

B2 Motorisierter Individualverkehr auf dem Weg zur Nachhaltigkeit

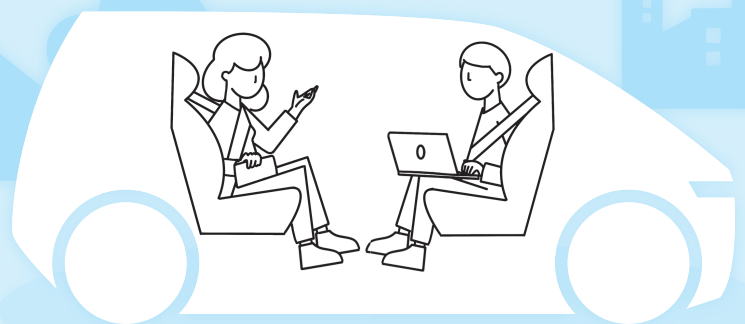


[Download der
Abbildung und
Daten](#)

Die deutsche Politik steht vor der großen Herausforderung, die Emissionen des Verkehrssektors bereits bis 2045 auf null bringen zu müssen. Der motorisierte Individualverkehr ist ein wesentlicher Verursacher von Treibhausgasemissionen. Eine Reduktion dieser Emissionen lässt sich auf Fahrzeugebene durch den Einsatz neuer Antriebsarten und alternativer Kraftstoffe erreichen. Der batteriebetriebene Pkw erweist sich dafür als die ökologisch und ökonomisch vorteilhafteste Alternative. Außerdem eröffnen Entwicklungen in der Digitalisierung und beim autonomen Fahren Chancen für innovative Mobilitätsangebote, um auch durch Bündelung von Verkehr, insbesondere in Form von Carsharing und Bedarfsverkehr, zur Reduktion von Emissionen beizutragen.

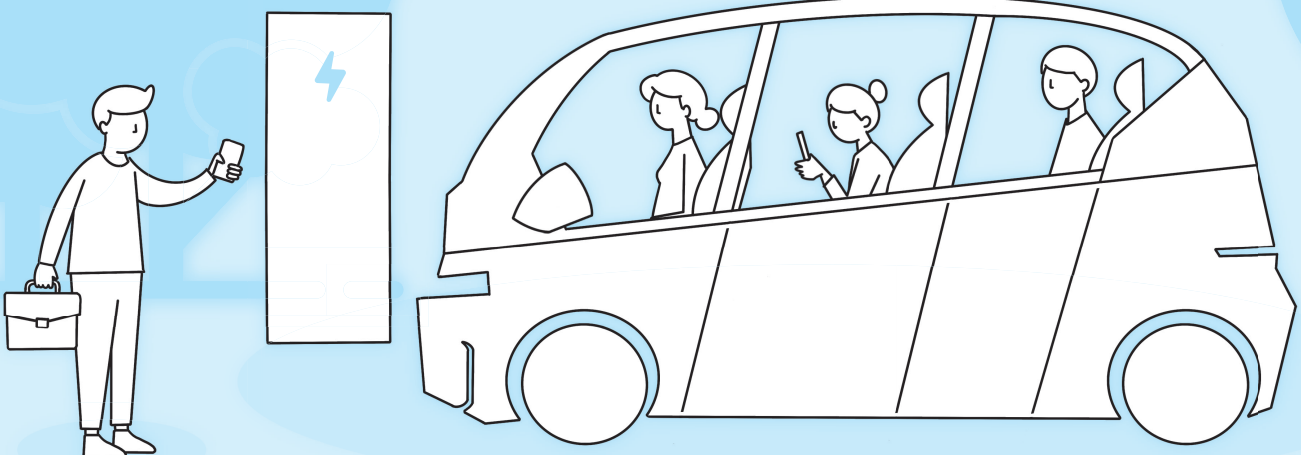
Automatisiertes und autonomes Fahren:

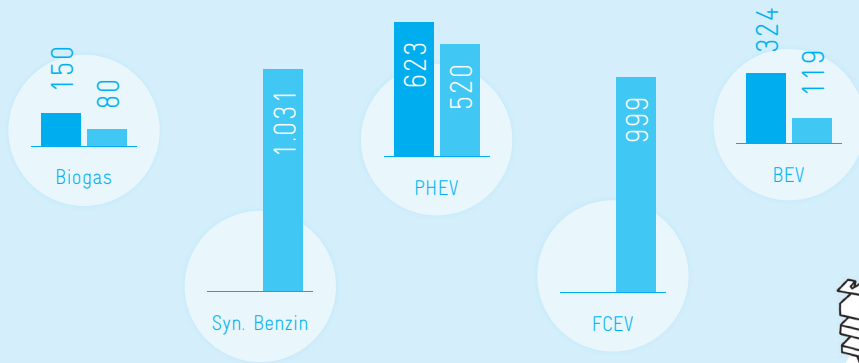
Potenzial für eine nachhaltige Entwicklung im motorisierten Individualverkehr?



Ridepooling-Dienste in Deutschland:

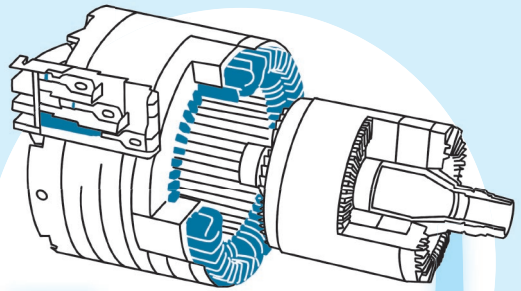
Einsparungspotenzial von Treibhausgasen in Stadt und Land?





THG-Minderungskosten alternativer Antriebe und Kraftstoffe gegenüber einem konventionellen Benzinmotor in € je Tonne CO₂-Äquivalent.

■ 2020 ■ 2030



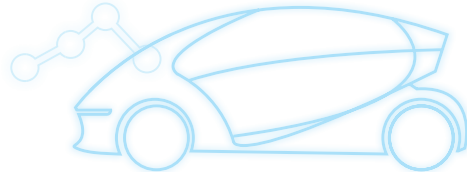
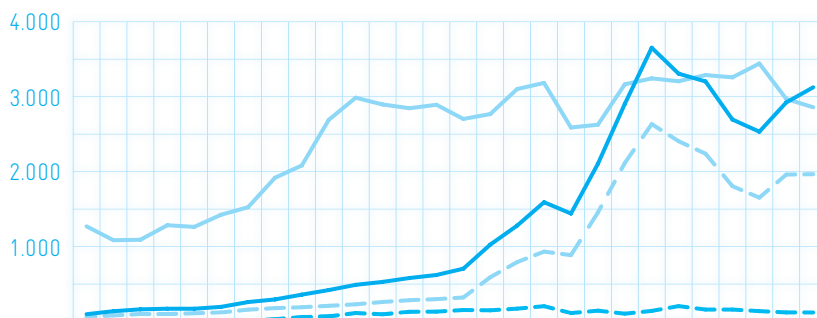
Ökobilanz und Wirtschaftlichkeitsanalyse von konventionellen und alternativen Antriebsarten:

Sind alternative Antriebsarten der richtige Weg?

Innovationstätigkeit im Bereich der Antriebsarten und des automatisierten Fahrens: Wo steht Deutschland im internationalen Vergleich?

Anzahl Patentanmeldungen (1990-2017)

■ alternative Antriebstechnologien
■ Brennstoffzellentechnologien
■ batterieelektrische Antriebstechnologien
■ konventionelle Antriebstechnologien



B 2 Motorisierter Individualverkehr auf dem Weg zur Nachhaltigkeit

Die deutsche Politik steht vor der großen Herausforderung, die Emissionen des Verkehrssektors bereits bis 2045 auf null bringen zu müssen. Der motorisierte Individualverkehr (MIV) ist ein wesentlicher Verursacher von Treibhausgasemissionen.¹⁹⁸ Eine Reduktion von Emissionen im MIV lässt sich auf verschiedene Arten erreichen: durch eine Verringerung der gesamten zurückgelegten Wege, durch emissionsärmere Fahrzeuge sowie durch Veränderungen in der Wahl der Verkehrsmittel. Dieses Kapitel fokussiert zum einen die Emissionsreduktionen auf Fahrzeugebene durch Einsatz neuer Antriebsarten und alternativer Kraftstoffe. Es untersucht zum anderen, inwieweit Innovationen durch Digitalisierung und automatisiertes Fahren zur Bündelung von Verkehr, insbesondere in Form von Carsharing und Bedarfsverkehr, beitragen können.

Rein batteriebetriebene Elektroautos erweisen sich als die volkswirtschaftlich vorteilhafteste Option zur Emissionsreduktion auf Fahrzeugebene. Ihre Anschaffung und der Betrieb sind aber derzeit ohne flankierende Maßnahmen der Politik wirtschaftlich nicht hinreichend attraktiv. Um die Diffusion von rein batteriebetriebene Elektroautos zu forcieren, bedarf es eines höheren CO₂-Preises und einer gut ausgebauten Ladeinfrastruktur mit kompetitiven und transparenten Preisen.

Im Hinblick auf neue Antriebstechnologien zeigt sich die deutsche Automobilindustrie im internationalen Vergleich gut aufgestellt. Sowohl bei Patentanmeldungen als auch bei Absatzzahlen liegt sie zusammen mit der japanischen an der Weltspitze. Im Bereich automatisierten Fahrens liegen die USA, Deutschland und Japan vorn, wobei die USA im Teilbereich des autonomen Fahrens mit Abstand führend sind.

Für einen breiten Einsatz von autonomen Fahrzeugen zur Bündelung von Verkehr bedarf es noch gesetzlicher Anpassungen. So können sich bessere Angebote und innovative Geschäftsmodelle entwickeln, die den Umstieg vom MIV zu gebündelten Verkehrsformen attraktiver machen.

B2-1 Ökobilanzen alternativer Antriebe

Die Diskussion um schadstoffärmere Antriebe hat verschiedene technologische Entwicklungen angestoßen. Für eine aussagekräftige Bewertung der ökologischen Reduktionspotenziale insbesondere von Treibhausgasen (THG) dieser neuen Antriebsarten hat die Expertenkommission eine Studie beauftragt. In dieser wird für Fahrzeuge der Kompaktklasse die Gesamtheit von THG-Emissionen, der Ausstoß weiterer Luftschadstoffe und der Einsatz kritischer Rohstoffe während der Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase bilanziert.¹⁹⁹ Die zentralen Annahmen dieser Bilanzierung sind in Box B 2-2 dargestellt. Verglichen werden folgende Antriebsarten: konventionelle Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren (ICEV), angetrieben mit Benzin, Diesel, Biogas oder synthetischen Kraftstoffen,²⁰⁰ batterieelektrische Fahrzeuge (BEV), Plug-in-Hybridfahrzeuge (PHEV) und Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) (vgl. Box B 2-1).

Maßgebliche Bestimmungsgrößen der Emissionen und der relativen Vorteilhaftigkeit alternativer Antriebsarten sind die eingesetzte Batterietechnologie, die Größe der eingebauten Batterien, die Option von Ersatzbatterien, die Gesamtfahrleistung sowie der in der Stromherstellung eingesetzte Strommix.

Box B 2-1 Konventionelle und alternative Antriebe

ICEV – Benzin/Diesel: Fahrzeuge mit einem konventionellen Verbrennungsmotorantrieb (engl.: Internal Combustion Engine Vehicle) entwickeln kinetische Energie aus der Verbrennung konventioneller Kraftstoffe wie Benzin oder Diesel. Den Kraftstoffen können dabei Biokraftstoffe oder synthetische Kraftstoffe wie Methanol oder Biodiesel beigemischt werden.²⁰¹

ICEV – Gas: Bei Gasantrieben wird Erdgas bzw. Biogas komprimiert und in einem speziellen Tank im Fahrzeug mitgeführt. Es existieren Fahrzeuge mit reinem Gasantrieb sowie Fahrzeuge, die sowohl Benzin als auch Erdgas verwenden können.

