

Tempolimit auf Autobahnen: Eine realistische Perspektive

**Kurzstudie aus Anlass der Vorlage des Abschluss-
berichtes „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und
Luftreinhaltung“ durch das Umweltbundesamt**

**für die Fraktion der Freien Demokraten
im Deutschen Bundestag**

erstellt von

Prof. Dr. Alexander Eisenkopf
Zeppelin Universität gGmbH
Am Seemooser Horn 20

88045 Friedrichshafen

und

Prof. Dr. Dr. h.c. Andreas Knorr
Deutsche Universität für Verwaltungswissenschaften Speyer
Freiherr-vom-Stein-Straße 2
67346 Speyer

Friedrichshafen und Speyer, den 20.02.2023

Inhaltsverzeichnis

0	Management Summary	3
1	Anlass der Kurzstudie.....	5
2	Darstellung und Einordnung der Studienergebnisse	7
3	Zentrale Kritikpunkte.....	9
3.1	Methodische Vorgehensweise und Datengrundlagen	10
3.2	Mögliche Größenordnungen der CO ₂ -Reduktion	13
3.3	Validität von Routenwahleffekten.....	18
3.4	Validität von Nachfrageeffekten.....	21
3.5	Verlagerung auf das nachgeordnete Straßennetz und Unfallgeschehen	23
3.6	Wohlfahrtsverluste durch Reisezeitverluste	24
4	Umweltökonomische Einordnung des Instrumentes Tempolimit	27
5	Zusammenfassende Bewertung und Fazit.....	30
6	Materialien.....	32

0 Management Summary

Mit der Studie „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ (UBA 2023) hat das Umweltbundesamt im Januar 2023 den Ergebnisbericht zu einem Forschungsprojekt vorgestellt, der in der medialen Öffentlichkeit trotz seines breitem Erkenntnisgegenstandes ausschließlich als Rechtfertigung für die Einführung eines Tempolimits auf Autobahnen wahrgenommen wurde. In dieser Studie wird die emissionsmindernde Wirkung eines generellen Tempolimits von 120 km/h auf Bundesautobahnen auf bis zu 6,7 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente bezogen auf das Jahr 2018 geschätzt. 4,5 Millionen Tonnen CO₂ sollen allein aus der angenommenen Verringerung der durchschnittlichen Geschwindigkeit aufgrund des Tempolimits resultieren. Weitere 1,3 Millionen Tonnen CO₂ werden laut den Modellrechnungen wegen sogenannter Routenwahleffekte eingespart. Routenwahleffekte treten auf, wenn aufgrund eines Tempolimits auf Autobahnen die Streckenführung angepasst und statt der Autobahn eine Route auf dem nachgeordneten Straßennetz gewählt wird. Außerdem sollen laut den Studienergebnissen Nachfrageeffekte einen Minderungsbeitrag von 0,9 Millionen Tonnen CO₂ leisten. Mit diesen Nachfrageeffekten wird der Umstieg auf ein anderes Verkehrsmittel (Modal Shift) bzw. der Verzicht auf die Fahrt repräsentiert. Weitere Emissionsreduktionen werden für den Fall eines ergänzenden generellen Tempolimits von 80 km/h auf Bundesstraßen erwartet. In der Summe könnten dann laut den Modellrechnungen der Gutachter bis zu acht Millionen Tonnen CO₂ p.a. eingespart werden.

Unsere Analysen zeigen dagegen, dass bereits die im UBA-Gutachten postulierten Erwartungen an eine Emissionsreduzierung infolge der Absenkung der Geschwindigkeiten der Pkw auf Autobahnen um den Faktor 3,5 überhöht sind. Statt 4,2 Millionen Tonnen CO₂-Minderung sind realistischerweise lediglich maximal 1,1 Millionen Tonnen zu erwarten. Diese Zahl resultiert aus einer Abschätzung der potenziellen Emissionsreduktion auf der Makroebene anhand der auch von den Gutachtern verwendeten Parameter für den Anteil der Fahrleistungen über der Richtgeschwindigkeit von 130 km/h und der möglichen Absenkung der spezifischen CO₂-Emissionen je Fahrzeug durch die reduzierte Geschwindigkeit.

Die in der UBA-Studie ermittelten CO₂-Minderungen aufgrund von Routenwahleffekten erscheinen spekulativ und sollten nicht zur Grundlage klimapolitisch motivierter rationaler Entscheidungen über ein Tempolimit auf Autobahnen gemacht werden. Die Gutachter machen es sich angesichts der unklaren Evidenz über die Reaktion vom Tempolimit betroffener Autofahrer zu einfach, wenn sie annehmen, dass „direkter gefahren wird, da die Nutzung der Autobahn meist mit längeren Umwegen verbunden ist.“ Die hieraus abgeleiteten Verlagerungseffekte sind aus verkehrswirtschaftlicher Sicht nicht nachvollziehbar.

Auch die Begründung der Nachfrageeffekte überzeugt nicht. Eine Verlagerung auf andere Verkehrsmittel allein aufgrund eines kryptisch beschriebenen Elastizitätenmodells ohne Konkretisierung des Angebots der Verkehrsmittelalternativen erfüllt nicht die Voraussetzungen einer belastbaren Abschätzung der zu erwartenden Wirkungen. Sowohl bei den Routenwahl- wie auch bei den Nachfrageeffekten wird der wichtige Aspekt der Habitualisierung des Verkehrsverhaltens ausgeklammert. Außerdem bleibt unklar, wie und anhand welcher

methodischer Kriterien die Gutachter Elastizitätswerte aus dispersen Quellen konsolidiert und verarbeitet haben.

Dies ist jedoch nicht der einzige methodische Mangel der Untersuchung. Schwerwiegende Probleme sehen wir in der Kopplung eines komplexen Verkehrsplanungsmodells mit den Floating Car Data von TomTom, die lediglich 15 Prozent des Verkehrsgeschehens auf Autobahnen abbilden können, wie die Gutachter selbst berichten. Verschiedene Anzeichen deuten auf eine Verzerrung der Stichprobe, aus der dann unzulässigerweise Schlussfolgerungen hinsichtlich des Verhaltens der Grundgesamtheit aller Pkw auf Autobahnen gezogen werden. Außerdem wird das Modell durch die Integration der TomTom-Daten noch stärker von der Definition der zahlreichen einbezogenen Parameter abhängig; außenstehenden Experten wird die Identifikation möglicher Fehlerquellen substantiell erschwert bzw. fehlt ihnen sogar grundsätzlich die Möglichkeit, Replikationsstudien anzufertigen, wie es zunehmend im Wissenschaftsbetrieb gefordert wird.

Zusammenfassend stellt die Handlungsempfehlung Tempolimit als wesentliches, politisch kommuniziertes Ergebnis des UBA-Gutachtens lediglich eine verkehrsplanerische Position dar, die angesichts der methodischen Mängel der Studie und der nach unserer Einschätzung massiv überhöhten Werte möglicher Emissionsminderungen in jedem Fall einer umfassenden und vertieften umweltökonomischen Analyse zu unterziehen wäre.

Vor dem Hintergrund umwelt- und klimaökonomischer Überlegungen ist ein Tempolimit als Instrument der Klimapolitik allerdings ohnehin abzulehnen, will man nicht gegen einschlägige Effektivitäts- und Effizienzkriterien verstoßen. Auf europäischer Ebene anzustreben wäre die Integration des Verkehrssektors in den allgemeinen Emissionshandel für Treibhausgase. In einem solchen System hat ein Tempolimit als ordnungsrechtliche Maßnahme keinen Platz mehr. Bei Wirksamkeit des Emissionshandels auch im Straßenverkehr wären kleinteilige ordnungsrechtliche Eingriffe wie ein Tempolimit sogar völlig irrelevant.

Allerdings zeigt die politische und mediale Diskussion der Studienergebnisse auch, wie durch die Absolutierung des Zieles Klimaschutz, die sich der gesellschaftlich notwendigen Abwägung mit anderen wirtschaftlichen wie gesellschaftlich relevanten Zielen und Kriterien entzieht und dadurch immunisiert, wirtschaftspolitischen Fehlentscheidungen der Boden bereitet wird. So wären mit einem Tempolimit von 120 km/h auf Autobahnen angesichts der von den Gutachtern genannten Ergebnisse Vermeidungskosten für die errechneten Emissionsminderungen in Höhe von rund 390 Euro je Tonne CO₂ verbunden. Für die Gesellschaft noch teurer wäre ein kombiniertes Tempolimit 120 km/h auf Autobahnen und 80 km/h auf Bundesstraßen. In diesem Falle lägen die Vermeidungskosten bei 1900 Euro je Tonne CO₂, während der durchschnittliche Börsenpreis für ein Zertifikat im EU-EHS 2022 bei 80 Euro lag. Dieser Marktpreis für eine Tonne CO₂ zeigt, dass schon für einen Bruchteil der Vermeidungskosten eines Tempolimits volkswirtschaftlich deutlich kostengünstigere Alternativen zur Emissionsminderung existieren. Außerdem ist bei der Einführung eines Tempolimits mit politischem Widerstand gegen eine solche vielfach als unsinnig empfundene Regulierung zu rechnen, die dann indirekt auch die Akzeptanz volkswirtschaftlich und gesellschaftlich sinnvoller klimapolitischer Maßnahmen auszuhöhlen droht.

1 Anlass der Kurzstudie

Am 23.01.2023 wurde im Rahmen einer Pressekonferenz des Umweltbundesamtes (UBA) der Abschlussberichts des Forschungsprojekts zum Thema „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ vorgestellt. Der sehr weitgespannte Erkenntnisgegenstand dieses Projektes wurde in der Pressekonferenz allerdings eingeeengt auf die in der Studie enthaltenen Aussagen zu den CO₂-Emissionswirkungen eines allgemeinen Tempolimits für Pkw auf Autobahnen. Wohl auch deswegen erzielt die Studie derzeit große Medienresonanz. Dabei hatte das Umweltbundesamt erst im Februar 2020 eine separate Studie zu den Emissionswirkungen eines Tempolimits auf Autobahnen vorgelegt (UBA 2020).

Zum Einstieg sei beispielhaft die Berichterstattung über die Präsentation der neuen Studie auf der Homepage der Tagesschau wörtlich zitiert:

„Ein Tempolimit könnte das Klima stärker schützen als bisher angenommen. Laut einer Studie des Umweltbundesamtes würden so 6,7 Millionen Tonnen CO₂ im Jahr eingespart werden. Ein Tempolimit sei damit ein wichtiger Baustein "ohne Mehrkosten". Einer Studie des Umweltbundesamtes (UBA) zufolge können durch ein Tempolimit von 120 Kilometern pro Stunde auf Autobahnen jährlich rund 6,7 Millionen Tonnen Kohlendioxid eingespart werden. "Ein Tempolimit auf Autobahnen bringt mehr CO₂-Einsparung als bisher gedacht", erklärte UBA-Präsident Dirk Messner in Dessau-Roßlau. Die Behörde war bisher von 2,6 Millionen Tonnen ausgegangen. Die neuen Berechnungen aus dem Jahr 2018 basieren den Angaben zufolge auf Floating-Car-Daten für das gesamte Autobahnnetz in Deutschland und einem deutschlandweiten Verkehrsmodell.

...

Ein zusätzliches Tempolimit von 80 Kilometern pro Stunde auf Straßen außerhalb von Ortschaften würde der Studie zufolge das Einsparpotenzial auf acht Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente erhöhen, teilte das UBA mit. Durch die Kombination beider Tempolimits hätten 2018 die Treibhausgasemissionen der Pkw und Nutzfahrzeuge in Deutschland insgesamt um rund fünf Prozent gesenkt werden können. Mit der Einführung von Tempo 120 auf Autobahnen und Tempo 80 auf Außerortsstraßen im Jahr 2024 könnten so bis 2030 rund 47 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente eingespart werden, erklärte Messner.

...

Die Einsparungen lösten nicht die Klimaherausforderungen im Verkehr, "aber sie sind eben auch keine Kleinigkeit", sagte UBA-Präsident Messner. Um 6,7 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente anderweitig einzusparen, müssten beispielsweise sonst weitere drei Millionen Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen unterwegs sein. Wenn deren Kauf vom Umweltbonus gefördert worden wäre, hätte das mehr als 13 Milliarden Euro Kosten beim Staat verursacht. Ein Tempolimit sei damit ein wichtiger Baustein für die Einhaltung der Klimaschutzziele im Verkehr "und zwar schnell und praktisch ohne Mehrkosten", machte Messner deutlich.“ (Tagesschau 2023)

Die im Tagesschau-Bericht zum Teil wörtlich wiedergegebenen Ausführungen des UBA-Präsidenten sind in mehrfacher Hinsicht bemerkenswert. Zunächst überrascht angesichts der medialen Resonanz, dass sich auf den Presseseiten der Internetpräsenz des UBA eine entsprechende Pressemitteilung nicht (mehr?) findet. Eine Kurzvorstellung der Studie findet

sich aber auf einer eigens dafür eingerichteten Seite¹, welche wiederum auf die Themenseite des UBA zum Tempolimit verlinkt.² Die aus der Studie extrapolierten Ausführungen des UBA-Präsidenten sind zudem aus wissenschaftlicher Sicht fragwürdig, da aus einer für das Bezugsjahr 2018 erstellten Studie zu Einsparwirkungen eines Tempolimits seriöserweise keine einfachen Hochrechnungen für die Jahre 2024 bis 2030 vorgenommen werden können und sollten, da sich seither nicht zuletzt infolge der Coronapandemie und des Kriegs in der Ukraine wesentliche verkehrliche und wirtschaftliche Bedingungen substantiell verändert haben. Auch die Unterstellung, dass das Tempolimit „praktisch ohne Mehrkosten“ zu haben sei, ist ökonomisch verfehlt; auf die erheblichen volkswirtschaftlichen Kosten des vorgeschlagenen Tempolimits wird später in Abschnitt 3.5 vertiefend eingegangen. Außerdem wird mit der Formulierung, die Untersuchung stütze sich „auf Floating-Car-Daten für das gesamte Autobahnnetz in Deutschland“ suggeriert, der Modellrechnung lägen Floating-Car-Daten für die Grundgesamtheit aller Fahrleistungen auf deutschen Autobahnen zugrunde. Wie die UBA-Gutachter selbst festhalten (UBA 2023, S. 54), ist für die Autobahnen aber nur eine Abdeckungsquote der benutzten Floating-Car-Daten (FCD) von 15% der Gesamtverkehrsstärke nachgewiesen.

Die Kommunikationsstrategie des UBA erstaunt auch dahingehend, als die laut Impressum bereits im April 2022 abgeschlossene Studie, deren Zielsetzung zudem einen sehr viel größeren Fragenkomplex als nur ein Tempolimit auf Autobahnen abdeckt, erst im Januar 2023 (!) paukenschlagartig zur medialen Aufheizung der Diskussion um ein Tempolimit auf Autobahnen genutzt wird, das durch den Koalitionsvertrag der Bundesregierung zwar zum Tabuthema erklärt, aber in den letzten Monaten von verschiedener Seite gleichwohl politisch eingefordert wurde.

