



Klimafreundliche Autos in Deutschland:

Ein Überblick der sozioökonomischen Auswirkungen

Wir danken den folgenden Organisationen, die mit ihrer Expertise zur Studie beigetragen haben:

50Hertz Transmission GmbH

ABB Ltd

BMW AG

Continental AG

Daimler AG

EnBW AG

EUROBAT

**European Aluminium
Association (EAA)**

IG Metall

LANXESS AG

Michelin

The Mobility House GmbH

Naturschutzbund Deutschland e.V.

Nissan Center Europe GmbH

**Nationale Organisation
Wasserstoff- und
Brennstoffzellentechnologie
GmbH**

Toyota Motor Europe

Valeo S.A.

Verkehrsclub Deutschland e.V.

**Verband der
Automobilindustrie e.V.**

Volkswagen AG

**Verbraucherzentrale
Bundesverband e.V.**



Impressum

Wissenschaftliche Partner:

Phil Summerton, Managing Director,
Cambridge Econometrics

Sophie Billington, Project Manager,
Cambridge Econometrics

Jamie Pirie, Senior Economist,
Cambridge Econometrics

Shane Slater, Director, Element Energy

Alex Stewart, Director, Element Energy

Joris Besseling, Principal Consultant, Element Energy

Wolfgang Schade, Direktor, M-Five GmbH Mobility,
Futures, Innovation, Economics

Unabhängiger Gutachter:

Peter Mock, Geschäftsführer,
International Council on Clean Transportation

Projektkoordinierung:

Pete Harrison, Transport Director,
European Climate Foundation

Constance Chucholowski, Senior Consultant,
Joschka Fischer & Company

Dies ist eine Zusammenfassung des Berichtes von
Cambridge Econometrics mit dem Titel "Low-carbon
cars in Germany: A socio-economic assessment",
abrufbar unter:

[https://www.camecon.com/how/our-work/
low-carbon-cars-in-germany/](https://www.camecon.com/how/our-work/low-carbon-cars-in-germany/)

Begleitkreis

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Begleitkreises zu dieser Studie haben das gemeinsame Ziel, einen konstruktiven und transparenten Meinungsaustausch zu den technischen, ökonomischen und ökologischen Auswirkungen zu etablieren, die mit der Entwicklung klimafreundlicher Technologien für Autos einhergehen. Die Aufgabenstellung der vorliegenden Studie war zu beschreiben, unter welchen Bedingungen Fahrzeugtechnologien zur Senkung der deutschen CO₂-Emissionen beitragen können. Inhalt und Schlussfolgerungen reflektieren die Fachkenntnisse und Sichtweisen, die alle Begleitkreis-Teilnehmer eingebracht haben – sollten jedoch nicht als bindend für die beteiligten Unternehmen und Organisationen verstanden werden.

Berlin, Oktober 2017



Zusammenfassung

Die deutsche Automobilindustrie ist im Bereich Technologieinnovationen weltweit führend und wird auch in Zukunft eine bedeutende Rolle bei der Bekämpfung des Klimawandels und der städtischen Luftverschmutzung einnehmen. Die Analyse im Rahmen dieser Studie hat bestätigt, dass Effizienzsteigerungen bei Pkw und der Einsatz von Nullemissions-Fahrzeugen einen signifikanten Beitrag zur Erreichung des ambitionierten CO₂-Reduktionsziels für den deutschen Verkehrssektor leisten können. Das gilt für die Zielsetzungen für die Jahre 2030 bzw. 2050 – und auch im Hinblick auf die Erfüllung des Pariser Klimaschutzabkommens.

Obwohl Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit nicht explizit untersucht wurden, waren sich die Teilnehmer des Begleitkreises einig, dass die deutsche Automobilindustrie bei der Entwicklung emissionsarmer Technologien Vorreiter sein muss, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Wirtschaft und Nettobeschäftigung werden vom Wechsel von fossilem Öl zu erneuerbaren Energien profitieren. Viele Milliarden Euro verbleiben in der Volkswirtschaft, wenn das bisher importierte Öl durch heimisch erzeugte Energie ersetzt wird. Neue Arbeitsplätze werden geschaffen, beispielsweise in der Produktion und Installation von Ladeinfrastruktur – die Zahl der Arbeitsplätze in der Fertigung von Verbrennungsmotoren nimmt jedoch ab. Um diesen Strukturwandel gerecht zu gestalten, ist ein umfangreiches Verständnis für neue Anforderungen an Ausbildung und Fähigkeiten gefragt.

Dass Deutschland allein über klimafreundliche Fahrzeuge sein ambitioniertes CO₂-Reduktionsziel im Verkehrssektor bis 2030 erreicht, bleibt jedoch unwahrscheinlich. Nachhaltige, klimafreundliche Mobilität benötigt einen systemischen Ansatz, der Lösungen und Verkehrsmittel außerhalb des Automobilsektors berücksichtigt. Eine große Rolle werden auch neue Technologien spielen – beispielsweise emissionsarme Kraftstoffe und digitale Innovationen, wie gemeinschaftlich genutzte Mobilität. Alle Lösungen, die zur Dekarbonisierung bis 2050 beitragen können, sollten berücksichtigt und dort eingesetzt werden, wo sie effektiv und effizient sind.

Bis zum Jahr 2030 werden sich die Gesamtkosten von klimafreundlichen Fahrzeugen denen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor annähern. In manchen Anwendungsfällen (z.B. Taxis) wird sogar schon wesentlich schneller Kostenparität erreicht. Regierungen müssen diese Entwicklung fördern und sich dazu auch mit der Industrie und anderen Interessengruppen beraten.

Die Ladeinfrastruktur ist eine Voraussetzung dafür, dass sich Elektroautos am Markt durchsetzen; Investitionen in diesem Bereich müssen daher gesteigert werden. Der Ausbau von Schnellladeinfrastruktur wird bis 2030 mehrere Milliarden Euro kosten. Um eine ausreichende Ladeinfrastruktur bereitzustellen, ist ein gemeinsames und entschlossenes Vorgehen von Industrie, Regierung und Zivilgesellschaft nötig. Das Timing, Ort, Leistungsfähigkeit sowie Kompatibilität sind entscheidend. Stromnetze müssen als Teil der Sektorenkopplung verstärkt und modernisiert werden. Die Kosten dafür können vermutlich durch das „Smart Charging“, also intelligente Ladesysteme, reduziert werden, wenn sie Spitzen bei der Stromnachfrage ausgleichen.

Der Übergang hin zu klimafreundlicher Mobilität wirkt sich in vielfältiger Weise auf die Beschäftigung in mehreren Sektoren aus. Dem zentralen Szenario der Analyse folgend, in dem die Klimaziele durch eine Kombination aus Hybrid- und Plug-In-Hybridfahrzeugen sowie Fahrzeugen mit zunehmend effizienteren Verbrennungsmotoren erreicht werden, wird die Anzahl an Arbeitsplätzen im Automobilsektor bis 2030 stabil bleiben. Der Übergang zur E-Mobilität wird die Beschäftigung in Sektoren wie Fahrzeugbau und Infrastruktur auch nach 2030 noch steigern – aber auch die gesamte Wertschöpfungskette für Automobile beeinflussen. Prognosen für den Zeitraum nach 2030 sind mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert, die eine tiefgehende Analyse erfordern. So hängt der ökonomische Effekt auch vom Produktionsstandort der Batterien ab. Wenn Deutschland wirtschaftlich vom Übergang zur klimafreundlichen Mobilität stärker profitieren will, muss es ein politisches Umfeld schaffen, das die Batterieproduktion im Inland fördert.





Einführung

Mit dem Klimaschutzplan 2050 hat die Bundesregierung das Ziel gesetzt, verkehrsbedingte CO₂-Emissionen bis 2030 um 40 bis 42 Prozent zu reduzieren. Die im selben Jahr veröffentlichte "Strategy on Low Emissions Mobility" der Europäischen Union prognostiziert eine grundlegende Verschiebung weg vom Mineralöl hin zu regenerativen Energiequellen. Und auch das mit dem Pariser Klimaschutzabkommen beschlossene Ziel, die Erderwärmung auf deutlich unter zwei Grad Celsius zu begrenzen, macht deutlich, dass im Verkehrssektor ein Wandel bevorsteht.

Die Einführung neuer Fahrzeugtechnologien wird zu diesem Wandel entscheidend beitragen. Die Vorgaben des Klimaschutzplans haben für ein Land wie Deutschland, in dem massiv in die Fahrzeugproduktion investiert wurde, weitreichende Konsequenzen. Vor diesem Hintergrund hat die European Climate Foundation (ECF) ein Projekt ins Leben gerufen, das die wichtigsten sozialen, ökologischen und ökonomischen Auswirkungen eines technologiegestützten Übergangs zu klimafreundlichen Autos untersucht.

Auch wenn sich die vorliegende Studie allein mit Fahrzeugtechnologien befasst, erkennt sie an, dass ein Wandel hin zu klimafreundlicher Mobilität viele weitere Elemente erfordert. Dazu gehört neben emissionsarmen Flüssigbrennstoffen auch eine stärkere Nutzung gemeinschaftlicher Mobilität. Weitere Forschungsvorhaben sind notwendig, um das gesamte Potential zu erfassen, insbesondere im Hinblick auf neuere Lösungsansätze wie synthetische Kraftstoffe.

Die ECF hat einen Begleitkreis zur Studie ins Leben gerufen, in dem die zugrundeliegenden Annahmen und Ergebnisse geprüft und diskutiert wurden. Folgende Organisationen waren daran beteiligt:

- die drei größten Automobilhersteller Deutschlands, zwei internationale Automobilhersteller sowie vier Zulieferer
- drei Unternehmen, die im Bereich der Energieversorgung und Ladeinfrastruktur in Deutschland tätig sind
- Deutschlands wichtigste Gewerkschaft dieser Branche
- drei deutsche Umwelt- und Verbraucherschutzverbände

Der Begleitkreis traf sich insgesamt sechsmal zur Beratung mit den wissenschaftlichen Auftragnehmern, um folgende Fragen zu beantworten:

- In welchem Maße können saubere Fahrzeugtechnologien dazu beitragen, das deutsche CO₂-Reduktionsziel von 40 bis 42 Prozent im Verkehrssektor zu erreichen?
- Welche Auswirkungen haben klimafreundliche Fahrzeuge auf Anschaffungs- und Gesamtbetriebskosten für Verbraucher?
- Wie ist Deutschland positioniert, um wirtschaftlich von neuen Fahrzeugtechnologien wie Leichtbauwerkstoffen und Batterien zu profitieren?
- Wie viel müsste Deutschland in Ladeinfrastruktur investieren, einschließlich der Modernisierung des Stromnetzes?
- Wie wirkt sich die Verkehrswende hin zu klimafreundlichen Fahrzeugen insgesamt auf das deutsche Bruttoinlandsprodukt (BIP) und die Beschäftigung aus?

