

Manuel Frondel

Diskussionspapier

**Die hohen unbekanntenen CO₂-Vermeidungskosten
ordnungsrechtlicher Klimaschutzmaßnahmen:
Empirische Beispiele aus Deutschland und Europa**

Herausgeber

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

Vorstand

Prof. Dr. Dr. h. c. Christoph M. Schmidt (Präsident)
Prof. Dr. Thomas K. Bauer (Vizepräsident)
Dr. Stefan Rumpf (Administrativer Vorstand)
Prof. Dr. Kerstin Schneider (Mitglied des erweiterten Vorstands)

© RWI 2024

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

RWI Materialien Heft 168

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

Die hohen unbekanntenen CO₂-Vermeidungskosten ordnungsrechtlicher Klima-schutzmaßnahmen: Empirische Beispiele aus Deutschland und Europa

ISSN 1612-3573 - ISBN 978-3-96973-300-4

Bei den in der Reihe veröffentlichten Diskussionspapieren handelt es sich um unfertige Arbeiten, die publiziert werden, um Diskussionen und kritische Kommentare anzuregen. Die darin geäußerten Ansichten geben ausschließlich die Meinung der Autoren wieder und spiegeln nicht unbedingt die Meinung des Herausgebers wider.

Materialien

Diskussionspapier

Manuel Frondel

**Die hohen unbekanntenen CO₂-Vermeidungskosten
ordnungsrechtlicher Klimaschutzmaßnahmen:
Empirische Beispiele aus Deutschland und Europa**

Heft 168

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

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



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

ISSN 1612-3573

ISBN 978-3-96973-300-4

Manuel Frondel*

Die hohen unbekanntenen CO₂-Vermeidungskosten ordnungsrechtlicher Klimaschutzmaßnahmen: Empirische Beispiele aus Deutschland und Europa

Zusammenfassung

Eine effektive und kosteneffiziente Klimaschutzpolitik sollte vorwiegend auf den Preismechanismus und den Emissionshandel setzen. Dieser existiert in der Europäischen Union seit dem Jahr 2005, umfasst aber nur wenige Sektoren wie die Energiewirtschaft und die Industrie. In anderen Sektoren wird stattdessen versucht, den Treibhausgasausstoß mittels ordnungsrechtlicher Maßnahmen zu verringern, vor allem in Deutschland. In diesem Beitrag werden die Emissionsvermeidungskosten von ordnungsrechtlichen Maßnahmen wie den EU-Emissionsstandards für Pkw oder eines generellen Tempolimits auf Autobahnen abgeschätzt. Während die Kosten von ordnungsrechtlichen Maßnahmen notorisch intransparent sind, zeigen die Beispielrechnungen zum Tempolimit oder zur Förderung der Elektromobilität, dass damit hohe verdeckte Belastungen verbunden sein können. So zeigt sich, dass ein Tempolimit unter dem Aspekt der Kosteneffizienz eine eher ungeeignete klimapolitische Maßnahme darstellt, wenn die Opportunitätskosten von Pkw-Fahrern, üblicherweise gemessen durch den Stundenlohn, hoch ausfallen. Um Klimaschutz nicht teurer als unbedingt nötig zu machen, sollte die Politik daher künftig weitaus stärker auf das bewährte Instrument des Emissionshandels sowie dessen Ausweitung setzen und dafür auf ordnungsrechtliche Maßnahmen weitgehend verzichten.

JEL Classification: Q21, I38

Keywords: Energiewende; Wärmepumpe; Emissionshandel

November 2024

* Manuel Frondel, RWI und RUB. – Ich danke Tim Bergmann und Marielena Krieg für wertvolle wissenschaftliche Vorarbeiten sowie anonymen Gutachterinnen und Gutachtern für hilfreiche Kommentare und Anregungen. Mein besonderer Dank gilt der Initiative Neue Soziale Marktwirtschaft (INSM) für die Förderung dieses Beitrags. – Korrespondenz: Manuel Frondel, RWI, Hohenzollernstr. 1-3, D-45128 Essen, www.rwi-essen.de/manuel-frondel, E-mail: Manuel.Frondel@rwi-essen.de

Einleitung

Eine effektive und kosteneffiziente Klimaschutzpolitik sollte nach dem Rat von Ökonomen vorwiegend auf den Preismechanismus und den Emissionshandel setzen. Ein solcher existiert in der Europäischen Union bereits seit dem Jahr 2005, mithin seit knapp zwei Jahrzehnten, umfasst aber nur wenige Sektoren, insbesondere die Energiewirtschaft und die Industrie. In anderen Sektoren wird stattdessen oftmals versucht, den Treibhausgasausstoß mittels ordnungsrechtlicher Maßnahmen zu verringern, besonders in Deutschland, aber auch in der ganzen Europäischen Union. Zu diesen Maßnahmen zählen die EU-weit geltenden Emissionsstandards für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (Frondel, Vance 2018), mit denen bis zum Jahr 2030 die spezifischen Emissionen von Kohlendioxid (CO₂) von Neufahrzeugen um 55 Prozent geringer sein sollen als im Jahr 2021.

Ein prominentes Beispiel für ordnungsrechtliche Maßnahmen in Deutschland ist die in der Novelle des Gebäudeenergiegesetzes festgelegte 65-Prozentregelung für neu eingebaute Heizungen, die de facto ein Verbot für den Einbau von reinen Öl- und Gasheizungen bedeutet. In Kombination mit üppigen Fördergeldern begünstigt diese Regelung stattdessen den Einbau teurer, aber als klimafreundlich geltender Wärmepumpen.

Immer wieder wird auch ein Tempolimit als angeblich kostenlose, sofort wirksame Klimaschutzmaßnahme gefordert, beispielsweise vom Verkehrsclub Deutschland (VCD 2019) oder dem Umweltbundesamt: „Damit könnte die Einführung eines generellen Tempolimits auf Bundesautobahnen zur Erreichung des Klimaschutzzieles für den Verkehr im Jahr 2030, wie es im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegt ist, beitragen – und zwar bereits kurzfristig und ohne nennenswerte Mehrkosten“ (UBA 2020: 10). Ein Tempolimit hat unbestritten einige Vorteile, etwa die Verringerung der Zahl der Unfälle und die Erhöhung der Verkehrssicherheit. Kostenlos ist ein Tempolimit allerdings mitnichten, denn es würde die Autofahrer Zeit kosten.

Die zusätzlich im Auto zugebrachte Zeit kann nicht als Freizeit oder mit Arbeit verbracht werden und hat deshalb Opportunitätskosten in Form entgangener Arbeitseinkommen. Ob der Nutzen eines Tempolimits die Kosten überwiegt, ist eine empirische Frage. Die Antwort darauf muss mangels verlässlicher empirischer Evidenz offenbleiben, solange nicht die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, dass Studien mit geeigneten Evaluationsdesigns durchgeführt werden können, beispielsweise für eine Reihe unterschiedlicher Autobahnabschnitte.

Zusätzlich zu Geboten und Verboten, wie etwa dem Tempolimit, werden in Deutschland in vielfältiger Weise Subventionen eingesetzt, um die Treibhausgasemissionen zu verringern. Prominente Beispiele hierfür sind die Förderung regenerativer Stromerzeugungstechnologien durch die im Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) festgelegten Einspeisevergütungen für ins Netz eingespeisten „grünen“ Strom und die

steuerlichen Vergünstigungen für Elektroautos. So verzichtet der Staat bei Elektroautos 10 Jahre auf die Kraftfahrzeugsteuer sowie auf Energiesteuereinnahmen, die beim Fahren mit einem Verbrenner-Pkw angefallen wären.

Mit allen diesen Maßnahmen gehen sehr hohe Emissionsvermeidungskosten einher, wie in diesem Beitrag berechnet und transparent dargestellt wird. Die zugehörigen Emissionsvermeidungskosten sind in der Öffentlichkeit jedoch unbekannt, weil ihre Höhe sich nur implizit ergibt, denn die Vermeidungskosten können nicht wie die Preise von Emissionszertifikaten täglich an der Börse beobachtet werden. Bei ordnungsrechtlichen Maßnahmen ist daher eine Orientierung an den Vermeidungskosten schwer möglich. Daher ist kosteneffizienter Klimaschutz mit dem Ordnungsrecht per se unmöglich. Entgegen der landläufigen Meinung können Verbote wie ein Tempolimit auf Autobahnen indessen erhebliche Kosten zur Folge haben und implizieren oft hohe sogenannte implizite CO₂-Preise.

Im Vergleich zu preisbasierten Instrumenten wie der sogenannten CO₂-Bepreisung fossiler Brenn- und Kraftstoffe, welche in Deutschland im Jahr 2021 eingeführt wurde, haben Ge- und Verbote den weiteren Nachteil, dass ein sozialer Ausgleich für die Lasten dieser Art des Klimaschutzes nicht so leicht möglich ist, da dem Staat bei Ge- und Verboten keine Einnahmen entstehen, wie dies zum Beispiel bei der CO₂-Bepreisung der Fall ist. Bislang ist die Rückverteilung der Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung zwar noch immer nicht in die Praxis umgesetzt worden, aber immerhin ist dies im Koalitionsvertrag der Ampelregierung festgehalten: Demnach sollen diese Einnahmen eines Tages in Form eines Klimageldes, eines pauschalen Transfers an die Bürgerinnen und Bürger, zurückgegeben werden.

Darüber hinaus haben preisbasierte Instrumente wie der EU-Emissionshandel oder die nationale CO₂-Bepreisung den Vorteil, dass sie als kosteneffiziente Klimaschutzinstrumente erlauben, die von der Gesellschaft für die Treibhausvermeidung insgesamt zu tragende Last so gering wie möglich zu halten.

Die Kosten ordnungsrechtlicher Maßnahmen sind hingegen nicht nur notorisch intransparent und mit hohen verdeckten Belastungen verbunden. Vielmehr führen sie mitunter auch zu fragwürdigen Umverteilungen, besonders in Kombination mit hohen Subventionen. Das herausragendste aktuelle Beispiel dafür sind die hohen Fördermittel für den Ersatz alter durch emissionsarme Heizungen in Verbindung mit dem faktischen Verbot konventioneller Öl- und Gasheizungen. Wird mit diesen Fördermitteln der Einbau von kostenintensiven Wärmepumpen begünstigt, kommt dies häufig einkommensstarken Haushalten zugute, während einkommensschwache Haushalte eher zur Miete wohnen und Investitionen ihres Vermieters in Wärmepumpen mit höheren Mieten zu bezahlen haben.

Vor diesem Hintergrund quantifiziert dieser Beitrag die Emissionsvermeidungskosten folgender ordnungsrechtlicher Maßnahmen: (1) Den

impliziten CO₂-Preis der geltenden EU-Emissionsstandards für Pkw. (2) Die potenziellen Vermeidungskosten des immer wieder geforderten generellen Tempolimits auf Autobahnen. (3) Die impliziten CO₂-Preise von Fördermaßnahmen wie den Einspeisevergütungen für regenerative Stromerzeugungstechnologien wie Windkraft an Land und Photovoltaik auf Basis des EEG. (4) Den CO₂-Preis der trotz Entfall staatlicher Prämien fortgesetzten Förderung der Elektromobilität durch den Verzicht auf die Kraftfahrzeug- und weitere Steuern. (5) Die Vermeidungskosten des Kohleausstiegs in Deutschland. Dieser hilft zwar, die Emissionen im deutschen Stromerzeugungssektor zu verringern, aber entfaltet aufgrund der Einbindung des Stromerzeugungssektors in den EU-Emissionshandel auf EU-Ebene keine Wirkung, solange die durch den Kohleausstieg freiwerdenden Emissionszertifikate nicht gelöscht werden.

Ausgangspunkt der Untersuchung ist die allgemeine Diskussion der Opportunitätskosten ordnungsrechtlicher Maßnahmen im folgenden Abschnitt. Diese werden oftmals von den Befürwortern unterschlagen — mit dem Resultat, dass Maßnahmen wie ein Tempolimit auf Autobahnen fälschlicherweise als kostenlos bezeichnet werden. In den weiteren Abschnitten werden jeweils die impliziten CO₂-Preise der oben aufgeführten Maßnahmen berechnet. Der abschließende Abschnitt zieht ein Fazit sowie Schlussfolgerungen, insbesondere in Bezug auf die sozialen Auswirkungen ordnungsrechtlicher Maßnahmen.

Die Opportunitätskosten ordnungsrechtlicher Maßnahmen

Die Klimapolitik Deutschlands wird vom Ordnungsrecht dominiert — nicht erst seit der Reformierung des Gebäudeenergiegesetzes im Jahr 2023, mit der ein faktisches Verbot der Neuinstallation von reinen Öl- und Gasheizungen ab dem Jahr 2024 beschlossen wurde. Tatsächlich hat die Politik des Ordnungsrechts hierzulande eine lange Tradition. Das beweisen allein die Vorgaben immer neuer Energieeffizienzstandards für Neubauten. Und die gegenwärtigen Diskussionen, beispielsweise um ein generelles Tempolimit auf Autobahnen, die durch immer neue Vorstöße des Umweltbundesamts angeheizt werden (UBA 2020, 2021, 2023), lassen darauf schließen, dass ordnungsrechtliche Maßnahmen wie Auflagen, Ge- oder Verbote in der Zahl künftig eher zu- als abnehmen werden.

