

TEXTE

218/2020

Prüfung des Vorschlags der Europäischen Kommission für die post-2020-Gesetzgebung zur CO₂-Minderung bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen

Abschlussbericht

TEXTE 218/2020

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3716 58 107 0

FB000312

Prüfung des Vorschlags der Europäischen Kommission für die post-2020-Gesetzgebung zur CO₂-Minderung bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen

Abschlussbericht

von

Peter Kasten, Ruth Blanck, Sven Kühnel, Lukas Minnich,
Moritz Mottschall
Öko-Institut e.V., Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

■ [/umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

📄 [/umweltbundesamt](http://www.umweltbundesamt.de)

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V.
Schicklerstr. 5-7
10179 Berlin

Abschlussdatum:

November 2019

Redaktion:

Fachgebiet I 2.2 Schadstoffminderung und Energieeinsparung im Verkehr
Helge Jahn

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, November 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Prüfung des Vorschlags der Europäischen Kommission für die post-2020-Gesetzgebung zur CO₂-Minderung bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen

Mit den Verordnungen (EU) 2019/631 und (EU) 2019/1242 werden die CO₂-Emissionsstandards für Pkw, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge für den Zeitraum nach 2020 fortgesetzt beziehungsweise erstmalig eingeführt. Dieses Vorhaben diente dazu, Analysen und Bewertungen verschiedener Regulierungsvorschläge und Positionen mit Bezug zu den CO₂-Emissionsstandards durchzuführen und auch eigene Vorschläge zu Ausgestaltungsoptionen dem BMU vorzuschlagen. Die Arbeiten orientierten sich dabei an den jeweils aktuellen Diskussionen rund um die beiden Regulierungen.

Zusammen tragen beide Regulierungen zu einer CO₂-Minderung von rund 10 bis 12 Mio. t CO₂ im Verkehrssektor in Deutschland im Jahr 2030 bei. Höhere CO₂-Minderungsanforderungen für die Fahrzeughersteller wären aus technischer Sicht machbar und aus Kostensicht sinnvoll. Höhere THG-Minderungsbeiträge im Verkehrssektor durch die CO₂-Emissionsstandards wären also möglich. Mit der CO₂-Minderung sind unter anderem auch Kostenvorteile für die Gesellschaft und für die Nutzer der Fahrzeuge zu erwarten. Bei höheren CO₂-Minderungen würden diese mit hoher Wahrscheinlichkeit noch höher ausfallen.

Abstract: Evaluation of the European Commission's proposal for post-2020 legislation to reduce CO₂ emissions from passenger cars and light commercial vehicles

Regulations (EU) 2019/631 and (EU) 2019/1242 continue or introduce for the first time the CO₂ emission standards for passenger cars, light commercial vehicles and heavy duty vehicles for the period after 2020. This project served to carry out analyses and evaluations of various regulatory proposals and positions relating to CO₂ emission standards and also to propose own proposals for the BMU for design options. The work was always based on the current discussions on the two regulations.

Together, the two regulations contribute to a CO₂ reduction of around 10 to 12 million t of CO₂ in the transport sector in Germany in 2030. Higher CO₂ reduction requirements for vehicle manufacturers would be feasible from a technical point of view and sensible from a cost point of view. Higher GHG reduction contributions in the transport sector through CO₂ emission standards would thus be possible. The CO₂ reduction is also expected to bring cost benefits for society and vehicle users. If CO₂ reductions were higher, they would probably be even higher.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildungsverzeichnis..... | 8 |
| Tabellenverzeichnis..... | 9 |
| Abkürzungsverzeichnis..... | 10 |
| Zusammenfassung..... | 11 |
| Summary..... | 15 |
| 1 Hintergrund..... | 19 |
| 1.1 Vorgehen und Rolle dieses Vorhabens..... | 20 |
| 2 Eingesetzte Methoden und Modelle..... | 22 |
| 2.1 Das Modell TEMPS..... | 22 |
| 2.1.1 Modellbeschreibung..... | 22 |
| 2.1.2 Wesentliche Annahmen und Parameter..... | 23 |
| 2.2 Simulationstool zur kostenoptimalen Zielerfüllung..... | 24 |
| 2.2.1 Datengrundlage und -aufbereitung..... | 24 |
| 2.2.2 Berechnungsprinzip des Simulationstools..... | 25 |
| 3 Analysen zu den CO ₂ -Emissionsstandards für Pkw und LNF..... | 27 |
| 3.1 Kostenkurven für CO ₂ -Minderungstechnologien in Pkw..... | 28 |
| 3.2 Möglicher Umgang mit Nachfrage- und Kostenunsicherheiten..... | 30 |
| 3.2.1 Einordnung der bestehenden CO ₂ -Regulierung..... | 31 |
| 3.2.2 Zwischenziele und Zwischenevaluation als bestehendes Element der Regulierung..... | 31 |
| 3.2.3 Die Pönale zur Begrenzung der Technologiekosten..... | 32 |
| 3.2.4 Die Zulassungsquote für elektrische Fahrzeuge zur Erhöhung der Planungssicherheit..... | 33 |
| 3.2.5 Konditionierung der CO ₂ -Emissionszielwerte anhand der Entwicklung Rahmenbedingungen für elektrische Fahrzeuge (Vorschlag des VDA)..... | 34 |
| 3.3 Umgang mit der Umstellung der Emissionsbestimmung bei der Fahrzeugzulassung auf den WLTP..... | 34 |
| 3.3.1 Unsicherheit für die Effektivität der CO ₂ -Emissionsstandards durch die Umstellung auf den WLTP..... | 36 |
| 3.4 Die Wirkung des Anreizmechanismus für niedrig und Nullemissionsfahrzeuge (gemäß Vorschlag der EU-Kommission)..... | 38 |
| 3.4.1 ZLEV-Anreizsetzung im Vorschlag der Kommission..... | 38 |
| 3.4.2 Wirkungsbewertung des ZLEV-Mechanismus..... | 40 |
| 3.5 Wirkung des Ambitionsniveaus auf Kosten und THG-Minderung..... | 44 |
| 3.5.1 Wirkung auf die gesellschaftlichen und die Nutzerkosten..... | 45 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.5.2 | Wirkung auf die THG-Emissionen des Verkehrs in Deutschland | 47 |
| 4 | Analysen zu den CO ₂ -Emissionsstandards für SNF | 50 |
| 4.1 | Die grundlegende Ausgestaltung der Emissionsstandards | 50 |
| 4.2 | Wirkung des Ambitionsniveaus auf Kosten und THG-Minderung | 51 |
| 4.2.1 | Wirkung auf die gesellschaftlichen und die Nutzerkosten | 52 |
| 4.2.2 | Wirkung auf die THG-Emissionen des Verkehrs in Deutschland | 53 |
| 5 | Einordnung der Wirkungen der CO ₂ -Emissionsstandards für Pkw, LNF und SNF | 55 |
| 6 | Quellenverzeichnis | 56 |
| A | Annahmen zu Kosten- und CO ₂ -Minderung in Lkw | 59 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1: | Vergleich von Technologiekostenannahmen für die CO ₂ -Minderung in Pkw | 29 |
| Abbildung 2: | Schematischer, zeitlicher Überblick für die Umstellung der CO ₂ -Emissionsstandards für Pkw auf den WLTP..... | 36 |
| Abbildung 3: | Verhältnis zwischen WLTP- und NEFZ-Emissionen für die Neufahrzeuge des Jahres 2015 in Abhängigkeit der Höhe der NEFZ-Emissionen..... | 37 |
| Abbildung 4: | Schematische Darstellung der Gewichtung von ZLEV-Fahrzeugen in der Berechnung der ZLEV-Neuzulassungsanteile (links) und der Berechnung des Bonus bei Überschreitung der notwendigen ZLEV-Benchmarks (rechts); Vorschlag der EU-Kommission | 39 |
| Abbildung 5: | Schematische Darstellung der Gewichtung von ZLEV-Fahrzeugen in der Berechnung der ZLEV-Neuzulassungsanteile (links) und der Berechnung des Bonus bei Überschreitung der notwendigen ZLEV-Benchmarks (rechts); Regulierung 2019/631 | 40 |
| Abbildung 6: | Notwendiges CO ₂ -Emissionsniveau für Nicht-ZLEV in Abhängigkeit des ZLEV-Anteils (keine Gewichtung nach Kommissionsvorschlag) bei CO ₂ -Minderungsniveau von 15 % ggü. 2021 (Kommissionsvorschlag für das Jahr 2025) | 41 |
| Abbildung 7: | Notwendiges CO ₂ -Emissionsniveau für Nicht-ZLEV in Abhängigkeit des ZLEV-Anteils (keine Gewichtung nach Kommissionsvorschlag) bei CO ₂ -Minderungsniveau von 30 % ggü. 2021 (Kommissionsvorschlag für das Jahr 2030) | 42 |
| Abbildung 8: | Notwendiges CO ₂ -Emissionsniveau für Nicht-ZLEV in Abhängigkeit des ZLEV-Anteils (keine Gewichtung nach Kommissionsvorschlag) bei verschiedenen CO ₂ -Minderungsniveau..... | 43 |
| Abbildung 9: | Gesellschaftliche Folgekosten / Kostenvorteile verschiedener CO ₂ -Minderungspfade bei verschiedener Struktur der Antriebstechnologien bei neuzugelassenen Pkw..... | 46 |
| Abbildung 10: | Veränderung der Nutzerkosten (TCO) für Neufahrzeuge für verschiedene CO ₂ -Minderungspfade bei verschiedener Struktur der Antriebstechnologien | 47 |
| Abbildung 11: | CO ₂ -Minderungswirkung der CO ₂ -Emissionsstandards für Pkw im Jahr 2030 bei verschiedenen Ambitionsniveaus..... | 48 |
| Abbildung 12: | Vermiedene gesellschaftliche Kosten (gesellschaftlicher Nutzen) bei verschiedenen Ambitionsniveaus der CO ₂ -Emissionsstandards für SNF..... | 52 |
| Abbildung 13: | Kosteneinsparungen (TCO) für Erstnutzer bei verschiedenen Ambitionsniveaus der CO ₂ -Emissionsstandards für SNF | 53 |
| Abbildung 14: | CO ₂ -Minderungswirkung der CO ₂ -Emissionsstandards für SNF im Jahr 2030 bei verschiedenen Ambitionsniveaus..... | 54 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------|--|----|
| Tabelle 1: | Gesellschaftliche Folgekosten/Kostenvorteile durch dieCO ₂ -Emissionsstandards für Pkw bei unterschiedlichen CO ₂ -Minderungspfaden..... | 45 |
| Tabelle 2: | Potenzial zur Kraftstoffverbrauchsminderung einzelner Technologien für Lkw (Gruppe 5) | 59 |
| Tabelle 3: | Kostenannahmen für einzelne CO ₂ -Minderungstechnologien für Lkw für das Jahr 2025..... | 61 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------------|--|
| BMVI | Bundesministeriums für Verkehr und Infrastruktur |
| BEV | Battery electric vehicle (rein batterieelektrisches Fahrzeug) |
| EC | European Commission |
| EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz |
| ETS | Emissions Trading System (Emissionshandelssystem) |
| EPA | Environmental Protection Agency |
| FCEV | Fuel cell electric vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug) |
| ggü. | gegenüber |
| ICCT | International Council on Clean Transportation |
| ICEV | Internal Combustion Engine Vehicles (verbrennungsmotorisches Fahrzeug) |
| JRC | Joint Research Centre |
| KiD | Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland |
| LNF | Leichtes Nutzfahrzeug |
| MiD | Mobilität in Deutschland |
| MMS | Mit-Maßnahmen-Szenario |
| NEDC | New European Driving Cycle |
| NEFZ | Neuer Europäischer Fahrzyklus |
| SNF | schwere Nutzfahrzeuge |
| TCO | Total cost of ownership |
| TEMPS | Transport Emissions and Policy Scenarios |
| PHEV | Plug-in hybrid electric vehicle (elektrisches Plug-in Hybridfahrzeug) |
| UBA | Umweltbundesamt |
| VDA | Verband der Automobilindustrie |
| VECTO | Vehicle Energy Consumption Calculation Tool |
| WLTP | Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure |
| ZLEV | zero and low emitting vehicles |

Zusammenfassung

Die europäischen CO₂-Emissionsstandards für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (LNF) sind seit deren erster Verabschiedung in den Jahren 2009 und 2011 eine entscheidende politische Rahmensetzung für die Klimaschutzanstrengungen der Automobilindustrie und im Verkehrssektor. Mit den ersten Zielwerten für Pkw und LNF im Jahr 2015 bzw. 2017 und den ab dem Jahr 2020 abgesenkten Zielwerten ist der Automobilindustrie ein Pfad für die Entwicklung der CO₂-Emissionen in der europäischen Neufahrzeugflotte vorgegeben. Die Fortführung der CO₂-Regulierung bei Neufahrzeugen für den Zeitraum nach 2020 wurde seit dem Jahr 2016 intensiv diskutiert und endete mit der Verordnung (EU) 2019/631 in weiter sinkenden Emissionszielen für neue Pkw und LNF. Zusätzlich wurden im Jahr 2019 mit der Verordnung (EU) 2019/1242 erstmalig in der EU verbindliche CO₂-Minderungen für Neuzulassungen im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) beschlossen.

Die Arbeiten in diesem Vorhaben fanden im Kontext dieser beiden Regulierungen statt. Einerseits wurden im Vorfeld der Regulierungsvorschläge durch die EU-Kommission eher allgemeine, theoretische Analysen im Umgang mit anstehenden Herausforderungen im Umfeld der Regulierungen durchgeführt; andererseits wurden der bestehende Vorschlag der EU-Kommission sowie andere Positionen von Stakeholdern analysiert und bewertet und es wurden eigene Vorschläge für die Ausgestaltung der Regulierungen unterbreitet. Dies hat zur Folge, dass dieser Endbericht – anders als oft üblich – keine zusammenhängende Analyse einer oder verschiedener Fragestellungen darstellt. Vielmehr wurde in dem Vorhaben häufig auf sich aus dem politischen Geschehen heraus ändernden, aktuellen Fragestellungen eingegangen. Die meisten Analysen beziehen sich dabei auf die Vorschläge der EU-Kommission zur Regulierung der CO₂-Emissionen bei neuen Pkw, LNF und SNF. Die finale Ausgestaltung der Regulierungen ist dabei nur am Rande im Detail analysiert.

Bei der Fortführung der Regulierungen für Pkw und LNF führten zwei Aspekte zu besonderen Herausforderungen für die Ausgestaltung der Verordnungen:

- ▶ Niedrige CO₂-Zielwerte führen dazu, dass neue Antriebstechnologien mit Null- oder sehr geringen CO₂-Emissionen, wie die batterieelektrische und Brennstoffzellen-Mobilität, eine relevante Zielerfüllungsoption für die Automobilhersteller werden. Die Umstellung von der bisher vorherrschenden verbrennungsmotorischen Mobilität zu anderen Antriebsoptionen ist mit Unsicherheiten verbunden, die die Ableitung geeigneter Zielwerte und Modalitäten für die Regulierung erschweren.
- ▶ Die Berechnungsgrundlage für die CO₂-Emissionsstandards sind die Emissionswerte bei Typenzulassung, die bisher gemäß des NEFZ¹ bestimmt werden. Die Einführung der CO₂-Emissionsstandards führte zu einer Optimierung der CO₂-Emissionswerte bei der Typenzulassung auf niedrige Emissionen im NEFZ. Eine Folge davon sind die steigende Differenz zwischen Zulassungs- und realen Verbrauchs- und Emissionswerten sowie eine reduzierte Effektivität der Regulierung in Bezug auf die tatsächliche CO₂-Emissionsminderung. Frühzeitig war klar, dass die CO₂-Regulierung für den Zeitraum nach dem Jahr 2020 auf das neue Vorgehen bei der Typenzulassung, die WLTP², umgestellt werden sollte. Die Umstellung auf das neue Testverfahren bei der Typenzulassung erhöhte die

¹ Neuer Europäischer Fahrzyklus

² Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure

Unsicherheiten in Bezug auf real zu erreichende CO₂-Minderung durch die Regulierung zusätzlich.

In Bezug auf den Umgang mit den Unsicherheiten bezüglich der Marktentwicklung für Fahrzeuge mit niedrigen und Nullemissionen (ZLEV)³, die rein batterieelektrische, Plug-In-Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeuge umfassen, wurden theoretische Überlegungen angestellt, wie das Risiko einer ausbleibenden Marktentwicklung dieser Fahrzeuge begrenzt werden kann. Die einfachste, im Aushandlungsprozess für die Regulierung (EU) 2019/631 beschlossene Methode ist die Überprüfung des Marktfortschritts und der sonstigen Entwicklung im Umfeld dieser Fahrzeuge im Rahmen eines Reviewprozesses, bei dem die CO₂-Regulierung entsprechend angepasst werden kann. Dieser Reviewprozess im Jahr 2023 sieht explizit Analysen vor, inwieweit sich die Verfügbarkeit der notwendigen Lade- und Betankungsinfrastruktur, nationale Abgaben- und steuerlichen Rahmenbedingungen sowie die Akzeptanz für diese Fahrzeuge entwickelt haben.

Zudem stellt die Pönale, die bei Überschreitung der CO₂-Zielwerte von den Automobilherstellern zu bezahlen ist, eine Begrenzung des ökonomischen Risikos für die Hersteller dar. Sie ist zudem ein Indikator für die Herausforderung der regulierten Hersteller, die CO₂-Zielwerte einzuhalten. Solange die Pönale – wie bisher - von keinem Marktteilnehmer entrichtet werden muss, liegen die Kosten der Zielerreichung für die Fahrzeughersteller erheblich unter der Höhe der Pönale. Wenn jedoch eine relevante Zahl an Herstellern die Zielwerte nicht einhält und die Pönale zahlen muss, könnte eine Anpassung der Pönale und gegebenenfalls auch der Zielwerte eine mögliche Option sein. Der Vorschlag des VDA, die Zielwerte der Regulierung an die Entwicklung der Rahmenbedingungen für die Nutzung von ZLEV zu koppeln, (VDA 2018) wird dagegen wegen der komplexen Parametrisierung, der unklaren quantitativen Kausalität zwischen den Rahmenbedingungen und der Marktentwicklung sowie der durchaus vorhandenen Einflussmöglichkeiten der regulierten Automobilindustrie auf die Rahmenbedingungen als eher kritisch eingeschätzt.

Für den Übergang der CO₂-Regulierung von NEFZ auf WLTP-Emissionswerte entwickelte die EU-Kommission ein Verfahren, in dem der ab dem Jahr 2020 gültige NEFZ-Zielwert von 95 g CO₂/km (NEFZ) über einen Umrechnungsfaktor in einen ab dem Jahr 2021 genutzten WLTP-Zielwert umgerechnet wird. Seit dem Jahr 2017 werden erste Pkw bei der Zulassung im WLTP getestet, so dass für diese Fahrzeuge CO₂-Emissionswerte im WLTP vorliegen. Ein Simulationstool (CO₂MPAS) rechnet diese Werte bis einschließlich des Jahres 2020 in NEFZ-Emissionswerte um, so dass für neue Fahrzeuge bis zum Jahr 2020 beide Emissionswerte vorliegen. Das Verhältnis zwischen den WLTP- und den NEFZ-Emissionswerten im Jahr 2020 wird dann genutzt, um die ab dem Jahr 2021 gültigen WLTP-Zielwerte zu bestimmen.

Dieser Umrechnung auf den WLTP-Zielwert im Jahr 2021 kommt besondere Bedeutung zu, da sich die Zielwerte für die Jahre 2025 und 2030 im Vorschlag der EU-Kommission und auch in der Regulierung (EU) 2019/631 auf diesen beziehen. Es besteht also ein Anreiz für die Fahrzeughersteller, diesen Zielwert und das Verhältnis zwischen WLTP- und NEFZ-Emissionen im Jahr 2020 möglichst hoch zu gestalten. Eine Optimierung des Produktportfolios auf möglichst hohe WLTP-Werte und möglichst niedrige NEFZ-Emissionswerte ist im Jahr 2020 zu erwarten. Eine entscheidende Optimierungsoption wurde entgegen des Vorschlags der EU-Kommission in der finalen Regulierung ausgeschlossen. Für die Zielwertableitung der Jahre 2025 und 2030 werden, anders als im Regulierungsvorschlag nicht die deklarierten CO₂-Emissionswerte im WLTP genutzt, sondern die auf dem Prüfstand gemessenen. Dies wurde nötig, weil für die deklarierten

³ ZLEV: zero and low emission vehicles; definiert als Pkw und LNF mit weniger als 50 g CO₂/km an Emissionen.

WLTP-Emissionswerte im Zulassungsverfahren keine Begrenzung nach oben vorgesehen ist. So hätten die Hersteller auf einfache Art und Weise das Verhältnis von WLTP zu NEFZ-Emissionswerten für das Jahr 2020 nach oben optimieren können.

Ein wesentliches Element der Regulierung für Pkw und LNF ist ein Anreizsystem für ZLEV-Fahrzeuge. Das für die Regulierung gewählte Benchmarksystem, mit dem der zu erreichende Zielwert für Fahrzeughersteller um bis zu 5 % nach oben angehoben wird, wenn ein definierter ZLEV-Anteil erreicht ist, wurde in der Wirkungsabschätzung der EU-Kommission als das am wenigsten effektive Instrument für eine Anreizsetzung bewertet. Dies folgt daraus, dass der Anreiz erst bei ohnehin hohen ZLEV-Anteilen zu wirken beginnt. Eigene Analysen zeigen zudem, dass sich diese ohnehin wenig effektive Wirkung zumindest im Kommissionsvorschlag durch das niedrige Ambitionsniveau des Vorschlags noch einmal reduziert. Das im Vergleich höhere Ambitionsniveau in der schlussendlich beschlossenen Verordnung (EU) 2019/631 führt gegebenenfalls zu einer leichten Anreizwirkung, eine relevante Wirkung ist aber nicht zu erwarten.

Andere Optionen wie ein um eine Malus-Komponente erweitertes Benchmarksystem oder eine verpflichtende Zulassungsquote von ZLEV könnten je nach Ausgestaltung mit einer erheblichen Anreizwirkung verbunden sein. Schlussendlich wäre aber eine ambitioniertere Zielwertsetzung das einfachste Mittel, einen Anreiz für höhere ZLEV-Anteile an den Neuzulassungen zu schaffen.

In verschiedenen Kostenanalysen für unterschiedliche Zielwerte und unterschiedliche Annahmen zu den Technologiekosten zeigen sich ähnliche Effekte. Selbst bei eher hohen Kostenannahmen für die CO₂-Minderungstechnologien weisen die Kostenrechnungen für die gesellschaftlichen Kosten und für die Nutzerkosten positive Effekte auf. Die vermiedenen Kosten bei der Kraftstoff- und Strombereitstellung und die vermiedenen Kosten durch den geringeren CO₂-Ausstoß überkompensieren die höheren Fahrzeugkosten. Bei unterschiedlichen Annahmen für die Technologiekosten stellt sich jedoch eine leicht unterschiedliche Entwicklung ein. Nutzt man eher hohe Kostenannahmen für die CO₂-Minderungstechnologien in den Fahrzeugen, dann bleiben die Kostenvorteile gegenüber einem Szenario ohne CO₂-Regulierung zwar bestehen, ab einem gewissen Zeitpunkt sinken sie aber wieder. Bei eher niedrigen Kostenannahmen für die CO₂-Minderungstechnologien verbessern sich die Kostenrechnungen durchgehend mit ambitionierteren Minderungsanforderungen. Ein wesentliches Merkmal der Kostenrechnungen ist auch, dass sich bei denselben Minderungsanforderungen größere Kostenvorteile einstellen, wenn die CO₂-Minderung verstärkt über höhere Anteile an elektrischen Fahrzeugen erreicht wird und verbrennungsmotorische Fahrzeuge nicht im Fokus der CO₂-Minderung stehen.

Bei den Analysen zur Reduktion der THG-Emissionen weist der Vorschlag der EU-Kommission, der ab dem Jahr 2025 eine Minderung von 15 % und ab dem Jahr 2030 eine Minderung von 30 % gegenüber den Emissionen des Jahres 2021 vorsieht, eine Minderungswirkung von 3,5 – 4,9 Mio. t CO₂ für das Jahr 2030 auf. Die beschlossene Regulierung setzt für das Jahr 2030 eine höhere Minderung von 37,5 % gegenüber dem Jahr 2021 voraus. Aus diesem Grund erhöht sich die THG-Minderungswirkung im Verkehrssektor in Deutschland auf 4,7 – 6,6 Mio. t CO₂.

Bei den erstmalig in der EU eingeführten CO₂-Emissionsstandards für SNF war die Ausgangslage der Diskussion durch die geringere Datenverfügbarkeit für Analysen und der Herausforderung, überhaupt erst ein Regulierungsdesign zu entwickeln, eine grundsätzlich andere. In diesem Bericht wird auch wegen der im Umfang durch den knappen Zeitraum wesentlich geringeren Analysen nur auf die Kostenanalysen und die THG-Minderungswirkung in Deutschland eingegangen.

Im Vergleich zu den Pkw und den LNF spielen die Energiekosten bei den SNF in jeder Kostenrechnung wegen der höheren Fahrleistung der Fahrzeuge eine wesentlich bedeutendere

Rolle. Unabhängig von den Kostenannahmen für CO₂-Minderungstechnologien weisen alle Kostenrechnungen bei der Einführung der Regulierung erhebliche Kostenvorteile für die Gesellschaft und die Nutzer auf. Strukturell steigen diese Vorteile auch mit steigendem Ambitionsniveau der Emissionsstandards. Für die beschlossene Regulierung (EU) 2019/1242, die eine CO₂-Minderung bei den Neuzulassungen von 15 % bzw. 30 % gegenüber dem Referenzwert des Jahres 2019 vorsieht, wird eine Minderungswirkung von 5,5 Mio. t CO₂ im Jahr 2030 abgeleitet.