Drei mögliche Auswirkungen wurden bewusst nicht untersucht:

- Die Messung des Einflusses auf die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Autoindustrie – unabhängig davon, ob sie im weltweiten Vergleich beim Übergang zu sauberer Mobilität vorne liegt.
- Die Änderungen der Anzahl von Autos, die sich aus möglichen Veränderungen der Mobilitätsmuster ergeben könnten.
- Eine detaillierte Analyse der Beschäftigungsentwicklung in der Automobilbranche selbst.

Das Hauptergebnis der vorliegenden Studie ist ein breiter Überblick über die wahrscheinlichen Folgen eines strukturellen Wandels der Mobilität in Deutschland – vor dem Hintergrund gesteigerter Effizienz, einer Veränderung sowohl von Fahrzeugtechnologien als auch Energieinfrastruktur für Pkw und eines Wechsels weg von Ölimporten hin zu inländisch produziertem Strom und Wasserstoff.

Methodik

Der in diesem Projekt verwendete Modellierungsansatz wird im technischen Bericht ausführlich beschrieben und ist in Abbildung 1 zusammengefasst. Ein Begleitkreis aus Experten wurde einberufen, um zur Erstellung plausibler Technologieszenarien beizutragen. Hierbei wurde die Marktdurchdringung bisher verfügbarer klimafreundlicher Technologien sowie die Spannbreite bereits vorliegender Projektionen für die zukünftige Technologieverbreitung berücksichtigt. Das Expertengremium beriet über die relevanten Daten zu Mobilität, Fahrzeugen, Energie, Infrastruktur und Wirtschaft, die den Modellierungen zu Grunde liegen. Sie werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Die vereinbarten Datensätze wurden zunächst in ein Modell eingegeben, das jährliche Änderungen im Gesamtbestand von Deutschlands Kapitalvermögen und Energieverbrauch pro Sektor in jedem der

einzelnen Szenarien ermittelte. Schließlich wurden die Ergebnisse aus dem Modell in das makroökonomische Modell E3ME eingespeist.

Das E3ME-Modell hat zwei große Stärken, die für dieses Projekt relevant sind. Die integrierte Betrachtung von Wirtschaft, Energiesystem und Umwelt ermöglicht es dem Modell, wechselseitige Verbindungen und Reaktionen zwischen einzelnen Elementen zu erfassen. Die hohe Detailschärfe erlaubt zudem eine relativ genaue Analyse der sektorspezifischen Auswirkungen. Das E3ME lieferte Ergebnisse zu Änderungen bei Haushaltsbudgets, der Energiehandelsbilanz, Verbrauch, BIP, Beschäftigung, CO₂, NO_x und Feinstaub.

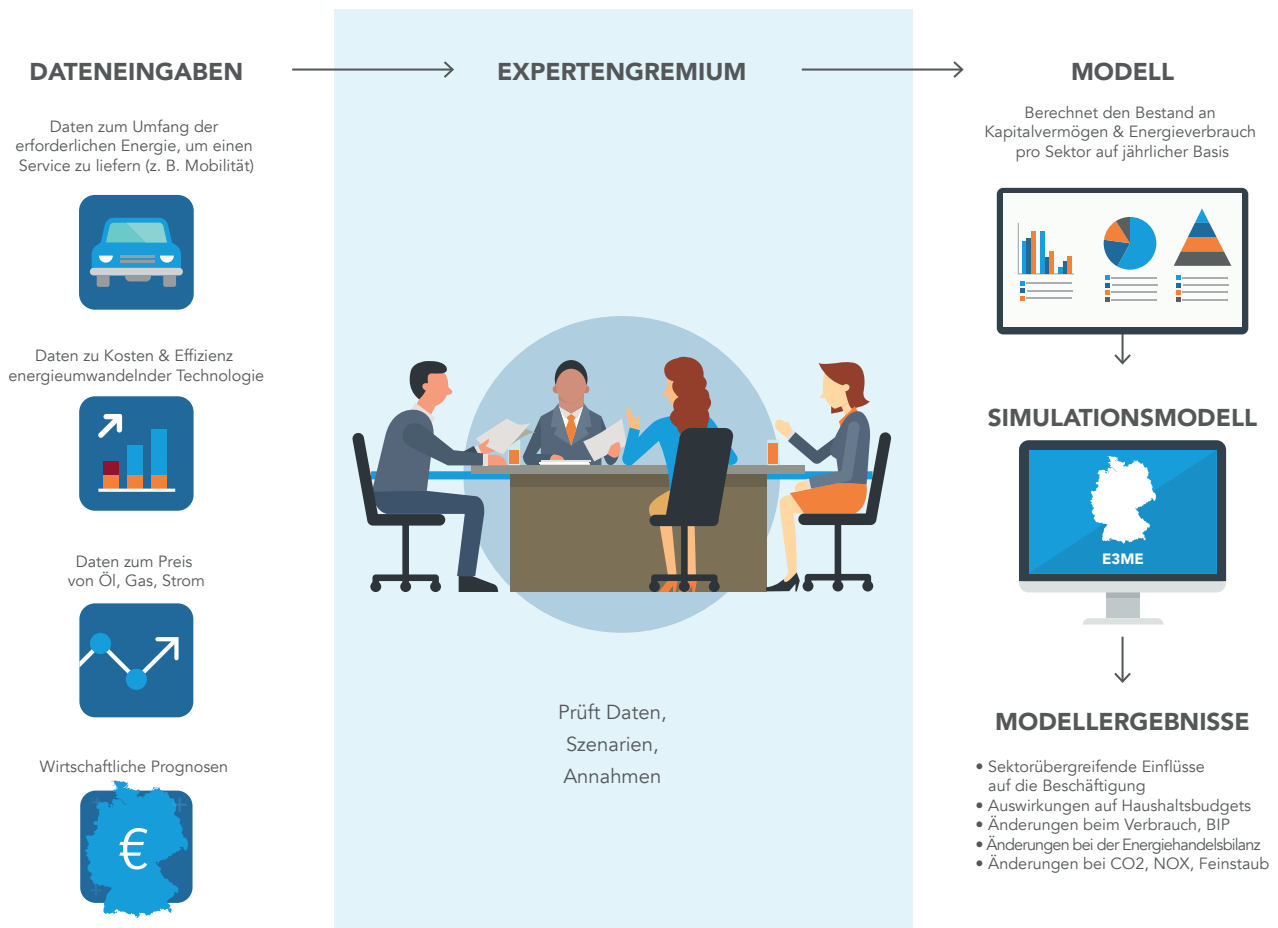


Abb. 1 Überblick über den Modellierungsansatz

Folgen für die Umwelt

Frage: In welchem Maße können saubere Fahrzeugtechnologien dazu beitragen, das deutsche CO₂-Reduktionsziel von 40 bis 42 Prozent im Verkehrssektor zu erreichen?

Der zukünftige Einsatz klimafreundlicher Technologien ist mit großen Unsicherheiten behaftet, da er von Veränderungen bei Technologie- und Energiekosten, der Höhe von Steuern und Anreizen sowie Verbraucherpräferenzen abhängt. Das Expertengremium hat sich auf ein zentrales Technologie-Szenario geeinigt, das als plausibel und erreichbar angesehen wird. Dieses Technologie-Szenario steht weitgehend mit den Pariser Klimazielen im Einklang, sofern es mit weiteren Instrumenten zur Reduzierung des verkehrsbedingten CO₂-Ausstoßes kombiniert wird.

In diesem zentralen Szenario TECH (Abb. 2) wandelt sich die aktuell noch durch Diesel- und Benzinfahrzeuge dominierte deutsche Autoflotte: Bis 2030 wird sie zu fast 40 Prozent aus klimafreundlichen Fahrzeugen (nämlich Plug-in-Hybriden, Elektrofahrzeugen und Brennstoffzellenfahrzeugen) bestehen – der Rest ist größtenteils hybridisiert (Mild- und Vollhybride). Diese Verbreitung von emissionsfreien Fahrzeugen steht im Einklang mit gängigen Prognosen und berücksichtigt vergangene Marktdurchdringungsraten für neue Automobiltechnologien.

In unserem zentralen TECH-Szenario wird der CO₂-Austoß von Autos von etwa jährlich 99 Megatonnen (MT) im Jahr 2017 auf ca. 12 MT jährlich bis 2050 verringert (Abb. 3). Gleichzeitig wird ein beachtlicher positiver Nebeneffekt erzielt: Feinstaubemissionen aus Fahrzeugabgasen verringern sich von jährlich ca. 5.000 Tonnen im Jahr 2017 auf unter 500

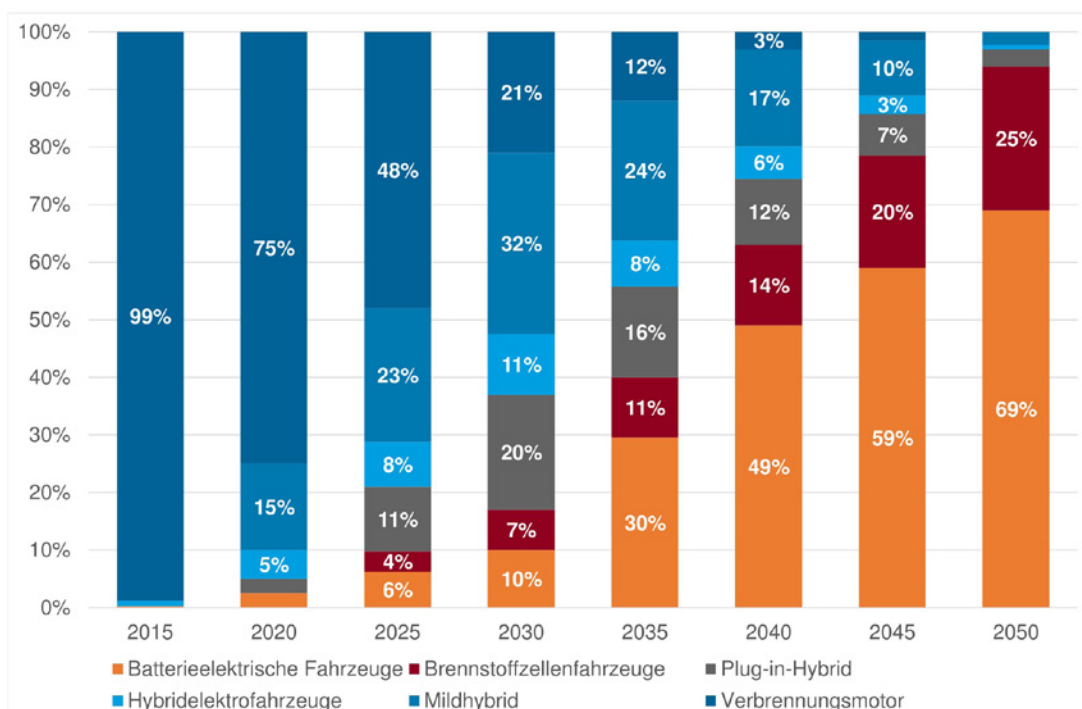


Abb. 2 Einsatz neuer Antriebstechnologien in der deutschen Pkw-Flotte bis 2050 im TECH-Szenario

Tonnen im Jahr 2050. Dies wird durch eine Kombination aus erhöhter Effizienz und einem Wechsel des Energieträgers von Diesel und Benzin zu kohlenstoffarmem Strom und Wasserstoff erreicht. Auch wenn diese Prognosen bis 2050 eine beträchtliche CO₂-Verringerung vorhersagen, kann das deutsche Ziel einer CO₂-Reduktion von 40 bis 42 Prozent bis 2030 nicht erreicht werden.