Die Einführung immer weiterer ordnungsrechtlicher Maßnahmen wird häufig damit begründet, dass Appelle und Informationen, aber auch finanzielle Zuschüsse und Preisinstrumente wie die im Jahr 2021 eingeführte CO₂-Bepreisung nicht ausreichen würden, um die Treibhausgasemissionen effektiv zu senken (Öko-Institut 2021), insbesondere im Wärme- bzw. Gebäudesektor. Zudem wird vielfach behauptet, dass das Ordnungsrecht keine Kosten verursachen würde.

Eines der prominentesten Beispiele dafür ist die Behauptung des Umweltbundesamtes, dass ein generelles Tempolimit auf Bundesautobahnen „bereits

kurzfristig und ohne nennenswerte Mehrkosten“ zur Erreichung des Klimaschutzzieles für den Verkehr im Jahr 2030 beitragen könnte (UBA 2020: 10). Dass ein Tempolimit keine nennenswerten Mehrkosten verursachen würde, ist mitnichten der Fall, denn bei Verboten wie dem Tempolimit werden üblicherweise die Opportunitätskosten vergessen, mithin die Kosten, die dadurch entstehen, dass die verbotene Alternative nicht mehr sanktionslos wahrgenommen werden kann.

So ignoriert das Umweltbundesamt offenkundig die Tatsache, dass Autofahrer mit einem Tempolimit mehr Zeit auf der Autobahn verbringen würden und diese Zeit ohne ein solches Verbot mit Freizeitaktivitäten oder Mehrarbeit verbringen könnten. Gleich ob Freizeit oder Mehrarbeit werden die (Opportunitäts-)Kosten für den zeitlichen Mehraufwand typischerweise mit Hilfe des entgangenen Arbeitslohnes beziffert (Schmidt 2020). Setzt man diese Kosten unter Abzug der bei einem Tempolimit geringeren Kraftstoffkosten ins Verhältnis zu den durch ein Tempolimit vermiedenen Treibhausgasemissionen, können die damit verbundenen Emissionsvermeidungskosten berechnet werden.

Auf diese Weise werden im folgenden Abschnitt die CO₂-Vermeidungskosten für unterschiedlich restriktive Tempolimits und verschiedene Entfernungen zum Arbeitsplatz berechnet. Es zeigt sich, dass die Vermeidungskosten des Tempolimits sehr hoch ausfallen können und die Vermeidungskosten des Tempolimits in einer großen Bandbreite liegen, je nach Höhe der individuellen Opportunitätskosten. Bewertet ein Individuum die Kosten des zeitlichen Mehraufwands im Auto mit null, etwa weil es gerne Auto fährt und dabei wegen der guten Musik bestens gelaunt ist, sind die Vermeidungskosten wegen des geringeren Kraftstoffverbrauchs sogar negativ. Sind die Opportunitätskosten eines Individuums hingegen hoch, können die Vermeidungskosten eines Tempolimits individuell sehr hoch ausfallen. Diese Bandbreite in den individuellen Vermeidungskosten dürfte ein Teil der Erklärung dafür sein, dass die Einführung eines generellen Tempolimits auf Autobahnen sehr kontrovers diskutiert wird.

Die Heterogenität in den Vermeidungskosten eines Tempolimits

Deutschland ist eines der wenigen Länder weltweit ohne eine generelle Geschwindigkeitsbegrenzung auf Autobahnen. In allen anderen Ländern der Europäischen Union sowie in den OECD- und den G20-Staaten gibt es solche generellen Tempolimits (UBA 2021). In den meisten EU-Ländern liegt dieses Tempolimit bei 130 Kilometern pro Stunde (km/h), in einigen bei 120 km/h. Manche Länder erlauben sogar nur 100 km/h auf Autobahnen.

Vor diesem Hintergrund ist es wenig erstaunlich, dass das Fehlen eines Tempolimits auf deutschen Autobahnen ein sehr kontrovers diskutiertes Thema ist (z. B. Schmidt 2020; Bauernschuster, Traxler 2021), das sehr polarisiert. So hat in den Umfragen, die der Allgemeine Deutsche Automobilclub (ADAC) beinahe jährlich unter rund 1.000 seiner

Mitglieder durchführen lässt, die Zahl der Befürworter einer Geschwindigkeitsbegrenzung über die Jahre zwar zugenommen und es findet sich in der Umfrage von 2024 sogar eine absolute Mehrheit von 55 % Befürwortern unter den befragten ADAC-Mitgliedern. Allerdings votierten auch 40 % der Befragten gegen ein Tempolimit (ADAC 2024).

Beinahe ebenso regelmäßig plädiert das Umweltbundesamt auf Basis immer neuer Studien für die Einführung eines Tempolimits (UBA 2023). So würden nach einer im Januar 2023 veröffentlichten Studie bei einem Tempolimit von 120 km/h rund 4,7 Mio. Tonnen weniger CO₂ pro Jahr ausgestoßen, rund 3 % der Emissionen des Straßenverkehrs des Jahres 2018. Weitere Emissionen könnten nach dieser Studie eingespart werden, wenn es durch das Tempolimit zu Verhaltensänderungen käme. So könnten Autofahrer infolge der Maßnahme kürzere Strecken über Landstraßen bevorzugen, anstatt eine etwas längere Strecke via Autobahn in kürzerer Zeit zurückzulegen, wenn es kein Tempolimit gibt.

Neben der Verringerung des Kraftstoffverbrauchs und der Senkung von Emissionen mit globaler und lokaler Wirkungsweise könnte es in der Tat einige gute Gründe für ein Tempolimit geben. Dazu gehören vor allem die Erhöhung der Verkehrssicherheit und die Verringerung der Zahl der Unfälle, der Unfalltoten und der Verletzten.

Kausale empirische Evidenz zu den Wirkungen eines generellen Tempolimits ist allerdings äußerst rar, weil die Datenlage dürftig ausfällt (Bauernschuster, Traxler 2021: 86). Daher spricht der Verkehrsclub Deutschland (VCD 2019), ein starker Verfechter eines generellen Tempolimits, zu Recht von einem „forschungspolitischen Loch in Deutschland“: Es existieren kaum belastbare Studien, die die Auswirkungen eines Tempolimits auf Autobahnen quantifizieren (Schmidt 2020). Ob der Nutzen eines Tempolimits die Kosten überwiegt, muss somit mangels verlässlicher empirischer Evidenz eine offene Frage bleiben.

Klar ist hingegen, dass ein Tempolimit mitnichten nahezu kostenlos ist, wie es vom Umweltbundesamt behauptet wird (UBA 2020: 10). Vielmehr ist ein Tempolimit unter dem Aspekt der Kosteneffizienz eine eher ungeeignete klimapolitische Maßnahme (Fronde 2022a). Dies soll hier mit Hilfe von Beispielen illustriert werden, bei denen die mit einem Tempolimit von 120 Kilometern pro Stunde verbundenen Emissionsvermeidungskosten berechnet werden.

Dazu wird beispielsweise angenommen, dass eine Arbeitnehmerin 5 Tage die Woche 30 Kilometer auf der Autobahn zur Arbeit fährt, hin und zurück also 60 Kilometer pro Tag, pro Arbeitswoche 300 Kilometer (Tabelle 1). Wird weiterhin angenommen, dass der Fahrer üblicherweise mit einer Geschwindigkeit von 150 Kilometern pro Stunde unterwegs ist, müsste sie bei Gültigkeit eines Tempolimits von 120 km/h ihre Durchschnittsgeschwindigkeit um 30 km/h verringern. Pro Tag benötigt sie dadurch sechs

Minuten länger, pro Woche 30 Minuten mehr.¹ Bei 40 Arbeitswochen im Jahr würde sie durch das Tempolimit 20 Stunden länger auf der Autobahn verbringen als ohne Tempolimit.

Tabelle 1: Zeitaufwand und Opportunitätskosten eines Tempolimits von 120 Kilometern pro Stunde bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 150 km/h ohne Tempolimit und unterschiedlich langen Distanzen zum Arbeitsplatz

Distanz	20 km	30 km	40 km	50 km
Zeitaufwand:				
Pro Tag	4 Minuten	6 Minuten	8 Minuten	10 Minuten
Pro Woche	20 Minuten	30 Minuten	40 Minuten	50 Minuten
Pro Jahr	13,34 Stunden	20 Stunden	26,66 Stunden	33,32 Stunden
Opportunitätskosten:				
15 Euro/h	200 Euro	300 Euro	400 Euro	500 Euro
30 Euro/h	400 Euro	600 Euro	800 Euro	1.000 Euro

Quelle: Eigene Berechnungen.

Diese Zeit könnte alternativ verwendet werden, um entweder länger zu arbeiten oder mehr Freizeit zu genießen. Bei einem Nettoarbeitslohn von 15 Euro pro Stunde könnte sie 300 Euro pro Jahr mehr verdienen, wenn sie die zusätzlich auf der Autobahn verbrachte Zeit für Mehrarbeit hätte verwenden können. Würde sie die 20 Stunden stattdessen als Freizeit verbringen, muss der Gegenwert dafür mindestens mit dem Arbeitslohn bewertet werden, andernfalls würde sie arbeiten gehen. Für Besserverdienende mit einem doppelt so hohen Nettostundenlohn von 30 Euro und einem längeren Arbeitsweg von 50 Kilometer (einfache Distanz) lägen die Opportunitätskosten eines solchen Tempolimits sogar bei 1.000 Euro (Tabelle 1). Anhand dieser Opportunitätskosten erkennt man: Ein Tempolimit ist keineswegs „ohne nennenswerte Mehrkosten“ (UBA 2020: 10) zu haben.

Allerdings werden durch ein Tempolimit auch Kraftstoffkosten eingespart, da eine geringere Geschwindigkeit mit einem niedrigeren Kraftstoffverbrauch verbunden ist. Die Kraftstoffkosteneinsparung muss von den Opportunitätskosten abgezogen werden, um eine korrekte Kostenbilanz ziehen und die Emissionsvermeidungskosten berechnen zu können. Im Folgenden zeigt sich, dass die entscheidenden Parameter für die Höhe der CO₂-Vermeidungskosten die aus der Geschwindigkeitsreduzierung resultierende spezifische Kraftstoffeinsparung pro 100 Kilometer, die Kraftstoffpreise, aber vor allem die

¹ Bei Einhaltung des Tempolimits von 120 km/h benötigt der Arbeitnehmer für die 60 Kilometer zur Arbeit hin und zurück 30 Minuten, ohne Tempolimit würde er bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 150 km/h nur 24 Minuten benötigen, eine Zeitersparnis von 6 Minuten am Tag.

Opportunitätskosten in Form des Nettoarbeitslohns pro Stunde sind. Die Länge des Weges zu Arbeit spielt dafür hingegen keinerlei Rolle. Vielmehr ist die Höhe der CO₂-Vermeidungskosten völlig unabhängig von der zurückgelegten Wegstrecke (Tabelle 2).

Tabelle 2: Kraftstoffkostensparnis, Emissionseinsparung und CO₂-Vermeidungskosten eines Tempolimits von 120 km/h bei einem Dieselfahrzeug, falls ohne Tempolimit die Durchschnittsgeschwindigkeit bei 150 km/h liegt.

Einfache Distanz	20 km	30 km	40 km	50 km
Distanz/Jahr	8.000 km	12.000 km	16.000 km	20.000 km
Einsparung an Spritkosten und CO₂-Emissionen:				
1 l/100 km	80 Liter	120 Liter	160 Liter	200 Liter
1,75 Euro/l	140 Euro	210 Euro	280 Euro	350 Euro
2,65 kg/l	0,212 t	0,318 t	0,424 t	0,530 t
Nettokosten = Opportunitätskosten – Spritkostensparnis:				
15 Euro/h	60 Euro	90 Euro	120 Euro	150 Euro
30 Euro/h	260 Euro	390 Euro	520 Euro	650 Euro
CO₂-Vermeidungskosten:				
15 Euro/h	283 €/t	283 €/t	283 €/t	283 €/t
30 Euro/h	1.226 €/t	1.226 €/t	1.226 €/t	1.226 €/t

Quelle: Eigene Berechnungen. CO₂-Emissionsfaktor Diesel: 2,65 kg/l.

Die CO₂-Vermeidungskosten fallen besonders hoch aus, wenn der Nettoarbeitslohn hoch ist. Bei einem Nettostundenlohn von 30 Euro ergeben sich bei einer Arbeitnehmerin, die mit einem Dieselfahrzeug zur Arbeit fährt, CO₂-Vermeidungskosten von über 1.200 Euro pro Tonne, wenn angenommen wird, dass die Kraftstoffeinsparung infolge des Tempolimits bei einem Liter pro 100 Kilometer liegt und der Dieselpreis pro Liter 1,75 Euro beträgt (Tabelle 2). Der unterstellte Dieselpreis liegt etwas höher als der Durchschnittspreis von rund 1,50 Euro je Liter, um zu berücksichtigen, dass die Kraftstoffpreise infolge der nationalen CO₂-Bepreisung mit steigenden CO₂-Preisen weiter ansteigen könnten.