Die im Jahr 2019 beschlossenen CO₂-Emissionsstandards für Pkw, LNF und SNF führen in Deutschland also zusammen zu einer CO₂-Emissionsminderung in der Größenordnung von 10 – 12 Mio. t CO₂ im Jahr 2030. Höhere Emissionsminderungsziele und damit eine stärkere Emissionsminderung wären aus technischer Sicht und nach den Kostenanalysen grundsätzlich möglich und sinnvoll gewesen. Einige Stakeholder werteten die Herausforderungen der Transformation hin zu ZLEV (z. B. potenzielle Auswirkungen auf die deutsche Automobilindustrie, potenzielle Wirkungen auf die Anzahl der Arbeitsplätze, Aufbau neuer Logistikketten) jedoch derart stark, dass die vorhandenen Kosteneinsparungs- und THG-Minderungspotenziale der Regulierungen durch die getroffenen Entscheidungen nicht vollständig ausgeschöpft werden. Die Regulierungen können die Emissionsminderungslücke, die für die selbst gesetzten Klimaschutzziele des Klimaschutzplans 2050 und die THG-Budgets im Rahmen der Lastenverteilung der Nicht-Emissionshandelssektoren der EU besteht zwar reduzieren. Es wird jedoch eine erhebliche Minderungslücke bestehen bleiben, die durch weitere ambitionierte nationale Maßnahmen geschlossen werden muss, wenn Ausgleichszahlungen im Rahmen der Lastenverteilung zwischen EU-Mitgliedsstaaten verhindert werden sollen.

Summary

Since their first adoption in 2009 and 2011, the European CO₂ emission standards for passenger cars and light commercial vehicles (LCV) have been a decisive political framework for the climate protection efforts of the automotive industry and the transport sector. With the first target values for passenger cars and LCV in 2015 and 2017, respectively, and the lower target levels from 2020 onwards, the automotive industry is given a path for the development of CO₂ emissions in the European new vehicle fleet. The continuation of CO₂ regulation for new vehicles for the period after 2020 has been intensively discussed since 2016 and ended with the Regulation (EU) 2019/631 in further decreasing emission targets for new passenger cars and LCV. In addition, with Regulation (EU) 2019/1242, binding CO₂ reductions for new registrations of heavy duty vehicles (HDV) were adopted for the first time in the EU in 2019.

The work in this project always took place in the context of these two regulations. On the one hand, in the run-up to the regulatory proposals by the EU Commission more general, theoretical analyses in dealing with upcoming challenges in the regulatory environment were carried out; on the other hand, the existing proposal of the EU Commission and other stakeholder positions were analysed and evaluated and specific proposals for the design of the regulations were submitted. As a result, this final report - in contrast to what is often the case - does not provide a coherent analysis of one or more issues. Rather, the project frequently dealt with current issues that changed as a result of political events. Most of the analyses relate to the EU Commission's proposals for regulating CO₂ emissions from new passenger cars, LCV and HDV. The final design of the regulations is analysed in less detailed fashion.

In the continuation of the regulations for passenger cars and LCV, two aspects led to particular challenges for the design of the regulations:

- ▶ Low CO₂ target values mean that new propulsion technologies with zero or very low CO₂ emissions such as battery electric and fuel cell mobility are becoming a relevant target fulfilment option for vehicle manufacturers. The transition from the previously predominant combustion engine mobility to other propulsion options is associated with uncertainties that make it difficult to derive suitable target values and modalities for regulation.
- ▶ The calculation basis for the CO₂ emission standards are the type approval emission values, which have so far been determined in accordance with the NEDC. The introduction of the CO₂ emission standards led to an optimisation of the CO₂ emission values to low emissions in the NEDC. One consequence of this is the increasing gap between type approval values and real-world energy consumption and emission values as well as a reduced effectiveness of regulation with regard to CO₂ emission reduction. It was clear at an early stage that the CO₂ regulation for the period after 2020 should be converted to the new type approval procedure, the WLTP. The changeover to the new test procedure for type approval further increased the uncertainties with regard to the real-world CO₂ reduction to be achieved through the regulations.

With regard to dealing with the market development uncertainties for low and zero emission vehicles (ZLEV), including purely battery electric, plug-in hybrid electric and fuel cell electric vehicles, theoretical considerations were made on how to limit the risk of these vehicles not developing in the market. The simplest method, which was also agreed in the negotiation process for the Regulation (EU) 2019/631, is to evaluate the market progress and other developments with regard to these vehicles within a review process, in which the CO₂ regulation

can be adapted accordingly. This review process in 2023 explicitly provides for analyses of the extent to which the availability of the necessary charging and refueling infrastructure, national tax and duty frameworks and the acceptance of these vehicles have developed.

In addition, the penalty to be paid by the car manufacturers if the CO₂ target values are exceeded represents a limitation of the economic risk for the manufacturers. It is also an indicator of the ambition level for regulated manufacturers to meet their CO₂ targets. As long as the penalty - as before - does not have to be paid by any market participant, the costs of achieving the target will be considerably lower for vehicle manufacturers than the amount of the penalty. If, however, a relevant number of manufacturers do not meet the target values and have to pay the penalty, an adjustment of the penalty and, if necessary, of the target values could be a possible option. The VDA proposal to link the target values of the regulation to the development of the framework conditions for the use of ZLEV (VDA 2018), on the other hand, is viewed as rather critical due to the complex parameterisation, the unclear quantitative causality between the framework conditions and the market development as well as the existing possibilities of the regulated automotive industry to influence the framework conditions.

For the transition of CO₂ regulation from NEDC to WLTP emission values, the EU Commission developed a procedure in which the NEDC target value of 95 g CO₂/km (NEDC) valid from 2020 is converted into a WLTP target value used from 2021 via a conversion factor. Since 2017, the first passenger cars have been tested in the WLTP when they are registered, so that CO₂ emission values are available in the WLTP for these vehicles. A simulation tool (CO₂MPAS) converts these values into NEDC emission values up to and including 2020, so that both emission values are available for new vehicles by 2020. The ratio between the WLTP and NEDC emission values in 2020 will then be used to determine the WLTP target values applicable from 2021.

This conversion to the WLTP target value in 2021 is of particular importance, as the target values for the years 2025 and 2030 in the EU Commission's proposal and also in Regulation (EU) 2019/631 refer to this. There is therefore an incentive for vehicle manufacturers to make this target value and the ratio between WLTP and NEDC emissions as high as possible in 2020. An optimisation of the product portfolio to the highest possible WLTP values and the lowest possible NEDC emission values is to be expected in 2020. Contrary to the EU Commission's proposal, a decisive optimisation option was removed in the final regulation. In contrast to the regulatory proposal, the target values for 2025 and 2030 will not be derived from the declared CO₂ emission values in the WLTP, but from those measured on the test bench. This became necessary because no upper limit is set for the declared WLTP emission values in the type approval procedure. This would have enabled manufacturers to easily optimise the ratio of WLTP to NEDC emission values for 2020.

An essential element of the regulation for passenger cars and LNF is an incentive system for ZLEV vehicles. The benchmark system chosen for regulation, with which the target value to be achieved for vehicle manufacturers is raised by up to 5 % if a defined ZLEV share is reached, was assessed in the EU Commission's impact assessment as the least effective instrument for incentivizing ZLEV uptake. This follows from the fact that the incentive only begins to take effect when the ZLEV share is already high. Our own analyses also show that the low level of ambition in the Commission proposal reduces this already ineffective measure even further, at least in the Commission proposal. The comparatively higher level of ambition in the finally adopted Regulation (EU) 2019/631 may lead to a slight incentive effect, but a relevant effect is not to be expected.

Other options such as a benchmark system extended by a malus component or a mandatory admission quota for ZLEV could be associated with a considerable incentive effect. Ultimately, however, a more ambitious target level would be the appropriate means of creating an incentive for higher ZLEV shares in new registrations.

Similar effects can be seen in different cost analyses for different target values and different assumptions on technology costs. Even with rather high cost assumptions for the CO₂ reduction technologies, the cost calculations for the societal costs and for the user costs show positive effects. The avoided costs for the provision of fuel and electricity and the avoided costs due to the lower CO₂ emissions more than compensate for the higher vehicle costs. However, different assumptions for technology costs lead to slightly different developments. If one uses rather high cost assumptions for the CO₂ reduction technologies in the vehicles, then the cost advantages remain compared to a scenario without CO₂ regulation, but from a certain ambition level they decrease again. With rather low cost assumptions for CO₂ abatement technologies, cost calculations improve consistently with more ambitious reduction requirements. An important feature of cost accounting is also that, with the same reduction requirements, greater cost advantages are achieved if the CO₂ reduction is increasingly achieved by higher shares of electric vehicles and combustion engine vehicles are not the focus of CO₂ reduction.

In the analysis of GHG emission reductions, the EU Commission's proposal for a 15 % reduction from 2025 and a 30 % reduction from 2030 compared to 2021 has a 3.5 - 4.9 million t CO₂ reduction effect for 2030. The regulation adopted sets a higher reduction of 37.5 % in 2030 compared with 2021. For this reason, the reduction effect in the transport sector in Germany will be 4.7 - 6.6 million t of CO₂.

In the case of the CO₂ emission standards for HDV introduced for the first time in the EU, the initial situation for the discussion was fundamentally different due to the lower availability of data for analyses and the challenge of developing a regulatory design for the first time. This report therefore deals only with the cost analyses and the GHG reduction effect in Germany due to the considerably smaller scope of the analyses.

In comparison to passenger cars and LCV, energy costs play a much more important role for HDV in every cost calculation because of the higher mileage of the vehicles. Irrespective of the cost assumptions for CO₂ reduction technologies, all cost calculations show considerable cost advantages for society and users when the regulation is introduced. Structurally, these benefits also increase as the level of ambition of emission standards rises. A reduction effect of 5.5 million t of CO₂ in 2030 is derived for the regulation (EU) 2019/1242, which provides for a CO₂ reduction of 15 % or 30 % for new registrations compared with the reference value for 2019.

The CO₂ emission standards for passenger cars, LCV and HDV adopted in 2019 will therefore together lead to a CO₂ emission reduction in Germany in the order of 10 – 12 million t of CO₂ in 2030. From a technical point of view and according to the cost analyses, higher emission reduction targets and higher CO₂ emission mitigations would in principle have been possible and sensible. However, some stakeholders rated the challenges of the transformation to ZLEV (e.g. potential effects on the German automotive industry, potential effects on the number of jobs, development of new logistics chains) so strongly that the cost-saving and GHG reduction potentials are not fully exploited by the adopted regulations. The regulations can indeed reduce the emission mitigation gap that exists for the self-imposed climate protection targets of the national Climate Protection Plan 2050 and the GHG budgets under the burden sharing of the EU's non-emissions trading sectors. However, a significant reduction gap will remain, which will

have to be closed by further ambitious national measures if compensation payments within the framework of burden sharing between EU member states are to be avoided.

1 Hintergrund

Die CO₂-Emissionsstandards für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (LNF) sind seit dem Jahr 2009 auf EU-Ebene eine entscheidende politische Rahmensetzung für den Klimaschutz im Verkehrssektor. Die Hersteller bzw. Herstellergemeinschaften sind dadurch verpflichtet, die bei der Zulassung der Fahrzeuge angegebenen CO₂-Emissionen über ihre Gesamtflotte zu reduzieren. Seit dem Jahr 2015 gelten für die in der EU zugelassenen Fahrzeuge dafür erstmalig Zielwerte, bei deren Überschreitung eine Pönale zu zahlen ist. Mit der Novellierung der Regulierungen für Pkw⁴ und für LNF⁵ wurden im Jahr 2014 auch die Zielwerte inklusive der Modalitäten der Regulierungen für das Jahr 2020 und die darauf folgenden Jahre leicht gegenüber der seit 2009 bestehenden Regulierung angepasst und final beschlossen.

In dem Zeitraum ab dem Jahr 2016 begann der Diskussionsprozess für die Weiterführung der CO₂-Emissionsstandards bis zum Jahr 2030, der Ende des Jahres 2018 zu einer Vereinbarung der EU-Institutionen zur Fortschreibung der CO₂-Emissionsstandards für Pkw und LNF bis zum Jahr 2030 führte. Darin sind für die Jahre 2025 und 2030 neue CO₂-Minderungszielwerte festgeschrieben. Offiziell wurde die Fortschreibung der beiden Regulierungen mit der Regulierung (EU) 2019/631 im April 2019.

Die Diskussion zur Weiterführung der CO₂-Emissionsstandards für Pkw und LNF wurde dabei geprägt von drei relevanten Gesichtspunkten:

- ▶ Niedrige CO₂-Zielwerte führen dazu, dass neue Technologien mit Null- und sehr niedrigen CO₂-Emissionen, wie batterieelektrische und Brennstoffzellen-Antriebe, eine relevante Zielerfüllungsoption für die Automobilhersteller werden. Die Umstellung von der bisher vorherrschenden verbrennungsmotorischen Mobilität zu anderen Antriebsoptionen ist mit Unsicherheiten der Transformation der Automobilindustrie (z. B. Akzeptanz der Technologie, Aufbau neuer Logistikketten, Verfügbarkeit von Fachkräften) verbunden, die die Ableitung geeigneter Zielwerte und Modalitäten für die Regulierung erschweren.
- ▶ Die Berechnungsgrundlage für die CO₂-Emissionsstandards sind die Emissionswerte bei Typenzulassung, die bisher gemäß des NEFZ⁶ bestimmt werden. Die Einführung der CO₂-Emissionsstandards führte zu einer Optimierung der CO₂-Emissionswerte bei der Typenzulassung auf niedrige Emissionen im NEFZ. Eine Folge davon ist die steigende Differenz zwischen Zulassungs- und realen Verbrauchs- und Emissionswerten. Darüber hinaus sinkt die Effektivität der Regulierung in Bezug auf die CO₂-Emissionsminderung. Frühzeitig war klar, dass die CO₂-Regulierung für den Zeitraum nach dem Jahr 2020 auf das neue Testverfahren bei der Typenzulassung, dem WLTP⁷, umgestellt werden sollte. Die Umstellung auf das neue Testverfahren bei der Typenzulassung erhöhte die Unsicherheiten in Bezug auf real zu erreichende CO₂-Minderung durch die Regulierung zusätzlich, da nicht klar ist, wie gut das neue Testverfahren die real anfallenden CO₂-Emissionen abbilden wird.
- ▶ Die erneuerte und ambitionierter ausgestaltete Lastenverteilung der THG-Minderung⁸ zwischen den EU-Mitgliedstaaten in den Nicht-Emissionshandelssektoren führt für die

⁴ 333/2014 (EU)

⁵ 253/2014 (EU)

⁶ Neuer Europäischer Fahrzyklus

⁷ Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure

⁸ 2018/842 (EU)

Mitgliedsstaaten zu einem stärkeren Anreiz als bisher, die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor erheblich zu senken. Überschreitungen der jährlichen nationalen THG-Budgets für die Nicht-Emissionshandelssektoren müssen nämlich durch den Erwerb überschüssiger CO₂-Emissionszertifikate anderer Mitgliedsstaaten im Rahmen des Effort-Sharings ausgeglichen werden.

Neben der Emissionsregulierung für Pkw und LNF führte die EU Mitte des Jahres 2019 leicht zeitversetzt erstmalig verbindliche Flotten-CO₂-Emissionsstandards für schwere Nutzfahrzeuge (SNF) ein, die von den Fahrzeugherstellern zukünftig einzuhalten sind. Die grundlegenden Entscheidungen über die Ausgestaltung der Regulierung wurden ebenfalls Ende 2018 getroffen und mit der Zustimmung zur Regulierung (EU) 2019/1242 formal beschlossen. Ab dem Jahr 2025 müssen die Fahrzeughersteller erstmalig eine CO₂-Emissionsminderung nachweisen, wobei sich die Minderungsanforderung der Regulierung im Jahr 2030 erhöht.

Da die Regulierung neu ist, setzten sich die Analysen vor allem mit dem grundsätzlichen Ausgestaltungsdesign der Regulierung auseinander. Unsicherheiten bezüglich der Möglichkeiten neuer Antriebstechnologien sowie der Bedarf der EU-Mitgliedsstaaten an realer THG-Emissionsminderung prägten allerdings auch die Auseinandersetzungen rund um die Einführung der neuen Regulierung mit.

1.1 Vorgehen und Rolle dieses Vorhabens

Die Arbeiten in diesem Vorhaben entstanden im Kontext der politischen Debatte um die zuvor beschriebenen Regulierungen der EU. Aus diesem Grund bestand die Arbeit nicht darin – wie in anderen Vorhaben üblich – eine oder mehrere Forschungsfragen konsistent, ohne wechselnde Fragestellungen, zu beantworten. Vielmehr standen die durchgeführten wissenschaftlichen Analysen immer im Kontext zum aktuellen und sich immer wieder ändernden politischen Diskurs rund um die genannten Regulierungen. Eine in sich zusammenhängende Forschungsarbeit ist daher im Rahmen dieses Vorhabens nicht entstanden.

Die Arbeiten können in drei zeitlich und im Vorgehen unterschiedliche Teile getrennt werden: 1.) Vor Veröffentlichung des Vorschlags der EU-Kommission für die Weiterführung der CO₂-Regulierung für Pkw und LNF im November 2017 bestand die Arbeit vor allem in Voranalysen und eher theoretischen Überlegungen zu dem Umgang mit den im vorigen Abschnitt genannten Unsicherheiten. Erschwert wurde diese Arbeit unter anderem dadurch, dass relevante wissenschaftliche Untersuchungen zur Begleitung der Positionsfindung sowie der dazu gehörenden Wirkungsabschätzung der EU-Kommission erst einige Zeit nach der Veröffentlichung des Regulierungsvorschlags zugänglich gemacht wurden. 2.) Nach der Veröffentlichung des Vorschlags durch die EU-Kommission begannen die wissenschaftlichen Analysen sowie die Beratung des Umweltbundesamtes (UBA) und des Bundesumweltministeriums (BMU) zu dem vorliegenden Vorschlag. 3.) Die dritte Phase umfasste Arbeiten für das BMU und das UBA zum von der Kommission im Mai 2018 vorgelegten Vorschlag der CO₂-Regulierung für SNF.

Ein Teil der Leistung bestand auch darin, die Analysen für die Abstimmung der verschiedenen am Entscheidungsfindungsprozess beteiligten Bundesministerien aufzubereiten und diese im Rahmen der Diskussion auch vorzustellen. Zudem nutzte das BMU die erstellten wissenschaftlichen Analysen für die Formulierung eigener Positionen für die Ausgestaltung der Regulierungen. Vervollständigt wurden die Arbeiten mit der Beantwortung verschiedenster Adhoc-Anfragen im Kontext der Regulierung.

Aus der Beschreibung der erfolgten Arbeiten in diesem Vorhaben wird deutlich, dass die wissenschaftlichen Arbeiten vor allem der Ausarbeitung von alternativen Ausgestaltungsvorschlägen einer Regulierungsalternative sowie der Analyse bestehender Vorschläge dienten. In diesem Bericht sind die meisten Arbeiten daher nicht auf eine finale Regulierung bezogen, sondern auf Zwischenstände in der Entscheidungsfindung. Der Schwerpunkt dieses Berichts liegt, wie in der Beratung, auf der Fortführung der CO₂-Emissionsstandards für Pkw. Diese Regulierung stand, wegen der hohen Bedeutung und dem langen Beratungszeitraum für die CO₂-Minderung, im Mittelpunkt der Beratungsleistung. Die Entscheidungsfindung bei der Lkw-Regulierung umfasste einen wesentlich kürzeren Zeitraum. Die Analysen zur Wirkung der CO₂-Regulierung für Lkw und zu möglichen Ausgestaltungsoptionen nehmen dementsprechend in diesem Bericht einen wesentlich kleineren Raum ein.

2 Eingesetzte Methoden und Modelle

Standardmäßige Methoden in der Analyse unterschiedlicher Ausgestaltungsmöglichkeiten waren die Analyse bestehender Literatur, kleinere Kosten-Nutzen-Rechnungen hinsichtlich verschiedener Themen und Zielgrößen sowie viele Experten- und Hintergrundgespräche mit Wissenschaftler*innen und Vertreter*innen aus der Industrie, der Zivilgesellschaft und des sonstigen Regulierungsumfelds. Zudem wurden zwei eigene Modelle bzw. Tools für die Wirkungsbewertung eingesetzt:

- ▶ Mit dem Modell TEMPS⁹ können die THG-Emissionen des Verkehrssektors in Deutschland in Szenarien abgebildet werden. Das Modell besitzt einen Fokus darauf, die Wirkung von Politikinstrumenten abzubilden. TEMPS wurde in dem Vorhaben dafür eingesetzt, eine Wirkungsabschätzung verschiedener Ausgestaltungsoptionen der Regulierungen auf die THG-Emissionen des Verkehrssektors für Deutschland durchzuführen.
- ▶ Speziell für dieses Vorhaben wurde ein Tool entwickelt, mit dem eine kostenoptimale Zielerfüllung aus Herstellerperspektive berechnet werden kann. Dieses Tool gibt einen Hinweis darauf, welche marginalen Kosten für die Zielerfüllung der CO₂-Regulierung für Pkw anfallen können und wie aus rein technischer Sicht kostenoptimale Zielerfüllungspfade für die Hersteller aussehen können.

2.1 Das Modell TEMPS

Die Berechnungen zum THG-Reduktionsbeitrag durch die Emissionsstandards für Pkw und Lkw beruhen auf einer Szenarioanalyse des Öko-Instituts mit dem Modell TEMPS.

2.1.1 Modellbeschreibung

Kernbestandteil der Modellierungen mit TEMPS ist das Neuzulassungsmodell, welches unter gegebenen Rahmenbedingungen - wie CO₂-Zielwerten für Neufahrzeuge, Anschaffungspreisen von Fahrzeugen, Energiepreisen, usw. - die Zusammensetzung und Effizienzentwicklung der zukünftigen Neuzulassungen modelliert. Auch der Anteil von Elektrofahrzeugen und sonstigen alternativen Antriebstechnologien wird im Modell in Abhängigkeit von den CO₂-Zielwerten und weiterer Parameter modelliert.

Die Berechnung der Neuzulassungsstruktur erfolgt durch Auswahl von Fahrzeugen durch Nutzer, welche im Wesentlichen durch ihre Haltergruppe (privat oder gewerblich) und ihre Jahresfahrleistung charakterisiert sind, basierend auf einem TCO¹⁰- und einem Logit-Modell. Die verwendeten Nutzerdaten stützen sich auf die Erhebungen „Mobilität in Deutschland“ (MiD) für den privaten Kraftfahrzeugverkehr und „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ (KiD) für den gewerblichen Verkehr.

Dabei stehen den Nutzern für jede Antriebsart verschiedene Fahrzeugmodelle, charakterisiert durch Kosten und Verbräuche, zur Verfügung. Die realisierbaren Effizienzentwicklungen der einzelnen Fahrzeugklassen im Straßenverkehr sind differenziert nach Größenklassen in der Technolgie Datenbank zusammen mit Kostenannahmen hinterlegt. Die tatsächlich realisierte Effizienzentwicklung wird im Neuzulassungsmodul bestimmt. In dem Modell wird nach den

⁹ Transport **E**missions and **P**olicy **S**cenarios

¹⁰ Total Cost of **O**wnership

Antriebsarten Ottomotor, Dieselmotor, Plug-In Hybrid, batterieelektrischer Antrieb, Erdgasantrieb und Brennstoffzellenantrieb unterschieden.

In einem ersten Schritt wird für jeden Nutzer und für jede Antriebsart das nach der Kostenrechnung jeweils günstigste Fahrzeugmodell bestimmt. In der Kostenrechnung werden neben den Anschaffungs- auch Kraftstoff-, Wartungs- und Fixkosten über die Haltedauer und ein Fahrzeugrestwert berücksichtigt. Die Fixkosten, wie z. B. die Kfz-Steuer, berücksichtigen dabei die Differenzierungen nach Antriebstyp. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Jahren der Modellierung zu gewährleisten, werden alle Kosten auf das Jahr 2010 diskontiert. Anschließend werden über ein Logit-Modell Auswahlwahrscheinlichkeiten jedes Nutzers der verschiedenen Antriebsarten bestimmt. Die Parameter des Logit-Modells wurden für Pkw auf Basis von Daten aus der MiD 2008 geschätzt.

Durch Anpassung der Kaufpreise für Pkw relativ zum fahrzeugspezifischen Ausstoß an CO₂-Äquivalenten wird gewährleistet, dass die Emissionsstandards nach EU-Regulierung eingehalten werden. Dieser Modellierungslogik liegt die Überlegung bzw. Annahme zu Grunde, dass die Fahrzeughersteller – um den jeweiligen Grenzwert über die gesamten Neuzulassungen einzuhalten – nötigenfalls die Gewinnmarge bei effizienten Fahrzeugen verringern und dafür weniger effiziente Fahrzeuge zu einem höheren Preis auf dem Markt anbieten werden.

Für Fahrzeuge mit Reichweitenbeschränkung wird eine Begrenzung der Auswahl durch Nutzer berücksichtigt. Dazu wird auf Basis der MiD-Daten eine Poissonverteilung der reichweitenüberschreitenden Fahrten in Abhängigkeit von Größenklasse und Fahrzeugstandort (Stadt/Umland) ermittelt. Die Anschaffungskosten der zur Verfügung stehenden Fahrzeuge sind abhängig von der Effizienzvariante entsprechend der Technologiekostenkurven. Die Restwertberechnung der Fahrzeuge berücksichtigt neben dem Neupreis die nutzerspezifische Fahrleistung und Haltedauer.

Die Zusammensetzung des Fahrzeug-Bestands (nach Antrieben und CO₂-Emissionen) wird aus den Neuzulassungen mittels Überlebenskurven der Fahrzeuge abgeleitet. Die gesamten THG-Emissionen des Bestands ergeben sich infolgedessen aus der zu Grunde gelegten Fahrleistung, dem Fahrzeugbestand und dem hinterlegten Anteil erneuerbarer Kraftstoffe.