Ein Grund dafür ist, dass es zwar einen recht schnellen Wandel im Technologiemark bei der Neuwagenflotte gibt, sich der Technologiemark der Gesamtflotte im Verhältnis jedoch nur relativ langsam verändert. Die Lebensdauer eines Fahrzeugs in Deutschland beträgt etwa 15 Jahre, das Durchschnittsalter von Autos auf der Straße liegt heute bei neun Jahren. Frühere Analysen im Auftrag der European Climate Foundation deuten jedoch darauf hin, dass die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens im TECH-Szenario erreicht werden können, wenn sie mit anderen Maßnahmen

zur CO₂-Reduzierung im Verkehrsbereich kombiniert werden. Dazu zählen z. B. effizientere Lkw und Busse, fortschrittliche Kraftstoffe mit geringen Emissionen usw.¹

Verschiedene Akteure haben gefordert, ab 2030 den Verkauf von Neuwagen mit Diesel- und Benzinmotoren zu beenden, um Klimaschutzziele zu erreichen. Für diesen Fall wurde ein weiteres Szenario entwickelt, das von 100 Prozent Plug-in-Hybridfahrzeugen bis 2030 ausgeht (TECH-RAPID-Szenario). In diesem Szenario würde Deutschland das Ziel erreichen, den verkehrsbedingten Kohlenstoffausstoß bis 2030 um 40 bis 42 Prozent zu verringern, ohne andere Verbesserungen im Mobilitätssektor durchzuführen. Die Umsetzung wäre allerdings schwieriger als in unserem zentralen TECH-Szenario, sowohl im Hinblick auf die Marktdurchdringung als auch auf die sozioökonomischen Auswirkungen. In der Regel benötigen emissionsarme Fahrzeugtechnologien 15 Jahre oder länger, um sich zu verbreiten (siehe Abb. 7). Die sozioökonomischen Folgen werden in späteren Kapiteln untersucht.

¹ "SULTAN-Modellierung zur Erforschung von größeren potenziellen Auswirkungen der Klimapolitik im Verkehrssektor im Jahr 2030" – Ricardo Energy & Environment, 2016

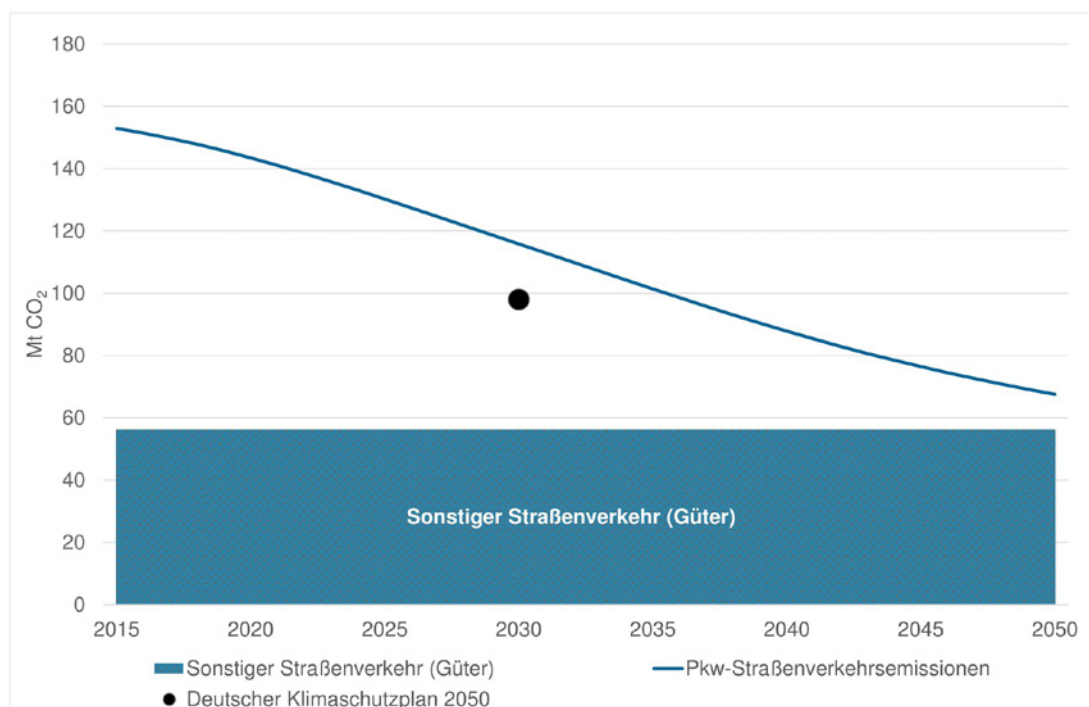


Abb. 3 Deutsche CO₂-Emissionen durch Straßenverkehr im TECH-Szenario

Folgen für Verbraucher

Frage: Welche Auswirkungen haben klimafreundliche Fahrzeuge auf Anschaffungs- und Gesamtbetriebskosten für Verbraucher?

Es gibt unterschiedliche Ansichten zu der Frage, welche Kosten durch klimafreundliche Fahrzeugtechnologien entstehen. Auch die prognostizierten Kosten von Effizienzsteigerungen bei Diesel- und Benzinautos variieren stark (Abb. 4): Am oberen Ende der Schätzungen liegen Analysen des Instituts für Kraftfahrzeuge (IKA), am unteren Ende die des International Council on Clean Transportation (ICCT). Die Analyse von Ricardo-AEA, die für die Europäische Kommission durchgeführt wurde, liegt im Mittelfeld. Für die vorliegende Studie wurden die zentralen Annahmen zu Fahrzeugtechnologiekosten

von Ricardo-AEA verwendet. Ergänzend wurden aber auch – aufbauend auf den Ansichten von IKA oder ICCT – die Auswirkungen von höheren und niedrigeren Kosten getestet.

Die Modellierung von Batteriespeichersystemen berücksichtigt die Kosten der Zellen, Kabelbäume, Behälter und Steuerungssysteme sowie Leistungssteigerungen im Laufe der Zeit. In den Annahmen wird von höheren Kosten ausgegangen als in jüngst veröffentlichten optimistischeren Prognosen: So beziffert General Motors (GM) die Batteriekosten des Chevrolet Bolt auf Zellenebene mit 145 USD/kWh und die Entwicklung des Zellenpreises mit 100 USD/kWh bis 2022. Die getroffenen Annahmen sind auch konservativer als aktuelle Berechnungen, die von Kostensenkungen bei Batteriepacks der Tesla Gigafactory auf 125 USD/kWh bis 2020 ausgehen.

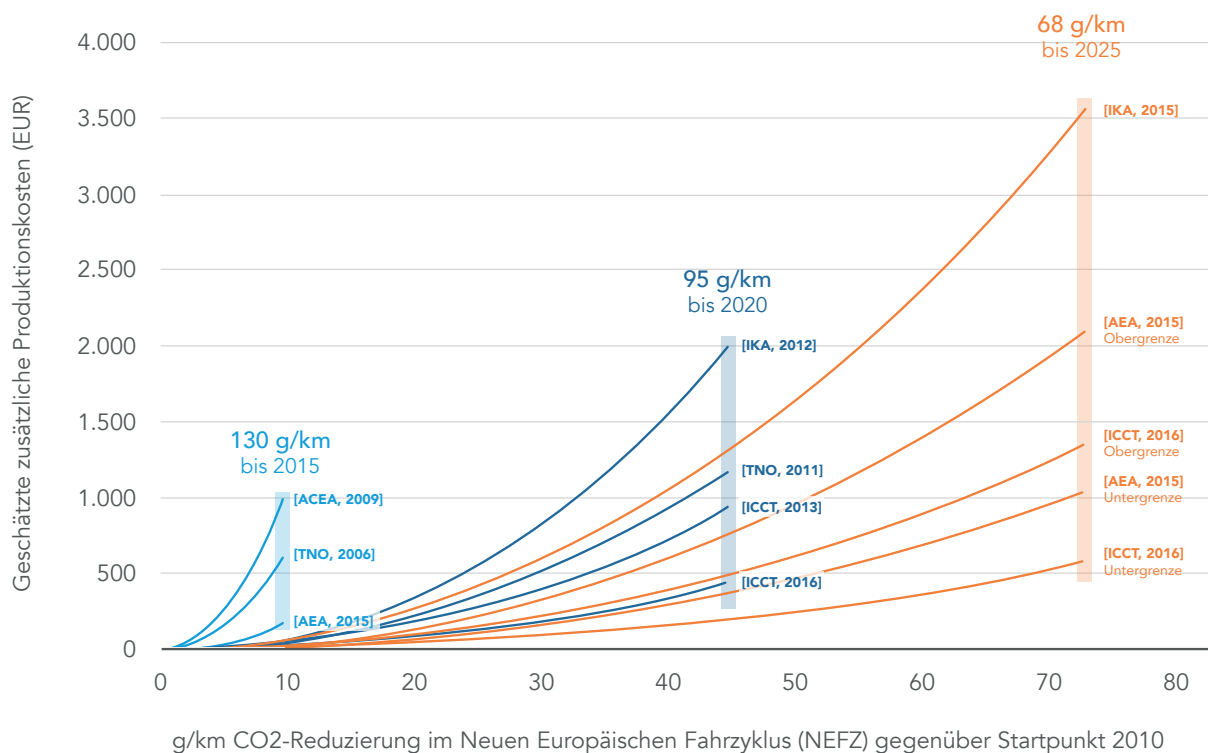


Abb. 4 Kostenschätzungen für Technologien zur CO₂-Reduzierung bei Benzin- und Dieselmotoren



Die Kostenannahmen für Brennstoffzellenfahrzeuge basieren auf Gesprächen mit Herstellern (OEMs) und einer Auswertung publizierter Daten (wie den Zielen des US-Energieministeriums). Man geht davon aus, dass die heute aufgrund ihrer geringen Stückzahl hohen Kosten dieser Technologie bis 2020 auf 100 Euro/kW und bis 2030 auf 60 Euro/kW sinken werden. Voraussetzung ist, dass das Produktionsvolumen auf Hunderttausende von Einheiten pro Jahr und Erstausrüster ausgedehnt wird. Szenarien mit höheren und niedrigeren Kosten wurden ebenfalls modelliert.