BEV: Batterieelektrische Fahrzeuge (engl.: Battery Electric Vehicle) wandeln elektrische Energie in einem Elektromotor in kinetische Energie um. Die Versorgung des Motors mit Energie erfolgt über eine Batterie, die über das Stromnetz und über zurückgeführte Bremsenergie geladen wird.

HEV: Bei hybriden Fahrzeugen (engl.: Hybrid Electric Vehicle) unterstützt ein elektrischer Antrieb den Verbrennungsmotor, um Kraftstoff einzusparen. Beim sogenannten Full-Hybrid²⁰² ist rein elektrisches Fahren bei niedrigen Geschwindigkeiten möglich. Die Ladung der Batterie erfolgt ausschließlich über den Motor und die Rückgewinnung von Bremsenergie.²⁰³

PHEV: Ein Plug-in-Hybrid (engl.: Plug-in Hybrid Electric Vehicle) besitzt im Unterschied zum Full-Hybrid-Fahrzeug eine Ladevorrichtung, um die Batterie direkt über das Stromnetz zu laden.²⁰⁴

FCEV: Bei Brennstoffzellenfahrzeugen (engl.: Fuel Cell Electric Vehicle) wird die Energie zum Betrieb eines Elektromotors aus der Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff in einer Brennstoffzelle erzeugt. Eine im Vergleich zu BEV kleine Batterie dient dem Ausgleich und der Zwischenspeicherung der produzierten Energie der Brennstoffzelle sowie zurückgewonnener Bremsenergie.²⁰⁵

Vergleicht man Fahrzeuge auf dem aktuellen Stand der Technik, die im Jahr 2020 gekauft werden, zeigt sich, dass BEV, FCEV und PHEV bei Herstellung und Entsorgung der Fahrzeuge deutlich mehr THG-Emissionen erzeugen als konventionelle Benzin- und Dieselfahrzeuge (vgl. Abbildung B 2-3). Die THG-Emissionen in der Herstellung sind über alle Antriebsarten hinweg 2030 nur geringfügig niedriger als 2020.²⁰⁶ Bei benzin- und dieselfetriebenen Fahrzeugen sind die Emissionen in der Fahrzeugherstellung wegen der angenommenen Umstellung auf Hybridantriebe 2030 höher als 2020. Bei BEV sinken die Emissionen durch verbesserte Herstellungsverfahren bis 2030. Diese Reduktion wird jedoch durch die größeren Batteriekapazitäten weitestgehend wieder aufgezehrt. FCEV weisen 2020, aber auch trotz erheblichen technologischen Fortschritts 2030, die höchsten Emissionen in der Herstellung auf.

Über die gesamte Lebensdauer verursachen mit Bio- angetriebene Fahrzeuge die niedrigsten THG-Emissionen (vgl. Abbildung B 2-4).²⁰⁷ Biogas ist je-

doch keine hinreichend skalierbare Option.²⁰⁸ Unter den neuen Technologien weisen BEV bereits 2020 die geringsten THG-Emissionen auf. Sie sind nur etwa halb so hoch wie bei einem konventionellen Benzin-er.²⁰⁹ FCEV haben 2020 gegenüber konventionellen Antrieben noch keine Vorteile. Dies ändert sich jedoch 2030, weil dann der hohe Energiebedarf zur Herstellung des in der Nutzung benötigten Wasserstoffs mit einem emissionsärmeren Strommix gedeckt wird. FCEV schneiden im Vergleich aber immer noch schlechter ab als BEV. Ein ähnliches Bild zeigt sich für mit synthetischen Kraftstoffen betriebene ICEV. Bei PHEV hängen die THG-Emissionen entscheidend vom Fahr- und Ladeverhalten ab. Werden diese Fahrzeuge wie Benzin-er gefahren, erhöhen sich die Emissionen im Vergleich zum Benzin-er sogar aufgrund des höheren Gewichts und der aufwendigeren Technik.^{210, 211}

Neben Treibhausgasen emittiert der Verkehr maßgeblich weitere umweltbelastende Schadstoffe, vornehmlich Stickoxide (NO_x)²¹² und Feinstaub.²¹³ Bei diesen dominieren mittlerweile – bedingt durch

Box B2-2 Annahmen zu Fahrzeugen, Batterien und Strommix

Die Studie betrachtet die Umweltbilanz und die Wirtschaftlichkeit eines Fahrzeugs der Kompaktklasse (z.B. Ford Focus, VW Golf, Toyota Corolla), das im Jahr 2020 bzw. 2030 angeschafft und über 15 Jahre gefahren wird. Es wird dabei weitestgehend von realistischem Fahrverhalten ausgegangen. Bei PHEV wird ein Ladeverhalten angenommen, das eine Nutzung des elektrischen Fahranteils ermöglicht. Im Gegensatz hierzu

zeigen empirische Ergebnisse aus Plötz et al. (2020) eine deutlich geringere Nutzung des elektrischen Antriebs bei PHEV. Die Fahrzeugbatterien werden 2020 noch in Übersee (China, Südkorea, Japan, USA) produziert. Für 2030 unterstellt die Studie eine Zellfertigung in Europa und damit einen europäischen Strommix in der Batterieproduktion. Das modellierte Fahrzeug nutzt Nickel-Mangan-Kobalt-Batterien, bei denen durch technologischen Fortschritt der Anteil an Kobalt bis 2030 gesenkt und zugleich eine höhere Energiedichte erreicht wird.



[Download der
Abbildung
und Daten](#)

Annahmen zum Fahrzeug und zur Batterie	2020	2030
Fahrleistung über das Fahrzeugleben	187.500 km	187.500 km
Lebensdauer des Fahrzeugs	15 Jahre	15 Jahre
Realer Kraftstoff-/Energieverbrauch je 100 Kilometer		
— ICEV-Benzin	7,1 l	5,6 l
— ICEV-Diesel	5,9 l	5,5 l
— ICEV-Gas	4,7 kg	3,8 kg
— BEV	18,8 kWh	16,9 kWh
— PHEV	3,4 l + 11 kWh	1,8 l + 13,2 kWh
— FCEV	1 kg	0,8 kg
Durchschnittskapazität der Fahrzeugbatterie bei BEV (Fahrzeugreichweite)	55 kWh (ca. 290 km)	69 kWh (ca. 410 km)
Es wird eine Batterie je Fahrzeugleben unterstellt.		
Energiedichte je Kilogramm	150 Wh	200 Wh
Annahmen zum Strommix	2020	2030
THG-Emissionen aus der Stromerzeugung je kWh	470 g	146 g

Die unterstellte Entwicklung des Strommix folgt dem Treibhausgasneutralen Szenario des ehemaligen Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)²¹⁴ das unterstellt, dass die THG-Emissionen in Deutschland durch eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien von 1990 bis 2030 um 65 Prozent und bis 2040 um 88 Prozent sinken. Bei ICEV-Benzin und ICEV-Diesel wird 2030 eine Umstellung auf Hybridantriebe angenommen. HEV werden in der Studie nicht gesondert betrachtet.

stetige Verschärfungen der Abgasgrenzwerte – die Emissionen der Strom- und Fahrzeugherstellung. Die über die gesamte Lebensdauer gerechnet geringsten NO_x - und Feinstaubemissionen weisen dabei konventionelle Fahrzeuge auf. Während bei BEV die NO_x -Emissionen leicht und die von Feinstaub deutlich über denen konventioneller Fahrzeuge liegen, schneiden FCEV und Fahrzeuge mit synthetischen Kraftstoffen bei beiden Schadstoffen am schlechtesten ab.²¹⁵

Trotz der erhöhten NO_x -Emissionen von BEV verbessert die Verlagerung dieser Emissionen vom Auspuff an die Schornsteine der Kraftwerke und Herstellungsstätten die Luftqualität in verkehrs-

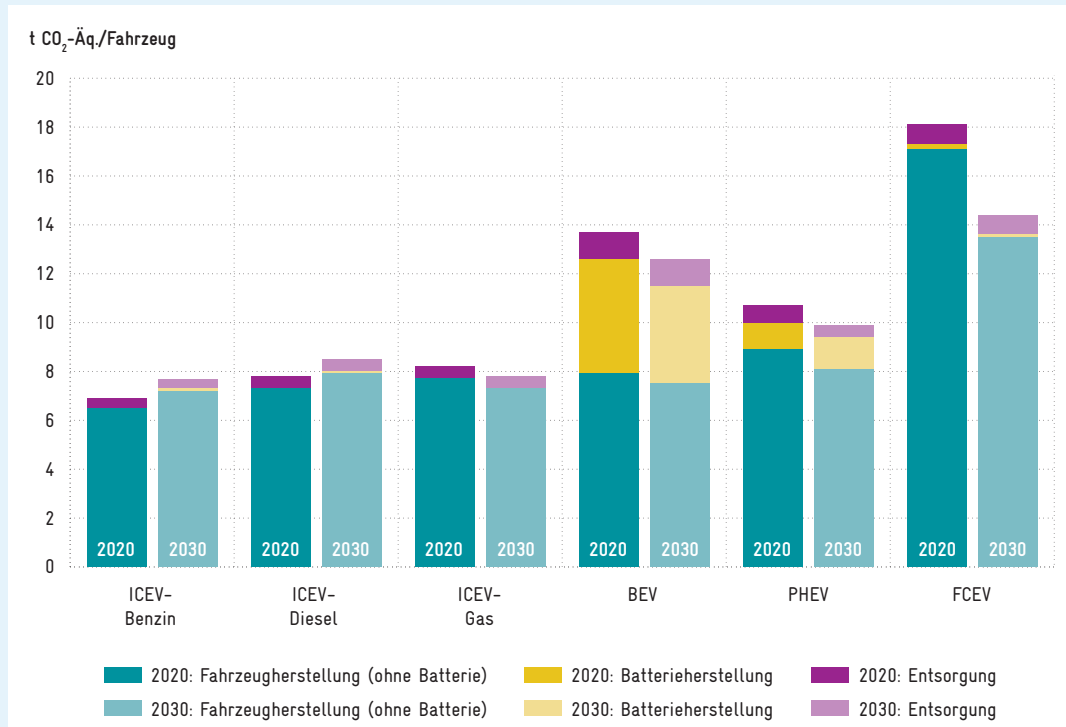
nahen, städtischen Gebieten. Dies ist ein Aspekt, der bei der Bewertung elektrisch angetriebener Fahrzeuge positiv zu Buche schlägt.²¹⁶

Bei einer Bewertung der Nachhaltigkeit alternativer Antriebe muss auch der Einsatz kritischer Rohstoffe berücksichtigt werden, deren Abbau in den Förderländern erhebliche externe Umweltkosten verursacht. Bei der Batterieherstellung fallen neben anderen kritischen Rohstoffen vor allem Kobalt und Lithium ins Gewicht,²¹⁷ bei Brennstoffzellen sind es vor allem Elemente der Platingruppe, von denen beim jetzigen Stand der Technik große Mengen benötigt würden.²¹⁸ Da bei steigender Nachfrage von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben trotz zu

Abb. B 2-3 THG-Emissionen der Fahrzeugherstellung und -entsorgung für ein 2020/2030 angeschafftes Kompaktfahrzeug in Tonnen CO₂-Äquivalent



[Download der
Abbildung
und Daten](#)