2.1.2 Wesentliche Annahmen und Parameter

Die für die Modellierung verwendeten Annahmen und Parameter entsprechen den Annahmen, welche auch in Agora Verkehrswende (2018) zu Grunde gelegt wurden.

Die Analyse beinhaltet die Definition einer Referenzentwicklung ohne Emissionsstandards sowie die Untersuchung verschiedener Ausgestaltungen der CO₂-Zielwerte für die Jahre 2025 und 2030. Darauf aufbauend wird berechnet, inwieweit die unterschiedlichen Ausprägungen dieser Maßnahme zur Minderung der CO₂-Emissionen von Pkw beitragen würden.

Bei zunehmender Effizienz des Bestandes kommt es zu sinkenden Kilometerkosten, was wiederum zu steigenden Fahrleistungen führen kann. Dieser (direkte) Rebound-Effekt aufgrund steigender Effizienz des Pkw-Bestandes wurde bei den Berechnungen der CO₂-Emissionen des Pkw-Verkehrs berücksichtigt. Dabei wurde von einer Preiselastizität der Pkw-Fahrleistung von -0,3 ausgegangen. Dies bedeutet, dass die Fahrleistung um 3 % steigt, wenn die Fahrtkosten pro Kilometer um 10 % sinken. Außerdem wurde – in Anlehnung an die momentan laufenden Diskussionen um die Fortschreibung der Renewable Energy Directive – ein Biokraftstoffanteil im Jahr 2030 in Höhe von 6,8 % angenommen.

Der angenommenen Entwicklung der Verkehrsnachfrage liegt die Verkehrsprognose des Bundesministeriums für Verkehr und Infrastruktur (BMVI) zugrunde (Schubert et al. 2014). Sie

geht bis zum Jahr 2030 von einer Steigerung des Personenverkehrs von 10 % und einer Steigerung des Güterverkehrs von 38 % im Zeitraum 2010 bis 2030 aus. Die zu Grunde gelegte Referenzentwicklung basiert auf dem „Mit-Maßnahmen-Szenario“ (MMS) des Projektionsberichts 2017 (BReg 2017), wobei allerdings Aktualisierungen vorgenommen wurden: Zum einen wurde aufgrund der aktuellen Entwicklung eine sinkende Attraktivität von Diesel-Pkw angenommen und es wurden zum anderen aktuelle Daten zum Markthochlauf alternativer Antriebe (bis einschließlich 2016) berücksichtigt. Zudem wurden im TEMPS-Modell die neuesten Pkw-Kostenkurven des ICCT implementiert (Meszler et al. 2016).

In der verwendeten Referenzentwicklung gibt es auch nach 2021 eine autonome Effizienzentwicklung durch einen steigenden Anteil an Elektrofahrzeugen, während die CO₂-Emissionen neu zugelassener konventioneller Pkw real konstant bleiben. Dadurch sinken die CO₂-Emissionen der Pkw auch in der Referenzentwicklung bereits etwas ab.

2.2 Simulationstool zur kostenoptimalen Zielerfüllung

Im Rahmen des Projekts wurde ein MS Excel-basiertes Tool entwickelt, um zu untersuchen, welche Kosten für die Fahrzeughersteller bzw. Herstellerpools durch den EU-Vorschlag zur Pkw-CO₂-Regulierung entstehen und wie sich die jeweiligen kostenoptimierten Strategien für die Zielerfüllung darstellen können.

2.2.1 Datengrundlage und -aufbereitung

Aus der EU Datenbank zur CO₂-Regulierung (EEA 2018) wurden für alle Hersteller die Neuzulassungszahlen, mittlere Fahrzeugmassen sowie CO₂-Emissionen nach NEDC entnommen. Da die Kostenkurven aus der als Grundlage dienenden Studie Krause et al. (2017) / Hill et al. (2016) auf das Jahr 2013 bezogen sind und in dieser Studie eine Aufteilung in vier Größenklassen („small“, „lower medium“, „upper medium“, „large“) erfolgt, wurden Ausgangsjahr und Segmentierung übernommen. Die Zuteilung zu den Größenklassen erfolgte weitgehend über die pauschale Zuordnung von KBA-Klassen zu den vier Größensegmenten. Um im Modell eine Segmentierung zu erreichen, die möglichst adäquat Abstufungen im Pkw-Neuzulassungsmarkt hinsichtlich Masse, Verbrauch, Preis und Einsatz von unterschiedlich teuren Effizienztechnologien widerspiegelt und um eine Vergleichbarkeit mit Krause et al. (2017) / Hill et al. (2016) zu erreichen, wurden v. a. einige zulassungsstarke Kompakt-SUV- und Van-Modelle manuell abweichend zugeteilt, da sie häufig in der Größenklasse „large“ nicht adäquat zugeordnet sind. Für jeden Hersteller wurde der bisherige Flottenmittelwert (NEDC) für das Jahr 2013 bestimmt und mithilfe des pauschalen Faktors 1,21 aus der Wirkungsabschätzung der EU-Kommission (EC 2017) auf den WLTP umgerechnet. Ausgenommen waren Hersteller unter 1.000 Neuzulassungen im Jahr.

Für die Wirkungsanalyse des Kommissionsvorschlags wurden die sich ergebenden Emissionszielwerte der einzelnen Hersteller für die Jahre 2021, 2025 und 2030 hergeleitet. Dabei erfolgten folgende Vereinfachungen:

- ▶ Alle Hersteller erreichen im Jahr 2021 genau ihren Zielwert. Der Mittelwert des CO₂-Ausstoßes aller neu zugelassenen Fahrzeuge dient hier der Herleitung der Zielwerte für die Jahre 2025 und 2030. Dies ist deshalb eine plausible Annahme, weil die bei Nichterreichung der Ziele fälligen Strafzahlungen im Vergleich zur Optimierung oder Elektrifizierung unattraktiv sind. Gleichzeitig bestehen keine weiteren Regulierungen und Anreize, die eine Übererfüllung der CO₂-Minderung attraktiv machen.

- ▶ Die Gesamt-Neuzulassungszahlen und Segmentierungen bleiben bei allen Herstellern gleich. Abschätzungen zu Segmentverschiebungen und Verschiebungen von Marktanteilen sind nicht möglich und die hohe Zahl von Optionen würde eine systematische kostenoptimierte Strategie, unter Einbezug aller möglichen Strategien, nahezu unmöglich in der Modellierung machen. Zudem wurde unterstellt, dass der bei der Herleitung des Flottenzielwerts verwendete Masseparameter den Anreiz verringert¹¹, die Flottenzielwerte wesentlich durch Verschiebung der Neuzulassungen hin zu kleineren Segmenten zu erreichen.
- ▶ Es wurde ein pauschaler modell- und herstellerunabhängiger Faktor 1,21 für die Umrechnung vom NEFZ auf den WLTP verwendet (s.o.).

2.2.2 Berechnungsprinzip des Simulationstools

Das Simulationstool rechnet für jeden Hersteller, ausgehend vom Zielwert der Regulierung für 2021, aus, welche Maßnahme für die vier Größensegmente geeignet ist, mit den geringsten Kosten den Flotten-CO₂-Ausstoß um einen diskreten Betrag zu senken. Hierbei kommen entweder der Einsatz von Effizienztechnologien bei verkauften Diesel- oder Ottomotorbetriebenen Fahrzeugen oder der Ersatz von Verbrennerfahrzeugen durch Elektrofahrzeuge in Frage. Nach „Durchführung“ der kosteneffizientesten Maßnahme wird diese dem jeweiligen Segment angerechnet, der CO₂-Ausstoß der Gesamtflotte aktualisiert und wiederum der Vergleich der Kosteneffizienz für den darauffolgenden diskreten Schritt bestimmt. Dies wird solange wiederholt, bis der Flotten-CO₂-Ausstoß den eingegebenen Zielwert für das jeweilige Zieljahr erreicht.

Das Simulationstool kombiniert somit in einer iterativen Berechnung, unter Beachtung der individuellen Segment- und Antriebszusammensetzungen der einzelnen Hersteller, die wesentlichen zur Verfügung stehenden technologischen Ansätze zur Erreichung der Flottenziele und bestimmt so, welche prozentualen Mehrkosten aus Perspektive der einzelnen Hersteller entstehen, um die Zielwerte zu erreichen.

Zur Verbesserung des Flotten-CO₂-Ausstoßes stehen jedem Hersteller zu jedem Zeitpunkt 16 verschiedene Strategien zur Verfügung, das bedeutet für jede Kombination aus Größenklasse („small“, „lower medium“, „upper medium“, „large“) und konventioneller Motortechnologie (Diesel- bzw. Ottomotor) jeweils die beiden möglichen Strategien:

- ▶ Optimierung der konventionellen Antriebstechnik – „Fortschreiten“ in der Kostenkurve um einen diskreten Wert: Anrechnung der zusätzlichen prozentualen Emissionsminderung und der Mehrkosten auf alle neu zugelassenen konventionellen Fahrzeuge des jeweiligen Segments.
- ▶ Erhöhung des Anteils des Verkaufs von BEV oder PHEV im jeweiligen Segment, während die verbleibenden verkauften Diesel- oder Ottomotorfahrzeuge hinsichtlich ihres CO₂-Ausstoßes konstant bleiben.

Für beide Strategien wird angenommen, dass die Kundennachfrage kostenoptimal gelenkt wird und – wenn nicht anders vorgegeben – kein Einfluss durch die Nachfrage auf die

¹¹ Das herstellerepezifische CO₂-Ziel hängt von der durchschnittlichen Masse der Fahrzeuge ab. Je höher die durchschnittliche Masse ist, desto höher ist der zu erreichende CO₂-Zielwert des Herstellers. Dadurch verringert sich der Anreiz, über leichtere, kleinere Fahrzeugsegmente die Einhaltung der Zielwerte sicherzustellen.

Herstellerstrategie erfolgt. Die Ergebnisse der Berechnungen stellen somit einen kostenoptimalen Zielerfüllungspfad aus Herstellersicht dar, solange keine konkreten Nebenbedingungen für die Struktur der Antriebstechnologien der Neufahrzeuge vorgegeben werden.

3 Analysen zu den CO₂-Emissionsstandards für Pkw und LNF

Die Verordnung (EU) 2019/631 stellt die Fortschreibung der seit dem Jahr 2009 bzw. 2011 bestehenden Regulierungen zur CO₂-Emissionsminderung der Neufahrzeugflotten von Pkw und LNF dar. Das grundsätzliche Prinzip der beiden Verordnungen wird bis zum Jahr 2030 beibehalten.

Die Fahrzeughersteller dürfen im Flottendurchschnitt der neuzugelassenen Fahrzeuge über die Zeit absinkende Zielwerte nicht überschreiten. Die Zielwerte der Hersteller unterscheiden sich dabei in Abhängigkeit des durchschnittlichen Gewichts der Neuwagenflotte. Bei einem Überschreiten der Zielwerte müssen die Hersteller eine Pönale zahlen, die sich aus dem Maß der Zielwertüberschreitung und der Anzahl der neu zugelassenen Fahrzeuge eines Jahres berechnet. Weitere Besonderheiten in bestimmten Jahren sind Multiplikatoren für Niedrig- und Nullemissionsfahrzeuge (< 50 g CO₂/km)¹², die bei der Berechnung der Flottenemissionswerte diese Fahrzeuge höher werten, sowie ein Phase-In, welches erlaubt, nur einen Teil der zugelassenen Fahrzeuge für die Berechnung des Flottenemissionswerts heranzuziehen. Die Grundlage der CO₂-Emissionsberechnung ist bis zum Jahr 2020 der bei der Fahrzeugzulassung ermittelte CO₂-Emissionswert im NEFZ, die die beim Fahren auftretenden CO₂-Emissionen abdecken.

Die Pkw-Neuzulassungsflotte musste im Jahr 2015 erstmalig den Zielwert von 130 g CO₂/km einhalten, nach dem dieser Zielwert zuvor über ein Phase-In über mehrere Jahre „nur“ von einem Teil der gesamten Fahrzeugflotte erreicht werden musste. Ab dem Jahr 2020 wird ein neuer Zielwert von 95 g CO₂/km eingeführt, der zunächst von 95 % der Fahrzeuge eines Herstellers und dann im Jahr 2021 von allen Fahrzeugen eines Herstellers einzuhalten ist. Auch sind für die Jahre 2020 bis 2022 absinkende Multiplikatoren für ZLEV in der Höhe von 2 bis 1,33 vorgesehen, die mit der Mehrfachanrechnung von ZLEV in der Emissionsberechnung einen Anreiz bieten, diese Fahrzeuge in den Markt zu bringen.

Die Hersteller von LNF mussten im Jahr 2017 erstmalig für alle LNF den Zielwert von 175 g CO₂/km einhalten, der ähnlich wie bei den Pkw, über ein Phase-In eingeführt wurde. Ab dem Jahr 2020 liegt der Zielwert für LNF bei 147 g CO₂/km. Ein weiteres Phase-In und Multiplikatoren für ZLEV sind bei LNF ab dem Jahr 2020 nicht vorgesehen.

Die EU-Kommission veröffentlichte im November 2017 ihren Vorschlag für die Fortführung der beiden Regulierungen für die CO₂-Reduktion von Neufahrzeugen. Das grundsätzliche Design dieses Vorschlags wurde im darauf folgenden Gesetzgebungsverfahren zwischen den EU-Institutionen bestätigt. Als wichtigste Veränderung einigten sich die EU-Institutionen im Trilog-Verfahren auf ein verschärftes Ambitionsniveau gegenüber dem Vorschlag der EU-Kommission.

Eine wichtige Neuerung bei der Fortführung der CO₂-Regulierungen bis 2030 ist die Emissionsbestimmung über das Testverfahren des WLTP, welches die real anfallenden CO₂-Emissionen besser abbilden soll als das zuvor verwendete NEFZ-Verfahren. Da jedoch bei der Ausgestaltung der Regulierung keine Emissionswerte im WLTP bekannt waren, wurden die Zielwerte für die beiden Regulierungen als relative Minderungsziele gegenüber dem in den WLTP umgerechneten Zielwert des Jahres 2021 definiert. Im Vorschlag der EU-Kommission lagen die Minderungsanforderungen für Pkw und LNF bei -15 % (2025) bzw. bei -30 % (ab 2030) gegenüber den Zielwerten des Jahres 2021. Am Ende des Trilog-Verfahrens einigten sich

¹² Niedrig und Nullemissionsfahrzeuge: zero and low emission vehicles (ZLEV)

die beteiligten Akteure auf ambitioniertere Zielwerte im Jahr 2030: Bei den Pkw ist eine Minderung um -37,5 % vorgeschrieben; bei den LNF liegt das Minderungsniveau bei -31 %.

Eine weitere wesentliche Änderung ist das Anreizsystem für ZLEV. Multiplikatoren sind nicht mehr vorgesehen. Der Kommissionsvorschlag sah ein Benchmarksystem vor (siehe Abschnitt 3.3), in dem das Überschreiten eines bestimmten ZLEV-Anteils an den Neuzulassungen automatisch zu einer bis zu 5 %-igen Erhöhung des Zielwerts eines Herstellers führt. Die ZLEV-Anteile, ab denen sich die Zielwerte eines Herstellers erhöhen, lagen im Vorschlag bei 15 % (2025) bzw. bei 30 % (2030). Dabei sollen in der Berechnung des ZLEV-Anteils Nullemissionsfahrzeuge und Fahrzeuge mit sehr niedrigen CO₂-Emissionen unterschiedlich stark berücksichtigt werden. Sowohl die Berechnungsgrundlage für die Berechnung der ZLEV-Anteile als auch die Benchmarksetzung wurden im Trilog-Verfahren für die Pkw-Regulierung noch leicht angepasst. Für die Pkw-Regulierung gilt daher ab dem Jahr 2030 ein Benchmark eines ZLEV-Anteils von 35 %, bei dessen Überschreitung sich die Zielwerte der Hersteller um bis zu 5 % erhöhen.

3.1 Kostenkurven für CO₂-Minderungstechnologien in Pkw

Die Grundlage für viele Wirkungsanalysen und der daraus abgeleiteten Ausgestaltung der CO₂-Regulierung sind die notwendigen Technologiekosten für die Erreichung der CO₂-Zielwerte. Mögliche Entwicklungen der Fahrzeugpreise, Kostenrechnungen für die Verbraucher und gesellschaftliche THG-Vermeidungskosten verändern sich in Abhängigkeit der getroffenen Annahmen zu den Technologiekosten für die CO₂-Minderung in Fahrzeugen. Die Bestimmung von Kostenkurven, die den Zusammenhang zwischen den zusätzlichen Technologiekosten gegenüber einem Standardfahrzeug eines Ausgangsjahres und der erzielten CO₂-Minderung aufzeigen, ist demnach die Basis für viele weitere Analyseschritte. Ein Vergleich verschiedener Studien zu den Technologiekosten für die CO₂-Minderung kann hier hilfreich sein, die Kostenannahmen verschiedener Studien und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen einzuordnen.

Drei „Sets“ an Kostenkurven für verschiedene Fahrzeugtypen (Größe und Antriebe der Fahrzeuge) entstanden im Umfeld der CO₂-Regulierung für Pkw und LNF.

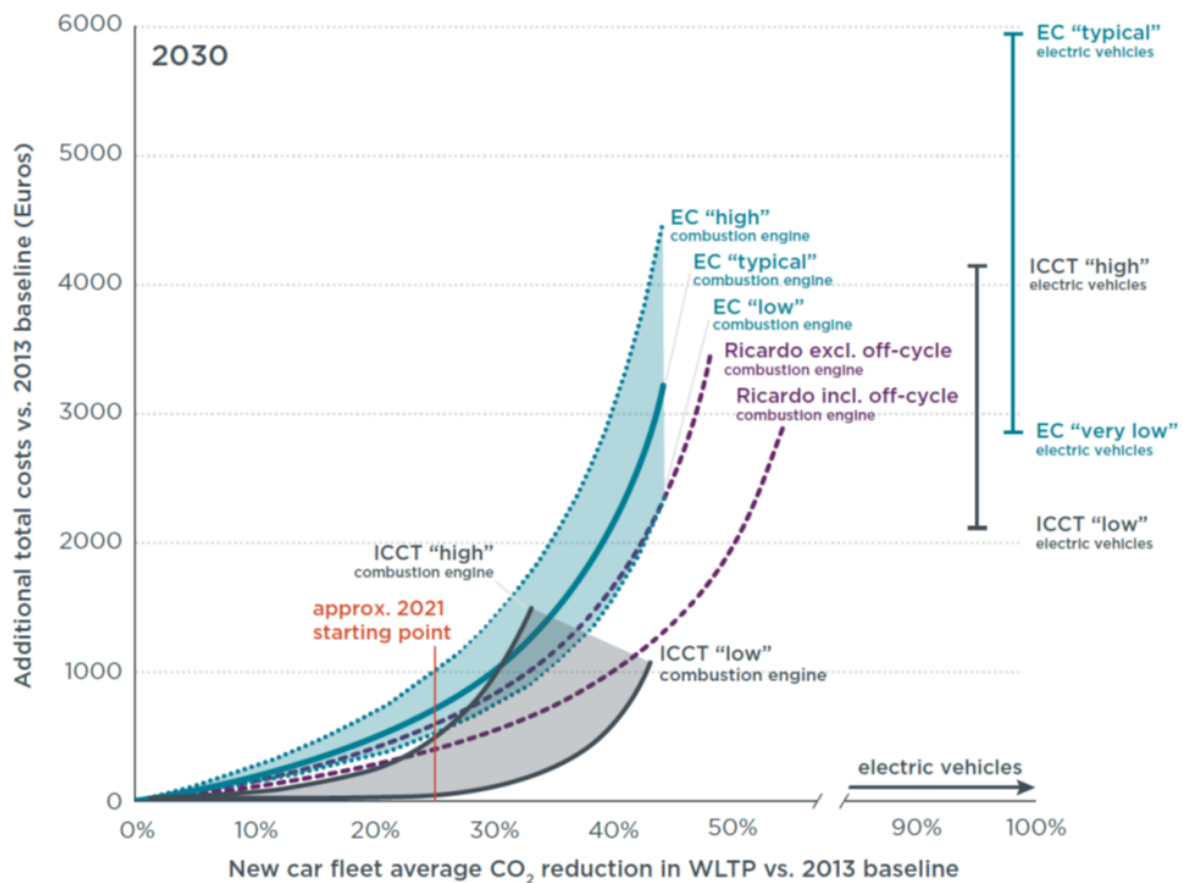
- ▶ Hill et al. (2015) zeigen Kostenkurven, die aus Literaturstudien, In-House-Wissen und Stakeholder-Konsultationen zu CO₂-Minderungswirkung und Technologiekosten entwickelt sind (Ricardo in Abbildung 1).
- ▶ Krause et al. (2017) nutzen die Kostenannahmen aus Hill et al. (2015) und leiten mit dem vom JRC entwickelten Modell DIONE eigene Kostenannahmen her. Off-Cycle-Technologien¹³ (z. B. besonders energiesparende Fahrzeugleuchten), deren CO₂-Minderungswirkung während der Fahrzeugzulassung auf dem Prüfstand nicht gemessen werden kann, sind in diesen Kostenkurven nicht berücksichtigt. Off-Cycle Technologien können für die CO₂-Bewertung der Fahrzeuge im Rahmen der Regulierung angerechnet werden (EC in Abbildung 1).

¹³ Off-Cycle Technologien – sogenannte Öko-Innovationen – sind Technologien, die zwar die CO₂-Emissionen reduzieren, deren Wirkung aber nicht auf dem Prüfstand gemessen werden kann. Eine Liste mit den zugelassenen Öko-Innovationen ist hier zu finden: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en#tab-0-1

- Meszler et al. (2016) entwickeln Kostenkurven aus Analysen, die CO₂-Minderungswirkung und Technologiekosten aus Computersimulationen und Einzelkomponentenbetrachtungen (Tear-Down-Analyse) herleiten (Holderbaum 2015). Zur Ableitung der Kostenkurven treffen Meszler et al. (2016) Annahmen zu weiteren Parametern wie Lernkurveneffekten, Flexibilität bei der Emissionsmessung im Testzyklus, off-cycle-Technologien etc. (ICCT in Abbildung 1). Dieses Vorgehen für die Ableitung von Kostenannahmen für CO₂-Minderungstechnologien nutzt beispielsweise die Environmental Protection Agency (EPA) für die Analysen bezüglich US-amerikanischen CO₂- und Verbrauchsstandards.

Die Form der hergeleiteten Kostenkurven für verbrennungsmotorische Pkw ist in den Studien ähnlich; für niedrige CO₂-Minderungsanforderungen kommen anfangs eher günstige Minderungstechnologien zum Einsatz; dann bei hohen Minderungsanforderungen eher teure Technologien, wie die Vollhybridisierung und Leichtbaumaßnahmen. Dies führt zu einer exponentiellen Steigerung der CO₂-Minderungskosten. Abbildung 1 zeigt diese Form für die zusätzlichen Technologiekosten gegenüber den Referenzfahrzeugen im Jahr 2013. Die Kostenkurven für verschiedene Antriebstypen und Fahrzeuggrößen sind in eine gemeinsame Kostenkurve auf Basis der Zulassungsverteilung der gesamten Pkw-Neufahrzeugflotte in der EU zusammengefasst.

Abbildung 1: Vergleich von Technologiekostenannahmen für die CO₂-Minderung in Pkw



Quelle: Dornoff et al. (2018)

Ähnlich wie in den Analysen für die Zielwertsetzung des Jahres 2020 liegen die hergeleiteten Technologiekosten für CO₂-Minderungstechnologien in verbrennungsmotorischen Fahrzeugen

und für elektrische Fahrzeuge in der von Meszler et al. (2016) gewählten Tear-Down-Analyse unter denen, die mithilfe von Literaturstudien und der Stakeholder-Konsultation hergeleitet sind. Im Vergleich der Studien von Hill et al. (2015) und Krause et al. (2017) liegen die mit dem Modell DIONE hergeleiteten und in der Wirkungsabschätzung für die Fortführung der CO₂-Emissionsstandards von der EU Kommission genutzten Kostenkurven am höchsten. Dies ist unter anderem mit der Nicht-Berücksichtigung möglicher Off-Cycle Minderungstechnologien zu erklären, die zukünftig für die Zielerfüllung an Bedeutung gewinnen sollten. Die in der Wirkungsabschätzung der EU Kommission außer bei Sensitivitätsbetrachtungen standardmäßig verwendeten Kostenannahmen EC „typical“ führen demnach zu eher hohen Zielerreichungskosten für die CO₂-Emissionsstandards. Abbildung 1 zeigt auch bereits, dass ab einem gewissen CO₂-Minderungsniveau elektrische Fahrzeuge wegen der hohen CO₂-Minderung und ähnlicher Technologiekosten wie bei verbrennungsmotorischen Technologieoptionen eine relevante Zielerfüllungsoption für die Fahrzeughersteller darstellen.

