementsprechend sollten Flexibilitätsmechanismen bei der Bereitstellung der öffentlichen Infrastruktur in die Politikgestaltung einbezogen werden, wie z.B. ein Auslaufen über einen kürzeren Zeithorizont auf der Grundlage der Sensibilität für die Reaktion des privaten Sektors.

Anhang [II] – Überprüfung der allgemeinen Nachweise für die Kerninstrumente

Wir prüfen die in der Verkehrsliteratur vorhandenen Belege für vier Hauptinstrumententypen: CO₂- (Kraftstoff-)Preise, Emissionsleistungsstandards, Subventionen für den Kauf von BEVs und Infrastrukturbereitstellung. Wir stellen Belege zusammen, die unseren in Abschnitt 3 des Papiers dargelegten Herausforderungen/Bewertungskriterien für die Gestaltung des Politikmixes entsprechen. Wir stellen fest, dass in der vorhandenen Verkehrsliteratur ein Großteil der vorhandenen Erkenntnisse auf der Umsetzung der Politik in Nordamerika basiert.

II.1. Preisgestaltung

Die Bepreisung von CO₂ (Kraftstoff) ist im Allgemeinen wirksam bei der Reduzierung von THG-Emissionen (z.B. Sterner 2007, van den Bergh et al. 2021, Rivers und Schaufele 2015; Antweiler und Gulati 2016; Andersson 2019). Die unmittelbare Auswirkung der Preisgestaltung besteht darin, dass die Kosten für die Nutzung von ICE-Fahrzeugen steigen. Dies ist ein wirtschaftlicher Anreiz für neue Fahrzeuge, effizienter zu werden und ihre Größe zu verringern, und ein Anreiz, ältere, weniger effiziente Fahrzeuge aufgrund der höheren Betriebskosten zu ersetzen (langfristige Elastizität). Ein weiterer Effekt ist, dass die Verbraucher*innen weniger fahren und dass die Preisgestaltung Anreize für eine verstärkte Nutzung anderer Verkehrsträger schafft (kurzfristige Elastizität). Aufgrund dieser vielfältigen Wirkungen ist die Preisgestaltung ein besonders geeignetes Instrument, um Anreize für die Einführung von BEVs zu schaffen und die Nachfrage zu senken und/oder die Abwrackung älterer ICE-Fahrzeuge zu fördern. Die Preisgestaltung kann auch eher technologiespezifische Maßnahmen ergänzen, indem sie alle drei Aspekte der THG-Reduzierung im Verkehr berücksichtigt.

Ein CO₂-(Kraftstoff-)Preis kann potenziell zu einer Verringerung der Verkehrsnachfrage führen (Fox et al. 2017). Viele andere Instrumente zielen nur auf CO₂-Intensität und Wirksamkeit ab. Das Vorhandensein eines CO₂-(Kraftstoff-)Preises kann auch einige der Rebound-Effekte vermeiden, die durch effizienzfördernde Maßnahmen oder Maßnahmen auf der Grundlage CO₂-armer Kraftstoffe, die die Fahrtkosten senken, ausgelöst werden können (Small 2012).

Ein Schlüsselaspekt für die Wirksamkeit von CO₂-(Kraftstoff-)Preisen ist die Höhe der Stringenz. Die Auswirkungen auf die Aktivitäten von Verbraucher*innen und Unternehmen hängen vom Preis und dem langfristigen Signal ab, das von ihm ausgeht. Es wird erwartet, dass strengere Preise einen viel stärkeren Anreiz zum Umstieg der Verbraucher*innen und zur Verringerung der Nachfrage schaffen und ein glaubwürdiges Signal aussenden, das Anreize für Investitionsentscheidungen der Unternehmen bieten kann. Vereinfacht ausgedrückt, werden sehr hohe zusätzliche Brennstoffkosten ein viel stärkeres Signal für eine Verhaltensänderung aussenden, während ein niedriger Preis keinen nennenswerten Anreiz für eine Änderung schafft. Dementsprechend ist die bloße Einführung eines Preises keine Garantie für eine größere Wirksamkeit, wenn das Preissignal zu niedrig ist.

Ein verwandter Aspekt ist die Auswirkung der Preisgestaltung auf die Innovation. Einige Studien gehen von eher geringen Auswirkungen von CO₂-(Kraftstoff-)Preisen aus (z.B. Caeli und Dechezlepretre 2016; Caeli 2020). Diese Studien befassen sich jedoch nicht speziell mit dem Verkehrssektor und gehen von relativ niedrigen CO₂-(Kraftstoff-)Preisen aus. Aghion et al. (2016), die

sich in ihrer Studie auf den Verkehrssektor konzentrieren, finden etwas größere Auswirkungen, wenn sie die Kraftstoffpreise als Proxy verwenden. In jüngerer Zeit stützen sich aus dem Moore et al. (2022) auf Erkenntnisse aus der schwedischen CO₂-Steuerreform und kommen zu dem Ergebnis, dass die Innovation im Verkehrssektor stärker gefördert wird. Mögliche Gründe sind die höhere Bedeutung der CO₂-Steuer im Vergleich zu den Kraftstoffpreisen sowie das wahrgenommene starke Engagement der Regierung für die Klimapolitik.

Die statische Kostenwirksamkeit der CO₂-(Kraftstoff-)Bepreisung ist hoch, da sie Anreize für die kostengünstigsten Optionen schafft. Die Grenzvermeidungskosten der Dekarbonisierung sind bei der Bepreisung von CO₂ (Kraftstoffen) niedrig.

Intertemporale Effekte sind weniger gut erforscht, insbesondere bei niedrigeren Stringenzgraden. Während von Unternehmen erwartet wird, dass sie rationaler reagieren, könnte die Glaubwürdigkeit mittel- bis langfristiger CO₂-(Kraftstoff-)Preispfade ein Hindernis für die dynamische Wirksamkeit sein (Fuss et al. 2018). Einige argumentieren, dass die Verbraucher*innen die potenziellen langfristigen Einsparungen unterbewerten könnten (Kurzfristdenken der Verbraucher*innen). Andere wiederum bestreiten, dass es keine ausreichenden empirischen Belege für eine Unterbewertung gibt (Irvine 2017). Unabhängig davon wird davon ausgegangen, dass das Kurzfristdenken oder Trägheit der Verbraucher*innen nur ein kurzfristiges Phänomen ist, das mit zunehmender Stärke des Preissignals und der Etablierung des Mechanismus im Laufe der Zeit abnehmen würde. Die Bepreisung von CO₂-(Kraftstoff) geht jedoch nicht direkt auf andere mögliche Marktversagen ein, wie z.B. zu geringe Investitionen aufgrund von F&E-Spillover-Effekten (Lehmann 2012).

Die Technologieneutralität der CO₂-(Kraftstoff-)Preise kann zu optimierten Verhaltensweisen und/oder schrittweisen Veränderungen führen. CO₂-Steuern sind auch technologieneutral und geben keine strategische Richtung für den Übergang vor (Azar und Sanden 2011), z.B. indem sie mehr Investitionen in elektrische gegenüber wasserstoffbasierten Technologien fördern. Diese fehlende Ausrichtung kann später zu Konflikten oder Engpässen führen oder Investitionen in einigen Bereichen nicht auslösen, die im Vorfeld (z.B. Schnellladeinfrastruktur) oder längerfristig (verbesserte Batterietechnologie) gefördert werden müssen. Dies kann zu inkrementellen Veränderungen (Schmidt et al. 2012) oder zur Optimierung des Verhaltens (Rosenbloom et al. 2020) führen. Da die kostengünstigsten Vermeidungsoptionen gefördert werden, werden transformative und potenziell optimalere Vermeidungsoptionen vernachlässigt (Tal des Todes), da die Kosten in der Demonstrationsphase zeitlich höher sind und Marktversagen wie Informations-Spillover und hohe Ausfallraten private Unternehmen von Investitionen abhalten (Klitsie et al. 2019). Die meisten empirischen Belege beruhen jedoch auf einer relativ strengen Preisgestaltung, und es wird erwartet, dass ein stärkeres Preissignal eine größere mobilisierende Wirkung hat, obwohl dies ein Bereich mit erheblicher Unsicherheit bleibt.

Die Kombination von CO₂-(Kraftstoff-)Preisen mit technologiespezifischen Maßnahmen kann diese Effekte abmildern und unterstützt das Experimentieren. Insgesamt deuten US-amerikanische Wohlfahrtsanalysen darauf hin, dass das Hinzufügen eines CO₂-(Kraftstoff-)Preises in Kombination mit stärker technologiespezifischen Vorschriften die Kostenwirksamkeit des Politikmixes

verbessern, die Glaubwürdigkeit erhöhen und ein starkes Signal für die Ausrichtung liefern kann (Klier und Linn 2010; Small, 2012; Fox et al. 2017).

Eine signifikante Bepreisung von CO₂-(Kraftstoff) steht in der Regel vor Herausforderungen hinsichtlich der politischen Umsetzbarkeit. Ein zentraler Kritikpunkt an der CO₂-(Kraftstoff)Bepreisung ist, dass sie tendenziell eine begrenzte politische Akzeptanz aufweist. Levi et al. (2021) stellen sogar fest, dass sie bis vor kurzem die am wenigsten unterstützte Verkehrsklimapolitik in Deutschland war. Dementsprechend wird in den meisten Fällen die Zugabe des CO₂-Preises zu einem Mix die politische Akzeptanz insgesamt verringern (Eriksson et al. 2008). Die Forschung hat gezeigt, dass die CO₂-(Kraftstoff-)Bepreisung die geringste Akzeptanz bei den Verbraucher*innen hat (Rhodes et al., 2017) und dass auch die Industrie tendenziell ablehnend reagiert (Bristow et al., 2010). Es ist davon auszugehen, dass der Grad des Widerstands bzw. der Akzeptanz gegenüber dem Preisbildungsmechanismus zumindest anfänglich von der Stringenz abhängt. Die Einführung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes (BHEG) in Deutschland beispielsweise stieß auf begrenzten Widerstand, wohl weil es mit einem niedrigen Grenzwert eingeführt wurde. Auch wenn die unmittelbare Wirksamkeit begrenzt war, ermöglichte der geringe Widerstand eine erfolgreiche Umsetzung, so dass im Laufe der Zeit das Potenzial für eine Anhebung besteht (Pahle et al. 2018). Dies würde darauf hindeuten, dass ein Politikmix-Design, bei dem der CO₂-(Kraftstoff-)Preis schnell ansteigt, mehr Widerstand hervorrufen könnte, während eine schrittweise Erhöhung weniger politischen Widerstand hervorrufen würde.

Die Akzeptanz hängt mit den Verteilungseffekten zusammen. Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass die Akzeptanz auch mit den wahrgenommenen Verteilungseffekten zusammenhängt (Jaensirisak et al. 2005; Sterner 2012), insbesondere wenn Haushalte mit geringerem Einkommen am stärksten betroffen sind (Agostini und Jiménez, 2015; Callan et al., 2009; Mathur und Morris, 2014). Die Auswirkungen auf die Verteilung werden mit zunehmender Stringenz bedeutender, können aber durch die Ausgestaltung des Mechanismus verringert werden, insbesondere wenn die Rückverteilung der Einnahmen wirksam umgesetzt wird (Eliasson und Mattson 2006; Bento et al. 2009; Callan et al. 2009; Levinston 2010; Sterner 2012; Chiroleu-Assouline und Fodha 2014; Wang et al. 2016).

