



Elektromobilität: E-Autos, Plug-In-Hybride und Batterien

Ein „Sorgenkind“ der Treibhausgasemissionen in Deutschland ist noch der Verkehr: Zwischen 1990 und 2019 wurden die Emissionen dort im Gegensatz zum Industriesektor, dem Gebäudebereich oder der Landwirtschaft nicht verringert.

Die Elektromobilität kann zur Lösung dieses drängenden Umweltproblems beitragen. Doch mit der Umstellung auf den Elektro-Antrieb allein ist es nicht getan. Solange der Anteil des motorisierten Individualverkehrs und die Art der Fahrzeuge – immer noch liegen SUVs im Trend – gleichbleiben oder sogar weiterwachsen, wird die Entwicklung zur Nachhaltigkeit kaum gelingen.

Zwar ist der Elektromotor sehr energieeffizient. Dieser Vorteil wird jedoch geschmälert, wenn weiterhin der klassische motorisierte Individualverkehr mit seiner geringen Effizienz pro Personenkilometer dominiert. Der Rohstoffbedarf zur Herstellung der Fahrzeuge bleibt unverändert hoch.

Wie bei vielen technischen Entwicklungen – ein anderes Beispiel aus dem Verkehrsbereich ist das autonome Fahren – hängt also der ökologische Nutzen nicht davon ab, ob sich Elektromobilität durchsetzt, sondern wie sie gestaltet wird. Eine klimafreundliche Mobilität ist nicht allein eine Frage der technologischen Entwicklung. Daneben müssen sowohl ein Bewusstsein für ein nachhaltiges Verkehrsverhalten entstehen als auch politische Rahmenbedingungen so gesetzt werden, dass ein solches Verhalten belohnt wird.

Treibhausgasbilanz: Elektro-Auto vs. Verbrenner

So klimafreundlich ist ein Elektroauto gegenüber einem sparsamen Diesel: Da Strom in Deutschland noch zum größten Teil aus fossilen Quellen wie Kohle hergestellt wird, trägt auch ein E-Auto heute noch zum Ausstoß von Treibhausgasen bei. Jedoch verursacht ein durchschnittlicher mittelgroßer Diesel-Pkw der „Golf-Klasse“ im Betrieb pro Kilometer etwa dreimal so viel CO₂-Äquivalente wie ein vergleichbares Elektrofahrzeug. CO₂-Äquivalente (CO₂e) sind ein Maß für die klimaschädliche Wirkung verschiedener Treibhausgase.

Unter normalen Straßenbedingungen sind das beim Diesel über 200 Gramm pro Kilometer. Ein E-Fahrzeug mit einer Batteriekapazität von 60 Kilowattstunden setzt dagegen in der Nutzungsphase nur Treibhausgase von gut 60 Gramm CO₂e pro Kilometer frei. Bei der energieaufwändigen Herstellung des E-Autos fallen hingegen zusätzliche rund sechs Tonnen Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Verbrenner an. Hochgerechnet auf eine Laufleistung von 180.000 Kilometern

emittiert ein E-Fahrzeug rund 25 Tonnen CO₂e weniger als ein Diesel. Diese Rechnung geht vom deutschen Strommix aus und berücksichtigt, dass der Anteil an erneuerbarem Strom in Zukunft steigen wird.

E-Mobilität und Ökostrom gehören zusammen

Elektrofahrzeuge erzeugen zwar keine Treibhausgasemissionen am Auspuff, sie fahren also lokal CO₂-frei. Aber die Klimabilanz eines E-Autos hängt letztlich vom Strom ab, mit dem das Fahrzeug betrieben wird. Nutzer von Elektrofahrzeugen können zum Ausbau von erneuerbaren Energien beitragen: beispielsweise, indem sie das Fahrzeug mit Ökostrom laden.

Es kommt dabei aber auf die ökologische Qualität des Stroms an. Viele Öko- und Fahrstromanbieter verteilen lediglich Strom aus erneuerbaren Energien zwischen verschiedenen Stromverbrauchern um. Wichtig ist, dass auch ein tatsächlicher Impuls für einen zusätzlichen Ausbau der erneuerbaren Energien entsteht.