3.2 Möglicher Umgang mit Nachfrage- und Kostenunsicherheiten

Bei der Fortführung der CO₂-Emissionsstandards und einem weiteren Absenken der Zielwerte für den Zeitraum nach 2020 – wie es schlussendlich mit der Regulierung (EU) 2019/613 beschlossen wurde – stellt sich für die Fahrzeughersteller ein Bereich für die Zielerfüllung ein, in dem die zusätzlichen marginalen Kosten der Zielerreichung mit der Zulassung elektrischer Fahrzeuge¹⁴ geringer sind als bei einer weiteren Effizienzverbesserung der konventionellen verbrennungsmotorischen Fahrzeuge. In diesem Zielbereich wird die Markterschließung mit elektrischen Fahrzeugen für die Fahrzeughersteller durch die rahmengebende CO₂-Regulierung ökonomisch effizient, auch wenn weitere technische Effizienzverbesserungen bei den konventionellen Fahrzeugen noch möglich sind (siehe Meszler et al. 2016).¹⁵

Selbstverständlich werden die Fahrzeughersteller der in Modellen vereinfachten Kostenoptimierung in den eigenen Analysen und in Meszler et al. (2016) zur Zielerfüllung der CO₂-Emissionsstandards nicht genau folgen können. Das Kennenlernen und die Weiterentwicklung der Technologie, die Sicherstellung von Lieferketten, der Umbau der Fahrzeugproduktion, die Rekrutierung und die Umschulung des Personals, etc. für die neuen Antriebstechnologien benötigen Zeit und verlaufen nicht linear. Auch sind nicht alleine die Fahrzeugkosten für die möglichen Zulassungsanteile elektrischer Fahrzeuge entscheidend. Die Nachfrage nach elektrischen Fahrzeugen wird neben der Kostenentwicklung auch von sonstigen Rahmenbedingungen, wie dem Ladeinfrastrukturausbau und nationalen Steuer- und Abgabensystemen (siehe bspw. Norwegen, Schweden), abhängen. Dementsprechend besteht die Unsicherheit für die Marktentwicklung elektrischer Fahrzeuge aus den verschiedenen möglichen Kostenentwicklungen für konventionelle und elektrische Fahrzeuge, dem von den Herstellern angebotenen Fahrzeugen sowie aus der Entwicklung weiterer nachfrageleitender Faktoren (z. B. Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten).

Im Folgenden werden generelle Konzepte diskutiert, wie mit der Unsicherheit der Markteinführung der neuen Antriebstechnologien im Rahmen der Regulierung umgegangen werden könnte. Diese Diskussion wurde zum größten Teil vor der Veröffentlichung des Vorschlags der EU-Kommission geführt und die dargestellten Konzepte wurden nach Veröffentlichung des Kommissionsvorschlags nicht weiter detailliert ausgearbeitet.

¹⁴ Elektrische Fahrzeuge umfassen rein batterieelektrische, Plug-In-Hybride inklusive Range-Extender-Fahrzeuge sowie auch Brennstoffzellenfahrzeuge. Im Regulierungskontext werden diese Fahrzeuge als ZLEV zusammengefasst.

¹⁵ Die Reaktionen einiger Fahrzeughersteller (z. B. VW Group) nach Verabschiedung der Fortführung der Regulierung weisen darauf hin, dass diese Wirkungsabschätzung zutrifft.

3.2.1 Einordnung der bestehenden CO₂-Regulierung

Grundsätzlich lassen sich politische Instrumente zur Emissionsminderung in Volumen- und Preisinstrumente einteilen. Bei Volumeninstrumenten werden die Emissionsmengen durch die Politik vorgegeben, auf die der Markt aus Angebot und Nachfrage reagiert und sich daraus Preise ableiten. Das Risiko hoher Kosten liegt bei Unsicherheiten für mögliche technische und Marktentwicklungen je nach Ausgestaltung des Instruments eher bei den regulierten Marktakteuren. Preisinstrumente dagegen setzen einen Preis für Emissionen, worauf die Marktakteure reagieren und im Idealfall die Zielerreichung der Emissionsminderung sicherstellen. Das Risiko angestrebte Emissionsminderungen zu verfehlen liegt dabei eher bei den politischen Institutionen, die den Preis für die Emissionen festlegen.

Die bestehende CO₂-Regulierung für die Neuzulassungen von Pkw und LNF ist eine Hybridvariante von Volumen- und Preisinstrument. Die Festlegung von spezifischen CO₂-Zielwerten entspricht eher einem Volumeninstrument, da die Höhe der spezifischen Emissionen neuer Fahrzeuge reguliert ist und sich der Preis der erforderlichen Maßnahmen aus der festgeschriebenen Zielwertentwicklung ergibt. Die Pönale bei Überschreitung der Zielwerte begrenzt allerdings das ökonomische Risiko der Fahrzeughersteller, da dadurch die marginalen Kosten der CO₂-Reduktion für die Hersteller nach oben gedeckelt sind. CO₂-Minderungstechnologien mit höheren marginalen Kosten für die CO₂-Minderung sollten die Höhe der Pönale also nicht überschreiten (heute und zukünftig 95 € je g CO₂/km an Überschreitung und je zugelassenes Fahrzeug). Da sich die marginalen Kosten der Zielerreichung für die Fahrzeughersteller aus den Technologiekosten für die CO₂-Minderung ableiten lassen, war und ist die Pönale ein wesentliches Element der Regulierung für den Umgang mit der Unsicherheit der Technologiekosten und der Marktentwicklung elektrischer Fahrzeuge.

3.2.2 Zwischenziele und Zwischenevaluation als bestehendes Element der Regulierung

Bereits bei der vergangenen Ausgestaltung der CO₂-Regulierung wurden 2009 Zielwerte für das Jahr 2015 und 2020 festgelegt und zugleich eine Überprüfung inklusive möglicher Novellierung der Regulierung für die Jahre 2012 bis 2014 festgeschrieben (Art. 13 EG/443/2009). Das Konzept hinter dieser Zwischenevaluation war es, bei erkennbaren unerwünschten Effekten und bei veränderten Rahmenbedingungen (z. B. veränderte Kostenannahmen für die Zielerreichung) korrigierend eingreifen und eine Anpassung der Regulierung vornehmen zu können. Die Folge war ein relativ offener politischer Aushandlungsprozess, der vor der Novellierung der CO₂-Emissionsstandards im Jahr 2013 und 2014 stattfand.

Die Etablierung von Zwischenzielen, die mit einer Evaluierung der Regulierung verbunden sind, ist ein standardmäßiges Vorgehen für die Ausgestaltung politischer Instrumente. Schlussendlich wurde in der Fortschreibung der CO₂-Emissionsstandards für Pkw und LNF genau dieses Mittel wieder gewählt, indem für das Jahr 2023 ein Review der Regulierung sowie ein Zwischenziel für das Jahr 2025 vorgesehen sind. Diese Evaluierung soll unter anderem verschiedene Aspekte bezüglich der Marktentwicklung und der Rahmenbedingungen (z. B. Ladeinfrastrukturausbau) für elektrische Fahrzeuge umfassen.

Ein weiteres mögliches Vorgehen im Umgang mit Unsicherheiten bezüglich der Marktentwicklung der elektrischen Fahrzeuge ist die Etablierung von Anpassungsmechanismen, wie sie unter anderem aus Instrumenten im Stromsektor bekannt sind. Beispielsweise war im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zwischenzeitlich die Höhe der Vergütungssätze für geförderte erneuerbare Neuanlagen an die Menge der zugebauten EE-Kapazitäten gekoppelt („atmender Deckel“); die Höhe der Marktstabilitätsreserve und somit die temporäre Entnahme von Emissionszertifikaten im EU-ETS ergibt sich jährlich über einen Automatismus. Geeignete

Automatismen können demnach helfen, Unsicherheiten bezüglich der effektiven Lenkungswirkung, aber auch der Belastung der Regulierten aufzugreifen und das Lenkungsinstrument nachzusteuern. Bisher sind solche automatisierten Anpassungen von Modalitäten und Zielgrößen der Regulierung nicht vorgesehen.

3.2.3 Die Pönale zur Begrenzung der Technologiekosten

Die Pönale für das Nicht-Einhalten der Flottenzielwerte stellen das Hauptinstrument der bestehenden Regulierung dar, das ökonomische Risiko für die Fahrzeughersteller zu begrenzen. Mit 95 € je g CO₂/km an Überschreitung der herstellerspezifischen Zielwerte entsteht ein „Richtwert“ für die maximalen marginalen Technologiekosten der Hersteller für jede weitere CO₂-Minderung. Bei einer „zu ambitionierten“ Zielwertsetzung ist somit die wirtschaftliche Folgewirkung für die Fahrzeughersteller begrenzt. Bei einer zu niedrigen Pönale ist jedoch auch die Wirksamkeit der Regulierung für die CO₂-Minderung gering, da für die Fahrzeughersteller in diesem Fall die Nicht-Erfüllung der Flottenzielwerte mit ökonomischen Vorteilen einhergehen würde gegenüber einer weiteren CO₂-Minderung.

Aus diesem Grund kommt der Herleitung der Höhe der Pönale aus dem Ambitionsniveau der Regulierung, der abgeschätzten Kostenkurven sowie der Neuzulassungsstruktur der verschiedenen Fahrzeughersteller eine Bedeutung zu. Ein transparentes Berechnungsmodell, welches aus den zuvor genannten Parametern die marginalen Zielerreichungskosten für die verschiedenen Fahrzeughersteller abschätzt, könnte somit für die transparente Herleitung der Pönale hilfreich sein. Je nach Annahme zu den Technologiekosten und dem Ambitionsniveau der Regulierung könnte so die Pönale über einen politischen Aushandlungsprozess oder auch über ein eher reguliertes Vorgehen¹⁶ bestimmt werden. Bei einem höheren Ambitionsniveau würde die Pönale bei diesem Vorgehen eher hohe Werte aufweisen, da die Technologiekosten für die Zielerreichung in diesem Fall ansteigen. Ähnliches gilt für die Auswahl der Annahmen zu den Technologiekosten; hohe Werte bei Kostenkurven führen bei diesem Vorgehen zu eher hohen Pönalen.

Das beschriebene Vorgehen stellt zunächst nur eine Möglichkeit dar, die Pönale transparent herzuleiten und dabei das Ambitionsniveau der Regulierung sowie mögliche Technologiekosten in Verbindung zu bringen. Die Unsicherheit bezüglich unterschiedlicher Annahmen zu den Technologiekosten ist dabei nicht aufgegriffen, könnte aber durch Sensitivitätsrechnungen zumindest analysiert werden.

Die Pönale ist auch ein Indikator für die Herausforderung der Fahrzeughersteller, das CO₂-Minderungsziel der Regulierung zu erreichen. Wird die Pönale von keinem Marktteilnehmer in Anspruch genommen, wie es bisher der Fall war, ist dies ein eindeutiges Indiz, dass die marginalen Kosten für die Zielerreichung unter der Pönale liegen und die Wirksamkeit der Regulierung hinsichtlich der CO₂-Reduktion gegeben ist. Wenn ein relevanter Teil der Hersteller jedoch das angestrebte Minderungsziel verfehlt und die Pönale in Anspruch nimmt, kann davon ausgegangen werden, dass das Verhältnis von Minderungsziel und Höhe der Pönale nicht geeignet ist. In diesem Fall wären die Überprüfung und gegebenenfalls auch eine Anpassung der Ausgestaltung der Regulierung ein sinnvolles Vorgehen.

Als Argument für eine wenig ambitionierte Zielwertfortschreibung wurden von der Automobilindustrie (VDA 2018) häufig das unklare Fortschreiten des Ladeinfrastrukturausbaus, die potenziell geringe Akzeptanz für die neuen Antriebstechnologien, die Abhängigkeit von

¹⁶ Es könnte beispielsweise die Regel gelten, dass in einem solchen Modell die marginalen Zielerreichungskosten von solchen Herstellern unter der Pönale liegen müssen, die mindestens X % der Fahrzeugzulassungen ausmachen.

nationalen Förderstrukturen und weitere eher „weiche“ Faktoren in Bezug auf elektrische Fahrzeuge eingebracht. Eine Operationalisierung dieser Faktoren für die Ausgestaltung der Regulierung ist schwierig. Einfach abbildbar ist jedoch die reale Marktentwicklung der elektrischen Fahrzeuge. Der real erreichte Anteil an elektrischen Fahrzeugen für alle Neuzulassungen könnte also als Faktor in die Ableitung der Höhe der Pönale einfließen. Die Höhe der Pönale könnte sich in diesem Fall der Marktentwicklung elektrischer Fahrzeuge flexibel anpassen und damit die Nachfrageunsicherheiten für elektrische Fahrzeuge mit in der Herleitung der Pönale abbilden.

3.2.4 Die Zulassungsquote für elektrische Fahrzeuge zur Erhöhung der Planungssicherheit

Wie zuvor erwähnt, entsteht ab einem gewissen Minderungsniveau für die Fahrzeughersteller ein CO₂-Emissionsbereich, ab dem die weitere CO₂-Minderung ihrer Flotten aus der Herstellerperspektive ökonomisch vorteilhaft durch die Steigerung des Anteils an elektrischen Fahrzeugen stattfindet. Dieser Zielwertbereich, ab dem die marginalen Kosten durch die Zulassung von elektrischen Fahrzeugen niedriger sind als die marginalen Kosten weiterer Effizienzsteigerungen bei konventionellen Fahrzeugen, unterscheidet sich zwischen den Herstellern und hängt neben den grundsätzlichen Produktportfolios und Käuferzielgruppen auch vom Entwicklungsniveau und strategischen Entscheidungen der Hersteller ab. Dennoch ergibt sich durch das Festsetzen auf ein bestimmtes CO₂-Minderungsniveau indirekt die ökonomische und gegebenenfalls auch technische Notwendigkeit, den Anteil elektrischer Fahrzeuge unter den Neuzulassungen zu erhöhen.

Eine Möglichkeit, die Anforderungen bezüglich des Marktanteils elektrischer Fahrzeuge transparenter zu gestalten und klarer zu formulieren, ist die Einführung eines verpflichtenden Mindestanteils („Quote“) für elektrische Fahrzeuge. Je nach Ambitionsniveau der Mindestverpflichtung können daraus unterschiedliche Wirkungen entstehen.

Die verpflichtende Quote für elektrische Fahrzeuge kann derart niedrig gewählt werden, dass durch die Formulierung des Flottenzielwerts ein höherer Anreiz entsteht, elektrische Fahrzeuge in den Markt zu bringen als durch die Mindestverpflichtung. In diesem Fall stellt die Quote „nur“ sicher, dass eine Mindestmenge an elektrischen Fahrzeugen zwar zugelassen wird, eine höhere Marktdurchdringung aufgrund des gesetzten Zielwerts aber wahrscheinlich ist. Der Planungsrahmen für die Fahrzeughersteller und die Ladeinfrastrukturentwicklung sowie die sonstige Rahmensetzung für den Umstieg auf elektrische Fahrzeuge wäre somit sehr viel klarer als ohne die Quote für elektrische Fahrzeuge.

Bei einer sehr ambitioniert gesetzten Neuzulassungsquote für elektrische Fahrzeuge würde die Anreizwirkung für elektrische Fahrzeuge über die durch den Flottenzielwert angereizte Entwicklung hinausgehen. Die Struktur der Neuzulassungen hinsichtlich der Antriebstechnologien würde maßgeblich über die Mindestverpflichtung für elektrische Fahrzeuge gesteuert werden. Ein sehr klarer Rahmen für die Fahrzeughersteller, Ladeinfrastrukturbetreiber und nationale Politikakteure wäre so gegeben. Indirekt würden sich in diesem Fall aber auch die Anforderungen an Effizienzverbesserungen für konventionelle Fahrzeuge verringern und gegebenenfalls die Formulierung eines CO₂-Flottenzielwerts obsolet machen. Selbstverständlich wäre auch die Flexibilität für unterschiedliche Strategien zur Zielwerterfüllung für die Fahrzeughersteller eingeschränkt.

Ein geeigneter Kompromiss aus erhöhter Planungssicherheit für die Akteure im Umfeld elektrischer Fahrzeuge und Flexibilität zur Zielerreichung könnte es sein, über einen ambitionierten Zielwert zwar im relevanten Maßstab zur CO₂-Minderung im Verkehrssektor

beizutragen, den Fahrzeugherstellern jedoch auch im gewissen Rahmen Flexibilität im Produktportfolio zu gewähren. In Kombination mit einer eher weniger stark ausgeprägten Neuzulassungsquote für elektrische Fahrzeuge würde jedoch ein Mindestmaß an Planungssicherheit für alle Akteure im Umfeld elektrischer Fahrzeuge entstehen und einen Einstieg in neue Fahrzeugtechnologien und den mittel- bis langfristig notwendigen Strukturwandel der Automobilindustrie garantieren.

3.2.5 Konditionierung der CO₂-Emissionszielwerte anhand der Entwicklung Rahmenbedingungen für elektrische Fahrzeuge (Vorschlag des VDA)

Mit seiner Positionierung zur Fortführung der CO₂-Emissionsstandards für Pkw und LNF forderte der Verband der Automobilindustrie (VDA) die verbindliche Konditionierung der CO₂-Emissionszielwerte an die Entwicklung der Rahmenbedingungen für elektrische Fahrzeuge (VDA 2018). Anhand fest vorgegebener Faktoren, mit denen die Rahmensetzung für die Marktentwicklung elektrischer Fahrzeuge abgebildet werden, soll spätestens beim Mid-Term Review der Regulierung (siehe Abschnitt 3.2.2) der für das Jahr 2030 bestimmte Zielwert auf die Entwicklung der Elektromobilität angepasst werden¹⁷. Ein detaillierter Vorschlag, welche quantitativen Faktoren das sein könnten und wie eine solche direkte Kopplung der Rahmenbedingungen an die Minderungsanforderungen aussehen könnte, ist im Positionspapier des VDA nicht gegeben. Eine quantitative Bewertung des Einflusses der Rahmenbedingungen auf den Anteil elektrischer Fahrzeuge an den Neuzulassungen ist im Gegensatz zu qualitativen Einschätzungen auch nicht möglich. Zudem hat die Automobilindustrie durch ihre Angebotspolitik (z. B. Angebotsportfolio der Elektrofahrzeuge, Vertrieb von Wallboxen für die Ladung, Investitionen in Ladeinfrastruktur und Service-Dienstleistungen rund um die Elektromobilität) durchaus auch Einfluss auf die Rahmenbedingungen des Marktes für elektrische Fahrzeuge. Eine direkte Kopplung des Zielwerts der Regulierung mit den Rahmenbedingungen würde der Automobilindustrie demnach Spielraum geben, den Zielwert der CO₂-Regulierung direkt zu beeinflussen.

Das gewählte Vorgehen in Regulierung (EU) 2019/631, im Jahr 2023 ein Review der Regulierung durchzuführen und dabei unter anderem verschiedene Aspekte zur Marktentwicklung elektrischer Fahrzeuge zu analysieren, entspricht zwar nicht exakt dem vom VDA geforderten Vorgehen. Der Review im Jahr 2023 soll sich aber unter anderem spezifisch mit den Rahmenbedingungen für Elektromobilität auseinandersetzen.

3.3 Umgang mit der Umstellung der Emissionsbestimmung bei der Fahrzeugzulassung auf den WLTP

In Folge der steigenden Abweichungen der bei der Zulassung deklarierten CO₂-Emissionswerte zu den realen CO₂-Emissionen bei der Nutzung der Fahrzeuge (u. a. Tietge et al. 2017) wurde beschlossen, die CO₂-Emissionsstandards auf das neue Testverfahren WLTP umzustellen. Dabei soll die Emissionsbestimmung nach dem WLTP eine geringere Abweichung der bei der Typenzulassung bestimmten Emissionswerte gegenüber den real anfallenden Emissionen sicherstellen. Die WLTP-Emissionswerte werden beim identischen Fahrzeug also höher sein als im bisher für die Zulassung eingesetzten NEFZ.

Das in der vorangegangenen Regulierung implementierte Prinzip der „vergleichbaren Anstrengungen“ für die Umstellung auf eine neue Testprozedur wurde bei der Überführung der

¹⁷ Die Position des VDA setzt eine Reduktionsanforderung von ca. 20 % als geeignet an, wenn die Elektromobilität sich im erwartbaren Rahmen entwickelt. Der Vorschlag der EU-Kommission sah die Minderungsanforderung von 30 % gegenüber 2021 vor.

Regulierung in den WLTP so interpretiert, dass die Hersteller bis zum Jahr 2020, unabhängig von den steigenden Realemissionsabweichungen, denselben Aufwand für die Zielerreichung betreiben müssen wie ohne Umstellung auf das neue Zulassungsverfahren. Im Endeffekt wird dadurch die potenziell höhere Effektivität der Regulierung erst mit der Umstellung auf den WLTP möglich.

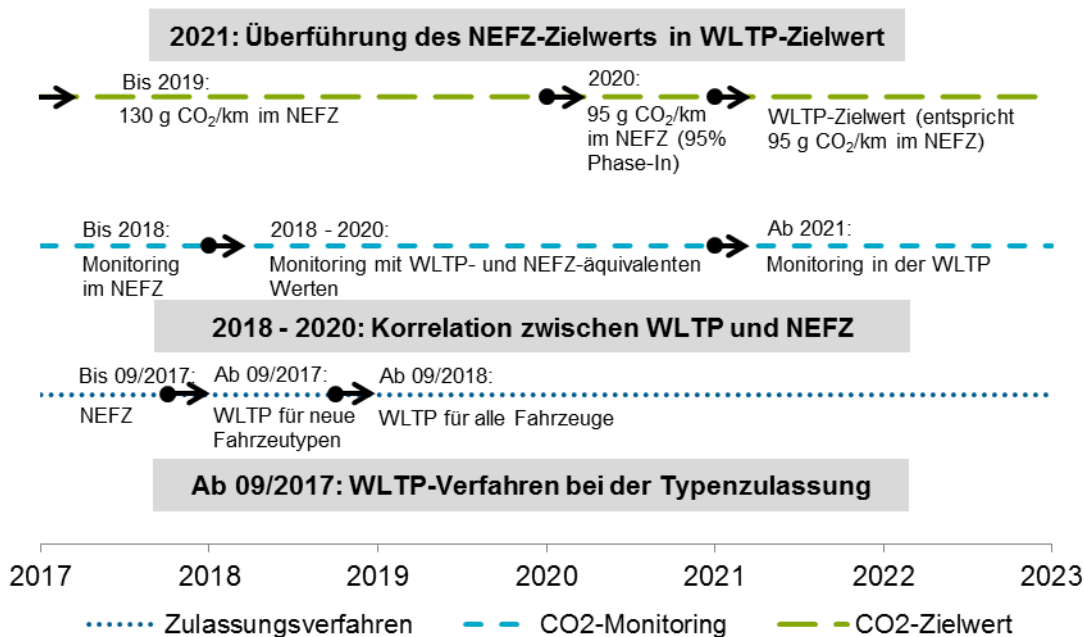
Für die regulatorische Ausgestaltung entstand daraus die Herausforderung, bis zum Jahr 2020 die Regulierung weiterhin im bekannten System des NEFZ zu belassen, für den Zeitraum ab dem Jahr 2021 die Regulierung allerdings im WLTP fortzuschreiben (siehe auch Abbildung 2). Da der Emissionsunterschied der einzelnen Fahrzeuge zwischen dem NEFZ und WLTP nicht im Voraus bekannt sein wird, musste der Zielwert für die Folgejahre nach 2020 bestimmt werden, ohne den ab dem Jahr 2021 geltenden, neuen Zielwert im WLTP (abgeleitet aus 95 g CO₂/km im NEFZ) zu kennen. Als weitere Herausforderung kommt hinzu, dass seit September 2017 das WLTP-Testverfahren für neue Fahrzeugtypen bei der Typenzulassung zum Einsatz kommt, so dass NEFZ-Emissionswerte erst über das CO₂MPAS¹⁸-Simulationstool berechnet werden müssen.

Als Folge der Umstellung der CO₂-Emissionsstandards auf den WLTP ändert sich die Formulierung des Ambitionsniveaus im Vergleich zu den bisherigen Emissionsstandards für die Folgejahre nach 2020. Da der in WLTP-Emissionen umgerechnete, ab dem Jahr 2021 gültige Zielwert nicht bekannt ist, wird die Minderungsanforderung in der Regulierung (EU) 2019/631 erstmalig als relatives Minderungsziel gegenüber dem Zielwert des Jahres 2021 formuliert. Daraus folgt allerdings auch, dass der Umrechnung des Zielwerts von 95 g CO₂/km (NEFZ) auf einen vergleichbaren Wert im WLTP eine enorme Bedeutung zukommt. Je höher der in den WLTP umgerechnete Zielwert im Jahr 2021 ausfällt, desto höher sind die zukünftigen absoluten Emissionszielwerte.

Das Umrechnungsverfahren in den WLTP-Zielwert ist in Anhang 1 der Fortschreibung der CO₂-Emissionsstandards nach 2020 zu finden. Der für das im Jahr 2020 im NEFZ gegebene Zielwert von 95 g CO₂/km wird über das über alle Fahrzeuge gewichtete Verhältnis der im Zulassungsverfahren angegebenen WLTP- und NEFZ-Emissionswerte des Jahres 2020 in einen WLTP-Zielwert für das Jahr 2021 überführt. Daraus folgt, dass die Höhe der zukünftigen CO₂-Emissionszielwerte von diesem Korrelationsfaktor im Jahr 2020 abhängt. Auf die daraus entstehende Problematik für die Wirksamkeit der CO₂-Regulierung wird im nächsten Abschnitt eingegangen. Vertieft sind die Problematik und mögliche Lösungsansätze in weiteren Papieren und Blog-Einträgen dargestellt (Kasten 2018a, 2018b; Kasten & Blanck 2017).