Die Einführung einer wirksamen Rückführung von Einnahmen könnte dazu beitragen, den Widerstand gegen die Preisgestaltung zu verringern (Frondelet et al. 2021). Ein klar definierter Umverteilungsmechanismus, der sichtbare und nachvollziehbare Vorteile bietet (direkte Ausgaben sind sichtbarer als diskrete Optionen wie Steuererleichterungen), die zum Zeitpunkt der Einführung (oder vor einer signifikanten Erhöhung) mit dem Preissystem verbunden sind, dürfte dessen Akzeptanz in der Bevölkerung erhöhen. Baldenius et al. (2021) schlagen vor, dass eine pauschale Zahlung am gerechtesten ist. Eine pauschale Rückverteilung der Einnahmen, die auch an die Einkommensgruppen angepasst ist, könnte die Progressivität weiter erhöhen, wobei die Gegenleistung in einem erhöhten Verwaltungsaufwand und in der Möglichkeit von Ausbeutung und Betrug besteht.

Die administrativen Anforderungen für Preisbildungssysteme nehmen mit der Zeit ab. CO₂-Besteuerungssysteme sind in Ländern mit soliden Verwaltungskapazitäten für die Umsetzung der Besteuerung relativ einfach und unkompliziert zu handhaben (Sterner 2007). Narassimhan

et al. (2018) stellen in einer Überprüfung von ETS-Systemen fest, dass sich die Verwaltungs- und Regulierungsstrukturen von ETS-Ländern offenbar weiterentwickeln und im Laufe der Zeit robuster werden. Insbesondere institutionelles Lernen, administrative Umsicht, ein angemessenes Management der CO₂-Einnahmen und die Einbindung der Stakeholder*innen werden als Schlüsselfaktoren für erfolgreiche ETS-Regelungen genannt. Joas et al. (2016) untersuchen die Transaktionskosten des EU-ETS und einer hypothetischen gleichwertigen CO₂-Steuer in Deutschland und stellen sehr moderate Verwaltungskosten fest.

II. 2. Verordnung

Stringente Normen können wirksam zur Verringerung der CO₂-Intensität von Fahrzeugen beitragen (Small und van Dender 2007). Es handelt sich um angebotsseitige Vorschriften, die die Hersteller verpflichten, ein bestimmtes Performanceniveau oder eine bestimmte Kraftstoffeffizienz einzuhalten oder zu erreichen, um Fahrzeuge verkaufen zu können. Es gibt potenzielle Rebound-Effekte auf die Fahrzeugnutzung durch niedrigere Betriebskosten (Linn 2016). Die Kombination einer Emissionsnorm mit einem Preismechanismus kann den Rebound-Effekt verringern, indem die Kosten für das Fahren verteuert werden. Small (2012) kommt zu dem Ergebnis, dass die Kombination aus Kraftstoffsteuer und Emissionsnormen für Kraftfahrzeuge zu einer stärkeren Verringerung der THG-Emissionen führt als jede einzelne Maßnahme für sich.

Es besteht Unsicherheit darüber, wie genau Flottenstandards durch Wechselwirkungen mit anderen Instrumenten die Wirksamkeit des Politikmixes beeinflussen werden. Bhardwaj et al. (2020) und van den Bergh (2021) vermuten eine negative Wechselwirkung zwischen Emissionsstandards und Emissionshandel aufgrund von Leckagen zwischen den Sektoren, wenn der Preisbildungsmechanismus sektorübergreifend ist. Es wird argumentiert, dass Fahrzeuge mit höherer Effizienz aufgrund von Standards die Nachfrage nach Emissionszertifikaten im Verkehrssektor verringern können, was die Preise für Zertifikate senkt und zu weniger Emissionsminderung in anderen Sektoren führt (OECD, 2011; Sijm, 2005). In der Praxis könnte die Emissionsobergrenze jedoch verschärft werden, oder wenn sich die sektorale Kopplung der CO₂-Märkte als problematisch erweist, könnten sie angepasst oder disaggregiert werden.

Die Manipulation stellt ein ernstes Problem für die Wirksamkeit der Emissionsstandards dar. Ein Hauptproblem besteht darin, dass die Standards nur 30% der auf der Straße messbaren Emissionssenkungen bewirken, während die restlichen 70% auf die Manipulation mit den Flottenstandards zurückzuführen sind (Reynaert 2021). Dies ist der Fall, wenn die Performance der Fahrzeuge in der Praxis nicht mit den im Labor simulierten Werten übereinstimmt, so dass die tatsächlich beobachteten Emissionen viel höher sind als die in den Vorschriften geforderten. Das derzeit von der EU für Neufahrzeuge verwendete Verfahren zur Prüfung der CO₂-Emissionen (World Harmonized Light Vehicle Test Procedure) basiert beispielsweise immer noch auf Labortests, und die Automobilhersteller optimieren ihre Fahrzeuge für ein gutes Abschneiden in diesen Testverfahren und nicht für die vielfältigen Bedingungen auf der Straße. Dies könnte durch die Einführung einer Echtzeit-Fernüberwachung der Leistung verbessert werden, aber die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Daten muss gewährleistet sein (Mathieu et al. 2021).

Intertemporale Kostenwirksamkeit. Yeh et al. (2021) zeigen, dass Emissionsstandards einen Anreiz für Innovationen bieten und dass sie, wenn Performancestandards handelbar sind, einen stärkeren Anreiz bieten als CO₂-(Kraftstoff)Preise, ohne die Kosten an die Verbraucher*innen weiterzugeben. Studien deuten darauf hin, dass Performancestandards geringe oder moderate Kosten verursachen, wenn sie zu anderen politischen Maßnahmen hinzukommen (Small 2012; Karplus et al. 2013; Whistance und Thompson, 2014; Jenn et al., 2019). Karplus et al. (2013) stellen fest, dass Kraftstoffverbrauchsnormen in Kombination mit einer Cap-and-Trade-Politik die Kosten für die Einhaltung der THG-Emissionen erhöhen, da sie eine teure Verringerung des Kraftstoffverbrauchs von Pkw erzwingen und damit kosteneffizientere Emissionsreduktionsoptionen verdrängen. Small (2012) kommt zu dem Ergebnis, dass Performancestandards in Verbindung mit Steuern die Kosten der Politik mäßig erhöhen, dass aber die Gesamtkosten der Instrumente zusammengenommen geringer sind als die Summe der einzelnen Maßnahmen, was auf Synergieeffekte hinweist.

Die politische Akzeptanz von Performancestandards ist mäßig. Sie werden in der Regel eher akzeptiert als die Preisgestaltung (Levi et al. 2021), was wohl daran liegt, dass die Kosten der Standards weniger auffällig sind als andere Instrumente mit hoher Wirksamkeit. Die Forschung deutet auch darauf hin, dass angebotsseitige Instrumente im Allgemeinen besser akzeptiert werden (Axsen et al. 2020). Yeh et al. (2021) vermuten auch, dass die Tendenz von TPS, die Kraftstoffpreise niedrig zu halten, dazu beiträgt, zu erklären, warum diese Mechanismen in der Regel von politischen Entscheidungsträger*innen bevorzugt werden. Die Akzeptanz in der Bevölkerung ist relativ gut, so fanden Rhodes et al. (2017) beispielsweise heraus, dass Emissionsstandards in Kanada mehrheitlich unterstützt werden. Automobilhersteller neigen jedoch dazu, Leistungsstandards abzulehnen (Bhardwaj et al. 2020), was auf die negativen Auswirkungen zurückzuführen sein könnte, die diese Vorschriften auf die Gewinne der Automobilhersteller haben (Jacobsen 2013; Davis und Knittel 2019). Im Zusammenhang mit der Akzeptanz weisen einige ökonomische Untersuchungen darauf hin, dass Leistungsstandards regressive Auswirkungen auf Haushalte mit niedrigem Einkommen haben können (Jacobsen 2013; Davis und Knittel 2019). Ein Konsens in der Literatur über die geschätzten Verteilungseffekte von Emissionsnormen steht jedoch noch aus (Small 2012; Whistance und Thompson 2014).

Die Governance-Anforderungen für Standards sind relativ hoch, da genaue Emissionsdaten und technologische Leistungsprognosen erforderlich sind, um einen Zielpfad festzulegen. Folglich können Asymmetrieprobleme zu relativ wenig ehrgeizigen Standards führen, was den Mechanismus weniger wirksam macht, und insbesondere können Manipulationen die Wirksamkeit des Instruments zur Verringerung der THG-Emissionen erheblich verringern (Reynaert und Sallee 2021). Dementsprechend besteht für die Industrie ein Anreiz, Verbesserungen bei den Kosten und der Performance zu unterschätzen. Auch die administrativen Anforderungen sind relativ hoch, da die Durchsetzungs- und Überwachungsanforderungen im Vergleich zu anderen Instrumenten hoch sind. Ohne eine wirksame Verwaltung und ein robustes Überwachungs- und Durchsetzungssystem sind Emissionsstandards relativ unwirksam, was auch die Glaubwürdigkeit des Politikmixes untergräbt.

II.3. Subventionen

Subventionen für den Kauf von BEVs sind effektiv, um ihren Verkauf zu steigern. Zahlreiche Studien in Nordamerika und Europa belegen dieses Ergebnis, selbst wenn man die meisten anderen Maßnahmen berücksichtigt (Chandra et al. 2010; Jenn et al. 2013; Lutsey et al. 2015; Tietge et al. 2016; Bjerkan et al. 2016; Mersky et al. 2016; Jenn et al. 2018; Münzel et al. 2019).

Die längerfristige Wirksamkeit von Subventionen ist weniger sicher. Die kurzfristigen Zuwächse bei der Akzeptanz von BEVs während der Laufzeit der Förderung können nach dem Wegfall des Anreizes wieder abnehmen. Dies deutet darauf hin, dass zusätzliche Instrumente (wie strenge Regulierung oder CO₂-(Kraftstoff-)Preise) neben einer Subvention eingeführt werden müssen, um günstige Marktbedingungen zu schaffen, die eine weitere Verbreitung der E-Mobilität nach dem Ende der Subvention fördern. In dieser Hinsicht können Subventionen als kurzfristige Marktanreize zur Förderung von Verhaltensänderungen betrachtet werden, während andere (längerfristige) Instrumente so weit ausgebaut werden, dass sie einen ausreichenden Anreiz zur Förderung von Verhaltensänderungen bieten, wenn es keinen Subventionsmechanismus gibt (als kurzfristige politische Korrektur).