Die Vermeidungskosten verringern sich massiv, wenn der Nettoarbeitslohn mit 15 Euro die Stunde nur halb so hoch ist. Sie liegen aber mit über 200 Euro noch immer doppelt so hoch wie das höchste Niveau, das der Preis für Emissionszertifikate im EU-Emissionshandel bislang erreicht hat. Wenn geringere Durchschnittsgeschwindigkeiten ohne ein Tempolimit unterstellt werden, etwa 140 km/h, und somit der zeitliche

Zusatzaufwand und die damit verbundenen Opportunitätskosten geringer ausfallen, können die Vermeidungskosten nichtsdestotrotz hoch ausfallen, wie die Beispiele im Anhang zeigen (siehe die Tabellen A1, A2 und A3).

Tabelle 3: Kraftstoffkostensparnis, Emissionseinsparung und CO₂-Vermeidungskosten eines Tempolimits von 120 km/h bei einem Benzinfahrzeug bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von andernfalls 150 km/h

Distanz	20 km	30 km	40 km	50 km
Distanz/Jahr	8.000 km	12.000 km	16.000 km	20.000 km
Einsparung an Spritkosten und CO₂-Emissionen:				
2 l/100 km	160 Liter	240 Liter	320 Liter	400 Liter
2 Euro/l	320 Euro	480 Euro	640 Euro	800 Euro
2,37 kg/l	0,379 t	0,569 t	0,758 t	0,948 t
Nettokosten = Opportunitätskosten – Spritkostensparnis:				
15 Euro/h	-120 Euro	-180 Euro	-240 Euro	-300 Euro
30 Euro/h	80 Euro	120 Euro	160 Euro	200 Euro
CO₂-Vermeidungskosten:				
15 Euro/h	-316 €/t	-316 €/t	-316 €/t	-316 €/t
30 Euro/h	211 €/t	211 €/t	211 €/t	211 €/t

Quelle: eigene Berechnungen. CO₂-Emissionsfaktor Benzin: 2,37 kg/l.

Wird sehr optimistisch angenommen, dass durch die Verringerung der Durchschnittsgeschwindigkeit um 30 km/h Liter Benzin pro 100 Kilometer eingespart werden können, kann es sogar zu Kosteneinsparungen kommen, wenn die Opportunitätskosten mit 15 Euro Nettolohn pro Stunde angesetzt werden.² Dann sind die CO₂-Vermeidungskosten aufgrund der Kraftstoffkosteneinsparung sogar negativ (Tabelle 3). Das heißt: Bei niedrigen Opportunitätskosten würde ein Tempolimit aufgrund von Kraftstoffkosteneinsparungen gar mit einem Vorteil für die das Limit Einhaltenden einhergehen.

Das Beispiel zeigt, dass die CO₂-Vermeidungskosten sehr kritisch von der Höhe der Opportunitätskosten abhängen. Sind diese mit 30 Euro die Stunde hoch, sind selbst im Falle hoher Kraftstoffeinsparungen von zwei Litern pro 100 Kilometer die CO₂-

² Bei einem Durchschnittsverbrauch von 7,5 Liter Benzin auf 100 Kilometer (Quelle: Destatis) bedeuten zwei Liter Benzineinsparung infolge der Geschwindigkeitsverringerung einen Minderverbrauch von knapp einem Drittel.

Vermeidungskosten bei einem unterstellten Benzinpreis von zwei Euro je Liter — und damit hohen Kraftstoffkosteneinsparungen — mit über 200 Euro hoch (Tabelle 3). Derzeit liegt der Benzinpreis eher bei 1,70 Euro je Liter, nicht bei zwei Euro, sodass die Vermeidungskosten sogar noch höher ausfallen.

Insgesamt könnte die Heterogenität, die die Vermeidungskosten bei den hier dargestellten Beispielen aufweist, eine mögliche Erklärung dafür sein, dass das Tempolimit ein stark polarisierendes Thema darstellt. Viele Bürgerinnen und Bürger sind womöglich dagegen, weil ein Tempolimit für sie hohe Kosten implizieren könnte. Bei anderen Menschen hingegen geht diese Maßnahme je nach individueller Bewertung des zusätzlichen Zeitaufwands mit geringeren Kosten einher. Hinzu kommt, dass viele Menschen von einem Tempolimit kaum oder gar nicht betroffen wären. So besitzen rund 15 % der Bürgerinnen und Bürger gar kein Auto. Bewohner auf dem Land hingegen könnten erheblich von einem generellen Tempolimit auf der Autobahn betroffen sein.

Die immensen Vermeidungskosten der steuerlichen Förderung der Elektromobilität

Um den Absatz von Elektro-Autos anzukurbeln, hat die Politik im Jahr 2016 eine Umweltbonus genannte Kaufprämie für Elektro-Fahrzeuge beschlossen. Nach Angaben des Bundeswirtschaftsministeriums wurden bis zum Auslaufen der Kaufprämie am 18. Dezember 2023 rund zehn Milliarden Euro für rund 2,2 Millionen Fahrzeuge bewilligt, darunter rund 0,8 Mio. Plug-in Hybridfahrzeuge. Die Höhe der staatlichen Förderung schwankte über die Jahre hinweg und betrug in der Spitze bis zu 9.000 Euro je Fahrzeug.

Zuletzt betrug der Bundesanteil der Förderung für neue Elektro-Autos bei einem Nettolistenpreis

- von bis zu 40.000 Euro: 4.500 Euro,
- von über 40.000 Euro bis 65.000 Euro: 3.000 Euro.

Die Autohersteller haben jeweils denselben Betrag als Rabatt auf den Nettolistenpreis gewährt. Für Elektro-Fahrzeuge mit einem Nettolistenpreis von über 65.000 Euro gab es keine staatliche Förderung.

Im Folgenden wird illustriert, dass auch nach Abschaffung der Förderprämien die Elektromobilität weiter in vielfacher Weise begünstigt wird, vor allem durch Steuervorteile. So müssen Käufer von reinen Elektro-Autos in Deutschland weiterhin bis zu zehn Jahre lang keine Kraftfahrzeug-Steuer bezahlen. Der weitaus größte Steuervorteil resultiert jedoch daraus, dass bei Verbrenner-Autos hohe Energiesteuern anfallen, während die Stromsteuer, die beim Betrieb von Elektro-Autos zu zahlen ist, vergleichsweise gering ausfällt. Wie aus dem folgenden Beispiel hervorgeht, sind die Vorteile, die bei einem Elektro-Auto aus dem Entfall der Energiesteuern und der CO₂-Bepreisung sowie der darauf

erhobenen Mehrwertsteuer entstehen, bei weitem höher als die früheren Kaufprämien (Tabelle 4).

Im Beispiel werden die Kosten des Betriebs eines Elektro-Autos mit den Betriebskosten eines Diesel- und Benzin-Fahrzeugs verglichen, um die steuerliche Förderung der Elektromobilität und die daraus resultierenden Emissionsvermeidungskosten zu bestimmen. Dafür wird unterstellt, dass in allen drei Fällen die Betriebszeit der Fahrzeuge zehn Jahre beträgt, während der eine Fahrleistung von 200.000 Kilometern zurückgelegt wird. Bei dieser Fahrleistung und angenommenen spezifischen Verbrauchswerten von 20 kWh je 100 Kilometer für das Elektro-Fahrzeug sowie 7 Liter Diesel und 7,5 Liter Benzin ergibt sich ein Kraftstoffverbrauch von insgesamt 14.000 bzw. 15.000 Liter Benzin und Diesel und ein Stromverbrauch von 40.000 kWh für das Elektrofahrzeug. Bei spezifischen CO₂-Faktoren von 2,37 kg pro Liter Benzin und 2,65 kg pro Liter Diesel summieren sich die CO₂-Emissionen auf insgesamt 37,1 und 35,5 t für den Diesel- und den Benzin-Pkw, während beim Betrieb des Elektrofahrzeugs keine Emissionen entstehen.

Beim CO₂-Preis von 45 Euro je Tonne für das Jahr 2024 wird der CO₂-Ausstoß mit 14,2 Cent je Liter Diesel und 12,7 Cent je Liter Benzin penalisiert (Frondel 2022b). Darin ist auch die Mehrwertsteuer von 19 % eingerechnet, die auf den CO₂-Preis ebenso aufgeschlagen wird wie auf die Energiesteuern für Benzin und Diesel und die Stromsteuer. Davon ausgehend, dass der CO₂-Preis künftig nicht mehr unter das Niveau von 45 Euro fällt, wird mit diesem Preisniveau eine Untergrenze für die CO₂-Kostenbelastung des CO₂-Ausstoßes des Diesel- und Benzin-Pkws für die gesamte Betriebsdauer berechnet. Bei 14.000 Liter Diesel und 15.000 Liter Benzin ergeben sich bei der aktuellen CO₂-Bepreisung von 14,2 und 12,7 Cent je Liter CO₂-Kosten von 1.988 und 1.905 Euro für den Diesel- und den Benzin-Pkw.

Weitaus höher sind die Energiesteuern, die über die Betriebszeit anfallen. Bei Steuersätzen von 47,04 Cent pro Liter Diesel und 65,45 Cent pro Liter Benzin belaufen sich die Energiesteuern inklusive der darauf fälligen Mehrwertsteuer bei 200.000 Kilometer Fahrleistung auf 7.836,86 Euro für den Diesel-Pkw und 11.682,83 Euro für den Benzin-Pkw. Demgegenüber nimmt sich die Stromsteuer, die über die Betriebszeit für das Elektro-Auto zu zahlen ist, vergleichsweise gering aus. Inklusiv der darauf ebenfalls zu zahlenden Mehrwertsteuer sind für die 40.000 kWh Strom bei einem Stromsteuersatz von 2,05 Cent je kWh insgesamt 975,80 Euro an Strom- und Mehrwertsteuer zu bezahlen.

Eine im Vergleich zum Entfall der Energiebesteuerung eher geringe Subvention stellt der Verzicht auf die Kraftfahrzeugsteuer bei Elektro-Autos für bis zu zehn Jahren dar. Geht man für die Verbrenner-Autos von einem Hubraum von 1.598 Kubikzentimeter und einem spezifischen CO₂-Ausstoß von 186 Gramm je gefahrenem Kilometer für den Diesel-Pkw

und 178 Gramm für den Benzineraus, betragen die Kfz-Steuern über die angenommene Betriebsdauer von 10 Jahren 3.719 bzw. 2.322 Euro.³

Tabelle 4: Vergleich Elektro-Auto mit Benzin- und Diesel-Pkw

	Elektroauto	Diesel-Pkw	Benzin-Pkw
Fahrleistung	200.000 km	200.000 km	200.000 km
Spez. Verbrauch	20 kW/100 km	7 Liter/100 km	7,5 Liter/100 km
Verbrauch	40.000 kWh	14.000 Liter	15.000 Liter
Spez. Emissionen	0	2,65 kg/Liter	2,37 kg/Liter
CO2-Emissionen	0	37,1 t CO2	35,5 t CO2
Spez. CO2-Kosten	0 Euro	11,9 Cent/Liter	10,7 Cent/Liter
Inklusive MWSt.	0 Euro	14,2 Cent/Liter	12,7 Cent/Liter
CO2-Kosten und Steuern:			
Energiesteuern	2,05 Cent/kWh	47,04 Cent/Liter	65,45 Cent/Liter
Inklusive MWSt.	2,44 Cent/kWh	55,98 Cent/Liter	77,89 Cent/Liter
Steuern	976 Euro	7.837 Euro	11.683 Euro
CO2-Kosten	0 Euro	1.988 Euro	1.905 Euro
Kfz-Steuern	0 Euro	3.719 Euro	2.322 Euro
Summe – 975,8 €	0 Euro	12.568 Euro	14.934 Euro

Quelle: Eigene Berechnungen.