¹⁸ CO₂MPAS: Vehicle simulator predicting NEDC CO₂ emissions from WLTP

Abbildung 2: Schematischer, zeitlicher Überblick für die Umstellung der CO₂-Emissionsstandards für Pkw auf den WLTP



Quelle: Kasten und Blanck (2017)

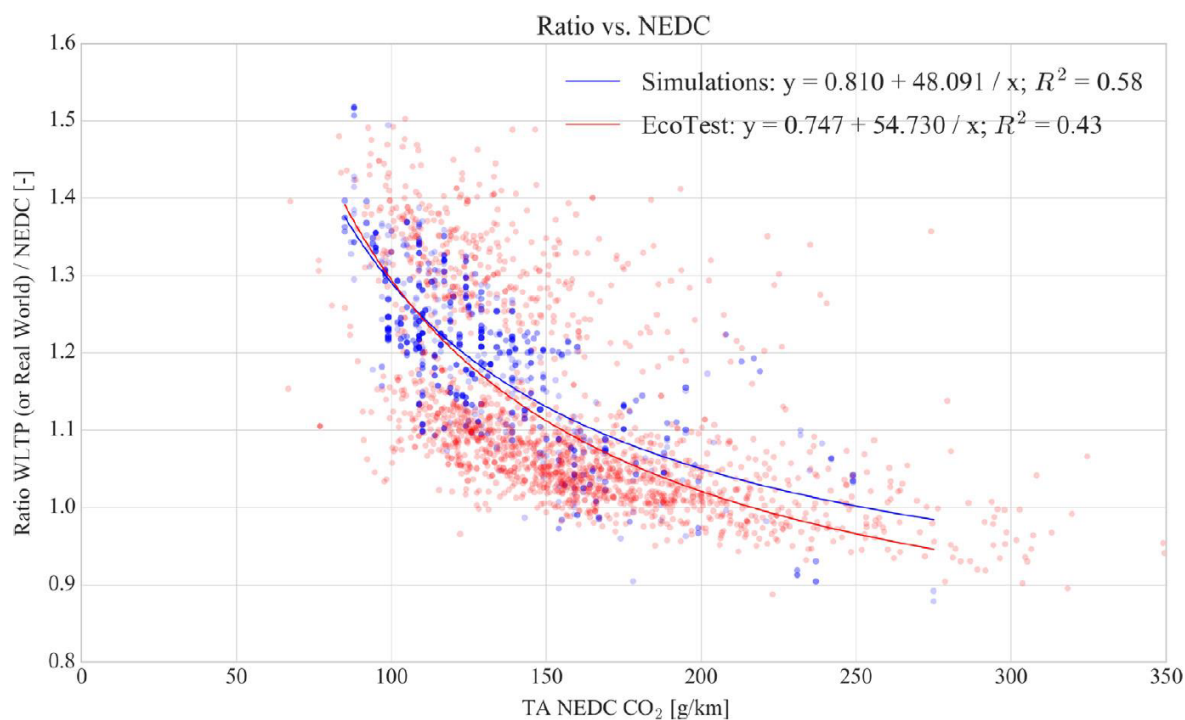
3.3.1 Unsicherheit für die Effektivität der CO₂-Emissionsstandards durch die Umstellung auf den WLTP

Die zukünftigen CO₂-Emissionszielwerte nach 2020 beziehen sich auf den im WLTP angegebenen Zielwert des Jahres 2021. Da dieser sich wiederum aus dem Verhältnis zwischen WLTP und NEFZ der im Jahr 2020 zugelassenen Fahrzeuge ergibt, sind die CO₂-Emissionswerte im NEFZ und WLTP der im Jahr 2020 erstmalig zugelassenen Pkw und LNF, wie oben erwähnt, von enormer Bedeutung für die langfristige Effektivität der CO₂-Regulierung. Die Fahrzeughersteller besitzen durch die langfristige Auswirkung eines hohen WLTP zu NEFZ Verhältnisses im Jahr 2020 einen sehr großen Anreiz, im Jahr 2020 Fahrzeuge zuzulassen, die möglichst hohe Emissionswerte im WLTP und gleichzeitig möglichst geringe CO₂-Emissionen im NEFZ aufweisen. Es ist daher davon auszugehen, dass die Fahrzeughersteller im Jahr 2020 eine Angebots- und Preisstrategie für ihre Pkw und LNF entwickeln, die die Möglichkeiten für ein möglichst hohes WLTP zu NEFZ-Verhältnis ausschöpfen. Auch scheint es plausibel, dass Phase-In des neuen Zielwerts im Jahr 2020 für eine Optimierung des WLTP zu NEFZ Verhältnisses zu nutzen. Da 5 % der Pkw je Hersteller im Jahr 2020 nicht für die Berechnung des durchschnittlichen Flottenemissionswerts eines Herstellers herangezogen werden, können diese 5 % der Fahrzeuge unter anderem für die Optimierung des WLTP zu NEFZ Verhältnisses genutzt werden.

Simulationen für WLTP und NEFZ-Emissionswerte des Neuzulassungsbestands des Jahres 2015 weisen darauf hin (Tsiakmakis et al. 2017), dass sich das WLTP zu NEFZ-Verhältnis stark zwischen verschiedenen Fahrzeugen unterscheidet und mit fallenden NEFZ-Emissionswerten tendenziell zunimmt. Im Bereich des ab dem Jahr 2020 gültigen Zielwerts von 95 g CO₂/km (NEFZ) sind die Emissionswerte im WLTP ca. 1,3 Mal höher als im NEFZ (Abbildung 3). Im Durchschnitt über alle Fahrzeuge bestimmen Tsiakmakis et al. (2017) ein CO₂-Emissionsverhältnis zwischen WLTP und NEFZ von 1,22. Einen ähnlichen Wert (1,21) nimmt die

EU-Kommission in ihrer Wirkungsabschätzung (EC 2017) für den im November 2017 veröffentlichten Regulierungsvorschlag an. Durch die Optimierungsmöglichkeiten der Fahrzeughersteller erscheint es allerdings plausibel, dass das WLTP zu NEFZ-Verhältnis im Jahr 2020 höhere Werte im Schnitt aufweisen wird. In einem Vergleich der beiden Zulassungsverfahren NEFZ und WLTP bestimmt das ICCT einen Umrechnungsfaktor von nur 1,05 – 1,07 (Mock et al. 2014), der sich aus den Unterschieden der Emissionsbestimmung in beiden Verfahren einstellt. Höhere Umrechnungsfaktoren – die eher für das Jahr 2020 realistisch sind – sprechen also dafür, dass durch die Umstellung auf den WLTP und die gewählte Fortschreibung der Zielwerte ein Teil der Realemissionsabweichung legitimiert wird und sich dies in den höheren Emissionszielwerten im WLTP widerspiegelt.

Abbildung 3: Verhältnis zwischen WLTP- und NEFZ-Emissionen für die Neufahrzeuge des Jahres 2015 in Abhängigkeit der Höhe der NEFZ-Emissionen



Quelle: Tsiakmakis et al. (2017)

Im Verlauf der Diskussionen über die Umstellung der Emissionsstandards von NEFZ auf WLTP wurde zudem deutlich, dass die Fahrzeughersteller eine weitere, einfache Möglichkeit besitzen könnten, möglichst hohe WLTP zu NEFZ-Werte zu erzielen. Die deklarierten NEFZ- und WLTP-CO₂-Emissionswerte sind im Rahmen des Zulassungsverfahrens zwar so limitiert, dass sie nicht im relevanten Maßstab unter denen auf dem Prüfstand gemessenen Werten liegen dürfen; für zu hoch deklarierte Werte besteht allerdings keine Limitierung. So wäre es möglich gewesen, unabhängig von der Emissionsmessung auf dem Fahrzeugprüfstand, hohe WLTP-CO₂-Emissionswerte bei der Fahrzeugzulassung zu deklarieren. Da die deklarierten – und nicht die gemessenen – Emissionswerte für die CO₂-Emissionsstandards herangezogen werden sollten, hätten die Fahrzeughersteller auf einfache Art und Weise die Möglichkeit besessen, den WLTP zu NEFZ-Emissionswert im Jahr 2020 möglichst hoch zu gestalten.

Aus diesem Grund wurde die Herleitung für die Flottenzielwerte ab dem Jahr 2025 vom Vorschlag der EU-Kommission zur Verordnung (EU) 2019/631 derart geändert, dass bei der Zielwertfortschreibung die beim WLTP-Zulassungsverfahren gemessenen CO₂-Emissionswerte

und nicht die deklarierten Werte als Basis dienen. Die herstellerspezifischen Zielwerte der Jahre 2021 bis 2024 beziehen sich jedoch weiterhin auf die deklarierten WLTP-Emissionswerte.

Eine weitere Möglichkeit, die Effektivität der CO₂-Regulierung hinsichtlich der Umstellung auf den WLTP möglichst hoch zu gestalten, wäre es, das Verhältnis zwischen WLTP und NEFZ-Emissionswerten auch nach 2020 weiter aufzuzeichnen. Ein sinkendes Verhältnis ist durch die zu erwartende Optimierung der Emissionswerte auf den WLTP zu erwarten. Die somit ansteigende Lücke zwischen WLTP- und Realemissionen könnte durch geeignete Anpassungsmechanismen indirekt adressiert werden (Kasten 2018a).

3.4 Die Wirkung des Anreizmechanismus für niedrig und Nullemissionsfahrzeuge (gemäß Vorschlag der EU-Kommission)

Die EU-Kommission sieht gering emittierende Pkw und LNF (ZLEV¹⁹), die als Fahrzeuge mit einem CO₂-Ausstoß von weniger als 50 g CO₂/km definiert sind und im Wesentlichen alle Arten an elektrischen Fahrzeugen²⁰ umfassen, als einen zentralen Baustein für die Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele der EU, aber auch für eine zukünftig erfolgreiche Industriepolitik. Ein Ziel der CO₂-Regulierung ist es demnach auch, eine Lenkungswirkung für den Markthochlauf der ZLEV für alle Stakeholder im Umfeld der Elektromobilität (z. B. Automobilindustrie, Ladeinfrastrukturbetreiber, Fahrzeugnutzer) zu entfalten, um einen Anreiz für die benötigten Investitionen und den Verbrauchern eine Richtungssicherheit bezüglich zukünftiger Technologien zu vermitteln.

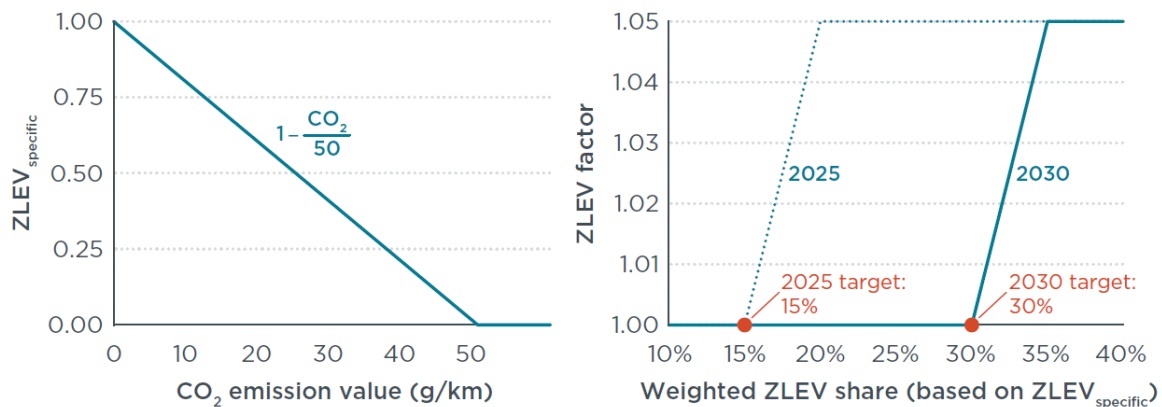
3.4.1 ZLEV-Anreizsetzung im Vorschlag der Kommission

Im Vorschlag der EU-Kommission zur Fortführung der CO₂-Regulierung war daher ein zusätzlicher Anreiz für ZLEV eingefügt: Im Gegensatz zur bisherigen Anreizsetzung, die ZLEV über Multiplikatoren in der Durchschnittsberechnung der Flottenemissionswerte einen zusätzlichen Minderungswert zuspricht, wird in dem Vorschlag der EU-Kommission ab einem gewissen Zulassungsanteil an ZLEV der herstellerspezifische CO₂-Zielwert um maximal 5 % erhöht (Bonus). Die Zulassungsanteile, ab denen sich die Zielwerte nach dem Vorschlag der EU-Kommission erhöhen (Benchmarks), sind 15 % im Jahr 2025 und 30 % im Jahr 2030 (siehe Abbildung 4). Je nach Prozentpunkt der Überschreitung des jeweiligen Benchmarks erhöht sich dabei der herstellerspezifische Flottenzielwert um 1 %. Die ZLEV sollen dabei in Abhängigkeit der CO₂-Emissionen der Fahrzeuge unterschiedlich stark in die Berechnung der für den Benchmark relevanten ZLEV-Zulassungsanteile eingehen. Vollständig emissionsfreie Fahrzeuge gehen im Vorschlag der EU-Kommission in der Berechnung des Benchmarks als ein Fahrzeug ein; die übrigen ZLEV sollen entsprechend einer linearen Gewichtungsfunktion (50 g CO₂/km entspricht der Gewichtung 0) bei der Bestimmung der ZLEV-Zulassungsanteile Berücksichtigung finden.

¹⁹ ZLEV: zero and low emitting vehicles

²⁰ Wie in Abschnitt 3.2 umfasst der Begriff elektrische Fahrzeuge rein batterieelektrische, Plug-In Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeuge.

Abbildung 4: Schematische Darstellung der Gewichtung von ZLEV-Fahrzeugen in der Berechnung der ZLEV-Neuzulassungsanteile (links) und der Berechnung des Bonus bei Überschreitung der notwendigen ZLEV-Benchmarks (rechts); Vorschlag der EU-Kommission



Quelle: Dornoff et al. (2018)

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung der EU-Kommission (EC 2017) werden zwei weitere Optionen als ZLEV-Anreizsystem diskutiert:

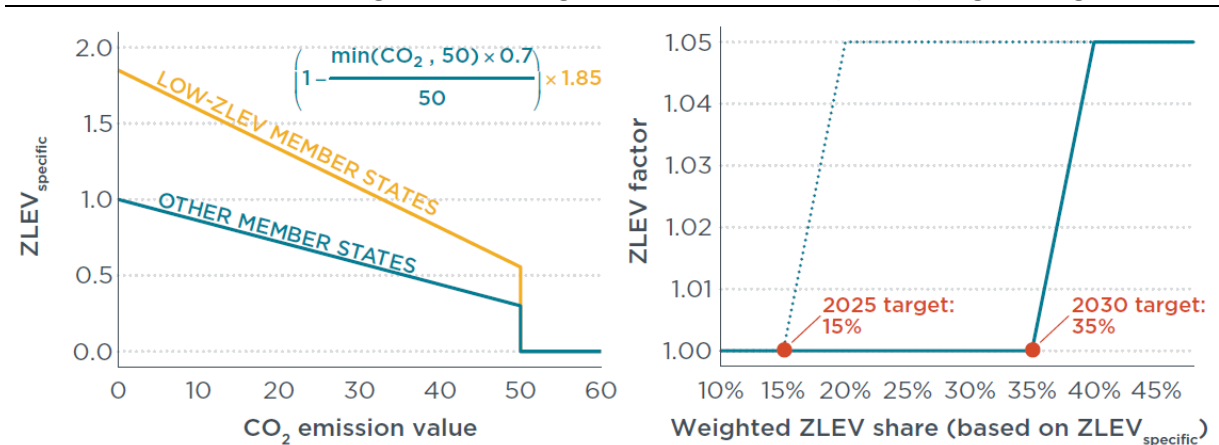
- ▶ Erweiterung des Benchmarksystems um eine Malus-Komponente, die zu höheren Minderungsanforderungen für die übrigen, zumeist verbrennungsmotorischen Pkw führt, wenn die gesetzten Benchmarks für die ZLEV-Anteile nicht erreicht werden: zusätzlich zu dem Bonus von maximal 5 % (siehe Vorschlag der EU-Kommission) soll der Zielwert um maximal 5 % gesenkt werden (Malus), wenn die geforderten Benchmarks für die ZLEV nicht erreicht sind.
- ▶ Verpflichtende Quote für einen Mindestanteil an ZLEV bei den Pkw-Zulassungen (siehe auch Abschnitt 3.2.4): Dieser Mechanismus wird in der Wirkungsabschätzung allgemein ohne die Nennung eines konkreten Zielwerts für die verpflichtende Quote diskutiert.

Im Gegensatz zur Ausgestaltung des Kommissionsvorschlags wird in der Wirkungsabschätzung das Anreizsystem mit Bonus- und Maluskomponente als das am besten geeignete Anreizinstrument für die CO₂-Emissionsstandardsetzung empfohlen. Im Vergleich dazu schneidet das für den EU-Kommissionsvorschlag ausgewählte Anreizsystems ohne Maluskomponente in der Bewertung der Wirkungsabschätzung als das am wenigsten effektive Instrument ab, da es bei niedrigen ZLEV-Anteilen unter der jeweiligen Benchmark keinen Anreiz zur Erhöhung der ZLEV-Anteile entfaltet. Die höchste Effektivität für die Marktentwicklung der ZLEV wird in der Wirkungsabschätzung der EU-Kommission der verpflichtenden Quote zugesprochen, wobei die geringe Flexibilität für die Hersteller und der fehlende Anreiz, den ZLEV-Anteil über die Quote hinaus zu erfüllen, als negative Aspekte eingeschätzt werden. Die Wahl des ZLEV-Anreizmechanismus im Vorschlag der EU-Kommission entspricht also nicht der Empfehlung der Wirkungsabschätzung.

In der beschlossenen Regulierung (EU) 2019/631 ist der Anreizmechanismus leicht anders als im Kommissionsvorschlag ausgestaltet, wobei durch das höhere Ambitionsniveau der Regulierung ab dem Jahr 2030 im Allgemeinen ein höherer Anreiz entsteht, ZLEV zuzulassen. Für ZLEV-Zulassungen in Mitgliedsstaaten mit heute niedrigen Zulassungsanteilen an ZLEV-Fahrzeugen gelten höhere Gewichtungsfaktoren (zusätzlicher Faktor 1,85) für die Berechnung

der ZLEV-Anteile. Zudem ist die lineare Gewichtungsfunktion generell flacher und endet bei dem Wert 0,3 bzw. 0,555 (Zulassung in Mitgliedsstaaten mit heute niedrigem ZLEV-Anteil) für Fahrzeuge mit CO₂-Emissionen von 50 g CO₂/km (Abbildung 5). Zusätzlich wurde der Benchmark in der Pkw-Regulierung für das Jahr 2030 auf 35 % leicht angehoben. Die folgende Diskussion der Anreizsetzung für ZLEV bezieht sich durch den Beratungskontext jedoch im Wesentlichen auf den Vorschlag der EU-Kommission. Mögliche Wirkungen einer verpflichtenden Zulassungsquote für elektrische Fahrzeuge sind dabei ebenfalls nicht aufgeführt, da die Einführung einer solchen Quote im politischen Prozess nicht als durchsetzbar eingeschätzt wurde.

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Gewichtung von ZLEV-Fahrzeugen in der Berechnung der ZLEV-Neuzulassungsanteile (links) und der Berechnung des Bonus bei Überschreitung der notwendigen ZLEV-Benchmarks (rechts); Regulierung 2019/631



Quelle: ICCT (2019)

3.4.2 Wirkungsbewertung des ZLEV-Mechanismus

Die Anreizwirkung möglicher ZLEV-Anreizsysteme ergibt sich aus den Auswirkungen auf das für die Zielerreichung notwendige THG-Ambitionsniveau der sonstigen, zumeist verbrennungsmotorischen Fahrzeuge. Dabei gilt immer das Grundprinzip: Je höher das Emissionsniveau für die verbrennungsmotorischen Fahrzeuge (ICEV²¹) durch den ZLEV-Mechanismus bei der Zielerfüllung sein kann und je weniger Kosten dadurch für die CO₂-Minderung in den Nicht-ZLEV entstehen, desto stärker ist der Anreiz, ZLEV in den Markt zu bringen. Da die zu erreichende CO₂-Minderung in der Herstellerflotte offensichtlich auch mit den über den Zielwert definierten Minderungsanforderungen zusammenhängt, kann der entstehende Anreiz für ZLEV auch immer nur in Verbindung mit dem jeweiligen Zielwert der CO₂-Regulierung bewertet werden.

Offensichtlich ist auch, dass mit den gewählten Anreizmechanismen die Effektivität der Regulierung geringer wird, weil das übergreifende Ambitionsniveau durch die Reduktion der Minderungsanforderungen bei den übrigen Nicht-ZLEV sinkt. Aus diesem Grund sind in der vorhergegangenen Regulierung für den Zeitraum von 2020 bis 2022 Mengenlimits für die Nutzung der Multiplikatoren für ZLEV gegeben. Dasselbe Prinzip entsteht durch die Begrenzung des Bonus auf maximal 5 % im Vorschlag der EU-Kommission und in der beschlossenen Regulierung (EU) 2019/631.

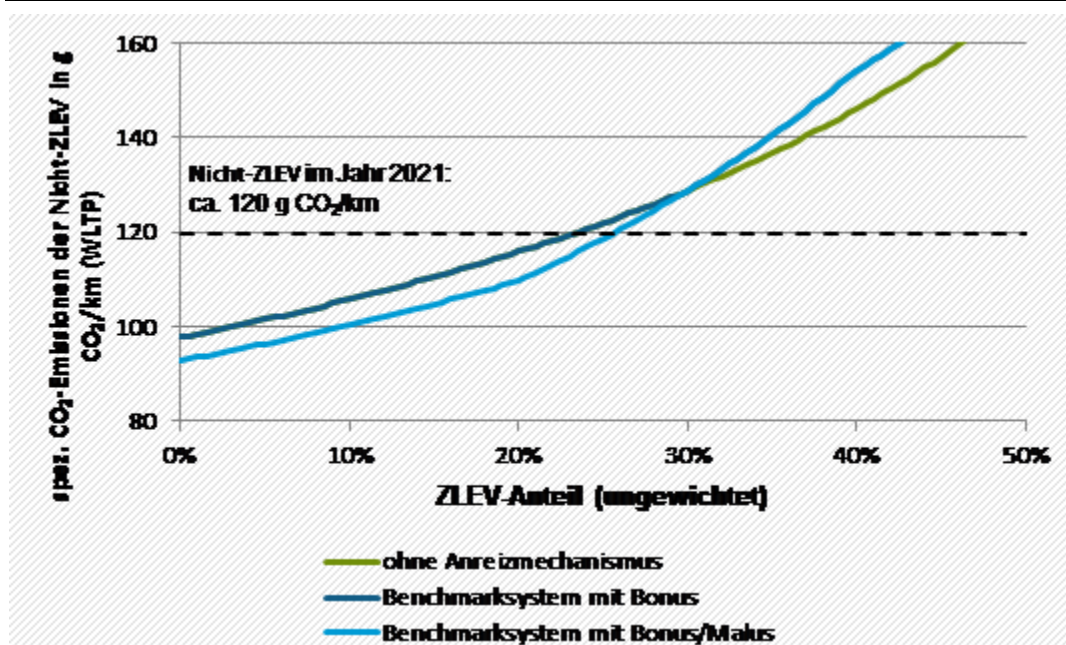
Die im Kommissionsvorschlag gewählten Benchmarks für ZLEV-Anteile sind mit der in Abbildung 4 abgebildeten Berechnungsmethodik als ambitionierte, aber machbare Benchmarks

²¹ ICEV: Internal Combustion Engine Vehicles

einzuschätzen. Sie liegen in der Größenordnung der im Jahr 2018 vorliegenden Roadmaps der Hersteller für den Zulassungsanteil elektrischer Fahrzeuge. Liegen die durchschnittlichen CO₂-Emissionen der ZLEV eines Herstellers bei 25 g CO₂/km, muss ein Hersteller im Jahr 2025 einen ZLEV-Anteil (ohne Gewichtung nach Abbildung 4) von 30 % bei den Zulassungen besitzen, um die Benchmark zu erreichen. Im Jahr 2030 steigt der ungewichtete ZLEV-Anteil unter denselben Annahmen auf 60 %, wenn der Benchmark erreicht werden soll. Die in der Wirkungsabschätzung und in Begleitstudien gezeigten Roadmaps vieler Fahrzeughersteller für elektrische Fahrzeuge liegen in dieser Größenordnung, so dass die Höhe der Benchmarks für ein Anzelelement grundsätzlich geeignet erscheint.

Eine hilfreiche Art, die Anreizwirkung für ZLEV durch spezifische Fördermechanismen abzuschätzen und einzuordnen, ist die Berechnung des durchschnittlichen CO₂-Emissionsniveaus der durch den Anreizmechanismus nicht geförderten Fahrzeuge, mit dem die Zielwerte der Regulierung genau eingehalten werden. Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen diese Werte für die im Kommissionsvorschlag definierten CO₂-Minderungsanforderungen (2025: -15 % gegenüber 2021; 2030: -30 % gegenüber 2021) in Abhängigkeit des ungewichteten Anteils an ZLEV. Als durchschnittlicher CO₂-Emissionswert der ZLEV wird dabei jeweils von 25 g CO₂/km ausgegangen.