Feinstaub in den Städten wird weniger

Stärker als beim Treibhauseffekt, der ein globales Problem ist, kommt es bei den Luftschadstoffen darauf an, an welchem Ort sie emittiert werden. Der Straßenverkehr verursacht rund 60 Prozent, in Einzelfällen sogar bis zu 80 Prozent der gesundheitsschädlichen Stickoxid-Emissionen. Dreiviertel dieser Menge stoßen Diesel-Pkw aus.

Mehr Elektromobilität im innerstädtischen Verkehr verbessert die Luftqualität erheblich. Denn Elektrofahrzeuge fahren lokal abgasfrei, da sie keine Partikel aus Verbrennungsprozessen freisetzen.

Auch der „sekundäre“ Feinstaub verringert sich durch Elektromobilität. Die verbleibenden Emissionen aufgrund von Reifen- und Bremsabrieb sowie Aufwirbelung von Stäuben sind für Mensch und Umwelt etwas weniger schädlich. Positiv auswirken könnte sich auch, dass Elektroautos durch Rekuperation bremsen können, also durch Energierückgewinnung, und so weniger Bremsbeläge verbrauchen. Dadurch erzeugen sie möglicherweise weniger Feinstaub. Dieser Zusammenhang ist jedoch noch nicht ausreichend belegt.

Batterie-Rohstoffe: Knackpunkt oder nicht?

Lithium, Nickel und Kobalt – für die Herstellung der Batterien von Elektrofahrzeugen werden große Mengen an wertvollen Metallen benötigt. Eine Antriebsbatterie kann zum Beispiel zwischen 6 und 11 Kilogramm Lithium sowie zwischen 9 und 13 Kilogramm Kobalt enthalten. Ein wichtiger Rohstoff ist auch Kupfer, das beispielsweise für die Fahrzeugelektronik oder Ladeinfrastruktur verwendet wird. Hinzu kommen Seltene Erden wie Neodym und Dysprosium, welche für den Elektromotor benötigt werden, wenn auch in geringeren Mengen.

In wenigen Jahrzehnten wird die Nachfrage nach einigen dieser Rohstoffe die heutigen Fördermengen deutlich übersteigen. Beispiel Lithium: Szenarien zufolge könnte sich der globale Bedarf bis zum Jahr 2050 verzehnfachen. Der Bedarf läge dann pro Jahr noch immer bei weniger als einem Prozent der heute bekannten Ressourcen. Insgesamt kann das vorhandene Lithium den Bedarf decken. Nur temporär könnten Engpässe entstehen, zum Beispiel weil Produktion, Verarbeitung und Recycling nicht parallel zur Nachfrage wachsen oder nur wenige Anbieter existieren.

Die Elektromobilität spart aber auch wichtige Rohstoffe: So wird kein Blei für die Starterbatterie mehr gebraucht, auch Metalle der Platingruppe und Seltene Erden für den Katalysator werden eingespart. Und nicht zuletzt ermöglicht Elektromobilität langfristig die Unabhängigkeit vom Erdöl.

Aufbau eines Recyclingsystems unverzichtbar

Weltweit gibt es über eine Milliarde Autos und in jedem stecken große Mengen an wertvollen Rohstoffen und Sekundär-Rohstoffen. Für viele Materialien existieren bereits etablierte Kreisläufe, weil sich bei einer Massenproduktion die kommerzielle Wiederverwertung rentiert. Zumindest in den Industrieländern sind Recyclingquoten bei Altfahrzeugen von weit über 90 Prozent üblich.

Dadurch werden nicht nur ökologische und soziale Folgen der Rohstoffgewinnung in den Abbauländern gemindert, sondern auch die negative Klimawirkung wesentlich reduziert. Recyceltes Aluminium verursacht beispielsweise 95 Prozent weniger Treibhausgase als der neu gewonnene Rohstoff. Es ist zu erwarten, dass auch für „neue“ Materialien vergleichbare Recyclingkreisläufe entstehen.