Die Kosten der CO₂-Minderungs-Technologien sinken allmählich durch Skalenvorteile. Die aggregierten Kosten erhöhen sich jedoch, da weitere Technologien hinzukommen, um strengere CO₂-Grenzwerte zu erreichen. Abbildung 5 zeigt, wie sich Fahrzeuganschaffungskosten in unserem TECH-Szenario voraussichtlich in Zukunft entwickeln werden,

um die Klimaziele zu erreichen. Im Jahr 2020 werden batterie- und brennstoffzellenbetriebene Elektroautos wohl noch deutlich teurer sein als Diesel- und Benzinfahrzeuge sowie ihre Hybridvarianten. Bis 2030 wird sich allerdings der Preisunterschied verkleinern, weil einerseits Diesel- und Benzinautos teurer werden, um Umweltziele zu erreichen, andererseits emissionsfreie Autos in größerem Umfang produziert und dadurch billiger werden. Im TECH-Szenario nähern sich die Kosten bis 2030 an, erreichen aber nicht dasselbe Niveau.

Änderungen bei den Anschaffungskosten sind aber nur einer der für die Verbraucher relevanten Aspekte. Ausschlaggebend sind die Gesamtkosten eines Fahrzeuges (TCO) für den Erstbesitzer. Die Kaufentscheidung des Erstbesitzers bestimmt in der Regel, ob sich emissionsarme Technologien in der deutschen Fahrzeugflotte durchsetzen können. Über

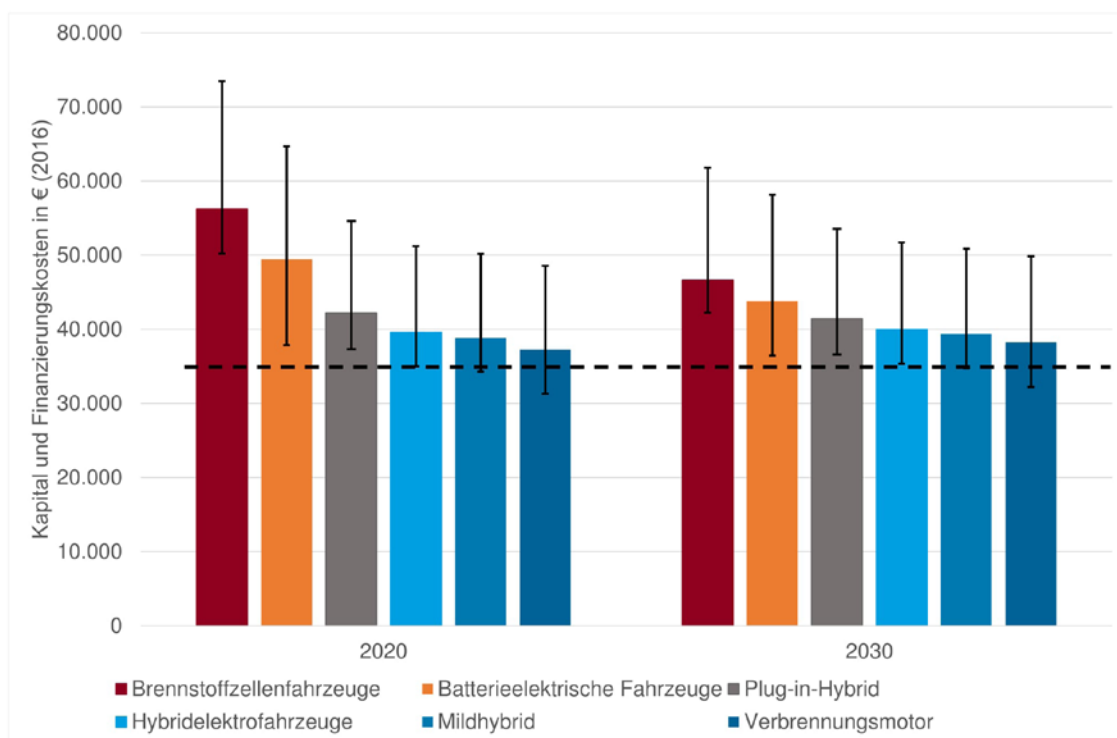


Abb. 5 Aggregierte Kapital- und Finanzierungskosten für Mittelklassewagen im TECH-Szenario

Folgen für Verbraucher

die anfängliche Haltedauer hinaus müssen daher nicht nur der Anschaffungspreis, sondern auch die Treibstoff-, Finanzierungs- und Ladekosten sowie der Wiederverkaufswert des Fahrzeugs berücksichtigt werden. Abbildung 6 zeigt diese Perspektive über eine Haltedauer von vier Jahren (im TECH-Szenario).

Zentrales Ergebnis ist, dass es im TECH-Szenario bis 2030 eine starke Annäherung der Kosten für Besitz und Betrieb aller Fahrzeugtypen geben wird. Diese Annäherung ist viel stärker als die isolierte Betrachtung des Anschaffungspreises. Es ist allerdings bemerkenswert, dass es zwischen den optimistischsten und pessimistischsten Annahmen, die sich in höheren bzw. niedrigeren Kosten widerspiegeln, eine relativ große Bandbreite gibt. Diese hohen und niedrigen Schätzungen reflektieren unterschiedliche Prognosen der Kosten von Diesel, Benzin, Strom und emissionsarmen Fahrzeugtechnologien sowie die Zinslast beim Kauf eines Fahrzeugs auf Kredit.

Diese Unsicherheiten können Einfluss darauf haben, ob Verbraucher eine Technologie annehmen oder nicht. Falls sich zum Beispiel emissionsenkende Technologien für Benzin- und Dieselautos am oberen Ende der Unsicherheitsskala befinden, Elektroautos hingegen am unteren Ende, könnte der Wechsel rasch erfolgen. Wenn andererseits Innovation zu preisgünstigen Effizienzsteigerungen bei Benzin- und Dieselfahrzeugen führt, doch Batteriekosten langsamer sinken als prognostiziert, wird sich dieser Übergang schwieriger gestalten. Statt wie in Abbildung 6 Durchschnittswerte aufzuzeigen, ist es oft relevanter, sich auf Anwendungsfälle zu konzentrieren. Manche Anwendungsfälle, wie innerstädtische Lieferfahrten und Taxis, erreichen vergleichsweise früh eine Kostenparität der Technologien. In anderen Anwendungsbeispielen wird Kostengleichheit erst viel später erzielt werden können, beispielsweise bei Fahrten auf der Autobahn unter Zeitdruck (z.B. Unternehmensvorstände).

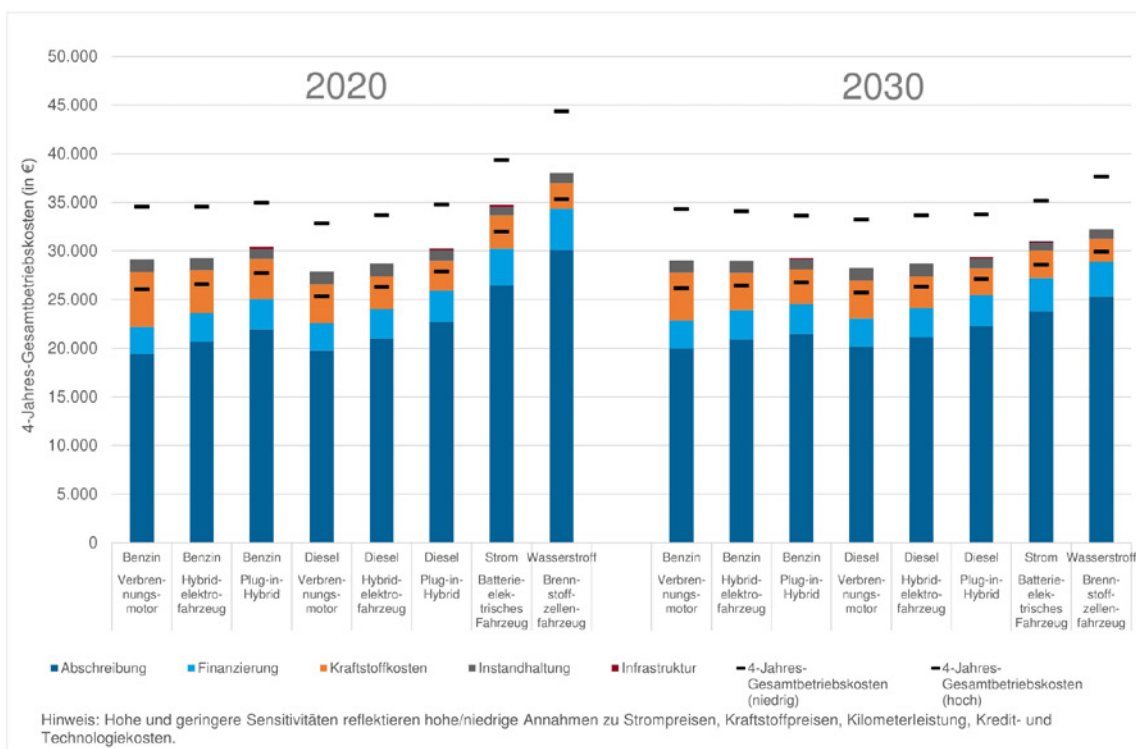


Abb. 6 Gesamtkosten von Besitz und Betrieb eines Mittelklassewagens mit unterschiedlichen Antriebssystemen im TECH-Szenario in den Jahren 2020 und 2030

Auch die künftige Besteuerung von Energie für Mobilität ist unklar. Da sich die Staatseinnahmen aus der Besteuerung von Diesel und Benzin verringern, scheint es plausibel, dass das Finanzministerium andere Energiequellen für Mobilität besteuern könnte, insbesondere Strom und Wasserstoff. Andererseits hat sich die deutsche Regierung ein ambitioniertes CO₂-Reduktionsziel für den Verkehrssektor gesetzt und deutsche Automobilhersteller investieren stark in emissionsfreie Fahrzeuge. Daher ist es unwahrscheinlich, dass Steuern in einer Weise erhoben werden, die den Einsatz neuer Technologien erheblich behindern.

Besteuerung und Anreize sind wichtige politische Hebel, um den Übergang zu einem Niedrigemissionspfad zu schaffen. Unsere Untersuchung geht davon aus, dass sie wirksam angewandt werden, damit die klimafreundlichen Technologieszenarien realisiert werden können. Gleichzeitig erkennen wir die aktuellen Unsicherheiten an und möchten betonen, welche große Bedeutung das Zusammenspiel zwischen Industrie, Regierung und Zivilgesellschaft bei der Findung eines Konsenses über den optimalen Ansatz hat. Die Berechnungen im Rahmen dieser Studie haben gezeigt, dass im TECH-Szenario eine Straßenbenutzungsgebühr (Maut) von etwa zwei Cent pro Kilometer nötig wäre, um den Verlust an Mineralölsteuereinnahmen auszugleichen.