Subventionen für den Kauf von BEVs sind im Allgemeinen regressiv (Borenstein & Davis 2016; Lévy et al. 2017; Misch et al. 2021, Bär et al. 2021). Das Hauptproblem ergibt sich aus der Tatsache, dass Subventionen häufig Mitnahmeeffekte haben, indem sie Käufe subventionieren, die ohnehin getätigt worden wären, und somit einkommensstarken Haushalten zugutekommen. Dies hat nicht nur regressive Verteilungseffekte, sondern mindert auch die Gesamtwirksamkeit des Instruments erheblich, wenn solche Effekte herausgerechnet werden.

Wirksamkeit und Verteilungseffekte können durch eine bessere Gestaltung verbessert werden. DeShazo et al. (2017) skizzieren eine Reihe von Gestaltungsprinzipien, die die Verteilungswirkung eines Förderprogramms für BEVs verbessern können, darunter eine progressive Preisgestaltung und Preisobergrenzen. Die Ausrichtung auf bestimmte Einkommensgruppen verbessert demnach nicht nur die Verteilung, sondern erhöht auch die Akzeptanz von BEVs (Sheldon & Dua 2018, 2020). Holland et al. (2016) kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass geografisch differenzierte Subventionen Mitnahmeeffekte reduzieren können, allerdings nur geringfügig. Gallagher und Muehlegger (2011) stellen ebenfalls fest, dass die Art der Anreize einen großen Einfluss auf die Wirksamkeit hat.

Anreize erhöhen die direkten Staatsausgaben für einen Politikmix. Dementsprechend können sie die statische Kostenwirksamkeit von Politikmischen (insbesondere im Vergleich zu CO₂-(Kraftstoff-)Preisen) aufgrund des unvermeidlichen Trittbrettfahrens und der Notwendigkeit hoher staatlicher Ausgaben verringern (Jaccard et al. 2003; Morrow et al. 2010; Axsen und Wolinetz 2018). Allerdings können bestimmte Gestaltungsmerkmale die Wirksamkeit eines Subventionsprogramms potenziell verbessern (DeShazo et al., 2017).

Die intertemporale Kostenwirksamkeit ist höher als die statische Kostenwirksamkeit. Bhardwaj et al. (2020) weisen darauf hin, dass Kaufsubventionen die Wirksamkeit eines Programms zur Einführung von Ladestationen verbessern könnten (was für sich genommen keine große Wirkung haben dürfte). Subventionen wurden als wirksames Mittel gegen das Kurzfristdenken der

Verbraucher*innen angeführt, die Einsparungen unterbewerten. Verbraucher*innen reagieren eher auf Rabatte und Umsatzsteuerbefreiungen, die näher am Verkaufszeitpunkt stattfinden, als auf Einkommenssteueranreize, die zu einem späteren Zeitpunkt beantragt und erhalten werden müssen (DeShazo et al. 2017). Dies ist jedoch ein umstrittener Standpunkt, und einige meinen, dass es nicht genügend empirische Belege für die Unterbewertungshypothese gibt (Irvine 2017). Anreize können leicht auf eine bestimmte Technologie ausgerichtet werden (BEV vs. Wasserstoff) und tragen daher wahrscheinlich dazu bei, die Gewinner*innen der Technologie herauszufiltern, wie in Norwegen festgestellt wurde (Bjerkkan et al., 2016). Dementsprechend wurde festgestellt, dass Subventionen einen positiven signifikanten Effekt auf die F&E von Unternehmen haben, die Fahrzeuge mit neuen Antriebsarten herstellen (Jiang et al. 2020). Eine verfrühte Abschaffung der Anreize könnte sich jedoch negativ auf ihre langfristige Glaubwürdigkeit auswirken, was die positiven Wirkungen auf die Unternehmensinnovation untergraben könnte (Hardman et al. 2017; Melton et al., 2017).

Die politische Umsetzbarkeit ist im Allgemeinen hoch. Subventionen werden von der Industrie unterstützt, da sie einen wirtschaftlichen Anreiz bieten, um Produkte attraktiver zu machen (Eriksson et al. 2008; Rhodes et al., 2017; Brückmann & Bernauer 2020). Da sie den Verbraucher*innen Ressourcen zukommen lassen, haben sie in der Regel eine hohe Akzeptanz. Bedenken hinsichtlich des Trittbrettfahrens können die Akzeptanz von Kaufanreizen bei einigen Stakeholder*innen beeinträchtigen (Jaccard et al., 2003; Bakker und Trip, 2013), einschließlich der Wahrnehmung von unangemessenen Vorteilen für Haushalte mit höherem Einkommen (Plötz et al. 2014; DeShazo et al. 2017). Wie bereits erwähnt, liegt der Schwerpunkt daher auf einem besseren Instrumentendesign, um die Akzeptanz zu verbessern. Insbesondere wenn diese Aspekte berücksichtigt werden, würde die erwartete Wirkung von Subventionen zum Kauf eines BEVs im Politikmix dazu beitragen, die Gesamtakzeptanz des Mixes zu verbessern (Bhardwaj et al. 2020).

Die Informations- und Verwaltungsanforderungen variieren je nach Ausgestaltung der Politik. Eine grundlegende Subvention des Kaufs eines BEVs mit einem festen Zuweisungsbetrag ist mit geringen Anforderungen verbunden, aber auch mit einer geringeren Wirksamkeit und mit Gerechtigkeits- und Verteilungsproblemen (aufgrund von Mitnahmeeffekten und nicht zielgerichteter Subventionierung). Ein wirksames Instrument würde eine regelmäßige Überwachung und Aktualisierung auf der Grundlage von Informationen über das Preis-Leistungs-Verhältnis erfordern, um eine übermäßige Zuweisung von Mitteln zu vermeiden. Dies würde aktuelle und genaue Herstellungskosten erfordern, um die Höhe der Subvention an die Preis-Leistungs-Daten anzupassen, und ist daher anfällig für potenzielle Probleme, die sich aus Informationsasymmetrien ergeben.

II.4. Infrastruktur

Die Wirksamkeit der Bereitstellung von Infrastruktur ist ungewiss. Einige Studien kommen zu dem Ergebnis, dass die Einführung von Ladestationen dazu beitragen kann, den Absatz von BEVs zu steigern (Lin und Greene 2011; Greene et al. 2014; Mersky et al. 2016), während andere Studien keine nennenswerte Wirksamkeit feststellen (Bailey et al. 2015). Li et al. (2017) und Springel (2016) weisen darauf hin, dass die Subventionierung von Ladeinfrastruktur doppelt so wirksam sein könnte wie die gleiche Summe, die für Fahrzeugsbventionen ausgegeben wird.

Eine Literaturübersicht von Hardman et al. (2018) kommt jedoch zu dem Schluss, dass es nicht möglich ist, substantielle Schlussfolgerungen über die Rolle der Infrastruktur bei der Förderung der Akzeptanz von BEVs zu ziehen, und dass die empirische Evidenz nicht ausreichend ausgereift ist.

Die statische Kostenwirksamkeit ist relativ gering. Ein hervorstechendes Merkmal von Infrastrukturinvestitionen ist, dass sie im Vorfeld versunkenes Kapital erfordern, das relativ teuer ist, und dass die Auswirkungen auf eine höhere Anzahl von BEVs weniger direkt sind als bei anderen Instrumenten, da die Akzeptanz tendenziell eher gering ist (Schroeder und Traber 2012; Peterson und Michalek 2013).

Die Förderung der Infrastruktur ist kostenwirksamer als die Subventionierung des Verkaufs. Indirekte Effekte auf beiden Seiten des Marktes bedeuten, dass eine Subventionierung auf beiden Seiten des Marktes zu einem Anstieg der Verkäufe von BEVs und Ladestationen führen wird. Die relative Kostenwirksamkeit verschiedener Subventionsstrategien hängt von der Preissensibilität der Verbraucher*innen für BEVs und dem relativen Ausmaß der indirekten Netzwerkeffekte auf beiden Seiten des Marktes ab. Angesichts der relativen Stärke der indirekten Netzwerkeffekte auf der Nachfrageseite von BEVs und der geringen Preissensitivität von Early Adopters wäre die Förderung von Ladestationen wesentlich kostenwirksamer als die Förderung von Käufen von BEVs (Li et al. 2017).

In der frühen Übergangsphase ist wahrscheinlich eine übermäßige Bereitstellung von Infrastruktur durch den Staat erforderlich. In der frühen Übergangsphase wird die Infrastruktur mit ziemlicher Sicherheit nicht voll ausgelastet und daher unrentabel sein (Greene und Ji 2016). Folglich gibt es in der Regel einen negativen Anreiz für Unternehmen zu investieren, da es für das Unternehmen schwierig ist, die Vorteile seiner Investitionen zu nutzen und auch andere Unternehmen davon profitieren können (rivalisierend, nicht exklusiv). Daher wird häufig festgestellt, dass die Betankungs-/Ladeinfrastruktur zunächst übermäßig bereitgestellt werden muss (häufig durch politische Maßnahmen), um einen erfolgreichen Übergang zu alternativen Kraftstoffen einzuleiten.

Die intertemporale Kostenwirksamkeit wird voraussichtlich viel höher sein. Ein verstärkter Ausbau der Infrastruktur wirkt sich positiv auf die Überwindung des Kurzfristdenkens der Verbraucher*innen aus und macht den Kauf attraktiver, da die Angst vor mangelnder Reichweite, die mit den Einschränkungen der Batterietechnologie verbunden ist, abgebaut wird. Es hat Fälle gegeben, in denen frühe Nutzer*innen von BEVs aufgrund einer fehlenden Ladeinfrastruktur auf ICE-Fahrzeuge umgestiegen sind (Hardman und Tal 2021). Der Einsatz von Ladestationen ist technologiespezifisch und sichtbar und kann dazu beitragen, das Vertrauen der Beteiligten in die Richtung des technologischen Wandels zu stärken. Die größte Unsicherheit für Investoren liegt nicht in den Baukosten, sondern in der Nachfrage nach Ladestationen und der Preisgestaltung (Fang et al. 2020, Serradilla et al. 2017). Daher besteht der zentrale Grund für die politische Unterstützung der Infrastruktur darin, das Risiko zu verringern, indem ein klares Signal des Engagements und der Legitimität für private Investitionen gegeben wird.

Der Einsatz von Ladestationen genießt in der Regel eine hohe politische Unterstützung

(Sørensen et al. 2014). In einem kürzlich erschienenen Artikel wurde festgestellt, dass die Verfügbarkeit privater Ladestationen die Zufriedenheit von BEV-Besitzer*innen in Kalifornien stark beeinflusst, während öffentliche Ladestationen weniger wichtig waren (Hardman und Tal 2021). Insbesondere die Einführung von Ladestationen könnte als Unterstützung der Hersteller bei der Einhaltung von Vorschriften angesehen werden und sollte daher positiv zur Akzeptanz von Vorschriften beitragen (Bhardwaj et al. 2020). Dies dürfte in Ländern mit einem großen verarbeitenden Gewerbe, wie z.B. in Deutschland, von größerer Bedeutung sein. Die Quantifizierung der geschätzten Auswirkungen ist jedoch schwierig und stellt daher eine Wissenslücke dar. Es scheint keine Modellstudien zu geben, die versuchen, die Auswirkungen zu quantifizieren, die die Ladeinfrastruktur auf die politische Akzeptanz des gesamten Politikmix haben kann.