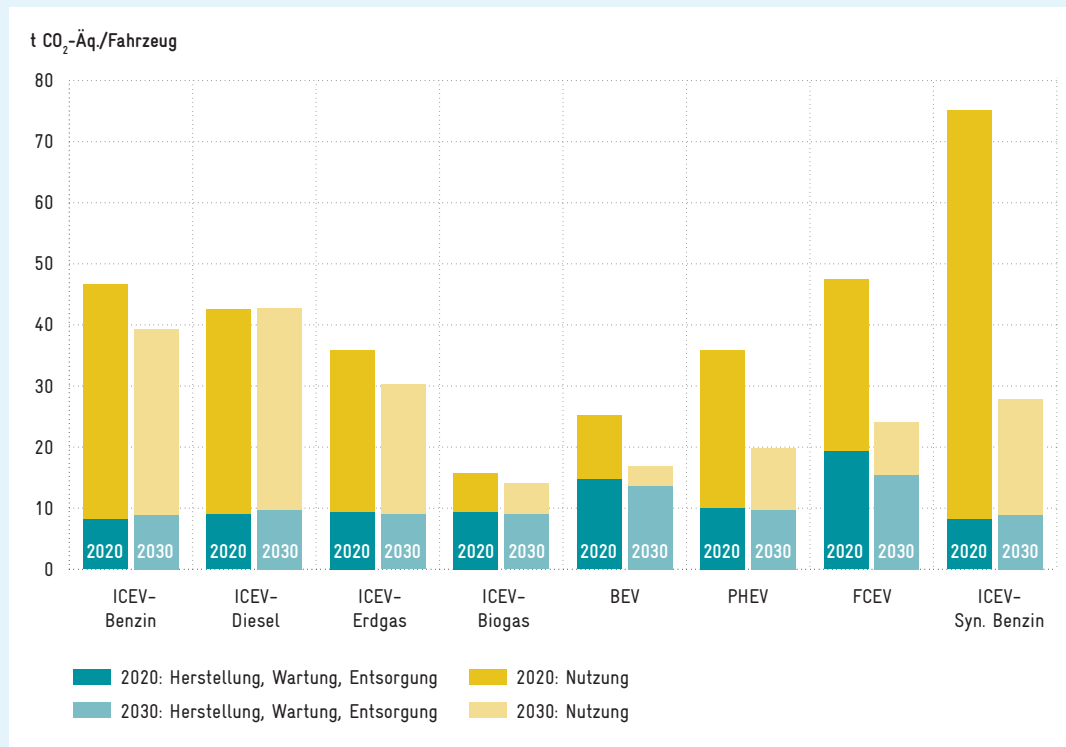


Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Wietschel et al. (2022).
© EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation 2022.

Abb. B 2-4 THG-Emissionen über das Fahrzeugleben für ein 2020/2030 angeschafftes Kompaktfahrzeug in Tonnen CO₂-Äquivalent



[Download der
Abbildung
und Daten](#)

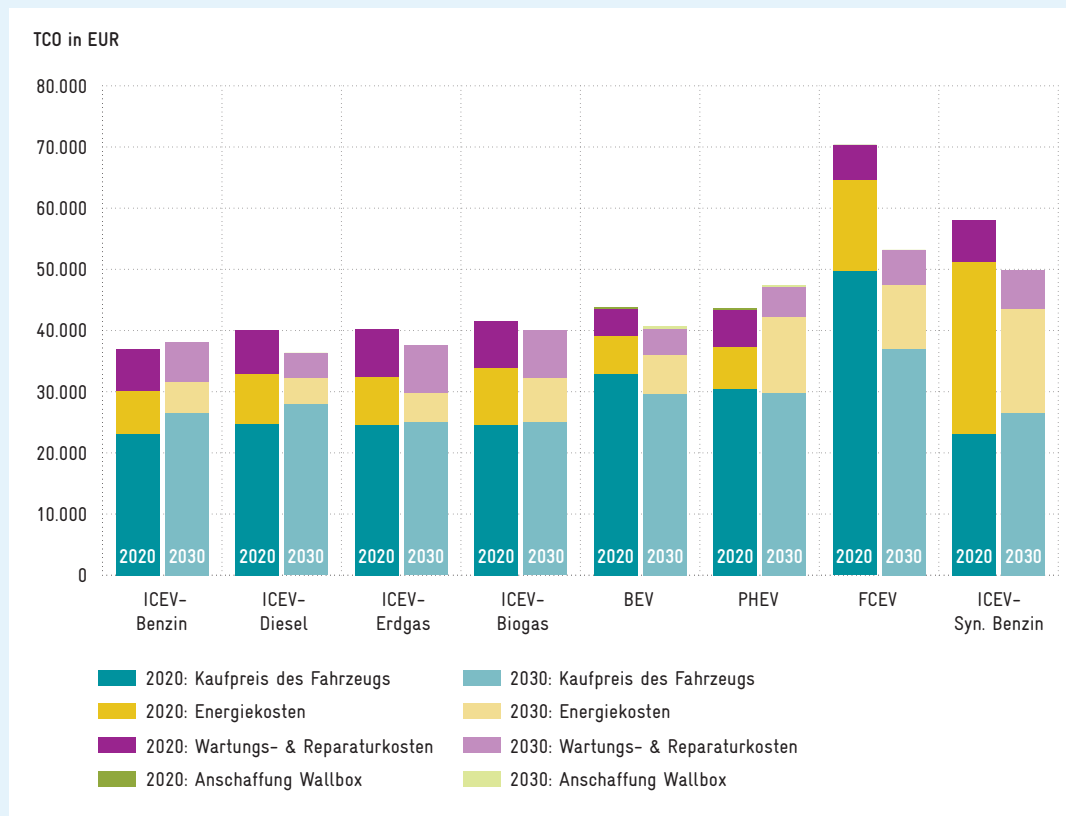


Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Wietschel et al. (2022).
© EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation 2022.



[Download der
Abbildung
und Daten](#)

Abb. B 2-5 TCO-Ergebnisse für ein 2020/2030 angeschafftes Kompaktfahrzeug in Euro



Kaufpreis des Fahrzeugs ggf. inklusive Batterie.

Energiekosten: Diese beinhalten je nach Antriebsart die Ausgaben für Benzin, Diesel, Gas, Strom und synthetische Kraftstoffe, die während der Fahrzeugnutzung verbraucht werden.

Wartungs- und Reparaturkosten: In der Nutzungsphase entstehen Kosten für Wartungen und Reparaturen. Diese umfassen alle Ausgaben für die Aufrechterhaltung eines fahrbereiten Zustands des Fahrzeugs, die nicht zu den Energiekosten gehören.

Anschaffung Wallbox: Dies beinhaltet die Kosten der Anschaffung einer Ladestation, die eine Aufladung von PHEV und BEV über den haus-eigenen Stromanschluss ermöglicht.

Alle Preise sind als Nettopreise zu verstehen.

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Wietschel et al. (2022).

© EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation 2022.

erwartenden technologischen Fortschritts und Recyclings der Bedarf an kritischen Rohstoffen steigen wird, ist es angezeigt, die Entwicklung von Batterien, die auf solche Rohstoffe weitestgehend verzichten – z.B. Natrium-Ionen-Batterien²¹⁹ –, voranzutreiben.^{220, 221}

Ressourcenverbrauch verschiedener Antriebsarten im Vergleich

Fahrzeuge mit alternativen Antrieben sind in der Anschaffung momentan noch deutlich teurer als konventionelle Fahrzeuge. Die verschiedenen Antriebsarten können aus volkswirtschaftlicher Perspektive auf Basis der sogenannten Total Cost of Ownership (TCO) miteinander verglichen werden.

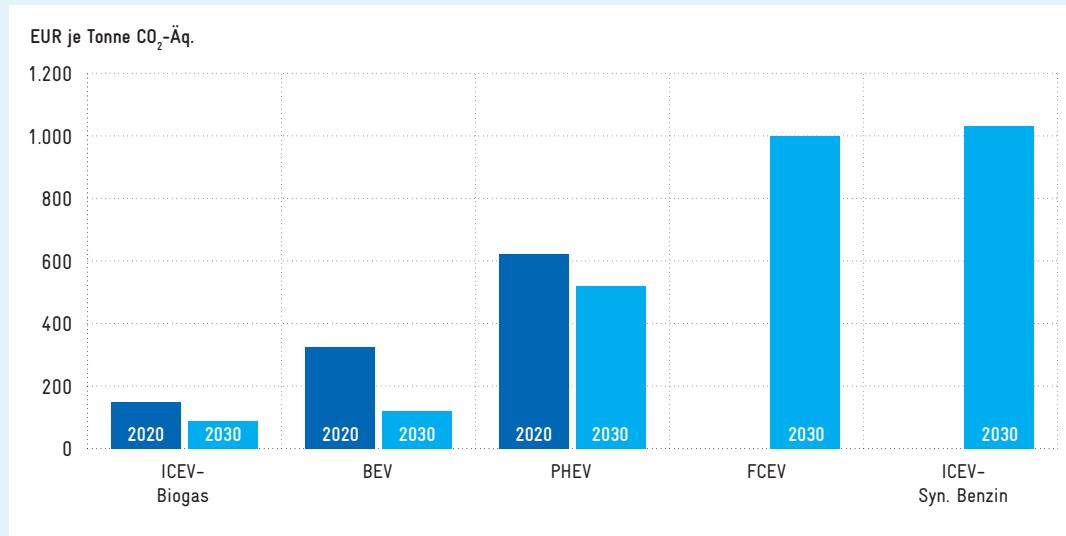
Die TCO bewerten den unmittelbaren Ressourcenverbrauch bei der Herstellung, der Nutzung und der Entsorgung eines Fahrzeugs über die gesamte Lebensdauer zu Marktpreisen.²²²

Abbildung B 2-5 zeigt Ergebnisse von im Auftrag der Expertenkommission vom Fraunhofer ISI durchgeführten TCO-Berechnungen. Bei konventionellen ICEV sind demnach die Kosten des unmittelbaren Ressourcenverbrauchs 2020 und 2030 am niedrigsten. Auch die TCO von Biogas sind relativ niedrig. Bei BEV sind die TCO 2020 um 7.000 Euro höher als beim konventionellen Benziner. Bei FCEV bzw. bei mit synthetischen Kraftstoffen betriebenen ICEV beträgt diese Differenz 33.500 Euro bzw. 21.000 Euro. 2030 sind die TCO für Fahrzeuge mit

Abb. B 2-6 THG-Minderungskosten der alternativen Antriebsarten und Kraftstoffe gegenüber einem konventionellen Benziner 2020/2030 in Euro je Tonne CO₂-Äquivalent



[Download der
Abbildung
und Daten](#)



THG-Minderungskosten für FCEV und ICEV – Syn. Benzin lassen sich 2020 nicht sinnvoll angeben, weil diese 2020 sogar höhere THG-Emissionen als ein konventioneller Benziner aufweisen.

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Wietschel et al. (2022).

© EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation 2022.

alternativen Antrieben, außer für PHEV, zwar ein gutes Stück niedriger als 2020, die Kosten des Ressourcenverbrauchs gegenüber dem konventionellen ICEV sind aber immer noch höher.

Die höheren Kosten der BEV sind vor allem durch die Herstellungskosten der Batterien, die für FCEV und mit synthetischen Kraftstoffen betriebenen ICEV durch die hohen Energieverbräuche für die Herstellung von Wasserstoff bzw. synthetischen Kraftstoffen bedingt.²²³

Kosten der Treibhausgasreduzierung bei BEV relativ gering

Anhand der Differenzen der TCO und der Emissionen je Fahrzeugleben zwischen einem Fahrzeug mit alternativem Antrieb und einem Fahrzeug mit konventionellem Antrieb lässt sich bestimmen, was es kostet, durch einen Antriebswechsel eine Tonne CO₂ einzusparen. Abbildung B 2-6 zeigt diese THG-Minderungskosten für 2020 und 2030. Hierbei dient ein konventioneller Benziner als Referenz. Der – allerdings schwer skalierbare – ICEV-Biogas-Antrieb weist in beiden Jahren die niedrigsten THG-Minderungskosten auf. Bei BEV liegen die THG-Minderungskosten etwas, bei PHEV deutlich höher.²²⁴

FCEV und mit synthetischen Kraftstoffen betankte Fahrzeuge erzeugen 2020 sogar höhere THG-Emissionen als ein konventioneller Benziner, sodass THG-Minderungskosten nicht sinnvoll angegeben werden können. 2030 erzeugen sie zwar weniger THG-Emissionen als der Referenzantrieb, ihre THG-Minderungskosten sind aber aufgrund des hohen Strombedarfs mit Abstand am höchsten.