Neue Wertschöpfungsketten

Frage: *Wie ist Deutschland positioniert, um wirtschaftlich von neuen Fahrzeugtechnologien wie Leichtbauwerkstoffen und Batterien zu profitieren?*

Deutschland ist bei der Produktion von Diesel- und Benzinfahrzeugen Weltmarktführer. Abbildung 7 zeigt, wie deutsche Unternehmen bei Start-Stopp-Systemen und Benzindirekteinspritzern aufgrund ihrer Effizienzvorteile die Nase vorn hatten. Es scheint somit plausibel, dass deutsche Unternehmen bei der Einführung der nächsten Welle verbrauchsarmer Technologien, z. B. dem 48V-Mild-Hybridsystem, effektiv mithalten können. Das stützt die Annahme, dass Deutschlands Marktanteile für Technologien zur Effizienzsteigerung von Diesel- und Benzinmotoren im untersuchten Zeitraum unverändert bleiben.

Für einen Teil der völlig neuen Technologien können die Annahmen bezüglich des deutschen Marktanteils jedoch nicht automatisch übernommen werden.

Während deutsche Unternehmen bei der Produktion von Elektromotoren gut etabliert und mehrere von ihnen führend an der Brennstoffzellenentwicklung beteiligt sind, stellt sich die Frage, wo künftig Batterien und Leichtbauwerkstoffe produziert werden. Vor allem bei Lithium-Ionen-Batteriezellen dominieren aktuell asiatische Unternehmen den Markt. Die künftige Ausgestaltung der Marktanteile hat Auswirkungen auf Arbeitsplätze und Wachstum in Deutschland.

Um diese Faktoren besser zu verstehen, hat die Studie die Wertschöpfungsketten für die Batterie- und Zellfertigung sowie Leichtbauwerkstoffe untersucht.

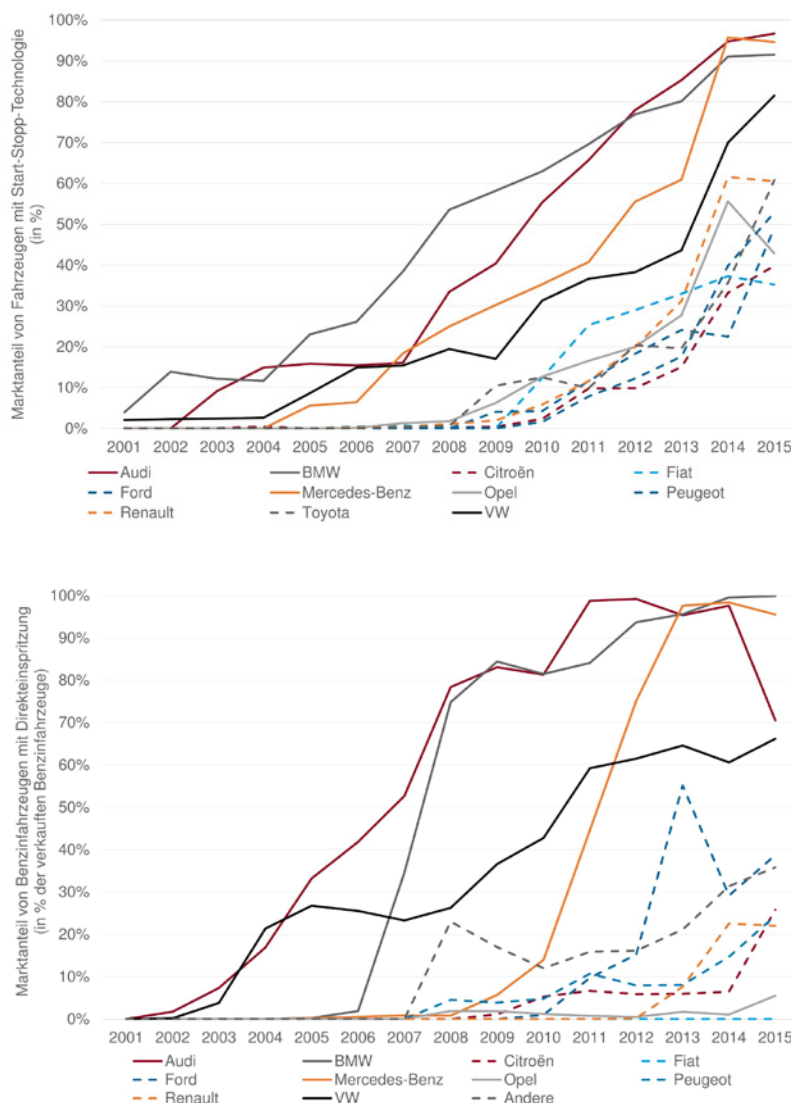


Abb. 7 Verteilung von Start-Stopp-Systemen und Benzindirekteinspritzern nach Marke (Quelle: ICCT)

Es wird erwartet, dass Leichtbaumaterialien künftig eine zunehmend wichtige Rolle beim Übergang hin zu einer emissionsarmen Mobilität haben werden. Die künftige Fahrzeugarchitektur muss im Vergleich zu heute deutlich leichter sein, um das höhere Gewicht des Antriebsstrangs von Hybrid- und vollelektrischen Fahrzeugen zu kompensieren. Höchstwahrscheinlich wird sich die Entwicklung daher in Richtung eines Materialmix bewegen, bei dem Aluminium, hochfester Stahl und kohlefaser-verstärktes Plastik eine Rolle spielen werden. All diese Materialien wurden bereits erfolgreich in Deutschland gefertigt. Bei Batterien sind die Herausforderungen größer.

Die Batterie-Wertschöpfungskette lässt sich in mehrere Phasen unterteilen: Die wichtigsten sind die Zellenproduktion, die Montage von Zellen zu Batteriemodulen, der Zusammenbau der Module zu Batteriesystemen sowie deren Einbau in die Fahrzeuge. Die Prüfung der Wettbewerbsfähigkeit in diesen Bereichen hat gezeigt, dass deutsche Unternehmen für die letzten zwei Produktionsschritte relativ gut aufgestellt sind. Allerdings stellt die Zellenproduktion derzeit rund 60 Prozent des Gesamtwertes einer Fahrzeugbatterie dar (Abb. 8) und dieser Bereich wird aktuell von den asiatischen Herstellern dominiert.

Daher wurde in einem nächsten Schritt betrachtet, welches Potential deutsche Unternehmen haben, in Zukunft Marktanteile bei der Zellfertigung zu gewinnen. Dies ist abhängig von Faktoren wie zukünftigen Lohnkosten, Qualifikationen, Energiekosten, Unternehmenssteuersätzen, Kreditkosten usw. Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die etablierten Zellproduzenten in Asien bei der aktuellen Batteriezellen-Chemie einen Vorteil haben, weil sie

die bestehenden Produktionsstandorte kostengünstig erweitern können. Für Deutschland könnten sich Chancen ergeben, wenn es einen Wechsel zu neuer Batteriechemie gibt – unter der Voraussetzung, dass ein günstiges politisches Umfeld geschaffen werden kann. Zu diesem Zeitpunkt können bereits bestehende Produktionsstandorte eher eine Belastung als ein Vorteil sein. Neue Marktteilnehmer könnten einen Wettbewerbsvorteil erlangen, wenn es ihnen gelingt, ein Produkt mit gewünschter Qualität in der innovativen Zellchemie und mit entsprechendem Preis auf den Markt zu bringen.

Angesichts der Unsicherheit über die künftige Fertigung von Batteriezellen wurden unterschiedliche Szenarien modelliert: 1.) 100 Prozent der Batteriezellen werden importiert, 2.) 100 Prozent der Batteriezellen werden in Deutschland produziert und 3.) 50 Prozent werden im Inland produziert und 50 Prozent werden importiert. Dieses letzte Szenario bildet das Leitszenario für die ökonomische Modellierung.

Die Ergebnisse der Modellierung werden im Kapitel zu den ökonomischen Auswirkungen gezeigt (Abb. 12). Festzuhalten ist, dass der Standort der Batteriezellenproduktion einen Einfluss auf Deutschlands BIP hat. Wenn Deutschland sich in der Wertschöpfungskette besser positionieren möchte, sollte versucht werden, die inländische Batteriezellenproduktion zu maximieren, indem es ein günstiges politisches Umfeld bereitstellt. Da die Produktion von Batteriezellen jedoch hochgradig automatisiert ist, wäre der Beschäftigungseffekt am Zellenproduktionsstandort weniger bedeutsam als die Auswirkungen auf das BIP.

2014 Branchenführer Plug-in-Hybrid LIB-Wertschöpfungskette

	Rohstoffe	Verarbeitete Werkstoffe	Elektroden	Zellen	Batterie-Pack	Gesamt
Anteil	N/A	29%	5%	26%	40%	100%
Aktuell versandt	GLOBAL	GLOBAL	REGIONAL	GLOBAL	LOKAL	
Erfolgsfaktoren	• Einheimische Ressourcen • Geringe Exportbeschränkungen	• Entscheidend für die Qualität • Bedarfssicherheit • Kapitalkosten • Produktionskosteneinsatz: z. B. Behörden, Energie.	• Entscheidend für die Qualität • Verfahrens-Knowhow: z.B. Schichtdicken-uniformität, Lösungsmittel- & Feuchtigkeitsgehalt	• Entscheidend für die Qualität • Verfahrens-Knowhow: z.B. Stapeluniformität, Trocknung, Formung, Elektrolytadditiv	• Kenntnisse über das Endprodukt und Integrations-Knowhow • Nähe zu Kunden: Transportkosten, Austausch technischer Spezifikationen	

Abb. 8 Ein aufgeschlüsselter Überblick zur Fahrzeugbatterie-Wertschöpfungskette

Kosten der Infrastruktur

Frage: Wie viel müsste Deutschland in Ladeinfrastruktur investieren, einschließlich der Modernisierung des Stromnetzes?

Um den Investitionsbedarf für die benötigte Infrastruktur zu erfassen, wird die Annahme aufgestellt, dass für jedes verkaufte Elektroauto im Durchschnitt entweder eine Ladestation zuhause oder am Arbeitsplatz installiert ist. Basierend auf Informationen von Unternehmen, die in diesem Bereich investieren, kommen wir zu dem Schluss, dass es im städtischen Raum ungefähr zwei öffentliche Ladestationen pro zehn angemeldete Elektrofahrzeuge geben wird.

Bei der Schnellladung hängt die Anzahl der erforderlichen Ladestationen im Wesentlichen von zwei Faktoren ab. Der erste Faktor ist die notwendige geographische Mindestabdeckung, um Fahrern von Elektrofahrzeugen auf langen Fahrten volle Mobilität zu gewährleisten. Um dahingehend eine Bezugsgröße zu nennen: In Deutschland gibt es 12.645 km Autobahn. Um entlang dieses Straßennetzes Schnellladepunkte im Abstand von 50 km auf beiden Seiten zu realisieren, müssten insgesamt 504 Schnellladesäulen errichtet werden. Im Vergleich hierzu gibt es 390 Autobahntankstellen. Neben den Autobahnen gibt es ungefähr 40.000 km Bundesstraßen, was einen Bedarf von etwa 800 Ladepunkten im Abstand von 50 km nahelegt. Entsprechend wird davon ausgegangen, dass etwa 1.300 Schnellladepunkte benötigt werden.