Vor diesem Hintergrund soll unsere Kurzstudie eine realistische Einordnung der vom Umweltbundesamt kommunizierten Ergebnisse hinsichtlich der durch ein Tempolimit von 120 km/h auf Bundesautobahnen möglichen Reduktion von CO₂-Emissionen vornehmen. Kursorisch werden auch die Effekte eines zusätzlichen Tempolimits von 80 km/h auf Bundesstraßen gewürdigt. Die im UBA-Bericht behandelten weiteren Maßnahmen zur Verstärkung und Verflüssigung des Verkehrs und ihre Modellwirkungen bleiben demnach in der nachfolgenden Analyse außen vor. Auch andere Effekte wie die Auswirkungen auf NO_x- oder Partikelemissionen werden nicht diskutiert. Die im ersten Teil des Forschungsberichtes behandelte Aktualisierung der Fahrleistungen für das Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA),³ die einen inhaltlichen Schwerpunkt des Forschungsprojektes darstellt, wird nur insoweit behandelt, als sie für die Abschätzung der Emissionswirkungen relevant ist.

Die Autoren dieser Kurzstudie sind sich bewusst, dass sie kein Verkehrsplanungsmodell betreiben und auch keinen Zugang zum Verkehrsplanungsmodell der UBA-Gutachter und

¹ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/tempolimits-koennten-mehr-treibhausgase-sparen-als>.

² <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/tempolimit>.

³ <https://www.hbefa.net/d/>.

deren Datenbeständen haben. Gleichwohl lassen sich die von den UBA-Gutachtern vorgelegten Ergebnisse sowie die methodische Vorgehensweise einer Konsistenz- und Plausibilitätsprüfung auf der Grundlage des fachlich einschlägigen Forschungs- und Kenntnisstandes der Verkehrs- und der Umweltökonomik unterziehen. Denn gerade eine neue Modelluntersuchung, deren zentrales Ergebnis ein Vielfaches der bisher – und dies lediglich drei Jahre zuvor (UBA 2020) – geschätzten Emissionsminderungen ausweist, muss sich einen solchen Realitäts- und Plausibilitätscheck gefallen lassen, wenn sie zur Grundlage rationalen verkehrs- und klimapolitischen Handelns gemacht werden soll.

Auch massive Kritik in den Medien an den Studienergebnissen (Vetter/Fuest 2023) und die anschließende öffentliche Diskussion über deren Validität legen eine nüchterne, sachbezogene und neutrale Analyse des vorgelegten Gutachtens nahe. Hierzu wird neben der Studie selbst auch ein nachträglicher Erläuterungsbericht herangezogen, den zwei der UBA-Gutachter, Prof. Dr. Markus Friedrich und Dr.-Ing. Matthias Schmaus vom Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, am 15.02.23 der Öffentlichkeit vorlegten und der ebenfalls auf der Seite des UBA veröffentlicht wurde (Friedrich/Schmaus 2023).

2 Darstellung und Einordnung der Studienergebnisse

Laut der Zusammenfassung auf der entsprechenden Internetpräsenz des Umweltbundesamtes liefert die gegenständliche Untersuchung (Forschungsprojekt „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“) nachfolgende Ergebnisse zu den Wirkungen eines Tempolimits auf Bundesautobahnen.

- Für den Fall einer Einführung eines Tempolimits von 120 km/h auf Bundesautobahnen würden die Treibhausgasmissionen des Straßenverkehrs durch die Verringerung der durchschnittlichen Geschwindigkeit um 2,9 Prozent gesenkt (minus 4,5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr 2018). Diese Emissionsminderung resultiert allein aus der sogenannten HBEFA-Streckentyp-Anpassung;⁴ insbesondere bleiben die Fahrleistungen auf den Bundesautobahnen in diesem Maßnahmenfall gleich. Emissionsminderungen finden statt, weil alle Strecken im Verkehrsmodell mit einem aktuellen Tempolimit von 130 km/h oder freier Fahrt auf ein Tempolimit von 120 km/h gesetzt werden. Mit dieser Abbremsung des Verkehrs seien je nach verwendeter Bezugsgröße folgende prozentuale Einsparungen verbunden: Bezüglich der Fahrleistungen der Pkw auf Autobahnen ergibt sich eine Minderung des Treibhausgasausstoßes von 10,5 Prozent. Bezieht man das Minus auf die Fahrleistung der Pkw auf allen Straßen, macht die Reduktion noch 4,1 Prozent aus. Für den gesamten Straßenverkehr kommt man auf einen Rückgang von 2,9 Prozent wie bereits angeführt.⁵ Zu beachten ist, dass auch die Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen und insbesondere auch der Kategorie „andere Fahrzeuge“ (Busse, leichte

⁴ Im Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA, genutzte Version: 4.1) wird für jede Verkehrssituation, jede Fahrzeugkategorie (z.B. Pkw, LNF, SNF), jede Schadstoffkomponente und jede Steigungsklasse bezogen auf eine bestimmte Fahrzeugflottenzusammensetzung genau ein Emissionsfaktor festgelegt. Mit der HBEFA-Streckentypanpassung ist die Reduzierung der durchschnittlichen Geschwindigkeit durch die Vorgabe eines Tempolimits von 120 km/h gemeint.

⁵ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/tempolimit>.

Nutzfahrzeuge, Krafträder) im Modell wegen des Tempolimits für Pkw rückläufig sind (UBA 2023, S. 209).

- Zusätzlich zu den Emissionswirkungen der Abbremsung wurden im Modell auch CO₂-Minderungswirkungen aufgrund von sogenannten Routenwahl- und Nachfrageeffekten berechnet. Routenwahleffekte treten auf, wenn aufgrund eines Tempolimits auf Autobahnen die Streckenführung angepasst wird und statt der Autobahn eine Route auf dem nachgeordneten Straßennetz gewählt wird. Mit dem Nachfrageeffekt wird der Umstieg auf ein anderes Verkehrsmittel (Modal Shift) bzw. der Verzicht auf die Fahrt repräsentiert. Die Berücksichtigung von Routenwahleffekten erhöht die ermittelte Minderungswirkung des Tempolimits auf Autobahnen bezogen auf die gesamten Straßenverkehrsemissionen auf 3,6 Prozent (entsprechend 5,8 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr 2018). Die Minderung bezüglich der Emissionen auf BAB beträgt 15,2 Prozent, auf den anderen Straßen kommt es aufgrund der Verlagerung zwangsläufig zu einer leichten Zunahme. Werden zusätzlich Nachfrageeffekte berücksichtigt, erhöht sich die Minderungswirkung auf insgesamt 4,2 Prozent. Dies entspricht einer absoluten jährlichen Minderung in Höhe von 6,7 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten (Bezugsjahr 2018; UBA 2023, S. 209f.). Alle Angaben zur absoluten Treibhausgasreduzierung beziehen sich dabei auf die Emissionen durch in Deutschland abgesetzte Kraftstoffe („Bilanzgrenze nach Klimaberichterstattung“).
- Wird das Tempolimit auf Autobahnen mit einem generellen Limit von Tempo 80 auf allen anderen Außerortsstraßen kombiniert, errechnet die Modellierung aufgrund der Geschwindigkeitsabsenkung ein Minderungspotenzial von 3,4 Prozent für den gesamten Straßenverkehr (HBEFA-Streckentyp-Änderung; minus 5,3 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr 2018). Bei zusätzlicher Berücksichtigung veränderter Routenwahl erhöht sich die errechnete Minderungswirkung auf 3,9 Prozent (minus 6,2 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr 2018) und mit Berücksichtigung der Nachfrageeffekt auf 5,1 Prozent (minus 8,0 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr 2018).⁶

Als wichtige Kennzahl ist noch festzuhalten, dass ein Tempolimit von 120 km/h auf Autobahnen zwar die Emissionen der Kraftfahrzeuge mindern kann, es aber lt. Studie zu einer Erhöhung der Fahrzeiten auf dem deutschen Straßennetz um 1 Prozent kommt (UBA 2023, S. 209f.). Dies klingt bei oberflächlicher Betrachtung nach einem zu vernachlässigenden Effekt, würde aber erhebliche volkswirtschaftliche Folgekosten nach sich ziehen; dazu später mehr. Im Falle eines zusätzlichen Tempolimits von 80 km/h auf allen anderen Außerortsstraßen, reduziert sich die Netzgeschwindigkeit sogar um 6 Prozent. Entsprechend kommt es zu deutlich erhöhten Fahrzeiten (UBA 2023, S. 214).

Interessant erscheint uns auch die Einordnung der Ergebnisse in den Kontext der letzten Studie des Umweltbundesamtes zum Tempolimit. So wird in UBA (2020) die Emissionsreduktion aufgrund eines Tempolimits von 120 km/h auf Autobahnen mit minus 1,6 Prozent abgeschätzt (UBA 2023, S. 194). Dies entspräche 2,6 Millionen Tonnen CO₂ (UBA 2020, S. 10). Obwohl die Ergebnisse des aktuellen UBA-Gutachtens mit 6,7 Millionen Tonnen rund das Zweieinhalbfache erwarten lassen, sprechen dessen Autoren davon, dass die Ergebnisse in einer „vergleichbaren Größenordnung“ lägen. Doch selbst, wenn nur die

⁶ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/tempolimit>.

Abbremsseffekte berücksichtigt und Routenwahl- sowie Nachfrageeffekte ausgeklammert würden, bliebe es immer noch beim Faktor 1,7.

Dies dürfte den fachkundigen Leser erstaunen. Zwar kann im Rahmen unserer Kurzstudie keine kritische Detailanalyse der Tempolimit-Untersuchung des UBA aus dem Jahre 2020 geleistet werden. Jedoch legen unsere internen Berechnungen nahe, dass bereits die Werte der vom UBA erstellten Studie aus dem Jahre 2020 deutlich überhöht sind. Dies beruht insbesondere auf folgendem methodischen Fehler. Für die Streckenabschnitte, die bisher frei befahren werden konnten und für die ein Tempolimit von 120 km/h eingeführt wird, muss eine Verteilung der Fahrleistungen nach Geschwindigkeiten abgeschätzt werden. Dazu bedient man sich der empirisch ermittelten Verteilung der Geschwindigkeiten auf Autobahnabschnitten, auf denen vorher bereits ein Tempolimit von 120 km/h galt. Dort herrschen aber in der Regel ganz andere Bedingungen hinsichtlich Trassierung, Gefahrenstellen, Stauanfälligkeit und sonstiger geschwindigkeitsrelevanter Parameter, so dass der Analogieschluss zu fehlerhaften Ergebnissen führt. In der UBA-Studie aus dem Jahr 2020 wurde nicht berücksichtigt, dass Abschnitte mit streckenbezogenen Tempolimits in der Regel ohnehin langsames Fahren erzwingen, während auf Streckenabschnitten ohne Tempolimit schnelles Fahren in vielen Situationen möglich ist. Es wird daher eine zu starke Abbremsung des Verkehrs angenommen, obwohl die verwendeten Daten im gewissen Rahmen auch die in der Realität unvermeidliche Nichtbefolgung des Tempolimits enthalten.⁷

Es besteht daher Grund zu der Annahme, dass bereits die in UBA (2020) berichteten Emissionsreduktionen als überhöht anzusehen sind. Wenn jetzt in UBA (2023) aufgrund neuer Modellrechnungen nochmals erhöhte Emissionsreduktionswerte bis zur zweieinhalbfachen Größenordnung der Ergebnisse aus 2020 präsentiert werden, müssen die methodischen Grundlagen und die Vorgehensweise bei der Berechnung der CO₂-Emissionsminderung in der betreffenden Untersuchung einer genauen Prüfung unterzogen werden. Zu diesem Zweck werden nachfolgend zunächst die methodischen Grundlagen und anschließend spezifische Einzelprobleme der Berechnung diskutiert. Letztere betreffen die Frage realistischer Größenordnungen der Emissionsreduktion, die Validität der Routenwahl- und Nachfrageeffekte sowie die Probleme einer möglichen Verlagerung in Hinblick auf das Unfallgeschehen. Danach erfolgt eine Abschätzung der Wohlfahrtsminderung durch die Zeitverluste infolge eines generellen Tempolimits. Abschließend soll noch kurz die grundsätzliche Eignung (d.h. Effektivität) des verkehrspolitischen Instruments Tempolimit als Mittel zur Erreichung klimapolitischer Ziele problematisiert werden. Eine zusammenfassende Bewertung mit Fazit schließt diese Kurzstudie ab.

3 Zentrale Kritikpunkte

⁷ Vgl. zur Vorgehensweise UBA (2020), S. 15ff.

3.1 Methodische Vorgehensweise und Datengrundlagen

Die Berechnung der Emissionswirkungen eines generellen Tempolimits für Pkw auf Autobahnen (bzw. Autobahnen und Bundesstraßen) basiert auf einer Modellierung durch die UBA-Gutachter, die ein klassisches, kleinräumig strukturiertes Verkehrsnachfragemodell, wie es zu Zwecken der Verkehrsplanung routinemäßig verwendet wird, mit Daten aus TomTom-Navigationsanwendungen kombiniert. Es sind dies zum einen Straßennetzdaten mit Informationen zu Längen und zulässigen Geschwindigkeiten, zum anderen aber auch kleinräumig verfügbare Daten zu Geschwindigkeiten (sogenannte Floating-Car-Daten des Anbieters TomTom, kurz FCD). Allerdings decken die TomTom-Daten zum einen, wie bereits angemerkt wurde, lediglich rund 15 Prozent des Verkehrsgeschehens ab. Zum anderen wurden ausschließlich Daten aus dem Jahr 2018 verwendet, die das aktuelle Verkehrsgeschehen aufgrund der bekannten Strukturbrüche seit 2020 mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht mehr zuverlässig abbilden; dazu später mehr.

Die spezifischen Emissionsfaktoren stammen aus HBEFA, welches für unterschiedliche sogenannte Verkehrssituationen Emissionswerte angibt. Diese sind je Pkw in g/km CO₂-Äquivalenten angegeben und basieren auf einem repräsentativen Fahrzyklus eines durchschnittlich genutzten Pkw (Friedrich/Schmid 2023, S. 3). Letztere werden nachfolgend nicht weiter problematisiert, da sie für die Verfasser dieser Studie ebenfalls nicht weiter hinterfragbar sind. Zudem stellen die Gutachter selbst fest, dass ihre Abschätzungen zur Verbesserung des HBEFA mit Hilfe neuer, TomTom-basierter Fahrleistungsanteile die durchschnittlichen Emissionswerte nicht wesentlich beeinflussen (UBA 2023, S. 96).

Es stellt sich allerdings die Frage, ob dieses Setting grundsätzlich geeignet ist, Emissionsminderungspotenziale infolge eines generellen Tempolimits auf Autobahnen (resp. Bundesstraßen) mit der nötigen Validität zu berechnen.⁸ Zunächst ist festzuhalten, dass das von den Gutachtern benutzte Verkehrsmodell Validate der PTV GmbH – die ebenfalls an dem Gutachten mitwirkte – sicherlich den Stand der Technik für ein monomodales Verkehrsplanungsmodell Straße abbildet. Es wird ja für vielfältige Verkehrsplanungszwecke eingesetzt und kann als Ergebnis auch CO₂-Emissionswerte liefern.