Die TCO berücksichtigen nicht die externen Effekte, die durch den Ausstoß von THG bei Herstellung und Nutzung der Fahrzeuge der unterschiedlichen Antriebsarten entstehen. Ein Wechsel zu einer alternativen Antriebsart ist aus volkswirtschaftlicher Sicht vorteilhaft, wenn die externen Kosten des konventionellen Antriebs je Tonne CO₂ höher sind als die oben bestimmten Mehrkosten der TCO (vgl. Abbildung B 2-5) bedingt durch den Antriebswechsel. Legt man den vom Umweltbundesamt (UBA) errechneten Schätzwert der externen CO₂-Kosten von 215 Euro je Tonne CO₂-Äquivalent zugrunde, so zeigt sich, dass die Mehrkosten von BEV 2020 die externen Kosten übersteigen. 2030 aber liegen sie darunter, ein Wechsel vom konventionellen Benziner zum BEV ist dann also volkswirtschaftlich vorteilhaft. Die übrigen alternativen Antriebsarten haben dagegen – von der nicht hochskalierbaren

Option von Biogas abgesehen – selbst 2030 eine negative volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Bilanz.

Kaufprämien bedingt zielführend

Derzeit fördert die Bundesregierung den Kauf eines BEV mit bis zu 9.000 Euro sowie mit einem Erlass der Kfz-Steuer über zehn Jahre im Gesamtwert von 2.000 Euro bis 3.000 Euro. Bei einer Einsparung von rund 20 Tonnen CO₂ über den Lebenszyklus eines Fahrzeugs der Kompaktklasse (vgl. Abbildung B 2-4) kostet die Minderung einer Tonne den Staat somit 550 Euro bis 600 Euro je Tonne CO₂-Äquivalent, was die tatsächlichen Vermeidungskosten deutlich übersteigt.

Dennoch kann es Gründe geben, die eine Anschubfinanzierung rechtfertigen. Fahrzeuge mit alternativen Antrieben sind neue Produkte, bei denen noch mit Kostendegressionen durch Lern- und Skaleneffekte zu rechnen ist, die der Markt nur unvollständig belohnt.²²⁵ Zudem kann eine Förderung des Kaufs von Fahrzeugen mit neuen Antrieben direkte und indirekte Netzwerkeffekte anstoßen. Fahrzeuge mit neuen Antrieben werden für Nutzerinnen und Nutzer umso attraktiver, je dichter die Ladeinfrastruktur wird. Der Netzausbau für private Anbieter von Ladestationen lohnt sich umgekehrt umso mehr, je mehr Fahrzeuge mit entsprechenden alternativen Antrieben unterwegs sind. Eine Kaufprämie kann hier die Auflösung dieses Henne-Ei-Problems anstoßen.

Die Kaufprämie entfaltet jedoch im Gegensatz zu einem CO₂-Preis keine Lenkungswirkung im Hinblick auf emissionsintensive Fahrweisen. Weiterhin können teilweise Mitnahmeeffekte nicht ausgeschlossen werden. So lässt sich beobachten, dass die bestehende Kaufprämie darüber hinaus überproportional für PHEV und relativ schwere, verbrauchs- und somit emissionsintensive Fahrzeuge in Anspruch genommen wird.²²⁶ Schließlich erzeugen Pauschalanreize wie die Kaufprämie typischerweise Reboundeffekte.²²⁷

Änderungsbedarf bei Kaufanreizen

Es stellt sich die Frage, wie der Staat beim Autokauf hinreichende Anreize für den Umstieg auf einen alternativen Antrieb setzen kann. Für die Umstiegsentscheidung sind neben den TCO und dem CO₂-Preis die Steuern auf Benzin und Diesel sowie die Kfz-Steuer maßgeblich.²²⁸ Weil der Kraft-

stoffverbrauch mit höheren THG-Emissionen einhergeht, wirken die Steuern auf den Kraftstoff bei ICEV letztlich wie ein CO₂-Preis. So entspricht die derzeitige Benzinsteuern etwa einem Preis von 220 Euro je Tonne CO₂, liegt also annähernd auf dem Niveau der vom UBA ermittelten Umweltkosten der THG-Emissionen von 215 Euro je Tonne.²²⁹ Ein solcher Preis stellt erst 2030 einen ausreichend hohen Anreiz dar, von einem Benzinern auf ein BEV umzusteigen. Wie oben gezeigt, sind die Kosten Nachteile je eingesparter Tonne CO₂, wenn ein Pkw mit alternativem Antrieb statt eines konventionellen Benziners angeschafft wird, derzeit noch durchweg größer. Darum sind noch zusätzliche Anreize, wie eine Kaufprämie, erforderlich, um die Kaufentscheidung in Richtung nachhaltigerer Antriebsarten zu lenken.

Neben einer Kaufprämie gibt es dafür weitere Möglichkeiten. Eine – im Koalitionsvertrag vorgesehene – Alternative besteht darin, die Kfz-Steuer nach Antriebsarten zu differenzieren, sodass sie den Ausstoß von CO₂ und anderen Schadstoffen mitberücksichtigt. Die Differenz zwischen den Kfz-Steuersätzen für ICEV und denen für alternative Antriebsarten müsste dann hinreichend groß sein, damit sich ein Umstieg lohnt. Ein solches Instrument wirkt dann ähnlich wie eine Kaufprämie.

Eine weitere Alternative besteht darin, anstelle einer pauschalen Besteuerung der Fahrzeughaltung, wie durch die Kfz-Steuer, die mit der Nutzung verbundenen externen Effekte und die zurückgelegten Kilometer direkt zu bepreisen. Insbesondere könnte eine Erhöhung der Kraftstoffsteuern²³⁰ und ein umfassendes Straßenmautsystem entsprechende Lenkungswirkungen in der Fahrzeugnutzung entfalten. Kfz-Steuern würden ganz entfallen.

Preistransparenz und Ausbau der Ladeinfrastruktur notwendig

Um indirekte Netzwerkeffekte zu fördern, wäre die Verbesserung der Ladeinfrastruktur der wirksamere Hebel, da sie zum einen im Gegensatz zur Kaufprämie vielen Nutzern direkt zugutekommt²³¹ und zum anderen die für den Staat sehr teure Kaufprämie besser durch Kaufanreize über die CO₂-Bepreisung ersetzt werden kann. Neben einer Erweiterung des Bestandes an Schnellladestationen, für die bereits auf Basis des Schnellladegesetzes rund zwei Milliarden Euro bereitgestellt wurden,²³² sind Regeln für transparente Preisangaben an Ladesäulen

sowie technologische Kompatibilität notwendig, um über den Wettbewerb niedrige Preise zum Laden von Elektroautos und anderen alternativen Antriebsarten zu generieren. Aktuell ist der Markt zum Aufladen von Elektroautos jedoch durch eine Fragmentierung mit unübersichtlichen technologischen Schnittstellen und unterschiedlichen Bezahlssystemen charakterisiert, die es erschwert, Preise zu vergleichen und günstige Ladestationen zu finden.²³³

Da FCEV auf absehbare Zeit weder ökologisch effizient noch wirtschaftlich sind, besteht keine Notwendigkeit, das noch dünne Wasserstofftankstellennetz²³⁴ für den MIV derzeit weiter auszubauen. Zudem arbeitet die Forschung an der Entwicklung einer neuen Generation von Wasserstoffspeichern – der sogenannten „Liquid Organic Hydrogen Carrier“-Technologie²³⁵ – die es erlauben, Wasserstoff mithilfe flüssiger Trägermedien zu speichern und zu transportieren. Damit ließe sich die vorhandene Logistik der Mineralölwirtschaft mit relativ geringem Aufwand umfunktionieren und weiterhin nutzen.

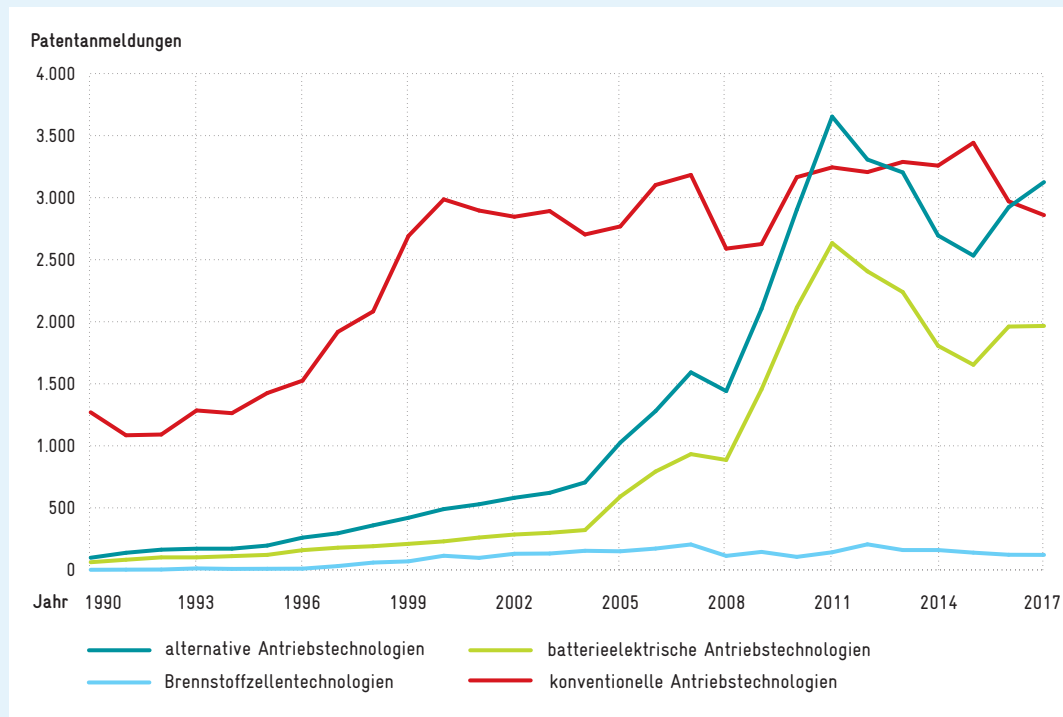
B2-2 Patentaktivitäten und Absatz im Bereich alternativer Antriebe

Im Folgenden werden Patentaktivitäten und Marktanteile im Bereich alternativer Antriebstechnologien global und ländervergleichend betrachtet, um die jeweilige Position Deutschlands im internationalen Wettbewerb abzubilden. Die Basis dafür ist eine von der Expertenkommission beauftragte Untersuchung zu einschlägigen transnationalen Patentanmeldungen im Zeitraum von 1990 bis 2017²³⁶ sowie zu Pkw-Absatzzahlen nach Antriebsarten im Zeitraum von 2010 bis 2020.²³⁷

Patentaktivitäten im Bereich alternativer Antriebe wachsen weltweit stark

Weltweit ist die Anzahl transnationaler Patentanmeldungen im Bereich alternativer Antriebe seit 2004 stark angestiegen. Sie bewegt sich seit 2011 auf einem ähnlichen Niveau wie die Anzahl der Patentanmeldungen im Bereich der konventionellen Antriebe (vgl. Abbildung B 2-7).²³⁸ Der Anstieg wur-

Abb. B2-7 Anzahl transnationaler Patentanmeldungen in den Bereichen konventioneller und alternativer Antriebstechnologien 1990–2017



Alternative Antriebstechnologien umfassen neben Patentanmeldungen zu batterieelektrischen Antrieben und Brennstoffzellen auch Anmeldungen in den Bereichen Leistungselektronik und Ladesystemen, die hier nicht einzeln abgebildet sind.
Quelle: PATSTAT. Eigene Darstellung basierend auf Sievers und Grimm (2022).
© EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation 2022.