Berücksichtigt werden muss zweitens, dass das Schnellladenetz pro Tag genügend Fahrzeuge ohne lange Wartezeiten bedienen sollte. In der vorliegenden Analyse wird davon ausgegangen, dass vor dem Jahr 2020 rund 1.000 Schnellladestationen vorhanden sind, die in einem ausgewogenen Verhältnis zur Anzahl der batterieelektrischen Fahrzeuge in der Flotte stehen, was etwa 200 Elektrofahrzeugen pro Ladestation entspricht². Damit sind Spitzen im Verkehrsfluss berücksichtigt, etwa an Werktagen gegenüber den Mittagsstunden und an Feiertagen, um große Warteschlangen zu den Stoßzeiten zu vermeiden. Dieser Bedarf von Schnellladestationen geht von der Annahme aus,

dass Fahrzeuge mit relativ großer Reichweite (je 300 und 500 km für mittlere und große Autos) eingeführt werden. Zudem wird angenommen, dass Ladestationen bevorzugt zu Hause oder am Ziel genutzt werden und nicht bei einer Schnellladung unterwegs.

Die Kosten der benötigten Infrastrukturdichte wurden im nächsten Schritt mit den erwarteten Kosten für die Installation der verschiedenen Ladesysteme multipliziert. Die Analyse ergibt, dass im TECH-Szenario bis 2030 rund acht Milliarden Euro an kumulativen Investitionen in Elektroauto-Ladeinfrastruktur in Deutschland vonnöten wären (Abb. 9). Die Investitionskosten könnten geringer ausfallen, wenn bessere Geschäftsmodelle gefunden werden könnten. Im TECH-RAPID-Szenario, in dem Benzin- und Dieselaautos ab 2030 nicht mehr zugelassen werden, werden die Gesamtinvestitionen mit 20 Milliarden Euro beziffert.

Das erscheint extrem hoch, doch ein Blick auf Deutschlands neuen nationalen Infrastrukturplan relativiert diese Zahlen – dort werden bis 2030 Investitionen in Höhe von 270 Milliarden Euro eingeplant. Hierbei sollte jedoch betont werden, dass die bisher vom deutschen Staat geplanten Investitionen in Ladeinfrastruktur sowohl den Anforderungen des TECH- als auch des TECH-RAPID-Szenarios nicht gerecht werden.

Die Annahmen zu Investitionen in Wasserstoff-Tankstellen basieren auf der Ankündigung des Unternehmens H2 Mobility Deutschland, 100 Tankstellen bis 2018, 400 bis 2023 und 1000 bis 2030 einzurichten (abhängig davon, wie schnell die Fahrzeuge eingeführt werden). Die Anzahl an Tankstellen in den Jahren 2040 und 2050 geht von einem ähnlichen Verhältnis von Anzahl an Fahrzeugen zu Tankstellen wie im Jahr 2030 aus und skaliert dies im Verhältnis zur Brennstoffzellenfahrzeugflotte.

Um den Investitionsbedarf in Infrastruktur zu erfassen, muss zudem untersucht werden, in welchem Maße das Stromsystem aufgerüstet werden muss. Eine vorangegangene Analyse hat gezeigt, dass es große Unterschiede gibt, ob Elektrofahrzeuge unmittelbar nach Ankunft am Zielort aufgeladen werden oder



das Laden so koordiniert wird, dass eine unnötige Systembelastung vermieden wird. Das direkte Laden von Elektroautos bei Ankunft zu Hause oder bei der Arbeit (unkontrolliertes Laden), würde den Stromspitzenbedarf am Abend erheblich steigern. Dies würde zu erhöhten Kapazitätsanforderungen an das Netz und die Stromerzeugung führen und mit hohen Stromproduktionskosten einhergehen. Intelligente Ladestrategien hingegen könnten diese Auswirkungen größtenteils vermeiden und Elektroautos dazu nutzen, um die Variabilität im Stromnetz auszugleichen.

Im TECH-Szenario wird es bis 2030 5,7 Millionen Elektrofahrzeuge geben; die Zahl steigt auf 25,4 Millionen im Jahr 2050. Unkontrolliertes Laden wird zu einem erhöhten Spitzenbedarf von 5,5 GW im Jahr 2030 und 21 GW im Jahr 2050 führen – eine enorme Leistung, betrachtet man zum Vergleich typische Spitzenbedarfe von ca. 65 GW ohne Elektroautoladung.

Die durch die Umsetzung eines intelligenten Ladesystems entstehenden Kosten könnten theoretisch durch Dienste für den Netzbetreiber mehr als ausgeglichen werden. Solche Dienste beinhalten die Ein- und Ausschaltung des Elektrofahrzeugs aus der Ferne, um Spitzen- und Schwachlastzeiten auszugleichen und somit eine stabile Stromversorgung zu gewährleisten. Sie werden mit steigendem Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung immer wichtiger. Dabei ist zu beachten, dass diese Dienste durch normale, unidirektionale Aufladung erzielt werden können und viele der Vorteile nicht unbedingt eine bidirektionale Ladefähigkeit vom „Fahrzeug ins Netz“ erfordern. Die Modellierung zeigt, dass ein intelligentes Ladesystem eine Erhöhung der Spitzennachfrage im Jahr 2030 weitgehend verhindern kann. Bis 2050 kann eine intelligente Ladeinfrastruktur den Anstieg des Spitzenbedarfs von 21 GW auf nur drei GW begrenzen. Dies hat wichtige Implikationen für die Kosten des Stromsystems zur Folge.

² Die Details der Berechnungen dazu sind im technischen Bericht hinterlegt.

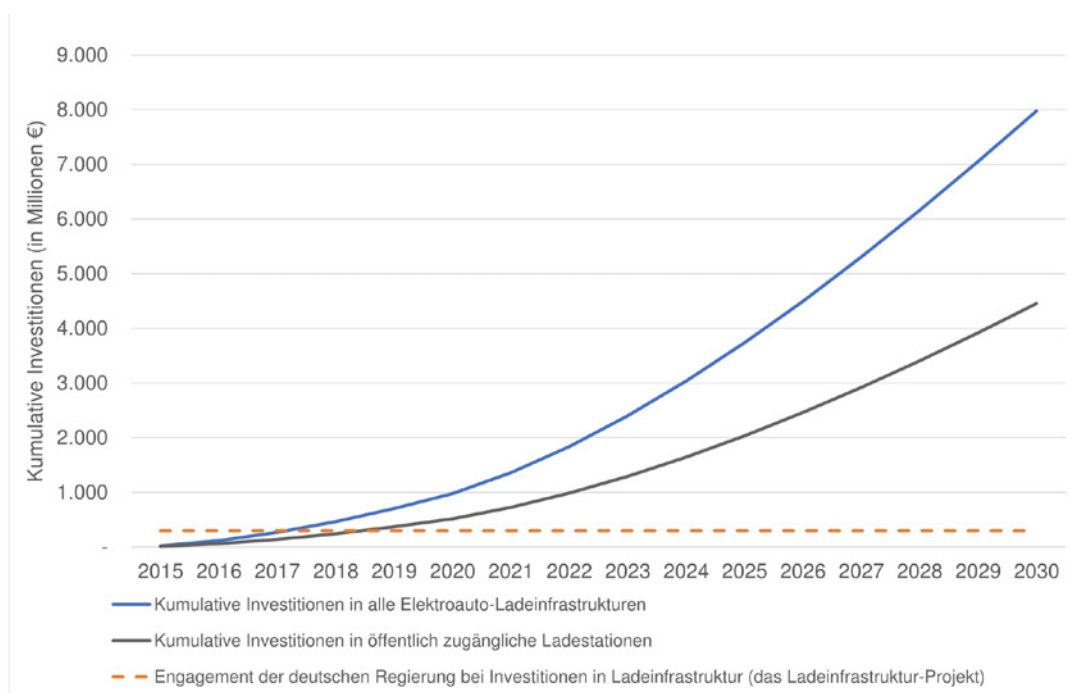


Abb. 9 Kumulierter Investitionsbedarf für Ladeinfrastruktur, um die im TECH-Szenario definierte Fahrzeugflotte zu bedienen

Kosten der Infrastruktur

Die Analyse hat ergeben, dass deutsche Netzbetreiber bei einem unkontrollierten Ladesystem bis 2030 350 Millionen Euro pro Jahr für Netzmodernisierung ausgeben müssten (Abb. 10). Wird stattdessen ein unidirektionales intelligentes Ladesystem umgesetzt, könnten geleistete Dienste für die Stromnetzstabilität die Kosten zusätzlicher Hardware, Kommunikation und Telemetrie aufwiegen. Dies würde bis 2030 im gesamten Netz zu einem Nettovorteil von 140 Millionen Euro pro Jahr führen. Bis 2050 läge der Nettonutzen durch intelligente Ladesysteme bei etwa 110 Millionen Euro jährlich, verglichen mit Systemkosten für Elektrofahrzeuge von 1.350 Millionen Euro im Jahr bei einem unkontrollierten Ladesystem.

Es ist jedoch wichtig darauf hinzuweisen, dass sich der Kostenvorteil eines intelligenten Ladesystems nur einstellt, wenn Elektroautobesitzer bereit sind, die Kontrolle über das Laden an den Netzbetreiber abzugeben. Dafür sind voraussichtlich finanzielle Anreize nötig. Die Höhe dieser Anreize lässt sich abschätzen, wenn man den Wert des intelligenten Ladesystems pro Fahrzeug berechnet. Zu Beginn sind solche Dienste für das Stromnetz knapp, daher kann der Wert pro Fahrzeug bei mehreren hundert Euro im Jahr liegen. Der Wert sinkt im Laufe der Zeit, wenn mehr Elektrofahrzeuge ans Netz gehen und die Nachfrage nach netzausgleichenden Diensten

allmählich gesättigt wird. Bis 2030 kann der Nutzen eines intelligenten Ladesystems pro Elektrofahrzeug jährlich mit ungefähr 100 Euro beziffert werden und würde sich bis 2050 auf 80 Euro im Jahr verringern. Um das zu erreichen, müssen Transaktionskosten auf ein Minimum beschränkt bleiben. Effiziente Geschäftsmodelle werden dafür entscheidend sein. Hier wäre es sinnvoll, weitere Forschung hinsichtlich des optimalen Ansatzes zum Netzausbau zu betreiben, da sich Deutschland ohnehin auf diesen Pfad begeben hat. Da Deutschland an dieser Umstellung beteiligt ist, sind weitere Analysen und Dialoge zu einem optimalen Ansatz der Netzstabilität von Vorteil.