Es bestehen jedoch erhebliche Zweifel, ob dieses Modell geeignet ist, die Minderungspotenziale eines Tempolimits abzuschätzen, insbesondere wenn das Modell wie von den Gutachtern beschrieben in Kombination mit FCD-Daten genutzt wird. Dies liegt daran, dass man zur Abschätzung der Effekte eigentlich die fahrleistungsgewichteten tatsächlichen Geschwindigkeiten auf den einzelnen kleinräumigen Streckenabschnitten kennen müsste. Hier behelfen sich die Gutachter mit TomTom-Daten, die aber, wie bereits erwähnt, lediglich für 15 Prozent des Verkehrsgeschehens zur Verfügung stehen. Dass bei einer solchen Vorgehensweise Probleme bei der Hochrechnung auftreten, wird z.B. in BAST (2021, S. 132) ausgeführt. Dieser Forschungsbericht zur Frage der Entwicklung von in Echtzeit

⁸ Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich zunächst nur auf die Maßnahme „Streckentypänderung“, d.h. die Absenkung der Pkw-Geschwindigkeit und nicht auf die Routenwahl- und Nachfrageeffekte. Diese werden in Kapitel 3.3. und 3.4 behandelt.

verfügbaren Key Performance Indicator (KPI) Systems für das deutsche Autobahnnetz wurde übrigens auch von Mitarbeitern der Firma PTV und Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich von der Universität Stuttgart erarbeitet.

Die Gutachter weisen in UBA (2023) auch selbst auf Inkonsistenzen der aus den FCD abgeleiteten Fahrleistungsschätzungen hin. So ist der Anteil der Fahrleistungen auf Autobahnen ohne Tempolimit im Geschwindigkeitsperzentil 80 bis 90 km/h offensichtlich überrepräsentiert und kann nicht allein durch baustellenbedingte Geschwindigkeitsabsenkungen erklärt werden; es besteht vielmehr Grund zu der Annahme, dass in gewissem Rahmen in den FCD auch Fahrleistungen von Lkw enthalten sind.

Im Erläuterungsbericht zur UBA-Studie (Friedrich/Schmaus 2023) gehen die Gutachter auch auf den Kritikpunkt ein, dass derartige Systeme vor allem in hochpreisigen Fahrzeugen verbaut seien, die im Durchschnitt höhere Geschwindigkeiten fahren. Sie äußern sich zu diesem Einwand wie folgt: „Eine genaue Differenzierung der Zusammensetzung der Pkw-Flotte in den TomTom-Daten liegt als Datengrundlage nicht vor“ (Friedrich/Schmaus 2023, S.6). Auch im eigentlichen Gutachten wird angemerkt, dass mit der verwendeten Stichprobe Hochrechnungen auf die Grundgesamtheit nur bedingt möglich sind.⁹ Trotzdem werden die FCD-Daten genutzt, um die Verkehrszustände zu bestimmen, bzw. auch die Fahrleistungsanteile in HBEFA zu ermitteln. Aufgrund dieser grundsätzlichen methodischen Mängel dürfte die Robustheit der verwendeten Grundlagen nicht ausreichen, um die politische Empfehlung für ein Tempolimit zu rechtfertigen

Der Argumentation der Gutachter, man könne auch mit einer verzerrten Stichprobe Verkehrszustände bestimmen, ist sachlich dahingehend zu widersprechen, dass es ja bei der relevanten Fragestellung um die Emissionsminderungen in einem Fahrzeugkollektiv auf den Autobahnen geht. Um die Abbremsseffekte in der Grundgesamtheit von rund 200 Mio. Fahrzeugkilometern von Pkw auf deutschen Autobahnen zu schätzen, bedient man sich aber einer mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit verzerrten Stichprobe zur Parametrisierung des eigenen Verkehrsmodells. Dass durch TomTom die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge im Verkehrsmodell im Bezugsfall (ohne Tempolimit) überhöht sind, legt ja bereits die eigene Feststellung der Gutachter nahe, wonach sich die mittlere Geschwindigkeit im Verkehrszustand flüssig durch die Übernahme der TomTom-Daten gegenüber dem HBEFA-Wert von 142,74 km/h auf 158 km/h erhöht (UBA 2023, S.99). Die methodische Vorgehensweise, für Schlüsse auf die Grundgesamtheit eine Stichprobe mit unbekanntem und schwankendem Schöpfungsgrad zu verwenden, ist aus grundsätzlichen methodischen Erwägungen abzulehnen.

⁹„Aggregierte FCD, wie sie im vorliegenden Forschungsprojekt verwendet wurde, ist für eine Prüfung der Fahrzyklen einzelner Verkehrszustände ungeeignet. Ob disaggregierte FCD für eine solche Untersuchung geeignet ist, lässt sich auf dieser Grundlage nicht beantworten. Während die hohe räumliche Abdeckung und die Möglichkeit der Beobachtung langer Fahrtabschnitte sehr vielversprechend sind, ist unklar, inwiefern die Stichprobe durch unterschiedliche Fahrzeugtypen und Fahrzeuge bzw. Personen, die die Daten zur Verfügung stellen verzerrt ist.“ (UBA 2023, S.99).

Es stellt sich zudem die Frage, wieso nicht die auch im Gutachten explizit erwähnten Zählstellendaten der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zumindest für eine Vergleichsrechnung verwendet wurden¹⁰. Sie liegen zwar nicht in der für das Verkehrsmodell erforderlichen kleinräumigen Aufteilung vor, sollten aber eine durchaus robuste Abschätzung möglicher Effekte liefern.¹¹

Gegen die Vorgehensweise der Gutachter können auch weitere grundsätzliche methodische Bedenken vorgebracht werden:

- So verwenden sie ein komplexes Simulationsmodell, das durch die Kopplung mit den TomTom-Daten noch stärker von der Definition der zahlreichen einbezogenen Parameter abhängt und damit außenstehenden Experten die Identifikation möglicher Fehlerquellen substanziell erschwert. Da das Modell im Unternehmenskontext der PTV entwickelt wurde und vornehmlich in einem betriebswirtschaftlichen Kontext genutzt wird, fehlt außenstehenden Experten dadurch grundsätzlich die Möglichkeit, Replikationsstudien anzufertigen, mit denen die Validität der Ergebnisse überprüft werden kann, wie es zunehmend insbesondere in den Sozialwissenschaften gefordert wird, um die Validität von Forschungsergebnissen zu überprüfen (Baker 2016).
- Externe Kritik an den Ergebnissen wird in solchen Konstellationen häufig mit Hinweis auf die Überlegenheit der eigenen komplexen Modellierung abgewehrt. Möglicherweise wären aber einfache, robuste Abschätzungen aussagekräftiger gewesen als eine komplexe prognostische Modelllogik mit einer solchen Vielzahl von Parametern.
- Wie im Zuge einer robusten Abschätzung möglicher Größenordnungen der Emissionsminderung noch gezeigt werden wird, besteht die verwendete Modellanordnung den Plausibilitätstest nicht. Dies beispielsweise deshalb nicht, weil der Einbau eines Tempolimits in die Widerstandsmatrix des Verkehrsangebots des Modells trotz der Komplexität nicht ohne weiteres erlaubt, die Effekte einer durchaus relevanten Nichteinhaltung des Tempolimits durch eine möglicherweise nicht unwesentliche Zahl von Verkehrsteilnehmern zu berücksichtigen. Auch die im Zuge der endogenen Modelllogik zwangsläufigen Routenwahleffekte infolge einer Erhöhung des Zeitaufwands durch ein Tempolimit sind unplausibel. So dürften Verkehrsteilnehmer, die bisher eine Autobahn auf Abschnitten ohne Tempolimit mit einem Durchschnittstempo von 160 km/h befahren haben, ganz überwiegend nicht auf die Idee kommen, wegen des Tempolimits auf Teilen seiner Fahrtstrecke die Bundesstraße mit deutlichem Fahrzeithnachteil zu nutzen, sondern auf der Autobahn bleiben. Die Beibehaltung solcher eingefahrener Routinen ist unter dem Stichwort Habitualisierung allerdings Standard in der Modellierung des Verkehrsverhaltens (Schneider 2013).

Bereits diese wenigen Überlegungen legen nahe, dass der methodische Grundansatz der Rechnung der UBA-Gutachter problematisch ist. Eingeschränkt werden Aussagekraft und verkehrspolitische Relevanz der Ergebnisse schließlich auch dadurch, dass die Studie mit TomTom-Daten aus dem Bezugsjahr 2018 arbeitet, deren mangelnde Aktualität einer

¹⁰ Die Zählstellendaten für das Jahr 2018 lassen sich über folgenden Link abrufen: https://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/Daten/2018_1/Jawe2018.html?nn=1819490.

¹¹ Es ist hier darauf hinzuweisen, dass die Abschätzungen in UBA (2020) auf Geschwindigkeitsverteilungen beruhen, die aus Zählstellendaten der Jahre 2010 bis 2014 abgeleitet wurden.

prospektiven Abschätzung von Emissionsminderungspotenzialen entgegensteht. So kam es infolge der Coronapandemie bzw. der politischen Vorgaben zu Ihrer Bewältigung zu massiven Einbrüchen in den Pkw-Fahrleistungen, die bis heute nicht aufgeholt sind. Nach Schätzungen des Kraftfahrtbundesamtes lag die Inländerfahrleistung von Pkw im Jahre 2021 bei 610,7 Milliarden Personenkilometern (Pkm) und damit 3,2 Prozent unter dem Wert des Jahres 2018 (Kraftfahrtbundesamt 2022). Aufgrund steigender Energie-, Kraftstoff- und Fahrzeugpreise, einem ungebrochenen Trend zu „Home office“ und „Remote working“ und wirtschaftlicher Unsicherheiten, ist auch aktuell von einer Dämpfung der Verkehrsnachfrage auszugehen, bzw. bestehen auch Anreize zur Reduktion der auf Autobahnen gefahrenen Höchstgeschwindigkeiten. Kurios mutet in diesem Zusammenhang an, dass Friedrich/Schmaus (2023, S.7) behaupten, dass „Untersuchungen aus dem ersten Halbjahr 2022 zeigen [zudem], dass auf Autobahnen trotz hoher Kraftstoffpreise nicht langsamer gefahren wird“ und hierfür einen Bericht der Tagesschau als Kronzeugen anführen.¹² Dem stehen belastbare Erkenntnisse auf Basis von Zählstellendaten in NRW entgegen (Puls/Wendt 2022), die eine Reduzierung der durchschnittlichen gefahrenen Geschwindigkeiten zeigen. Das Umweltbundesamt kommt überdies auf Basis von Daten der BASt zu folgender Einschätzung der Verkehrssituation: „Für das Jahr 2022 liegen noch keine vollständigen Daten vor, jedoch deuten vorläufige Daten der Bundesanstalt für Straßenwesen darauf hin, dass gegenüber dem Jahr vor Corona (2019) der Verkehr auf Autobahnen und Bundesstraßen noch leicht reduziert ist“ (zitiert nach Vetter/Fuest 2023).

3.2 Mögliche Größenordnungen der CO₂-Reduktion

Die in UBA (2023) vorgestellte Modellrechnung zu den potenziellen Emissionsreduktionen durch die Einführung eines generellen Tempolimits weist Werte aus, die das Zweieinhalbfache der bisher vom Umweltbundesamt berichteten Reduktionspotenziale ausmachen. Obwohl Routenwahl- und Nachfrageeffekte erheblich zu der errechneten Reduktion der Treibhausgasemissionen um 4,2 Prozent beitragen, seien gemäß der Studie aber rund 70 Prozent des Effekts allein auf die Abbremswirkung eines Tempolimits zurückzuführen.

In Hinblick auf die Frage, ob die von den Gutachtern im Rahmen ihrer komplexen Modellierung geschätzte Größenordnung eines solchen Effektes näherungsweise korrekt ist, bietet es sich zur Plausibilitätskontrolle an, eine Grobabschätzung möglicher Reduktionspotenziale anhand weniger belastbarer, verfügbarer und aussagekräftiger Parameter durchzuführen. Wissenschaftlich unbestritten ist, dass die Minderungswirkung eines Tempolimits auf der Makro-Ebene im Wesentlichen von drei Parametern abhängt. Zu ihrer Berechnung benötigt man den Anteil der Fahrleistungen von Pkw auf Autobahnen ohne Tempolimit, den Anteil derjenigen Fahrzeugkilometer (Fzkm), die mit höheren Geschwindigkeiten als dem geplanten Tempolimit gefahren werden sowie das spezifische Emissionsminderungspotenzial der realisierten Geschwindigkeitsabsenkung.

¹² <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/autobahnen-benzinpreise-tempo-101.html>.

Hinsichtlich des Anteils der Fahrleistungen ohne Tempolimit gibt der Streckenanteil der Autobahnkilometer ohne Tempolimit am Gesamtnetz eine erste Indikation. Er beträgt nach allgemein zugänglichen Informationen etwa 70 Prozent (Wissenschaftliche Dienste 2022, S.5). Zu beachten ist allerdings, dass in Folge von Baustellen regelmäßig zusätzliche Streckenabschnitte einem Tempolimit unterliegen. Hierdurch reduziert sich der BAB-Streckenanteil ohne Tempolimit schätzungsweise auf 57 Prozent des Gesamtnetzes (Stand: Januar 2019; Statista 2022). Darüber hinaus ist aus einer Auswertung der Fahrleistungen auf Autobahnen durch die BASt, die auch der Berechnung des UBA aus dem Jahre 2020 zugrundeliegt, allgemein bekannt, dass zwischen 2010 und 2014 im Mittel rund 55 Prozent der Fahrleistungen auf Autobahnen ohne Tempolimit erbracht wurden (Löhe 2016, S.17). Aufgrund des seither verzeichneten Verkehrswachstums und intensiverer Bau- und Reparaturtätigkeit sollte dieser Wert folglich als faktische Obergrenze angesehen werden. Realistischerweise ist somit eher von einem eher niedrigeren Anteil der Fahrleistungen als 55 Prozent auf den BAB-Streckenabschnitten ohne Tempolimit auszugehen.

Der zweite relevante Parameter betrifft den Anteil der Fahrleistungen auf tempolimitfreien Autobahnabschnitten. Von den Gutachtern wird ein Wert von 38 Prozent der Fahrleistung angegeben, die dort schneller als die Richtgeschwindigkeit von 130 km/h zurückgelegt wird. Obwohl das Tempolimit formal bei 120 km/h liegt, ist es methodenkonform, die für das Tempolimit relevante Verkehrsleistung so abzugrenzen, da das Verfahren der Streckentypänderung unterstellt, dass alle Strecken mit bisherigem Tempolimit 130 km/h oder ohne Tempolimit auf 120 km/h gesetzt werden. Fahrleistungen, die im Geschwindigkeitsbereich zwischen 120 km/h und 130 km/h erbracht werden – mit 15 Prozent das größte Perzentil – werden jedoch nicht explizit auf diesen Wert abgesenkt. Vielmehr liegt der von den Gutachtern geschätzte mittlere Geschwindigkeitsbereich der neuen Verkehrssituation auf Grundlage der HBEFA-Fahrzyklen bei 122,03 km/h.

Eine Kontrollrechnung, die sich ausschließlich im gegebenen Rahmen der Modellierung bewegt, kann demnach auf dem Wert von 38 Prozent aufsetzen. Allerdings nähren neuere empirische Untersuchungen des Instituts der deutschen Wirtschaft (IW) deutliche Zweifel daran, dass der im Gutachten ermittelte Anteil der Fahrleistungen, die über 130 km/h erbracht werden, die Realität auch nur näherungsweise abbildet. So ermittelten Puls/Wendt (2022, S. 11) in ihrer Auswertung von aktuellen Zählstellendaten aus Nordrhein-Westfalen¹³ einen Anteil von Pkw, die in diesem Bundesland auf Autobahnabschnitten ohne Tempolimit schneller als 130 km/h fahren, von 22,4 Prozent für 2021 bzw. von 18,6 Prozent für 2022.