[Download der
Abbildung
und Daten](#)

de überwiegend von den Patentanmeldungen im Bereich der batterieelektrischen Antriebe getragen.

Aufholen Deutschlands bei Patenten zu alternativen Antrieben

Ein internationaler Vergleich der transnationalen Patentanmeldungen im Bereich alternativer Antriebe zeigt, dass die starke Zunahme in den Jahren 2004 bis 2010 vor allem auf Japan zurückgeht. Seitdem waren die von dort kommenden transnationalen Patentanmeldungen jedoch stark rückläufig.²³⁹ Dagegen ist für Deutschland und – auf niedrigerem Niveau – auch für China²⁴⁰ und die USA insbesondere seit 2014 eine positive Dynamik zu verzeichnen (vgl. Abbildung B 2-8). 2017 lag Deutschland mit 758 transnationalen Patentanmeldungen im Bereich alternativer Antriebe nahezu gleichauf mit Japan – vor den USA und China mit jeweils an die 400 Patentanmeldungen.

Normierte relative Patentanteile (RPA) sind ein Maß für die Spezialisierung von Ländern in einem

bestimmten Patentbereich.²⁴¹ Abbildung B 2-9 zeigt die normierten RPA alternativer Antriebstechnologien. Ein positiver Wert gibt eine Spezialisierung in diesem Bereich an. Die Entwicklung des RPA von 2005 bis 2017 zeigt für Deutschland und insbesondere China eine zunehmende Spezialisierung bei diesen Technologien. Für die USA und Japan zeigt sich eine gegenläufige Entwicklung.

Absatzzahlen alternativer Antriebe steigend

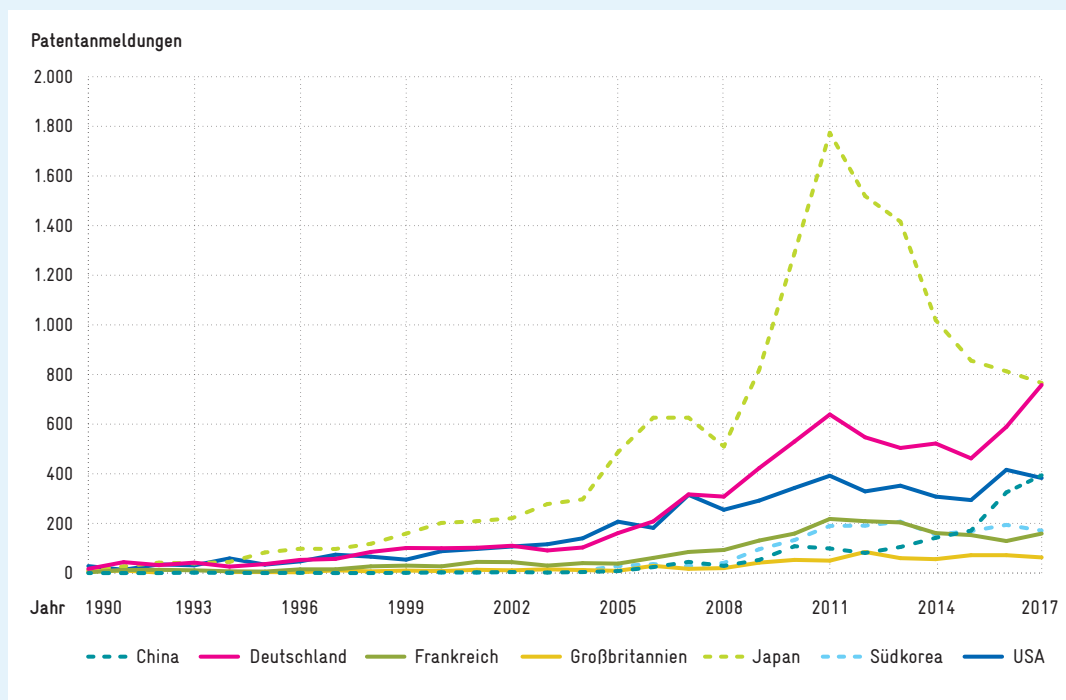
Neben der sich in den Patentanmeldungen spiegelnden Innovationstätigkeit ist die Marktdurchdringung alternativer Antriebstechnologien innerhalb einzelner Länder für eine nachhaltigkeitsorientierte Mobilitätswende von großer Bedeutung. Die Entwicklung der anteiligen Neuzulassungen bei den verschiedenen Antriebsarten im Zeitraum von 2010 bis 2020 wird im Folgenden für Deutschland und ausgewählte Vergleichsländer betrachtet.

Im Jahr 2020 kam es in Deutschland – ausgehend von niedrigem Niveau – zu einem deutlichen Anstieg

Abb. B 2-8 Anzahl transnationaler Patentanmeldungen im Bereich alternativer Antriebstechnologien in ausgewählten Ländern 1990–2017



[Download der Abbildung und Daten](#)

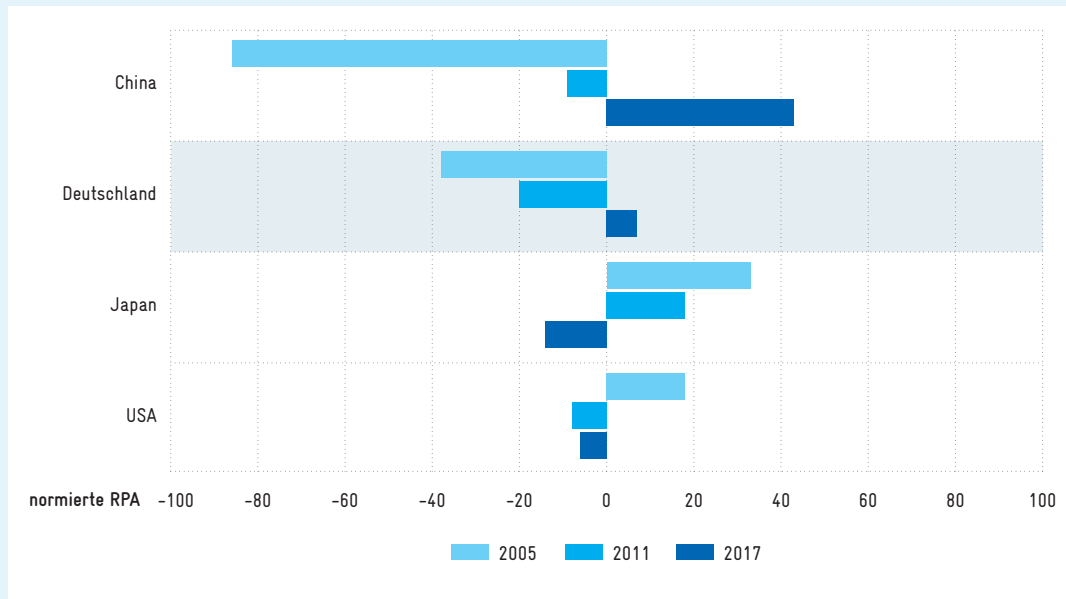


Quelle: PATSTAT. Eigene Darstellung basierend auf Sievers und Grimm (2022).
© EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation 2022.

Abb. B 2-9 Normierte RPA der alternativen Antriebstechnologien in allen Antriebstechnologien von ausgewählten Ländern 2005, 2011, 2017



[Download der
Abbildung
und Daten](#)



Normierte RPA alternativer Antriebstechnologien gemessen an allen Antriebstechnologien.
Lesebeispiel: Japan weist im Jahr 2017 einen normierten RPA in Höhe von -14 auf. Dieser Wert gibt an, dass Japans Anteil an den globalen Patentanmeldungen im Bereich alternativer Antriebstechnologien in diesem Jahr 86 Prozent des Anteils Japans an den globalen Patentanmeldungen im Bereich aller Antriebstechnologien beträgt.
Quelle: PATSTAT. Eigene Darstellung basierend auf Sievers und Grimm (2022).
© EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation 2022.

des Anteils an neu zugelassenen BEV verbunden mit einem Rückgang von Neuzulassungen von ICEV (vgl. Abbildung B 2-10 a). So war 2020 der Anteil der in Deutschland abgesetzten BEV mit knapp 6 Prozent mehr als dreimal so hoch wie im Vorjahr (vgl. Abbildung B 2-10 b). Damit lag Deutschland beim Anteil neu zugelassener BEV international in der Spitzengruppe. Diese Veränderung ist mit großer Wahrscheinlichkeit auch durch die Kaufprämien getrieben.²⁴² Der Anteil von ICEV am Fahrzeugabsatz war mit 85 Prozent gleichwohl immer noch hoch.

Den mit weitem Abstand höchsten Anteil an Neuzulassungen bei BEV erreichte 2020 allerdings Norwegen mit 42 Prozent. Dieser hohe Anteil an BEV ist auf verschiedene höchst wirksame Fördermaßnahmen zurückzuführen. In Norwegen war auch der Anteil von PHEV an den Pkw-Verkäufen mit 16 Prozent im weltweiten Vergleich am höchsten. Deutschland lag hier mit einem Anteil von 7 Prozent auf Rang zwei der betrachteten Länder (vgl. Abbildung B 2-10 c). Bei reinen Hybridfahrzeugen (HEV) wies zuletzt Japan mit 20 Prozent den höchsten Anteil an Neuzulassungen auf, während diese Antriebsart in Deutschland mit einem Anteil an

Neuzulassungen von weniger als 2 Prozent kaum eine Rolle spielt (vgl. Abbildung B 2-10 d).

Förderung alternativer Antriebe breit angelegt

Die Fördermaßnahmen in Deutschland mit Bezug auf alternative Antriebe konzentrieren sich primär auf die batterieelektrischen Antriebe. Da die Technik weit entwickelt und marktreif ist, fokussiert die derzeitige Förderung eine stärkere Marktdurchdringung. Wichtige Elemente im „Regierungsprogramm Elektromobilität“, die von Bund und Ländern, aber auch von der EU gefördert werden, sind Kaufprämien, der Ausbau der öffentlichen und privaten Ladeinfrastruktur sowie die öffentliche Beschaffung von Elektrofahrzeugen, die mindestens 20 Prozent des Fuhrparks des Bundes ausmachen sollen.