Zieht man die Summe an Stromsteuern und die darauf zu entrichtende Mehrwertsteuer für das Elektro-Auto von der Summe der Steuern und CO2-Abgaben ab,

³ Die Berechnung der Kfz-Steuer für die Verbrenner-Pkw beruht auf einem Sockelbetrag von 2 Euro je angefangene 100 Kubikzentimeter Hubraum bei Benzinern und 9,50 Euro bei Diesel-Pkw. Hinzu kommt eine emissionsabhängige Steuerkomponente für Emissionswerte oberhalb von 95 Gramm je Kilometer. Sie reicht von zwei bis vier Euro pro Gramm CO2 je Kilometer. Der spezifische CO2-Ausstoß von 186 Gramm je gefahrenem Kilometer für den Diesel-Pkw ergibt sich durch Multiplikation des angenommenen Durchschnittsverbrauchs von 7 Liter je 100 Kilometer mit dem Emissionsfaktor von 2,65 kg je Liter Diesel (Tabelle 4); der spezifische CO2-Ausstoß von 178 Gramm je gefahrenem Kilometer für den Benzineraus ergibt sich durch Multiplikation des angenommenen Durchschnittsverbrauchs von 7,5 Liter je 100 Kilometer mit dem Emissionsfaktor von 2,37 kg je Liter Benzin.

die für die Verbrenner-Pkw bei einer Fahrleistung von 200.000 Kilometer zu zahlen sind, kommt man zu Subventionen von rund 12.500 und knapp 15.000 Euro (Tabelle 4), mit denen das Elektro-Auto im Vergleich zu einem Diesel- bzw. einem Benzin-Pkw gefördert wird. Bezogen auf die im Laufe der Betriebsdauer durch das Elektro-Auto im Vergleich zum Diesel vermiedenen Emissionen von 37,1 und 35,5 Tonnen CO₂ im Vergleich zum Benzin-Pkw, ergeben sich Emissionsvermeidungskosten von rund 339 und 420 Euro je Tonne CO₂. Diese Werte betragen ein Vielfaches des bisherigen Höchstwertes des Preises von Emissionszertifikaten von rund 100 Euro im EU-Emissionshandel.

Die steuerliche Förderung der Elektromobilität stellt sich damit auch nach Entfall des Umweltbonus für Elektroautos als eine sehr teure Emissionsvermeidungsmaßnahme dar. Dies gilt umso mehr, als in den hier errechneten Vermeidungskosten nicht alle Subventionen enthalten sind, die für Elektro-Autos gewährt werden, unter anderem aus Mangel an Informationen. So wurden beispielsweise die Subventionen für die Installation einer Wallbox zum Laden des Elektroautos zu Hause nicht einbezogen, da diese Förderung im Einzelfall sehr unterschiedlich ausfallen kann.

Ebenfalls nicht berücksichtigt wurde die Subventionierung der Elektromobilität mittels Dienstwagenbesteuerung, die bei Verbrenner-Pkw im Falle einer pauschalen, anstatt individuellen Besteuerung monatlich 1 % des Bruttolistenpreises beträgt, bei Elektroautos aber lediglich 0,25 % des Bruttolistenpreises, das heißt der unverbindlichen Preisempfehlung des Herstellers zum Datum der Erstzulassung des Fahrzeugs. Damit liegt die pauschale monatliche Dienstwagenbesteuerung für Elektroautos bei einem Viertel der Besteuerung von Verbrenner-Autos, wenn man von der Entfernungskomponente des Weges zum Arbeitsplatz absieht.⁴

Je nach Kaufpreis des Elektroautos und dem persönlichen Einkommenssteuersatz kann sich die geringere Dienstwagenbesteuerung für Elektroautos auf einen Steuervorteil von in Summe mehreren tausend Euro belaufen. Die geringere Dienstwagenbesteuerung für Elektroautos ist ein häufig auftretender Fall: Im Jahr 2023 lag der Firmenwagen-Anteil an allen in Deutschland neuzugelassenen Elektro-Pkw bei 44,8 % (VDA 2024). Damit sind Unternehmen der größte Abnehmer von Elektroautos in Deutschland – noch vor Privatkäufern, deren Anteil 2023 bei 36,7 % lag.⁵

Die hier errechneten Vermeidungskosten stellen aus einem weiteren Grund eher die Untergrenze der tatsächlichen Kosten für die Emissionsvermeidung dar. Bei der Berechnung der durch ein Elektroauto eingesparten CO₂-Emissionen wurde von der

⁴ Elektrofahrzeuge mit einem Bruttolistenpreis von über 70.000 Euro müssen monatlich mit 0,5 % des Bruttolistenpreises als Dienstwagen versteuert werden. Die Sonderkonditionen für Elektroautos bei der Dienstwagenbesteuerung sollen Ende des Jahres 2030 auslaufen.

⁵ Der Anteil der privaten Käufer bei den Pkw-Neuzulassungen betrug im Jahr 2023 lediglich rund ein Drittel, zwei Drittel ging auf das Konto von gewerblichen Kunden (KBA 2024).

theoretisch maximalen CO₂-Einsparung ausgegangen, indem unterstellt wurde, dass der für das Elektroauto eingesetzte Strom zu 100 % grün ist und dementsprechend einen Emissionsfaktor von null Gramm je Kilowattstunde aufweist.

Diese Annahme entspricht aber nicht der Realität, wenn das Elektroauto nicht mit selbst erzeugtem Solarstrom aufgeladen wurde, sondern mit Strom aus dem öffentlichen Netz. Dieser hat aktuell noch einen CO₂-Emissionsfaktor von rund 0,4 kg je Kilowattstunde. Dementsprechend müssen von den maximal vermiedenen Emissionen von 37,1 und 35,5 Tonnen (Tabelle 4) knapp 20 Tonnen abgezogen werden. Dadurch verdoppeln sich in etwa die Emissionsvermeidungskosten. Aber auch wenn ein Elektroauto immer mit grünem Strom geladen wird, sind die tatsächlich vermiedenen Emissionsmengen erheblich geringer als die theoretischen Maxima, denn man darf nicht vernachlässigen, dass die Produktion der Batterie für das Elektroauto nicht nur sehr kostenintensiv ist, sondern auch emissionsintensiv.

Sowohl die emissionsintensive Produktion von Elektroautos als auch der noch nicht emissionsfreie deutsche Strommix haben zur Folge, dass das Bundesumweltministerium Zweifel an der Klimafreundlichkeit von Elektroautos äußert (BMUV 2024). Unter Einbeziehung der indirekten Emissionen beziffern zahlreiche Studien die durch ein Elektroauto eingesparten Emissionen auf lediglich rund ein Drittel der hier dargestellten theoretischen Maxima. Dementsprechend betragen die tatsächlichen Vermeidungskosten das Dreifache der hier berechneten Vermeidungskosten und liegen in der Größenordnung von über 1.000 Euro. Eine Rechtfertigung der Förderung der Elektromobilität mit klimapolitischen Motiven fällt angesichts derart hoher Vermeidungskosten sehr schwer.

Die Vermeidungskosten der Emissionsstandards bei Neufahrzeugen

Die Europäische Kommission hat im April 2009 die Verordnung [EG 443/2009](#) verabschiedet, mit der in der Europäischen Union die Autohersteller ab dem Jahr 2015 gezwungen wurden, den spezifischen CO₂-Ausstoß je Kilometer von neu zugelassenen Pkw zu senken. Da der CO₂-Ausstoß jedes Pkw proportional zu seinem Kraftstoffverbrauch ist, bedeutete diese Verordnung nichts anderes als eine Vorschrift für die Energieeffizienz von Pkw, das heißt den spezifischen Verbrauch an fossilen Kraftstoffen je Kilometer. Die EU-Kommission sieht diese Emissionsnormen als ein wichtiges Instrument an, um energieeffiziente Fahrzeuge mit einem geringen Energieverbrauch im Markt zu etablieren und hat diese Emissionsstandards über die Zeit immer weiter verschärft.

Für das Jahr 2020 wurde der Zielwert von 130 auf 95 g CO₂/km gesenkt, eine Verringerung um rund 27 %. Der Zielwert musste von 95 % der Neuwagenflotte eingehalten werden, 5 % der Neuwagen mit den höchsten spezifischen Emissionen blieben ein Jahr lang von der Regelung verschont. Erst ab dem Jahr 2021 galt der Zielwert von 95 Gramm für die gesamte Flotte. Mit der [EU-Verordnung 2019/631](#) wurden die

Emissionsstandards für neue Pkw erneut angezogen, für das Jahr 2025 auf minus 15 % gegenüber dem Wert von 95 g CO₂/km und auf minus 37,5 % für das Jahr 2030.⁶ Mit der [EU-Verordnung 2023/851](#) erfolgte eine weitere deutliche Verschärfung der Emissionsnormen: Das Emissionsziel für Pkw von minus 37,5 % für das Jahr 2030 wurde durch ein noch weitaus ambitionierteres Ziel von minus 55 % ersetzt. Eine ähnlich massive Verschärfung gab es bei den Emissionsstandards für leichte Nutzfahrzeuge, bei denen das Ziel von minus 31 % für das Jahr 2030 auf minus 50 % heraufgesetzt wurde.

Mit diesen Emissionsstandards gehen hohe implizite CO₂-Vermeidungskosten einher, denn die Nichteinhaltung dieser gesetzlichen Vorgaben ist für Autohersteller mit empfindlichen Strafen verbunden: Bei Überschreitung des Grenzwerts ist eine Strafe von 95 Euro für jedes unerlaubte Gramm pro Kilometer pro verkauftem Fahrzeug fällig (BMU 2020: 5).⁷ Unterstellt man für die Lebensdauer eines neu zugelassenen Pkw eine Fahrleistung von 100.000 Kilometern, ergeben sich für jedes unerlaubte Gramm Vermeidungskosten von 950 Euro je Tonne, denn über die Lebensdauer werden dadurch zusätzlich 0,1 Tonnen CO₂ (=100.000 km mal 0,001 kg/km) ausgestoßen, für die eine Strafe von 95 Euro zu zahlen sind. Unterstellt man eine weitaus höhere Fahrleistung von 200.000 Kilometern, läge der mit der Strafe verbundene implizite CO₂-Preis mit 475 Euro noch immer weit über dem aktuellen Preis für Emissionszertifikate im EU-Emissionshandel. Autohersteller werden folglich auch sehr teure Maßnahmen vornehmen, um keine hohen Strafzahlungen leisten zu müssen, beispielsweise den Verkauf von Elektromobilen, die in der Emissionsregulierung der Europäischen Kommission als Nullemissionsfahrzeuge gewertet werden, zu einem Preis, der nicht die Herstellungskosten deckt.

Die wiederholte Verschärfung der EU-Emissionsstandards ist besonders kritisch zu sehen vor dem Hintergrund, dass die Wohlfahrtseffekte einer solchen Regulierungsmaßnahme negativ ausfallen dürften. Für diese Schlussfolgerung gibt es umfangreiche empirische Evidenz. So gibt es zahlreiche Studien für die USA, die zu dem Schluss kommen, dass die dort in den 1970er Jahren eingeführten CAFE-Standards (Corporate Average Fuel Efficiency) für Pkw negative Wohlfahrtseffekte zur Folge hatten. So schätzen Babiker et al. (2013) auf Basis eines Allgemeinen Gleichgewichtsmodells, dass

⁶ Seit dem Jahr 2022 basiert die Überprüfung des Zielwerts von 95 g CO₂/km auf dem realitätsnäheren, weltweit harmonisierten Prüfverfahren WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) als Ersatz für die bisherigen Messungen mit dem bis 2021 verwendeten Prüfverfahren, dem Neuen Europäischen Fahr-Zyklus (NEFZ). Durch das WLTP-Verfahren soll der Kraftstoffverbrauch der Pkw und leichten Nutzfahrzeuge in den vom Kraftfahrt-Bundesamt akkreditierten Prüflaboren realitätsnäher erhoben werden. Durch die Änderung des Prüfverfahrens folgte aus den festgelegten Emissionsnormen eine implizite Verschärfung ihrer Konsequenzen in der Praxis.

⁷ Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass nach einem [Rechtsgutachten](#) des Europarechtlers Professor Martin Kment die Flottengrenzwerte aufgrund der veralteten Messmethodik der Messung der Schadstoffe am Auspuff europarechtswidrig seien. Diese Messmethodik sei überholt und schade „einem effektiven Umweltschutz“. Die Beurteilung des CO₂-Ausstoßes sollte nicht durch Messung am Auspuff erfolgen, sondern auch die vor- und nachgelagerten Umweltauswirkungen in einer Lebenszyklusbewertung berücksichtigen. Bestimmte Antriebsformen wie der Elektroantrieb werden durch den veralteten Tail-Pipe-Ansatz bevorzugt, denn dadurch wird jedes Elektroauto als emissionsfrei behandelt, unabhängig von dessen tatsächlicher Emissions- und Schadstoffbilanz. Das Rechtsgutachten stellt deshalb die Strafzahlungen der Automobilhersteller an Brüssel als rechtswidrig in Frage.

Effizienzstandards für Pkw eine mindestens sechsmal so teure Maßnahme darstellen wie entsprechend hohe Kraftstoffsteuern mit derselben Effektivität bei der Kraftstoffeinsparung. Viele andere Studien kommen zu dem Schluss (z. B. Austin, Dinan 2005; Crandall 1992; Kleit 2004), dass Kraftstoffsteuern effektivere Maßnahmen als Effizienzstandards darstellen, um den Kraftstoffverbrauch zu senken.

Ein wesentlicher Grund für die Ineffektivität von Emissionsstandards ist das Auftreten von Rebound-Effekten: Mit energieeffizienten Pkw wird aufgrund der geringen Kraftstoffkosten pro Kilometer tendenziell mehr gefahren als mit weniger effizienten Pkw (Frondel et al. 2008). Der dadurch erfolgende Anstieg der Fahrleistung macht einen Teil der durch die Benutzung eines effizienten Pkw möglichen Kraftstoffeinsparungen wieder zunichte (Rebound-Effekt). Frondel et al. (2008, 2012) sowie Frondel und Vance (2013, 2018) kommen für den motorisierten Individualverkehr in Deutschland zum Schluss, dass derartige Rebound-Effekte zwischen 40 bis 70 Prozent ausmachen können. Das heißt: 40 bis 70 Prozent der bei unverändertem Fahrverhalten möglichen Energieeinsparungen werden durch Erhöhung der Fahrleistung wieder zunichtegemacht.