Eine andere Lösung für die Maximierung dieses Potentials wäre das bidirektionale oder „Fahrzeug-ins-Netz“-Laden. Bidirektional geladene Elektroautos sind in der Lage, für die Dauer ihres verfügbaren Ladefensters ihre volle Ladekapazität anzubieten – unter der Voraussetzung, dass sie bei der Abfahrt vollständig aufgeladen sind. Laut Analyse könnte ein bidirektionales 3kW-Ladegerät einen Umsatz von rund 390 Euro pro Elektrofahrzeug jährlich erzielen, was nach Abzug der Kosten einen Vorteil von etwa 140 Euro pro Fahrzeug und Jahr ergäbe. Höhere Ladekapazitäten von 7-10 kW würden sogar ein noch besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis ergeben.

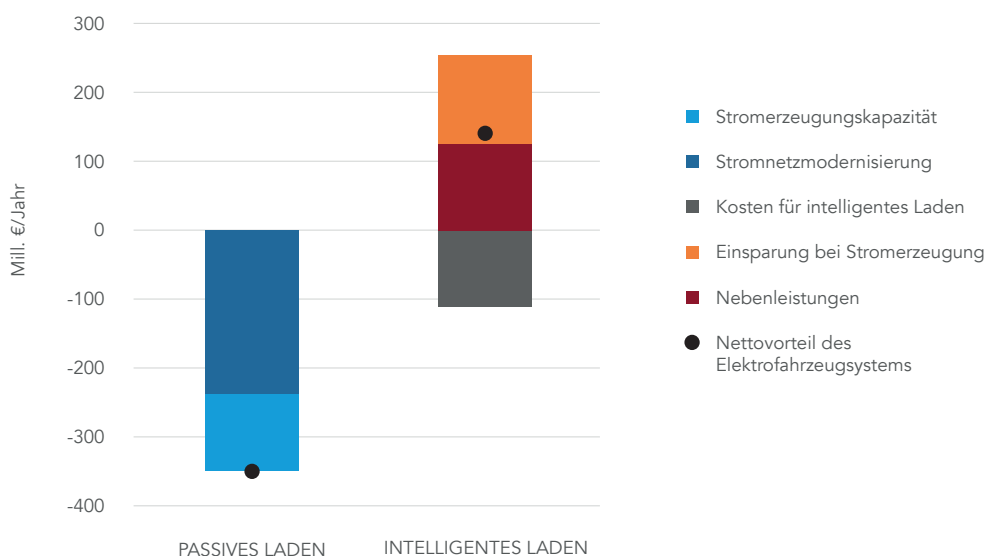


Abb. 10 Investitionsbedarf für eine Modernisierung des deutschen Stromnetzes bei intelligenten und unkontrollierten Ladeszenarien



Ökonomische Auswirkungen

Frage: *Wie wirkt sich die Verkehrswende hin zu klimafreundlichen Fahrzeugen insgesamt auf das deutsche Bruttoinlandsprodukt (BIP) und die Beschäftigung aus?*

Wenn es um die Gestaltung des Übergangs zu einer emissionsarmen Fahrzeugflotte geht, sind viele Faktoren noch ungeklärt. Es wurde jedoch versucht, diese Unsicherheiten in den Annahmen für die makroökonomische Modellierung zu reflektieren. Dadurch ließen sich die wichtigsten Werteveränderungen ermitteln, die in der deutschen Wirtschaft während des Übergangs zur emissionsarmen Mobilität auftreten können:

Erstens erzeugt der Wechsel zu Hybriden, Plug-in-Hybriden und Brennstoffzellenfahrzeugen in den 2020er Jahren eine zusätzliche Wertschöpfung für Deutschland. Dies gilt sowohl für im Inland verkaufte Autos als auch für Exporte in Länder, die ebenfalls eine Dekarbonisierung anstreben. Investitionen

in Ladeinfrastruktur erzeugt ebenfalls zusätzliche Wertschöpfung. Dieser wird durch die zunehmende Durchdringung von batterieelektrischen Fahrzeugen kompensiert, die für Deutschland einen geringeren ökonomischen Wert haben als die Benzin- und Dieselaufos, die sie ersetzen – abhängig von der Anzahl der importierten Batteriezellen.

Zweitens bedeutet der Wechsel von importiertem Erdöl zu weitgehend heimisch produziertem Strom und Wasserstoff für Deutschland eine größere Wertschöpfung aus der für Mobilität aufgewandten Energie. Abbildung 11 zeigt die Entwicklung des Energieverbrauchs im TECH-Szenario. Der Benzin- und Dieserverbrauch verringert sich in den 2020er Jahren laut unseres TECH-Szenarios stark. Gründe sind die bestehenden EU-CO₂-Standards und eine am Pariser Klimaschutzabkommen ausgerichtete Klimapolitik.

Die dritte zentrale wirtschaftliche Auswirkung ergibt sich aus der zunehmenden Effizienz der Fahrzeugflotte durch mehr Hybride und Elektromotoren, die technologiebedingt effizienter sind. Diese Entwicklung

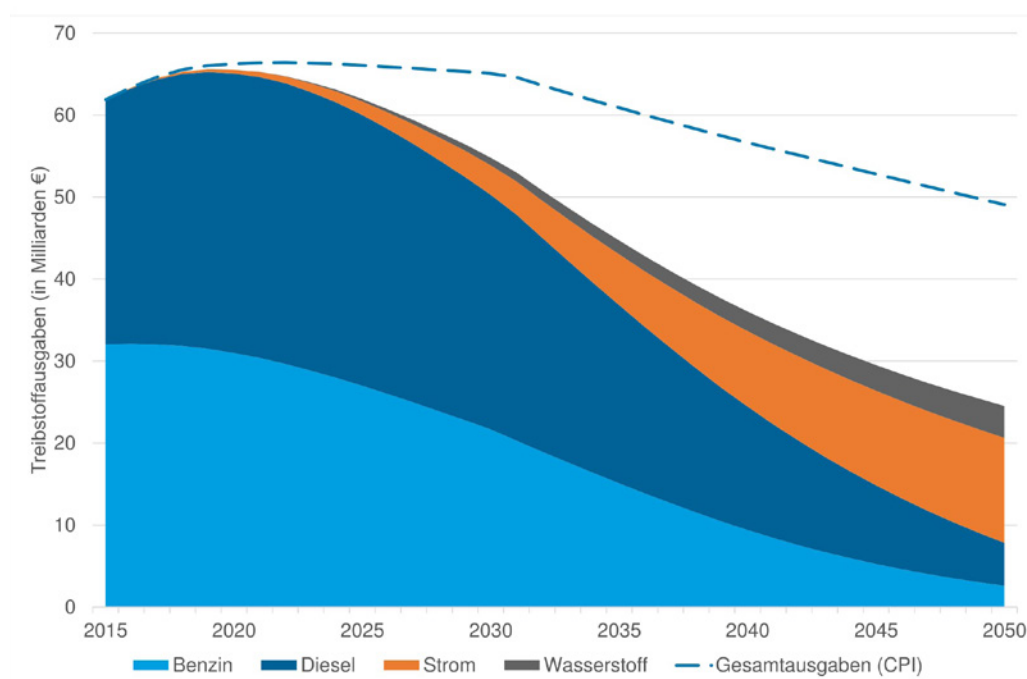


Abb. 11
Energieausgaben für
Mobilität in unserem
TECH-Szenario



geht sowohl auf die bestehende Klimaregulierung (*current policy initiatives*, abgebildet im CPI-Szenario) als auch deren erwartete Weiterentwicklung zurück, die zu zunehmender Elektrifizierung und Hybridisierung führt. Für deutsche Haushalte bedeutet dies niedrigere Mobilitätskosten und mehr verfügbares Einkommen für andere Bereiche, die üblicherweise eine höhere inländische Wertschöpfung haben.

Mit dem makroökonomischen Modell E3ME haben wir die ökonomischen Nettowirkungen dieses Wandels gemessen und dann mit einem Referenzfall (REF-Szenario) verglichen, bei dem der heutige Fahrzeugbestand unverändert blieb.

Wie Abbildung 12 zeigt, sind die ökonomischen Auswirkungen auf das BIP davon abhängig, an welchem Standort Batteriezellen künftig produziert werden. Zusätzlich wird sie auch von der Entwicklung des Ölpreises beeinflusst, da dieser den Wert der vermiedenen Ausgaben für Ölimporte verändert.

Es ist zu erwarten, dass bei einer globalen Abkehr vom Öl die Ölpreise weltweit sinken werden. Somit werden die Ölpreise in einer kohlenstoffreichen Welt höher sein als in einer kohlenstoffarmen Welt. Auch das würde den wirtschaftlichen Nutzen eines Wechsels von importiertem Öl auf heimische Energiequellen steigern. Auf diese Weise hat der globale Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft, wie er im Pariser Klimaschutzabkommen vorgesehen ist, einen größeren Vorteil für das deutsche BIP, als ein nationaler Wechsel. Das lässt sich auch an Abbildung 12 ablesen. Vergleicht man das CPI- mit dem REF-Szenario ergibt sich ein Nettozuwachs beim deutschen BIP, der im Jahr 2030 0,4 Prozent des gesamten BIPs entspricht. Weitere Innovationen zur Erreichung künftiger Klimaziele würden das BIP nach 2025 zusätzlich erhöhen – je nach Annahme für den Produktionsstandort der Batteriezellen um 0,1 - 0,2 Prozent im Jahr 2030 (TECH verglichen mit REF). Die positiven Auswirkungen auf das BIP sind noch größer, wenn wir annehmen, dass Klimapolitik weltweit umgesetzt wird, was niedrigere weltweite Ölpreise als im Referenzfall nach sich zieht.