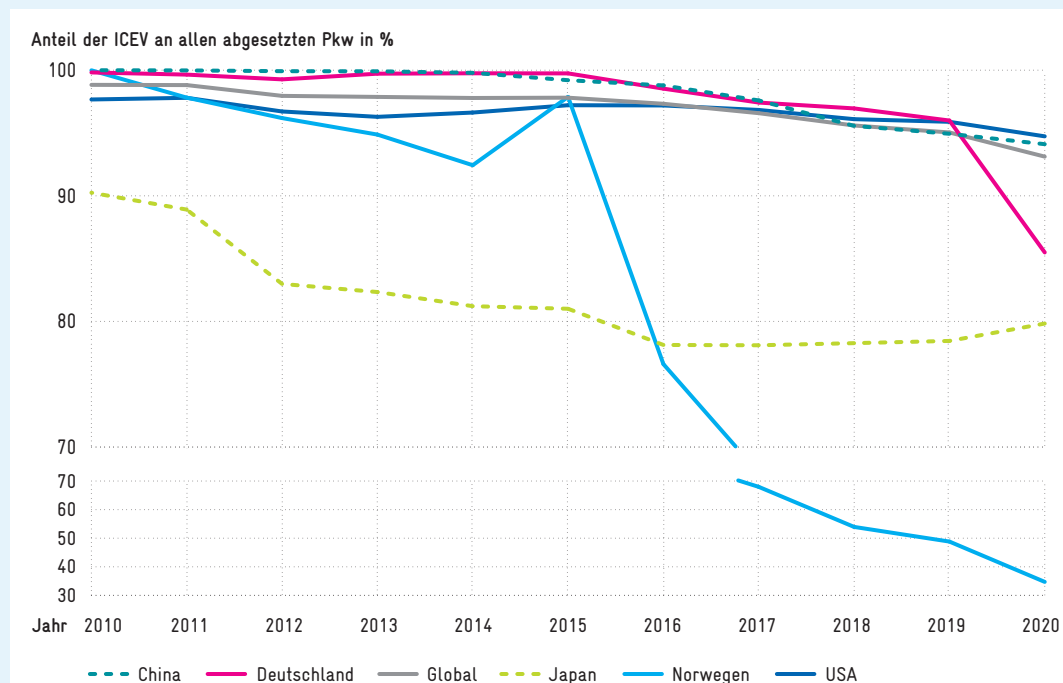
Daneben fördern Bund und Länder im Bereich alternativer Antriebe – in erheblich geringerem Umfang – sowohl die Forschung zu als auch die Markteinführung von Fahrzeugen, die mit Erdgas, Wasserstoff- oder Brennstoffzellen betrieben werden.²⁴³ Dabei ist insbesondere die Nationale Wasserstoffstrategie mit dem Ziel eines beschleunigten



[Download der
Abbildung
und Daten](#)

Abb. B2-10 Anteil konventioneller und alternativer Antriebsarten am Pkw-Absatz in ausgewählten Ländern und weltweit 2010–2020 in Prozent

a) ICEV



b) BEV

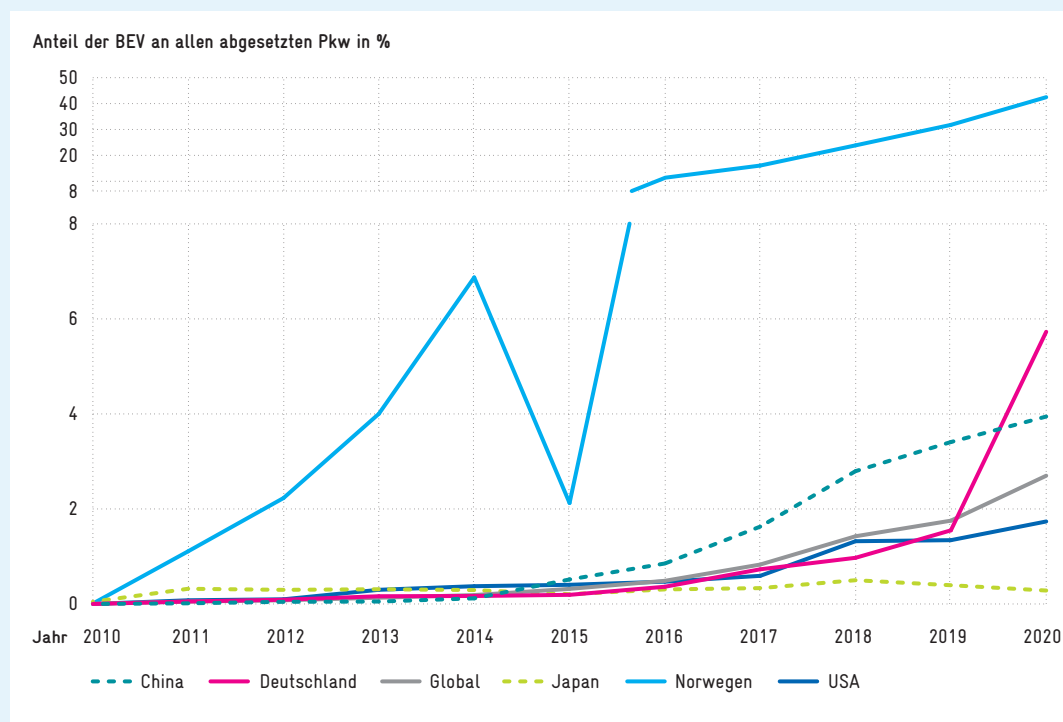
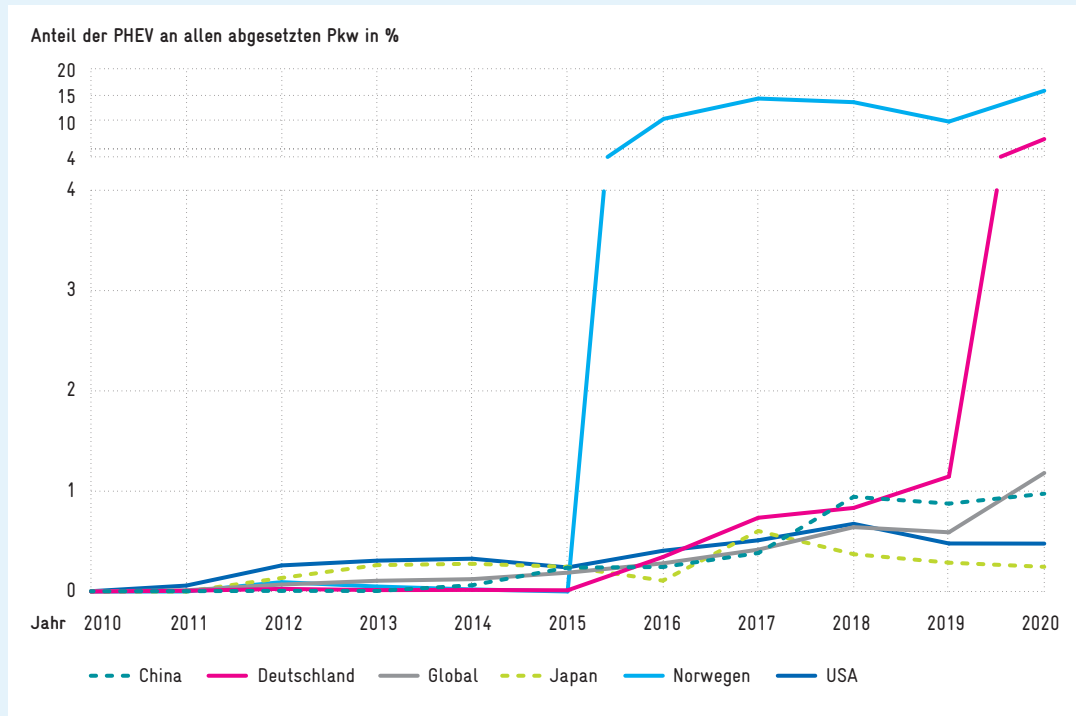


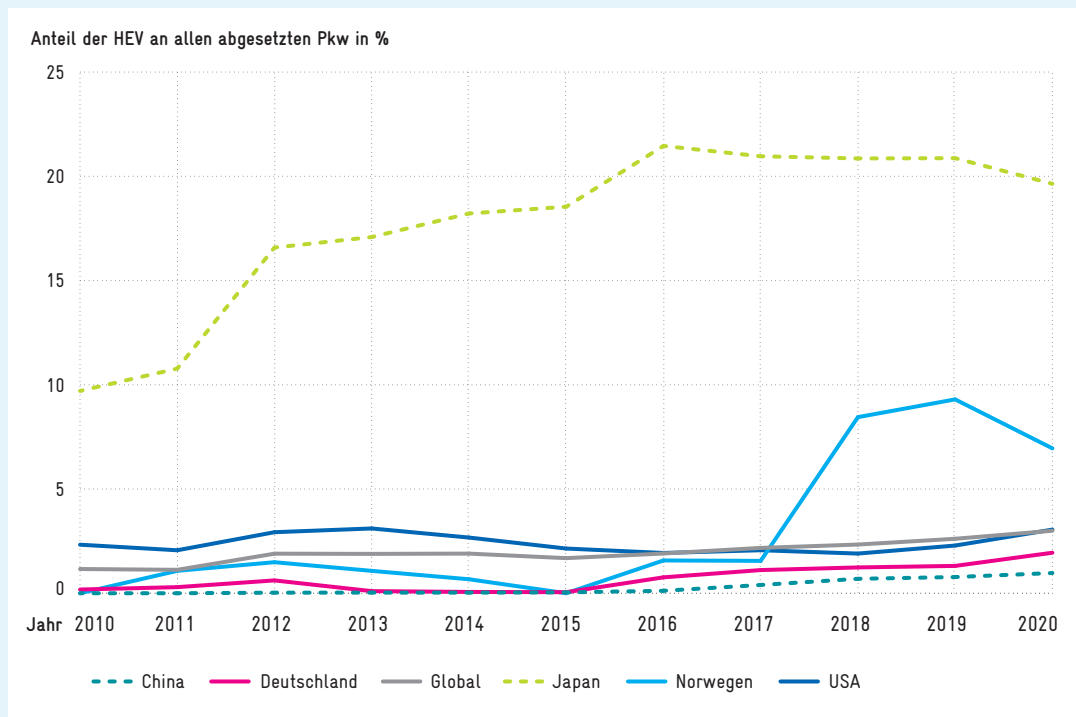
Abb. B2-10 wird auf der Folgeseite fortgesetzt.

Abb. B2-10 Anteil konventioneller und alternativer Antriebsarten am Pkw-Absatz in ausgewählten Ländern und weltweit 2010–2020 in Prozent

c) PHEV



d) HEV



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Sievers und Grimm (2022).
© EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation 2022.

Markthochlaufs neuer Wasserstofftechnologien von Bedeutung. Im Zusammenspiel mit alternativen Antriebstechnologien kann zudem der Einsatz neuer Materialien und Verfahren in der Fahrzeugkonstruktion, etwa durch Gewichtsreduktion von Karosserie und Antriebsstrang, zu Emissionseinsparungen beitragen.²⁴⁴ Im Rahmen des Technologietransfer-Programms Leichtbau fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) branchen-, technologie- und materialübergreifende Forschung im Bereich des Leichtbaus.

B2-3 Automatisiertes und autonomes Fahren

Automatisiertes Fahren ist ein übergreifender Begriff, der sowohl assistiertes und (teil-)automatisiertes Fahren als auch vollständig fahrerloses Fahren sowie die dazugehörigen Kommunikationstechnologien umfasst, die die Vernetzung von Fahrzeugen ermöglichen. Autonomes Fahren beschreibt als Teilbereich des automatisierten Fahrens die höchsten Automatisierungsgrade, die vollständig fahrerloses Fahren und die dazugehörigen Kommunikationstechnologien umfassen.

Veränderung verkehrsbedingter Emissionen durch automatisiertes Fahren

Fortschritte im Bereich des automatisierten Fahrens können zu einer Veränderung der verkehrsbedingten THG-Emissionen auf zwei Ebenen beitragen: Gewinne an Effizienz auf der Fahrzeugebene (Primäreffekte) und induzierte Veränderungen des Mobilitätsverhaltens auf der Ebene der Verkehrsteilnehmenden (Sekundäreffekte).