Ein weiterer Grund dafür, dass Kraftstoffsteuern effektivere Maßnahmen zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs darstellen als Effizienzstandards, besteht darin, dass höhere Standards nur für Neufahrzeuge gelten, nicht für die gesamte Fahrzeugflotte. Höhere Kraftstoffsteuern wirken sich hingegen auf die Benutzung aller Pkw aus und sorgen bei allen Pkw-Haltern für unmittelbare Anreize, kurzfristig weniger zu fahren und mittelfristig auf emissionsärmere Pkw umzusteigen.

Aus diesen und anderen Gründen ist die Effektivität von Emissionsstandards in Frage zu stellen. Indem die EU-Kommission diese Emissionsminderungsstrategie für den Verkehrssektor weiterhin bevorzugt, ignoriert sie zudem, dass die USA trotz einer frühen Einführung von Effizienzstandards in den 1970er Jahren lange Zeit kaum Fortschritte in Bezug auf die Energieeffizienz von Pkw erzielt haben. In Deutschland sowie auch in der gesamten Europäischen Union hat hingegen die teils kräftige Erhöhung der Kraftstoffsteuern, die in vielen Jahren durch hohe Rohölpreise unterstützt wurde, deutliche Spuren bei der Verbesserung der Energieeffizienz von Pkw hinterlassen.

Es wäre angesichts der hohen CO₂-Vermeidungskosten, die mit den Strafzahlungen bei den Emissionsnormen verbunden sind, weitaus kostengünstiger, die Vermeidung von Treibhausgasen im Verkehr dem neuen, zweiten EU-Emissionshandelssystem für den Verkehrs- und Wärmesektor zu überlassen und im Gegenzug die Emissionsstandards abzuschaffen. Eine Stärke des Emissionshandels, in dem sich der Preis frei bilden kann und jegliche Ziele punktgenau durch die Verringerung der Zertifikatsmenge erreicht werden können, ist, dass er technologieoffen ist und die Akteure individuell entscheiden können, wo und wie CO₂ vermieden wird.

Eben diese Entscheidungsfreiheit wird durch die Flottengrenzwerte wieder zunichte gemacht, weil die strengen Grenzwerte die Autobauer faktisch dazu zwingen, ihre Flotten

zu elektrifizieren. Alternativen Antrieben und synthetischen Kraftstoffen wird es dadurch schwer gemacht, sich am Markt zu etablieren. Im Ergebnis stellen die EU-Emissionsstandards ein Instrument zur Verbreitung der Elektromobilität dar, das schon allein wegen der mangelnden Technologieoffenheit in Frage zu stellen ist.

Darüber hinaus ist zu konstatieren, dass es ohne eine Abschaffung der Emissionsnormen mit der Einführung des separaten zweiten EU-Emissionshandelssystems für die Sektoren Verkehr und Gebäude zu einer Doppelregulierung von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen kommt: Zum einen durch die Emissionsnormen und zum anderen durch die Pönalisierung des Kraftstoffverbrauchs infolge der Kosten für Emissionszertifikate. In Deutschland gibt es im Übrigen eine solche Doppelregulierung bereits seit dem Jahr 2021, in dem die nationale CO₂-Bepreisung fossiler Brenn- und Kraftstoffe eingeführt wurde.

Durch die auf das Jahr 2027 terminierte Einführung des zweiten EU-Emissionshandels werden die Flottengrenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge nicht nur überflüssig.⁸ Vielmehr wirken sie sogar kontraproduktiv, denn die immer strengeren Grenzwerte für die spezifischen CO₂-Emissionen schwächen das durch den CO₂-Zertifikatspreis des neuen Emissionshandels gesetzte Preissignal. Durch die Beibehaltung der Emissionsstandards würde die EU-Kommission die Wirkung des neuen Emissionshandels untergraben.

Die Vermeidungskosten des Ausbaus der regenerativen Stromerzeugung

Der sehr kostenintensive Ausbau der Erneuerbaren wird mit einer Vielzahl an Gründen gerechtfertigt, nicht zuletzt mit positiven Beschäftigungseffekten. Die primäre Begründung dafür ist jedoch die Reduktion des Treibhausgasausstoßes. Durch den Erneuerbaren-Ausbau, aber auch wegen der Abschaltung von Kohlekraftwerken infolge steigender Preise für Emissionszertifikate im Emissionshandel und aufgrund des Kohleausstiegs, haben sich die CO₂-Emissionen in der deutschen Energiewirtschaft seit Einführung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 massiv verringert, in den Jahren 2000 bis 2023 um nahezu die Hälfte, von rund 385 auf rund 205 Millionen Tonnen (UBA 2024b).

Dennoch hat der Erneuerbaren-Ausbau im europäischen Maßstab betrachtet aufgrund der Existenz des Emissionshandels nicht die gewünschten Klimaschutzwirkungen, denn dadurch werden unmittelbar keine weiteren Einsparungen an Treibhausgasen erzielt, die über jenes Maß hinausgehen, das bereits durch den EU-Emissionshandel erreicht wird (BMWA 2004: 8). Der Grund dafür liegt darin, dass die via EEG geförderte Stromerzeugung für geringere Emissionen im deutschen Stromsektor und damit für eine geringere Nachfrage nach Emissionszertifikaten sorgt. Die freiwerdenden Zertifikate werden von anderen am Emissionshandel beteiligten Unternehmen erworben, zum Beispiel von den Stromerzeugern anderer Länder. Im Ergebnis ergibt sich lediglich eine

⁸ Es ist festgelegt worden, dass sich der Start des zweiten EU-Emissionshandels bei Auftreten extrem hoher Energiepreise vom Jahr 2027 auf das Jahr 2028 verschiebt.

Emissionsverlagerung, der durch das EEG bewirkte CO₂-Einspareffekt ist auf europäischer Ebene de facto null (BMW 2004: 8; Morthorst 2003).

Es hat sich eingebürgert, in diesem Zusammenhang vom Wasserbetteffekt zu sprechen. Drückt man das Wasserbett an einer Stelle herunter, etwa durch die EEG-Förderung erneuerbarer Energien in Deutschland, geht es an anderen Stellen nach oben, etwa durch den Mehrausstoß von Kohlekraftwerken; die gesamte Emissionsmenge, bildlich gesprochen die Wassermenge, bleibt gleich. Den Wasserbetteffekt anerkennend wird oft argumentiert, z. B. von Graichen et al. (2018), dass dadurch der Ausbau der Erneuerbaren zwar keinen unmittelbaren emissionsmindernden Effekt auf Ebene der Europäischen Union hat, aber der Ausbau der regenerativen Technologien es ermöglichen würde, künftig ambitioniertere Emissionsminderungsziele zu setzen und zu erreichen. Dieses Argument kann dann zutreffend sein, wenn der Ausbau der Erneuerbaren von allen EU-Mitgliedsstaaten mit relativ ähnlichen Ambitionen vorangetrieben wird und diese Ambitionen sich tatsächlich in der Absenkung der Emissionsobergrenze des EU-Emissionshandels niederschlagen.

Werden die Erneuerbaren jedoch in so massiver und nichtantizipierter Weise vorangetrieben, wie dies in den Jahren 2023 und 2024 in Deutschland bei der Photovoltaik der Fall war, als mit einer neu installierten Kapazität von jährlich jeweils über 14 Gigawatt neue Zubau-Rekorde erzielt wurden, ist nicht davon auszugehen, dass dieser Boom zu einer weiteren Absenkung der EU-weiten Emissionsobergrenze führt. Falls doch, stellt sich die Frage, warum ausgerechnet ein einzelnes Land wie Deutschland einen besonders hohen Beitrag dazu leisten und dafür hohe Kosten in Kauf nehmen sollte.

Ungeachtet der tatsächlich im globalen Maßstab erzielbaren Emissionsminderungen ist zu konstatieren, dass die Emissionsvermeidungskosten des Ausbaus regenerativer Technologien lange Zeit weitaus höher lagen als die Preise für Zertifikate im EU-Emissionshandel. So taxierten Frondel, Ritter, Schmidt, Vance (2010: 119) die mit der Förderung der Photovoltaik in Deutschland einhergehenden Vermeidungskosten auf mehr als 600 Euro je Tonne CO₂. Die Internationale Energieagentur ging zuvor wegen damals noch höheren Technologiekosten sogar von einem Wert von rund 1.000 Euro je Tonne aus (IEA 2007: 74). Mit der Förderung der Erneuerbaren wird somit das Prinzip des Emissionshandels konterkariert, die Treibhausgase mit den kosteneffizientesten Technologien auf kostengünstigste Weise zu reduzieren.

Stellt man die durch grünen Strom pro Jahr vermiedenen Treibhausgasemissionen den jährlichen Differenzkosten gegenüber (Tabelle 5), ergeben sich durchschnittliche Treibhausgasvermeidungskosten, die in der vergangenen Dekade bis zu rund 190 Euro je Tonne betragen haben. Dies liegt deutlich über den Preisen für Emissionszertifikate im EU-Emissionshandel, die bislang noch nie nennenswert über dem Wert von 100 Euro lagen.

Dies zeigt, dass sich Treibhausgasemissionen deutlich kostengünstiger vermeiden ließen, als dies insbesondere mit teuren regenerativen Stromerzeugungstechnologien wie Photovoltaikdachanlagen der Fall ist.

Tabelle 5: Treibhausgasvermeidung durch Erneuerbare in CO2-Äquivalenten und Emissionsvermeidungskosten

Jahr	Emissionsvermeidung in Millionen Tonnen	EEG-Differenzkosten in Milliarden Euro	Vermeidungskosten in Euro pro Tonne
2000	33,174	0,666	20,1
2001	35,935	1,140	31,7
2002	41,889	1,664	39,7
2003	41,437	1,766	42,6
2004	50,411	2,431	48,2
2005	53,943	2,998	55,6
2006	52,396	3,767	71,9
2007	62,104	4,338	69,9
2008	61,715	4,818	78,1
2009	65,081	5,305	81,5
2010	71,393	9,527	133,4
2011	87,371	12,777	146,2
2012	89,525	16,056	179,3
2013	92,679	17,423	188,0
2014	108,617	19,295	177,6
2015	128,915	21,913	170,0
2016	129,558	22,210	171,4
2017	141,122	23,318	164,4
2018	146,751	23,219	157,4
2019	171,803	25,745	148,6
2020	178,820	28,477	158,7
2021	164,844	26,353	159,9
2022	177,140	19,799	111,8
Summe	2 186,6	294,453	134,7

Quellen: BMWK (2021, 2023).

Die unendlich hohen Emissionsvermeidungskosten des Kohleausstiegs

Die Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ hat im Jahr 2019 vorgeschlagen (Kohlekommission 2019), dass die Kohleverstromung in Deutschland aus Klimaschutzgründen spätestens bis zum Jahr 2038 beendet werden sollte. Der

Kohleausstieg wurde im darauffolgenden Jahr 2020 im Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (KVBG) gesetzlich verankert. Die Umsetzung des Kohleausstiegsbeschlusses bedeutet, dass 44,9 Gigawatt (GW) an Kohlekraftwerkskapazitäten (Tabelle 6), die im Jahr 2017 einen Anteil von knapp 40 % an der Stromerzeugung hatten (AGEB 2019), abgeschaltet werden müssen. Rund 20 % des Primärenergieverbrauchs des Jahres 2017 sind deshalb auf andere Art und Weise zu decken oder müssen eingespart werden.⁹

Bis zum Jahr 2030 soll die Leistung der im Markt befindlichen Kohlekraftwerke auf maximal 9 GW Braun- und 8 GW Steinkohlekapazitäten verringert werden (Tabelle 6). Das entspricht im Vergleich zum Jahr 2017, das hier als Referenzjahr gewählt wurde, weil bis zu dem Jahr erst ein Kohlekraftwerksblock auf ordnungsrechtlichem Wege abgeschaltet wurde, bis 2030 einem Rückgang von 11,9 GW bei der Braunkohle und 16,0 GW bei der Steinkohle. In anderen Worten: Bis zum Jahr 2030 sollen über die Hälfte der 2017 am Netz befindlichen Braunkohlekapazitäten und rund zwei Drittel der damaligen Steinkohlekapazitäten abgeschaltet sein.

Insgesamt soll bis zum Jahr 2030 Kohlekraftwerksleistung in Höhe von 27,9 GW im Vergleich zum Jahr 2017 abgeschaltet werden. Die Kohlekraftwerksleistung betrug im Jahr 2024 nur noch etwas mehr als 26,6 GW, nachdem der Kohleausstieg wegen des Überfalls Russlands auf die Ukraine vorübergehend verzögert wurde und einige Kraftwerke erst im Jahr 2024 vom Netz genommen wurden.