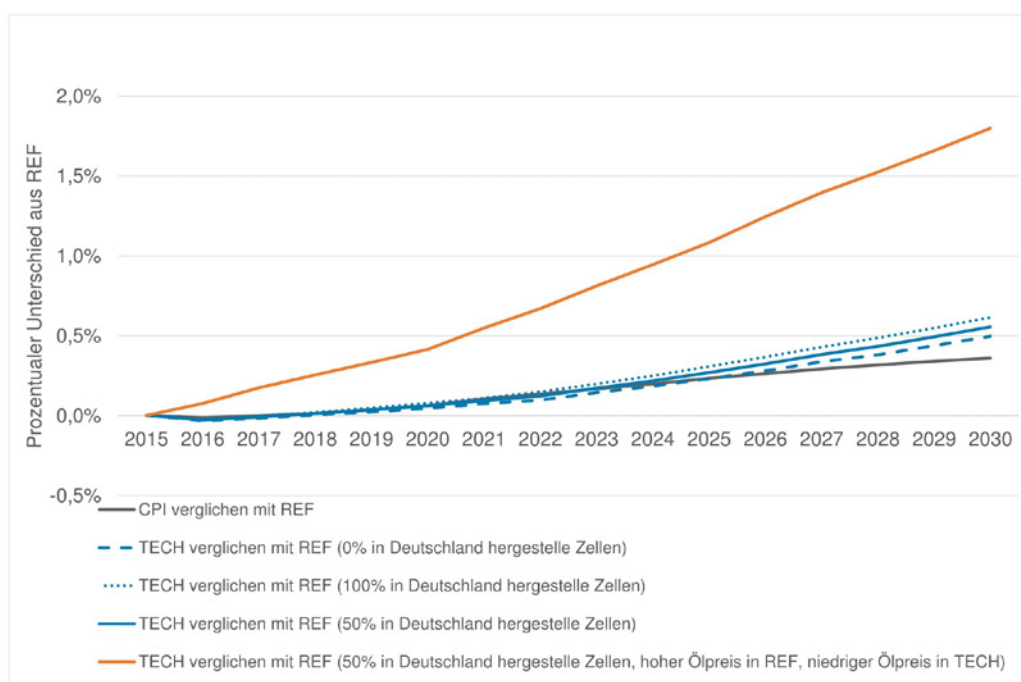


Abb. 12
Die Auswirkung auf Deutschlands BIP durch einen Wechsel zu emissionsarmen Pkw

Ökonomische Auswirkungen

Die Folgen für die Beschäftigung gestalten sich anders, auch wenn sie an die Folgen für die Gesamtwirtschaft gekoppelt sind. Um sie zu messen, müssen wir auch die unterschiedlichen Beschäftigungsintensitäten in den betroffenen Industriezweigen berücksichtigen. In der Automobilindustrie geht der Trend zunehmend zur Automatisierung, was zu weniger Arbeitsplätzen insgesamt führt – unabhängig von Effizienztechnologien. Die Produktion von Elektrofahrzeugen wird voraussichtlich weniger arbeitsintensiv sein als die Produktion von Benzin- und Dieselfahrzeugen. Hingegen erwartet man bei der Fertigung von Hybriden und Plug-in-Hybriden eine höhere Arbeitsintensität. Unsere Modellierung zeigt, dass der Nettobeschäftigungseffekt für den Automobilsektor von der Balance zwischen diesen verschiedenen Technologien sowie dem Maß abhängt, in dem sie nach Deutschland importiert oder hier produziert werden.

Abbildung 13 zeigt die Beschäftigungsentwicklung in Deutschland zwischen 2030 und 2050 im TECH-Szenario verglichen mit dem REF-Szenario. Infolge der oben beschriebenen wirtschaftlichen Verschiebungen gibt es einen Nettozuwachs in folgenden Bereichen: Bauwesen, Strom, Wasserstoff, Dienstleistungen und in den meisten

verarbeitenden Industrien. Die Beschäftigung in der Mineralölwirtschaft sinkt. Die Beschäftigung im Fahrzeugbau erhöht sich bis 2030, sinkt danach jedoch.

Die Zahl der Nettoarbeitsplätze der Autobranche steigt bis 2030, weil Diesel- und Benzinmotoren weiterentwickelt und effizienter werden, um Klimaziele zu erreichen. Ein weiterer Faktor ist der vermehrte Einsatz von Hybrid-, Plug-in-Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeugen, die technisch immer komplexer werden. Doch bis 2050 sinkt die Netto-Beschäftigung im TECH-Szenario in den negativen Bereich, da Hybridfahrzeuge zunehmend durch rein batterieelektrische Fahrzeuge ersetzt werden, die verhältnismäßig einfacher zu produzieren sind und daher weniger Arbeitsplätze schaffen.

Es wurde ein weiteres Szenario untersucht, in dem Plug-in-Hybride länger dominant bleiben (TECH-Plug-in-Hybrid). Darin profitieren die deutschen Arbeitnehmer auch länger vom Bau komplexerer Fahrzeuge; die Netto-Beschäftigung bleibt in der Automobilbranche auch im Jahr 2050 positiv. Die Versuchung liegt nahe daraus zu schließen, dass Deutschland Plug-in-Hybride priorisieren sollte, um die Beschäftigung zu maximieren – dies sollte man jedoch genau prüfen. Eine große industrielle Wette

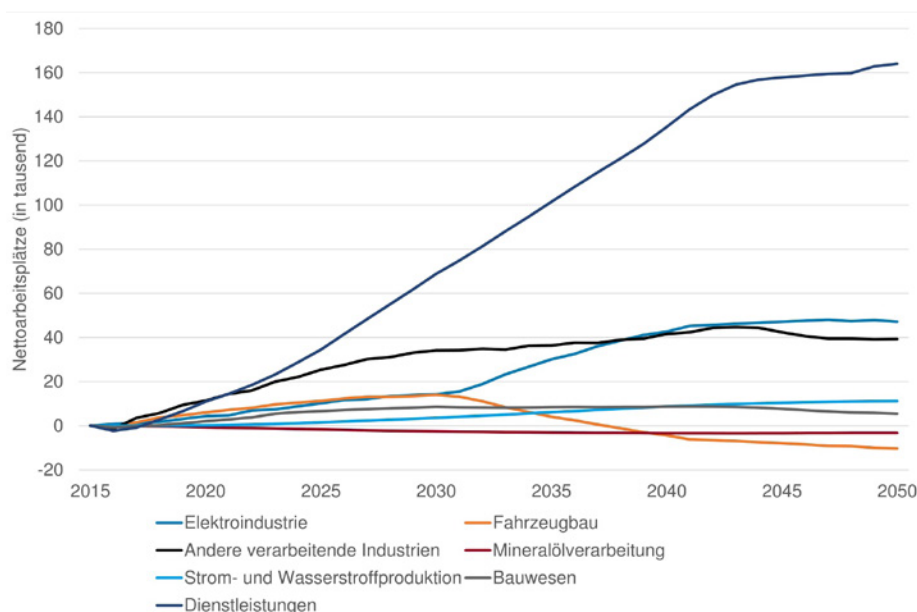


Abb. 13
Die Beschäftigungseffekte nach Industriezweig in Deutschland durch die Umstellung auf emissionsarme Pkw (in Tausend)

auf Plug-in-Hybride könnte scheitern, wenn sich die Autokäufer in Deutschland und in Exportmärkten für batterieelektrische Fahrzeuge entscheiden. Dennoch unterstützt die Analyse die These, dass ein Wechsel zu Plug-in-Hybriden, falls sie von den Verbrauchern angenommen werden, vorteilhaft für die Beschäftigung in der deutschen Autoindustrie ist.

Die Beschäftigungseffekte im deutschen Automobilsektor sind ein zentraler Aspekt und verdienen eine weitere Analyse. Der Vorteil eines makroökonomischen Modellierungsansatzes liegt darin, dass er uns erlaubt, die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen zu beurteilen. Dennoch gibt es Grenzen bei der verfügbaren Detailtiefe. Damit die Wende zur CO₂-Minderung im Verkehrssektor erfolgreich sein kann, muss für die Menschen gesorgt werden, die ihre Arbeit wegen überflüssig gewordener Technologien verlieren. Wir empfehlen daher eine weitere Analyse, die erfasst, wie vor dem Hintergrund einer zunehmenden Automatisierung und damit einhergehender geringerer Beschäftigung im Automobilsektor ein „fairer Wandel“ vollzogen werden kann.

Ein weiterer zentraler Aspekt dieser Untersuchung ist der künftige Rückgang von Mineralöl- bzw. Energiesteuereinnahmen in Deutschland: Bedingt wird dies zunächst durch eine verbesserte Fahrzeugeffizienz – die vereinbarten europäischen CO₂-Ziele für 2021 werden in Deutschland bis 2030 zu einem Einnahmefizit bei der Energiesteuer von rund sechs Milliarden Euro führen. Die im TECH-Szenario beschriebene emissionsarme Fahrzeugflotte

würde die Einnahmen aus der Energiesteuer um weitere sieben Milliarden Euro reduzieren. Folgt man der Untersuchung, werden die strukturellen Veränderungen durch den Übergang zu einer emissionsarmen Fahrzeugflotte insgesamt jedoch zu einem Wirtschaftsaufschwung führen (Abb. 14). Darüber hinaus wird die Besteuerung dieser zusätzlichen wirtschaftlichen Tätigkeit den Verlust der Einnahmen durch die Energiesteuer bis 2030 vollständig kompensieren.

Trotz dieser ökonomischen Modellierung ist es unwahrscheinlich, dass das deutsche Finanzministerium die sinkenden Energiesteuereinnahmen einfach hinnimmt. Nichtsdestotrotz: Beide Aspekte dürfen nicht aus den Augen verloren werden. Sie machen deutlich, wie wichtig die Zusammenarbeit zwischen Industrie, Regierung und Zivilgesellschaft ist, um sich auf einen optimalen Ansatz für emissionsarme Mobilität zu einigen.

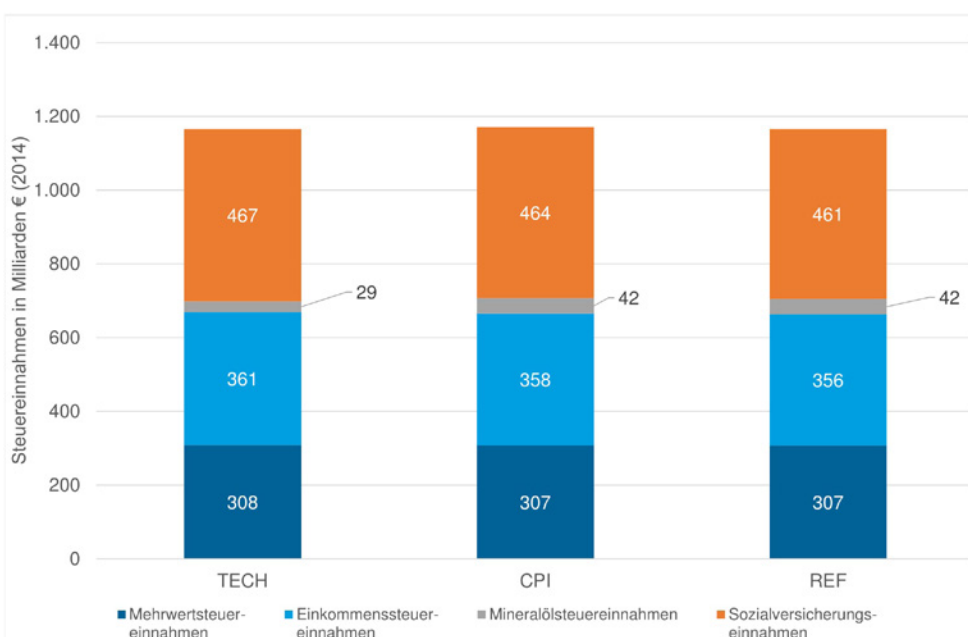


Abb. 14
Deutsche Steuereinnahmen
in 2030 bei unseren REF-
und TECH-Szenarien

Kontakt

European Climate Foundation
Rue de la Science 23, 1040 Brussels
T +32 2 894 9302
M +32 478 34 00 51
www.europeanclimate.org