Verbindliche Vorgaben wie Sammel- und Recyclingquoten, die Formulierung von ökologischen und sozialen Standards für Primärrohstoffe oder Maßgaben zur recyclingfreundlichen Konstruktion könnten das Batterierecycling fördern und wirtschaftlich attraktiver machen.

Das Problem mit der Reichweite

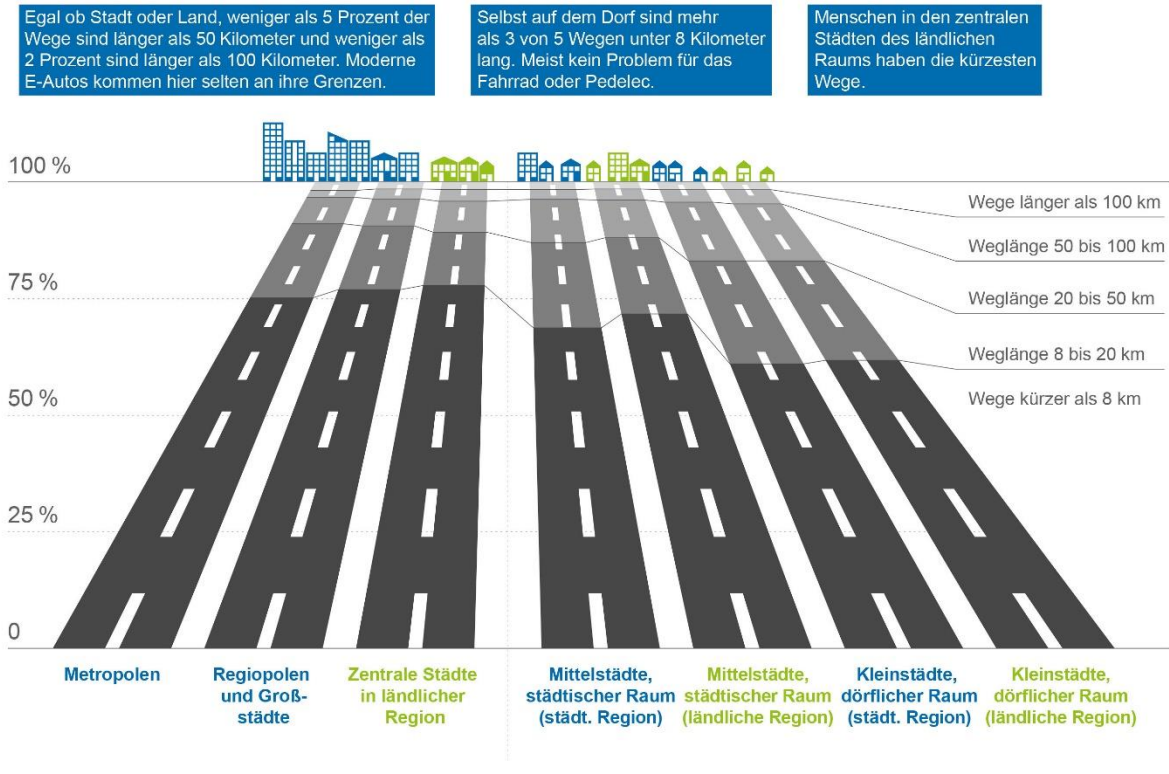
Fast alle E-Fahrzeuge, die heute auf den Markt kommen, haben laut aktuellem Messzyklus (WLTP) eine Reichweite von mehr als 200 Kilometern. Besonders Fahrzeuge der Mittel- und Oberklasse liegen mit WLTP-Reichweiten von 300 bis über 500 Kilometern auch deutlich darüber.

Oft werden die Fahrzeuge mit unterschiedlichen Batteriegrößen angeboten, sodass Kunden das Fahrzeug wählen können, das ihren Anforderungen entspricht. Die Nutzung von Nebenverbrauchern wie Heizung oder Klimaanlage, aber auch kalte Außentemperaturen und eine ungünstige Fahrweise können die Reichweite jedoch auf die Hälfte verkleinern.