Auch wenn der Anteil der Fahrzeuge mit einer bestimmten Geschwindigkeit nicht automatisch dem Anteil der Fahrleistungen entspricht, sollte doch eine enge Korrelation zwischen den Größen bestehen. Grundsätzlich finden sich keine Argumente dagegen, dass die

¹³ Von Puls/Wendt wurden Echtzeitdaten für die Sommer 2021 und 2022 erfasst: „Der aufgezeichnete Zeithorizont erstreckt sich über 15 Wochen, umfasst in den Jahren 2021 und 2022 jeweils die Kalenderwochen 20 bis 34 (17.05.2021 bis 29.08.2021 und 16.05.2022 bis 28.08.2022) und berücksichtigt die Daten aller Autobahnzählstellen, bei denen laut OpenStreetMap in den betrachteten Zeiträumen in beiden Jahren keine Geschwindigkeitsbegrenzung vorlagen.“ (Puls/Wendt 2022, S. 5).

beiden Größen parallel laufen. Allerdings kann es bei Verwendung dieser Daten ebenfalls zu Auswahlverzerrungen kommen, da sie nur für Nordrhein-Westfalen erhoben wurden und nur für den Sommer – weshalb wir sie nicht verwenden. Die Erfassung im Sommer sollte aber eher für potenziell höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten sprechen und es dürften möglicherweise verzerrende Auswirkungen von Maßnahmen im Zuge der Coronapandemiepolitik ausgeschlossen sein. Bemerkenswert ist allerdings der Rückgang der gefahrenen Geschwindigkeiten im Jahre 2022 aufgrund höherer Kraftstoffpreise und anderer wirtschaftlicher Belastungen wie steigenden Fahrzeugpreisen sowie des generellen inflationären Drucks auf die verfügbaren Haushaltsbudgets.

Den letzten relevanten Parameter bildet der Rückgang der spezifischen Emissionen vom alten in den neuen Verkehrszustand. Die betreffenden Werte werden allerdings aus sachlich nicht nachvollziehbaren Gründen bei der Vorstellung der Ergebnisse in UBA (2023, S.208ff) nicht direkt explizit angeführt, so dass der Leser implizit auf die Zahlen zu den HBEFA-Werten auf S. 125ff. des Gutachtens zurückgreifen muss. Dort weisen die Gutachter als CO₂-Emissionsfaktor für den Verkehrszustand „> 130 km/h“ bei „0 Prozent Steigung“ 277,9976 g/km aus. Im Verkehrszustand „120 km/h“ verringert sich der Wert auf 240,9732 g/km. Die von den Gutachtern modellierte Reduzierung des Geschwindigkeitsprofils auf eine Verkehrssituation mit 120 km/h reduziert also die Emissionen um 13,3 Prozent.

Kurioserweise wird jedoch in dem am 15.02.2023 veröffentlichten Erläuterungsbericht der beiden Studienkoautoren Friedrich und Schmaus (2023, S.3) bei der Erklärung der Emissionsfaktoren je Verkehrssituation eine Abbildung verwendet, die ein wesentlich niedrigeres Niveau der CO₂-Emissionen, aber eine größere Differenz (19 Prozent bzw. 21 Prozent) zwischen den alternativen Zuständen „kein Tempolimit“ und „Tempolimit 120 km/h“ zeigt. Es bleibt allerdings unerwähnt - und ist damit für Außenstehende sachlich nicht nachvollziehbar -, ob im Gutachten diese Größenordnung der spezifischen Emissionsreduzierung benutzt wurde oder aber die selbst validierten oben genannten Werte. Im Folgenden gehen wir bei unseren Berechnungen von einem spezifischen Reduktionssatz vom 13,3 Prozent aus, zumal die von den Gutachtern ebenfalls betrachteten Emissionsfaktoren nach PHEM¹⁴ (UBA 2003 S.125f.) eine Reduktion von nur 11,4 Prozent nahelegen.

Über die multiplikative Verknüpfung der diskutierten Parameter erhält man eine Abschätzung der insgesamt möglichen Emissionsreduktion eines Tempolimits auf Autobahnen. Nutzt man die im Modell vorgegebenen Parameter zum Anteil höherer Fahrleistungen (38 Prozent), zur Minderung des spezifischen Emissionsfaktors um 13,3 Prozent und zum Fahrleistungsanteil tempolimitfreier Autobahnen von 55 Prozent, ergibt sich eine geschätzte Obergrenze der CO₂-Emissionsreduktion der Pkw auf Autobahnen von 2,78 Prozent. Diese entspricht allerdings lediglich einem guten Viertel der in Abb. 53 von UBA (2023, S. 209)

¹⁴ Das PHEM-Modell (Passenger car and Heavy duty Emission Model) ist ein mikroskopisches Fahrzeugemissionsmodell, das von Technischen Universität Graz (TU Graz) und der Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik (FVT) entwickelt wurde. In UBA (2023) wurden ebenfalls PHEM-Werte für verschiedene Verkehrszustände berechnet.

ermittelten prozentualen Reduktion (10,5 Prozent). Bezogen auf die Ausgangsmenge von rd. 40 Millionen Tonnen CO₂ kommt es nach unserer Rechnung maximal zu einer absoluten Emissionsminderung von 1,1 Millionen Tonnen im Gegensatz zu den rund 4,2 Millionen Tonnen laut UBA (2023). Damit hat die Berechnung der Gutachter auf Basis ihrer Modellierung den Plausibilitätstest nicht bestanden.

Selbst wenn man die Parameter zugunsten höherer Reduktionspotenziale variierte, bliebe die Diskrepanz zwischen unseren Potenzialabschätzungen und den Modellergebnissen der Gutachter massiv. So wird in UBA (2023) auf S. 85 festgestellt, dass rund zwei Drittel des auf Autobahnen stattfindenden Verkehrs Streckenabschnitte ohne Geschwindigkeitsbegrenzungen zuzuordnen sei. Da dieser Wert auf Basis der FCD von TomTom ermittelt wurde, ist er mit Vorsicht zu genießen, soll aber jetzt für eine Beispielrechnung verwendet werden. Probehaltber wird auch der in Friedrich/Schmaus (2023) erwähnte Rückgang der spezifischen Emissionen um zwanzig Prozent in die Rechnung eingebracht. Selbst unter diesen beiden aus unserer Sicht problematischen, weil deutlich zu hohen Annahmesetzungen, beträgt das Minderungspotenzial nur 5,06 Prozent; das Reduktionspotenzial wird bei dieser Parametrisierung um mindestens einhundert Prozent überschätzt. Rechne man umgekehrt mit dem Anteilswert aus Puls/Wendt (2022) für den Anteil von BAB-Fahrten über Tempo 130 für 2021 (22,4 Prozent), beliefe sich die CO₂-Emissionsminderung bei Pkw auf Autobahnen auf nur 1,6 Prozent oder 0,64 Millionen Tonnen. Das wäre dann lediglich ein Sechstel des vom Umweltbundesamt präsentierten Wertes.

Die hier vorgestellte Überprüfungsmethodik bleibt zwangsläufig im Kontext der Vorgehensweise bei der Modellierung durch UBA (2023), d.h. sie beruht annahmegemäß ebenfalls auf dem Rückgang der spezifischen Emissionsfaktoren durch Abbremsung schneller Pkw gemäß HBEFA-Werten anhand des Wechsels der Verkehrszustände. Wie bereits erläutert wurde, liegt laut den UBA-Gutachtern die durchschnittliche Geschwindigkeit in der neuen Verkehrssituation mit 122,07 km/h etwas über dem von ihnen vorgeschlagenen Tempolimit. Mit dieser Durchschnittsgeschwindigkeit kann aber das Verhalten von Personen, die sich voraussichtlich nicht an das Tempolimit halten, nicht adäquat abgebildet werden. Betrachtet man die in UBA (2020, S.15) nachgewiesene Verteilung der Fahrleistungen auf unterschiedliche Geschwindigkeiten für Autobahnabschnitte mit einem Tempolimit von 120 km/h, wird offensichtlich, dass ein quantitativ bedeutsamer Anteil der Autofahrer verbotswidrig regelmäßig und teils deutlich schneller fährt. Eine händische Auswertung des Diagramms auf S. 15 von UBA (2020) – Tabellenwerte werden im Gutachten leider nicht zur Verfügung gestellt – ergibt in vorsichtiger Annäherung eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 129,8 km/h für diejenigen, die auf einem Autobahnabschnitt mit Tempolimit 120 km/h schneller als 120 km/h fahren. Mit der von den Gutachtern nichtsdestotrotz angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit von 122,04 km/h wird demnach das Verhalten der Verkehrsteilnehmer bei Einführung eines Tempolimits nicht realistisch abgebildet. Man kann somit zu dem Eindruck gelangen, dass die Frage der Befolgung (sowie die administrativen Kosten der Durchsetzung) eines solchen Limits in der verkehrlichen Praxis aus für Außenstehende nicht nachvollziehbaren Gründen vollständig ausgeblendet wurde.

Die vorstehenden Überlegungen knüpfen an eine Inkonsistenz in UBA (2023) an, welche die unserer Einschätzung nach massiv überhöht ausgewiesenen Emissionseffekte zumindest teilweise erklären könnte. So finden sich auf S. 335 der Studie in Abb. 85 Ergebnisse bezüglich der gemäß der Modellierung von den Gutachtern erwarteten Geschwindigkeitsreduktion. Diese wird für Autobahnen mit minus 9,7 Prozent angegeben. Trotz der Schwierigkeiten für Außenstehende, die Werte aus der Abbildung korrekt abzulesen – Tabellen werden hierzu nicht zur Verfügung gestellt, kann infolge des Tempolimits ein Rückgang der Durchschnittsgeschwindigkeit auf 82,5 km/h angenommen werden. Der Ausgangswert von rd. 93,5 km/h in der Abbildung stimmt zudem überein mit den Daten in Abb. 20 des Gutachtens (UBA 2023, S. 98), aus denen sich leicht die durchschnittliche Geschwindigkeit der über alle Pkw bestimmen lässt. Selbst wenn man ehrgeiziges „Abbremsen“ auf Geschwindigkeiten zwischen 120 km/h und 135 km/h unterstellte, ergäbe sich so lediglich eine Geschwindigkeitsreduktion von 4,3 Prozent auf 89,5 km/h.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das Emissionsminderungspotenzial eines generellen Tempolimits von 120 km/h für Pkw im Gutachten bei realistischerer Betrachtung auch der Nichtbefolgungsraten um den Faktor vier überschätzt wird. Diese substantielle Abweichung dürfte insbesondere auf vollkommen überschätzte „Abbremsseffekte“ bei gleichzeitig - aufgrund der Nutzung der TomTom-Daten – als zu hoch angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeiten und Fahrleistungsanteilen auf tempolimitfreien Autobahnen in der Ausgangssituation zurückzuführen sein.

Bisher war allerdings nur von Pkw die Rede, die mit rund 4,2 Millionen Tonnen CO₂ im Gutachten für den Großteil der geschätzten Emissionsreduktion stehen. Die Differenz zu den vom UBA kommunizierten 4,5 Millionen Tonnen CO₂ liefern Geschwindigkeitsreduktionen bei schweren Nutzfahrzeugen (minus 0,3 Prozent CO₂-Minderungen auf BAB) und sonstigen Fahrzeugen (Linien- und Fernbusse, leichte Nutzfahrzeuge, Motorräder). Bei der letzten Gruppe ist der Treibhausgasausstoß auf Autobahnen zwar vom Absolutbetrag her relativ niedrig, würde aber gemäß der Modellierung der Gutachter mit Einführung des Tempolimits um 10,3 Prozent reduziert.

Angesichts der bereits seit vielen Jahren obligatorischen Geschwindigkeitsbeschränkungen von 80 km/h für Lkw ab 3,5 Tonnen zulässigen Gesamtgewichts, Busse und Fahrzeuge mit Anhänger auf BAB ist sachlich schlicht nicht nachvollziehbar, aus welcher Geschwindigkeitsabbremmung dieses Reduktionspotenzial resultieren sollte. Zwar dürfte die genannte Geschwindigkeitsbeschränkung im Realbetrieb durchaus überschritten werden, doch ist fraglich, ob ein generelles Tempolimit von 120 km/h hier überhaupt relevante Effekte hervorrufen kann, da die genannten spezifischen Geschwindigkeitsbeschränkungen ja nicht angehoben werden sollen.

So erscheint die Aussage der Gutachter, dass die Geschwindigkeit der schweren Nutzfahrzeuge im Bezugsfall geringfügig höher sei als bei Einführung eines Tempolimits, ausschließlich der Logik der Modellierung geschuldet, ist aber an der verkehrlichen Realität gemessen kaum plausibel. Wenn sich der Verkehr auf Autobahnen durch ein allgemeines Tempolimit von 120 km/h nennenswert verstetigen würde – wie es die Gutachter annehmen

(UBA 2023, S. 192) –, sollten sich die gefahrenen Geschwindigkeiten schwerer Nutzfahrzeuge im Gegenteil sogar eher leicht erhöhen. Schließlich liefern die Gutachter keinerlei Begründung für die von ihnen geschätzten relativ starken Reduktionseffekte bei den sonstigen Fahrzeugen; diese entziehen sich somit der Nachprüfung durch die Fachwelt und müssen vor diesem Hintergrund derzeit als rein spekulativ betrachtet werden.

3.3 Validität von Routenwahleffekten

Wie bereits in Kapitel 2 erläutert wurde, werden zur Berechnung der potenziellen Emissionsminderungen eines generellen Tempolimits auf Bundesautobahnen im UBA-Gutachten von 2023 auch sogenannte Routenwahleffekte berücksichtigt. Derartige mögliche nachgelagerte Auswirkungen von Tempolimits wurden bei bisherigen Studien nicht betrachtet. Die Gutachter betreten mit dieser Abschätzung demnach wissenschaftliches „Neuland“ auf dem Gebiet der Verkehrsplanung.

Routenwahleffekte treten auf, wenn aufgrund eines Tempolimits auf Autobahnen statt der Autobahn nunmehr eine Route im nachgeordneten Straßennetz gewählt wird. Die Berücksichtigung von Routenwahleffekten steigert laut den Modellrechnungen der Gutachter die Minderungswirkung des Tempolimits von 120 km/h auf Autobahnen bezogen auf die gesamten Straßenverkehrsemissionen von 2,9 Prozent auf 3,6 Prozent. Dies entspricht dann 5,8 Millionen Tonnen CO₂ für das in der Studie untersuchte Jahr 2018. Allein aus den Routenwahleffekten resultieren somit CO₂-Minderungen in der Größenordnung von 1,3 Millionen Tonnen.