Verteilungseffekte hängen mit der geografischen Platzierung und dem Zugang zusammen.

Gemeinden mit geringem Einkommen profitieren weniger von Anreizen für private Ladestationen (Subventionen sind oft regressiv), erhalten weniger private Investitionen, sind weniger über BEVs und E-Speicher informiert und haben weniger öffentliche Ladestationen (Fleming 2018; Min und Lee 2020, Zachmann et al. 2018, Bui et al. 2021, Sørensen et al. 2018). Auch ländliche Gemeinden sind in Bezug auf BEV-Versorgungsanlagen unterversorgt (Norman 2021). Die Kosten für öffentliche Ladestationen sind in den USA oft zwei bis drei Mal höher als die Kosten für Ladestationen zu Hause (Bauer et al. 2021), Mieter*innen sind oft auf das Laden am Straßenrand angewiesen (Lopez-Behar et al. 2019).

Verteilungseffekte können durch Designentscheidungen verbessert werden. Kalifornien verlangt zum Beispiel, dass 35% der Investitionen der Energieversorger in BEV-Versorgungsanlagen in unterversorgten Gemeinden fließen, basierend auf ethnischen, wirtschaftlichen, umwelt- und gesundheitsbezogenen Kriterien (Huether 2021). Städte können auch vorab genehmigte Ladestationen einrichten, um Investitionen in vorrangige Gemeinden zu fördern und antragsgebundene Ladestationen am Straßenrand zu finanzieren sowie einkommensabhängige finanzielle Unterstützung zu gewähren (Hsu et al. 2021). Bei Mehrfamilienhäusern könnten finanzielle Anreize mit der Bereitstellung von Ladestationen für Mieter*innen verknüpft werden, die Bauvorschriften könnten Ladestationen vorschreiben und Informationen für Vermieter*innen und Stadtverwaltungen bereitstellen, um den gegenwärtigen und zukünftigen Einsatz von Ladestationen zu unterstützen (Lopez-Behar et al. 2019).

Die Governance-Anforderungen beziehen sich in erster Linie auf die öffentlich-privaten Vertragsvereinbarungen. Auch die Frage, ob die Bereitstellung der Infrastruktur an lokale Behörden delegiert wird und inwieweit diese autonom sind, wird von Bedeutung sein. Informationen über die technischen Kapazitäten der Infrastruktur und den Finanzierungsbedarf werden eine wichtige Rolle spielen. Die Ausgestaltung des Instruments zur Abmilderung der oben genannten Verteilungswirkungen erfordert einen moderaten Informations- und Verwaltungsaufwand. Der Kompromiss zwischen einer starken Beteiligung des Staates am Mikromanagement der Einführung besteht darin, dass der Staat möglicherweise nicht über das Fachwissen oder die Kompetenzen verfügt, die im privaten Sektor vorhanden sind, und die Verteilung der Ressourcen daher möglicherweise nicht so effizient ist. Andererseits besteht bei geringerer staatlicher Beteiligung eine

Informationsasymmetrie zwischen dem Staat und dem Privatsektor, was zu einer Überallokation von Ressourcen führen kann.

Anhang [III] – Strenge Anforderungen an die Instrumente der Berufsbildungsabschnitte

Instrument	Effekt erster Ordnung	Beschreibung des Instruments	Metrik (Einheit)	Stringenz		Fokus: CO ₂ -Preise Kraftstoffe			Fokus: Fahrzeugbestand			Mix		
				0%	100%	2023-2025 (Niedrig-Hoch)	2023-2025 (Niedrig-Hoch)	2023-2025 (Niedrig-Hoch)	2023-2025 (Niedrig-Hoch)	2023-2025 (Niedrig-Hoch)	2023-2025 (Niedrig-Hoch)	2023-2025 (Niedrig-Hoch)	2023-2025 (Niedrig-Hoch)	
CO ₂ -Preis	Rekluzierung der Verbrenner-Nutzung	Der Preismechanismus erhöht die Kraftstoffkosten. Effekte erster Ordnung reduzieren direkt die Nutzung des Verbrenner-Bestands. Auswirkungen zweiter Ordnung auf Kauf- und Investitionsentscheidungen führen zur Verbreitung von BEV und zum Ausbau der Infrastruktur, aber die Wirksamkeit ist weniger sicher.	Preis für Kohlenstoff im Handelsmechanismus (Euro/Tonne CO ₂)	0	500	16-60	18-78	27-100	7-11	11-27	16-45	11-23	14-43	23-80
Malus (Steuer beim Kauf eines neuen Fahrzeugs)	BEV-Verkäufe	Hybrider Mechanismus, der den Kauf von weniger effizienten oder emissionsintensiven Fahrzeugen mit zunehmenden steuerlichen Sanktionen belegt und so den Kauf von Elektroautos begünstigt.	Fahrzeugausschuss im steuerpflichtigen Bereich (CO ₂ g/km)	200	0	k.A.	k.A.	k.A.	25-64	35-100	86-100	25-64	35-100	86-100
Malus (Kfz-Steuer auf bestehende Fahrzeuge)	Verbrenner-Abwrackung	Hybridmechanismus, der den Betrieb älterer, weniger effizienter Verbrenner-Fahrzeuge aus dem Bestand mit zunehmenden finanziellen Sanktionen belegt.	Fahrzeugausschuss im steuerpflichtigen Bereich (CO ₂ g/km)	200	0	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	0-17	0-50	k.A.	k.A.	k.A.
Null-Emissions-Fahrzeug-Verpflichtung	BEV-Verkäufe	Regulierungsmechanismus, der den Herstellern eine Quote für den Prozentsatz der Verkäufe auferlegt, die kohlenstofffrei sein müssen. Angebotsseitiger Mechanismus mit wirtschaftlichen Merkmalen durch die Nutzung von handelbaren Zertifikaten zwischen Herstellern.	Vorgeschriebene Anzahl der Null-Emissions-Fahrzeug-Verkäufe, die die Hersteller erreichen müssen (% der leichten Nutzfahrzeugs-Verkäufe)	0	100	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	40-100	100	k.A.	k.A.	k.A.
Leistungsstandards	BEV-Verkäufe	Regulierungsnormen, die die CO ₂ Intensität von Neufahrzeugen zum Ziel haben. Gilt für Hersteller und basiert auf der erwarteten Emissionsleistung von Neufahrzeugen.	Anforderungen an die Emissionsleistung der Fahrzeugflotte (CO ₂ g/km)	130	0	27 - 38	38 - 62	62 - 100	27 - 38	38 - 62	62 - 100	27 - 38	38 - 62	62 - 100
Bonus/Subvention (für neue Elektroauto-Käufe)	Elektroauto-Verkäufe	Kaufsubvention zur Senkung des Marktpreises für die Verbraucher. Ziel ist es, die frühzeitige Verbreitung einer neuen Technologie zu fördern, indem sie unter dem Selektionsdruck des Marktes wettbewerbsfähig gemacht wird.	Höchstzuschuss pro Fahrzeug (Euro/Fahrzeug)	0	6000	k.A.	k.A.	k.A.	20 - 57	0 - 31	k.A.	20 - 57	0 - 31	k.A.
Abwrackprämie (Bonus)	Verbrenner-Abwrackung	Subvention zur Förderung der Ausmusterung alter Verbrenner aus dem Fahrzeugbestand. Kann Verteilungseffekte abmildern, die mit der Abschreibung älterer Verbrenner verbunden sind, oder wenn es steuerliche Sanktionen für die Nutzung gibt.	Höchstzuschuss pro Fahrzeug (Euro/Fahrzeug)	0	6000	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	12-42	7 - 22	k.A.	k.A.	k.A.
Bereitstellung öffentlicher Infrastruktur	Erhöhung der Elektroauto-Nutzung	Öffentliche Mittel für die Bereitstellung von Infrastrukturen, die in erster Linie der frühzeitigen Bereitstellung eines Netzwerks an Ladestationen dienen, die auf die Reichweitenangst und Kurzsichtigkeit der Verbraucher abzielen.	Ambitioniertes Niveau für die staatliche Bereitstellung von öffentlicher Ladeinfrastruktur (angestrebte Anzahl an Ladestationen)	0	1Mio.	k.A.	k.A.	k.A.	100	100	k.A.	100	100	k.A.

★ Kerninstrument ⚙️ Unterstützendes Instrument

Tabelle 13: Zusammenfassende Tabelle der verwendeten Instrumente und Stringenzbereiche für die einzelnen Politikpfade.

III.1. Preisgestaltung

Preisgestaltung für CO₂ (Kraftstoff)

Wir gehen von der Einführung eines CO₂-Preissystems (Emissionshandel oder –steuer) aus, das den gesamten Verkehrssektor erfasst. Bei unseren Politikpfaden stützen wir uns auf bestehende Modellierungsarbeiten, um die obere und untere Bandbreite der CO₂-(Kraftstoff-)Preise zu schätzen.

Diese Schätzungen wurden für das Jahr 2021 veröffentlicht und berücksichtigen nicht die Auswirkungen der jüngsten Energiekrise aufgrund der jüngsten Ereignisse in Russland und der Ukraine. Abhängig von den weiteren Entwicklungen auf den Energiemärkten können die in unseren Pfaden dargestellten Preise daher (zumindest vorübergehend) zu hoch angesetzt sein, da die Kraftstoffmarktpreise höher sein könnten als zuvor angenommen.

Unsere Werte für die CO₂-Preisentwicklung beruhen auf den REMIND Ariadne Modellierungsszenarien (Pietzcker et al. 2021) und insbesondere auf den folgenden Szenarien:

- Das obere Ende der Skala: Fit für 55 Lastenteilung, hohe Kosten
- Mittel: Fit-for-55 Lastenteilung, zentrales Kostenszenario
- Unteres Ende der Skala: Effizientes ETS vs. Nicht-ETS-Lastenteilung, Low-Cost-Szenario

III.2. PHEVs

Malus (Kfz-Steuer bei Neukauf)

Bei diesem Mechanismus handelt es sich um ein hybrides Instrument, d. h. einen Preismechanismus mit einer regulatorischen Komponente. Ein steigendes Preissignal wird als Anreiz für eine Verhaltensänderung (weniger Kauf von umweltfreundlicheren Fahrzeugen) genutzt. Wir orientieren uns an der Ausgestaltung des derzeit in Frankreich angewandten Preis-Malus, bei dem ab einem Mindestwert von 128 g/km CO₂ exponentiell steigende Preise für Fahrzeuge bis zu einem Höchstwert von 200 g/km CO₂ erhoben werden.