Haupttreiber der – mit zunehmendem Automatisierungsgrad der Fahrzeuge steigenden – Primäreffekte sind harmonisierte Fahreigenschaften, optimierte Motoransteuerung sowie die Berücksichtigung der Topografie und des Verkehrsflusses.²⁴⁵ Den Effizienzgewinnen durch optimiertes Fahrverhalten steht allerdings ein zusätzlicher Endenergieverbrauch durch vernetzte Automatisierungssysteme, in den Fahrzeugen selbst sowie im Mobilfunk und in der digitalen Infrastruktur, gegenüber.²⁴⁶

Sekundäreffekte ergeben sich, weil die Effizienz- und Komfortvorteile automatisierter Fahrzeuge die relative Attraktivität von Verkehrsmitteln verändern. Einerseits kann eine verstärkte Automatisierung zur

vermehrten Bündelung von Bedarfsverkehren und damit geringeren Fahrleistungen und THG-Emissionen führen. Andererseits können ein wachsender Anteil des MIV und die Erschließung neuer Nutzergruppen zu erhöhten Fahrleistungen automatisierter Fahrzeuge führen und so die Emissionen wieder steigern, ein sogenannter Reboundeffekt.²⁴⁷

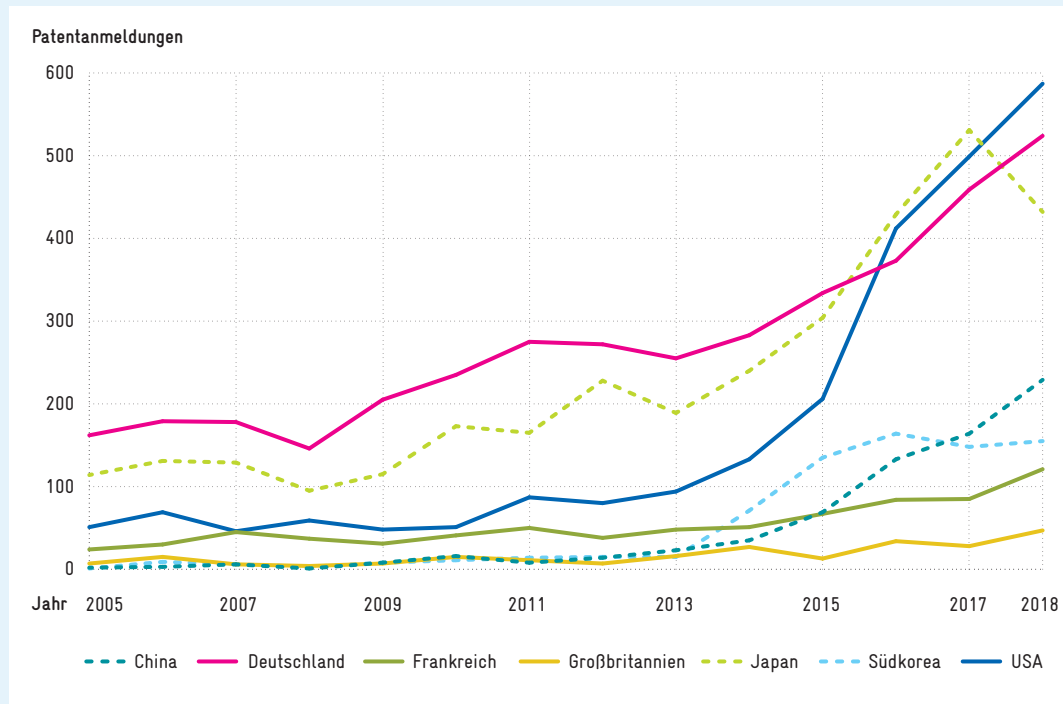
Klassische Automobilnationen bei automatisiertem Fahren führend

Im Zeitraum von 2005 bis 2018²⁴⁸ gab es einen deutlichen Anstieg der transnationalen Patentanmeldungen im Bereich des automatisierten Fahrens (vgl. Abbildung B 2-11).²⁴⁹ Anfänglich wurde die Entwicklung vor allem durch Patentanmeldungen im Bereich der Assistenztechnologien getrieben, während im weiteren Verlauf Patente zum autonomen Fahren wichtiger geworden sind (vgl. Abbildung B 2-12). Die Zunahme der Patentanmeldungen im Bereich des automatisierten Fahrens ist in Deutschland und Japan schon seit 2008 erkennbar. In den USA hat die Entwicklung erst seit 2013 stark an Dynamik gewonnen. Die USA und Deutschland haben zuletzt den bisherigen Spitzenreiter Japan überholt, wobei Deutschland nur knapp hinter den USA liegt. Mit bereits deutlichem Abstand folgen China und Südkorea. Allerdings spielten beide Länder fünf Jahre zuvor bei den transnationalen Patentanmeldungen im Bereich des automatisierten Fahrens international noch kaum eine Rolle und haben in kurzer Zeit Frankreich und Großbritannien hinter sich gelassen.

Entwicklung beim autonomen Fahren in den USA hochdynamisch

Bei den transnationalen Patentanmeldungen im Teilbereich des autonomen Fahrens war Deutschland bis etwa 2010 international führend (vgl. Abbildung B 2-12). Danach ging die Führungsposition jedoch an die USA verloren, die nach einer hochdynamischen Entwicklung zuletzt – mit weitem Abstand – die meisten Patente in diesem Bereich anmeldeten. Zwar hat sich die Zahl der transnationalen Patentanmeldungen aus Deutschland im Bereich autonomen Fahrens zwischen 2014 und 2018 mehr als verdreifacht, sodass sich Deutschland von Japan und Südkorea abgesetzt hat. Jedoch kamen 2018 aus Deutschland weniger als halb so viele Patentanmeldungen wie aus den USA.

Abb. B2-11 Anzahl transnationaler Patentanmeldungen im Bereich automatisierten Fahrens in ausgewählten Ländern 2005–2018

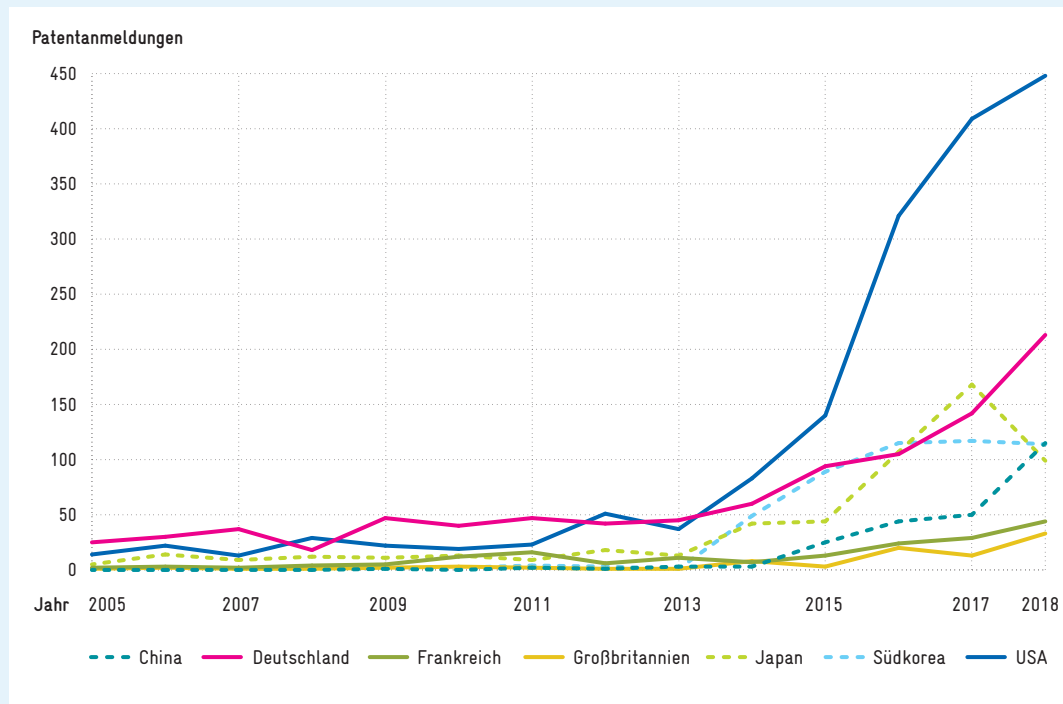


Quelle: PATSTAT. Eigene Darstellung basierend auf Sievers und Grimm (2022).
© EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation 2022.



[Download der
Abbildung
und Daten](#)

Abb. B2-12 Anzahl transnationaler Patentanmeldungen im Bereich autonomen Fahrens in ausgewählten Ländern 2005–2018



Quelle: PATSTAT. Eigene Darstellung basierend auf Sievers und Grimm (2022).
© EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation 2022.



[Download der
Abbildung
und Daten](#)

Automatisiertes und autonomes Fahren gefördert

Innovationen im Bereich automatisierten und autonomen Fahrens werden durch eine große Anzahl an Förderprogrammen insbesondere auf Bundesebene unterstützt. Konzentriert wird die Förderung unter der vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) umgesetzten „Strategie autonomes und vernetztes Fahren“ der Bundesregierung, die bereits 2015 auf den Weg gebracht wurde. Ziel der Strategie ist es, Deutschland zum Leitmarkt und Leitanbieter beim automatisierten und vernetzten Fahren zu machen. Hierzu wurden u. a. der rechtliche Rahmen ausgebaut, von Bund und Ländern geförderte Testfelder für automatisierte Fahrzeuge eingerichtet²⁵⁰ und FuE-Vorhaben sowohl zu technischen als auch gesellschaftlichen Aspekten des automatisierten Fahrens unterstützt.²⁵¹

Zur Förderung von Innovationen im Bereich autonomen Fahrens hat das BMVI 2019 eine Förderrichtlinie mit einem Volumen von 122 Millionen Euro aufgesetzt, mit dem Ziel, höhere Automatisierungsstufen bis zum autonomen Fahren und künstliche Intelligenz in der Automobilität weiterzuentwickeln. Seit November 2021 fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit insgesamt 135 Millionen Euro die Softwareentwicklung für die Digitalisierung der Automobilität, wodurch auch die Weiterentwicklung von automatisierten Fahrzeugen ermöglicht wird.²⁵²

Deutscher Rechtsrahmen für autonomes Fahren wegweisend

Mit dem im Juli 2021 in Kraft getretenen Gesetz zum autonomen Fahren hat Deutschland als weltweit erstes Land eine gesetzliche Grundlage für den Regelbetrieb von hoch automatisierten Fahrzeugen ohne fahrzeugführende Person in festgelegten Betriebsbereichen.²⁵³ Dieser Rechtsrahmen verbessert die Voraussetzungen für die Markteinführung von hoch automatisierten Fahrzeugen.²⁵⁴ Dadurch wird Deutschland in die Lage versetzt, als Technologietreiber die Entwicklung von autonomen Fahrzeugsystemen mitzugestalten und Anreize für Automobilhersteller zu setzen, diese zu entwickeln.²⁵⁵

B2-4 Sharing-Dienste in der deutschen Mobilitätslandschaft

THG-Emissionsreduktionen können nicht nur durch neue emissionsärmere Fahrzeugtechnologien, sondern auch durch Verhaltensänderungen im Hinblick auf die Wahl der Verkehrsmittel erreicht werden. Obwohl aktuell gut drei Viertel aller deutschen Haushalte einen eigenen Pkw besitzen,²⁵⁶ werden Rufe nach einem Umdenken in Richtung „Teilen statt Besitzen“ – einem Sharing von Verkehrsmitteln – lauter.²⁵⁷ Diese Forderungen fußen auf zwei Fakten: Private Pkw bleiben während des größten Teils des Tages ungenutzt, und beim überwiegenden Teil der Pkw-Fahrten wird nur eine Person transportiert. Zugleich bewegen sich zu den Stoßzeiten des Verkehrs viele Personen auf identischen Strecken oder Wegabschnitten, sodass eine gemeinsame Nutzung von Transportmitteln zur Schonung von Ressourcen naheliegt.

Es gibt zahlreiche Geschäftsmodelle, die auf eine bessere Auslastung von privaten Pkw abzielen. Dazu gehören Plattformmodelle, deren Angebot die Koordination von gemeinsamen Fahrten oder Mitfahrgelegenheiten ist.²⁵⁸ Daneben sind in den letzten Jahren Sharing-Modelle entstanden, die den Charakter des Autos als vornehmlich individuell genutztes Verkehrsmittel in Privatbesitz antasten. Dazu zählen vor allem Carsharing und Ridepooling. Carsharing ist die organisierte gemeinschaftliche Nutzung von Fahrzeugen, die von einem Anbieter gehalten werden, der diese in der Regel nicht selbst nutzt und der die alleinige Verantwortung für das Funktionieren der Fahrzeuge hat.²⁵⁹ Es handelt sich beim Carsharing in der Regel also nicht um das Teilen einer Ressource in Gemeinschaftsbesitz, sondern um ein gewerbliches Serviceangebot, bei dem die Fahrzeuge verschiedenen Personen nacheinander zur Nutzung zur Verfügung stehen. Carsharing wird mittlerweile auch von den großen Autovermietungsgesellschaften und teils sogar von den Automobilherstellern angeboten.²⁶⁰ Daneben gibt es ein Angebot von Nutzungsabonnements mit Laufzeiten zwischen wenigen Stunden und mehreren Monaten, wodurch ein fließender Übergang von individueller zu geteilter Nutzung entsteht.