Allerdings legen über 90 Prozent der Privat-Pkw in Deutschland täglich weniger als 80 Kilometer zurück, sofern keine außergewöhnlichen Fahrten wie Urlaub oder lange Dienstreisen anstehen. Im Alltag können also in 9 von 10 Fällen die Alltagsfahrten problemlos mit batterieelektrischen Pkw bewältigt werden, selbst wenn tagsüber keine Lademöglichkeiten erreicht werden und die Akkus daher nur nachts geladen werden können.

Abbildung: Distanzen bis acht Kilometer überwiegen

Klimafreundliche Mobilität für Stadt und Land möglich
 Fast alle Wege kürzer als 50 km, Distanzen bis 8 km überwiegen



QUELLE: MOBILITÄT IN DEUTSCHLAND (2017), WEGELÄNGEN NACH RAUMTYPEN (REGIOSTAR7), ALLE VERKEHRSMITTEL; ÖKO-INSTITUT 2020, CC BY-SA 2.0

Quelle: Öko-Institut

Plug-in-Hybride verbrauchen mehr Strom und Benzin

Die optimale Lösung des Reichweiten-Problems in Verbindung mit Klimafreundlichkeit scheinen Plug-In-Hybride zu sein. Ein Plug-In-Hybrid-Fahrzeug (PHEV) kombiniert einen elektrischen mit einem konventionellen Antrieb und kann extern mit Strom geladen werden. Wenn die Hälfte der Kilometer elektrisch gefahren wird, stößt ein mittelgroßer PHEV der „Golf-Klasse“ über die gesamte Lebensdauer etwa ein Fünftel weniger Treibhausgase aus als ein Dieselfahrzeug.

Letztlich entscheidet aber die Art der Nutzung über die Klimabilanz der Plug-In-Hybride: Je mehr Kilometer elektrisch gefahren werden, desto klimafreundlicher ist das Fahrzeug im Vergleich zum Diesel oder anderen Antrieben. Plug-In-Hybride verbrauchen meist etwas mehr Strom und Benzin als ihre reinelektrischen oder rein konventionellen Pendanten. Das liegt unter anderem daran, dass die Fahrzeuge schwerer sind. Kritisch zu sehen ist, dass PHEVs bisher meist als schwere Oberklassefahrzeuge angeboten werden, die überdurchschnittlich viele Emissionen verursachen.

Unterschied zwischen Plug-in-Hybrid- und Hybrid-Pkws

Ein Hybrid-Pkw hat neben einem konventionellen Verbrennungsmotor auch einen Elektromotor und eine kleine Batterie. Im Gegensatz zum Plug-In-Hybrid-Fahrzeug, das eine wesentlich größere Batterie besitzt, wird der Hybrid-Pkw nicht extern mit Strom geladen.

Im Stadtverkehr bieten Hybrid-Fahrzeuge heute eine sinnvolle und kostengünstige Möglichkeit, CO₂-Emissionen von Pkw zu verringern: Beim Bremsen wird die Bremsenergie im Hybrid-Fahrzeug durch den Elektromotor, der dann als Generator fungiert, zurückgewonnen und in der Batterie gespeichert. Die gespeicherte Energie wird zum Anfahren, bei niedriger Geschwindigkeit oder zur Unterstützung des Verbrennungsmotors genutzt. Je häufiger man bremsen und anfahren muss, desto höher ist das Einsparpotenzial. Zudem wird durch das Zusammenspiel von elektrischem und konventionellem Antrieb der Verbrennungsmotor in günstigen Drehzahlbereichen betrieben. Mit einem aktuellen Benzin-Hybrid-Fahrzeug lässt sich, je nach Typ und Fahrprofil, bis zu 20 Prozent Kraftstoff und damit CO₂ gegenüber einem konventionellen Fahrzeug einsparen.

Die Kombination mit dem elektrischen Antrieb verbessert also die Energieeffizienz des Fahrzeugs, der Klimavorteil ist aber begrenzt. Denn der Hybrid-Pkw wird weiterhin rein mit Diesel oder Benzin betankt. Damit profitiert der Hybrid auch in der Zukunft nicht wie das Elektroauto oder der Plug-In-Hybrid vom Ausbau der regenerativen Energien. Bezieht man außerdem die Fahrzeugherstellung ein, schrumpft der Klimavorteil des Hybrid gegenüber einem Verbrenner auf rund 10 Prozent. Denn die Produktion von Batterie und Elektromotor ist mit Treibhausgasemissionen verbunden. Im Vergleich dazu schneidet ein Elektroauto inklusive Herstellung mit einem Klimavorteil von fast 50 Prozent deutlich besser ab.

Integration ins Energiesystem: Viel mehr Strom vonnöten

Die Frage ist, wie viel zusätzlicher Strom aus erneuerbaren Energien für die E-Fahrzeuge gebraucht wird. Nach dem Willen der Bundesregierung sollen im Jahr 2030 sieben bis zehn Millionen Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen unterwegs sein. Dadurch würde sich die Stromnachfrage im Verkehrssektor etwa verdreifachen. Das bedeutet zusätzlich bis zu 30 Terrawattstunden jährlich oder rund fünf Prozent des deutschen Stromverbrauches des Jahres 2019.

Um diesen Strombedarf mit Solar- und Windenergie zu decken, müssten 13 Prozent mehr Strom aus erneuerbarer Energie erzeugt werden als heute. Zum Vergleich: Die Stromexporte aus Deutschland entsprachen im Jahr 2019 mit rund 33 Terrawattstunden in etwa dem Energieverbrauch der Elektrofahrzeuge im Jahr 2030.

Erhöht sich langfristig der Anteil an elektrisch betriebenen Pkw im Straßenverkehr auf drei Viertel, würde der zusätzliche Strombedarf auf 85 bis 100 Terrawattstunden pro Jahr ansteigen. Das entspricht etwas weniger als der gesamten deutschen Stromerzeugung durch Windenergie an Land im Jahr 2019. Diese wurde mit etwa 29.500 Windkraftanlagen bereitgestellt. Geht man von modernen Onshore-Anlagen an Land aus, würden in diesem Szenario etwa 10.000 neue Windräder gebraucht. Dafür geeignete Flächen dafür sind in Deutschland Onshore und Offshore (in der offenen See vor der Küste) grundsätzlich verfügbar. Jedoch gibt es vor Ort oft Hindernisse und Akzeptanzprobleme sowie weitere neue Stromverbraucher, wie Gebäude oder Industrie. Daher sind sparsame Fahrzeuge und eine effiziente Organisation der Mobilität unverzichtbar.

Laden und öffentliche Ladeinfrastruktur

Wer Wohneigentum und einen Stellplatz auf dem eigenen Grundstück besitzt, kann eine Ladestation meist problemlos einrichten. Eine einfache Wandladestation, eine sogenannte Wallbox, wird mit Drei-Phasen-Wechselstrom betrieben und überträgt maximal 11 Kilowatt Leistung. Das entspricht dem Drehstrom, mit dem üblicherweise ein Küchenherd angeschlossen wird.

Alternativ kann das Fahrzeug an der Wallbox auch einphasig oder über eine klassische Schuko-Steckdose geladen werden. Dabei werden nur 3,7 Kilowatt Leistung übertragen, entsprechend länger dauert das Laden. Private Pkw stehen nachts durchschnittlich mehr als zehn Stunden still. Diese Ladezeit reicht aus, um die gängigen elektrischen Fahrzeuge vollständig zu laden. Um abzuschätzen, wie lange es dauert, die Fahrzeugbatterie von 0 auf 100 Prozent zu laden, teilt man die nutzbare Batteriekapazität durch die Ladeleistung.

Über die öffentliche Ladeinfrastruktur informieren inzwischen viele Anbieter und Online-Communities. Dort erhält man einen umfassenden Überblick zu Anzahl, Leistung und Ausstattung der Stromtankstellen sowie über Preise, Abrechnungsmethoden, Zugang, Öffnungszeiten und Zahlungsmedien.

Kosten

Elektrofahrzeuge sind in der Anschaffung ohne Förderung noch teurer als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Im Betrieb sind sie dagegen günstiger, vor allem durch die niedrigeren Energiekosten. Darüber hinaus fallen weniger Kosten bei Wartung, Reparatur und Steuern an. Käufer von Elektro- und Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen profitieren zudem von der „Kaufprämie“ zur Förderung der Elektromobilität. Sie setzt sich zusammen aus einem Herstelleranteil und einem Bundesanteil.

Ob ein Elektrofahrzeug insgesamt günstiger ist als ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor, hängt stark davon ab, ob ein Fahrzeug von der Kaufprämie profitiert und wieviel damit gefahren wird. In einem Kostenvergleich kommt der ADAC zu dem Ergebnis, dass die Gesamtkosten von Elektrofahrzeugen aufgrund der Förderung häufig auch bei Jahresfahrleistungen von 10.000 Kilometern niedriger als bei vergleichbaren Verbrennern ausfallen.

Projekt: Fragen und Antworten zur Elektromobilität

„Ist das Elektroauto in seiner ökologischen Gesamtbilanz klimafreundlicher als ein sparsamer Diesel?“ Diese und weitere Fragen werden häufig an die Geschäftsstelle Elektromobilität bei der LandesEnergieAgentur für Hessen (LEA) herangetragen. Ihre Beantwortung ist nicht immer ganz einfach, da hier oft komplexe Zusammenhänge beachtet und zukunftsbezogene Annahmen herangezogen werden müssen. Das Öko-Institut hat im Auftrag der LEA meistgestellte Fragen gesammelt und beantwortet. Das Kompendium liegt bereits in der 2. Auflage vor.

[Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung: Klimafreundlich, effizient, smart? Antworten zur Elektromobilität](#)

Zu oft im Verbrenner-Modus: Plug-in-Hybride gefährden Klimaziele im Verkehr

In einer Studie im Auftrag des Bundesumweltministeriums haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Öko-Instituts, des Instituts für Energie- und Umweltforschung (ifeu) und von

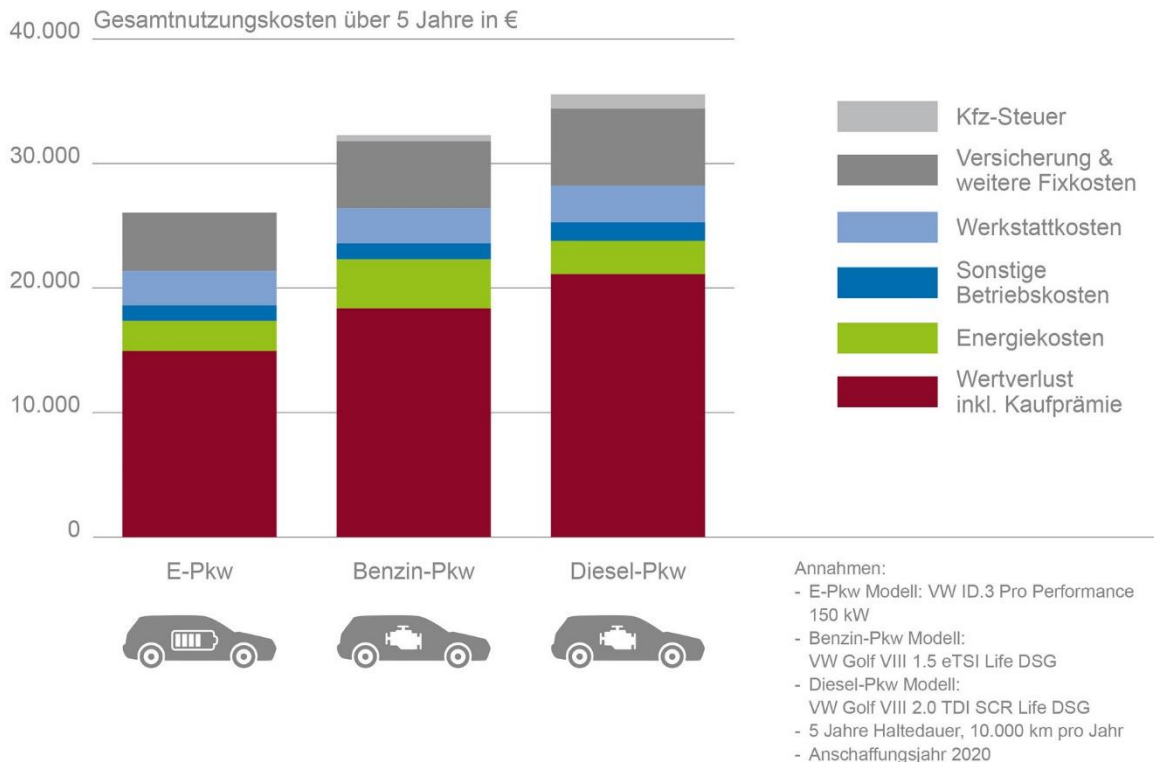
„Transport & Environment“ die Umweltwirkung von Plug-In-Hybriden untersucht. Dabei zeigt sich, dass Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge im täglichen Betrieb in der Regel überwiegend den Verbrennungsmotor nutzen. Damit emittieren sie deutlich mehr CO₂ als für die Berechnungen der deutschen Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 bisher angenommen wurde. Bei den derzeitigen Rahmenbedingungen gefährdet somit der weitere Markthochlauf von Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen die deutschen Klimaziele 2030 im Verkehrsbereich. Aus umweltpolitischer Sicht sollte die Förderung aus Kaufprämie und Steuervorteilen dringend überprüft werden.

[Studie „Plug-in hybrid electric cars: Market development, technical analysis and CO₂emission scenarios for Germany“](#)

Abbildung: Elektrische Pkw können billiger sein

Elektrische Pkw mit Kostenvorteil

Gesamtkosten der Nutzung eines Mittelklasse-Pkw mit Elektro-, Otto- und Dieselmotor



QUELLE: ADAC E.V. AUTODATENBANK 2020, KRAFTSTOFFPREISE AKTUALISIERT, BERÜCKSICHTIGUNG CO₂-PREIS; ÖKO-INSTITUT 2020, CC BY-SA 2.0

Quelle: Öko-Institut

Weitere Informationen

[Mit Hilfe des Online-Rechners von Transport & Environment, einer europäischen Organisation zu nachhaltigem Verkehr, können CO₂-Emissionen für konventionelle und elektrische Fahrzeuge berechnet und verglichen werden.](#)

Plattformen, die Auskunft über die Ladeinfrastruktur geben:

- [Lemnet](#)
- [Going electric](#)
- [Open-chargemap](#)
- [Routenplaner des ADAC für E-Fahrzeuge](#)
- [E-Tankstellen Finder](#)
- [die App Mehr-Tanken](#)

Kontakt

Potenziale und Treibhausgasbilanz von Elektromobilität:

Florian Hacker

Sellv. Bereichsleiter
Ressourcen & Mobilität (Berlin)

Öko-Institut e.V., Büro Berlin
Tel.: +49 30 405085-373
E-Mail: f.hacker@oeko.de

Peter Kasten

Stellv. Bereichsleiter
Ressourcen & Mobilität (Berlin)

Öko-Institut e.V., Büro Berlin
Tel.: +49 30 405085-349
E-Mail: p.kasten@oeko.de

Interaktion Elektromobilität und Strommarkt:

Charlotte Loreck

Senior Researcher im Bereich Energie & Klimaschutz (Berlin)

Öko-Institut e.V., Büro Berlin
Tel.: +49 30 405085-330
E-Mail: c.loreck@oeko.de

Ressourcenaspekte von Elektromobilität:

Dr. Matthias Buchert

Bereichsleiter Ressourcen & Mobilität (Darmstadt)

Öko-Institut e.V., Büro Darmstadt
Tel.: +49 6151 8191-147
E-Mail: m.buchert@oeko.de

Das Öko-Institut ist eines der europaweit führenden, unabhängigen Forschungs- und Beratungsinstitute für eine nachhaltige Zukunft. Seit der Gründung im Jahr 1977 erarbeitet das Institut Grundlagen und Strategien, wie die Vision einer nachhaltigen Entwicklung global, national und lokal umgesetzt werden kann. Das Institut ist an den Standorten Freiburg, Darmstadt und Berlin vertreten.