Die Logik des Malus für Neufahrzeuge besteht darin, Anreize für eine Erhöhung des Marktanteils von BEVs bei Neuanschaffungen von Pkw zu schaffen. Die geschätzten Bandbreiten enthalten einen gewissen Grad an Flexibilität, zielen aber grob darauf ab, bis etwa 2030 einen Marktanteil von 100% für BEV bei Neuanschaffungen zu erreichen, was mit dem geschätzten Marktwachstum übereinstimmt (Anhang [IV]). Eine hochwirksame Gestaltungsoption würde die Skalierung des französischen Mechanismus nachahmen (Einführung eines Preises bei einem Mindestschwellenwert – d.h. 128 gCO₂/Km -, der exponentiell mit der Emissionsintensität bis zu einem oberen Schwellenwert ansteigt, ab dem der Höchstpreis für alle Fahrzeuge gilt, die diesen Wert überschreiten), aber auch eine Mindestgrundsteuer einführen, die für alle ICE-Fahrzeuge gilt. Diese wäre vergleichsweise gering (z.B. 500-1000 EUR), würde aber den Kaufpreis von BEVs im Vergleich zu ICE-Fahrzeugen sofort und ohne Subventionen senken. Der andere große Vorteil ist, dass der Malus bei dieser Ausgestaltung deutlich mehr Einnahmen für den Staat generieren

würde, die zur Unterstützung anderer Marktinstrumente (z.B. Subventionen), zur gezielten Förderung von Netzwerkexternalitäten (F&E und/oder Infrastrukturförderung) oder zur direkten Finanzierung des Ausbaus und der Subventionierung des öffentlichen Verkehrs verwendet werden könnten.

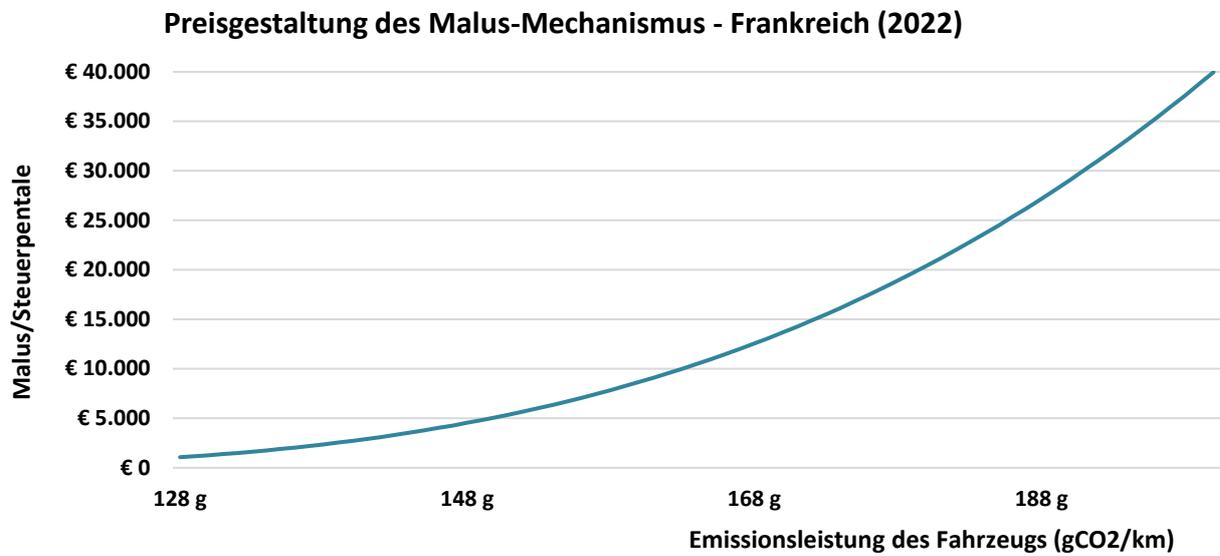


Abbildung 20- Derzeitige Gestaltung des Malus-Mechanismus in Frankreich. Daten von République Française (2022). Quelle: Eigene Darstellung

Wir gehen von folgenden Minimal-/Maximalstringenzbereichen für die Umsatzsteuer/Malus aus:

- Stringenzbereich 0-200 g/km CO₂
- Einschließlich Fahrzeugreichweite - inkrementell - basierend auf gCO₂
- Die Stringenz nimmt mit der Zeit exponentiell zu, um ein langsames Starten und eine sukzessive Ausweitung zu ermöglichen
- Mindestschwelle ist unterer Preispunkt
 - o Beginnt bei 100-110 g/km im Jahr 2023
 - o Die Mindestschwelle nähert sich mit der Zeit 0 gCO₂
 - o Anstieg auf 100% bis 2027-2028
 - o Preis steigt exponentiell mit der Emissionsintensität
- Obere Schwelle ist höchster Steuersatz
 - o Gilt für die meisten umweltschädlichen Autos
 - o Beginnt bei 160-180 g/km im Jahr 2023
 - o Anstieg auf 100%ige Stringenz um 2030-2032
 - o Höchstpreis: 50.000 EUR

Unter „Mix“-Pfad

- Stringenzbereich bis etwa 100 % für den oberen Schwellenwert bis 2030-32
- Dieser Entwurf beinhaltet einen Basissteuersatz (z.B. 500-1000 EUR) bis zu einer Mindestschwelle für die Skalierung (z.B. 100 gCO₂ /Km).
- Der Grundsteuersatz macht das Instrument wirksam, da er die relativen Kosten von BEV senkt; außerdem führt er zu deutlich höheren Einnahmen
- Implementierung mit Basissteuersatz kann geringere Akzeptanz haben als ein Design ohne (verwendet in "Fokus: Fahrzeugbestand")

Im Pfad „Fokus: Bestand“

- Gleicher Stringenzbereich wie „Mix“
- Es gibt keinen Basissteuersatz.
- Flankiert das ZEV-Mandat, verhindert potenzielle Leckage und sorgt für zusätzliche Einnahmen.

Malus (jährliche Kraftfahrzeugsteuer für eigene Fahrzeuge)

Dieses Instrument beruht auf demselben Prinzip wie der Malus für Neufahrzeuge, zielt aber auf die Verringerung der THG-Emissionen des vorhandenen Fahrzeugbestands ab, in erster Linie durch die Ausmusterung weniger effizienter Fahrzeuge. Die Bandbreite reicht von einem niedrigen Preis (z.B. 100-500 EUR), der bei einer Mindestschwelle für die Emissionsintensität eingeführt wird, bis zu einer oberen Schwelle, die mit einer hohen steuerlichen Sanktion verbunden ist, um ältere und umweltschädlichere Fahrzeuge aus dem Verkehr zu ziehen.

Die Preisspanne ist relativ niedriger als der Malus für Neufahrzeuge, gilt aber jährlich. Die Zulassungssteuer wird beim Kauf fällig, die Kraftfahrzeugsteuer jedoch jährlich, so dass selbst bei einer niedrigeren relativen Preisgestaltung ein starker Anreiz zur Verhaltensänderung zu erwarten ist.

Eine mögliche indikative Preisspanne könnte sein:

- Mindestbetrag: 200-500 EUR
- Obere Schwelle: 5.000-10.000 EUR.

Zu Vergleichszwecken wird der Malus für bestehende Fahrzeuge in demselben strengen Bereich wie der Malus für Neufahrzeuge dargestellt. Dies ist der Bereich von 200 g/km bis 0 g/km.

Dieses Instrument wurde bisher noch nicht in dem hier vorgeschlagenen Umfang und mit den hier vorgeschlagenen Zielen umgesetzt. Folglich besteht große Unsicherheit über die Verteilungswirkungen dieses Mechanismus, zumal er in erster Linie auf ältere, weniger effiziente Fahrzeuge abzielt, die tendenziell eher den unteren Einkommensgruppen zuzurechnen sind. Dementsprechend wird eine Abwrackprämie befürwortet, die auf die vom Malus am stärksten Betroffenen ausgerichtet ist (z.B. einkommensschwache Landbevölkerung mit relativ unelastischer Pkw-

Nachfrage aufgrund geringerer Alternativen), um die schlimmsten potenziellen Auswirkungen zu verringern. Dieser Mechanismus ist jedoch mit großer Unsicherheit behaftet.

Im Pfad "Fokus: Bestand"

- Mindestschwellenwert ab 2025 auf niedrigem Niveau (möglicherweise um 200 g/km)
- Ziel ist es, zunächst die Zahl der älteren, ineffizienten Fahrzeuge zu verringern
- Oberer Schwellenwert (hohe jährliche Kraftfahrzeugsteuer, z.B. 5.000-10.000 EUR), der um 2030 eingeführt wird und um 2040 auf 100%ige Stringenz ansteigt.

III. 3. Vorschriften

Wir verwenden in unserem Mix zwei Regulierungsinstrumente. Bei diesen Instrumenten handelt es sich um die CO₂-Emissionsstandards für die EU-Fahrzeugflotte, und im Rahmen des "Fokus: Fahrzeugbestand"-Mix schlagen wir ein ZEV-Mandat vor. Diese Instrumente haben unterschiedliche Indikatoren hinsichtlich ihrer Stringenz.

EU-Fahrzeugflotte CO₂-Emissionsstandards

Diese Verordnung ist bereits umgesetzt und bleibt in allen Szenarien in Kraft. Sie wird jedoch in allen unseren alternativen Pfaden als residual/redundant betrachtet, da sie nicht viel zur Erreichung der Ziele für 2030 beiträgt. Der Bereich der Stringenz für dieses Instrument beträgt:

- Niedrige Grenzwerte sind der Ausgangspunkt - 130g/km - das erste umgesetzte Ziel.
- Höchste Stringenz ist 0g/km - eine dekarbonisierte Flotte - oder das Verbot von ICE-Fahrzeugen im Jahr 2035

ZEV-Mandat

Der Prozentsatz der Stringenz korreliert einfach mit dem Anteil der neuen BEVs, die die Hersteller verkaufen müssen.

- Prozentualer Anteil = Absatzmarktanteil
- Wir beginnen im Jahr 2025, um eine gewisse Vorlaufzeit und die Vorbereitung der Produktionslinien für die Hersteller zu ermöglichen.
- Wir beginnen mit 40%, was bis 2025 erreichbar sein sollte, und erhöhen dann bis 2030 auf 100%.
- Diese Spanne wurde auf der Grundlage der Marktraten und der kumulativen Einführungsraten in ANHANG [IV] näherungsweise ermittelt.

III. 4. Zuschüsse

Bei den Subventionen, die in unseren Pfaden verwendet werden, handelt es sich um den derzeitigen Umweltbonus (+ Innovationsprämie), einen "Bonus", der neu gestaltet wurde, um Mitnahmeeffekte zu verringern, und einen Abwrackmechanismus. Die Höchstgrenze für diese Instrumente liegt bei 6000 EUR pro gekauftem Fahrzeug, was dem derzeit gewährten Subventionbetrag entspricht. Das Minimum ist Null. In allen unseren Szenarien nimmt die Stringenz der

Subventionen im Laufe der Zeit ab, wenn die Preise für BEVs sinken. Die angegebenen Bandbreiten erlauben eine gewisse Anpassung/Flexibilität auf der Grundlage der Marktakzeptanz und der Kosten für die Herstellung von BEVs.

Umweltbonus + Innovationsprämie

Der derzeitige Höchstwert der BEV-Subvention beträgt 6000 EUR:

- Insgesamt 9000 EUR bestehend aus 6000 EUR staatlichen Anteilen und zusätzlichen 3000 EUR der Hersteller.
- Dieser Wert wird bis Ende 2022 gelten.
- Ab 2023 soll die Innovationsprämie abgeschafft und der Staatsanteil auf 4000 EUR (voraussichtlich) reduziert werden.