Tabelle 6: Kapazitäten an Stein- und Braunkohlekraftwerken in Deutschland in Gigawatt (GW) und Kohleausstiegsplan (Quelle: Kohleverstromungsbeendigungsgesetz, BNetzA 2024)

	2017	2022	2024	2030	Abbau zu 2017
Braunkohle	20,9 GW	18,5 GW	15,1 GW	9 GW	-11,9 GW
Steinkohle	24,0 GW	19,0 GW	11,5 GW	8 GW	-16,0 GW
Insgesamt	44,9 GW	37,5 GW	26,6 GW	17 GW	-27,9 GW

Allerdings ist der Ausstiegsplan für die Kohleverstromung an eine Reihe von energie- und sozialpolitischen Bedingungen geknüpft und sollte im Jahr 2022 überprüft werden und darüber hinaus in den Jahren 2026, 2029 und 2032.¹⁰ Dazu ist im KVB-Gesetz ein Monitoring des Kohleausstiegs mit entsprechenden Monitoringberichten vorgesehen (Löschel, Grimm, Matthes, Weidlich 2024). Angesichts der durch den Überfall Russlands

⁹ Darüber hinaus gibt es weitere Kohlekraftwerke, die nicht am Markt aktiv sind, aber zur Überbrückung von Versorgungsempässen in der sogenannten Netzreserve gehalten werden.

¹⁰ Sofern die energiewirtschaftlichen, beschäftigungspolitischen und betriebswirtschaftlichen Voraussetzungen vorliegen, kann in Verhandlungen mit den Betreibern der Kohleausstieg auf 2035 vorgezogen werden. Die Überprüfung, ob dies möglich ist, ist für das Jahr 2032 geplant („Öffnungsklausel“).

auf die Ukraine ausgelösten Verwerfungen auf den Energiemärkten verwundert es sehr, dass der für 2022 vorgesehene Monitoringbericht zum Kohleausstieg bislang noch immer nicht vorliegt. Schließlich sollten es singuläre Ereignisse wie dieses sein, die Anlass für die Festlegung der genannten Überprüfungsjahre waren.

Zur vorzeitigen Beendigung der Braunkohleverstromung wurden mit den Hauptbetreibern von Braunkohlekraftwerken, der RWE Power AG („RWE“) und der Lausitz Energie Kraftwerke AG („LEAG“), Vereinbarungen geschlossen, die für diese Unternehmen Entschädigungszahlungen in Milliardenhöhe vorsehen. Daher meldete Deutschland im Jahr 2021 bei der Europäischen Kommission Pläne an, nach denen diesen Kraftwerks-Betreibern eine Entschädigung in Höhe von insgesamt 4,35 Milliarden Euro gewährt werden soll: Davon waren 2,6 Milliarden Euro für die RWE-Braunkohleanlagen im Rheinland und 1,75 Milliarden Euro für die LEAG-Anlagen in der Lausitz vorgesehen. Diese Beihilfen wurden mittlerweile von der Kommission genehmigt.

Hinzu kommen weitere rund 0,8 Mrd. Euro, die für die Stilllegung von 10,8 GW an Steinkohle- und kleineren Braunkohlekraftwerksblöcken bis zum Jahr 2026 aufzubringen sind (Löschel et al 2024: 78). Diese Summe ergab sich als Resultat von bislang sieben Auktionen, die die Bundesnetzagentur durchgeführt hat, um die Kosten für die Kraftwerksstilllegungen so gering wie möglich zu halten.

Noch ehe mit dem Kohleverstromungsbeendigungsgesetz im Jahr 2020 der Kohleausstieg gesetzlich geregelt wurde, wurde im Jahr 2016 die sogenannte Sicherheitsbereitschaft eingeführt, um aus Furcht vor der Verfehlung des nationalen Klimaschutzziels für das Jahr 2020 die Emissionen des Stromerzeugungssektors zu senken. Diese Maßnahme implizierte, dass acht Braunkohle-Kraftwerksblöcke mit einer Kapazität von insgesamt 2,7 GW sukzessive vom Markt genommen wurden und in die Sicherheitsbereitschaft zu überführen waren, ehe sie nach vier Jahren endgültig stillgelegt wurden (BMWi 2020). Damit wurden ca. 13% der im Jahr 2016 installierten Braunkohleleistung bis Ende März 2024 aus dem Markt genommen. Die Sicherheitsbereitschaft gehört daher mittlerweile der Geschichte an.

Für die durch die Überführung in die Sicherheitsbereitschaft entgangenen Gewinne erhielten die Kraftwerksbetreiber Entschädigungszahlungen, die von den Stromverbrauchern in Form höherer Netzentgelte zu zahlen waren. Insgesamt wurden für diesen Zweck rund 1,65 Mrd. Euro an Entschädigungszahlungen für die Braunkohlekraftwerksbetreiber veranschlagt (BMWi 2020). Damit sollten in Deutschland bis zum Jahr 2020 CO₂-Emissionen in Höhe von 12,5 Mio. Tonnen eingespart werden. Laut

einer Evaluierung durch das Ökoinstitut und die Prognos AG wurde das vorgesehene Minderungsziel in etwa erreicht (BMW i 2020).¹¹

Allerdings wurden mit dieser nationalen Maßnahme wegen der Existenz des EU-Emissionshandels und des damit einhergehenden Wasserbetteffektes keinerlei Emissionsminderungen auf europäischer Ebene erbracht: Die durch die Stilllegung der Braunkohlekraftwerksblöcke in Deutschland freiwerdenden Emissionszertifikate standen anderen Stromerzeugern und Industrieunternehmen zur Verfügung, die entsprechend mehr CO₂-Emissionen ausstoßen konnten. Im Ergebnis wurde durch die Sicherheitsbereitschaft zunächst keinerlei Treibhausgasemissionen eingespart, da wegen des Zusammenspiels mit dem EU-Emissionshandel auf europäischer Ebene gar keine Emissionen vermieden wurden. Die Vermeidungskosten dieser Maßnahme waren folglich unendlich hoch, denn die EU-weite Emissionseinsparung betrug null.

Dies änderte sich teilweise mit Inkrafttreten der sogenannten Marktstabilitätsreserve im Jahr 2019. Seit 2019 werden 24 % der in Umlauf befindlichen Emissionszertifikate in diese Reserve überführt, wenn die Anzahl der in Umlauf befindlichen Zertifikate die Schwelle von 833 Millionen Zertifikate übersteigt (Weimann 2024). Demnach konnten seit dem Jahr 2019 nur noch 76 % der infolge der Überführung von Braunkohlekraftwerken in die Sicherheitsbereitschaft freiwerdenden Zertifikate von anderen am Emissionshandel teilnehmenden Unternehmen aufgekauft werden. Damit hatte die deutsche Sicherheitsbereitschaft auch auf europäischer Ebene eine gewisse Emissionsminderungswirkung erlangt.¹²

Damit der in Deutschland im Jahr 2020 gesetzlich verankerte Kohleausstieg nicht nur im nationalen Maßstab eine Emissionsminderungswirkung entfalten kann, wurde im Kohleverstromungsbeendigungsgesetz festgeschrieben, dass die infolge des Kohleausstiegs freiwerdenden Emissionszertifikate vom Markt genommen werden sollen, um so den Wasserbetteffekt zu beseitigen. Das ist aus mehreren Gründen nicht leicht in die Praxis umzusetzen.

Erstens ist die Menge der durch den Kohleausstieg freiwerdenden Zertifikate, die vom Markt zu nehmen sind, damit der deutsche Kohleausstieg eine globale Emissionsminderungswirkung entfaltet, nicht leicht zu bestimmen, denn die mit der Abschaltung eines Kohlekraftwerks einhergehende Verringerung der CO₂-Emissionen entspricht nicht einfach der Menge an Emissionen, die das Kraftwerk vor seiner Abschaltung ausgestoßen hat. Vielmehr wird ein mehr oder weniger großer Teil der

¹¹ Die Sicherheitsbereitschaft sollte auch als Absicherung der Stromversorgung dienen. Bis zum Ausbruch des Ukrainekrieges wurde aber keines der Kraftwerke benötigt.

¹² Im Jahr 2023 durfte nach einer Reform der Marktstabilitätsreserve die darin befindliche Menge an Zertifikaten nur noch maximal der Versteigerungsmenge des darauffolgenden Jahres 2024 entsprechen. Alle darüber hinaus gehenden Emissionsberechtigungen wurden gelöscht. Im Ergebnis hat die Reform der Marktstabilitätsreserve dazu geführt, dass im Jahr 2023 1,2 Milliarden Emissionsberechtigungen gelöscht wurden.

Stromerzeugung des abgeschalteten Kraftwerks von noch am Markt befindlichen fossilen Kraftwerken im In- und Ausland übernommen (Pahle et al. 2019).

Dadurch erhöhen sich die Kapazitätsauslastung und die Emissionen der Kraftwerke, die die Stromerzeugung des abgeschalteten Kraftwerks zumindest zu einem Teil übernehmen. Je nachdem, ob die Verlagerungen von Stromerzeugung und Emissionen innerhalb oder außerhalb Deutschlands eintreten, spricht man vom nationalen oder europäischen Rebound-Effekt (Pahle et al. 2019). Die Ursache für derartige Rebound-Effekte liegt darin, dass sich durch das Abschalten von Kohlekraftwerken in Deutschland der Strompreis in Europa etwas erhöht und dadurch die im Markt verbleibenden Steinkohle- und Braunkohlekraftwerke häufiger kostendeckend produzieren können.

Der Umfang solcher Rebound-Effekte ist nicht einfach zu quantifizieren und somit lassen sich auch die Vermeidungskosten des Kohleausstiegs nur schwer bestimmen. Weitaus gravierender ist jedoch, dass diese Rebound-Effekte die mit dem Kohleausstieg in Deutschland intendierte Verringerung der Treibhausgasemissionen unterminieren. Im Extremfall beträgt der Rebound-Effekt 100 % und es werden gar keine Emissionen eingespart. Die CO₂-Vermeidungskosten wären in diesem Fall unendlich hoch.

Zweitens: Ungeachtet der Möglichkeit eines vollständigen Rebounds und der Schwierigkeit, die Zahl der durch den Kohleausstieg tatsächlich freiwerdenden Emissionszertifikate zu bestimmen, muss die Bundesregierung bis zum 31. Dezember des auf die Stilllegung von Kohlekraftwerken folgenden Kalenderjahres die Europäische Kommission in Kenntnis setzen, welche Menge an Zertifikaten als Folge dieser Stilllegung im Nachhinein vom Markt genommen werden soll (Bundesrechnungshof 2024). Für Stilllegungen im Jahr 2021 hätte die deutsche Regierung die EU-Kommission folglich bis Dezember 2022 informieren müssen. Das ist nicht geschehen (Schrems, Meemken 2023).

Vor dem Hintergrund der Frage, in welchem Umfang Zertifikate zur Löschung bei der Kommission beantragt werden sollen, drängt sich eine kosteneffiziente Alternative zum Kohleausstieg geradezu auf: Wenn dieselbe Menge an Zertifikaten, die zur Löschung bei der Kommission Jahr für Jahr beantragt werden muss, um dem nationalen Kohleausstieg wegen des Wasserbetteffektes überhaupt zur Wirksamkeit zu verhelfen, jährlich von der Bundesregierung aufgekauft und anschließend vernichtet worden wäre, wäre dem weltweiten Klimaschutz in exakt derselben Weise Genüge getan worden wie durch einen Kohleausstieg mit anschließender Verringerung der Menge an zu versteigernden Zertifikaten. Dadurch wäre jedoch nicht die Versorgungssicherheit mit Strom in Deutschland und die gesellschaftliche Wohlfahrt verringert worden, wie dies infolge des Kohleausstiegs geschieht.

Der Kauf der Zertifikate hätte aus den Auktionserlösen für die Zertifikate finanziert werden können, die die Kohlekraftwerksbetreiber für einen Weiterbetrieb der Kraftwerke

am Markt hätten kaufen müssen. Für Deutschland wäre das daher ein weitgehend kostenneutraler Weg gewesen, zum weltweiten Klimaschutz beizutragen, ohne die zahlreichen Nachteile des Kohleausstiegs in Kauf nehmen zu müssen und ohne den Kraftwerksbetreibern Entschädigungszahlungen von bislang mindestens 6,8 Mrd. Euro leisten zu müssen. (Zur Information: Diese Summe resultiert aus den 4,35 Mrd. Euro für RWE und LEAG, 1,65 Mrd. Euro für die Sicherheitsbereitschaft und bislang 0,8 Mrd. Euro für die Versteigerungen zum Abschalten von Steinkohlekraftwerken.)

Dass die Politik diese kosteneffiziente Alternative dem Kohleausstieg nicht vorgezogen hat, dürfte wohl vor allem zwei Gründe gehabt haben: Erstens sind diese Zusammenhänge nicht so offensichtlich, als dass sie von der Politik leicht erkannt werden können. Zweitens: Da diese Zusammenhänge für die Bevölkerung noch weniger leicht zu durchdringen sind als für die Politik, erscheint es für die Politik naheliegender, auf die symbolische Handlung der Abschaltung von Kohlekraftwerken zu setzen, um der Bürger- und Wählerschaft ihren Willen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und zur Erreichung der Klimaschutzziele zu demonstrieren, als in abstrakter, aber ebenso effektiver und bei entsprechender Ausgestaltung kostenneutraler Weise, zu eben diesem Zweck Emissionszertifikate zu kaufen und zu vernichten.