Ridepooling ist eine Form des gebündelten Verkehrs, um in der Regel mehrere Passagiere bei Bedarf flexibel zwischen Haltepunkten in einem Gebiet zu befördern.^{261, 262} Ridepooling unterliegt dem Personen-

beförderungsgesetz (PBefG) und umfasst sowohl gebündelten Bedarfsverkehr, der nicht zum öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) gehört, als auch Linienbedarfsverkehr im Rahmen des ÖPNV.²⁶³

Angebotsdichte und Nutzung bei Sharing-Diensten noch gering

Beim Carsharing erreicht das Angebot in Deutschland derzeit eine durchschnittliche Dichte von 33 Fahrzeugen pro 100.000 Einwohner.²⁶⁴ Beim Ridepooling liegt der Durchschnittswert ungefähr bei einem Fahrzeug pro 100.000 Einwohner. Einzelne Kommunen weisen jedoch wesentlich höhere Dichten auf.²⁶⁵ Einer repräsentativen Befragung in deutschen Großstädten zufolge wurde Carsharing regelmäßig von 4 Prozent genutzt, Ridepooling jedoch nur von 2 Prozent.²⁶⁶

Rahmenbedingungen für eine stärkere Nutzung von Sharing-Diensten

Um zu klären, wie weit politisch gestaltbare Faktoren die Nutzungsraten von Carsharing und Ridepooling steigern können und wie sich eine veränderte Nutzung dieser Angebote auf die Struktur der Verkehrsmittelnutzung auswirkt, hat die Expertenkommission eine Simulationsstudie in Auftrag gegeben.²⁶⁷ Untersucht wurden dabei, ausgehend vom Status quo, die Effekte einer kombinierten Veränderung des CO₂-Preises mit einem Anstieg der Kraftstoffsteuer und Subventionen für emissionsfreie Pkw. In einem weiteren Szenario wurden die Auswirkungen einer Anhebung von Parkgebühren und der parallelen Erhebung von Mautgebühren im City-Bereich analysiert. Daneben wurde eine verstärkte Förderung des ÖPNV durch die Kombination einer dichteren Taktung, einer Halbierung der Beförderungstarife sowie einer Verkürzung der Wartezeit simuliert.

Vergleicht man diese kombinierten Maßnahmen, bewirkt die Anhebung des CO₂-Preises, der Kraftstoffsteuer und der Subventionen für emissionsfreie Pkw die stärkste Zunahme der Nutzungsanteile von Carsharing und Ridepooling. Als besonders wirksam erweist sich eine Kombination dieser Maßnahmen mit höheren Park- und Mautgebühren. Die Effekte der untersuchten Instrumente²⁶⁸ bleiben insgesamt jedoch sehr verhalten. Bis 2030 sind beim Carsharing Nutzungsanteile von maximal 1,8 Prozent zu erwarten. Beim Ridepooling liegen die Nutzungsanteile mit maximal 0,3 Prozent noch darunter. Beide

Arten von Sharing-Diensten arbeiten nicht kostendeckend, bleiben also ohne Subventionierung unwirtschaftlich. Insgesamt gesehen erscheinen Carsharing und Ridepooling somit auf absehbare Zeit nicht in der Lage, sich als Alternativen zur Nutzung des eigenen Pkw zu etablieren. Allerdings ist der zu erwartende Zuwachs bei der Nutzung von Carsharing und Ridepooling in urbanen Räumen deutlich stärker als in ländlichen Räumen.

Ridepooling könnte aber als Beförderungsform insbesondere in ländlichen Räumen eine kostengünstigere Alternative zum bestehenden ÖPNV-Angebot darstellen. Durch den verstärkten Einsatz kleinerer, flexibler einsetzbarer und besser ausgelasteter Fahrzeuge könnten positive Umwelteffekte entstehen. Derzeit scheitert ein breiteres Angebot an Ridepooling-Diensten noch an den hohen Kapital- und Personalkosten für zusätzliche Fahrzeuge.²⁶⁹ Insbesondere die Personalkosten könnten aber in der Zukunft durch neue Technologien wie autonomes Fahren deutlich sinken, sodass die Rentabilität der Dienste steigen würde.

Allerdings sind mögliche Reboundeffekte zu beachten.²⁷⁰ Es ist zu erwarten, dass Personen, die derzeit gar nicht oder nur selten selbst Auto fahren, bei sinkenden Kosten häufiger Fahrdienste durch fahrerlose Fahrzeuge in Anspruch nehmen werden. Auch wenn es hierzu mangels Daten noch keine Untersuchungen gibt, ist aus anderen Zusammenhängen bekannt, dass solchen Reboundeffekten mit geeigneter Bepreisung, in diesem Fall einer Kombination aus CO₂-Preis und einem Straßenmautsystem, entgegengewirkt werden kann.²⁷¹

Anders als der Linienbedarfs- und auch der Taxiverkehr fällt der gebündelte Bedarfsverkehr gemäß dem PBefG nicht unter den ÖPNV. Er wird dadurch gegenüber diesen benachteiligt. So unterliegen Fahrten im gebündelten Bedarfsverkehr einem Mehrwertsteuersatz von 19 Prozent, während Fahrten im ÖPNV nur mit 7 Prozent Mehrwertsteuer belegt sind. Zudem kann der gebündelte Bedarfsverkehr im Betrieb teilweise durch Steuerungsinstrumente der Kommunen eingeschränkt werden.²⁷² Dies schafft Unsicherheiten für Mobilitätsdienstleister und hemmt den Ausbau von innovativen Ridepooling-Angeboten.²⁷³

Positiv zu verzeichnen ist, dass das neue PBefG die Erhebung von Mobilitätsdaten regelt, die im Rahmen der „Mobilithek“²⁷⁴ sowohl Behörden als auch

Anbietern von Mobilitätsdiensten zur Verfügung stehen sollen.²⁷⁵ Damit wird die Entwicklung von Mobilitätskonzepten ermöglicht, die auf der Vernetzung von Mobilitätsdaten beruhen, etwa intermodale Routenplanung. Eine Datenschnittstelle mit GAIA-X ist dabei allerdings bislang nicht vorgesehen.

B2-5 Handlungsempfehlungen

Die Entwicklung hin zu nachhaltigem motorisiertem Individualverkehr wird von Fortschritten bei den emissionsärmeren Antriebsarten getragen. Der batteriebetriebene Pkw erweist sich als die ökologisch und ökonomisch vorteilhafteste Alternative. Dementsprechend kommt es darauf an, die Verbreitung dieser Antriebsart zu stärken, um so infolge von Netzwerkeffekten ihre Attraktivität und Akzeptanz zu erhöhen. Außerdem eröffnen Entwicklungen in der Digitalisierung und beim autonomen Fahren Chancen für innovative Mobilitätsangebote, um auch durch Bündelung von Verkehr zur Reduktion von Emissionen beizutragen. Zur Stärkung eines nachhaltigen Individualverkehrs empfiehlt die Expertenkommission daher folgende Maßnahmen:

Adäquate verkehrs- und klimapolitische Anreize setzen und Angebot an CO₂-neutralem Strom erhöhen

Da sich die batteriebetriebene Elektromobilität für den motorisierten Individualverkehr als die momentan ökologisch wirksamste und gleichzeitig wirtschaftlichste unter den emissionsärmeren Antriebsarten herauskristallisiert, sollte deren Attraktivität gegenüber konventionellen Verbrennern gesteigert werden.

- Um die Attraktivität von konventionellen Verbrennern zu verringern und zugleich den Unternehmen Planungssicherheit im Hinblick auf die Marktfähigkeit von E-Mobilität und zukünftigen Entwicklungen alternativer Antriebe zu geben, sollte durch geeignete Maßnahmen (vgl. Kapitel A 1) möglichst schnell ein hinreichend hoher CO₂-Preis realisiert werden.
- Die Expertenkommission bestärkt die Bundesregierung, wie im Koalitionsvertrag vorgesehen das Angebot an CO₂-neutralem Strom zu erhöhen, u.a. durch den Ausbau der erneuerbaren Stromquellen.

- Um die Strompreise niedrig zu halten, sollte Strom von Zusatzlasten ohne Lenkungswirkung wie der EEG-Umlage und der Stromsteuer befreit werden.

FuE zu nachhaltiger Batterietechnik und neuen Materialien verstärkt fördern

- Die aktuelle Generation von Batterien bringt noch erhebliche negative ökologische Effekte in Förderländern mit sich. Die Entwicklung neuartiger Batterien mit geringerem ökologischem Fußabdruck sollte mit Nachdruck gefördert werden.
- Die neue Bundesregierung sollte sich bei importierten Batterien auf europäischer Ebene für die Einrichtung entsprechender Umweltstandards starkmachen.
- Innovationen und technologische Entwicklungen sollten im Hinblick auf neue Materialien insbesondere zu Gewichtsreduktion und ressourcenschonenden Fahrzeugkonstruktionen weiterhin gefördert werden, um damit auch zur Vergrößerung der Batteriereichweiten beizutragen.

Öffentliche Ladeinfrastruktur ausbauen und Transparenz der Bezahlssysteme herstellen

- Neben dem öffentlich geförderten Ausbau der Ladeinfrastruktur empfiehlt die Expertenkommission, dass sich die Bundesregierung für transparente Preisstrukturen an Ladesäulen starkmacht, um Akzeptanz und Marktdurchdringung von batterieelektrischen Fahrzeugen voranzutreiben.
- Aufgrund des hohen Ressourcenbedarfs von Brennstoffzellen-Pkw sowie aufgrund zu erwartender technologischer Innovationen bei Transport und Lagerung von Wasserstoff, die unter Umständen die Nutzung von vorhandener Infrastruktur ermöglichen, besteht momentan kein dringender Handlungsbedarf, das Wasserstofftankstellennetz für Pkw mit öffentlichen Mitteln auszubauen.

System der Kaufprämien und Kfz-Besteuerung reformieren

Kaufprämien sind grundsätzlich geeignet, den Anteil an neu zugelassenen Fahrzeugen mit alternativen Antriebsarten zu erhöhen. Stärkere Kaufanreize können jedoch durch direkte Bepreisung von Externalitäten und Straßennutzungsgebühren geschaffen werden.

- Das jetzige Kaufprämiensystem sollte wie geplant bis 2025 auslaufen.
- Plug-in-Hybride sollten umgehend von Kaufprämien ausgeschlossen werden, da sie in den Umweltbilanzen deutlich schlechter abschneiden als batterieelektrische Fahrzeuge.
- Eine Bepreisung von CO₂ und anderen Externalitäten sollte durch eine Kombination aus CO₂-Preis und einer entsprechend angepassten Benzin-/Dieselsteuer erreicht werden.

- Das Steuer- und Abgabensystem für den Straßenverkehr sollte grundsätzlich reformiert werden, indem die pauschalen Kfz-Steuern mittelfristig durch direkte Nutzungsgebühren, d.h. durch ein umfassendes Straßenmautsystem, ersetzt werden.

Wettbewerbsbedingungen für gebündelten Bedarfsverkehr verbessern

Verschiedene gesetzliche Regelungen und Verordnungen erschweren bislang einen wirtschaftlichen Betrieb und die Entwicklung von innovativen Geschäftsmodellen für gebündelte Bedarfsverkehre.

- § 50 Personenbeförderungsgesetz sollte dahingehend reformiert werden, dass Kommunen weniger Einfluss auf den gebündelten Bedarfsverkehr nehmen können.
- Gebündelte Bedarfsverkehre und Taxiverkehre sollten steuerlich gleichgestellt werden.