Bonus

Unsere Pfade deuten darauf hin, dass die Subvention exponentiell abnehmen sollte, nachdem sie im Jahr 2023 reduziert wurde. Bei den Pfaden „Mix“ und „Fokus: Bestand“ gibt es eine Spanne, die Flexibilität bei der Kalibrierung der Subvention als Reaktion auf Herstellungspreise und Marktsensitivitäten ermöglicht, um die BEV-Ziele zu erreichen.

Abwrackung

Ziel der Abwrackprämie ist es, den Ausstieg aus der Verbrennungsmotorisierung zu beschleunigen, wenn keine ausreichenden Preise für CO₂-haltige Kraftstoffe erhoben werden. Außerdem sollen die schlimmsten Verteilungseffekte des Malus (bestehende Fahrzeuge) verringert werden, indem gezielte Subventionen für diejenigen bereitgestellt werden, die sich das Autofahren nicht leisten können (sie können sich die jährliche Kfz-Steuer nicht leisten), aber auch nicht in der Lage sind, ein BEV zu kaufen. Auf diese Weise soll auch der erwartete erheblich geringere Wert älterer ICE-Fahrzeuge angesichts der hohen steuerlichen Sanktionen für die Verkehrszulassung teilweise kompensiert werden. Der Mechanismus soll sowohl für gebrauchte BEVs als auch für den Kauf von Neuwagen gelten (in diesem Fall würde er mit dem derzeitigen strengen „Bonus“-Wert kombiniert werden).

Anmerkung: Die Höchstgrenze für die Abwrackprämie (max. 3000 EUR) ist niedriger als die für den Bonus (6000 EUR), aber alle Subventionen werden zur besseren Vergleichbarkeit auf der gleichen Skala dargestellt.

III. 5. Infrastruktur

Ein Indikator für die Stringenz der Infrastrukturbereitstellung ist nicht so klar definiert wie andere Instrumentenarten, vor allem weil die Infrastrukturbereitstellung ein Maßnahmenpaket ist, das sowohl auf nationaler als auch auf regionaler Ebene umgesetzt wird. Daher haben wir uns entschieden, die in den Infrastrukturplänen festgelegten Ausbauziele als Ersatzindikator für die Stringenz heranzuziehen, und nicht die zahlreichen Maßnahmen, die in diesem Politikpaket enthalten sind. Wir betrachten das derzeitige Ziel von 1 Mio. Ladepunkten als die höchste Menge, die in jedem Szenario benötigt wird, und stellen dies daher als 100%ige Stringenz dar.

Der Unterschied zwischen den verschiedenen Wegen besteht darin, wie lange dieses Niveau der Ambitionen/Bereitstellung aufrechterhalten wird. Wenn also die staatliche Infrastrukturförderung im Jahr 2025 ausläuft, entspricht dies etwa 0,375 (drei der acht Jahre) der Bereitstellung, die erforderlich ist, um 1 Mio. zu erreichen, was ungefähr 356250 Ladepunkten entspricht.

Anhang [IV] - Illustration: Marktwachstum von BEVs und kumulativer Einsatz (Skalierung des ZEV-Mandats)

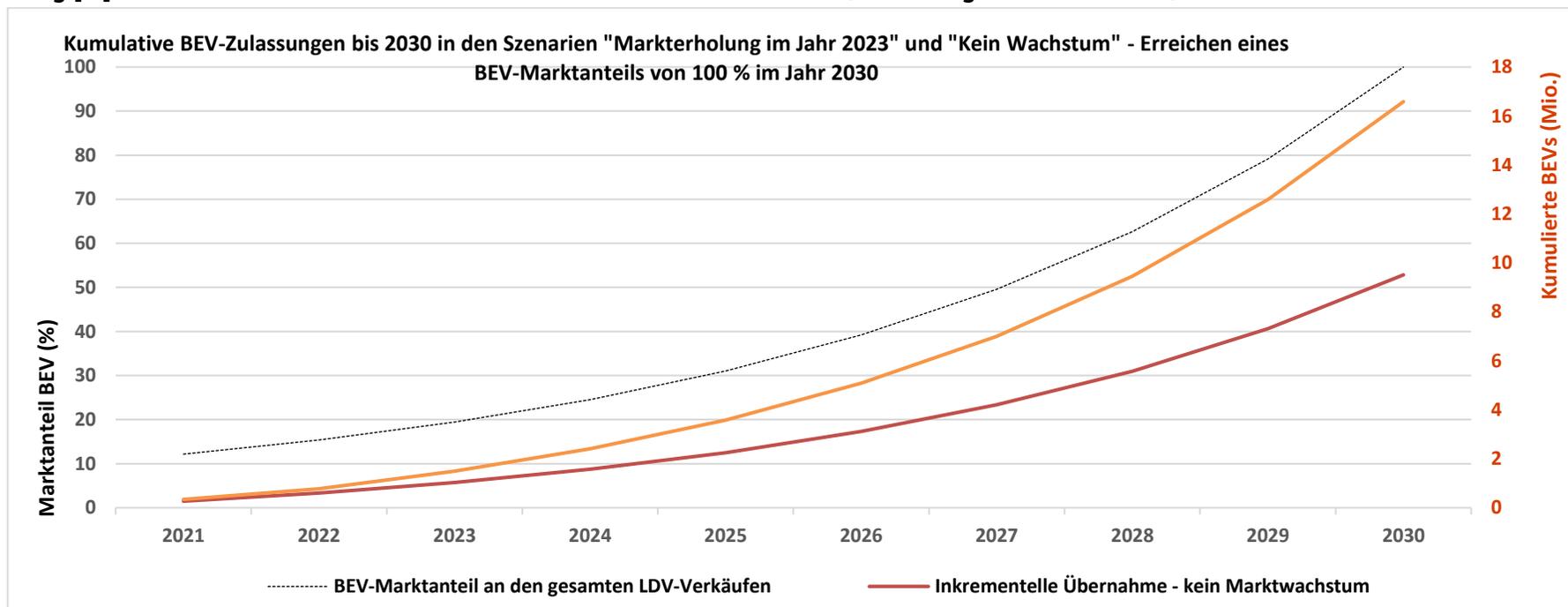


Abbildung 21- Beispiel für die Marktwachstumsrate von BEVs und die kumulative Verbreitung bis 2030. Quelle: Eigene Darstellung

Diese Abbildung untersucht die jährlichen BEV-Verkaufsanteile, die erforderlich sind, um das Ziel von 15 Mio. BEVs zu erreichen, für verschiedene jährliche Gesamtabsatzzahlen von Pkw. Während der Anteil der neu verkauften BEVs in beiden hier untersuchten Szenarien identisch ist (gestrichelte Linie), unterscheiden sie sich durch die angenommenen Gesamtverkäufe pro Jahr: (A) Das jährliche Verkaufsvolumen aller neuen Pkw bleibt in etwa auf dem derzeit beobachteten Niveau (~2,8 Mio. pro Jahr - d.h. "kein Marktwachstum"); und (B) ein "Markterholungsszenario 2023", bei dem der Gesamtabsatz von Pkw im Jahr 2023 wieder das Niveau von vor der Covid-19-Pandemie erreicht (~3,7 Mio. pro Jahr, ansteigend auf 4 Mio. bis 2030). In Szenario (A), in dem sich der Gesamtabsatz von Pkw nicht erholt, wird das 15-Mio.-Ziel nicht erreicht, wenn der Marktanteil von BEVs nicht noch schneller wächst als hier angegeben. In Szenario (B) wird das kumulative Ziel von 15 Mio. BEVs nur leicht überschritten. Szenario (B) entspricht somit in etwa der Mindestwachstumsrate des BEV-Marktanteils, die erforderlich ist, um das Ziel von 15 Mio. BEVs zu erreichen, wenn sich der Markt wieder auf das Niveau von vor der Krise erholt.

Literaturangaben für den Anhang

- Aghion, P., Dechezleprêtre, A., Hémous, D., Martin, R., & Van Reenen, J. (2016). Carbon Taxes, Path Dependency, and Directed Technical Change: Evidence from the Auto Industry. *Journal of Political Economy*, 124(1), 1–51. <https://doi.org/10.1086/684581>
- Agostini, C. A., & Jiménez, J. (2015). The distributional incidence of the gasoline tax in Chile. *Energy Policy*, 85, 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.010>
- Andersson, J. J. (2019). Carbon Taxes and CO2 Emissions: Sweden as a Case Study. *American Economic Journal: Economic Policy*, 11(4), 1–30. <https://doi.org/10.1257/pol.20170144>
- Antweiler, W., & Gulati, S. (2016). Frugal Cars or Frugal Drivers? How Carbon and Fuel Taxes Influence the Choice and Use of Cars. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2778868>
- aus dem Moore, N., Brehm, J., & Gruhl, H. (2021). Driving Innovation? Carbon Tax Effects in the Swedish Transport Sector. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3995632>
- AVD (2021). Benzinpreise in Europa. <https://avd.de/wissensbasis/rund-ums-auto/artikel/benzinpreise-europa#:~:text=Aktuell%20liegt%20die%20Energiesteuer%20bei,einen%20Liter%20Benzin%20in%20Deutschland.&text=Seit%202021%20bezahlen%20Unternehmen%2C%20die,zun%C3%A4chst%2025%20Euro%20pro%20Tonne>
- Axsen, J., & Wolinetz, M. (2018). Reaching 30% plug-in vehicle sales by 2030: Modeling incentive and sales mandate strategies in Canada. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 596–617. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.09.012>
- Axsen, J., Plötz, P., & Wolinetz, M. (2020). Crafting strong, integrated policy mixes for deep CO2 mitigation in road transport. *Nature Climate Change*, 10(9), 809–818. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0877-y>
- Azar, C., & Sandén, B. A. (2011). The elusive quest for technology-neutral policies. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 135–139. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.03.003>
- BAFA (2021). Elektromobilität (Umweltbonus). Monatlich aktualisierte Zwischenbilanz des Förderprogramm Elektromobilität (Umweltbonus). https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/emob_zwischenbilanz.html
- Bailey, J., Miele, A., & Axsen, J. (2015). Is awareness of public charging associated with consumer interest in plug-in electric vehicles? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 36, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.001>
- Bakker, S., & Jacob Trip, J. (2013). Policy options to support the adoption of electric vehicles in the urban environment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.07.005>
- Baldenius, T., Bernstein, T., Kalkuhl, M., von Kleist-Retzow, M., & Koch, N. (2021). *Ordnungsrecht oder Preisinstrumente? Zur Verteilungswirkung von Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr*.
- Bär, H., Leisinger, C., & Neubert, M. (2021). *Deutscher Aufbau-und Resilienzplan: verpasste Chance für eine klimafreundliche und soziale Mobilität? Aktualisierte*. Abgerufen: www.foes.de
- 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(3), 667–699. <https://doi.org/10.1257/aer.99.3.667>
- Bhardwaj, C., Axsen, J., Kern, F., & McCollum, D. (2020). Why have multiple climate policies for light-duty vehicles? Policy mix rationales, interactions and research gaps. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 135, 309–326. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.03.011>
- Bjerkkan, K. Y., Nørbech, T. E., & Nordtømme, M. E. (2016). Incentives for promoting Battery Electric Vehicle (BEV) adoption in Norway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 43, 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.12.002>
- Borenstein, S., & Davis, L. W. (2016). The Distributional Effects of US Clean Energy Tax Credits. *Tax Policy and the Economy*, 30(1), 191–234. <https://doi.org/10.1086/685597>