Insgesamt ist festzuhalten, dass es mit dem gerade skizzierten Weg eine für den Staat weitaus kostengünstigere Alternative zum Kohleausstieg in Deutschland gegeben hätte, mit der dieselben Emissionsminderungen hätten erreicht werden können. Auch bei einem vor allem durch die Zertifikatpreise getriebenen, marktlichen Kohleausstieg hätte sich der Staat im Vergleich zum nun beschrittenen ordnungsrechtlichen Ausstieg Milliarden Euro an Entschädigungszahlungen erspart. Wenn ein marktgetriebener Kohleausstieg zu weitgehend demselben Ausstiegspfad geführt hätte, wie er nun durch den ordnungsrechtlichen Kohleausstieg vorgegeben wurde, wären die Emissionsvermeidungskosten des ordnungsrechtlichen Kohleausstiegs unendlich hoch ausgefallen. Tatsächlich ist dies kein völlig abwegiges Szenario: So geht die Expertenkommission für das Monitoring der Energiewende in ihrem jüngsten Monitoringbericht davon aus, dass „der Kohleausstieg voraussichtlich deutlich rascher und weitgehend durch marktliche CO₂-Preissignale bzw. das energiewirtschaftliche Umfeld erfolgen wird“ (Löschel, Grimm, Matthes, Weidlich 2024: 95).

Zusammenfassung und Fazit

Diese Kurzstudie hat die Emissionsvermeidungskosten von ordnungsrechtlichen Maßnahmen wie den EU-Emissionsstandards für Pkw und eines generellen Tempolimits auf Autobahnen abgeschätzt. Während die Kosten von ordnungsrechtlichen Maßnahmen notorisch intransparent sind, offenbaren die hier vorgenommenen Beispielberechnungen,

etwa zum Tempolimit und der Elektromobilität, dass damit hohe verdeckte Belastungen verbunden sein können.

So zeigt sich, dass ein Tempolimit unter dem Aspekt der Kosteneffizienz eine eher ungeeignete klimapolitische Maßnahme darstellt, wenn die Opportunitätskosten von Pkw-Fahrern, üblicherweise gemessen durch den Stundenlohn, hoch ausfallen. So können sich bei einem Nettostundenlohn von 30 Euro CO₂-Vermeidungskosten von über 1.200 Euro pro Tonne ergeben, wenn ein Tempolimit von 120 Kilometer pro Stunde eingehalten werden muss, aber ohne Tempolimit im Durchschnitt mit einer Geschwindigkeit von 150 Kilometer pro Stunde gefahren wird. Demnach können Treibhausgasemissionen wesentlich kostengünstiger vermieden werden als durch ein Tempolimit, denn Vermeidungskosten von 1.200 Euro stellen ein Vielfaches des aktuellen Preises für Emissionszertifikate im EU-Emissionshandel dar. Dieser Preis ist bislang nie nennenswert über den Wert von 100 Euro gestiegen.

Allerdings zeigt sich anhand der Beispielrechnungen für das Tempolimit auch eine große Bandbreite an CO₂-Vermeidungskosten, die außer von den Kraftstoffpreisen und der aus der Geschwindigkeitsreduzierung resultierenden Kraftstoffeinsparung vor allem von den individuellen Opportunitätskosten abhängen. Die Vermeidungskosten können gar negativ ausfallen, wenn die Opportunitätskosten niedrig sind. Die große Heterogenität in den Vermeidungskosten könnte eine mögliche Erklärung dafür sein, dass das Tempolimit ein stark polarisierendes Thema darstellt.

Auch nach Entfall der Umweltbonus genannten staatlichen Kaufprämie für Elektroautos erfährt die Elektromobilität noch immer eine hohe staatliche Unterstützung in Form einer steuerlichen Förderung. Berücksichtigt man diese implizite Art der Subventionierung, ergeben sich aus Beispielrechnungen Emissionsvermeidungskosten von mehreren hundert Euro. Allerdings ist zudem zu berücksichtigen, dass die Produktion von Elektroautos emissionsintensiv ist, vor allem die der Batterie, und dass auch der deutsche Strommix noch nicht emissionsfrei ist. Unter Einbeziehung dieser indirekten Emissionen betragen die tatsächlichen Vermeidungskosten der Förderung von Elektromobilität leicht über 1.000 Euro. Eine Rechtfertigung der noch immer hohen Förderung der Elektromobilität mit klimapolitischen Motiven fällt angesichts derart hoher Vermeidungskosten sehr schwer.

Von allen hier analysierten ordnungsrechtlichen Maßnahmen zur Senkung von Treibhausgasemissionen ist die mit weitem Abstand ineffektivste und, in Termini von Emissionsvermeidungskosten, teuerste Alternative der nationale Kohleausstieg. Zählt man die Überführung von acht Braunkohlekraftwerken in die sogenannte Sicherheitsbereitschaft ab dem Jahr 2016 zum deutschen Kohleausstieg hinzu, auch wenn dieser formal erst ab dem Jahr 2020 gesetzlich verankert wurde, hat der nationale Kohleausstieg wegen des

Wasserbetteffektes infolge der Existenz des EU-Emissionshandels mehrere Jahre keinerlei Emissionsreduktionen zur Folge gehabt. Die Vermeidungskosten waren deshalb bis zum Inkrafttreten der Marktstabilitätsreserve im Jahr 2019 unendlich hoch.

Unendlich hohe Vermeidungskosten wären auch die Folge des ordnungsrechtlichen Kohleausstiegs gewesen, wenn es stattdessen zu einem vollständig marktlichen Kohleausstieg gekommen wäre. Mit ein wenig mehr Geduld bei der Treibhausgasminderung hätte der Staat dem Steuerzahler daher wohl leicht über fünf Milliarden Euro an Entschädigungszahlungen an die Kraftwerksbetreiber ersparen können.

Fakt ist auch, dass der Kohleausstieg in Deutschland zwar die nationale Emissionsbilanz verbessert, aber nichts zur globalen Emissionsminderung beiträgt, wenn nicht, wie im Kohleverstromungsbeendigungsgesetz festgelegt, bei der Europäischen Kommission beantragt wird, dass die entsprechend freiwerdende Menge an Zertifikaten vom Markt genommen wird. Geschieht das nicht, wie beispielsweise für das Jahr 2021, werden die nicht mehr für die abgeschalteten Kohlekraftwerke verwendeten Zertifikate von anderen am Emissionshandel teilnehmenden Unternehmen gekauft und die Emissionen werden lediglich innerhalb der Europäischen Union verlagert. Dann sinken dadurch die Emissionen nur in Deutschland, nicht aber in der Europäischen Union insgesamt.

Selbst wenn solche Versäumnisse fortan nicht mehr vorkommen sollten und entsprechende Notifizierungen rechtzeitig bei der Kommission erfolgen, ist dieser Rechtsakt der klare Beleg dafür, dass die globalen Emissionen nicht durch den deutschen Kohleausstieg verringert werden. Vielmehr geschieht dies allein durch das Eliminieren von überschüssigen Emissionszertifikaten.

Abgesehen davon, dass es wegen der Übernahme der Stromproduktion der abgeschalteten Kohlekraftwerke durch weiter am Markt befindliche fossile Kraftwerke (Rebound-Effekt) alles andere als trivial ist, die durch die Abschaltung vermeintlich eingesparte Emissionsmenge zu bestimmen, und damit die Zahl der zu eliminierenden Emissionszertifikate, legt die Notwendigkeit der Eliminierung von Zertifikaten zur effektiven Emissionsminderung eine wesentlich kostengünstigere Alternative zum Kohleausstieg nahe: Wenn dieselbe Menge an Zertifikaten, die zur Löschung bei der Kommission Jahr für Jahr beantragt werden muss, um dem nationalen Kohleausstieg wegen des Wasserbetteffektes überhaupt zur Wirksamkeit zu verhelfen, jährlich von der Bundesregierung aufgekauft und anschließend vernichtet worden wäre, wäre dem weltweiten Klimaschutz ebenso Genüge getan worden wie durch einen Kohleausstieg mit anschließender Verringerung der Menge an zu versteigernden Zertifikaten.

Dadurch wäre jedoch nicht die Versorgungssicherheit mit Strom in Deutschland gefährdet, der Stromverbrauch verteuert und die gesellschaftliche Wohlfahrt verringert worden, wie dies infolge des Kohleausstiegs geschieht. Weil der Kauf der Zertifikate aus

den Auktionserlösen für die Zertifikate hätte finanziert werden können, die die Kohlekraftwerksbetreiber für einen Weiterbetrieb der Kraftwerke am Markt hätten kaufen müssen, wäre das für Deutschland sogar ein weitgehend kostenneutraler Weg gewesen, zum weltweiten Klimaschutz beizutragen, ohne die zahlreichen Nachteile des Kohleausstiegs in Kauf nehmen zu müssen. Dass diese so naheliegende, wesentlich kostengünstigere Alternative nicht ergriffen wurde, lässt sich wohl nur durch die symbolische Wirkung erklären, die der Kohleausstieg in Bezug auf Treibhausgasminderung in den Augen der Öffentlichkeit hat — leider zu Unrecht, wie die Notifizierungen an die Europäische Kommission offiziell bestätigen.

Die in diesem Beitrag untersuchten ordnungsrechtlichen Maßnahmen mögen bemerkenswerte Beispiele für oftmals als Klimaschutzmaßnahmen deklarierte staatliche Interventionen sein, die besonders hohe Emissionsvermeidungskosten nach sich ziehen. Sie stellen indessen alles andere als Ausnahmebeispiele für teure ordnungsrechtliche Maßnahmen dar. Energieeffizienzstandards für Neubauten sowie das faktische Verbot der Neuinstallation von rein auf Öl oder Gas basierenden Heizungen sowie Dämmstandards bei der energetischen Modernisierung von Altbauten sind lediglich einige wenige weitere Beispiele für die große Mannigfaltigkeit an ordnungsrechtlichen Maßnahmen, die die alltägliche Praxis bestimmen, aber deren Kosten in der Regel nicht offenkundig sind.

In vielen Fällen ergibt sich durch diese ordnungsrechtlichen Maßnahmen sogar eine Doppelregulierung. So wurde das faktische Heizungsverbot sehr kurzfristig mit Wirkung ab dem Jahr 2024 eingeführt, obwohl die nationale CO₂-Bepreisung zur Verteuerung von fossilen Brenn- und Kraftstoffen zu Zwecken der Treibhausgasminderung erst wenige Jahre zuvor, im Jahr 2021, in Kraft trat und ihre Wirkung bekanntermaßen erst mittel- bis langfristig entfaltet. Allein um derartige Doppelregulierungen zu vermeiden, aber vor allem um Klimaschutz nicht teurer als unbedingt nötig zu machen, sollte die Politik künftig weitaus stärker auf das bewährte marktwirtschaftliche Instrument des Emissionshandels sowie dessen Ausweitung setzen und dafür auf ordnungsrechtliche Maßnahmen weitgehend verzichten.

Anhang

Tabelle A1: Zeitlicher Mehraufwand und Opportunitätskosten eines Tempolimits von 120 km/h bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 140 km/h ohne ein Tempolimit

Distanz	20 km	30 km	40 km	50 Km
Zeitaufwand:				
Pro Tag	2,86 Minuten	4,29 Minuten	5,71 Minuten	7,14 Minuten
Pro Woche	14,30 Minuten	21,45 Minuten	28,55 Minuten	35,70 Minuten
Pro Jahr	9,53 Stunden	14,30 Stunden	19,03 Stunden	23,80 Stunden
Opportunitätskosten:				
15 Euro/h	143 Euro	215 Euro	286 Euro	357 Euro
30 Euro/h	286 Euro	430 Euro	572 Euro	714 Euro

Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle A2: Kraftstoffkostensparnis, Emissionseinsparung und CO2-Vermeidungskosten eines Tempolimits von 120 km/h bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von andernfalls 140 km/h bei einem Dieselfahrzeug

Einfache Distanz	20 km	30 km	40 km	50 Km
Distanz/Jahr	8000 km	12000 km	16000 km	20000 km
Einsparung an Sprit, Spritkosten und CO2-Emissionen:				
0,9 l/100 km	72 Liter	108 Liter	144 Liter	180 Liter
1,75 Euro/l	126 Euro	189 Euro	252 Euro	315 Euro
2,65 kg/l	0,191 t	0,286 t	0,382 t	0,477 t
Nettokosten = Opportunitätskosten – Spritkostensparnis:				
15 Euro/h	17 Euro	26 Euro	34 Euro	42 Euro
30 Euro/h	160 Euro	241 Euro	320 Euro	399 Euro
CO2-Vermeidungskosten:				
15 Euro/h	89 €/t	89 €/t	89 €/t	89 €/t
30 Euro/h	838 €/t	883 €/t	883 €/t	883 €/t

Quelle: Eigene Berechnungen. CO2-Emissionsfaktor Diesel: 2,65 kg/l.