Abbildung 6: Notwendiges CO₂-Emissionsniveau für Nicht-ZLEV in Abhängigkeit des ZLEV-Anteils (keine Gewichtung nach Kommissionsvorschlag) bei CO₂-Minderungsniveau von 15 % ggü. 2021 (Kommissionsvorschlag für das Jahr 2025)



Annahmen: WLTP/NEFZ-Umrechnungsfaktor: 1,21; ZLEV-Anteil im Jahr 2021: 5 %; Durchschnittliche Emissionen der ZLEV-Fahrzeuge: 25 g CO₂/km; Maximaler Bonus/Malus: 5 % (entsprechende Wirkungsabschätzung der EU-Kommission)

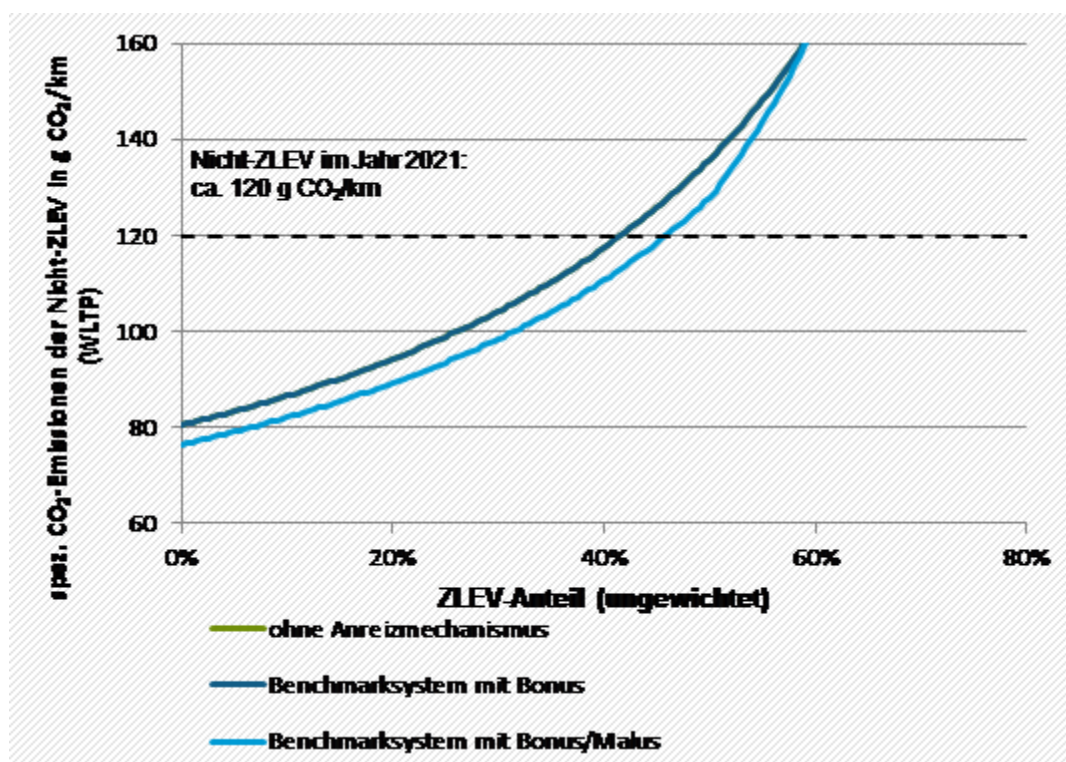
Quelle: Eigene Berechnung

Offensichtlich ist in beiden Abbildungen, dass von dem im Kommissionsvorschlag eingeführte Anreizsystem keine relevante Anreizwirkung ausgeht. Die Benchmarks, ab denen der Bonus auf die Zielwertbestimmung in Kraft tritt, werden erst in einem Bereich der ZLEV-Anteile (ungewichtet) erreicht, in dem durch die Zielwertsetzung für die Nicht-ZLEV ohnehin bereits durchschnittliche Emissionswerte möglich sind, die über den abgeschätzten Emissionswerten für Nicht-ZLEV des Jahres 2021 liegen. Besonders deutlich tritt dieser Effekt für die Berechnungen des Jahres 2030 auf. Die Emissionswerte der Nicht-ZLEV, was in der Mehrheit

verbrennungsmotorische Fahrzeuge sein werden, können demnach höher liegen als im Jahr 2021, wenn die Hersteller die gesetzten Benchmarks des Kommissionsvorschlags erreichen. Der im Vorschlag der Kommission vorgesehene ZLEV-Bonus könnte diesen Emissionsanstieg bei den Nicht-ZLEV gegebenenfalls sogar noch weiter anreizen.

Der Vorschlag der EU-Kommission erzielt also nicht die intendierte Lenkungswirkung. Vielmehr kann daraus abgeleitet werden, dass das gewählte Emissionsminderungsniveau von -15 % bzw. -30 % gegenüber dem Referenzjahr 2021 im Kommissionsvorschlag wenig ambitioniert ist, wenn die Fahrzeughersteller ihre bis zum Jahr 2018 angekündigten Roadmaps für elektrifizierte und elektrische Fahrzeuge einhalten. Eine solche Marktentwicklung elektrischer Fahrzeuge könnte bei dieser Ausgestaltung also dazu führen, dass die CO₂-Emissionen bei den Nicht-ZLEV nicht weiter sinken und gegebenenfalls sogar wieder ansteigen.

Abbildung 7: Notwendiges CO₂-Emissionsniveau für Nicht-ZLEV in Abhängigkeit des ZLEV-Anteils (keine Gewichtung nach Kommissionsvorschlag) bei CO₂-Minderungsniveau von 30 % ggü. 2021 (Kommissionsvorschlag für das Jahr 2030)



Annahmen: WLTP/NEFZ-Umrechnungsfaktor: 1,21; ZLEV-Anteil im Jahr 2021: 5 %; Durchschnittliche Emissionen der ZLEV-Fahrzeuge: 25 g CO₂/km; Maximaler Bonus/Malus: 5 % (entsprechende Wirkungsabschätzung der EU-Kommission)

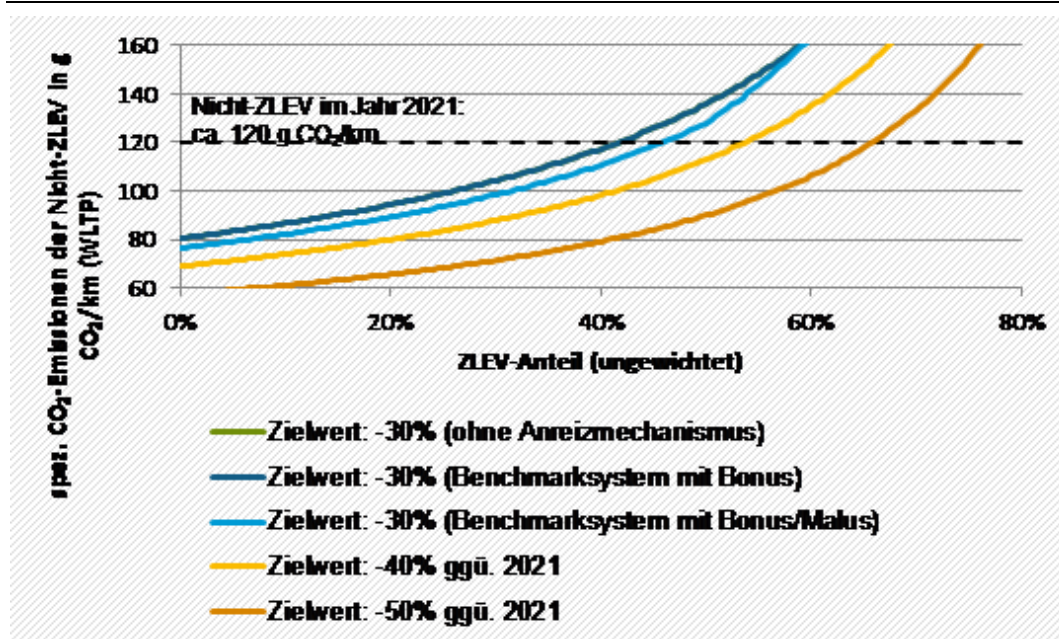
Quelle: Eigene Berechnung

In den Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen sich auch prinzipiell die Vorteile eines Anreizsystems, welches bei Verfehlung der Benchmarks für die ZLEV-Anteile durch einen Malus bei der Zielwertberechnung einen Anreiz schafft, mehr ZLEV in den Markt zu bringen. Bei ZLEV-Anteilen unter der Benchmark müssen die übrigen Fahrzeuge eine stärkere CO₂-Minderung aufweisen, um die Zielwerte einzuhalten. Indirekt wirkt dieser Malus wie eine höhere CO₂-Minderungsanforderung und es entsteht ein zusätzlicher Anreiz, ZLEV-Fahrzeuge zuzulassen. Ein Anreiz entsteht jedoch vor allem in dem Bereich der ZLEV-Anteile, in dem der Malus für die Zielwertberechnung sich reduziert und bei Überschreiten des Benchmarks in den Bonus bei der Zielwertberechnung übergeht. In diesem Bereich führt jedes in den Markt gebrachte ZLEV zu

einer überproportional starken Reduktion des CO₂-Minderungsniveaus bei den übrigen Fahrzeugen.

Das geringe Ambitionsniveau des Regulierungsvorschlags würde allerdings auch in dieser Ausgestaltungsoption dazu führen, dass sich die Anreizwirkung nicht vollständig entwickelt. Bei den Betrachtungen für das Jahr 2025 (-15 % gegenüber 2021) liegt die Zone, in der sich eine starke Anreizwirkung entfaltet, zwar noch in der Größenordnung der Nicht-ZLEV-Emissionen des Jahres 2021; in Abbildung 7, die die im Kommissionsvorschlag vorgesehene Minderungsanforderung des Jahres 2030 darstellt, entwickelt sich die Zone mit hoher Anreizwirkung für steigende ZLEV-Anteile erst dann, wenn die Nicht-ZLEV-Emissionen bereits hohe Emissionswerte aufweisen können. Letztlich würde ein Benchmarksystem mit Malus-Komponente bei den im Kommissionsvorschlag gesetzten Zielwerten wie ein leicht verschärfter Zielwert wirken.

Abbildung 8: Notwendiges CO₂-Emissionsniveau für Nicht-ZLEV in Abhängigkeit des ZLEV-Anteils (keine Gewichtung nach Kommissionsvorschlag) bei verschiedenen CO₂-Minderungsniveaus



Annahmen: WLTP/NEFZ-Umrechnungsfaktor: 1,21; ZLEV-Anteil im Jahr 2021: 5 %; Durchschnittliche Emissionen der ZLEV-Fahrzeuge: 25 g CO₂/km; Maximaler Bonus/Malus: 5 % (entsprechende Wirkungsabschätzung der EU-Kommission)

Quelle: Eigene Berechnung

Im Endeffekt stellt sich damit die Frage, inwieweit zusätzliche Anreizsysteme für ZLEV-Fahrzeuge notwendig und hilfreich sind, solange sie keine verbindlichen Zulassungsquoten für ZLEV-Fahrzeuge umfassen. Abbildung 8 zeigt die für die Zielerfüllung notwendigen CO₂-Emissionen der Nicht-ZLEV bei verschiedenen Emissionszielwerten der CO₂-Regulierung. Bei denselben Anrechnungsregeln ist offensichtlich, dass durch niedrigere Emissionszielwerte automatisch ein stärkerer Anreiz entsteht, ZLEV-Fahrzeuge zuzulassen und in den Markt zu bringen.

Es lässt sich also schlussfolgern, dass niedrige Emissionszielwerte prinzipiell die bessere Variante sind, ZLEV zu fördern als spezifische Förderoptionen im Rahmen der Regulierung (Ausnahme: Mindestverpflichtung für ZLEV-Anteile). Durch die Interaktion mit den Emissionsanforderungen an Nicht-ZLEV besteht immer das Risiko, dass Nicht-ZLEV-Fahrzeuge wesentlich höhere CO₂-Emissionen aufweisen und sich die Effektivität der Regulierung

gegenüber der Wirkung alleine durch den Zielwert reduziert. Aus diesem Grund sind diese spezifischen Fördererelemente für ZLEV in der Regel auch immer in ihrer Anrechenbarkeit (z. B. maximaler Anstieg des CO₂-Zielwerts um 5%) regulatorisch begrenzt.

3.5 Wirkung des Ambitionsniveaus auf Kosten und THG-Minderung

Die EU-Kommission formuliert im Rahmen der Wirkungsabschätzung der CO₂-Regulierung für Pkw und LNF (EC 2017) drei spezifische Ziele für die Fortführung der Regulierung:

- ▶ Beitrag für Einhaltung der THG-Minderungsverpflichtungen, die sich aus dem Pariser Abkommen des Jahres 2015 ergeben,
- ▶ Reduzierung der Energiekosten für die Fahrzeugnutzer sowie eine kosteneffiziente CO₂-Reduktion bei Pkw und LNF,
- ▶ Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Automobilindustrie.

Im Kontext der Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Automobilindustrie verweist die EU-Kommission dabei auf die CO₂-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsstandards in anderen Weltregionen und die daraus angereizte Transformation zu sehr niedrig emittierenden ZLEV. Sie sieht dies als die zentrale Herausforderung für die Automobilindustrie in Europa an (siehe Diskussion um Anreizwirkung für ZLEV in Abschnitt 3.4) und gibt der Lenkungswirkung hin zu ZLEV im Kommissionsvorschlag und in der Wirkungsabschätzung eine große Bedeutung. Die Zielparameter für die anderen beiden Zielaspekte sind mit der Höhe der THG-Emissionen und der Kostenrechnung aus höheren Technologie-, aber niedrigeren Energiekosten offensichtlich. Die Hauptwirkung auf diese beiden Zielparameter, aber auch auf die Transformationsanforderung an die Automobilindustrie ergibt sich, wie auch die Lenkungswirkung für höhere ZLEV-Anteile (siehe Abschnitt 3.4), aus dem Zielwert der CO₂-Regulierung.

Für die Entscheidungsfindung in Deutschland, in deren Kontext dieses Vorhaben stattfand, waren selbstverständlich ähnliche Zielparameter relevant. Der Zielrahmen für die Diskussion um die Fortführung der CO₂-Regulierung für Pkw und LNF war wesentlich durch den im Jahr 2016 beschlossenen Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung (BMUB 2016) geprägt. In diesem ist unter anderem vorgesehen, die THG-Emissionen des Verkehrssektors um 40-42 % gegenüber den Emissionen des Jahres 1990 zu reduzieren. Das selbst gesetzte Ziel wurde im Wesentlichen aus den auf der EU-Ebene eingegangenen Minderungsverpflichtungen in den Nicht-Emissionshandelssektoren hergeleitet, welche sich aus der Lastenverteilung der Mitgliedsstaaten für diese Sektoren ergibt. Deutschland muss gemäß der Lastenverteilungsverordnung seine THG-Emissionen in diesen Sektoren um 38 % gegenüber dem Jahr 2005 verringern. Werden die Minderungsanforderungen nicht im eigenen Land erzielt, kann ein Ausgleich durch den Zugriff auf THG-Minderungsmengen anderer Mitgliedsstaaten stattfinden.

Die Wirkungsabschätzung der EU-Kommission (EC 2017) umfasst Analysen für Ambitionsniveaus der 20 %igen Minderung bis zu einer 50 %igen Minderung im Jahr 2030 gegenüber den Zielwerten im Jahr 2021. Die Analysen zeigen unter anderem mögliche Effizienzentwicklungen und Antriebstechnologien bei den Neuzulassungen, Abschätzungen zu THG-Emissionen und Kostenrechnungen für die gesellschaftlichen Folgekosten und die Kosten der Fahrzeugnutzung. Zudem existieren weitere Studien, die in der Bewertung der verschiedenen Ambitionsniveaus und mögliche Auswirkungen auf europäischer Ebene herangezogen werden können. Für die deutsche Perspektive stand die THG-Minderungswirkung im Mittelpunkt der Beratung. Szenariorechnungen mit dem Modell TEMPS (siehe Kapitel 2.1)

bilden daher die Grundlagen für die Analysen zur CO₂-Minderungswirkung verschiedener Ausgestaltungsoptionen des Ambitionsniveaus in Deutschland.

3.5.1 Wirkung auf die gesellschaftlichen und die Nutzerkosten

Die gesellschaftlichen und Nutzerkosten sind zwei sehr relevante Parameter für die Bewertung verschiedener Zielwertniveaus. Da die Technologiekosten einen wesentlichen Einfluss auf die Kostenberechnungen haben, sind die in Abschnitt 3.1 gezeigten Kostenannahmen für CO₂-Minderungstechnologien entscheidende Parameter für die Kostenrechnungen. Sind die zusätzlichen Fahrzeugkosten hoch, wie beispielsweise bei Krause et al. (2017), steigt die Bedeutung des Fahrzeugkaufs in den Kostenrechnungen. Werden niedrigere Kostenannahmen wie beispielsweise in Hill et al. (2016) und Meszler et al. (2016) angenommen, verlieren die Kosten beim Fahrzeugkauf an Bedeutung. In diesem Fall spielt die Höhe der Kosteneinsparungen durch eine verbesserte Effizienz eine größere Rolle in der Kostenrechnung. Ähnliches gilt für die Variation der Kraftstoff- und Stromkosten. Prinzipiell gewinnen Effizienzgewinne dann an Relevanz in der Kostenrechnung, wenn die Energiekosten hoch sind.

Dornoff et al. (2018) vergleichen in Tabelle 1 die gesellschaftlichen Folgekosten der Fortführung der CO₂-Emissionsstandards für verschiedene Ambitionsniveaus der Regulierung. Dabei stellen sie die Kostenrechnung der EU-Kommission aus EC (2017), die sich auf die mittleren Kostenannahmen des DIONE-Modells (Krause et al. 2017) beziehen und eigene Kostenrechnungen nebeneinander. Den eigenen Kostenrechnungen des ICCT liegen die Mittelwerte der Kostenannahmen des Szenario „low“ and „high“ aus Meszler et al. (2016) zugrunde. Bei Einbeziehung der vermiedenen Kosten durch den geringeren CO₂-Ausstoß wird deutlich, dass die Gesellschaft durch die Fortführung der CO₂-Emissionstandards unabhängig vom Ambitionsniveau der Emissionsstandards profitiert, da sich in allen untersuchten Szenarien ein relevanter gesellschaftlicher Nutzen einstellt, indem sich die gesellschaftlichen Kosten reduzieren. Der gesellschaftliche Nutzen, der sich durch die stärkere Marktdurchdringung von ZLEV bei hohen Ambitionsniveaus durch geringere Luftschadstoffemissionen einstellt, ist dabei nicht berücksichtigt.

Tabelle 1: Gesellschaftliche Folgekosten/Kostenvorteile durch die CO₂-Emissionsstandards für Pkw bei unterschiedlichen CO₂-Minderungspfaden

| Senkung des CO ₂ -Zielniveaus (2021-2030) | EC: Zusätzliche Fertigungskosten in 2030 (EUR/Pkw) | ICCT: Zusätzliche Fertigungskosten in 2030 (EUR/Pkw) | Einsparungen für Nutzung und Wartung in 2030 (EUR/Pkw) | Vermiedene Co ₂ -Kosten in 2030 (EUR/Pkw) | EC: Nettovorteil in 2030 (EUR/Pkw) | ICCT: Nettovorteil in 2030 (EUR/Pkw) |
|--|--|--|--|--|------------------------------------|--------------------------------------|
| 20 % | 419 | 264 | 1.221 | 303 | 1.105 | 1.260 |
| 30 % | 1.020 | 691 | 1.898 | 451 | 1.329 | 1.658 |
| 40 % | 1.812 | 927 | 2.377 | 593 | 1.158 | 2.043 |
| 50 % | 2.752 | 1.163 | 2.750 | 728 | 726 | 2.315 |
| 70 % | | 1.636 | 4.000 | 1.000 | | 3.364 |

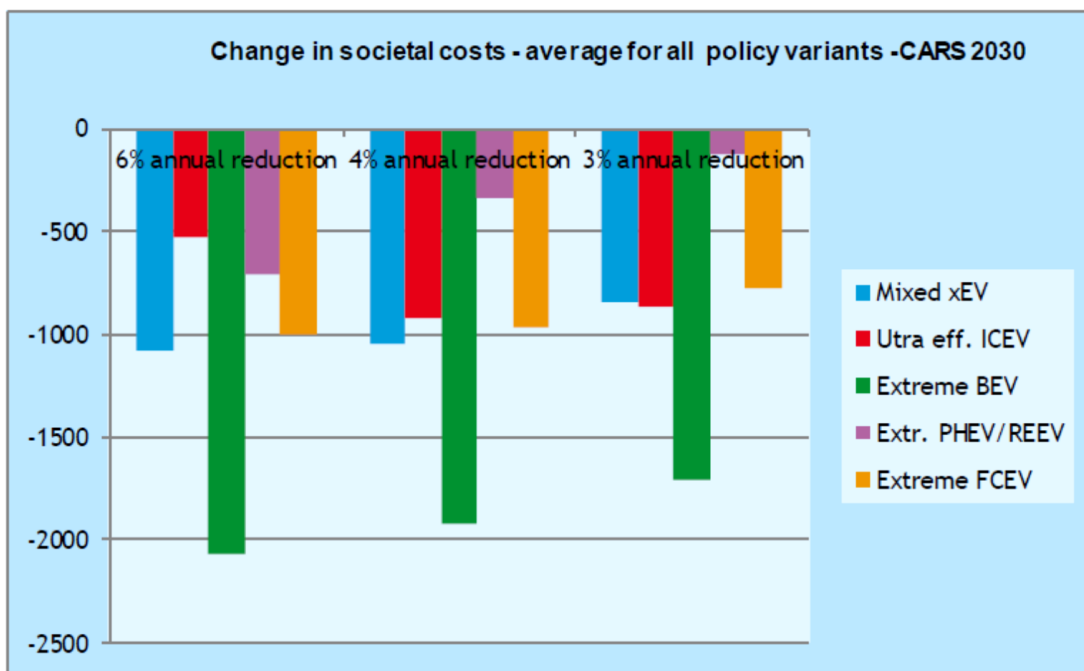
Quelle: Daten nach Dornoff et al. (2018)

Die unterschiedlichen Kostenannahmen für die CO₂-Minderungstechnologien in den in Tabelle 1 dargestellten Kostenrechnungen führen allerdings zu einem wesentlichen Unterschied. Bei den

eher hohen Kostenannahmen des DIONE-Modells sinkt der gesellschaftliche Nutzen bei höheren Ambitionsniveaus der CO₂-Regulierung wieder leicht ab: Bei den niedrigeren Kostenannahmen für die CO₂-Minderungstechnologien ist ein steigendes CO₂-Minderungsniveau auch immer mit einem steigenden Nutzen verbunden.

Weitere Kostenrechnungen finden sich in van Essen et al. (2017). Diese nutzen die Kostenannahmen aus Hill et al. (2016) und berechnen die gesellschaftlichen Kosten, ohne sich auf konkrete Regulierungsvorschläge zu beziehen, für verschiedene CO₂-Minderungspfade. Dabei nehmen sie eine unterschiedliche Zusammensetzung der Antriebstechnologien bei Neuzulassungen an, um die zusätzliche Auswirkung der unterschiedlich starken Marktdurchdringung verschiedener Antriebskonzepte aufzuzeigen. In diesen Berechnungen sind maximale gesellschaftliche und private Kosteneinsparungen bei den höchsten CO₂-Minderungsraten (6 % jährliche CO₂-Minderung vs. 3 % jährliche CO₂-Minderung) zu erkennen (Abbildung 9 und Abbildung 10).

Abbildung 9: Gesellschaftliche Folgekosten / Kostenvorteile verschiedener CO₂-Minderungspfade bei verschiedener Struktur der Antriebstechnologien bei neuzugelassenen Pkw

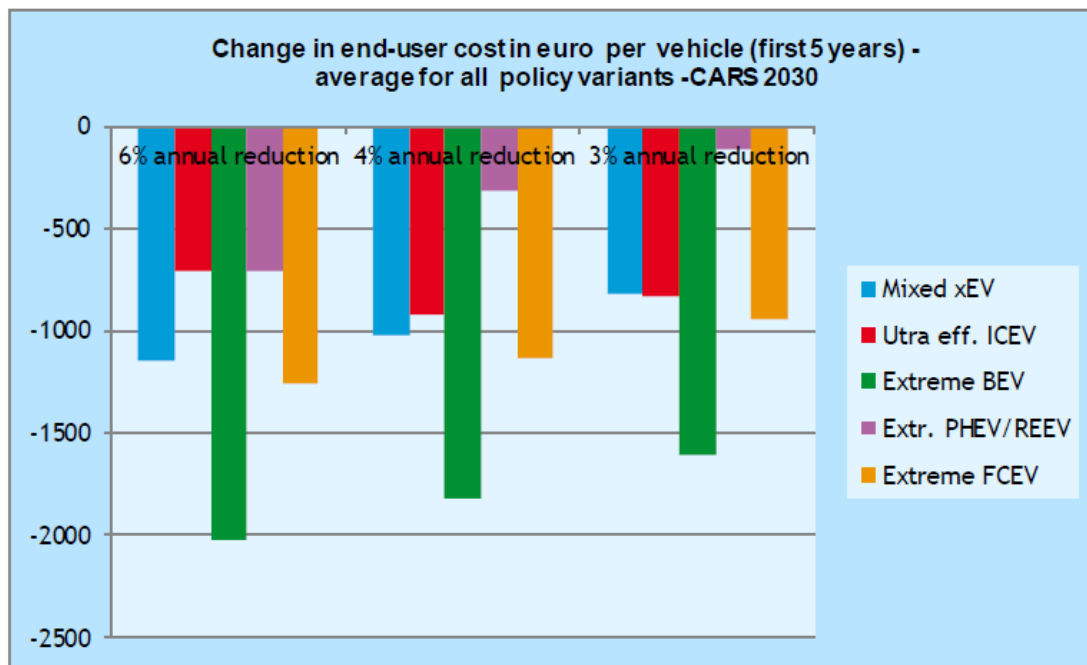


Quelle: van Essen et al. (2017)

In den Berechnungen in van Essen et al. (2017) lässt sich ein weiterer Effekt erkennen: Das Szenario „ultra eff. ICEV“, in dem die CO₂-Minderung im starken Maße über verbrennungsmotorische Pkw erreicht wird, weist bei hohen CO₂-Minderungsraten als einziges Szenario einen sinkenden gesellschaftlichen Nutzen auf. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die zusätzlichen Kosten für eine CO₂-Minderung bei den verbrennungsmotorischen Pkw extrem stark ansteigen und in der Kostenrechnung der Effekt der höheren Herstellungskosten den Effekt der Verringerung der Energiekosten übersteigt. Es zeigt sich also, dass mit der Nutzung von batterieelektrischen Pkw für relevante CO₂-Minderungen am stärksten die gesellschaftlichen Kosten in Kosten-Nutzen-Rechnungen reduziert werden können (siehe auch Szenariovergleich „Extreme BEV“ vs. alle anderen Szenarien). Eigene Analysen während der Beratung des BMU/UBA zeigen denselben Trend.