Zum Verständnis dieser Effekte ist ein kurzer Exkurs in die Funktionsweise sogenannter Verkehrsnachfragemodelle hilfreich, wie sie im Rahmen der Arbeiten des UBA-Gutachtertteams eingesetzt wurden. Ein Verkehrsnachfragemodell (für den Personenverkehr) versucht die verkehrlich relevanten Entscheidungen der Bevölkerung in einem definierten Untersuchungsraum abzubilden. Hierzu ist das Modell in vier Stufen untergliedert. Grundlegend ist die sogenannte Aktivitätenwahl, d.h. die Frage, ob es überhaupt zu einer Ortsveränderung durch eine Person kommt. Ist dies der Fall, wird diese Entscheidung in einem zweiten Schritt durch eine Zielwahl konkretisiert, bevor im Modell die Modalwahl, also die Wahl des Verkehrsmittels, simuliert wird. Das Ergebnis dieser Modellierung sind Fahrtenmatrizen, die bei der sogenannten Umlegung (vierte Stufe) mit den verfügbaren Angebotskapazitäten abgeglichen werden; bei Überlastungen einzelner Routen kommt es ggfs. zu einer Änderung der Verkehrsmittelwahl. Angebot und Nachfrage sind in diesem Modellansatz gekoppelt, da die Angebotsqualität (Erreichbarkeit, Preis, Reisezeit etc.) für die verschiedenen Verkehrsmittelwahlalternativen über Kenngrößenmatrizen in die Entscheidungsfindung der Nachfrager eingehen. Weitere relevante Datenquellen sind Raumstruktur- und Verhaltensdaten.¹⁵ Zu beachten ist, dass die Verkehrsaktivitäten im

¹⁵ Vgl. zu einer ausführlichen Erläuterung Friedrich (2011).

verwendeten Verkehrsnachfragemodell PTV-Validate sehr kleinräumig abgebildet werden. Die Modellierung umfasst für die Bundesrepublik Deutschland insgesamt 20.388 Verkehrszellen.

Technisch wird bei der Modellierung von Routenwahleffekten so vorgegangen, dass die ursprünglichen Nachfragematrizen für Pkw und Lkw auf das Netz mit den aufgrund des Tempolimits angenommenen Geschwindigkeiten umgelegt wird (Friedrich/Schmaus 2023). Auf den bisher ohne Tempolimit befahrbaren Streckenabschnitten wird durch das Tempolimit sozusagen ein zusätzlicher Widerstand eingebaut, der die Reisezeit gegenüber dem Zustand ohne Tempolimit erhöht. Die veränderten Geschwindigkeiten beeinflussen in diesem Schritt nur die Routenwahl, d.h. etwaige Nachfrageeffekte aus der Verkehrsmittelwahl (Verkehrsmittelwähländerungen) bleiben an dieser Stelle noch unberücksichtigt. Die Fahrleistungen auf den durch das neu eingeführte Tempolimit betroffenen Strecken sowie auf den nachgeordneten, stattdessen genutzten Ausweichstrecken verändern sich im Rahmen der Modellierung des UBA-Gutachtens wie folgt: Die Nutzung der Autobahnen nimmt ab (Fahrleistung dort minus 5 Prozent) und die des sonstigen Streckennetzes zu (Fahrleistung plus 1,1 Prozent). Zum besseren Verständnis sei nachfolgend die relevante Textpassage aus UBA (2023, S. 209) zitiert:

„Es entsteht eine Verlagerung ins untergeordnete Netz, da durch die Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit die Autobahn an Schnelligkeit und somit an Attraktivität verliert. Es wird direkter gefahren, da die Nutzung der Autobahn meist mit längeren Umwegen verbunden ist. Die gesamte Fahrleistung über alle Streckentypen und Fahrzeugkategorien nimmt um 1,0 % ab. Die Abnahme findet vor allem auf Autobahnen statt, auf anderen Straßen nimmt die Fahrleistung von Pkw und LNF¹⁶ um 1,1 % zu. SNF¹⁷ sind von diesem Maßnahmenaspekt nicht betroffen, die Autobahn verliert für sie nicht an Attraktivität.“

Angesichts der erheblichen Größenordnung der von den Gutachtern erwarteten Minderung ist auch bei den Routenwahleffekten eine vertiefende Analyse der methodischen Vorgehensweise erforderlich, um die Validität bzw. Plausibilität der Ergebnisse zu überprüfen. In diesem Kontext sind nachfolgende Punkte anzusprechen:

- Dieser Teil der Modellrechnungen lässt sich letztlich von Außenstehenden quantitativ faktisch nicht abschätzen; es gibt schlichtweg nicht die Möglichkeit für externe Experten, derartige Effekte gesamthaft auf der Basis belastbarer Parameter zu kalkulieren, wie es bei den Streckentypänderungen der Fall war. Die bereits beklagte mangelnde Möglichkeit der Reproduktion immunisiert gegen Kritik und verhindert somit eine wissenschaftliche Diskussion der Ergebnisse hinsichtlich ihrer Plausibilität de facto vollständig.

¹⁶ LNF = leichte Nutzfahrzeuge.

¹⁷ SNF = schwere Nutzfahrzeuge.

-
- Dessen ungeachtet bestehen allerdings berechtigte Zweifel an den mittels der Modellrechnungen ermittelten Werten. Diese beziehen sich zunächst auf die gewählte Methodik bzw. Versuchsanordnung der Gutachter und betreffen insbesondere die Verwendung der FCD für die Modellkalibrierung. Zu hohe aktuelle Eingangsgeschwindigkeiten aus FCD und zu starke Abbremsseffekte durch ein Tempolimit ohne Berücksichtigung der erwartbaren Nichtbeachtung bewirken von der Realität abweichende Effekte, auf die das Modell jedoch nicht kontrolliert werden kann.
 - Die sicherlich zutreffende Einschätzung der Gutachter, dass durch das Tempolimit die Autobahn an Schnelligkeit und damit an Attraktivität verliert, muss allerdings nicht zwangsläufig in relevantem Maße zu einem Übergang auf das nachgeordnete Netz führen. Insbesondere die Aussage, es würde direkter gefahren, da die Nutzung der Autobahn meist mit längeren Umwegen verbunden sei, ist aus verkehrswirtschaftlicher Sicht nicht nachvollziehbar. Die Tatsache, dass die Nutzung des nachgeordneten Straßennetzes anstatt der Autobahn aufgrund der dort bestehenden Geschwindigkeitsbeschränkungen, Überlastungen, Ortsdurchfahrten etc. je nach Fahrtstrecke und Tageszeit mitunter erhebliche Zeitnachteile mit sich bringt, steht dieser Einschätzung fundamental entgegen. Zwar empfehlen moderne Navigationsempfehlungen heute durchaus Alternativrouten im Falle von Staus oder Sperrungen; dies sind aber angesichts des dichten Autobahnnetzes in Deutschlands häufig alternative Autobahnrouen. Insgesamt ist aber die Faktenlage in diesem Feld relativ unklar und es fehlt an wissenschaftlichen Untersuchungen zu diesem Phänomen. Daher steht die plakative Formulierung der Gutachter – es wird direkter gefahren – einfach so im Raum. Einen belastbaren empirischen Beleg dafür, dass diejenigen Autofahrer, die regelmäßig auf BAB-Abschnitten ohne Tempolimit mit mehr als 120 km/h unterwegs sind (oder sogar rasen), für längere Fahrten aufgrund des Tempolimits stattdessen Bundes- oder Landesstraßen wählen - wo sie bei den quasi unvermeidbaren Ortsdurchfahrten ggfs. mit Tempo 30-Zonen und Ampeln konfrontiert sind – bleiben die Gutachter schuldig. Bei Pendlern und anderen regelmäßigen Autobahnnutzern sollten zudem aufgrund ihrer Erfahrungswerte bzgl. der zu erwartenden Zeitverluste nicht unerhebliche Habitualisierungseffekte auftreten. Das bedeutet, dass die gewohnte Autobahnroute auch bei einem Tempolimit wie üblich weiter befahren würde, da menschliches Verkehrsverhalten grundsätzlich stark gewohnheitsgetrieben ist (Fehr/Geisseler/Jäger 2018, S. 38). Derartige Habitualisierungseffekte werden aber in dem verwendeten Verkehrsplanungsmodell nicht abgebildet, was die Aussagekraft der Ergebnisse (ggfs. deutlich) einschränkt.
 - Zu beachten ist auch, dass bei (längeren) Pkw-Fahrten bereits heute aufgrund der vielfachen Staus und Baustellenaktivitäten von den Pkw-Nutzern Sicherheitsmargen eingeplant werden. Reisezeiterhöhungen wegen des Tempolimits dürften dann kaum ins Gewicht fallen, zumal mit der Einführung eines Tempolimits zumindest aus Sicht des Forschungsansatzes der Gutachter eine Verstetigung bzw. Verflüssigung des Verkehrs intendiert wird, die generell zur Stauvermeidung beitragen kann, also die Attraktivität der Autobahn im Vergleich zum nachgeordneten Netz sogar tendenziell zu erhöhen in der Lage wäre.

Zusammenfassend dürften die Modellergebnisse hinsichtlich der Routenwahleffekte eines generellen Tempolimits auf Autobahnen an der Lebenswirklichkeit und Verkehrssituation in Deutschland vorbeigehen. Die von den Gutachtern errechneten CO₂-Einspareffekte infolge von Routenwahleffekten scheinen uns vor diesem Hintergrund reichlich spekulativ, und eine Relevanz für klimapolitisch motivierte Entscheidungen über die Einführung eines generellen Tempolimits ist daher zu negieren.

Ungeachtet der Frage ob die von den Gutachtern erwarteten Routenwahleffekte realistisch sind, sind Ausweichverkehre von Autobahnen auf das nachgeordnete Netz aus verschiedenen Gründen unerwünscht, wie die Gutachter selbst feststellen (UBA 2023, S. 192).¹⁸ Um solche unerwünschten Ausweichverkehre ins nachgeordnete Netz in großem Umfang zu vermeiden, müsste das Tempolimit nicht nur auf Autobahnen eingeführt, sondern zusätzlich auch das bestehende Tempolimit auf den Außerortsstraßen entsprechend reduziert werden. Dies wird auch von Gutachtern vorgeschlagen, was zeigt, dass eine einmal angelegte Interventionsspirale weiter beschritten wird. Dieser Logik folgend könnten auch weitere Geschwindigkeitsabsenkungen auf Autobahnen diskutiert werden.

3.4 Validität von Nachfrageeffekten

Auch aus sogenannten Nachfrageeffekten werden im UBA-Gutachten Reduzierungen von CO₂-Emissionen prognostiziert. Deren Modellierung setzt unmittelbar auf den Zustand des Verkehrsnachfragemodells nach Durchlauf des Routenwahlmodells (mit Tempolimit) auf. Im Rahmen der Modellierung wird geschätzt, welche Änderungen der Verkehrsnachfrage sich durch die geänderten Reisezeiten ergeben würden. Aufgrund der Nachfrageeffekte erhöht sich laut Gutachter-Modellierung die CO₂-Minderungsrate für Pkw von 3,6 Prozent auf 4,2 Prozent. Absolut wird ein Minderungspotenzial von 0,9 Millionen Tonnen CO₂ angenommen. Das wäre zwar der geringste von allen drei Wirkungsbeträgen, aber im Verhältnis zur bisherigen Einschätzung der Effekte eines Tempolimits noch eine beachtliche Größe.

Da es sich bei PTV-Validate um ein monomodales Verkehrsnachfragemodell handelt, welches nur den Straßenverkehr umfasst, sind damit Verlagerungseffekte auf andere Verkehrsträger grundsätzlich nicht abbildbar, insbesondere weil die Angebotsseite der anderen Modi fehlt. Um dieses Modellierungsproblem zu umgehen, bedienen sich die Gutachter eines von ihnen so bezeichneten Elastizitätenmodells, in dem Kreuzpreiselastizitäten die realen Substitutionspotenziale zwischen Pkw und anderen Verkehrsmodi (Bus, Bahn) näherungsweise abbilden sollen.

Die Gutachter sagen dazu wörtlich: „Reisezeiterhöhungen im Pkw-Verkehr können auf einigen Relationen zu Reisezeitvorteilen für den öffentlichen Verkehr führen, so dass ein Teil der Reisenden auf den öffentlichen Verkehr wechselt. Das wird u.a. auf Relationen mit großen Entfernungen und einem guten Bahnangebot der Fall sein. Dadurch reduziert sich die Fahrleistung im Pkw-Verkehr“ (Friedrich/Schmaus 2023, S. 2).

Technisch leitet ein Elastizitätenmodell aus den Änderungen der Pkw-Reisezeit für jede Relation im Verkehrsnachfragemodell eine neue Pkw-Nachfrage ab. Dahinter steht die Annahme, dass Reisezeitveränderungen die Pkw-Nachfrage beeinflussen. Die Effekte sind

¹⁸ Auf den in diesem Kontext hochrelevanten Aspekt Verkehrssicherheit gehen wir in Kapitel 3.5 ein.

annahmegemäß bei langen Fahrten schwächer ausgeprägt als bei kurzen Fahrten.¹⁹ Laut den Gutachtern wurden zur Schätzung der Funktionsparameter Literaturwerte herangezogen. Von großer Bedeutung ist jedoch, dass das konkrete Verkehrsangebot (Reisezeit, Preis, Bequemlichkeit etc.) der anderen Verkehrsträger aus der Analyse ausgeklammert wird, was von Außenstehenden als wissenschaftlich unseriöse Vereinfachung interpretiert werden könnte. Eine dermaßen angepasste Verkehrsnachfragematrix für den Maßnahmenfall wurde aber von den Gutachtern trotz der soeben angeführten Bedenken im nächsten Schritt erneut auf das Netzmodell des Maßnahmenfalls umgelegt (UBA 2023, S. 206).

Die beschriebene Vorgehensweise zur Ermittlung der Nachfrageeffekte weckt erhebliche Zweifel an der Validität der von den Gutachtern vorgenommenen Quantifizierung der Nachfrageeffekte, vor allem aufgrund folgender sachlicher Erwägungen:

- Zunächst ist fraglich, ob die Versuchsanordnung bei der Kopplung eines monomodalen Verkehrsnachfragemodells und eines Elastizitätenmodells, über dessen Struktur wir nichts wissen, für die hier relevante Fragestellung hinreichend realitätsnah kalibriert wurde.
- Weiterhin ist methodisch äußerst ungewöhnlich, dass die Angebotsseite der alternativen Verkehrsträger aus der Modellierung ausgeklammert wurde. Folglich kann im konkreten Fall nicht überprüft werden kann, ob überhaupt eine von den (potenziellen) Nutzern als äquivalent eingeschätzte alternative Reisemöglichkeit gegeben ist und wenn ja mit welcher Reisezeit, Qualität und zu welchem Preis. Es bleibt zudem für Außenstehende vollkommen unklar, welche Elastizitäten von Gutachtern konkret aus der Literatur übernommen und ggfs. angepasst wurden, und auf der Grundlage welcher verkehrswissenschaftlichen Überlegungen dies erfolgte. So erweckt die Zitation der Studie von Litmann (2022) aufgrund deren Aktualität den Eindruck, dass hier aktuelle Forschungsergebnisse zur Relevanz der für die Modellierung erforderlichen Elastizitäten genutzt werden. Tatsächlich stellt die Quelle lediglich jedoch eine bloße Kompilation bereits aus der relevanten Literatur bekannter empirischer Schätzwerte für verschiedenste Elastizitätstypen dar. Zu den für die Fragestellung relevanten Kreuzpreiselastizitäten werden bei Litman (2022, S. 55) nur ältere Daten von Hensher aus dem Jahre 1997 zitiert. Diese dürften zum einen für den deutschen Kontext nicht relevant sein und beziehen sich anderen auf den öffentlichen Nahverkehr (Hensher 1997). In der zweiten angegebenen Quelle (Axhausen et al. 2015) stehen Elastizitäten und Kreuzpreiselastizitäten nicht im Mittelpunkt der Untersuchung. Die Gutachter legen daher nicht ausreichend offen, anhand welcher methodischer Kriterien diese dispersen Quellen konsolidiert und verarbeitet wurden.
- Ausgeklammert bleibt des Weiteren, ob in der Modal Shift-Betrachtung auch die Wahl des Flugzeuges als realistische Alternative betrachtet wurde. Auch wenn hier angebotsseitige Restriktionen noch stärker durchschlagen sollten, dürfte grundsätzlich das Fliegen im Falle einer Reisezeitverlängerung für den privaten Pkw auf längeren innerdeutschen Strecken ähnlich wie die Bahn eine relevante Alternative darstellen, da dadurch häufig Zusatzkosten und eine Reisezeitverlängerung aufgrund einer bei Bahnnutzung ggfs. notwendigen Übernachtung entfallen.

¹⁹ Diese Aussage der Gutachter impliziert einen bemerkenswerten internen Widerspruch, da laut der oben zitierten Aussage insbesondere Reisen über große Entfernungen bei einem generellen Tempolimit auf den BAB auf das nachgelagerte Netz verlagert würden.

-
- Nicht betrachtet wird zudem der hochrelevante Einfluss habitualisierter Entscheidungen im Zuge der Verkehrsmittelwahl (Fehr/Geisseler/Jäger 2018). Sie sind durch reaktive Prozesse charakterisiert, d. h. Stimuli lösen beim Individuum jeweils das gleiche Reaktionsschema aus. Kognitive Prozesse sind bei diesem Entscheidungstyp möglicherweise völlig vernachlässigbar. Habitualisierte Entscheidungen können auf eigenen Erfahrungen oder Empfehlungen und Gebrauchserfahrungen Dritter aufbauen. Bestimmte Persönlichkeitsmerkmale (z. B. hohe Risikoaversion) begünstigen Habitualisierungsprozesse (Eisenkopf/Hahn/Schnöbel 2008).
 - Abschließend ist auch darauf hinzuweisen, dass eine relevante Verlagerung auf alternative Verkehrsmittel dort zu zusätzlichen CO₂-Emissionen im Betrieb, und insbesondere durch den zur Beförderung zusätzlicher Nutzer erforderlichen Kapazitätsaufbau (Fahrzeuge und Infrastruktur) führen würden, die saldiert in die Betrachtung einbezogen werden müssten, was allerdings im Gutachten nicht erfolgt.

Aufgrund dieser Einschränkungen halten wir die errechneten Ergebnisse für in hohem Maße spekulativ und als Grundlage für eine rationale, evidenzbasierte Verkehrspolitik wenig geeignet. In der relevanten Forschungsliteratur findet sich jedenfalls regelmäßig der empirisch gestützte Hinweis, dass wegen der sehr niedrigen Kreuzpreiselastizitäten der öffentliche Verkehr und die private Eigenproduktion von Verkehrsleistungen nur begrenzt als Substitutionsgüter betrachtet werden können (vgl. z.B. IVT/ProgTrans/Steinbeis Transferzentrum 2004, S.201).²⁰

3.5 Verlagerung auf das nachgeordnete Straßennetz und Unfallgeschehen

Im Zuge der Quantifizierung der Routenwahleffekte werden in der UBA-Studie Verlagerungen des Pkw-Verkehrs auf das nachgeordnete Netz prognostiziert. Ein Tempolimit von 120 km/h auf Autobahnen führe laut Modellrechnung zu einer Erhöhung der Fahrleistungen auf dem nachgeordneten Straßennetz um ein Prozent. Wie in Kapitel 3.3 ausgeführt wurde, sind wir zwar grundsätzlich skeptisch hinsichtlich der quantitativen Dimension der von den Gutachtern modellierten intramodalen Verlagerungswirkungen eines Tempolimits, doch erwarten wir durchaus verkehrssicherheitsrelevante Auswirkungen, falls sich die Prognosen der Gutachter zumindest teilweise erfüllen sollten. In diesem Fall könnte es in der Tat lokal durchaus zu deutlich höheren Verkehrsbelastungen oder sogar Überlastungen kommen, da nicht flächendeckend relevante Ausweichstrecken im nachgeordneten Netz zur Verfügung stehen dürften und insbesondere in Großräumen bzw. Metropolregionen, eine gewisse Konzentration und damit eine faktische Einschränkung möglicher verfügbarer Ausweichstrecken auftreten dürfte.

In der generalisierenden Betrachtung ihrer Maßnahmen weisen die Gutachter sogar selbst darauf hin, dass solche Effekte in nicht näher definierten „sensibleren Gebieten“ unerwünscht seien, sobald von Autobahnen Verkehre auf das nachgeordnete Netz verlagert würden (UBA 2023, S. 192). Dieser wichtige Aspekt wird aber bei der Vorstellung der

²⁰ Zur Frage intermodaler Substitutionsbeziehungen grundlegend siehe Eisenkopf/Hahn/Schnöbel 2008.

eigentlichen Modellergebnisse von den Gutachtern nur erwähnt, aber nicht mehr in der analytisch notwendigen Tiefe diskutiert.

In der Unfallforschung herrscht Konsens darüber, dass Autobahnen bezogen auf die Zahl der geleisteten Fahrzeugkilometer gegenüber Bundesstraßen deutlich sichere Infrastrukturen darstellen. So ereigneten sich laut BASt (2023) im Jahre 2021 auf Bundesautobahnen je eine Million Fahrzeugkilometer 0,07 Unfälle mit Personenschaden, während die Rate auf Bundesstraßen bei 0,2 lag (d.h. um den Faktor drei höher). Betrachtet man des Weiteren die Getötetenrate je eine Milliarde Fahrzeugkilometer, lag diese für Bundesautobahnen bei 1,4 und bei 5,2 für Bundesstraßen (d.h. um den Faktor 3,5 höher). Ohne hier auf weitere Details der Unfallstatistik einzugehen, ist empirisch eindeutig belegt, dass infolge der im Gutachten empfohlenen Verkehrsverlagerungen von Autobahnen auf das nachgeordnete Straßennetz – auf Landes- und Gemeindestraßen fallen die auf die Fahrleistung bezogenen Unfallrisiken im Übrigen noch höher aus als auf Bundesstraßen – das Unfallrisiko erheblich zunähme. Hiervon dürften bei Verlagerungen auf nachgeordnete Straßen, also auf (partiell) innerörtliche Infrastrukturen in kleineren und mittleren Kommunen, nicht zuletzt Kraftrad- und Fahrradfahrer betroffen sein, deren verkehrsleistungsbezogenes verkehrliches Verletzungs- oder Todesrisiko schon jetzt auf allen von ihnen routinemäßig genutzten Verkehrswegen deutlich über dem statistischen Durchschnitt liegt (Statistisches Bundesamt – Destatis 2023).

Dem wären allerdings selbstverständlich empirisch belastbare gegenläufige Effekte infolge der im Gutachten propagierten Temporeduzierung und der damit einhergehenden Verminderung der Fahrleistungen auf Autobahnen gegenüberzustellen. Die gängige These, die z.B. von Bauernschuster/Traxler (2021) vertreten wird, der zufolge ein Tempolimit die Zahl der Getöteten und Verletzten reduzieren könnte, ist im deutschen Kontext aufgrund fehlender empirischer Evidenz lediglich als Ergebnis einer weitgehend spekulativen Modellbetrachtung anzusehen. Angesichts davon abweichender Ergebnisse in der einschlägigen wissenschaftlichen Literatur bleiben im Übrigen auch die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestags skeptisch hinsichtlich der derzeitigen Evidenz zu diesem gesellschaftlich überaus wichtigen Aspekt, zumal bisher für Deutschland noch keine empirisch belastbare Untersuchung zum möglichen Einfluss von Tempolimits auf die Unfallhäufigkeit und -schwere vorgelegt wurde (Wissenschaftliche Dienste 2022). Hinsichtlich des Nettoeffekts einer Verlagerung auf das Unfallgeschehen lässt sich in Anbetracht der unzureichenden Datenlage daher derzeit keine seriöse und quantitativ hinterlegte Aussage formulieren.

3.6 Wohlfahrtsverluste durch Reisezeitverluste

Bei der Ergebnispräsentation zur UBA-Studie „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ hat der Präsident des UBA seine Forderung nach einem Tempolimit auch damit motiviert, dass die errechneten Emissionsminderungen „schnell und ohne Mehrkosten“ zu haben seien, wie bereits einleitend angemerkt wurde. Ähnliche Aussagen werden auch von

anderen Befürwortern eines generellen Tempolimits auf Autobahnen getätigt (beispielhaft der Verkehrsclub Deutschland (VCD)).²¹

Die Einschätzung, ein Tempolimit kostenlos haben zu können, ist aus ökonomischer Sicht allerdings schlicht falsch. Reisezeiteinsparungen sind gerade der entscheidende Hebel der Nutzenstiftungen im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung und werden dort im Rahmen von Kosten-Nutzen-Analysen systematisch erfasst und monetär bewertet. Schnellere Raumüberwindung bewirkt wissenschaftlich unstrittig Steigerungen der gesamtwirtschaftlichen Faktorproduktivität und erhöht den Nutzen privater Konsumenten (BMVI 2016, S. 17)

Eine Abschätzung möglicher volkswirtschaftlicher Kosten unterschiedlich hoher Tempolimits auf Autobahnen auf der Grundlage der Tempolimitstudie des UBA aus dem Jahre 2020 (UBA 2020) hat Schmidt (2020) vorgelegt. Im Rahmen seiner Untersuchung errechnet er zunächst den Wert der CO₂-Emissionsreduktion auf der Basis der Ergebnisse des UBA und des aktuellen Zertifikatspreises im EU-Emissionshandelssystem (EU-EHS). Anschließend bestimmt er den monetären Wert des Zeitverlustes für die Autofahrer, der sich aus der Geschwindigkeitsreduktion auf bisher nicht limitierten Autobahnstrecken ergibt. Dazu wird der errechnete Zeitverlust von 98,5 Millionen Stunden pro Jahr mit dem aktuellen Bruttostundenlohn im ersten Quartal 2020 bewertet. Gegengerechnet wird auch der Nettowert des eingesparten Treibstoffes.

Ergebnis dieser ökonomisch plausiblen Kalkulation ist, dass ein generelles Tempolimit von 120 km/h auf der Basis der seinerzeit ermittelten Emissionsreduktion von 2,6 Millionen Tonnen zusätzliche Zeitkosten für die Volkswirtschaft in Höhe von 2,6 Milliarden Euro verursacht. Davon sind gesparte Treibstoffkosten in Höhe von 480,8 Millionen Euro abzuziehen. Der Netto-Wohlfahrtsverlust unter Berücksichtigung des Wertes der Emissionsreduktion macht somit rund 2,0 Milliarden Euro aus. Seiner Berechnung zufolge belaufen sich die volkswirtschaftlichen Vermeidungskosten auf 812 Euro je Tonne CO₂. (Schmidt 2020, S. 6f.).²² Das ist das Zehnfache des durchschnittlichen Preises eines Emissionszertifikates im Jahr 2022 (Handelsblatt 2023).

Eine vergleichbare Berechnung der Kosten der Zeitverluste durch ein Tempolimit kann auch im Rahmen dieser Kurzstudie vorgenommen werden, da die UBA-Gutachter Angaben zu Zeitverlusten sowohl in UBA (2023) als auch im Erläuterungsgericht (Friedrich/Schmaus 2023) machen. So stellen Friedrich/Schmaus in ihrem Papier auf S. 6 auf Basis ihrer Modellierung Folgendes fest:

„Eine durchschnittliche Person in Deutschland legt etwa 11.000 km pro Jahr mit dem Pkw als Fahrer oder Mitfahrer zurück (Mobilität in Deutschland,

²¹ <https://www.vcd.org/tempolimit>.

²² Schmidt geht auch darauf ein, ob die Berücksichtigung evtl. zusätzlicher Verkehrstoter ohne ein Tempolimit die Wohlfahrtsverluste durch Reisezeitverlängerungen überkompensieren kann; dieser – verkehrspolitisch sehr relevante - Aspekt soll in diesem Papier nicht weiterverfolgt werden, da hier keine umfassende Nutzen-Kosten-Analyse geleistet werden kann.

2017). Pro Tag sind das im Mittel rund 30 km, davon durchschnittlich etwa 10 km auf Autobahnen. Für die 30 km benötigt die Person einen Zeitaufwand von knapp 40 Minuten. Durch die Einführung eines Tempolimits 120/80 wird sich die tägliche Pkw-Reisezeit einer Person im Mittel um etwa 1,4 Minuten erhöhen. Bei einer Autobahnfahrt über 100 km, die mit einer mittleren Geschwindigkeit von 120 km/h statt 140 km/h durchgeführt wird, erhöht sich die Fahrzeit um 7 Minuten bzw. 17%. Der Kraftstoffverbrauch sinkt durchschnittlich um etwa 20%.“

Geht man von einem Zeitaufwand für die Pkw-Mobilität von 40 Minuten laut Mobilität in Deutschland (MiD) aus, wie die Gutachter korrekterweise angeben, so gilt diese Kennzahl in der Abgrenzung von MiD zum 31.12.2021 für eine Gesamtbevölkerung von 83,2 Millionen Menschen (Nobis/Kuhnimhof 2019, S. 46). Laut UBA (2023, S. 211) kommt es durch ein Tempolimit von 120 km/h auf Autobahnen zu einer durchschnittlichen Fahrzeiterhöhung von einem Prozent im deutschen Straßennetz. Damit verliert jede Person im Durchschnitt täglich 0,4 Minuten, was für die Gesamtbevölkerung im Ergebnis einen jährlichen Zeitverlust von 202,5 Millionen Stunden ausmacht. Zur Bewertung dieses Zeitverlustes werden mittlere Kostensätze aus der letzten Bundesverkehrswegeplanung in Höhe von zehn Euro für private und fünfzig Euro für geschäftliche Zwecke herangezogen (PTV Planung Transport Verkehr AG et al. 2016, S. 97ff). Um vorsichtig zu rechnen, wird der Zeitverlust zu sechzig Prozent auf private und zu vierzig Prozent auf geschäftliche Zwecke aufgeteilt. Damit ergibt sich ein mittlerer Satz von 26 Euro je Stunde, der noch unter dem von Schmidt (2020) verwendeten Wert liegt.

Auf Grundlage dieser Eingangsdaten errechnen sich infolge eines generellen Tempolimits von 120 km/h auf Autobahnen Kosten der Zeitverluste von 5,3 Milliarden Euro. Diese sind deutlich höher als die von Schmidt (2020) ermittelten Werte, resultieren aber auch aus erheblich höheren Abbremsseffekten sowie Reisezeitverlängerungen durch Routenwahleffekte. Gegenzurechnen sind Treibstoffkosteneinsparungen in Höhe von rd. 2,6 Milliarden Euro auf der Basis der durchschnittlichen Netto-Kraftstoffpreise von 2022 nach Abzug von Steuern und Abgaben (Statista 2023). Dabei wird vereinfachend von einem ungewichteten Durchschnitt aus Benzin und Diesel ausgegangen. Der Wert der Emissionsreduktion wird mit dem jahresdurchschnittlichen Preis von 80 Euro für 2022 ermittelt (Handelsblatt 2023) und beträgt für die 6,7 Millionen Tonnen vermiedenes CO₂ insgesamt 536 Millionen Euro. Im Ergebnis machen die CO₂-Vermeidungskosten somit 390 Euro je Tonne aus, also etwa das Fünffache des aktuellen Zertifikatspreises, und es entsteht ein volkswirtschaftlicher Nettowohlfahrtsverlust von 2,1 Milliarden Euro.

Würde man gleichzeitig ein Tempolimit von 80 km/h auf allen anderen Außerortsstraßen einführen, geben die Gutachter einen durchschnittlichen täglichen Zeitverlust von 1,4 Minuten je Person an (siehe Zitat oben). In diesem Fall ergeben sich Kosten der Zeitverluste von 18,4 Milliarden Euro; die volkswirtschaftlichen Vermeidungskosten stiegen in diesem Szenario dramatisch auf rd. 1900 Euro je Tonne CO₂.

Diese Ergebnisse zeigen, dass ein generelles Tempolimit auf Autobahnen zu substantiellen volkswirtschaftlichen Verlusten führt und daher – selbst bei vollständiger Vernachlässigung der administrativen Kosten für Einführung und Durchsetzung – volkswirtschaftlich betrachtet gerade nicht kostenlos zu haben ist.²³ Bereits bei einem ausschließlichen Tempolimit von 120 km/h auf Autobahnen werden prohibitiv hohe Vermeidungskosten hervorgerufen; ein gleichzeitiges Tempolimit von 80 km/h auf dem nachgeordneten Straßennetz sprengt mit Vermeidungskosten von 1900 Euro je Tonne CO₂ völlig den Rahmen – für den Erwerb eines Zertifikats im EU-EHS mit identischem Reduktionseffekt würde ein Kostenaufwand von lediglich 80 Euro je Tonne genügen! - und konterkariert damit völlig eine effizienzorientierte Verkehrspolitik. Wenn der UBA-Präsident dem angeblich kostenlos zu habenden Tempolimit fiktive Kosten in Höhe von 13 Mrd. Euro gegenüberstellt, die der Staat aufwenden müsste, um im Rahmen des aktuellen Förderregimes die für eine vergleichbare Emissionsminderung erforderlichen drei Millionen Elektrofahrzeuge zu subventionieren, verbessert das die Qualität der Argumentation nicht. Es macht keinen Sinn, eine volkswirtschaftlich ineffiziente Klimaschutzmaßnahme wie das Tempolimit mit der Verhinderung eines noch ineffizienteren Instruments – die Vermeidungskosten der Elektromobilität werden auf bis zu 2.400 Euro je t CO₂ geschätzt (Weimann 2021, S. 22) – zu rechtfertigen.

4 Umweltökonomische Einordnung des Instrumentes Tempolimit

Die von den Studienautoren auf der Basis üblicher verkehrsplanerischer Methoden abgeleitete Handlungsempfehlung der Einführung eines generellen Tempolimits auf deutschen Fernstraßen, insbesondere den BAB, als mutmaßlich effektivem Instrument der Klimapolitik kann aus umweltökonomischer Sicht wissenschaftlich nicht überzeugen. Zurückzuführen ist dies auf die immanenten methodischen und analytischen Limitationen der in UBA (2023) genutzten verkehrsplanerischer Ansätze. Diese blenden sämtliche ökonomisch relevanten Dimensionen der umwelt- und klimapolitischen Instrumentenwahl systematisch aus (gleiches gilt für die deren mögliche gesellschaftlichen und gesellschaftspolitischen Implikationen wie z.B. Akzeptanzfragen). Konkret bedeutet dies, dass die Handlungsempfehlung Tempolimit als wesentliches Ergebnis des Gutachtens lediglich eine verkehrsplanerische Position darstellt, die erst noch einer umfassenden und vertieften umweltökonomischen Analyse zu unterziehen wäre.

Die einschlägige umweltökonomische Literatur (für viele stellvertretend Haab/Whitehead 2014; Titenberg/Lewis 2015; Field/Field 2017) hat in den vergangenen Jahrzehnten nachfolgende diskutierte Standardkriterien zur Bewertung umwelt- und klimapolitischer Instrumente entwickelt – also auch eines Tempolimits, das als Grenzwert und folglich als ordnungsrechtliches Instrument zu klassifizieren ist.

²³ Auf die versteckten ökonomischen Kosten eines Tempolimits hat beispielhaft bereits Weimann (2021) hingewiesen.

Wie unmittelbar einsichtig ist, ist in diesem Zusammenhang die umweltpolitische Effektivität von zentraler Bedeutung, d.h. das Instrument muss grundsätzlich geeignet sein, zum Erreichen des umweltpolitischen Ziels beizutragen. Die umweltökonomisch relevante Dimension von Effektivität stellt der Kosten-Effektivitätsgrad des betrachteten Instruments dar; er entspricht den Grenzvermeidungskosten je Emissionseinheit, die beim Einsatz des jeweiligen Instruments anfallen. Kosten-Effektivitäts-Analysen setzen folglich zwingend den Vergleich von wenigstens zwei bzgl. der umweltpolitischen Zielerreichung nachweislich wirksamen Instrumenten voraus, die nicht auf den Verkehrsbereich oder inländische Emissionsquellen beschränkt sind. Setzt man von zwei gleich wirksamen, aber unterschiedlich kosteneffektiven Instrumenten das suboptimale Instrument ein, kommt es zu überhöhten Kosten bei gleichem Zielerreichungsgrad. Es entstehen dann vermeidbare gesellschaftliche Mehrkosten ohne jeden umweltpolitischen Mehrwert. Im hier relevanten Fall eines globalen Umweltproblems wie dem Klimawandel kommt hinzu, dass es für das Erreichen des 1,5 Grad-Ziels unerheblich ist, an welcher Emissionsquelle im In- oder Ausland bzw. in welchem Wirtschaftszweig die Reduktion erfolgen soll. Umweltökonomisch entscheidend ist, dass diese zu den jeweils niedrigsten Grenzvermeidungskosten realisiert wird. Diese grundlegende ökonomische Erkenntnis fand im Übrigen bereits im Kyoto-Protokoll in Gestalt des Clean Development Mechanism (CDM, deutsch: Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung) sowie der Joint Implementation (JI, deutsch: Gemeinschaftsreduktion) ihren klimapolitischen Niederschlag; gleiches gilt prinzipiell auch für den dritten im Kyoto-Protokoll vereinbarte sogenannte Flexibilitätsmechanismus, nämlich Emissionsrechtehandelssysteme, wie sie in weiten Teilen Europas, insbesondere in Gestalt des EU-EHS und auf nationaler Ebene wie in Großbritannien²⁴, bereits implementiert wurden und in die im Zeitablauf immer mehr Sektoren einbezogen wurden. Der Verkehrssektor wird bisher allerdings nur partiell erfasst, was aus umweltökonomischer Perspektive einen gravierenden Fall von Politikversagen darstellt. Vor kurzem beschlossen wurde allerdings die Einführung eines ETS II für Gebäude und den Straßenverkehrssektor ab 2027, das aber offensichtlich nicht als Leitinstrument der Klimapolitik konzipiert ist.

Zu beachten ist des Weiteren auch die ökonomische Effizienz beim Einsatz umweltpolitischer Instrumente im Sinne einer gesamtwirtschaftlich optimalen Balance von emissionsbedingten Schadenskosten einerseits und den gesellschaftlich für die angestrebte Emissionsreduktion aufzuwendenden Vermeidungskosten andererseits. Vor dem Hintergrund dieses Bewertungskriteriums ist zunächst die Aussage des UBA, die Einführung eines Tempolimits könne „kostenlos“ erfolgen, ökonomisch unhaltbar, wie bereits gezeigt wurde. Selbst was die reinen administrativen Kosten angeht, abstrahiert diese Aussage unzulässigerweise nicht nur von den ohnehin unvermeidbaren Einführungskosten. Die Behörde ignoriert auch die Nettodurchsetzungskosten eines Tempolimits. Unabdingbar wäre folglich eine volkswirtschaftliche Kosten-Nutzenanalyse des vorgeschlagenen Tempolimits wie sie etwa in der Bundesverkehrswegeplanung vorgeschrieben ist. Mit dieser Methode ließen sich

²⁴ Dort wurde 2021 im Zuge des Brexit das UK Emissions Trading Scheme (UK ETS) eingeführt.

sämtliche aus einem Tempolimit resultierenden realen, pekuniären, direkten, indirekten sowie tangiblen und intangiblen Kosten und Nutzen systematisch erfassen und (näherungsweise) monetär bewerten.²⁵

Besondere Relevanz bei der Bewertung eines umweltpolitischen Instruments kommt auch den damit einhergehenden dynamischen Anreizwirkungen für die Suche nach und den Einsatz technologischer Innovationen zur weiteren Emissionsreduktion zu. Im Fall eines Tempolimits stellen die CO₂-Emissionen für deren Emittenten bis zum Erreichen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit keine zusätzliche Kostenbelastung dar. Dies stellt einen wesentlichen Nachteil von Emissionsgrenzwerten gegenüber einer CO₂-Besteuerung und dem Emissionsrechtehandel dar und verringert die ökonomischen Anreize zur Entwicklung und Markteinführung darüber hinaus gehender emissionsmindernder Technologien ganz wesentlich. Um geeignete Innovationsanreize zu schaffen, ist außerdem durch geeignete Rahmensetzung der Umweltpolitik dem Prinzip der Technologieoffenheit umfassend Geltung zu verschaffen. Nur so lässt sich der mit dem heutigen Wissensstand nicht zu bannenden Gefahr umweltpolitisch ineffektiver und ökonomisch ineffizienter technologischer „Sackgassen“ (infolge von Lock-in-Effekten bzw. Pfadabhängigkeiten) tendenziell entgegenwirken.

Ein weiteres, wichtiges Kriterium ist die Flexibilität, mit der sich ein einmal eingeführtes umweltpolitisches Instrument an Datenänderungen oder neuen politischen Prioritäten anpassen lässt. Diese hängt wiederum stark von den politischen Einigungskosten und – in demokratisch verfassten Gemeinwesen – von der Akzeptanz der Betroffenen ab, die wiederum maßgeblich von der (erwarteten oder tatsächlichen) Belastungswirkung der Maßnahme, also von Verteilungseffekten, bestimmt wird. Von Bedeutung – gerade im Zusammenhang mit der hierzulande seit Jahrzehnten hoch emotional diskutierten Frage der Einführung eines Tempolimits – kann aber auch die von den Betroffenen als zu weitreichend empfundene Beschränkung ihrer individuellen Handlungs- und Entscheidungsfreiheit sein. Wie aber auch die bisherige Geschichte der internationalen Klimapolitik zeigt, sind aufgrund der wesentlich heterogenen Interessenlage z.B. zwischen wirtschaftlich unterschiedlich entwickelten Ländern und dem bislang fehlenden Konsens bzgl. der Aufteilung der Kosten von Klimaschutzmaßnahmen die Einigungskosten auf internationaler Ebene regelmäßig deutlich höher als auf nationaler Ebene. Aus diesem Sachverhalt lässt sich ökonomisch freilich keineswegs zwangsläufig ein Primat nationaler klimapolitischer Maßnahmen ableiten. Aufgrund des global sehr geringen Anteils deutscher Quellen am globalen Treibhausgasemissionsgeschehen muss deren Klimaschutz-Effektivität leider als nur marginal angesehen werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass eine internationale Lösung des Klimaproblems, die alle quantitativ bedeutsamen Emittenten einschließt, die umweltökonomische First-best-Lösung darstellt und grundsätzlich mit allem politischen Nachdruck angestrebt werden sollte. Bei Ausbleiben einer solchen Lösung sind Treibhausgasemissionen des

²⁵ Vgl. zu einem solchen Petitem Bauernschuster/Traxler (2021).

Straßenverkehrs wie alle anderen relevanten Emissionen auf europäischer Ebene im besten Fall über den Emissionshandel als Leitinstrument und nicht über dirigistische Eingriffe wie Flottengrenzwerte oder ein Verbrennerverbot bei Neuwagen zu internalisieren (Eisenkopf/Knorr 2021). Genauso fragwürdig wie das vor kurzem auf EU-Ebene beschlossene Verbrennerverbot ab 2035 ist aber aus umwelt- und klimaökonomischer Sicht die Rolle eines Tempolimits auf Bundesautobahnen anzusehen.

Klimaschutzmaßnahmen auf nationaler Ebene sollten zum einen generell passfähig im Hinblick auf die bereits im Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (Kyoto-Protokoll) im Dezember 1997 beschlossenen Flexibilitätsmechanismen ausgestaltet sein. Zum anderen sollten sie nachweislich einen hohen Kosten-Effektivitätsgrad aufweisen (wobei die Grenzvermeidungskosten höchstens auf dem Niveau des Zertifikatspreises im Europäischen Emissionshandelssystem liegen sollten). Von zentraler Bedeutung für eine effektive und effiziente Klimapolitik ist schließlich das Prinzip der Technologieoffenheit. Aus dieser Perspektive ist insbesondere die Rolle synthetischer Kraftstoffe für den Verkehr anzusprechen. Im Ökosystem eines Emissionshandels, der allein über die schrittweise Verknappung der Zertifikatsmenge und die daraus resultierenden Preissignale für Emissionsrechte wirkt, bilden die Akteure am Markt Erwartungen hinsichtlich der zukünftigen Preisstrukturen und folgen auf dieser Grundlage den am vorteilhaftesten erscheinenden Technologiepfaden. Treibhausgase werden dort eingespart, wo es am günstigsten möglich ist (Eisenkopf/Knorr 2021). So erhalten synthetische Kraftstoffe aus internationalen und heimischen Quellen auch ohne staatliche Vorgaben und Quoten eine Chance.

5 Zusammenfassende Bewertung und Fazit

Mit der Studie „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ (UBA 2023) hat das Umweltbundesamt im Januar 2023 den Ergebnisbericht zu einem Forschungsprojekt vorgestellt, der in der medialen Öffentlichkeit trotz seines breitem Erkenntnisgegenstandes ausschließlich als Rechtfertigung für ein Tempolimit wahrgenommen wurde. Das Umweltbundesamt hat dies anscheinend bewusst so gesteuert und benutzte erwartungsgemäß die in der Tat hohen errechneten Einsparungen von Treibhausgasen durch ein Tempolimit, um dessen schnellstmögliche Einführung zu fordern und überdies zu behaupten, dass ein solches Tempolimit kostenlos zu haben sei.

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass beides einer tragfähigen Grundlage entbehrt. So wurde in dieser Kurzstudie anhand einer ökonomisch belastbaren und auf realistischen Parametern beruhenden Grobabschätzung dargelegt, dass die Erwartungen an eine Emissionsreduzierung infolge der Absenkung der Geschwindigkeiten auf Autobahnen durch ein Tempolimit von 120 km/h um den Faktor 3,5 überhöht sind. Statt 4,2 Millionen Tonnen CO₂-Minderung sind realistischerweise lediglich maximal 1,1 Millionen Tonnen zu erwarten. Da die sogenannten Routenwahl- und Nachfrageeffekte, die laut Berechnungen der Gutachter zusammen einen zusätzlichen Minderungsbeitrag von 2,2 Millionen Tonnen

CO₂ erbringen sollen, bei kritischer Analyse nicht ausreichend plausibilisierbar sind, lässt sich trotz großen verkehrsplanerischen Modellierungsaufwands nicht überzeugend begründen, dass es aus Klimaschutzgründen ein Tempolimit auf deutschen Autobahnen geben sollte. Zwar mag es grundsätzlich durchaus gute andere Argumente für die Einführung eines solchen Tempolimits geben, doch sollte dieser Vorschlag vor seiner Umsetzung einer umfassenden Kosten-Nutzen-Analyse unterzogen werden.

Bereits aus quantitativer Sicht ist ein generelles Tempolimit auf deutschen Autobahnen, wie gezeigt wurde, völlig ungeeignet, etwas zur Lösung des Klimaproblems beizutragen. Ein solches Tempolimit stellt vielmehr reine Symbolpolitik dar und seine Auswirkungen auf die gesamtwirtschaftliche Bilanz der CO₂-Emissionen dürfte bereits auf der Ebene Deutschlands im Bereich der statistischen Unschärfe liegen.

Auch aus grundsätzlichen umweltökonomischen Erwägungen ist ein Tempolimit als Instrument der Klimapolitik abzulehnen, will man nicht gegen einschlägige Effektivitäts- und Effizienzkriterien verstoßen. In einem System des Emissionshandels hat ein Tempolimit als ordnungsrechtliche Maßnahme auf jeden Fall keinen Platz. Bei Wirksamkeit des Emissionshandels wären kleinteilige, dirigistische Eingriffe wie ein Tempolimit letztlich völlig irrelevant; sie wären ggfs. sogar kontraproduktiv, da sie die Nachfrage nach Zertifikaten reduzieren und damit dämpfend auf den Zertifikatspreis wirken.

Dem Denkschema, welches dem Tempolimit zugrunde liegt, folgend, könnten in analoger Weise Forderungen nach einer verbindlichen Grenze für das Gewicht der Kraftfahrzeuge zum Zwecke des Klimaschutzes erhoben werden. Alternative wäre angesichts des energieintensiven Hochgeschwindigkeitsverkehrs der Deutschen Bahn ein Tempolimit für den ICE vorstellbar, von einer Drosselung der Internet-Geschwindigkeit zu Energiesparzwecken gar nicht zu reden. Diese Beispiele machen deutlich, dass ein konsequentes Weiterdenken der Gebots- und Verbotslogik hinter dem Tempolimit in die Irre führt.

Die Diskussion um das Tempolimit zeigt aber auch, wie durch die Absolutierung des Zieles Klimaschutz, die eine Abwägung mit anderen wirtschaftlichen wie gesellschaftlich relevanten Zielen und Kriterien ablehnt, wirtschaftspolitische Fehlentscheidungen der Boden bereitet wird. So wären mit einem Tempolimit von 120 km/h auf Autobahnen angesichts der von den Gutachtern genannten Ergebnisse Vermeidungskosten für die errechneten Emissionsminderungen in Höhe von rund 390 Euro je Tonne CO₂ verbunden. Für die Gesellschaft noch teurer käme ein kombiniertes Tempolimit 120 km/h auf Autobahnen und 80 km/h auf Bundesstraßen. In diesem Falle lägen die Vermeidungskosten bei rund 1900 Euro je Tonne CO₂, während der durchschnittliche Börsenpreis von 80 Euro für ein Zertifikat im Jahre 2022 ausmachte. Dieser Marktpreis für eine Tonne CO₂ zeigt, dass schon für einen Bruchteil der Vermeidungskosten des Tempolimits Alternativen zur Minderung der Treibhausgasemissionen verfügbar sind. Außerdem ist bei der Einführung eines Tempolimits mit politischem Widerstand gegen eine solche als unsinnig empfundene Regulierung zu rechnen, die dann auch die Akzeptanz sinnvoller klimapolitischer Maßnahmen aushöhlt.

Die politische Diskussion über die Ergebnisse der UBA-Studie zeigt letztlich sehr eindrucksvoll, wie der Einstieg in ein Tempolimit eine kontraproduktive Interventionsspirale anstößt. So fordern die Gutachter selbst die gleichzeitige Einführung eines Tempolimits von 80 km/h auf Bundesstraßen, um die Abwanderung von Verkehren auf das nachgeordnete Netz zu verhindern, die es so wahrscheinlich überhaupt nicht geben wird – mit nachteiligen Wohlfahrtswirkungen, die dem Gedanken einer produktivitätsorientierten Wirtschaftsentwicklung in Deutschland entgegenstehen. Und Interessengruppen wie die Deutsche Umwelthilfe erheben sofort die dringliche Forderung, direkt Tempo 100 und nicht 120 auf Autobahnen einzuführen. Eine Abwägung, wie sie z.B. der klassische Nachhaltigkeitsbegriff mit der Ausartierung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte versucht, hat dann keinen Platz mehr, und massive Kollateralschäden solcher Vorschläge werden im Bewusstsein, etwas für das Klima zu tun, ausgeblendet oder bewusst verschwiegen.

Umgekehrt ist festzustellen, dass die Preissignale, die von höheren Energiepreisen ausgehen, Auswirkungen auf das Fahrverhalten haben, wie die Untersuchung von (Puls/Wendt 2022) zeigt. Preissignale, wie sie auch von marktbasierter Lösungen wie dem Emissionshandel ausgehen, regen bekanntlich die Kreativität und Innovationstätigkeit der Akteure an und führen zu besseren Lösungen als ordnungsrechtliche Ge- und Verbote. Kreative Lösungen wie Home office können z.B. spürbare Emissionsreduktionen durch einen Rückgang des Pendlerverkehrs befördern. In einer aktuellen Untersuchung bei Pendlern über Gemeindegrenzen hinweg, die besonders Home office-affin sind, wird z.B. ein Rückgang des Treibstoffverbrauchs dieser Gruppe um mindestens ein Zehntel abgeschätzt. Dies entspricht laut Jost/Seibert (2022), mindestens rd. 1,35 Milliarden Litern Treibstoff. Bei einer mittleren Emissionsintensität von 2,485 kg/l würde dies 3,35 Millionen Tonnen vermiedenes CO₂ ausmachen – rund das Dreifache der von uns als realistisch erachteten Einsparungen durch ein Tempolimit von 120 km/h auf Autobahnen.

6 Materialien

Axhausen, K.W./Ehreke, I./Glemser, A./Hess, S./Jödden, C./Nagel, K./Sauer, A./Weis, C. (2015): Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011.

Baker, M. (2016): 1,500 scientists lift the lid on reproducibility, in: Nature 533, S. 452-454: <https://doi.org/10.1038/533452a>.

Bauernschuster, S./Traxler, C. (2021): Tempolimit 130 auf Autobahnen: Eine evidenzbasierte Diskussion der Auswirkungen, in: Perspektiven der Wirtschaftspolitik, Vol. 22, No. 2, 2021, S. 86-102. <https://doi.org/10.1515/pwp-2021-0023>.

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) (Hrsg.) (2021): Entwicklung eines aktuellen, echtzeit-verfügbaren Key Performance Indicator (KPI) Systems für das deutsche Autobahnnetz, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Verkehrstechnik, Heft V 342, Bergisch Gladbach.

https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/2508/file/V342_barrfreiPDF.pdf.

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) (2023): Verkehrs- und Unfalldaten. Kurzzusammenstellung der Entwicklung in Deutschland, Bergisch Gladbach.

https://www.bast.de/DE/Publikationen/Medien/VU-Daten/VU-Daten.pdf;jsessionid=141929819C6517B1B5C9669795C988A7.live11314?_blob=publicationFile&v=11.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2016): Bundesverkehrswegeplan 2030, Berlin.

https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/bundesverkehrswegeplan-2030-gesamtplan.pdf?_blob=publicationFile.

Eisenkopf, A./Hahn, C./Schnöbel, C. (2008): Intermodale Wettbewerbsbeziehungen im Verkehr und Wettbewerbsverzerrungen, in Eisenkopf, A./Knorr, A. (Hrsg.): Neue Entwicklungen in der Eisenbahnpolitik, Berlin, S. 9-138.

Eisenkopf, A./Knorr, A. (2021): Emissionshandel als Leitinstrument für eine effektive und effiziente EU-Klimapolitik im Verkehr, in: Wirtschaftsdienst, 101. Jg., S. 795-803.

<https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2021/heft/10/beitrag/emissionshandel-als-leit-instrument-fuer-eine-effektive-und-effiziente-eu-klimapolitik-im-verkehr.html>.

Fehr, G./Geisseler, L./Jäger, M. (2018): Der Mensch im Verkehr. Ein homo oeconomicus? Eine verhaltensökonomische Studie zu den Treibern des Mobilitätsverhaltens im Besonderen beim Einkaufsverkehr, Zürich.

Field, B.C./Field, M.K. (2017): Environmental Economics, 7th edition, New York: McGraw Hill.

Friedrich, M. (2011): Wie viele? Wohin? Womit? Was können uns Verkehrsnachfragemodelle wirklich sagen?, Tagungsbericht Heureka 11, FGSV Verlag, Köln.

Friedrich, M./Schmaus, M. (2023): Umweltwirkung eines Tempolimits auf Autobahnen und Außerortsstraßen. Erläuterungen zum Forschungsvorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“. Bericht, Stuttgart.

https://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publikationen/downloads/ISV_2023_UBA-FV_Erlaeuterungen_Tempolimit_20230215.pdf.

Haab, T.C./Whitehead, J.C. (eds.) (2014): Environmental and National Resource Economics. An Encyclopedia, Santa Barbara et al.: Greenwood.

Handelsblatt (2023): Umweltschutz. Emissionshandel bringt 13,2 Milliarden Euro für Klimafonds, 03.02.2023.

<https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/umweltschutz-emissionshandel-bringt-13-2-milliarden-euro-fuer-klimafonds/28901138.html>.

Hensher, David A. (1997), Establishing a Fare Elasticity Regime for Urban Passenger Transport: Non-Concession Commuters, Working Paper, ITS-WP-97-6, Institute of Transport Studies, University of Sydney, Sydney.

IVT/ProgTrans/Steinbeis Transferzentrum (2004): Analyse von Änderungen des Mobilitätsverhaltens – insbesondere der Pkw-Fahrleistung als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. Schlussbericht zum Forschungsprojekt Nr. 09.0756/2002/, Heilbronn.

Jost, O./Seibert, H. (2022): Homeoffice spart ein Zehntel Treibstoff ein, in: Wirtschaftsdienst, 102. Jg., Heft 7, S. 540-544.

<https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2022/heft/7/beitrag/homeoffice-spart-ein-zehntel-treibstoff-ein-7120.html>.

Krafftahrtbundesamt (2022): Verkehr in Kilometern - Inländerfahrleistung (VK). Entwicklung der Fahrleistungen nach Fahrzeugarten.

https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/vk_inlaenderfahrleistung/2021/verkehr_in_kilometern_kurzbericht_pdf.pdf?_blob=publicationFile&v=2.

Litman, T. (2022): Understanding Transport Demand and Elasticities. How Prices and Other Factors Affect Travel Behavior, Victoria.
<https://www.vtpi.org/elasticities.pdf>.

Löhe, U. (2016): Geschwindigkeiten auf Bundesautobahnen in den Jahren 2010 bis 2014. BAST – Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), Bergisch-Gladbach.
https://www.bast.de/DE/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/Verkehrstechnik/Downloads/Geschwindigkeiten-BAB-2010-2014.pdf?_blob=publicationFile&v=4.

Nobis, C./Kuhnimhof, T. (2019): Mobilität in Deutschland– MiD: Ergebnisbericht.
https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf.

PTV Planung Transport Verkehr AG/PTV Transport Consult GmbH/TCI Röhling – Transport Consulting International / Mann, Hans Ulrich (2016): Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030. FE-Projekt-Nr.: 97.358/2015, Karlsruhe, Berlin, Waldkirch, München, 08.03.2016.

Puls, T./Wendt, J. (2022): Hohe Spritpreise: Autofahrer gehen vom Gas. Eine Betrachtung des Autobahnverkehrs mit Pkw der Jahre 2021 und 2022 in Nordrhein-Westfalen, Institut der deutschen Wirtschaft, 18.10.2022.

Schmidt, U. (2020): Generelles Tempolimit auf Autobahnen: Hohe volkswirtschaftliche Kosten sind zu berücksichtigen, Kiel Policy Brief Nr. 145, September.
https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/-ifw/Kiel_Policy_Brief/2020/KPB_145.pdf.

Schneider, H. (2013): Preisbeurteilung als Determinante der Verkehrsmittelwahl. Ein Beitrag zum Preismanagement im Verkehrsdienstleistungsbereich, Wiesbaden.

Statista (2022): Verteilung der Autobahnkilometer mit und ohne Geschwindigkeitsbegrenzung in Deutschland (Stand: Januar 2019).
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1094521/umfrage/verteilung-der-autobahnabschnitte-mit-und-ohne-tempolimit-in-deutschland/>.

Statista (2023): Durchschnittlicher Preis für Superbenzin in Deutschland in den Jahren 1972 bis 2022 (Stand 31.01.2023).
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/776/umfrage/durchschnittspreis-fuer-superbenzin-seit-dem-jahr-1972/>.

Statistisches Bundesamt – Destatis (2023): Verkehrsunfälle. Kraftrad- und Fahrradunfälle im Straßenverkehr 2021, Wiesbaden.
https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-zweirad-5462408217004.pdf?_blob=publicationFile.

Tagesschau (2023): Tempolimit auf Autobahnen. CO₂-Einsparung offenbar höher als gedacht. Stand: 23.01.2023 13:49 Uhr.
<https://www.tagesschau.de/wissen/klima/tempolimit-autobahnen-studie-101.html>.

Tietenberg, T./Lewis, L. (2015): Environmental & Natural Resource Economics, 10th edition, Boston et al.: Pearson.

Vetter, P./Fuest, B. (2023): Umweltbundesamt: was an der Studie zum Tempolimit zweifeln lässt, in: DIE WELT (Onlineausgabe) vom 05.02.2023.
<https://www.welt.de/wirtschaft/plus243593327/Tempolimit-Studie-des-Umweltbundesamtes-mit-mangelhaften-Daten.html>.

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2020): Klimaschutz durch Tempolimit. Wirkung eines generellen Tempolimits auf Bundesautobahnen auf die Treibhausgasemissionen, Dessau-Roßlau,

Februar 2020.

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

Umweltbundesamt (Hrsg.) (UBA) (2023): Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung. Abschlussbericht, Dessau-Roßlau, Januar 2023.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_14-2023_fluessiger_verkehr_fuer_klimaschutz_und_luftreinhaltung.pdf.

Weimann, J. (2021): CO₂-Preise und Kosten der CO₂-Vermeidung bei Anwendung ordnungsrechtlicher Maßnahmen im Vergleich zur Erweiterung des EU-ETS, Kurzgutachten im Auftrag der Freien Demokratischen Partei, Magdeburg.

<https://nurmalkurz.org/blog/106-co2-preise-und-kosten-der-co2-vermeidung-bei-anwendung-ordnungsrechtlicher-massnahmen-im-vergleich-zur-erweiterung-des-euets>.

Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestags (2022): Generelle Tempolimits: Anzahl der Unfälle, volkswirtschaftliche Kosten. Sachstand, WD 5 - 3000 - 108/22, 29.09.2022.

<https://www.bundestag.de/resource/blob/918588/2a7103dd1019dcc590120458f95bdc40/WD-5-108-22-pdf-data.pdf>.

Alle Internetquellen wurden zuletzt am 20.02.2023 aufgerufen.