

Die Rolle von Elektroautos in der Mobilität von morgen



Ambitionierte Flottenemissionsnormen
und flankierende Politikinstrumente helfen,
deutsche Klimaschutzziele zu erreichen

Frederic Rudolph (Wuppertal Institut)
Patrick Jochem (DLR)

Herausgeber:

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH
Döppersberg 19
42103 Wuppertal
www.wupperinst.org

Autoren:

Dr.-Ing. Frederic Rudolph, Senior Researcher im Forschungsbereich Mobilität und internationale Kooperationen in der Abteilung Energie-, Verkehrs- und Klimapolitik am Wuppertal Institut, E-Mail: frederic.rudolph@wupperinst.org

PD Dr. rer. pol. Patrick Jochem, Abteilungsleiter Energiesystemanalyse, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, E-Mail: patrick.jochem@dlr.de

„**Zukunftsimpulse**“ liefern in loser Folge Thesen, Diskussionsbeiträge, Einschätzungen, Stellungnahmen und Forschungsergebnisse mit Bezug zu aktuellen politischen Debatten.

Bis einschließlich Band 10 ist die Reihe unter dem Titel „Impulse zur Wachstumswende“ erschienen.

Bitte die Publikation folgendermaßen zitieren:

Rudolph, F., & Jochem, P. (2021). Die Rolle von Elektroautos in der Mobilität von morgen. Ambitionierte Flottenemissionsnormen und flankierende Politikinstrumente helfen, deutsche Klimaschutzziele zu erreichen (Zukunftsimpuls Nr. 15). Wuppertal Institut.

Bildquelle:

Titelseite: Getty Images

Wuppertal, Januar 2021
ISSN 2701 -3200

Dieses Werk steht mit Ausnahme der Titelseite unter der Lizenz „Creative Commons Attribution 4.0 International“ (CC BY 4.0). Der Lizenztext ist abrufbar unter: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1 Ausgangslage und Ziel	7
2 Modellierung und Annahmen	11
3 Verschärfung der Flottenemissionsnorm	14
4 Zusätzliche Anstrengungen	17
5 Die Rolle von Plug-in-Hybriden	19
6 Politikempfehlungen	20
7 Literaturverzeichnis	23

Zusammenfassung

Die Zielvorgaben der europäischen Flottenemissionsnorm (Verordnung (EU) 2019/631 und Vorgänger) trugen in den letzten Jahren zu wenig zu einer Treibhausgas- (THG-) Emissionsminderung im Verkehrssektor bei. Da die Verordnung derzeit in Revision ist, analysieren wir die Auswirkungen einer möglichen Änderung der Zielvorgaben für 2030 und fokussieren dabei insbesondere auf unterschiedliche Marktanteile von E-Pkw.

Die Zielvorgaben richten sich an die Hersteller und deren neu zugelassenen Pkw in der Europäischen Union. Sie haben damit (einen zeitlich verzögerten) Einfluss auf die tatsächlichen, direkten Emissionen der Bestandsflotte und auf die maßgeblichen klimarelevanten Emissionen des Verkehrssektors in Deutschland. Im Folgenden stehen drei Forschungsfragen im Fokus:

- 1 | Wie wirkt sich die Marktdurchdringung von elektrischen Pkw auf die Zielvorgaben der Flottenemissionsnorm und die Klimabilanz des Verkehrssektors in 2030 aus?
- 2 | Welche zusätzlichen Anstrengungen im Pkw-Bereich sind nötig, um die Sektorziele zu erreichen?
- 3 | Wie wirkt sich die Marktdurchdringung von Plug-in-Hybriden auf die Klimabilanz aus?

Die Untersuchung kommt zu folgenden Ergebnissen:

1) Diffusion elektrischer Pkw

Die Neuzulassungen von Pkw, die mit einem Elektromotor angetrieben werden, d.h. E-Pkw, welche sowohl reine batterie-elektrische Pkw (BEV) und Plug-in-Hybride (PHEV) umfassen, haben im abgelaufenen Jahr 2020 stark zugenommen. Im Januar hatten sie zusammen einen Anteil von 6,5 %, im Dezember 2020 waren es dann bereits 26,6 % aller Neuzulassungen. Aufgrund der vielen neuen E-Pkw emittierte die deutsche Neuwagenflotte im Dezember 2020 im Mittel nur noch 117,1 g CO₂ pro km (auf Basis des Testzyklus WLTP). Dies entspricht einem Verbrauch von etwa fünf Litern Benzin auf 100 km.

Tabelle 0-1 stellt nun die Ergebnisse zweier Szenarien über die Diffusion von BEV und PHEV vor. Szenario 1 rechnet damit, dass im Jahr 2030 75 % aller Neuzulassungen BEV oder PHEV sind. Szenario 2a rechnet mit 95 % neu zugelassenen Elektroautos in 2030.

Tab. 0-1 Wirkungen von E-Pkw in der deutschen Klimabilanz. Quelle: eigenes Modell

Szenario #	Anteile neue BEV & PHEV 2030	resultierende spezifische Emissionen der Neuwagen 2030	Reduktion von Mio. t CO ₂ 2030 ggü. 2019	Stromverbrauch Gesamtflotte 2030
1 Basis	75 %	50,5 g CO ₂ /km	22 %	46,2 TWh
2a hoher Anteil E-Pkw	95 %	26,7 g CO ₂ /km	27 %	59,7 TWh

In beiden Szenarien werden die derzeitigen Zielvorgaben (insbesondere durch den hohen Anteil an E-Pkw) der EU übererfüllt. Die derzeit gültige Fassung dieser EU-Verordnung sieht eine Senkung von 37,5 % für alle europäischen Neuzulassungen im Jahr 2030 gegenüber 2021 vor (d. h. ca. 59 g CO₂/km). Über eine Entwicklung ähnlich wie Szenario 1 wäre eine Senkung um 50 % im europäischen Durchschnitt vergleichsweise einfach zu erreichen, in Szenario 2a erscheinen durch den hohen Marktanteil an E-Pkw sogar 75 % möglich. Darüber hinaus zeigt sich, dass die derzeitige Flottenemissionsnorm selbst in ambitionierterer, revidierter Form nicht ausreicht, um die deutschen Klimaschutzziele für den Verkehrssektor zu erreichen. Selbst das ambitioniertere Szenario 2a erreicht lediglich eine THG-Emissionsminderung um 27 % gegenüber 2019. Das Ziel der Bundesregierung, welche eine Senkung im Verkehr um mindestens 40 % in 2030 gegenüber 1990 festgelegt hat, wird damit weit verfehlt.

In unseren Berechnungen zeigt sich, dass aufgrund der Erneuerungsrate von Pkw sowie des bisher trägen Umschwenkens der Neuzulassungen zu alternativen Antrieben die Bestandsflotte maßgeblich verantwortlich für die zu geringen Emissionsreduktionen in 2030 ist. Oder anders formuliert: Das Hochfahren von Elektromobilität hätte früher stattfinden müssen, um die Ziele der Bundesregierung noch zu erreichen. Zudem gelten die hier errechneten Reduktionen für 2030 von 22,4 % bzw. 27,1 % gegenüber 2019 nur für die Pkw-Emissionen im Transportsektor. Sie schließen somit einerseits sowohl andere Verkehrsträger (d.h. den Güterverkehr, Inlandsflüge und den öffentlichen Personenverkehr) und andererseits auch indirekte Emissionen im Energiesektor (wie beispielsweise die Emissionen der Stromerzeugung für E-Pkw) aus.

2) Zusätzliche Anstrengungen

Die THG-Emissionen im Verkehrssektor können neben den technischen Verbesserungen in den Stufen *Improve* oder *Fuel* insbesondere auch über Verkehrsvermeidung (*Avoid*) oder Verkehrsverlagerung (*Shift*) erfolgen (Schipper 2011). Auf globaler Ebene ist auch der Aspekt der Finanzierung (*Finance*) – etwa von effizienten, öffentlichen Verkehrsmitteln – ein sehr gewichtiger. Für die entwickelten Länder erscheint insbesondere eine hieraus resultierende Reduktion des Pkw-Bestandes ein effektives Mittel zu sein (*Peak Car*).