Für die Nutzerkosten zeigen sich ähnliche Trends, weshalb die in verschiedenen Studien durchgeführten TCO-Rechnungen für verschiedene CO₂-Minderungsniveaus weniger detailliert präsentiert werden. Aus der Perspektive der Fahrzeugnutzer bekommt der Fahrzeugpreis eine größere Bedeutung als in der Berechnung der gesellschaftlichen Kosten. Dies folgt aus der eher kurzen Pkw-Haltedauer der Erstnutzer. Die Kostenrechnungen aus van Essen et al. (2017) weisen ebenfalls daraufhin, dass höhere CO₂-Minderungspfade mit niedrigeren Kosten für die Fahrzeugnutzer verbunden sind, solange die CO₂-Minderung nicht im wesentlichen Maßstab über verbrennungsmotorische Fahrzeuge erreicht wird.

Abbildung 10: Veränderung der Nutzerkosten (TCO) für Neufahrzeuge für verschiedene CO₂-Minderungspfade bei verschiedener Struktur der Antriebstechnologien



Quelle: van Essen et al. (2017)

Die Kostenrechnungen zeigen, dass mit der Fortführung der CO₂-Emissionsstandards, gesellschaftliche Kosten reduziert werden und diese mit niedrigeren Nutzungskosten von Pkw einhergehen. Bei eher hohen CO₂-Minderungsanforderungen sinkt der ökonomische Nutzen nur dann ab, wenn eher hohe Kostenannahmen für CO₂-Minderungstechnologien angenommen werden. Bei niedrigeren Annahmen für die Technologiekosten steigt der gesellschaftliche Nutzen mit steigenden Anforderungen an die CO₂-Minderung. Die Reduktion der Energiekosten überwiegt dabei gegenüber den höheren Technologiekosten. Offensichtlich ist auch, dass die Nutzung von ZLEV in CO₂-Minderungsszenarien strukturell den gesellschaftlichen Nutzen steigert und die Nutzungskosten von Pkw reduziert.

3.5.2 Wirkung auf die THG-Emissionen des Verkehrs in Deutschland

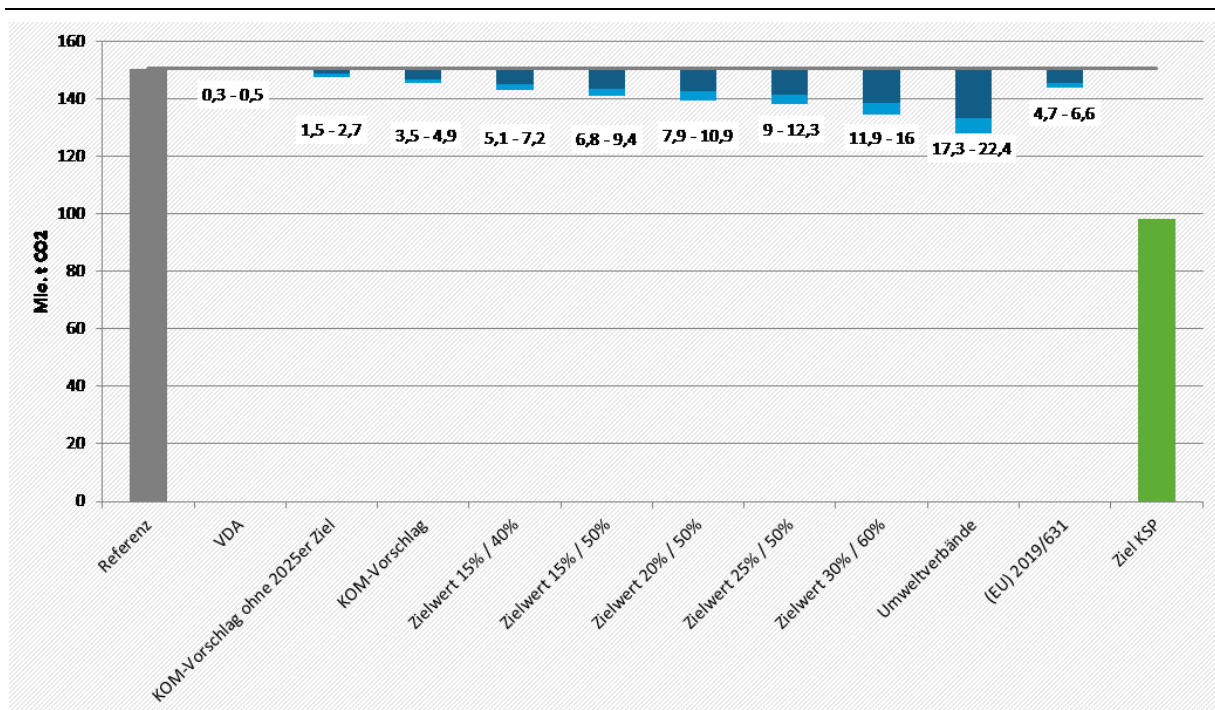
Für die Beratung des UBA und des BMU stand die Wirksamkeit der CO₂-Emissionstandards in Bezug auf die THG-Emissionsminderung des Verkehrssektors in Deutschland im Mittelpunkt. Für diese Analysen kam das Szenariomodell TEMPS (siehe Kapitel 2.1) zum Einsatz, welches zur Abschätzung der Wirkung von Politikinstrumenten auf den Verkehrssektor in Deutschland genutzt wird.

Die Ausgangsbasis der Wirkungsanalyse ist ein Referenzszenario, welches die bestehenden politischen Rahmenbedingungen zum Zeitpunkt der Modellierung mit aufgenommen hat. Diese

sogenannte Referenzentwicklung für die Bewertung der Wirkung bei Fortführung der CO₂-Emissionsstandards entspricht dem Referenzszenario, welches das Öko-Institut im Vorfeld für die Wirkungsabschätzung des Klimaplanes 2050 vorgenommen hat. Im Jahr 2030 weist dieses Referenzszenario CO₂-Emissionen im Verkehrssektor von 150,3 Mio. t auf. Da das im Klimaschutzplan 2050 verankerte Ziel für das Jahr 2030 bei 95 – 98 Mio. t CO₂ liegt, weist das Referenzszenario eine Lücke von mehr als 50 Mio. t CO₂ auf, die über Klimaschutzmaßnahmen im Jahr 2030 zu erfüllen sind.

Im Mittelpunkt der Debatte stand demnach, welche CO₂-Minderungswirkung von der Fortführung der CO₂-Emissionsstandards für Pkw und LNF ausgeht. Neben dem Kommissionsvorschlag, der als Zielsetzung für die Jahre 2025 und 2030 die CO₂-Minderung von 15 % bzw. 30 % gegenüber den Emissionswerten des Jahres 2021 vorsieht, wurde die Wirkung weiterer Positionen und möglicher Zielsetzungen analysiert. Die Extreme stellten dabei die Position des VDA (VDA 2018) sowie die gemeinsame Position einiger deutscher Umweltverbände (DUH et al. 2018) dar. Während der VDA in seiner Position für das Jahr 2030 eine Minderung der CO₂-Emissionen um 20 % gegenüber dem Emissionsniveau des Jahres 2021 forderte, sah die Position der Umweltverbände eine Minderung um 70 % der Realemissionen gegenüber dem Jahr 2021 vor. Die Szenarioausgestaltung weiterer möglicher Zielwerte lag zwischen diesen beiden Extremen.

Abbildung 11: CO₂-Minderungswirkung der CO₂-Emissionsstandards für Pkw im Jahr 2030 bei verschiedenen Ambitionsniveaus



Quelle: Eigene Berechnungen

Die Szenariorechnungen mit dem Modellierungstool TEMPS ergeben für den Vorschlag der EU-Kommission eine Minderungswirkung in der Größenordnung 3,5 – 4,9 Mio. t CO₂ für das Jahr 2030 (Abbildung 11). Der Minimalwert der angegebenen Spanne für die Wirkung des Kommissionsvorschlags berücksichtigt dabei den Rebound-Effekt, der sich durch niedrigere Kosten der Pkw-Nutzung einstellt. Beim Maximalwert der angegebenen Minderungswirkung wird diese Reaktion auf die Fahrleistung vernachlässigt. Für den Regulierungsvorschlag des VDA zeigt sich dagegen annähernd keine Minderungswirkung. Die maximale CO₂-

Minderungswirkung wird für den gemeinsamen Regulierungsvorschlag der Umweltverbände bestimmt. Er liegt in der Größenordnung um 20 Mio. t CO₂ für das Jahr 2030.

An der berechneten Minderungswirkung wird deutlich, dass die Fortführung der CO₂-Regulierung für Pkw die Zielerreichung des Klimaschutzplans 2050 zwar unterstützen kann, aber dennoch erhebliche weitere Instrumente für die CO₂-Minderung herangezogen werden müssen, solange nicht Zielwerte in der Größenordnung der Position der Umweltverbände festgeschrieben werden.

Die Regulierung (EU) 2019/631 sieht nach Abschluss der Trilog-Verhandlungen zwischen EU-Rat, dem EU-Parlament und der EU-Kommission für das Jahr 2030 ein höheres Minderungsniveau von 37,5 % gegenüber den Emissionswerten des Jahres 2021 vor. Mit dem Modell TEMPS wird für dieses Ambitionsniveau eine CO₂-Minderung von 4,7 – 6,6 Mio. t CO₂ abgeleitet. Neben der höheren CO₂-Minderung durch das höhere Ambitionsniveau erhöht sich mit Verordnung (EU) 2019/631 aber auch der Anreiz für die Automobilhersteller, die Transformation in Richtung ZLEV zu starten und den ZLEV-Anteil an den Neuzulassungen zu erhöhen.

4 Analysen zu den CO₂-Emissionsstandards für SNF

Die EU-Kommission führt mit der Verordnung (EU) 2019/1242 erstmalig CO₂-Minderungsanforderungen für neu zugelassene SNF ein. Die Ausgangssituation der Gesetzgebung und der vorhandenen Datenverfügbarkeit für Analysen war daher eine völlig andere als die bei der seit vielen Jahren verfolgten Emissionsstandardsetzung für Pkw und LNF. Zusätzlich war der Zeitraum für die Entscheidungsfindung vom Vorschlag der EU-Kommission Mitte des Jahres 2018 bis zur grundsätzlichen Einigung Ende des Jahres 2018 viel kürzer als für die Fortführung der CO₂-Emissionsstandards für Pkw und LNF. Dementsprechend liegen für diese Regulierung auch wesentlich weniger detailliert ausgearbeitete Analysen vor.

4.1 Die grundlegende Ausgestaltung der Emissionsstandards

Unterschiede zur Verordnung für Pkw ergeben sich für die CO₂-Regulierung für Lkw allein schon dadurch, dass der Prozess zur Zulassung und zur Bestimmung der CO₂-Emissionen von SNF anders abläuft als bei Pkw und LNF. Da in der EU bisher zur Einführung der CO₂-Emissionsstandards kein standardisiertes Verfahren zur Bestimmung der CO₂-Emissionen von SNF existierte, wurde mit dem Simulationstool VECTO²² die Grundlage geschaffen, CO₂-Emissionen von SNF vergleichbar zu bestimmen. Die Grundlage für die CO₂-Emissionsstandards bilden also aus Einzelkomponenten und weiteren technischen Angaben (z. B. Motorenkennfelder, Angaben zur Aerodynamik) berechnete Energieverbräuche und CO₂-Emissionen, die für verschiedene Lkw-Typen (und zukünftig auch Busse) mit Standardwerten für die Zuladung und Fahrleistung über verschiedene Nutzungsprofile bestimmt werden. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da Lkw ausgehend vom Basisfahrzeug häufig unterschiedliche Aufbauten und sonstige Umbauten aufweisen, die zu verschiedenen Emissionswerten führen und eine Verbrauchsbestimmung auf Prüfständen für die Gesamtfahrzeuge unverhältnismäßig hoch wäre.

Da die CO₂-Emissionen neuer SNF in der EU erst seit kurzer Zeit mit VECTO erfasst werden, standen weder verlässliche Verbrauchs- und CO₂-Emissionswerte für die Ableitung absoluter Zielwerte für die CO₂-Regulierung zur Verfügung, noch sind bisher alle Arten an SNF in dem Simulationstool VECTO abgebildet. Als Folge werden zum Start der Emissionsstandardsetzung nur bestimmte Lkw-Typen in die Regulierung aufgenommen. Diese repräsentieren rund 80 % der CO₂-Emissionen von Lkw und 65 – 70 % der CO₂-Emissionen aller SNF. Mit dem Review im Jahr 2022 sollen allerdings weitere Untergruppen an SNF in die Regulierung aufgenommen werden, da diese bis dahin in VECTO abgebildet sein werden. Eine weitere Folge ist, dass die EU-Kommission im Regulierungsvorschlag die CO₂-Minderungsanforderungen als ein relatives Minderungsziel gegenüber den neuzugelassenen SNF im Basisjahr 2019 formuliert hat. Diese liegen im Kommissionsvorschlag bei -15 % für das Jahr 2025 und -30 % für das Jahr 2030. Die vorgeschlagenen Zielwerte wurden so auch in die Verordnung (EU) 2019/1242 übernommen.

Die Ausgestaltung der CO₂-Emissionsstandards für SNF weist jedoch weitere Unterschiede gegenüber den Pkw- und LNF-Standards auf. Die wesentlichen Elemente der Regulierung sind:

- Die Referenz für die Regulierung ergibt sich aus den durchschnittlichen CO₂-Emissionen über alle Neuzulassungen im Referenzzeitraum²³. Die Zielwerte und die durchschnittlichen Emissionswerte sind aber herstellerspezifische Werte. Daraus folgt, dass Hersteller mit überdurchschnittlich effizienten Fahrzeugen im Referenzjahr bereits einen Teil der

²² Vehicle Energy Consumption Calculation Tool

²³ Im Trilog wurde der Referenzzeitraum für die Regulierung von Juli 2019 bis Ende Juni 2020 festgelegt.

Minderungsleistung gegenüber der Referenz erbracht haben. Hersteller mit eher hohen Verbräuchen und CO₂-Emissionen im Referenzjahr liegen mit ihren durchschnittlichen Emissionen über dem Referenzwert und müssen die CO₂-Emissionen ihrer Fahrzeugflotte stärker als durch die Zielwerte für Neufahrzeuge vorgegeben, reduzieren.

- ▶ Es wird ein Banking- und Borrowing-System eingeführt. In der Phase bis einschließlich zum Jahr 2024 können „early credits“ für die spätere Nutzung im Zeitraum bis zum Jahr 2029 gesammelt werden. Dafür müssen die durchschnittlichen Emissionen unter der Minderungstrajektorie vom Referenzwert zum ersten Zielwert im Jahr 2025 liegen. Durch das Borrowing müssen die Zielwerte auch nicht im Zieljahr 2025 erreicht werden. Vielmehr müssen die Hersteller bis zum Jahr 2029 einen Ausgleich aus „credits“ und „debts“ nachweisen. Die „credits“ werden in diesem System immer dann erworben, wenn die durchschnittlichen Emissionswerte eines Herstellers unter einer linearen Minderungstrajektorie liegen. „Debts“ laufen auf, wenn die durchschnittlichen Emissionen über dem jeweiligen Zielwert liegen.
Die Begründung für dieses System ist die im Vergleich zu Pkw größere Abhängigkeit von Investzyklen in SNF und der sonstigen wirtschaftlichen Entwicklung.
- ▶ Ein zusätzlicher Anreiz für ZLEV ist auch bei den CO₂-Emissionsstandards für SNF integriert. Bis zum Jahr 2024 besteht die Möglichkeit der Mehrfachanrechnung von ZLEV mit einem Wert zwischen 1 und 2, der sich aus der Höhe der CO₂-Emissionen berechnet. Ab dem Jahr 2025 gilt ein Benchmarksystem, mit dem Hersteller ihre durchschnittlichen CO₂-Emissionen bei Überschreiten des ZLEV-Benchmarks von 2 % verringern können. Die Begrenzung für den maximalen Minderungseffekt bei der Emissionsberechnung für die Hersteller liegt bei 3 %. Im Trilog-Prozess wurde die Möglichkeit, Busse, die heute nicht Teil der Emissionsstandards für SNF sind, für die Anrechnung des ZLEV-Anreizsystems zu nutzen, aus der Regulierung entfernt.
- ▶ Die Pönale liegt im Zeitraum bis 2029 bei 4.250 EUR je g CO₂/tkm an Überschreitung. Im Jahr 2030 steigt diese auf 6.800 EUR je g CO₂/tkm. Umgerechnet auf EUR je CO₂/km liegt die Pönale ab den Jahr 2030 in einer ähnlichen Größenordnung wie die der CO₂-Emissionsstandards für Pkw und LNF.

4.2 Wirkung des Ambitionsniveaus auf Kosten und THG-Minderung

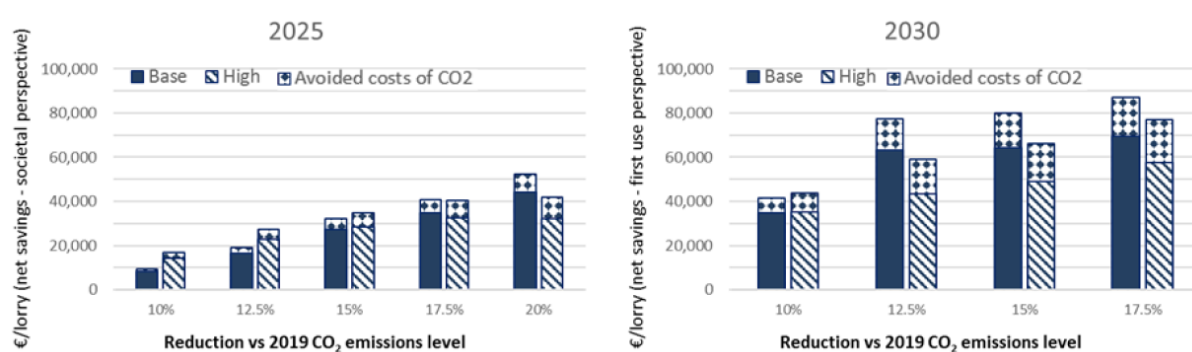
Die EU formuliert dieselben Ziele für die Einführung der CO₂-Emissionsstandards für SNF wie bei den Emissionsstandards für Pkw. Die THG-Minderung und ein kosteneffizientes Transportsystem sind neben Innovationsförderung und der Technologieführerschaft im Bereich der SNF die wesentlichen Treiber für die Einführung der Regulierung. Wie bei den Pkw wird in diesem Bericht auf Kostenrechnungen und die THG-Minderungswirkung eingegangen.

Für Kostenbetrachtungen greifen wir auf die in der Wirkungsabschätzung der Verordnung (EC 2018a) angegebenen Werte zu. Die dort untersuchten Szenarien weisen für das Jahr 2030 CO₂-Minderungsanforderungen von 20 % bis 35 % gegenüber dem Referenzjahr auf. Die THG-Bewertung für Deutschland findet, wie bei den Pkw, mit einer vereinfachten Version des Modellierungstools TEMPS statt.

4.2.1 Wirkung auf die gesellschaftlichen und die Nutzerkosten

Wie bei der Analyse der Pkw-Regulierung sind die gesellschaftlichen Kosten und die Nutzerkosten entscheidende Parameter für die Wirkungsbewertung von Regulierungsvorschlägen. Durch die hohen Fahrleistungen der einzelnen Fahrzeuge im Straßengüterverkehr ist die Relevanz der Energiekosten wesentlich höher als bei den Pkw. Dementsprechend ist es nicht verwunderlich, dass sich sowohl die gesellschaftlichen als auch die Nutzerkosten bei steigendem Ambitionsniveau erheblich in Richtung hoher Kostenvermeidung entwickeln (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13). Die höheren Technologiekosten fallen wegen des geringen Anteils an den Gesamtkosten nicht stark ins Gewicht; die vermiedenen Energiekosten überkompensieren diese erheblich.

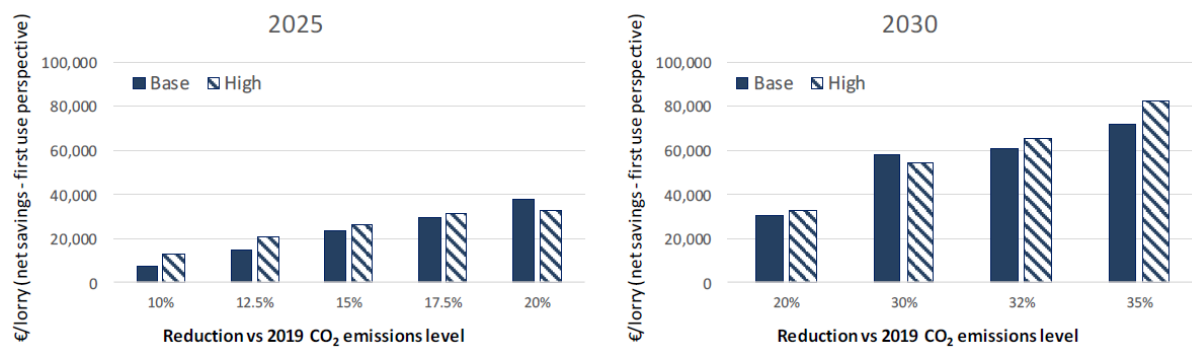
Abbildung 12: Vermiedene gesellschaftliche Kosten (gesellschaftlicher Nutzen) bei verschiedenen Ambitionsniveaus der CO₂-Emissionsstandards für SNF



Die Beschriftung bei der Abbildung für das Jahr 2030 ist falsch. Die korrekte Beschriftung lautet 20 %, 30 %, 32 %, 35 %.
Quelle: European Commission (2018a)

Die Kostenrechnungen in der Wirkungsabschätzung der EU-Kommission nehmen auf zwei unterschiedliche Sets an Kosten Bezug. Die Kostenvariante „base“ bezieht sich auf Begleitstudien für die Ausgestaltung der CO₂-Emissionsstandards für SNF (European Commission 2018b; Krause & Donati 2018). Die Variante „high“ greift Kostenannahmen der Fahrzeughersteller auf. Die für die Kostenrechnungen genutzten Kostenkurven gehen dabei auf aerodynamische und Rollwiderstandsverbesserungen, Gewichtsreduktion und Fahrassistenzsysteme sowie Verbesserungen am Antriebsstrang (Getriebe, Motor und Hybridisierung). Eine Liste der in der Kostenmodellierung angenommenen Technologien ist im Anhang gegeben. Bei den Kostenrechnungen ist zudem zu beachten, dass die kosteneffiziente Zielerreichung in den Modellierungen der EU Kommission auch durch die Zunahme von Lkw, die mit verflüssigtem Erdgas angetrieben werden, erreicht wird. Die generelle Struktur der Ergebnisse bei den Kostenrechnungen unterscheidet sich bei den unterschiedlichen Kostenannahmen in der Struktur jedoch nicht wesentlich voneinander. Dies folgt aus der bereits erwähnten eher geringen Bedeutung der Fahrzeugkosten bei den Kostenrechnungen im Straßengüterverkehr. Die positive Kostenbewertung für ambitionierte Zielwerte für SNF spricht also dafür, die CO₂-Emissionsstandards für SNF ambitioniert auszugestalten.

Abbildung 13: Kosteneinsparungen (TCO) für Erstnutzer bei verschiedenen Ambitionsniveaus der CO₂-Emissionsstandards für SNF



Quelle: European Commission (2018a)

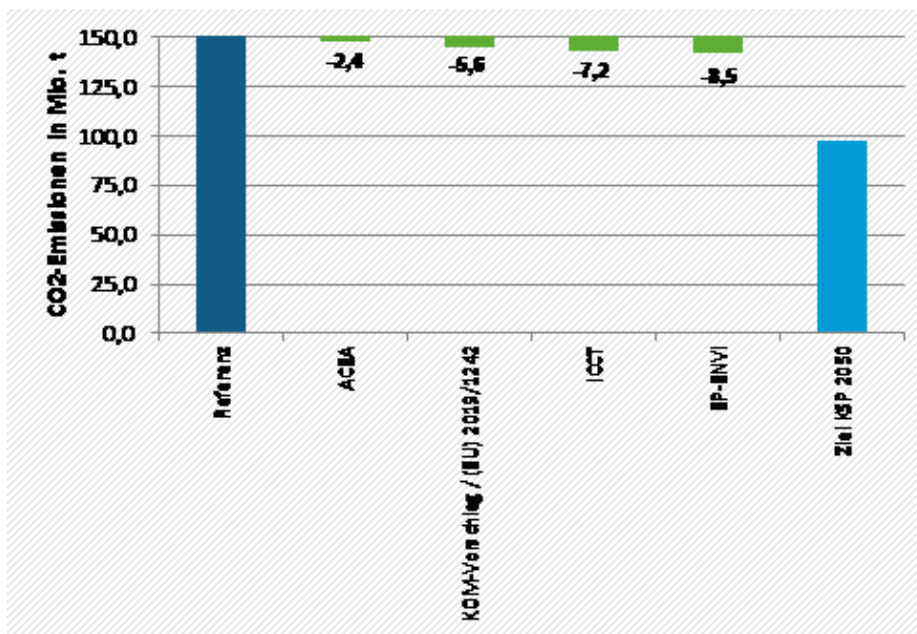
4.2.2 Wirkung auf die THG-Emissionen des Verkehrs in Deutschland

Dasselbe Modellierungstool TEMPS und dasselbe Referenzszenario wie bei der THG-Bewertung der CO₂-Emissionsstandards für Pkw und LNF bilden die Basis für die Analyse der SNF-Regulierung. Insgesamt wurden vier verschiedene Szenarien untersucht, die sich aus den Positionen verschiedener Stakeholder ergeben. Neben der Minderungsanforderung von -15 % (2025) und -30 % (2030) gegenüber dem Referenzwert des Jahres 2019 sind die Zielwerte der untersuchten Szenarien wie folgt:

- ▶ Positionspapier von ACEA (ACEA 2018): -7 % (2025) / -16 % (2030)
- ▶ Politikempfehlung des ICCT (ICCT 2018): -20 % / -35 % (2030)
- ▶ Position des Berichterstatters des Umweltausschuss des EU Parlaments / EP-ENVI: -20 % (2025) / -45 % (2030)

Für die Bewertung der THG-Minderungswirkung durch die CO₂-Emissionsstandards für SNF wird zudem die Annahme getroffen, dass die Möglichkeiten des Banking und Borrowing nicht dazu führen, die notwendige CO₂-Emissionsminderung durch Borrowing auf den Zeitraum nach 2025 zu verschieben. Die untersuchten Szenarien zeigen also den Fall, in dem die Zielwerte der Jahre 2025 und 2030 erreicht werden und eine lineare Abnahme der Emissionen stattfindet. Angereizt durch das System des Banking und Borrowing können sich durch herstellerepezifische Zielerreichungsstrategien auch andere Pfade entwickeln, die zu leicht anderen THG-Minderungsentwicklungen führen. Auch ist, im Gegensatz zur Wirkungsbewertung der Emissionsstandards für Pkw, kein Rebound-Effekt durch die geringeren Nutzungskosten der SNF hinterlegt. Die in Abbildung 14 dargestellten CO₂-Minderungen sind demnach also eher Maximalwerte der THG-Minderungswirkung zu interpretieren.

Abbildung 14: CO₂-Minderungswirkung der CO₂-Emissionsstandards für SNF im Jahr 2030 bei verschiedenen Ambitionsniveaus



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 14 zeigt für den Kommissionsvorschlag und die Verordnung (EU) 2019/1242 eine CO₂-Minderungswirkung von rund 5,5 Mio. t im Jahr 2030. Die CO₂-Minderungswirkung liegt durch die hohe Fahrleistung der SNF und die im Vergleich zu Pkw kürzeren Haltedauern der Lkw trotz der geringeren Zahl an Fahrzeugen bei vergleichbaren Minderungsanforderungen leicht höher als bei den Pkw. Für die Empfehlungen und Vorschläge des ICCT und des Berichterstatters des Umweltausschuss des Europäischen Parlaments steigt die THG-Minderung auf rund 7 bzw. 8,5 Mio. t CO₂ im Jahr 2030. Die Position der ACEA fällt mit der Minderung von rund 2,5 Mio. t CO₂ in der Effektivität ab gegen die anderen untersuchten Vorschläge.

Aus THG-Minderungs- und Kostensicht sind ambitionierte Zielwerte bei den CO₂-Emissionsstandards für SNF demnach zu empfehlen. Die Begrenzung für das Ambitionsniveau der CO₂-Emissionsstandards für SNF leitet sich daher eher aus der Frage der Machbarkeit der Transformationsleistung der Fahrzeughersteller ab. Welche Rolle alternative Antriebskonzepte, wie beispielsweise alle Arten elektrischer Fahrzeuge inklusive Oberleitungs-Lkw, zukünftig bei SNF spielen können, ist derzeit weniger klar als im Bereich der Pkw und LNF. Auch werden bis zum Review im Jahr 2022 neue Lkw-Typen in VECTO abgebildet sein, so dass eine Erweiterung der Regulierung möglich wird. Bessere Abschätzungen zu diesen offenen Punkten werden zukünftig die Ableitung der Zielwerte vereinfachen und gegebenenfalls auch schnellere Raten zur Absenkung der CO₂-Emissionen neuer SNF zulassen.

5 Einordnung der Wirkungen der CO₂-Emissionsstandards für Pkw, LNF und SNF

Die beiden Regulierungen (EU) 2019/631 und (EU) 2019/1242 führen im deutschen Verkehrssektor nach den Analysen in diesem Vorhaben zu einer CO₂-Minderung in der Größenordnung von 10 bis 12 Mio. t CO₂ im Jahr 2030. Sie tragen also zur Verringerung der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor bei. Für Deutschland verbleibt dennoch eine Lücke zum 2050-Ziel des Klimaschutzplans im Verkehrssektor von rund 40 Mio. t CO₂. Aus Kostensicht und im Hinblick der technischen Potenziale wären ambitioniertere Zielwerte als die beschlossenen denkbar und hilfreich für das Erreichen der THG-Niveaus, die sich aus dem Pariser Abkommen, der Lastenverteilungsentscheidung der EU und dem Klimaschutzplan 2050 ergeben. Die Herausforderungen der Transformation der Automobilindustrie hin zu effizienteren Fahrzeugen und auch neuen Antriebstechnologien wurde in der Entscheidungsfindung von einigen Akteuren als derart schwerwiegend eingeschätzt, dass die THG- und Kostenminderungspotenziale der beiden Verordnungen nicht vollständig ausgereizt wurden.

Die nationale Gesetzgebung und Rahmensetzung im Verkehrssektor steht – und das nicht nur in Deutschland - dadurch vor der Herausforderung, über die Einführung und Verschärfung weiterer nationaler Instrumente, die Klimaschutzziele des Verkehrssektors sicherzustellen. Die verbindlichsten Ziele leiten sich für die EU-Mitgliedsstaaten aus den nationalen Verpflichtungen der Lastenverteilung in den Nicht-Emissionshandelssektoren ab. Verschiedene Studien geben für den Status Quo der Gesetzgebung, in dem die Minderung durch die hier analysierten Neufahrzeugregulierungen noch nicht berücksichtigt ist, die Höhe der möglichen finanziellen Belastung, die sich für den deutschen Staatshaushalt durch den Ausgleich der nicht erbrachten THG-Minderung in den Nicht-Emissionshandelssektoren einstellt, von 5 bis 60 Milliarden Euro im Zeitraum 2021 bis 2030 an (Deutsch et al. 2018; Gores & Graichen 2018). Maßnahmen zur Verlagerung des Verkehrs auf effizientere und klimafreundliche Verkehrsmittel und zur Verringerung der Fahrleistung (z. B. CO₂-basierte Energiesteuer, CO₂-basierte Lkw-Maut) sowie die nationale Anreizsetzung für sehr effiziente Neufahrzeuge (z. B. Bonus-Malus-System beim Fahrzeugkauf) müssen demnach eine stärkere Lenkungswirkung entfalten als bei einer möglichen ambitionierteren Zielwertsetzung, um die europäischen und selbst gesetzten nationalen Klimaschutzziele nicht zu gefährden.

Die Auswirkungen auf die Transformation der Automobilindustrie ist aktuell schwierig zu beurteilen, da die beschlossenen Regulierungen zwar einen Impuls für ZLEV und neue Antriebstechnologien liefern, eine wirkliche Richtungssicherheit für die Transformation zu diesen Fahrzeugen aber nicht gegeben ist. Auch andere Fahrzeugmärkte, wie vor allem der chinesische und der US-amerikanische/kalifornische, werden einen erheblichen Einfluss auf die Transformationsherausforderungen der Industrie haben. Wie sich das Ambitionsniveau und die daraus folgende Innovationsherausforderung der EU-weiten Regulierungen im Vergleich zu anderen Neufahrzeugregulierungen einordnen werden, hängt dann auch von der zukünftigen Ausgestaltung von Verbrauchs- und CO₂-Emissionsregulierungen in anderen relevanten, globalen Märkten ab.

6 Quellenverzeichnis

ACEA (European Automobile Manufacturers' Association) (2018): The European Commission proposal on CO₂ standards for new heavy-duty vehicles. ACEA Position Paper. Brussels.

Agora Verkehrswende (Hg.) (2018): Die Fortschreibung der Pkw-CO₂-Regulierung und ihre Bedeutung für das Erreichen der Klimaschutzziele im Verkehr. Öko-Institut (ÖI). Berlin.

BMUB (Bundesministerium für Umwelt Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (Hg.) (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin.

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (BReg) (2017): Projektionsbericht 2017 für Deutschland. gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013.

Deutsch, Matthias; Buck, Matthias; Graichen, Patrick & Vorholz, Fritz (2018): Die Kosten von unterlassenem Klimaschutz für den Bundeshaushalt. Die Klimaschutzverpflichtungen Deutschlands bei Verkehr, Gebäuden und Landwirtschaft nach der EU-Effort-Sharing-Entscheidung und der EU-Climate-Action- Verordnung. Agora Energiewende; Agora Verkehrswende, zuletzt abgerufen am 02.12.2019.

Dornoff, Jan; Miller, Joshua & Mock, Peter, Tietge, Uwe (2018): The European Commission regulatory proposal for post-2020 CO₂ targets for cars and vans: A summary and evaluation. Berlin: International Council on Clean Transportation (ICCT).

DUH, NABU, VCD und BUND (2018): Klimaschutz braucht ambitionierte Verbrauchsgrenzwerte für Pkw, 13.04.2018, online verfügbar unter https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Verkehr/CO2-Minderung/2018-04-13_CO2-Grenzwerte_Positionspapier_final.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2019

EC (European Commission) (2017): Impact Assessment. Accompanying the document Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council setting emission performance standards for new passenger cars and for new light commercial vehicles as part of the Union's integrated approach to reduce CO₂ emissions from lightduty vehicles and amending Regulation (EC) No 715/2007 (recast). Part 1/2. Brussels (SWD(2017), 650 final).

EC (European Commission) (2018a): Impact Assessment. Accompanying the document Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council setting CO₂ emission performance standards for new heavy duty vehicles. SWD (2018) 185 Final. Brussels. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018SC0185&from=EN> , zuletzt geprüft am 22.10.2019.

EC (European Commission) (Hg.) (2018b): Support for preparation of the impact assessment for CO₂ emissions standards for Heavy Duty Vehicles. Final report for 'SR9 Heavy Duty Vehicles CO₂'. TNO innovation for life (TNO); Graz University of Technology; CE Delft; International Council on Clean Transportation (ICCT).

European Automobile Manufacturers' Association (ACEA) (2018): The European Commission proposal on CO₂ standards for new heavy-duty vehicles. ACEA Position Paper, Brussels.

European Environment Agency (EEA), Hrsg.) (2018): Monitoring of CO₂ emissions from passenger cars - Data 2017. Final data, EEA. Verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/co2-cars-emission-16>, zuletzt abgerufen am 20.12.2019.

Gores, Sabine; Graichen, Jakob (2018): Abschätzung des erforderlichen Zukaufs an Annual Emission Allowances bis 2030. Öko-Institut (ÖI). Berlin.

Hill, Nikolas; Windisch, Elisabeth; Kirsch, Felix, Horton, Gareth; Dun, Craig; Hausberger, Stefan; Matzer, Claus; Skinner, Ian; Donati, Alberto V.; Krause, Jette; Thiel, Christian & Wells, Peter W. (2016): Improving understanding of technology and costs for CO₂ reductions from cars and LCVs in the period to 2030 and development of cost curves. Service Request 4 to LDV Emissions Framework Contract. Report for DG Climate

Action Ref. CLIMA.C.2/FRA/2012/0006. Harwell: Ricardo Energy & Environment; TU Graz; Cardiff Business School; Joint Research Centre (JRC).

Hill, Nikolas; Windisch, Elisabeth; Kirsch, Felix; Horton, Gareth; Dun, Craig; Hausberger, Stefan; Matzer, Claus & Skinner, Ian (2015): Improving understanding of technology and costs for CO₂ reductions from cars and LCVs in the period to 2030 and development of cost curves. Service Request 4 to LDV Emissions Framework Contract. Final Report for DG Climate Action - DRAFT. Ricardo-AEA; Technische Universität Graz (TU Graz); Transport and Environmental Policy Research (TEPR), Cardiff Business School.

Holderbaum, Bastian (2015): 2025 Passenger Car and Light Commercial Vehicle Powertrain Technology Analysis (The International Council on Clean Transportation (ICCT), Hrsg.). FEV GmbH.

ICCT (International Council on Clean Transportation) (2018): Recommendations for the proposed heavy-duty vehicle CO₂ standards in the European Union (Position Brief).

Kasten, Peter & Blanck, Ruth (2017): Die Umstellung von NEFZ auf WLTP und deren Wirkung auf die Effektivität und die Fortschreibung der CO₂-Emissionsstandards nach 2020. Berlin: Öko-Institut (ÖI).

Kasten, Peter (2018a): CO₂ emission standards for cars and vans: how to make the switch to a WLTP-based compliance system a success, ÖI. Verfügbar unter <https://blog.oeko.de/co2-emission-standards-for-cars-and-vans-how-to-make-the-switch-to-a-wltp-based-compliance-system-a-success/>.

Kasten, Peter (2018b): CO₂ emission standards for cars and vans: the difficult switch from one test procedure (NEDC) to another (WLTP). Öko-Institut (ÖI). Online verfügbar unter <https://blog.oeko.de/co2-emission-standards-for-cars-and-vans-the-difficult-switch-from-one-test-procedure-nedc-to-another-wltp/>.

Krause, J. & Donati, Alberto V. (2018): Heavy duty vehicle CO₂ emission reduction cost curves and cost assessment – enhancement of the DIONE model. EUR 29284 EN, ISBN 978-92-79-88812-0 (Europäische Kommission (EK), Hrsg.) (JRC Science for Policy Report), Luxembourg.

Krause, Jette; Donati, Alberto V. & Thiel, Christian (2017): Light Duty Vehicle CO₂ Emission Reduction Cost Curves and Cost Assessment - the DIONE Model (JRC Science for Policy Report). Luxembourg: Joint Research Centre (JRC).

Meszler, Dan; German, John; Mock, Peter; Bandivadekar, Anup (2016): CO₂ reduction technologies for the European car and van fleet, a 2025-2030 assessment. Methodology and Summary of Compliance Costs for Potential EU CO₂ Standards. International Council on Clean Transportation (ICCT).

Mock, Peter; Kühlwein, Jörg; Tietge, Uwe; Franco, Vicente; Bandivadekar, Anup & German, John (2014): The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU. Working Paper 2014-9. International Council on Clean Transportation (ICCT).

Öko-Institut e.V. (ÖI); ICCT (2018): Klimaschutz im Verkehr: Maßnahmen zur Erreichung des Sektorziels 2030 (Agora Verkehrswende, Hrsg.), Berlin, zuletzt abgerufen am 27.11.2018.

Schubert, Markus; Kluth, Tobias; Nebauer, Gregor; Ratzenberger, Ralf; Kotzagiorgis, Stefanos; Butz, Bernd; Schneider, Walter & Leible, Markus (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Schlussbericht. Los 3: Erstellung der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen unter Berücksichtigung des Luftverkehrs (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Hrsg.). Freiburg, München, Aachen, Essen: Intraplan Consult (Intraplan); Beratergruppe Verkehr + Umwelt (BVU); Ingenieurgruppe IVV (IVV); Planco Consulting (Planco).

The International Council on Clean Transportation (ICCT) (2019): CO₂ emission standards for passenger cars and light-commercial vehicles in the European Union (POLICY UPDATE).

Tietge, Uwe; Mock, Peter; German, John; Bandivadekar, Anup & Ligterink, Norbert (2017): From laboratory to road: A 2017 update of official and "real-world" fuel consumption and CO₂ values for passenger cars in Europe (White Paper). Berlin: International Council on Clean Transportation (ICCT); TNO innovation for life (TNO).

TNO innovation for life (TNO); Graz University of Technology; CE Delft; International Council on Clean Transportation (ICCT) (2018b): Support for preparation of the impact assessment for CO₂ emissions standards for Heavy Duty Vehicles. Final report for 'SR9 Heavy Duty Vehicles CO₂' (European Commission, Hrsg.).

Tsiakmakis, Stefanos; Fontaras, Georgios; Ciuffo, Biagio & Samaras, Zisis (2017). A simulation-based methodology for quantifying European passenger car fleet CO₂ emissions. *Applied Energy* (199), S. 447–465.

van Essen, Huib; Verbeek, Maarten; Aarnink, Sanne & Smokers, Richard (2017): Assessment of the Modalities for LDV CO₂ Regulations beyond 2020. Delft: CE Delft; TNO innovation for life (TNO).

VDA (Verband der Automobilindustrie) (2018): Mehr Klimaschutz durch eine bessere und umfassendere CO₂-Regulierung für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge für die Zeit nach 2020. Position. Berlin.

A Annahmen zu Kosten- und CO₂-Minderung in Lkw

Für die Herleitung der Kostenkurven für die CO₂-Minderung in Lkw in Krause & Donati (2018) sind in European Commission 2018b die folgenden Annahmen für Einzeltechnologien getroffen. Für die Berechnung von „durchschnittlichen“ Fahrzeugen im Jahr 2025 werden Annahmen getroffen, welche Marktdurchdringung die einzelnen Technologien haben könnten. Für das Jahr 2030 wird angenommen, dass die Kosten der Einzeltechnologien in Abhängigkeit der Komplexität der jeweiligen Technologie in der Zeit 2025 - 2030 zwischen 3,5 % und 10 % sinken.

Tabelle 2: Potenzial zur Kraftstoffverbrauchsminderung einzelner Technologien für Lkw (Gruppe 5)

| Technology | Fuel Consumption reduction to Baseline group 5 | | | | |
|--|--|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| | LongHaul low load | Long Haul representative load | Regional Delivery low load | Regional Delivery representative load | Weighted potential |
| Side and underbody panels at truck chassis | -1.59% | -1.17% | -1.20% | -0.97% | -1.27% |
| Covers for rear truck wheels | -0.47% | -0.34% | -0.37% | -0.23% | -0.37% |
| Closable front grille | -1.59% | -1.17% | -1.20% | -0.97% | -1.27% |
| Aerodynamic mud flaps | -1.78% | -1.34% | -1.42% | -1.09% | -1.44% |
| Movable 5th wheel, shortens the gap cabin to trailer | -0.93% | -0.68% | -0.73% | -0.50% | -0.73% |
| Rear view cameras instead of mirrors | -2.26% | -1.67% | -1.76% | -1.34% | -1.81% |
| Redesign, longer and rounded vehicle front | -2.67% | -1.96% | -2.11% | -1.57% | -2.13% |
| Covers for trailer wheels | -0.67% | -0.49% | -0.53% | -0.35% | -0.53% |
| Rounded front edges of trailer, if so by covers | -2.67% | -1.96% | -2.11% | -1.57% | -2.13% |
| Side and underbody panels at trailer chassis | -4.43% | -3.28% | -3.61% | -2.66% | -3.56% |
| Boat tail by variable height of trailer body | -3.12% | -2.30% | -2.45% | -1.86% | -2.50% |
| Boat tail trailer (50cm) | -3.50% | -2.59% | -2.76% | -2.10% | -2.81% |
| Low rolling resistance tyres on truck/tractor | -5.05% | -6.72% | -4.72% | -5.96% | -6.15% |
| Low rolling resistance tyres on truck/tractor + trailer | -10.45% | -13.84% | -9.56% | -11.12% | -12.60% |
| Tyre pressure monitoring systems (TPMS) on truck | -0.20% | -0.24% | -0.19% | -0.16% | -0.22% |
| Tyre pressure monitoring systems (TPMS) on truck and trailer | -0.34% | -0.45% | -0.32% | -0.30% | -0.41% |

| Technology | Fuel Consumption reduction to Baseline group 5 | | | | |
|--|--|--------|--------|--------|--------|
| Automated tyre inflation systems (ATIS) on truck | -0.20% | -0.24% | -0.19% | -0.16% | -0.22% |
| Automated tyre inflation systems (ATIS) on truck and trailer | -0.39% | -0.52% | -0.35% | -0.34% | -0.47% |
| Wide base single tyres | -0.42% | -0.58% | -0.38% | -0.37% | -0.52% |
| Lightweighting mild reduction rigid truck / tractor | -0.13% | -0.10% | -0.15% | -0.05% | -0.10% |
| Lightweighting strong reduction rigid truck / tractor | -1.61% | -1.24% | -1.82% | -1.69% | -1.39% |
| Lightweighting mild reduction including trailer | -0.51% | -0.43% | -0.75% | -0.59% | -0.48% |
| Lightweighting strong reduction including trailer | -4.10% | -3.23% | -4.96% | -4.39% | -3.60% |
| Electric hydraulic power steering | -0.26% | -0.19% | -0.28% | -0.15% | -0.21% |
| LED lighting | -0.06% | -0.06% | -0.07% | -0.06% | -0.06% |
| Air compressor | -1.65% | -1.28% | -1.40% | -1.09% | -1.37% |
| Engine Cooling fan | -0.50% | -0.39% | -0.59% | -0.15% | -0.41% |
| Standard electric system with best performing alternator | -0.19% | -0.14% | -0.18% | -0.08% | -0.15% |
| LED electric system with best performing alternator | -0.25% | -0.18% | -0.25% | -0.13% | -0.20% |
| Reduced drivetrain losses (lubricants, design) | -1.43% | -1.52% | -1.64% | -1.77% | -1.52% |
| Engine stop-start | -0.12% | -0.09% | -1.35% | -1.07% | -0.20% |
| Eco-roll (w/o PPC, w/o ESS) | -0.53% | -0.50% | -0.74% | -0.28% | -0.50% |
| Eco-roll (w/o PPC, w/ ESS) | -1.06% | -1.06% | -2.79% | -1.88% | -1.17% |
| PCC (w/o Eco-roll, w/o ESS) | -0.43% | -1.38% | -0.73% | -1.90% | -1.14% |
| PCC (w/ Eco-roll, w/o ESS) | -0.99% | -1.94% | -1.61% | -2.42% | -1.70% |
| PCC (w/ Eco-roll, w/ ESS) | -1.50% | -2.46% | -3.57% | -3.87% | -2.33% |
| Speed limiter 80km/h | -3.36% | -2.61% | -2.06% | -1.68% | -2.73% |
| Package 1: Improved turbocharging and EGR | -4.00% | -4.00% | -4.00% | -4.00% | -4.00% |
| Package 2: improved SCR and optimised SCR heating methods | -2.00% | -2.00% | -2.00% | -2.00% | -2.00% |
| Package 3: Friction reduction + improved water and oil pumps | -1.97% | -1.46% | -1.80% | -1.40% | -1.60% |
| Package 4: Improved lubricants | -1.15% | -0.90% | -1.06% | -0.83% | -0.97% |

| Technology | Fuel Consumption reduction to Baseline group 5 | | | | |
|---|--|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | |
| Package 5: Waste heat recovery | -2.11% | -2.10% | -2.00% | -2.02% | -2.10% |
| Package 6: Downsampling with optimised map | -1.24% | -0.37% | -1.30% | -0.83% | -0.67% |
| Mild Hybrid 48V (typical vehicle) | -0.44% | -0.43% | -1.24% | -1.15% | -0.51% |
| Full Hybrid typical vehicle 80kW electric motor continuous power/6kWh Battery capacity nominal | -0.47% | -1.98% | -5.47% | -5.87% | -1.95% |
| Full Hybrid best vehicle (current legislation) 80kW electric motor continuous power/6kWh Battery capacity nominal | -3.19% | -4.02% | -7.53% | -7.77% | -4.16% |

Quelle: European Commission (2018b)

Tabelle 3: Kostenannahmen für einzelne CO₂-Minderungstechnologien für Lkw für das Jahr 2025

| Technology Name | Cost value used (2015€) incl. learning & indirect cost factor | | | |
|---|---|---------|---------|----------|
| | group 4 | group 5 | group 9 | group 10 |
| Roof spoiler plus side flaps | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Side and underbody panel at truck chassis | 3,078 | 1,539 | 3,078 | 1,539 |
| Aerodynamic mud flaps | 54 | 135 | 81 | 162 |
| Rear/side view cameras instead of mirrors | 180 | 180 | 180 | 180 |
| Redesign, longer and rounded vehicle front | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 |
| Side and underbody panels at trailer chassis | N.a. | 2,000 | N.a. | 2,000 |
| Boat tail by variable height of trailer body | | | | |
| Boat tail short, additional | 750 | 750 | 750 | 750 |
| Boat tail long, additional | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Low rolling resistance tyres on truck/tractor | 210 | 210 | 350 | 350 |
| Low rolling resistance tyres on truck/tractor + trailer | 210 | 420 | 350 | 560 |
| Tyre pressure monitoring system (TPMS) on truck | 149 | 149 | 149 | 149 |
| Tyre pressure monitoring system (TPMS) on truck and trailer | 149 | 271 | 149 | 271 |
| Automated tyre inflation system (ATIS) on truck | 1,080 | 1,080 | 1,080 | 1,080 |
| Automated tyre inflation system (ATIS) on truck and trailer | 1,080 | 1,350 | 1,080 | 1,350 |
| Wide base single tyres | -35 | -35 | -70 | -70 |

| Technology Name | Cost value used (2015€) incl. learning & indirect cost factor | | | |
|---|---|--------|--------|--------|
| Wheel alignment monitoring | 351 | 703 | 351 | 703 |
| 5% Mass reduction (truck/tractor) | 471 | 1,124 | 471 | 1,124 |
| 10% Mass reduction (truck/tractor) | 1,422 | 3,112 | 1,422 | 3,112 |
| 5% Mass reduction tractor+trailer I | N.a. | 1,380 | N.a. | 1,380 |
| 10% Mass reduction tractor+trailer II | N.a. | 4,234 | N.a. | 4,234 |
| Electric hydraulic power steering | 360 | 360 | 360 | 360 |
| LED lighting | 240 | 240 | 240 | 240 |
| Air compressor | 135 | 135 | 135 | 135 |
| AC efficiency | 210 | 210 | 210 | 210 |
| Cooling fan | 180 | 180 | 180 | 180 |
| Reduced losses (lubricants, design) | 202 | 250 | 202 | 250 |
| Transition from manual to AMT | 2,661 | 3,288 | 2,661 | 3,288 |
| Engine stop-start | 280 | 280 | 280 | 280 |
| Eco-roll | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Predictive cruise control | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 |
| Adaptive cruise control | 275 | 275 | 275 | 275 |
| Speed limiter 80km/h | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Improved turbocharging and EGR | 1,050 | 1,050 | 1,050 | 1,050 |
| Friction reduction + improved water and oil pumps | 309 | 309 | 309 | 309 |
| Improved lubricants | 23 | 23 | 24 | 24 |
| Waste heat recovery | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 5,000 |
| Downspeeding (combined with DCT optimization) | 1,250 | 1,250 | 1,250 | 1,250 |
| 10% Engine downsizing | -353 | -353 | -353 | -353 |
| 48V system with starter/generator | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 |
| Full electric hybrid | 14,512 | 14,512 | 14,512 | 14,512 |

Quelle: European Commission (2018b)