- Bristow, A. L., Wardman, M., Zanni, A. M., & Chintakayala, P. K. (2010). Public acceptability of personal carbon trading and carbon tax. *Ecological Economics*, 69(9), 1824–1837. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.04.021>
- Brückmann, G., & Bernauer, T. (2020). What drives public support for policies to enhance electric vehicle adoption? *Environmental Research Letters*, 15(9). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab90a5>
- Bui, A., Slowik, P., & Lutsey, N. (2021). *Los Angeles electric vehicle charging infrastructure needs and implications for zero-emission area planning. ICCT White Paper.*
- Calel, R. (2020). Adopt or Innovate: Understanding Technological Responses to Cap-and-Trade. *American Economic Journal: Economic Policy*, 12(3), 170–201. <https://doi.org/10.1257/pol.20180135>
- Calel, R., & Dechezleprêtre, A. (2016). Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European Carbon Market. *Review of Economics and Statistics*, 98(1), 173–191. https://doi.org/10.1162/REST_a_00470
- Callan, T., Lyons, S., Scott, S., Tol, R. S. J., & Verde, S. (2009). The distributional implications of a carbon tax in Ireland. *Energy Policy*, 37(2), 407–412. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.08.034>
- Chandra, A., Gulati, S., & Kandlikar, M. (2010). Green drivers or free riders? An analysis of tax rebates for hybrid vehicles. *Journal of Environmental Economics and Management*, 60(2), 78–93. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2010.04.003>
- Chiroleu-Assouline, M., & Fodha, M. (2014). From regressive pollution taxes to progressive environmental tax reforms. *European Economic Review*, 69, 126–142. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2013.12.006>
- Davis, L. W., & Knittel, C. R. (2019). Are Fuel Economy Standards Regressive? *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 6(S1), S37–S63. <https://doi.org/10.1086/701187>
- DeShazo, J. R., Sheldon, T. L., & Carson, R. T. (2017). Designing policy incentives for cleaner technologies: Lessons from California’s plug-in electric vehicle rebate program. *Journal of Environmental Economics and Management*, 84, 18–43. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.01.002>
- Destatis (2021). Tax revenue Cash tax revenue by type of tax after tax redistribution. <https://www.destatis.de/EN/Themes/Government/Taxes/Tax-Revenue/Tables/cash-tax-revenue-after-tax-redistribution.html;j>
- Ecoscore (2022). How to calculate the CO2 emission from the fuel consumption? <https://ecoscore.be/en/info/ecoscore/co2#:~:text>
- Eliasson, J., & Mattsson, L.-G. (2006). Equity effects of congestion pricing. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(7), 602–620. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2005.11.002>
- Eriksson, L., Garvill, J., & Nordlund, A. M. (2008). Acceptability of single and combined transport policy measures: The importance of environmental and policy specific beliefs. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(8), 1117–1128. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.03.006>
- Euractiv (2019). German corporations divided on carbon price. <https://www.euractiv.com/section/energy/news/german-corporations-divided-on-carbon-price/>
- Fang, Y., Wei, W., Mei, S., Chen, L., Zhang, X., & Huang, S. (2020). Promoting electric vehicle charging infrastructure considering policy incentives and user preferences: An evolutionary game model in a small-world network. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120753. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120753>
- Fleming, K. L. (2018). *Social Equity Considerations in the New Age of Transportation: Electric, Automated, and Shared Mobility.* www.sciencepolicyjournal.org JSPG (Vol. 13). Abgerufen von www.sciencepolicyjournal.org

- Fox, J., Axsen, J., & Jaccard, M. (2017). Picking Winners: Modelling the Costs of Technology-specific Climate Policy in the U.S. Passenger Vehicle Sector. *Ecological Economics*, 137, 133–147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.002>
- Frondel, M., Helmers, V., Mattauch, L., Pahle, M., Sommer, S., Schmidt, C., & Edenhofer, O. (2021). *Akzeptanz der CO2-Bepreisung in Deutschland: Evidenz für private Haushalte vor Einführung des CO2-Preises*. Abgerufen: www.rwi-essen.de
- Fuss, S., Flachsland, C., Koch, N., Kornek, U., Knopf, B., & Edenhofer, O. (2018). A Framework for Assessing the Performance of Cap-and-Trade Systems: Insights from the European Union Emissions Trading System. *Review of Environmental Economics and Policy*, 12(2), 220–241. <https://doi.org/10.1093/reep/rey010>
- Gallagher, K. S., & Muehlegger, E. (2011). Giving green to get green? Incentives and consumer adoption of hybrid vehicle technology. *Journal of Environmental Economics and Management*, 61(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2010.05.004>
- 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), 103–134. <https://doi.org/10.1007/s10640-016-0067-6>
- Greene, D. L., & Ji, S. (2016). *Policies for Promoting Low-Emission Vehicles and Fuels: Lessons from Recent Analyses*. Tennessee. Abgerufen: <http://bakercenter.utk.edu/publications/>
- Greene, D. L., Park, S., & Liu, C. (2014). Public policy and the transition to electric drive vehicles in the U.S.: The role of the zero emission vehicles mandates. *Energy Strategy Reviews*, 5, 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2014.10.005>
- Handelsblatt (2021). „Hier wird zu kurz gedacht“: BMW-Chef lehnt vorzeitige Verbrennerverbote ab. <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/handelsblatt-auto-gipfel-2021-hier-wird-zu-kurz-gedacht-bmw-chef-lehnt-vorzeitige-verbrennerverbote-ab/27785384.html#:~:text=Handelsblatt%20Auto%2DGipfel%202021%20%E2%80%9EHier,noch%20lange%20nicht%20am%20Ende.&text>
- Hardman, S., & Tal, G. (2021). Understanding discontinuance among California’s electric vehicle owners. *Nature Energy*, 6(5), 538–545. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00814-9>
- Hardman, S., Chandan, A., Tal, G., & Turrentine, T. (2017). The effectiveness of financial purchase incentives for battery electric vehicles – A review of the evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1100–1111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.255>
- Hardman, S., Jenn, A., Tal, G., Axsen, J., Beard, G., Daina, N., ... Witkamp, B. (2018). A review of consumer preferences of and interactions with electric vehicle charging infrastructure. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 508–523. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.04.002>
- Holland, S. P., Mansur, E. T., Muller, N. Z., & Yates, A. J. (2016). Are There Environmental Benefits from Driving Electric Vehicles? The Importance of Local Factors. *American Economic Review*, 106(12), 3700–3729. <https://doi.org/10.1257/aer.20150897>
- Hsu, C.-W., Slowik, P., & Lutsey, N. (2021). *City charging infrastructure needs to reach electric vehicle goals: The case of Seattle*. Abgerufen: www.theicct.org
- Huether, P. (2021). *Siting Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) With Equity In Mind*. Abgerufen: www.aceee.org/white-paper/2021/03/siting-electric-vehicle-
- ICCT (2021). *Charging up America: Assessing the growing need for U.S. charging infrastructure through 2030. ICCT - White Paper*.
- Irvine, I. (2017). Electric Vehicle Subsidies in the Era of Attribute-Based Regulations. *Canadian Public Policy*, 43(1), 50–60. <https://doi.org/10.3138/cpp.2016-010>
- Jaccard, M. K., Nyboer, J., Bataille, C., & Sadownik, B. (2003). Modeling the Cost of Climate Policy: Distinguishing Between Alternative Cost Definitions and Long-Run Cost Dynamics. *The Energy Journal*, 24(1). <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol24-No1-3>

- Jacobsen, M. R. (2013). Evaluating US Fuel Economy Standards in a Model with Producer and Household Heterogeneity. *American Economic Journal: Economic Policy*, 5(2), 148–187. <https://doi.org/10.1257/pol.5.2.148>
- Jaensirisak, S., Wardman, M., & May, A. D. (2005). Explaining Variations in Public Acceptability of Road Pricing Schemes. *Journal of Transport Economics and Policy*, 39(2), 127–153. Abgerufen: <http://www.jstor.org/stable/20053957>
- Jenn, A., Azevedo, I. L., & Ferreira, P. (2013). The impact of federal incentives on the adoption of hybrid electric vehicles in the United States. *Energy Economics*, 40, 936–942. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.07.025>
- Jenn, A., Azevedo, I. L., & Michalek, J. J. (2019). Alternative-fuel-vehicle policy interactions increase U.S. greenhouse gas emissions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 124(September 2017), 396–407. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.04.003>
- Jenn, A., Springel, K., & Gopal, A. R. (2018). Effectiveness of electric vehicle incentives in the United States. *Energy Policy*, 119, 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.065>
- Jiang, C., Zhang, Y., Zhao, Q., & Wu, C. (2020). The Impact of Purchase Subsidy on Enterprises' R&D Efforts: Evidence from China's New Energy Vehicle Industry. *Sustainability*, 12(3), 1105. <https://doi.org/10.3390/su12031105>
- Joas, F., Pahle, M., Flachsland, C., & Joas, A. (2016). Which goals are driving the Energiewende? Karplus, V. J., Paltsev, S., Babiker, M., & Reilly, J. M. (2013). Should a vehicle fuel economy standard be combined with an economy-wide greenhouse gas emissions constraint? Implications for energy and climate policy in the United States. *Energy Economics*, 36, 322–333. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.09.001>
- Klier, T., & Linn, J. (2010). The Price of Gasoline and New Vehicle Fuel Economy: Evidence from Monthly Sales Data. *American Economic Journal: Economic Policy*, 2(3), 134–153. <https://doi.org/10.1257/pol.2.3.134>
- Klitsie, J. B., Price, R. A., & de Lille, C. S. H. (2019). Overcoming the Valley of Death: A Design Innovation Perspective. *Design Management Journal*, 14(1), 28–41. <https://doi.org/10.1111/dmj.12052>
- Knittel, C. R., & Sandler, R. (2018). The Welfare Impact of Second-Best Uniform-Pigouvian Taxation: Evidence from Transportation. *American Economic Journal: Economic Policy*, 10(4), 211–242. <https://doi.org/10.1257/pol.20160508>
- Koalitionsvertrag (2021). MEHR FORTSCHRITT WAGEN BÜNDNIS FÜR FREIHEIT, GERECHTIGKEIT UND NACHHALTIGKEIT. KOALITIONSVERTRAG 2021 — 2025. ZWISCHEN DER SOZIALDEMOKRATISCHEN PARTEI DEUTSCHLANDS (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN UND DEN FREIEN DEMOKRATEN (FDP). p.62f, https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf
- Lehmann, P. (2012). Justifying a policy mix for pollution control: A review of economic literature. *Journal of Economic Surveys*, 26(1), 71–97. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2010.00628.x>
- Lévay, P. Z., Drossinos, Y., & Thiel, C. (2017). The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership. *Energy Policy*, 105, 524–533. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.054>
- Levi, S., Wolf, I., Flachsland, C., Koch, N., Koller, F., & Edmondson, D. (2021). *Klimaschutz und Verkehr: Zielerreichung nur mit unbequemen Maßnahmen möglich Ariadne-Analyse*.
- Levinson, D. (2010). Equity Effects of Road Pricing: A Review. *Transport Reviews*, 30(1), 33–57. <https://doi.org/10.1080/01441640903189304>
- 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. <https://doi.org/10.1086/689702>
- Lin, Z., & Greene, D. L. (2011). Promoting the market for plug-in hybrid and battery electric vehicles. *Transportation Research Record*, (2252), 49–56. <https://doi.org/10.3141/2252-07>