Tabelle A3: Kraftstoffkostensparnis, Emissionseinsparung und CO2-Vermeidungskosten eines Tempolimits von 120 km/h bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von andernfalls 140 km/h bei einem Benzinfahrzeug

Einfache Distanz	20 km	30 km	40 km	50 km
Jahresdistanz	8000 km	12000 km	16000 km	20000 km
Einsparung an Sprit, Spritkosten und CO2-Emissionen:				
1 l/100 km	80 Liter	120 Liter	160 Liter	200 Liter
2 Euro/l	160 Euro	240 Euro	320 Euro	400 Euro
2,37 kg/l	0,190 t	0,284 t	0,379 t	0,474 t
Nettokosten = Opportunitätskosten – Spritkostensparnis:				
15 Euro/h	-17 Euro	-25 Euro	-34 Euro	-43 Euro
30 Euro/h	126 Euro	190 Euro	252 Euro	314 Euro
CO2-Vermeidungskosten:				
15 Euro/h	-90 €/t	-90 €/t	-90 €/t	-90 €/t
30 Euro/h	665 €/t	665 €/t	665 €/t	665 €/t

Quelle: Eigene Berechnungen. CO2-Emissionsfaktor Benzin: 2,37 kg/l.

Tabelle A4: Differenzkosten der Förderung der Erneuerbaren durch das EEG in Millionen Euro

Jahr	Wasser- Kraft	Photo- voltaik	Windkraft an Land	Windkraft auf See	Bio- Masse	Übrige	Insgesamt	Differenz- kosten in Cent/kWh
2000	213	14	397	0	42	0	666	6,4
2001	295	37	703	0	105	0	1140	6,3
2002	329	78	1.080	0	177	0	1.664	6,7
2003	253	145	1.144	0	224	0	1.766	6,2
2004	195	266	1.520	0	347	103	2.431	6,3
2005	193	636	1.518	0	540	111	2.998	6,8
2006	168	1.090	1.529	0	896	84	3.767	7,3
2007	121	1.436	1.428	0	1.307	46	4.338	6,5
2008	81	1.960	1.186	0	1.565	26	4.818	6,8
2009	25	2.676	608	3	1.991	2	5.301	7,0
2010	192	4.465	1.647	19	3.000	204	9.527	11,6
2011	263	6.638	2.145	57	3.522	152	12.777	12,4
2012	223	7.948	2.948	92	4.576	269	16.056	13,6
2013	304	8.293	3.179	122	5.183	342	17.423	13,9
2014	301	9.165	3.668	208	5.674	279	19.295	14,2
2015	294	9.556	4.645	1.262	6.094	62	21.913	13,5
2016	352	9.282	4.315	1.947	6.292	22	22.210	13,8
2017	290	9.060	5.164	2.770	5.973	61	23.318	12,4
2018	232	9.773	4.536	2.850	5.769	59	23.219	11,8
2019	287	9.916	5.640	3.731	6.066	105	25.745	12,1
2020	308	10.749	6.600	4.246	6.528	46	28.477	12,8
2021	297	9.564	5.691	4.575	6.221	5	26.353	11,5
2022	124	8.633	2.564	3.691	4.723	64	19.799	8,3
Kosten	5.340	121.380	63.855	25.573	76.815	2.042	295.005	
Anteile	1,8%	41,2%	21,7%	8,7%	26,0%	0,6%	100,0%	

Quelle: BMWK (2021). Die Kategorie Übrige enthält Deponie-, Klär- und Grubengas sowie Geothermie. Die Werte für 2021 und 2022 sind Prognosen, weil die Zahlen seit dem Jahr 2021 vom Ministerium nicht mehr aktualisiert worden sind. Die Excel-Datei ist im Übrigen auch nicht mehr auf den Seiten des BMWK zu finden, kann aber auf Nachfrage vom Autor zur Verfügung gestellt werden.

Quellen

ADAC (2024) Tempolimit auf Autobahnen: Die Fakten. Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. 22. April 2024. <https://www.adac.de/verkehr/standpunkte-studien/positionen/tempolimit-autobahn-deutschland/>

AGEB (2019) Strommix: Stromerzeugung nach Energieträgern 1990 – 2018. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. <https://www.ag-energiebilanzen.de/>

Austin, D., Dinan, T. (2005) Clearing the Air: The Costs and Consequences of Higher CAFE Standards and Increased Gasoline Taxes. Journal of Environmental Economics and Management 50, 562-582.

Babiker, M., Reilly, J.M., Karplus, V., Paltsev, S. (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.

Bauernschuster, S., Traxler, C. (2021) Tempolimit 130 auf Autobahnen: Eine evidenzbasierte Diskussion der Auswirkungen. Perspektiven der Wirtschaftspolitik 22(2), 86-102.

BMU (2020) Das System der CO₂-Flottengrenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/zusammenfassung_co2_flottengrenzwerte.pdf

BMUV (2024) Klima und Erneuerbare Energien: Ist Elektromobilität wirklich klimafreundlich? Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. <https://www.bmuv.de/themen/verkehr/elektromobilitaet/klima-und-energie#:~:text=Bei%20einem%20Pkw%20mit%20Diesel,sollen%20diese%20auf%20123%20sinken.>

BMW A (2004) Zur Förderung erneuerbarer Energien, Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Berlin. Dokumentation Nr. 534.

BMWi (2020) Evaluierung der Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/evaluierung-der-braunkohle-sicherheitsbereitschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=3

BMWK (2023) Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Stand: 09/2023. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=2

BMWK (2021) EEG in Zahlen: Vergütungen, Differenzkosten und EEG-Umlage 2000 bis 2022. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Stand: 15.10.2021.

BNetzA (2024) Entwicklung der Nettonennleistung Deutschlands seit 2011. Bundesnetzagentur. <https://www.smard.de/page/home/topic-article/211816/212382>

Bunderechnungshof (2024) Abschließende Mitteilung an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz über die Prüfung Deutscher Kohleausstieg – Löschung von Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen und Überprüfung der Auswirkungen des Ausstiegs auf die Versorgungssicherheit. 2. April 2024.

https://www.bunderechnungshof.de/SharedDocs/Downloads/DE/Berichte/2024/kohleausstieg-volltext.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Crandall R. W. (1992) Corporate Average Fuel Economy Standards. *Journal of Economic Perspectives* 6(2), 171-180.

Frondel, M. (2022a) Was ein Tempolimit bringt - und was es kostet. *Ökonomenblog* 3. Mai 2022 <https://insm.de/aktuelles/oekonomenblog/was-ein-tempolimit-bringt-und-was-es-kostet>

Frondel, M. (2022b) CO₂-Bepreisung in den Sektoren Verkehr und Wärme: Optionen für eine sozial ausgewogene Ausgestaltung. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 44, 2, 1-14.

Frondel, M. (2011) Die EU-Klimapolitik: Teuer und ineffektiv. In: *Realitätscheck für den Klimaschutz – Globale Klimapolitik zwischen Anspruch und Wirklichkeit*. Hentrich, S., Kramer, H. (Herausgeber), Förster & Borries GmbH & Co. KG.

Frondel, M., Ritter, N., Schmidt, C.M., Vance, C. (2010) Die ökonomischen Wirkungen der Förderung Erneuerbarer Energien: Erfahrungen aus Deutschland. *Zeitschrift für Wirtschaftspolitik* 59 (2), 107-133.

Frondel, M., Ritter, N., Vance, C. (2012) Heterogeneity in the Rebound: Further Evidence for Germany. *Energy Economics* 34(2), 388-394.

Frondel, M., Peters, J., Vance, C. (2008) Identifying the Rebound: Evidence from a German Household Panel. *Energy Journal* 29(4), 154-163.

Frondel, M., Schmidt, C. M., Vance, C. (2011) A Regression on Climate Policy: The European Commission's Legislation to Reduce CO₂ Emissions from Automobiles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 45(10), 1043-1051.

Frondel, M., Vance, C. (2018) Drivers' response to fuel taxes and efficiency standards: evidence from Germany. *Transportation* 45, 989–1001.

Frondel, M., Vance, C. (2013) Re-Identifying the Rebound: What About Asymmetry? *The Energy Journal* 34(4), 43-54.

Graichen, P., Hermann, H. Litz, P., Matthes, F. (2018) Vom Wasserbett zur Badewanne: Die Auswirkungen der EU-Emissionshandelsreform 2018 auf CO₂-Preis, Kohleausstieg und den Ausbau der Erneuerbaren. Analyse der Agora Energiewende und des Öko-Instituts. Juli 2018. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2018/Reform_des_Europaeischen_Emissionshandels_2018/Agora_Energiewende_Vom_Wasserbett_zur_Badewanne_WEB.pdf

IEA (2007) Energy Policies of IEA Countries: Germany, 2007 Review. Internationale Energieagentur, OECD, Paris.

KBA (2024) Pkw-Neuzulassungen: Zahlen des Jahres 2023 im Überblick Kraftfahrtbundesamt. https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/neuzulassungen_node.html

Kleit, A. N. (2004) Impacts of Long-Range Increases in the Fuel Economy (CAFE) Standard. Economic Inquiry 42(2), 279-294.

Kohlekommission (2019) Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“, Abschlussbericht gemäß Beschluss vom 26. Januar 2019. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/abschlussbericht-kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung.pdf?blob=publicationFile>

Löschel, A., Grimm, V., Matthes, F., Weidlich, A. (2024) Monitoringbericht. Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring.

Morthorst, P. E. (2003) National environmental targets and international emission reduction instruments. Energy Policy 31(1), 73-83

Öko-Institut (2021) Wie rechtliche Vorschriften für den Klimaschutz Akzeptanz finden. Eigenprojekt des Öko-Instituts. <https://www.oeko.de/news/aktuelles/wie-rechtliche-vorschriften-fuer-den-klimaschutz-akzeptanz-finden/>

Pahle, M., Edenhofer, O., Pietzcker, R., Tietjen, O., Osorio, S., Flachslan, C. (2019) Die unterschätzten Risiken des Kohleausstiegs. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 69(6), 1-4.

Schrems, I., Meemken, S. (2023) Emissionszertifikate von stillgelegten Kohlekraftwerken: Welche Folgen hat es, wenn Zertifikate nicht gelöscht werden? Analyse im Auftrag von GREEN PLANET ENERGY EG. https://foes.de/publikationen/2023/2023-12_GPE_Emissionszertifikate.pdf

Schmidt, U. (2020), Generelles Tempolimit auf Autobahnen: Hohe volkswirtschaftliche Kosten sind zu berücksichtigen, Kiel Policy Brief 145.

UBA (2024a) Emissionsstandards Pkw und leichte Nutzfahrzeuge. Umweltbundesamt, Dessau. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/emissionsstandards/Pkw-leichte-nutzfahrzeuge#die-europaische-co2-gesetzgebung>

UBA (2024b) KSG-Sektoren 1990–2023. Treibhausgas-Emissionen (tausend Tonnen CO₂-äquivalent). Umweltbundesamt, Dessau.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>

UBA (2023) Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung Abschlussbericht, Januar 2023, Texte 14/2023, Reihe: Für Mensch & Umwelt, Umweltbundesamt, Dessau.

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/fluessiger-verkehr-fuer-klimaschutz-luftreinhaltung>

UBA (2022) Trendtabellen Treibhausgasemissionen. Umweltbundesamt, Dessau.

www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2022_03_15_trendtabellen_thg_nach_sektoren_v1.0.xlsx

UBA (2021) Klimaschutzinstrumente im Verkehr: Tempolimit auf Autobahnen. Für Mensch und Umwelt, Umweltbundesamt, Dessau. 14. Oktober 2021.

<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/dokumente/uba-kurzpapier-tempolimit-autobahnen-kliv-0.pdf>

UBA (2020). Klimaschutz durch Tempolimit: Wirkung eines generellen Tempolimits auf Bundesautobahnen auf die Treibhausgasemissionen. Texte 38/2020. Umweltbundesamt, Dessau.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-15_texte_38-2_020_wirkung-tempolimit_bf.pdf.

VCD (2019). VCD-Hintergrund: Tempolimit auf Autobahnen für Verkehrssicherheit und Klimaschutz. 26. April 2019. Verkehrsclub Deutschland.

https://www.vcd.org/fileadmin/user_upload/Redaktion/Themen/Verkehrssicherheit/Tempolimit_auf_Autobahnen/VCD_Hintergrundpapier_Tempolimit_04_2019.pdf

VDA (2024) Debatte um Förderung: Warum Dienstwagen die Mobilitätswende fördern. Verband der Automobilindustrie, Januar 2024.

<https://www.vda.de/de/aktuelles/artikel/2022/warum-dienstwagen-die-mobilitaetswende-foerdern>

Weimann, J. (2024) Der Ausstieg aus der Kohle: Alternativlos oder verantwortungslos? Perspektiven der Wirtschaftspolitik 20(1), 14–22.