Die spezifischen Emissionen von Pkw können insbesondere auch über eine Reduktion von deren Größe gesenkt werden. Zudem kann die Nutzung von Pkw insgesamt reduziert werden, wenn eine Umstellung auf kleine und elektromobile Fahrzeuge noch nicht ausreicht, um die Klimaziele zu erreichen.

Folgende Tabelle 0-2 stellt zwei weitere Szenarien vor, die auf dem ambitionierteren Szenario 2a aufbauen. Zunächst wird unterstellt, dass sich die Verbraucher/innen für kleinere Pkw-Segmente entscheiden: Es werden ab 2022 5 % Prozent weniger große, dafür 5 % mehr kleine Pkw angeschafft (Szenario 2b). Daraufhin wird eine Reduktion der Jahresfahrleistung von Pkw (etwa durch Vermeidungsmaßnahmen oder Wechsel auf andere Verkehrsmittel) um 20 % unterstellt (Szenario 2c).

Tab. 0-2 Wirkungen eines verstärkten Trends zu kleineren Fahrzeugen und von Reduktion der Fahrleistung auf die deutsche Klimabilanz. Quelle: eigenes Modell

Szenario #	Anteile neue BEV & PHEV 2030	Spezifische Emissionen Neuwagen 2030 und Reduktion ggü. 2021 (WLTP)	Reduktion von Mio. t CO ₂ 2030 ggü. 2019	Stromverbrauch Gesamtflotte 2030
2b moderate Änderung der Flottenkomposition	95 %	26,7 g CO ₂ /km (unverändert)	28 %	57,5 TWh
2c deutliche Reduktion der Fahrleistung (-20 %)	95 %	26,7 g CO ₂ /km (unverändert)	42 %	48,0 TWh

Szenario 2b stellt eine nur geringfügige Modifikation von Szenario 2a dar. Da im Verlauf der neuen Dekade kleinere Pkw angeschafft werden als momentan, sinken die klimarelevanten Emissionen. Allerdings werden die Pkw durch die zunehmende Elektromobilität (und die Vernachlässigung der Emissionen der Stromerzeugung) ohnehin immer klimafreundlicher. Der Vorteil kleiner Pkw ist unter diesen (bereits ambitionierten) Umständen nur geringfügig.

Szenario 2c richtet sich an die Fahrleistung von Pkw und ergänzt damit die Flottenemissionsnorm. Vermeidung und Verlagerung führen dazu, dass sich die mittlere Jahresfahrleistung von Pkw im Vergleich zu 2019 um 20% reduziert. Die Lockdowns während der Pandemie haben gezeigt, dass Vermeidung von Fahrten mit dem Pkw, etwa über Homeoffice-Regelungen, möglich ist. Verlagerung erscheint zudem insbesondere innerhalb urbaner Räume durchaus plausibel. Dennoch ist die Größenordnung von 20 % sicherlich eine sehr optimistische Annahme.

Da nur dieses Szenario das deutsche Ziel für den Verkehrssektor erreicht, erscheint die Vermeidung und Verlagerung ein effektives Mittel zu sein. Erstens kann hierdurch in überschaubarer Zeit ein steiler Gradient bei den THG-Emissionsminderungen erreicht werden und dies insbesondere bei hohen Anteilen von konventionellen Pkw. Und zweitens kann hierdurch (längerfristig) auch die Stromnachfrage des Transportsektors bei hohen Anteilen von E-Pkw gering gehalten werden.

3) Die Rolle von Plug-in-Hybriden (PHEV)

Plug-in-Hybride sind einerseits eine wichtige Übergangstechnologie hin zur reinen Elektromobilität, andererseits dienen sie als geeignete Ergänzung zu BEV, wenn der mobile Mensch weite Strecken zurücklegt. Damit dieses Antriebskonzept bestehend aus einem Elektro- und einem Verbrennungsmotor sein Klimaschutzpotenzial entfaltet, sind Maßnahmen zur Erleichterung des Ladevorgangs notwendig. Eine fast ausnahmslose Nutzung des Verbrennungsmotors führte das Konzept der PHEV ad absurdum. Die Analysen zeigen, dass abhängig vom individuellen Fahr-, Tank- und Ladeverhalten die Emissionsminderungen erheblich divergieren. Wichtige Maßnahmen zur Erhöhung des elektrischen Fahranteils sind Lademöglichkeiten zu Hause, sowie am Arbeitsplatz.

1 Ausgangslage und Ziel

Die Europäische Union (EU) fühlt sich dem Pariser Klimaabkommen verpflichtet. Im Zuge des *Green Deal* steht eine Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % gegenüber 1990 bevor. Für Deutschland wiederum kommt das Erreichen der 1,5-Grad-Grenze einer Umstellung auf ein klimaneutrales Energiesystem bis etwa 2035 gleich. Die deutschen Reduktionsziele für den Verkehrssektor liegen für 2030 bei 40-42 % gegenüber 1990. Allerdings stagnierten die klimarelevanten Emissionen im Verkehrssektor in den vergangenen drei Jahrzehnten und die angebrochene Dekade ist daher entscheidend für die Zielerreichung.

Dieses Papier diskutiert die Klimaschutzwirkung der aktuellen Flottenemissionsnorm der Europäischen Kommission in Deutschland (Verordnung 2019/631). Das Instrument gilt als Flaggschiff der EU für den Klimaschutz im Sektor Verkehr, die Europäische Kommission sieht es außerdem als wichtige Maßnahme zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Automobilindustrie (Europäische Kommission 2017). Da der Straßenverkehr bei weitem den größten Anteil an den Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors verantwortet, scheint die Maßnahme auf den ersten Blick wirksam zu sein. Die Verordnung sieht derzeit eine Reduktion der spezifischen CO₂-Emissionen von neuen Pkw um 37,5 % bis 2030 gegenüber 2021 vor.

Inzwischen sind sich Kommission, Hersteller und Umweltverbände einig, dass vor allem durch elektrisch angetriebene Pkw ambitioniertere Ziele möglich sind. Deshalb wird momentan an einer Revision der Flottenemissionsnorm gearbeitet (vgl. Website EC).

Im abgelaufenen Jahr 2020 hat in Deutschland der Verkauf von E-Pkw signifikant an Fahrt aufgenommen: Im Jahresdurchschnitt waren 6,7 % aller Neuzulassungen reine batterie-elektrisch angetriebene Pkw (battery electric vehicle, BEV), 6,9 % waren Plug-in-Hybride (Plug-in electric hybrid vehicle, PHEV).¹ Interessant ist die unterjährige Entwicklung: Im Januar 2020 lag der Anteil von BEV und PHEV noch bei 3 % bzw. 3,5 % aller deutschen Neuzulassungen, im Dezember waren es dann 14 % und 12,6 % (vgl. Website KBA).

Ziel der Untersuchung

Da die indirekten Emissionen aus der Stromerzeugung nicht von den europäischen Flottenzielen erfasst werden, sind E-Pkw ein sehr effektives Mittel zur nominellen Erreichung der Ziele. Gleichzeitig wird aber auch der Druck auf die konventionellen Pkw deutlich gemindert (ohne dass die gesamten THG-Emissionen notwendigerweise gesenkt werden). Es stellt sich somit die Frage, welche Auswirkung ein erhöhter Anteil an E-Pkw auf die gesamten THG-Emissionen unter Berücksichtigung der Flottenziele hat.

¹ Plug-in-Hybride (PHEV) sind Fahrzeuge, die sowohl über einen Verbrennungs- als auch einen Elektromotor verfügen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass der Elektromotor – im Gegensatz zu anderen Hybridvarianten – eigenständig gefahren und am Stromnetz aufgeladen werden kann.

Dabei wird **erstens** eine mögliche Verschärfung aktuell gültigen Rechts im Sinne eines *European Green Deal* mit dem Fokus auf Pkw-Hersteller angedacht. Denkbar sind vor allem eine Erhöhung des Anteils elektrischer Pkw, (sogenannte Quotenregelung) aber auch eine obligatorische Verkleinerung der Fahrzeuge (beispielsweise durch indirekte Anreize wie einem Bonus-Malus- oder auch Feebate-Programm).

Zweitens wird dieser eher technische Zugang verglichen mit der Möglichkeit, durch Vermeidung und Verlagerung auf Fahrten mit dem Pkw zu verzichten.

Drittens wird die Rolle von Plug-In-Hybriden diskutiert, da diese sehr optimistisch berücksichtigt werden (d.h. ihre empirischen, spezifischen Treibhausgasemissionen werden i.d.R. deutlich unterschätzt). Dies ist insbesondere in der Fahrweise bzw. der geringen Ladebereitschaft der Nutzer/innen begründet (Plötz et al. 2020). Die über die Flottenemissionsnorm erhofften CO₂-Reduktionen erscheinen damit fragwürdig.

Auf dieser Basis werden Politikempfehlungen ausgesprochen, wie die Flottenemissionsnorm weiterentwickelt werden kann, um die Klimaschutzambition zu erhöhen. Dabei wird das Verhältnis dieser EU-Verordnung zu anderen Klimaschutzinstrumenten diskutiert.

Die Zielvorgaben der Flottenemissionsnorm im Überblick

Die alte Verordnung von 2009 (443/2009) hatte als Ziel 95 g CO₂ pro km im Mittel aller Hersteller für die Jahre 2020 und 2021 ausgerufen (unter Berücksichtigung von Übergangs- und Sonderregelungen). Das Ziel war auf Basis des Testzyklus „New European Driving Cycle“ (NEDC) vorgegeben worden, der zu deutlich niedrigeren Verbrauchswerten führte als real der Fall war (Tietge et al. 2017) und deshalb inzwischen mit der „Worldwide harmonised Light vehicle Test Procedure“ (WLTP) ersetzt wurde.

Die aktuelle Verordnung von 2019 sieht eine Reduktion um 15 % bis 2025 und 37,5 % bis 2030 gegenüber 2021 vor. Dies entspräche auf Basis des NEDC 81 g bzw. 59 g CO₂ pro km im Vergleich zu 95 g CO₂. Allerdings sind die tatsächlichen spezifischen Emissionen von Neuzulassungen 2021 noch zu ermitteln. Durch die Übergangs- und Sonderregelungen ergeben sich zudem Spielräume bei der Zielerreichung.

Abbildung 1-1 (folgende Seite) stellt die Ziele der EU-Verordnungen in den schwarzen Balken im Zeitraum 2005 bis 2030 auf Basis des NEDC dar (nur die Balken mit Nummern sind dabei verbindlich). Zudem illustriert sie über die beiden grünen Linien den Verlauf der mittleren spezifischen CO₂-Emissionen für neu zugelassene Pkw in der EU und in Deutschland. Die gewichtsabhängigen Ziele gelten für die jeweiligen Hersteller und ergeben dann einen europäischen Mittelwert. Der deutsche Durchschnitt lag in der Vergangenheit etwa 7 % über dem europäischen Mittel.

Es zeigt sich, dass das Ziel für 2015 deutlich unterboten werden konnte, sich dann aber bis 2019 eine Stagnation und sogar ein leichter Anstieg bei den rechnerischen Emissionen der Neuwagen sowohl in Deutschland, als auch der gesamten EU einstellte. Dennoch können die Hersteller ihre Zielvorgaben für 2020 und 2021 dank der deutlichen Steigerung der Verkäufe von BEV und PHEV in ganz Europa voraussichtlich einhalten.

Schließlich bildet Abbildung 1-1 über die rote Linie den realen Verbrauch der deutschen Bestandsflotte gemäß Mobilitätspanel ab (MOP, vgl. KIT 2020). Diese Linie zeigt einerseits, dass geringere Verbräuche von Neuwagen nur allmählich zu einer Senkung des Verbrauchs der Gesamtflotte führen, andererseits deutet der steigende Abstand zu den grünen Linien auf die zunehmend unrealistischen Labormessungen gemäß NEDC hin.

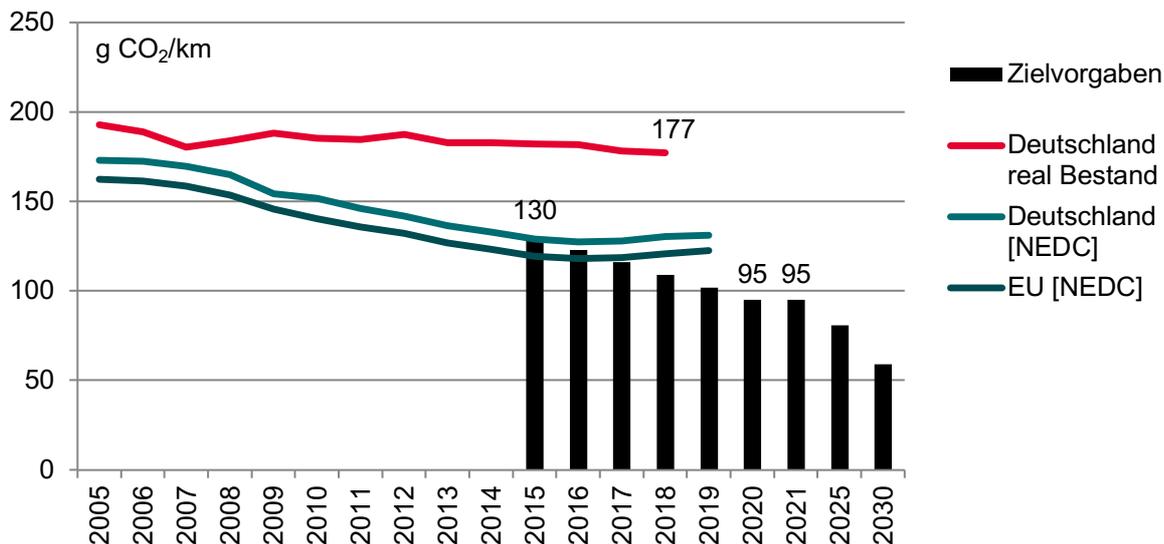


Abb. 1-1 Spezifische CO₂-Emissionen in der deutschen Pkw-Bestandsflotte real, sowie Werte der Neuzulassungen im deutschen und EU-Mittel, 2005 - 2019. Quelle: KIT 2020 und Website EEA, eigene Analyse und Darstellung

Obwohl die Flottenemissionsnorm im Kern technologieneutral ist, da sie lediglich zu erreichende Zielwerte vorgibt, fördert sie vor allem Elektromobilität: Die alte Norm von 2009 erlaubt den Herstellern zur Erreichung ihrer Vorgaben neben anderen Sonderregelungen *supercredits* für BEV und PHEV. Die aktuelle Fassung von 2019 verfügt über einen Anreizmechanismus für *zero- and low-emission vehicles* (ZLEV). ZLEV sind Wagen, die zwischen 0 und 50 g CO₂ pro km gemäß WLTP emittieren - in der Regel BEV oder PHEV.²

Bei PHEV werden nur die CO₂-Emissionen angerechnet, die durch den Verbrennungsmotor entstehen. Fahranteile von Elektromotoren werden (wie auch beim BEV) generell mit 0 g CO₂ pro Kilometer bemessen. Allerdings sind bei PHEVs die tatsächlichen Fahranteile des Verbrennungsmotors momentan deutlich höher als im Testzyklus WLTP angenommen. Ihre tatsächlichen Emissionen liegen derzeit in Deutschland wohl eher auf dem Niveau eines vergleichbaren reinen Verbrenners (vgl. Plötz et al. 2020). Dennoch können sie durch die Labormessungen gemäß WLTP vom o.g. Anreizmechanismus deutlich profitieren.

² Details zu den Regelungen finden sich auf der Website EC: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation_en.

Möglichkeiten für die Revision der Flottenemissionsnorm

Abbildung 1-2 stellt die mittleren CO₂-Emissionen von Neuzulassungen in Deutschland 2019 und 2020 gemäß WLTP dar (graue Balken). Außerdem zeigt sie zwei Szenarien für die Entwicklung der Neuzulassungen in Deutschland bis 2030 auf:

- Szenario 1 (grün) rechnet mit einem Anteil von BEV und PHEV (also E-Pkw) von 75 % aller Neuzulassungen in Deutschland im Jahr 2030.
- Szenario 2 (rot) rechnet mit einem optimistischen Anteil von 95 %.

Der Balken für 2021 ist diagonal schraffiert, da es sich einerseits um eine Annahme handelt (siehe Kapitel 2) und andererseits das Jahr 2021 in der Flottenemissionsnorm Basisjahr für die Reduktionen sein wird, die für 2025 und 2030 eingefordert werden.³

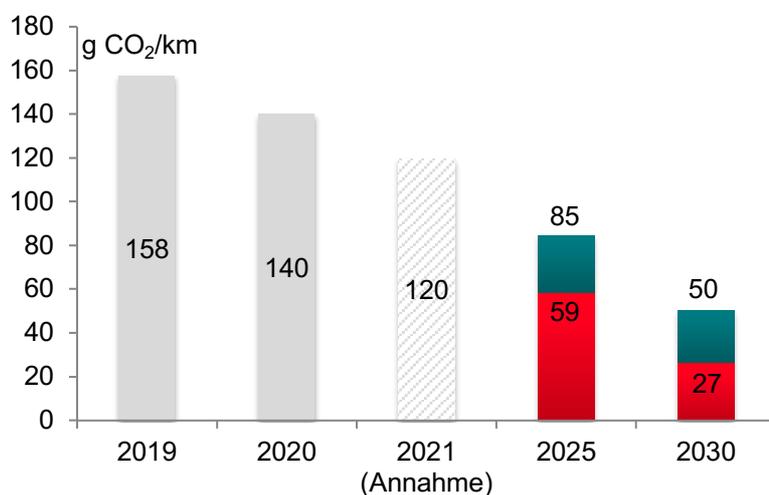


Abb. 1-2 CO₂-Emissionen von neu zugelassenen Pkw in Deutschland, sowie Zielkorridor einer revidierten Flottenemissionsnorm. Quelle: Website KBA/eigene Szenarien

Legt man die vorliegenden zwei Szenarien über die Entwicklung von Neuzulassungen in Deutschland zugrunde, dann erscheinen die derzeitigen Zielvorgaben der EU als wenig ambitioniert. Stattdessen erscheinen nach den Berechnungen und den hohen Anteilen von E-Pkw Zielvorgaben in der Größenordnung von -50 % (Szenario 1) bzw. mindestens -75 % (Szenario 2) für 2030 realistisch.

Die nachfolgenden Analysen berechnen, welche Wirkungen die Szenarien auf die tatsächlichen Emissionen im Pkw-Verkehr Deutschlands hätten. Auf dieser Basis werden Politikempfehlungen ausgesprochen.

³ Die Flottenemissionsnorm (Verordnung (EU) 2019/631) gibt jedem Hersteller spezielle Vorgaben, die dann im Durchschnitt einen europäischen Zielwert ergeben. Insofern sind die Zahlen hier nur illustrativ mit Fokus auf Deutschland.

2 Modellierung und Annahmen

In den Szenariorechnungen werden die spezifischen Emissionen von in Deutschland zugelassenen Pkw und deren gefahrenen Distanzen (Jahresfahrleistungen) in einem einfachen Modell simuliert. Dabei werden für die Bestandsflotte bis 2018 die Verbräuche nach Angaben der am MOP beteiligten Personen verwendet (KIT 2020). Für die Neuzulassungen 2019 und 2020 finden die Angaben des Kraftfahrtbundesamts (KBA) Anwendung. Das KBA weist seit 2019 die Emissionen auf Basis der WLTP aus, das Modellgerüst und die Szenariorechnungen ergänzen diese um eigene Annahmen.

Für die im Jahr 2021 neu zugelassenen Pkw wird angenommen, dass a) die Verteilung der Segmente (also die Pkw-Größen) sich wie im Jahr 2019 darstellt und b) die Antriebe im Gesamtjahr die gleichen Anteile haben werden wie im vergangenen Monat, dem Dezember 2020. Dies ergibt spezifische Emissionen von durchschnittlich 119,5 g CO₂ pro km in der deutschen Neuwagenflotte.

Die Fahrzeuggröße hat 2020 erstmals abgenommen, dies könnte auf die Folgen der Pandemie zurückzuführen sein. Deshalb wird hier die Verteilung von 2019 unterstellt. Bei den Antrieben haben BEV und PHEV zwischen Januar und Dezember 2020 stark zugenommen, daher wird für 2021 eine Stagnation auf dem Niveau vom Dezember 2020 angenommen. Im Dezember 2020 sind 26,6 % aller Neuwagen als BEV oder PHEV zugelassen worden.

Für die Jahre ab 2022 unterscheiden sich diese Annahmen in den Szenarien.

Für alle Jahre 2019 bis 2030 sind die eigenen Annahmen außerdem wie folgt: Der reale Verbrauch diesel-, benzin- und gasbetriebener Pkw liegt um 10 % über der WLTP.⁴ Für die Fahranteile von Elektromotoren in PHEV und BEV wird im Gegensatz zur EU-Verordnung 2019/631 ein durchschnittlicher Netzemissionsfaktor verwendet. Für die verbrennungsmotorisch betriebenen Fahranteile in PHEV werden zusätzliche Annahmen vorgenommen (s.u.).

Das Berechnungstool unterscheidet fünf Antriebe und drei Fahrzeuggrößen (vgl. Tabelle 2-1). Bei den Antrieben werden Erdgas und Autogas zusammengefasst, alle Hybrid-Varianten jenseits von PHEV fallen in die Kategorie der Benziner. PHEV werden als vierte Kategorie geführt. Sie sind irrelevant im Bestand vor 2019, aber wichtig für die Zukunft als Übergangstechnologie hin zur Elektromobilität. Bei der fünften Antriebsart handelt es sich um vollelektrische Pkw (BEV).

Tab. 2-1 Berücksichtigte Größenklassen und Antriebsarten des Berechnungstools. Quelle: eigenes Modell

Pkw-Größe/-Antrieb	Diesel	Benzin	Gas	PHEV	BEV
1: klein	x	x	(x)	x	x
2: mittel	x	x	(x)	x	x
3: groß	x	x	(x)	x	x

⁴ Verbrauchermagazine wie etwa firmenwagen.de haben festgestellt, dass mit der WLTP derzeit nur eine geringfügige Unterschätzung des tatsächlichen Verbrauchs einhergeht. Dennoch bleiben auch hier große Spannweiten.

Die Betrachtung der Fahrzeuggrößen ordnet die Segmente des Kraftfahrtbundesamts (KBA) den drei definierten Größenklassen wie folgt zu:

- 1 | Mini, Kleinwagen
- 2 | Kompaktklasse, Mittelklasse, SUV, Sportwagen, Mini-Van
- 3 | Obere Mittelklasse, Oberklasse, Geländewagen, Großraum-Vans, Utilities, Wohnwagen, Sonstiges

Weitere Annahmen zum Fahrzeugverbrauch

Die Emissionsfaktoren der fossilen Energieträger sind wie folgt:

Diesel: 2.650 g CO₂/Liter (95 g CO₂ pro km bedeuten bspw. 3,6 l Diesel pro 100km)

Benzin: 2.330 g CO₂/Liter (95 g CO₂ pro km bedeuten bspw. 4,1 l Benzin pro 100km)

Erdgas/Autogas: 1.790 g CO₂/Liter (Flüssiggas).

Diese Emissionsfaktoren sind Tank-to-Wheel-Emissionsfaktoren, berücksichtigen also im Gegensatz zu Well-to-Wheel-Emissionen keine Up-Stream-Emissionen, welche durchaus nochmal 20 % höher liegen können.

CO₂ aus Biokraftstoffen oder – zukünftig ebenfalls denkbar – synthetische Kraftstoffe, bzw. grüner Wasserstoff, aus erneuerbarem Strom, werden nicht berücksichtigt (bzw. die aufgestellten Emissionsbilanzen gehen davon aus, dass diese Kraftstoffe auch Emissionsfaktoren in ähnlicher Größenordnung aufweisen). Dies ist eine durchaus belastbare Annahme, da klimafreundliche liquide und gasförmige Kraftstoffe im Güterverkehr oder der Luftfahrt für einen Klimaschutzeffekt aus gesamtwirtschaftlicher Sichtweise zwecks Alternativlosigkeit „dringlicher“ benötigt werden. Nachrichtlich ist anzufügen, dass der Anteil biogener Kraftstoffe 2019 bei lediglich 4,9 % lag (FNR 2020). Die vorliegenden Emissionsbilanzen fallen damit etwas höher aus als diejenige der offiziellen Berichterstattung des Umweltbundesamts.

Die Berechnung für die CO₂-Emissionen der elektrisch betriebenen Fahranteile basiert auf einem durchschnittlichen Netzemissionsfaktor. Dieser entwickelt sich linear von 401 g CO₂/kWh in 2019 auf 250 g/kWh in 2030.

Modellierung der Fahrzeugflotte

Die Pkw-Bestandsflotte bis 2018 ergibt sich aus dem Tank-Datensatz des Mobilitätspanels (MOP) des KIT, 2018 waren dies 31 % Dieselfahrzeuge, 66 % Benziner, und 3 % weitere Antriebe (KIT 2020).

Für 2019 und 2020 sind die Anteile der Neuzulassungen und jeweiligen Emissionen wie vom KBA erfasst verwendet worden.

Die Fahrzeugflotte wird mit 43,4 Mio. Pkw ab 2020 festgelegt und dann bis 2030 konstant gehalten. 2018 hatte sie der Panelerhebung „Mobilität in Deutschland“ zufolge bei gut 43 Millionen gelegen (Nobis et al. 2019).

Jährlich verlassen 7,5 % Altfahrzeuge die (konstante) Bestandsflotte und die gleiche Anzahl von Neuzulassungen treten in die Bestandsflotte ein (Annahme auf Basis des MOP, vgl. KIT 2020). Dies entspricht einem Umschlag von 3,25 Millionen Pkw jährlich. Im Zeitraum 2020 bis 2030 verlassen nur Pkw aus den vorhergehenden Jahr-

zehnten die Bestandsflotte. Im Jahr 2030 sind somit noch vier Millionen Pkw im Bestand, die vor 2019 zugelassen wurden.

Annahmen zu den gefahrenen Distanzen

Die Jahresfahrleistungen der diesel-, benzin- und erd-/autogasbetriebenen Pkw wurde angenommen, indem der Durchschnitt der Jahre 2013 bis 2018 errechnet wurde. Zusätzlich mussten die Distanzen zur Kalibrierung des Modells um 2 % reduziert werden. Auf diese Weise entsprechen die Emissionen in etwa der offiziellen Berichterstattung des Umweltbundesamts.

Von PHEV und auch BEV weiß man, dass sie hohe Jahresfahrleistungen aufweisen (etwa Plötz et al. 2020 für PHEV). Allerdings weist der Datensatz des MOP zu wenig Observationen auf, um hier von Repräsentativität ausgehen zu können. Für PHEV wird deshalb angenommen, dass ihre Fahrleistung zu 90 % derjenigen Fahrleistung eines durchschnittlichen Diesel und zu 10 % einem Benziner entspricht. Dieselbetriebene Pkw haben eine höhere mittlere Jahresfahrleistung als Benziner (vgl. Tabelle 2-2). Für BEV wird ein Verhältnis von 50/50 unterstellt.

Gleichzeitig wird die nationale Jahresfahrleistung bis 2030 konstant gehalten, nämlich bei 588 Mrd. km. Das Modell kalibriert (senkt) die Fahrleistungen von PHEV und BEV entsprechend. Tabelle 2-2 stellt die Jahresfahrleistung vor der Kalibrierung dar.

Tab. 2-2 Angenommene Jahresfahrleistungen im Modell. Quelle: eigene Annahmen

Pkw-Größe/-Antrieb	Diesel	Benzin	Gas	PHEV	BEV
1: klein	16.900 km	9.600 km	17.200 km	16.100 km	13.200 km
2: mittel	19.900 km	11.300 km	15.200 km	19.000 km	15.600 km
3: groß	17.900 km	11.400 km	17.200 km	17.300 km	14.700 km

Die hier aufgeführten angenommenen Distanzen gelten für alle Jahre (Ausnahme ist Szenario 2c, siehe unten). Im Jahr 2020 waren die tatsächlichen Jahresfahrleistungen der Pkw aufgrund der Maßnahmen zur Pandemie-Eindämmung vermutlich deutlich geringer. Im laufenden Jahr 2021 ist wegen der Homeoffice-Regelungen vieler Betriebe ebenfalls von weniger Pkw-Mobilität auszugehen. Ergebnisse von empirischen Erhebungen stehen noch aus, aber in den Rechnungen für das Zieljahr 2030 spielen die Fahrleistungen der Jahre 2020 und 2021 keine Rolle.

In Szenario 2c werden die Jahresfahrleistungen reduziert. Dies geschieht, um die Rolle der Strategien Vermeidung und Verlagerung im Rahmen der Klimaschutzbemühungen der Bundesregierung anzudeuten. Vermeidung und Verlagerung sind komplementäre Ansätze zu den technischen Optionen an Fahrzeugen und über Kraftstoffe (vgl. Schipper 2011).

3 Verschärfung der Flottenemissionsnorm

Es werden zwei Szenarien gerechnet:

- Szenario 1 rechnet mit einem Anteil von BEV und PHEV von 75 % aller Neuzulassungen in Deutschland im Jahr 2030.
- Szenario 2 (a/b/c) rechnet mit einem Anteil von 95 %.

Annahmen Szenario 1

Die Energieeffizienz der Verbrennungsmotoren - Diesel, Benzin und Benzin im PHEV - verbessert sich jeweils um 1 % gegenüber dem Vorjahr. Sie werden sich damit bis 2030 um 9,6 % gegenüber 2020 verbessert haben. Die Effizienz der Elektromotoren bleibt konstant, der Verbrauch liegt bei 15, 23 und 30 kWh pro 100 km für kleine, mittlere und große Pkw.

Die Diffusion von Pkw mit Elektroantrieb ist wie folgt:

PHEV klein: 0,5	PHEV mittel: 1	PHEV groß: 1,5	Prozentpunkte p.a.
BEV klein: 1,5	BEV mittel: 1	BEV groß: 0,5	Prozentpunkte p.a.

Das Diffusionstempo ist linear bis 2027, verlangsamt sich dann ab 2028. Es wird unterstellt, dass für 25 % der Verbraucher/innen ein elektrischer Pkw (BEV oder PHEV) bis 2030 noch nicht in Frage kommt.

Für PHEV wird zusätzlich angenommen, dass sie derzeit das 2,5-fache des im Testzyklus angegebenen Werts verbrauchen bei einem *Utility Factor* von 0,4 (vgl. hierzu die Auswertungen von Plötz et al. 2020 für Deutschland). Aufgrund technischer Verbesserungen erhöhen sich die elektrischen Fahranteile und sinkt in der Konsequenz der reale Verbrauch auf das 1,5-fache des WLTP-Werts bei einem *Utility Factor* von 0,7 in 2030.

Annahmen Szenario 2a

Die Marktdurchdringung von Pkw mit Elektroantrieb wird gegenüber Szenario 1 zunächst verdoppelt:

PHEV klein: 1	PHEV mittel: 2	PHEV groß: 3	Prozentpunkte p.a.
BEV klein: 3	BEV mittel: 2	BEV groß: 1	Prozentpunkte p.a.

Das Diffusionstempo verlangsamt sich bereits ab 2025. Es wird unterstellt, dass für 5 % der Verbraucher/innen ein elektrischer Pkw (BEV oder PHEV) bis 2030 noch nicht in Frage kommt.

Ergebnisse

Abbildung 3-1 gibt die CO₂-Emissionen der Jahre 2019 bis 2030 auf Basis der aufgeführten Annahmen wieder.

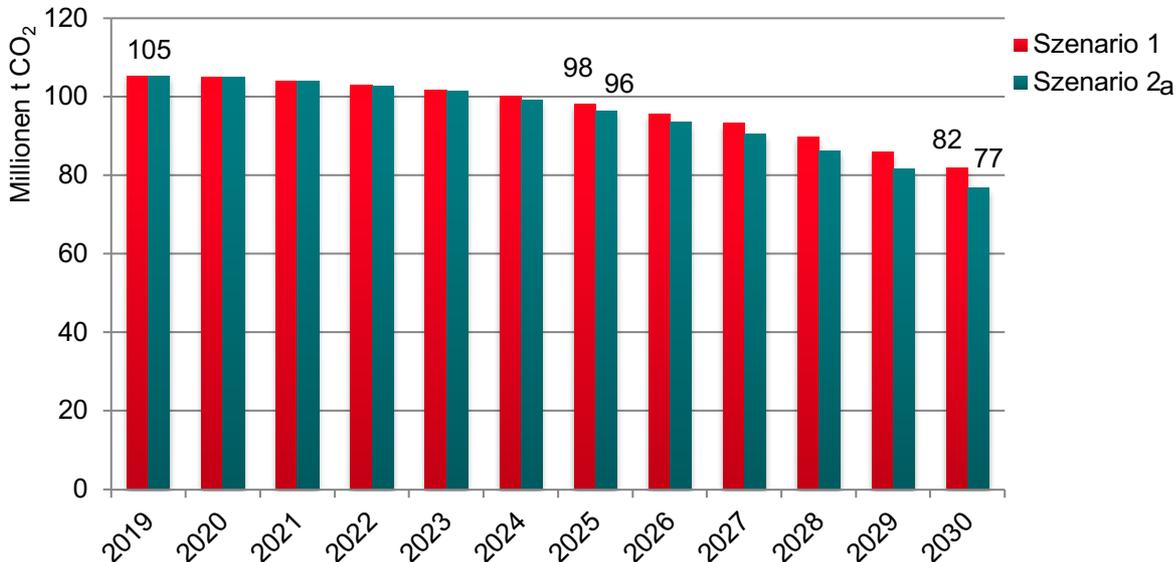


Abb. 3-1 CO₂-Emissionen deutscher Pkw in den Szenarien 1 & 2a. Quelle: eigenes Modell

Szenario 1 führt demnach zu einer Reduktion der deutschen Pkw-Flotte um 22,4 % zwischen 2019 und 2030. Szenario 2a führt zu einer Reduktion um 27,1 % in diesem Zeitraum. Das Sektorziel der Bundesregierung für den Verkehr liegt hingegen bei einer Minderung um 40-42 % in 2030 gegenüber 1990 (vgl. BMU 2019). Da Minderungen bisher, also zwischen 1990 und 2019, nur marginal stattgefunden haben, kann die Flottenemissionsnorm selbst in ambitionierter Revision nicht ausreichend zum Ziel der Bundesregierung beitragen.

Zu beachten ist, dass die hier aufgeführten Emissionen und Emissionsreduktionen sich ausschließlich auf den Pkw-Bereich beziehen, der etwa 60 % der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor ausmacht (vgl. ebd.). Sie schließen den Güterverkehr, öffentlichen Personenverkehr und die nationale Schiff- und Luftfahrt aus. Insbesondere im Güterverkehr sind Reduktionen aufgrund seiner jährlich steigenden Verkehrsleistung eine ebenfalls große Herausforderung.

Folgende Tabelle 3-1 listet weitere Ergebnisse der Referenzrechnung in Ergänzung zu Abbildung 3-1 auf.

Tab. 3-1 Ergebnisse der Szenarien 1 & 2a zur Bestandsflotte. Quelle: eigenes Modell

	2019	2020	Szenario 1 2025	Szenario 1 2030	Szenario 2a 2025	Szenario 2a 2030
TWh	0,5	1,5	15,9	46,2	20,6	59,7
Pkw klein	26 %	26 %	24%	21 %	24 %	21 %
Pkw mittel	54 %	53 %	51%	54 %	51 %	54 %
Pkw groß	20 %	21 %	25%	25 %	25 %	25 %
Diesel	31 %	31 %	30%	21 %	28 %	16 %
Benzin (inkl. Hybrid)	65 %	64 %	52%	37 %	49 %	31 %
Erdgas/Autogas	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
PHEV	2 %	2 %	9 %	20 %	12 %	26 %
BEV	0 %	1 %	8 %	21 %	10 %	26 %
g CO ₂ /km (real)	179	178	164	135	161	127
g CO ₂ /km (WLTP, Neuz.)	158	140	85	50	59	27
Anzahl BEV+PHEV (Mio.)	0,2	0,6	6,2	17,7	8,7	22,4

Aufgrund des großen Einflusses des Bestands liegen die durchschnittlichen spezifischen Emissionen aller Pkw im Jahr 2030 des ersten Szenarios noch immer bei 135 g CO₂ pro Kilometer, was einem Verbrauch von 5,8 Litern Benzin auf 100 Kilometern entspricht. Im zweiten Szenario sinkt der rechnerische mittlere Verbrauch wegen der effizienteren Neuzulassungen auf 5,5 Liter (127 g CO₂ pro km). Derzeit liegt er rechnerisch bei etwa 7,6 Litern Benzin auf 100 Kilometern (178 g CO₂ pro km).

Die sukzessive Erhöhung des Anteils elektrisch angetriebener Pkw (41 % PHEV und BEV in Szenario 1 und 54 % in Szenario 2a) führt zu entsprechender Nachfrage nach Strom, wegen des hohen Wirkungsgrads des Elektromotors gleichwohl auf geringem Niveau. Die Stromnachfrage durch Pkw-Nutzung spielt sich in beiden Szenarien im Jahr 2030 in der Größenordnung von etwa einem Zehntel der heutigen Stromnachfrage in Deutschland ab.

4 Zusätzliche Anstrengungen

Es werden zwei weitere Szenarien gerechnet:

- Szenario 2b verändert die Fahrzeuggrößen der in den Jahren 2022 bis 2030 neu zugelassenen Pkw.
- Szenario 2c rechnet zusätzlich ab 2026 mit einer Reduktion der durchschnittlichen Jahresfahrleistung aller in Deutschland zugelassenen Pkw um 20 %.

Annahmen Szenario 2b und 2c

Das dritte Szenario (2b) nimmt die Anteile der verschiedenen Antriebsarten des zweiten Szenarios (2a) als Grundlage. D.h. es geht von einer schnellen Einführung von E-Pkw aus, so dass im Jahr 2030 95% aller Neuzulassungen BEV oder PHEV sind.

Die Veränderung der Fahrzeuggrößen fällt moderat aus. Ab 2022 werden jährlich 5 % mehr kleine und 5 % weniger große Fahrzeuge zugelassen. In den frühen 20er Jahren sind es vor allem kleinere Verbrenner. Dies ändert sich mit zunehmender Marktdurchdringung von E-Pkw – in 2030 finden die Größenverschiebung ausschließlich bei den reinen E-Pkw statt.

Aufbauend auf Szenario 2b wird im vierten Szenario (2c) unterstellt, dass ab 2026 die Jahresfahrleistung um 20 % fällt. In der Realität war eine schlagartige Veränderung des modalen Verhaltens vor der Pandemie von Covid-19 nicht denkbar. Das Szenario 2c soll aber illustrieren, wie viel Vermeidung und Verlagerung nötig werden, um die deutschen Klimaschutzziele zu erreichen. Eine Reduktion der Fahrleistung um 20 % – erzielbar durch Vermeidung und Verlagerung – würde im Zusammenspiel mit den vorher getroffenen Annahmen in den Szenarien 2a/b eine Reduktion um 42 % gegenüber 2019 garantieren.

Ergebnisse

Abbildung 4-1 gibt die CO₂-Emissionen der Jahre 2019 bis 2030 auf Basis der aufgeführten Annahmen wieder. Es stellt sich heraus, dass über die Größenveränderung nur eine knappe Million Tonnen des Treibhausgases CO₂ reduzierbar ist. Dies hängt mit der großen Anzahl von E-Pkw zusammen, die in den 20er Jahren auf Basis der Annahmen in Szenario 2a auf die Straße gebracht werden (22,4 Mio.). Elektromotoren haben einen höheren Wirkungsgrad und sind damit deutlich effizienter als die traditionellen Verbrennungsmotoren.

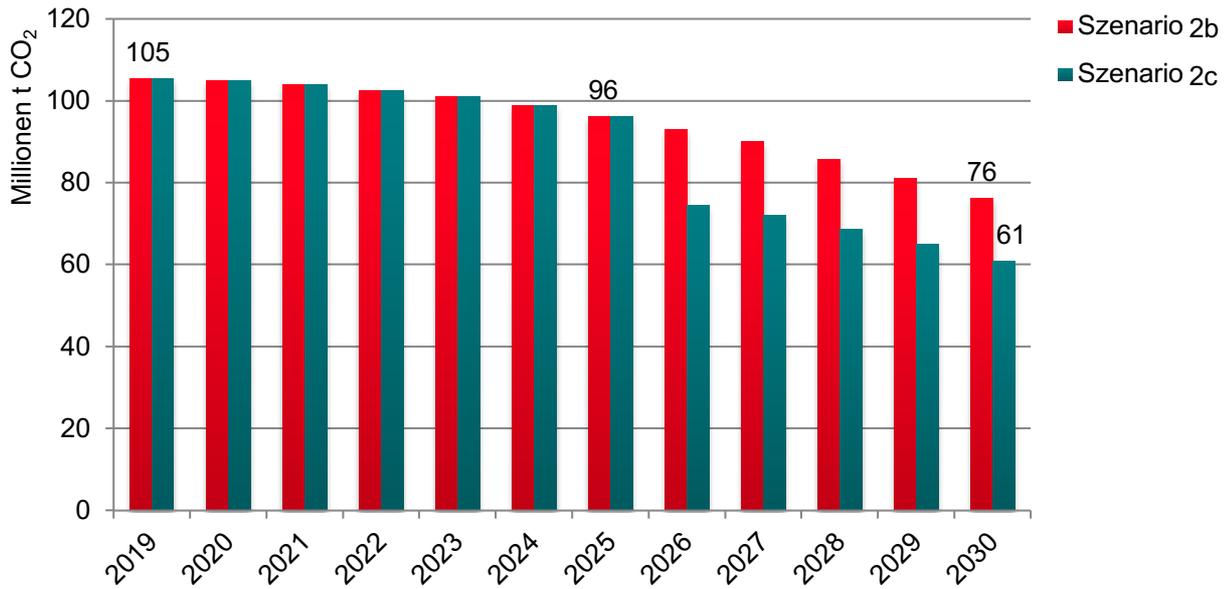


Abb. 4-1 CO₂-Emissionen deutscher Pkw in den Szenarien 2b & 2c. Quelle: eigenes Modell

Folgende Tabelle 4-1 listet weitere Ergebnisse auf. Der größte Unterschied zu Szenario 2a ergibt sich beim Stromverbrauch. Beide Szenarien können ihn senken und damit dazu beitragen, dass der zusätzliche Bedarf an Stromerzeugung (durch erneuerbaren Energien) möglichst moderat ausfällt.

Tab. 4-1 Ergebnisse der Szenarien 2b & 2c zur Bestandsflotte. Quelle: eigenes Modell

	2019	2020	Szenario 2b 2025	Szenario 2b 2030	Szenario 2c 2025	Szenario 2c 2030
TWh	0,5	1,5	19,9	57,5	19,9	48,0
Pkw klein	26 %	26 %	25 %	24 %	wie 2b	
Pkw mittel	54 %	53 %	51 %	54 %		
Pkw groß	20 %	21 %	23 %	22 %		
Diesel	31 %	31 %	28 %	16 %		
Benzin (inkl. Hybrid)	65 %	64 %	49 %	31 %		
Erdgas/Autogas	1 %	1 %	1 %	1 %		
PHEV	2 %	2 %	12 %	26 %		
BEV	0 %	1 %	10 %	26 %		
g CO ₂ /km (real)	179	178	160	126		
g CO ₂ /km (WLTP, Neuz.)	158	140	58	27		
Anzahl BEV+PHEV (Mio.)	0,2	0,6	8,7	22,4		

5 Die Rolle von Plug-in-Hybriden

In den Szenarien wird die Rolle des PHEV in Anlehnung an Plötz et al. (2020) anfangs mit der 2,5-fachen Emissionswirkung des verbrennungsmotorischen Anteils angerechnet, bis 2030 wird dann angenommen, dass sich diese Vervielfachung auf 1,5 reduziert. Gleichzeitig wird der *Utility Factor* von 0,4 auf 0,7 erhöht, sodass über die zusätzlichen elektrischen Fahranteile auch zusätzliche CO₂-Emissionen entstehen, welche die Emissionsreduktionen des Verbrennungsmotors teilweise ausgleichen.

Die Spannweite möglicher Verbräuche und Emissionen und damit die Unsicherheit über die Klimaschutzwirkung von PHEV ist sehr hoch (ebd.). Nachfolgende Tabelle 5-1 stellt mögliche positive wie negative Abweichungen der Szenariorechnungen gegenüber.

Die positiven Fehlwerte sind als zusätzliche Emissionen zu verstehen, die entstehen, weil sich die Fahranteile nicht wie erhofft zugunsten des Elektromotors verschieben. Es wird bis 2030 von einem 2,5-fachen Verbrauchs des Verbrennungsmotors im PHEV ausgegangen, der *Utility Factor* bleibt bei 0,4.

Die negativen Fehlwerte sind Folge einer besser als in der Referenz angenommenen Fahranteilsentwicklung. Ab 2023 wird von dem nur 1,1-fachen Verbrauch des Verbrennungsmotors ausgegangen, der *Utility Factor* liegt ab 2023 real bei 0,8.

Tab. 5-1 Unsicherheiten durch PHEV. Quelle: eigenes Modell

	Szenario 1: 75% neue E-Pkw in 2030	Szenario 2: 95% neue E-Pkw in 2030
neue PHEV in 2030	1,2 Mio. (36,6 %)	1,5 Mio. (46,4 %)
PHEV im Bestand 2030	8,6 Mio. (19,9 %)	11,0 Mio. (25,4 %)
Emissionen im Szenario	81,8 Mio. t CO ₂ (-22,4 %)	76,8 Mio. t CO ₂ (-27,1 %)
mögliche zusätzliche Emissionen (positiver Fehlwert)	1,2 Mio. t CO ₂ (-21,3 %)	1,6 Mio. t CO ₂ (-25,6 %)
mögliche zusätzliche Emissionseinsparungen (negativer Fehlwert)	1,9 Mio. t CO ₂ (-24,2 %)	2,7 Mio. t CO ₂ (-29,6 %)

Es zeigt sich, dass die Unsicherheiten groß genug sind, um signifikante Anteile zusätzlicher Reduktionsbemühungen zu neutralisieren bzw. im besseren Falle deren Wirkung zu verstärken. Daher ist es wichtig, Maßnahmen umzusetzen, die das Potenzial von Plug-in-Hybriden ausschöpfen, möglichst hohe elektrische Fahranteile zu haben. Es lohnt sich, eine möglichst klimafreundliche Nutzung dieser Pkw zu unterstützen, denn die Varianz möglicher CO₂-Emissionen ist bei dieser Fahrzeugvariante durch Unterschiede von Fahr-, Tank- und Ladeverhalten so groß, dass bei gleicher Fahrzeugflotte mehrere Millionen Tonnen des Treibhausgases mehr oder weniger emittiert werden können.

6 Politikempfehlungen

Die Politikempfehlungen richten sich nach den drei Forschungsfragen:

- 1 | *Wie wirkt sich die Diffusion von elektrischen Pkw auf die Zielvorgaben der Flottenemissionsnorm und die Klimabilanz des Verkehrssektors in 2030 aus?*

Die Entwicklung der Neuzulassungen des abgelaufenen Jahres 2020 ist sehr ermutigend: Anmeldungen von BEV und PHEV stiegen rasant, von 13,6 % im Januar auf 26,6 % im Dezember. Eine Neuzulassungsquote von 75 % und mehr im Jahr 2030 erscheint daher nicht nur machbar, sondern anstrengungswürdig. Die Automobilindustrie sprach vom Ziel, bis 2030 zehn Millionen E-Pkw auf Deutschlands Straßen zu bringen. Die Szenarien 1 und 2a, welche 75 % und 95 % neue Elektro-Pkw in 2030 unterstellen, würden zu 17,7 Mio. bzw. 22,4 Mio. solcher Pkw führen.

Tab. 6-1 Wirkungen von E-Pkw in der deutschen Klimabilanz. Quelle: eigenes Modell

Szenario #	Anteile neue BEV & PHEV 2030	Spezifische Emissionen Neuwagen 2030	Reduktion der spez. Em. 2030 ggü. 2021	Reduktion von Mio. t CO ₂ 2030 ggü. 2019
1)	75 %	50,5 g CO ₂ /km	58 %	22 %
2a)	95 %	26,7 g CO ₂ /km	78 %	27 %

Wie in Tabelle 6-1 ersichtlich ist, erreicht man in Deutschland unter den gegebenen Annahmen eine Reduktion der spezifischen Emissionen von neu zugelassenen Pkw in 2030 gegenüber 2021 um 58 % bzw. 78 %. Aber selbst im ambitionierteren Szenario 2a erreicht Deutschland im Pkw-Bereich nur CO₂-Reduktionen von 27 % in 2030 gegenüber 2019. Grund dafür ist die Bestandsflotte, die auch 2030 noch eine erhebliche Anzahl von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor aufweisen wird.

Deshalb sollten die Zielvorgaben der revidierten Flottenemissionsnorm für 2030 ähnlich dem Szenario 2a jenseits von -75 % gesetzt werden. Doch selbst dann bleibt die Verkehrswende noch immer eine große Herausforderung. Denn die CO₂-Emissionen von Pkw sinken selbst unter ambitionierten Zielvorgaben bis 2030 noch zu langsam, um die gesetzten Ziele zu erreichen. Die Bestandsflotte sollte 2040 nahezu vollständig elektrifiziert sein.

- 2 | *Welche zusätzlichen Anstrengungen im Pkw-Bereich sind nötig, um die Sektorziele zu erreichen?*

Wenn es geschafft würde, Szenario 2a zu erreichen, also 95 % der Pkw-Neuzulassungen in 2030 zu elektrifizieren, dann würde eine Veränderung der Pkw-Größen nur geringfügig zur weiteren Zielerreichung beitragen (Szenario 2b, vgl. Tabelle 6-2).

Je geringer aber die Zielvorgaben ausfallen, desto klimapolitisch wichtiger werden flankierende Politikinstrumente. Eine Zulassungssteuer, welche große Pkw stärker besteuern würde als kleine, könnte den Trend großer Pkw verlangsamen. Auf diese Weise könnten spezifische Emissionen ebenfalls sinken. Die Zulassungssteuer könnte aufkommensneutral gestaltet werden, indem sie zusätzliche Einnahmen nach sozialpolitischen Kriterien umverteilt.

Der Klimaschutz gebietet weitere flankierende Politikinstrumente. Da trotz des zu erwartenden Booms in der Elektromobilität weitere Klimaschutzanstrengungen bevorstehen, spielen die Strategiepfiler Vermeidung und Verlagerung eine entscheidende Rolle. Sie senken die Pkw-Mobilität auch in der Bestandsflotte und sparen damit den Verbrauch von fossilen Kraftstoffen. Je schneller zusätzliche Politikinstrumente eingeführt werden, desto höher sind die kumulativen Einsparungen.

Tabelle 6-2 zeigt Ergebnisse der Szenarien 2b und 2c, welche eine Pkw-Elektrifizierung wie Szenario 2a unterstellen. Szenario 2b erhöht den Anteil kleiner Pkw ab 2022 um 5 % aller Neuzulassungen und senkt dafür den entsprechenden Anteil großer Pkw. Durch eine zusätzliche Reduktion der Jahresfahrleistung um 20 Prozent gegenüber 2019 (Szenario 2c) würden zumindest im Pkw-Bereich die deutschen Klimaschutzziele erreicht (-42 % im gesamten Verkehrssektor).

Tab. 6-2 Wirkungen eines verstärkten Trends zu kleineren Fahrzeugen und von Reduktion der Fahrleistung auf die deutsche Klimabilanz. Quelle: eigenes Modell

Szenario #	Anteile neue BEV & PHEV 2030	Spezifische Emissionen Neuwagen 2030	Reduktion von Mio. t CO ₂ 2030 ggü. 2019
2b) moderate Größenänderung	95 %	26,7 g CO ₂ /km (unverändert)	28 %
2c) deutliche Reduktion der Fahrleistung (-20%)	95 %	26,7 g CO ₂ /km (unverändert)	42 %

Der Stromverbrauch läge im Szenario 2c bei 48 TWh und damit deutlich unter demjenigen in Szenario 2a (60 TWh). Inwieweit eine solche Elektrifizierung der deutschen Pkw-Flotte zusätzlichen Netzausbau erfordert und mit Lademanagement einher ginge, ist zu prüfen. Geringere Fahrleistungen gingen aber sicher auch mit weniger (potenziellen) Netzengpässen einher.

3 | *Wie wirkt sich die Diffusion von PHEV auf die Klimabilanz aus?*

Die Klimabilanz dieses Fahrzeugkonzepts ist positiv, wenn der elektrische Fahranteil hoch ist. Dieser wird sich in den nächsten Jahren gegenüber heute eher erhöhen (aufgrund der größeren Verbreitung an Lademöglichkeiten). Aber wenn der mobile Mensch die Wahl zwischen einem Lade- und einem Tankvorgang hat, wird er sich für den leichteren entscheiden. Heute überwiegt die Gewöhnung beim traditionellen Tanken. Deshalb sollte am Wohn- und Arbeitsort, also da wo ein Auto die meiste Zeit des Tages steht, die Möglichkeit bestehen Strom komfortabel zu laden.

Durch die reduzierte pauschale Dienstfahrzeugbesteuerung von 0,5 % anstatt 1 % ergibt sich zwar ein Anreiz, sich beim privat nutzbaren Dienstwagen für einen PHEV zu entscheiden. Aber wenn die Unternehmen zusätzlich auch Karten für kostenloses Tanken ausgeben, haben die Arbeitnehmer/innen kaum einen Anreiz, Strom zu laden. Daher sind Lademöglichkeiten am Arbeitsort wichtig, um den Ladevorgang alltagspraktisch zu erleichtern und den Anreiz kostenlosen Tankens auf Strom auszuweiten.

Herausfordernd ist im Alltag außerdem die Zuweisung von Lademöglichkeiten an Mehrfamilienhäusern. Hier gilt es Konzepte und Infrastrukturen zu entwickeln, die allen Wohnparteien entgegenkommen.

Schließlich sind Plug-in-Hybride in einer Markteinführungsphase von E-Pkw sicherlich vorteilhaft, um Kundschaft mit der neuen Technologie vertraut zu machen. Mittelfristig sollte aber aus klimapolitischen Gründen auch diese Antriebsvariante eher vom reinen Stromer abgelöst werden. Insofern erscheinen weitere Kaufanreize für PHEV – insbesondere ohne dezidierte Vorgabe des *Utility Factors* – in möglichen Zusatzbestimmungen einer revidierten Flottenemissionsnorm kontraproduktiv.

7 Literaturverzeichnis

BMU (2019). Klimaschutz in Zahlen Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik Ausgabe 2019. Frankfurt: Zarbock. Abrufbar unter: https://www.klimakompakt.de/fileadmin/redaktion/Datei-downloads/Bund_Land/klimaschutz_zahlen_2019_broschuere_BMU.pdf

Europäische Kommission (2017). SWD(2017) 650 final. Commission staff working document. Abrufbar unter: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/10102/2017/EN/SWD-2017-650-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF>

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) (2020). Entwicklung Biokraftstoffverbrauch 2020. Abrufbar unter: <https://mediathek.fnr.de/biokraftstoffe-in-deutschland.html>

KIT (Karlsruher Institut für Technologie) (2020). Mobilitätspanel. Karlsruhe: KIT
Nobis, C., Kuhnimhof, T., Follmer, R., & Bäumer, M. (2019). Mobilität in Deutschland – Zeitreihenbericht 2002 – 2008 – 2017. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15). Bonn, Berlin.
Abrufbar unter: www.mobilitaet-in-deutschland.de

Plötz, P., Moll, C., Bieker, G., Mock, P., & Li, Y. (2020). Real-world Usage of Plug-In Hybrid Electric Vehicles Fuel Consumption, Electric Driving, and CO₂ emissions. White Paper, September 2020. Berlin: ICCT. Abrufbar unter: <https://theicct.org/publications/phev-real-world-usage-sept2020>

Schipper, L. (2011). Automobile use, fuel economy and CO₂ emissions in industrialized countries: Encouraging trends through 2008?. *Transport Policy*, 18(2), 358-372.

Tietge, U., Mock, P., German, J., Bandivadekar, A., & Ligterink, N. (2017). From laboratory to road: A 2017 Update. Berlin: ICCT. Abrufbar unter: <https://www.theicct.org/publications/laboratory-road-2017-update>.

Websites

Alle Websites wurden im Januar 2021 abgerufen.

Website EC (Europäische Kommission): CO₂ emission performance standards for cars and vans (2020 onwards).
https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation_en

Website EEA (European Environment Agency): Highlights.
<https://www.eea.europa.eu/highlights/average-co2-emissions-from-new-cars-vans-2019>

Website KBA (Kraftfahrtbundesamt): Fahrzeuge - Neuzulassungen.
https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/neuzulassungen_inhalt.html?nn=2601598