- Linn, J. (2016). The Rebound Effect for Passenger Vehicles. *The Energy Journal*, 37(2).
<https://doi.org/10.5547/01956574.37.2.jlin>
- Lopez-Behar, D., Tran, M., Froese, T., Mayaud, J. R., Herrera, O. E., & Merida, W. (2019). Charging infrastructure for electric vehicles in Multi-Unit Residential Buildings: Mapping feedbacks and policy recommendations. *Energy Policy*, 126, 444–451.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.030>
- Lutsey, N., Searle, S., Chambliss, S., & Bandivadekar, A. (2015). *Assessment of leading electric vehicle promotion activities in United States cities*. Abgerufen: www.theicct.org
- Making sense of the German Energy Transformation. *Energy Policy*, 95, 42–51.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.003>
- Mathieu, L., Poliscanova, J., Keynes, A., Mollière, M., & Todts, W. (2021). *Electric car boom at risk Why the current EU car CO₂ rules will do little to accelerate the switch to zero-emissions mobility Transport & Environment Further information*. Abgerufen: www.transportenvironment.org
- Mathur, A., & Morris, A. C. (2014). Distributional effects of a carbon tax in broader U.S. fiscal reform. *Energy Policy*, 66, 326–334. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.047>
- Melton, N., Aksen, J., & Goldberg, S. (2017). Evaluating plug-in electric vehicle policies in the context of long-term greenhouse gas reduction goals: Comparing 10 Canadian provinces using the “PEV policy report card.” *Energy Policy*, 107, 381–393.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.052>
- Mersky, A. C., Sprei, F., Samaras, C., & Qian, Z. (Sean). (2016). Effectiveness of incentives on electric vehicle adoption in Norway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.03.011>
- Min, Y., & Lee, H. W. (2020). Social Equity of Clean Energy Policies in Electric-Vehicle Charging Infrastructure Systems. *Construction Research Congress 2020*, 221–229.
<https://doi.org/10.1061/9780784482858.025>
- Misch, F., Camara, Y., & Holtsmark, B. (2021). Electric Vehicles, Tax Incentives and Emissions: Evidence from Norway. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4026339>
- Münzel, C., Plötz, P., Sprei, F., & Gnann, T. (2019). How large is the effect of financial incentives on electric vehicle sales? – A global review and European analysis. *Energy Economics*, 84, 1044–93.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104493>
- Narassimhan, E., Gallagher, K. S., Koester, S., Rivera, J., Gallagher, K. S., & Koester, S. (2018). Carbon pricing in practice : a review of existing emissions trading systems. *Climate Policy*, 18(8), 967–991. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1467827>
- Norman, A. (2021). *Together in electric dreams? Addressing the challenges of rolling out electric vehicles (EVs) and charging infrastructure efficiently and fairly*.
- O’hare (2022). BMW CEO Warns Against Premature ICE Phaseout. Inside EVs.
<https://insideevs.com/news/565418/bmw-ceo-phasing-out-ice/>
- OECD (2011), “Interactions Between Emission Trading Systems and Other Overlapping Policy Instruments”, General Distribution Document, Environment Directorate, OECD, Paris.
- Pahle, M., Burtraw, D., Flachsland, C., Kelsey, N., Biber, E., Meckling, J., ... Zysman, J. (2018). Sequencing to ratchet up climate policy stringency. *Nature Climate Change*, 8(10), 861–867.
<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0287-6>
- Peterson, S. B., & Michalek, J. J. (2013). Cost-effectiveness of plug-in hybrid electric vehicle battery capacity and charging infrastructure investment for reducing US gasoline consumption. *Energy Policy*, 52, 429–438.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.059>
- Pietzcker, R. C., Osorio, S., & Rodrigues, R. (2021). Tightening EU ETS targets in line with the European Green Deal: Impacts on the decarbonization of the EU power sector. *Applied Energy*, 293, 116914. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116914>

- Plötz, P., Schneider, U., Globisch, J., & Dütschke, E. (2014). Who will buy electric vehicles? Identifying early adopters in Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 67, 96–109. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.06.006>
- République Française (2022). Taxe malus 2022 sur les véhicules les plus polluants. <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F35947>
- Reynaert, M. (2021). Abatement Strategies and the Cost of Environmental Regulation: Emission Standards on the European Car Market. *Review of Economic Studies*, 88(1), 454–488. <https://doi.org/10.1093/restud/rdaa058>
- Reynaert, M., & Sallee, J. M. (2021). Who Benefits When Firms Game Corrective Policies? *American Economic Journal: Economic Policy*, 13(1), 372–412. <https://doi.org/10.1257/pol.20190019>
- Rhodes, E., Axsen, J., & Jaccard, M. (2017). Exploring Citizen Support for Different Types of Climate Policy. *Ecological Economics*, 137, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.02.027>
- Rivers, N., & Schaufele, B. (2015). Saliency of carbon taxes in the gasoline market. *Journal of Environmental Economics and Management*, 74, 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2015.07.002>
- Rosenbloom, D., Markard, J., Geels, F. W., & Fuenfschilling, L. (2020). Why carbon pricing is not sufficient to mitigate climate change—and how “sustainability transition policy” can help. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(16), 8664–8668. <https://doi.org/10.1073/pnas.2004093117>
- Ross Morrow, W., Gallagher, K. S., Collantes, G., & Lee, H. (2010). Analysis of policies to reduce oil consumption and greenhouse-gas emissions from the US transportation sector. *Energy Policy*, 38(3), 1305–1320. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.006>
- Ross Morrow, W., Gallagher, K. S., Collantes, G., & Lee, H. (2010). Analysis of policies to reduce oil consumption and greenhouse-gas emissions from the US transportation sector. *Energy Policy*, 38(3), 1305–1320. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.006>
- Runst, P., & Höhle, D. (2022). The German eco tax and its impact on CO2 emissions. *Energy Policy*, 160, 112655. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112655>
- Schmidt, T. S., Schneider, M., Rogge, K. S., Schuetz, M. J. A., & Hoffmann, V. H. (2012). The effects of climate policy on the rate and direction of innovation: A survey of the EU ETS and the electricity sector. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 2, 23–48. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.12.002>
- Schroeder, A., & Traber, T. (2012). The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles. *Energy Policy*, 43, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.041>
- Serradilla, J., Wardle, J., Blythe, P., & Gibbon, J. (2017). An evidence-based approach for investment in rapid-charging infrastructure. *Energy Policy*, 106, 514–524. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.007>
- Sheldon, T. L., & Dua, R. (2020). Effectiveness of China’s plug-in electric vehicle subsidy. *Energy Economics*, 88, 104773. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104773>
- Sheldon, T., & Dua, R. (2018). Vehicle retirement and replacement policy: Assessing impact and cost-effectiveness, (May), 1–20. <https://doi.org/10.30573/KS--2018-DP35>
- Sijm, J. (2005). The interaction between the EU emissions trading scheme and national energy policies. *Climate Policy*, 5(1), 79–96. <https://doi.org/10.1080/14693062.2005.9685542>
- Small, K. A. (2012). Energy policies for passenger motor vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(6), 874–889. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.02.017>
- Small, K. A., & Van Dender, K. (2007). Fuel Efficiency and Motor Vehicle Travel: The Declining Rebound Effect. *The Energy Journal*, 28(1). <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol28-No1-2>
- Sørensen, Å. L., Jiang, S., Torsaeter, N., & Vøller, S. (2018). Smart EV charging systems for zero emission neighbourhoods: A state-of-the-art study for Norway. Abgerufen: www.ntnu.no

- Sørensen, C. H., Isaksson, K., Macmillen, J., Åkerman, J., & Kressler, F. (2014). Strategies to manage barriers in policy formation and implementation of road pricing packages. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 60, 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.10.013>
- Spiegel (2019). Wer hinter "Fridays for Hubraum" steckt. <https://www.spiegel.de/politik/wer-hinter-fridays-for-hubraum-steckt-a-00000000-0002-0001-0000-000166262945>
- Springel, K. (2016). Network Externality and Subsidy Structure in Two-Sided Markets : Evidence from Electric Vehicle. *Jmp*, 1–63.
- Sterner, T. (2007). Fuel taxes: An important instrument for climate policy. *Energy Policy*, 35(6), 3194–3202. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.10.025>
- Sterner, T. (2012). Distributional effects of taxing transport fuel. *Energy Policy*, 41, 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.012>
- Tietge, U., Mock, P., Lutsey, N., Beijing, A. C., Berlin, |, & Brussels, |. (2016). *Comparison of leading electric vehicle policy and development in Europe*. Abgerufen: www.theicct.org
- Ueckerdt, F., Bauer, C., Dirnaichner, A., Everall, J., Sacchi, R., & Luderer, G. (2021). Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 11(5), 384–393. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01032-7>
- van den Bergh, J., Castro, J., Drews, S., Exadaktylos, F., Foramitti, J., Klein, F., ... Savin, I. (2021). Designing an effective climate-policy mix: accounting for instrument synergy. *Climate Policy*, 21(6), 745–764. <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1907276>
- Wang, Q., Hubacek, K., Feng, K., Wei, Y.-M., & Liang, Q.-M. (2016). Distributional effects of carbon taxation. *Applied Energy*, 184, 1123–1131. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.083>
- Wappelhorst, S., Tietge, U., Bieker, G., & Mock, P. (2021). *Europe's CO 2 emission performance standards for new passenger cars: Lessons from 2020 and future prospects*. www.theicct.org
- Wappelhorst, S., Tietge, U., Bieker, G., & Mock, P. (2021). *Europe's CO 2 emission performance standards for new passenger cars: Lessons from 2020 and future prospects*. www.theicct.org
- Whistance, J., & Thompson, W. (2014). The role of CAFE standards and alternative-fuel vehicle production credits in U.S. biofuels markets. *Energy Policy*, 74, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.004>
- Yeh, S., Burtraw, D., Sterner, T., & Greene, D. (2021). Tradable performance standards in the transportation sector. *Energy Economics*, 102, 105490. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105490>
- Zachmann, G., Fredriksson, G., & Claeys, G. (2018). The distributional effects of climate policies. *Bruegel. Blueprint Series*, 28. Abgerufen: <https://www.bruegel.org/>



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

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 Münster | Universität Potsdam | Universität Stuttgart – Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) | ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung