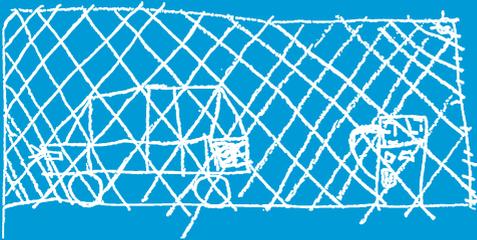
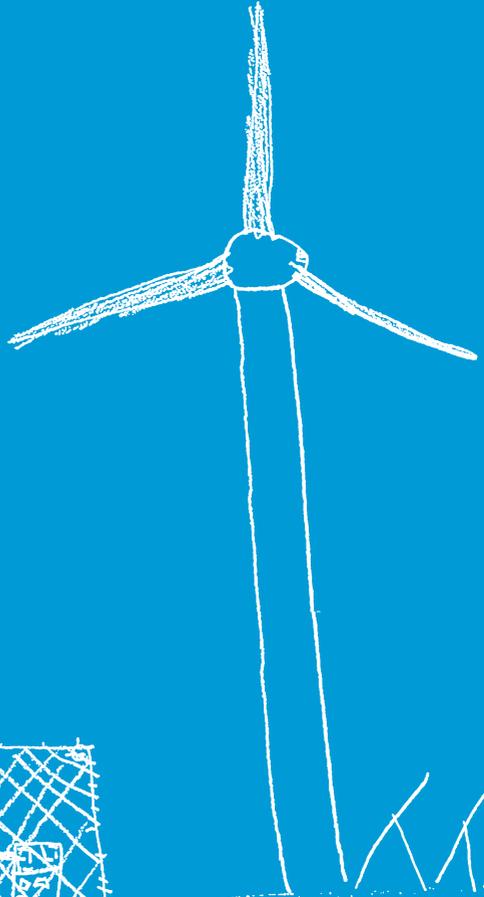
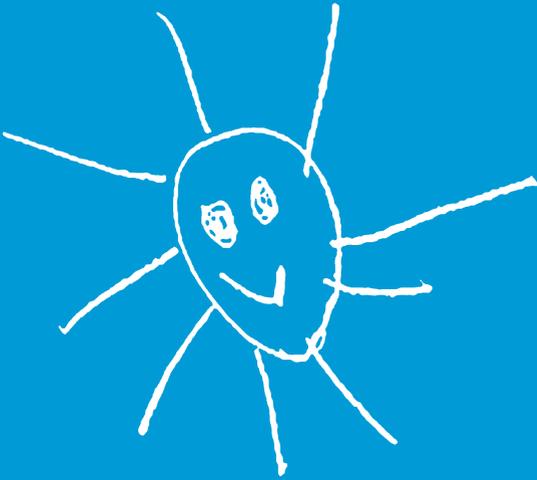




Klimafreundlich, effizient, smart?

Antworten zur
Elektromobilität





„Ist das Elektroauto in seiner ökologischen Gesamtbilanz überhaupt klimafreundlicher als ein sparsamer Diesel?“

Diese und viele weitere Fragen werden häufig an die Geschäftsstelle Elektromobilität bei der LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH und ihre Partner herangetragen. Die Beantwortung dieser Fragen ist nicht immer ganz einfach, da hier oft komplexe Zusammenhänge beachtet und zukunftsbezogene Annahmen herangezogen werden müssen.

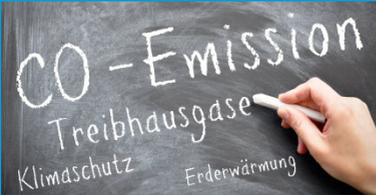
Auf die wichtigsten, häufig wiederkehrenden Fragen wollen wir in dieser Broschüre kurz und verständlich eingehen. Da sich ein Großteil der Fragen auf die Ökobilanz und die Umweltwirkungen der Elektromobilität beziehen, haben wir das Öko-Institut, das bereits auf einen ähnlichen FAQ-Katalog verweisen kann, mit der Beantwortung dieser Fragen beauftragt. Daneben sollten aber auch Fragen zu Ressourcen und zur Energieversorgung, zu alternativen Antriebstypen, Kosten, Reichweite oder Ladeinfrastruktur behandelt werden.

Die vorliegende zweite Auflage (vormaliger Titel: „Fragen zur Elektromobilität“) wurde vom Öko-Institut Mitte 2020 vollständig überarbeitet und aktualisiert.

Wir hoffen, mit dieser Veröffentlichung einen kleinen Aufklärungsbeitrag in der Debatte leisten zu können.

Inhalt

1



Treibhausgasbilanz 1

2



Umweltwirkungen in den Innenstädten 7

3



Ressourcenverfügbarkeit, soziale und ökologische
Aspekte der Rohstoffgewinnung, Recycling 13

4



Vergleich mit anderen Antriebstypen, Alternativen 19

5



Einbindung in das heutige und zukünftige Energiesystem 27

6



Laden und Ladeinfrastruktur 33

7



Reichweite 41

8



Kosten 45

Literaturverzeichnis 50

Geschäftsstelle Elektromobilität 54

Impressum 55



1



Treibhausgasbilanz

- 1.1 Ist die Klimabilanz eines E-Fahrzeugs besser als die eines sparsamen Diesels?
- 1.2 Warum gibt es unterschiedliche Aussagen zum Treibhausgasausstoß während der Nutzung von E-Fahrzeugen?
- 1.3 Warum gibt es unterschiedliche Aussagen zur Klimabilanz der Fahrzeugherstellung?

1.1

Ist die Klimabilanz eines E-Fahrzeugs besser als die eines sparsamen Diesels?

Klimafreundlicher ist schon heute das Elektroauto: Zwar trägt es aufgrund der Stromproduktion aus teils fossilen Quellen auch zum Ausstoß von Treibhausgasen bei, jedoch verursacht ein durchschnittlicher mittelgroßer Diesel-Pkw („Golf-Klasse“) im Betrieb pro Kilometer etwa dreimal so viel CO₂-Äquivalente wie ein vergleichbares E-Fahrzeug - unter normalen Straßenbedingungen sind es beim Diesel über 200 Gramm pro Kilometer. CO₂-Äquivalente (CO₂e) sind ein Maß für die klimaschädliche Wirkung verschiedener Treibhausgase.

Ein E-Fahrzeug mit einer Batteriekapazität von 60 Kilowattstunden setzt dagegen in der Nutzungsphase nur Treibhausgase von gut 60 Gramm CO₂e pro Kilometer frei. Hochgerechnet auf eine Laufleistung von 180.000 km 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 erneuerbarer Energie in Zukunft steigen wird. Die Werte berücksichtigen die erheblichen Mehrverbräuche in der Praxis gegenüber den auf dem Teststand gemessenen Werten sowie die Bereitstellung des Kraftstoffs.

Richtig ist, dass bei der Produktion und der Entsorgung von E-Autos dagegen mehr Emissionen entstehen: Durch die energieaufwendige Batterieherstellung fällt dabei aktuell fast doppelt so viel Kohlenstoffdioxid an wie bei der Herstellung eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor. Im oben genannten Beispiel sind das rund 6 Tonnen ohne Batteriewechsel. Über die gesamte Lebensdauer hinweg spart das E-Fahrzeug also etwa 20 Tonnen CO₂e ein, fast die Hälfte gegenüber dem Diesel. Warum es dennoch unterschiedliche Aussagen zur Klimabilanz gibt, wird in den Fragen 1.2 und 1.3 erklärt.

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. Der Online-Rechner lässt sich unter folgendem Link aufrufen: <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/electric-cars/how-clean-are-electric-cars>.

1.2

Warum gibt es unterschiedliche Aussagen zum Treibhausgasausstoß während der Nutzung von E-Fahrzeugen?

In den Medien wird immer wieder berichtet, E-Autos würden ähnlich viel oder sogar mehr Treibhausgas ausstoßen als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

Meist lassen sich Ergebnisse, die der unter 1.1 dargestellten Tendenz widersprechen, erklären, wenn die folgenden Aspekte kritisch hinterfragt werden:

Die Berechnung des Treibhausgasausstoßes bei der Nutzung von E-Autos hängt vor allem davon ab, welcher Strommix zugrunde gelegt wird. Je größer man den Anteil an Strom aus fossilen Kraftwerken ansetzt, desto höher fallen die Emissionen aus.

In Deutschland sind die Zielwerte für erneuerbare Energien in den kommenden Jahrzehnten als Prozentanteile definiert. Also wird die künftige Nachfrageerhöhung durch E-Autos rechnerisch mit dem jeweiligen Strommix des betrachteten Jahres bedient. Somit ist es korrekt, diesen Mix zugrunde zu legen.

Abweichungen können sich zum Beispiel ergeben, wenn nicht der deutsche, sondern ein Strommix eines anderen Landes verwendet wird. Allerdings liegt der Anteil an CO₂-Emissionen bei der Stromproduktion in Deutschland etwa 50 Prozent über dem EU-Durchschnitt. Der Vergleich fällt daher in den meisten anderen EU-Ländern noch deutlicher „pro Elektromobilität“ aus. In Deutschland wie auch international wird der Anteil an erneuerbaren Energien im Strommix in den kommenden Jahren weiter steigen. Bei einer Berechnung über die gesamte Nutzungsdauer eines Fahrzeugs hinweg sollte diese Dynamik berücksichtigt werden.

Zu abweichenden Aussagen über Emissionen kommt es mitunter auch, weil Fahrzeuge unterschiedlicher Typen verglichen werden, zum Beispiel ein PS-starkes großes E-Auto und ein Mittelklassefahrzeug mit Verbrennungsmotor. Manche Rechnungen gehen auch von technischen Anforderungen aus, die bisher nicht belegt sind. Sie kalkulieren zum Beispiel einen Batteriewechsel, der nach Auffassung von Experten in der Regel nicht notwendig sein sollte. Gelegentlich wird auch der Anteil an Treibhausgasen ausgeblendet, der bei der Bereitstellung von Kraftstoff für Verbrennungsmotoren entsteht.

Warum gibt es unterschiedliche Aussagen zur Klimabilanz der Fahrzeugherstellung?

Studien zur CO₂-Bilanz der Herstellung von E-Autos weichen noch stärker voneinander ab als Berechnungen zu Emissionen bei der Nutzung (Frage 1.2). Die größte Variable ist der Produktionsstandort. Er bestimmt, woher der Strom für die Herstellung der Batterien kommt. Zwar gibt es bereits Produktionsanlagen, in denen eine Versorgung mit 100 Prozent erneuerbaren Energien angestrebt wird. Doch die meisten Batterien werden bisher mit „Graustrom“ aus dem ostasiatischen Netz produziert. In Asien wird Strom noch immer hauptsächlich aus Kohle gewonnen. Das treibt die CO₂-Bilanz nach oben. Doch ist beispielsweise China seit Jahren führend im Zubau von Solar- und Windenergie. Zusammen mit Wasserkraft kommt das Land bereits heute auf einen Anteil von 25 Prozent erneuerbarer Energien – Tendenz steigend.



Klimabilanzen für E-Autos – wie auch für viele andere Produkte – kommen auch deshalb zu unterschiedlichen Ergebnissen, weil wenige verlässliche Detaildaten zur Industrieproduktion verfügbar sind.

Anbieter innovativer Technologien haben wenig Interesse daran, ihre industriellen Prozesse offenzulegen. Studien beruhen daher oft auf Schätzungen, ausgehend von einer Bilanz des Gesamtenergiebedarfs von Produktionsanlagen oder von Simulationen der Prozesse, die darin stattfinden. Einige Autoren betrachten hocheffiziente Massenproduktion in „Gigafactories“. Andere nehmen kleine Anlagen in den Blick, die wenig energieeffizient sind und viel Ausschuss produzieren. Hinzu kommt die Schwierigkeit, dass die Hersteller auf unterschiedliche Zellchemie setzen. Abweichungen gibt es auch, weil einige Studien Emissionen nicht berücksichtigen, die bei der Herstellung von Vorprodukten entstehen.

Und schlussendlich werden oft „Äpfel mit Birnen“ verglichen, zum Beispiel ein konventioneller Kleinwagen mit einer batterieelektrischen Oberklasse-Limousine.

2



Umweltwirkungen in den Innenstädten

- 2.1 Ist Elektromobilität die richtige Antwort auf die Luftverschmutzung in Innenstädten?
- 2.2 Erzeugen E-Fahrzeuge wegen ihres Reifen- und Bremsabriebs genauso viel Feinstaub wie Verbrenner?
- 2.3 Werden unsere Städte durch die Elektromobilität leiser?
- 2.4 Ist Elektromobilität ein Teil der Lösung für den Verkehr der Zukunft?

2.1

Ist Elektromobilität die richtige Antwort auf die Luftverschmutzung in Innenstädten?

Stärker als beim Treibhauseffekt, der ein globales Problem ist, kommt es bei den Luftschadstoffen darauf an, an welchem Ort sie emittiert werden. In den Städten, wo die Dichte der betroffenen Bevölkerung am höchsten ist, sind Verbrennungsmotoren im Straßenverkehr die Hauptverantwortlichen für den Ausstoß von Stickoxiden (NO_x). Der Straßenverkehr verursacht rund 60 Prozent, in Einzelfällen sogar bis zu 80 Prozent dieser gesundheitsschädlichen Emissionen. Davon werden rund dreiviertel von Diesel-Pkw ausgestoßen.

Der große Einfluss des Straßenverkehrs konnte im Zuge der Corona-Krise gut beobachtet werden: In der Zeit des Lockdowns, in der der Straßenverkehr in den Städten um 30 bis 50 Prozent zurückging, sanken an verkehrsnahen Messstationen die NO_2 -Konzentrationen um 15 bis 40 Prozent. Jedoch ist zu beachten, dass die Belastung durch NO_x auch stark von der aktuellen Wetterlage abhängig ist.



So können Regen oder Wind zu einer Verminderung der Konzentration in der Luft beitragen. Elektrofahrzeuge fahren dagegen lokal abgasfrei. Das gilt auch für Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge und Fahrzeuge mit Range-Extender, die im Stadtverkehr überwiegend elektrisch angetrieben werden. Mehr Elektromobilität im innerstädtischen Verkehr verbessert die Luftqualität erheblich.

Um dies zu erreichen, können auch restriktive Maßnahmen wie Fahrverbote oder eine Citymaut für Fahrzeuge mit hohem Schadstoffausstoß ein geeignetes Mittel sein. Ein Vorreiter ist London, wo solche Maßnahmen schon 2021 großflächig umgesetzt werden sollen und auch von betroffenen Gruppen wie Wirtschaftsverbänden mitgetragen werden. Neben der Elektromobilität gibt es aber weitere Möglichkeiten, um die Stickoxidbelastung in den Städten zu senken: Dazu gehört vor allem die Förderung von ÖPNV und Rad- und Fußverkehr. Außerdem können Verbrennerfahrzeuge mit veralteter oder fehlerhafter Abgasreinigung umgerüstet werden.

Zwar haben auch die internationale Luft- und Seeschifffahrt sowie Kraftwerke einen relevanten Anteil am weltweiten Ausstoß von Feinstaub, Stickoxiden und Schwefeloxiden, besonders bei Schiffen wird der Schadstoffgehalt in Kraftstoffen und Abgasen deutlich weniger reguliert als bei Pkw. Doch die Gefahren für Umwelt und Gesundheit durch Luftverschmutzung sind in den Innenstädten am größten. Deshalb ist es sinnvoll, hier vor allem beim Straßenverkehr anzusetzen und den Anteil an Elektrofahrzeugen, zum Beispiel durch finanzielle Anreize oder Einfahrtbeschränkungen, zu erhöhen.

2.2

Erzeugen E-Fahrzeuge wegen ihres Reifen- und Bremsabriebs genauso viel Feinstaub wie Verbrenner?

Ob E-Auto oder Verbrenner, der Abrieb von Reifen und Bremsen setzt Partikel frei, die dann als Feinstaub die Luft belasten. Laut Umweltbundesamt ist der Straßenverkehr in Deutschland aber insgesamt für etwas weniger als ein Fünftel der Partikelemissionen verantwortlich. Auch innerstädtisch stammt wohl weniger als die Hälfte des Feinstaubs aus dem Straßenverkehr.



Mehr Feinstaub erzeugen zum Beispiel Kamine in Privathaushalten und Industrie. Der Effekt der Umstellung auf Elektromobilität ist in diesem Punkt also zunächst begrenzt.

Wie gesundheitsschädlich der Feinstaub ist, hängt aber auch von seiner Zusammensetzung und Größe ab. Umweltzonen und europäische Regulierung bei neu zugelassenen Dieselfahrzeugen haben dafür gesorgt, dass die Menge an besonders giftigen Partikeln, die bei der Verbrennung von Mineralölprodukten entstehen, erheblich gesunken ist. Die Partikelfilter sind auch bei der Neuzulassung von Benzinmoto-

ren mit Direkteinspritzung immer mehr zum Standard geworden, da die Fahrzeuge mit dem neuen Abgasstandard EURO 6d-ISC-FCM nicht nur auf dem Prüfstand, sondern auch auf der Straße niedrige Emissionen aufweisen müssen.

Elektrofahrzeuge setzen keine Partikel aus Verbrennungsprozessen frei. Auch der „sekundäre“ Feinstaub, der indirekt durch den Ausstoß von Stickoxiden hervorgerufen wird, 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 E-Autos 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.

2.3

Werden unsere Städte durch die Elektromobilität leiser?

Lärm stellt ein Gesundheitsrisiko dar und verursacht hohe ökonomische Kosten. Durch E-Autos kann der Straßenverkehr leiser werden. Allerdings sind dafür bestimmte Voraussetzungen notwendig. Denn Lärm entsteht im Fahrzeug auf unterschiedliche Weise: Bei niedrigen Geschwindigkeiten bis 30 km/h überwiegen die Antriebsgeräusche. Hier sind Elektrofahrzeuge klar im Vorteil. Das Geräusch der Abgasanlage entfällt und der Motor ist deutlich leiser, besonders beim Beschleunigen. Bei höheren Geschwindigkeiten dominieren jedoch Geräusche, die durch Reifen und Aerodynamik verursacht werden – unabhängig vom Antriebstyp. Bei größeren Nutzfahrzeugen wie Müllfahrzeugen, aber auch bei Zweirädern ergeben sich spürbare Vorteile



im Stadtverkehr. Hierbei sind die E-Fahrzeuge in jedem Geschwindigkeitsspektrum deutlich leiser als vergleichbare Verbrenner.

Wahrnehmbar ist eine Lärmreduzierung zudem erst dann, wenn ein gewisser Anteil an Fahrzeugen geräuscharm fährt. Misst man zum Beispiel den Schall an einem Punkt, an dem sich der Verkehr gleichmäßig mit 30 bis 40 km/h vorbei bewegt, sinkt der Schallpegel erst bei einem E-Fahrzeug-Anteil von fast 50 Prozent um ein Dezibel.

Langfristig können vor allem hochbelastete innerstädtische Gebiete lokal entlastet werden. Noch bessere Effekte lassen sich erzielen, wenn gleichzeitig die Geschwindigkeit auf 30 km/h begrenzt wird. Kurzfristig werden die E-Fahrzeuge ihren Vorteil jedoch nicht ausspielen können: Einzelne Studien legen den Schluss nah, dass sich durch geräuscharme Fahrzeuge die Unfallgefahr für Fußgänger verdoppelt. Ab Juli 2021 müssen E-Autos daher europaweit, wie auch schon mancherorts im Ausland, bis zu einer Geschwindigkeit von 20 km/h und beim Rückwärtsfahren künstliche Geräusche erzeugen, die einem Verbrenner gleicher Größenklasse entsprechen.

2.4

Ist Elektromobilität ein Teil der Lösung für den Verkehr der Zukunft?

Deutschland wird sehr wahrscheinlich sein selbst gestecktes Ziel einhalten, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren – es werden voraussichtlich 40 bis 45 Prozent erreicht. Dies ist vor allem auf den milden Winter mit Winterstürmen und die Corona-Krise zurückzuführen. Ersteres begünstigte die Energieproduktion aus erneuerbaren Energien. Durch die Corona-Krise sanken Emissionen im Verkehrsbereich und die der Industrie. Ohne Corona würden nur ca. 37 Prozent Minderung erreicht.

Ein „Sorgenkind“ ist vor allem der Verkehr: Zwischen 1990 und 2019 wurden die Emissionen dort im Gegensatz zum Industriesektor, dem Gebäudebereich oder der Landwirtschaft nicht verringert. Durch die Corona-Krise wird für das Jahr 2020 aber gegenüber dem Vorjahr von einer Minderung von 7 bis 25 Mio. Tonnen Treibhausgasen gerechnet.



Nach der Krise können die Emissionen allerdings wieder rasch ansteigen. Elektromobilität kann dann zur Lösung dieses drängendsten Umweltproblems beitragen (siehe Fragen 1.1 bis 1.3, 4.1 bis 4.5). Auch in Hinblick auf andere Umweltgüter können positive Effekte erzielt werden (siehe Fragen 2.1 bis 2.4).

Doch mit der Umstellung auf den E-Antrieb allein ist es nicht getan. Solange der Anteil des motorisierten Individualverkehrs, auch die Art der Fahrzeuge (siehe SUV-Trend) gleichbleiben oder sogar weiterwachsen, wird eine nachhaltige Entwicklung kaum gelingen. Die Konflikte um die Nutzung des Straßenraums durch verschiedene Verkehrsmittel sowie die Konkurrenz um den öffentlichen Raum bleiben bestehen. 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. Auch zum Ziel, dass im Straßenverkehr keine Menschen mehr sterben („Vision Zero“), trägt Elektromobilität nicht bei.

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 muss ein Bewusstsein für ein nachhaltiges Verkehrsverhalten entstehen. In einem besser vernetzten Verkehrssystem sollte es zum Beispiel üblicher sein, Langstrecken nicht im eigenen Pkw, sondern mit öffentlichen oder kombinierten Verkehrsmitteln (intermodal) zu absolvieren. Finanzielle Anreize müssen so ausgestaltet werden, dass die Nutzer nicht mehr Strecken motorisiert zurücklegen als bisher (sogenannter Rebound-Effekt).

3



Ressourcenverfügbarkeit, soziale und ökologische Aspekte der Rohstoffgewinnung, Recycling

- 3.1 Sind die für die Elektromobilität benötigten Rohstoffe ausreichend verfügbar?
- 3.2 Ist die Elektromobilität schuld an Ausbeutung und Umweltzerstörung beim Abbau von Rohstoffen wie Kobalt und Lithium?
- 3.3 Ist es möglich, Rohstoffe wie Lithium oder Kobalt zu recyceln?
- 3.4 Begeben wir uns mit der massiven Nachfrage nach Rohstoffen wie Lithium in neue Abhängigkeiten von wenigen ausländischen Lieferanten?

3.1

Sind die für die Elektromobilität benötigten Rohstoffe ausreichend verfügbar?

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 kg Lithium sowie zwischen 9 und 13 kg 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 bei Weitem übersteigen. Beispiel Lithium: Szenarien zufolge könnte sich der globale Bedarf bis zum Jahr 2050 verzehnfachen. Das wäre pro Jahr noch immer weniger als 1 Prozent der heute bekannten Ressourcen. Temporär könnten allerdings Engpässe entstehen, zum Beispiel weil Produktion, Verarbeitung und Recycling nicht parallel zur Nachfrage wachsen oder nur wenige Anbieter existieren.

Andererseits schont die Elektromobilität andere 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 im Verkehrssektor.

Wichtig ist dennoch, dass die technologische Entwicklung weiter vorangetrieben wird, um beispielsweise die Effizienz von Batterien zu erhöhen und den Rohstoffeinsatz zu reduzieren. Schon heute gibt es Fahrzeuge mit E-Motoren, die keine Seltenen Erden enthalten. Auch der Aufbau eines Recyclingsystems (vgl. Frage 3.3) ist unverzichtbar.



3.2

Ist die Elektromobilität schuld an Ausbeutung und Umweltzerstörung beim Abbau von Rohstoffen wie Kobalt und Lithium?

Kobalt und Lithium sind wichtige Rohstoffe für die Herstellung von Batterien. Die Hälfte der heutigen Kobaltproduktion stammt aus der Demokratischen Republik Kongo. Problematisch ist, dass Kobalt dort oft im Kleinbergbau unter gefährlichen Arbeitsbedingungen abgebaut wird. Aufgrund der meist informellen Tätigkeit und mangelnder staatlicher Intervention werden kaum Arbeitssicherheitsstandards eingehalten. Zudem ist Kinderarbeit ein weit verbreitetes Problem. Bei der Gewinnung von Kobalt im industriellen Bergbau kommen in der Regel bessere Arbeitssicherheitsstandards zum Tragen, aufgrund der Größe der Minen sind dagegen die ökologischen Risiken höher.

Bei der Primärgewinnung von Lithium werden zwei Arten der Gewinnung unterschieden. Zum einen der Festgesteinsbergbau, der vor allem in Australien stattfindet und der Abbau aus Salzseen in Südamerika. Insbesondere der Abbau aus Salzseen ist mit einem hohen Wasserbedarf und Chemikalieneinsatz verbunden und findet in ariden (trockenen) Gebieten statt. Dies könnte drängende soziale und ökologische Konflikte hervorrufen.

Die Fahrzeug- und Zuliefererindustrie sollte vergleichbar zu den Konfliktmineralien in die Pflicht genommen werden und ihre Lieferketten offenlegen sowie dafür Sorge tragen, dass Umwelt- und Sozialstandards entlang ihrer Lieferkette eingehalten werden.

Andere Maßnahmen zielen auf die Entlastung des Primärbedarfs ab: Vielversprechend ist zum Beispiel die Forschung zu Batterien, die nur halb so viel Kobalt enthalten (NMC = Nickel-Mangan-Cobalt 811-Zellen). Dafür wird der Anteil an Nickel erhöht, das leichter verfügbar ist. Neben der technologischen Entwicklung bei Fahrzeugbau und Rohstoffgewinnung könnten vor allem Systeme zur Wiederverwertung die Nachfrage nach Rohstoffen reduzieren und so die Ökobilanz von E-Autos verbessern. Beispiele dafür sind die Wiederverwendung von Altbatterien (Second-Life-Battery) z. B. für stationäre Anwendungen und der Aufbau von Recyclingsystemen.

3.3

Ist es möglich, Rohstoffe wie Lithium oder Kobalt zu recyceln?

Weltweit gibt es über eine Milliarde Autos und in jedem stecken große Mengen an wertvollen (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 Klimawirkung wesentlich reduziert. Recyceltes Aluminium verursacht beispielsweise 95 Prozent weniger Treibhausgas als der neu gewonnene Rohstoff.

Es ist zu erwarten, dass auch für „neue“ Materialien vergleichbare Recyclingkreisläufe entstehen, sobald sich die Elektromobilität weiter

verbreitet. Industrielle Verarbeiter haben in den vergangenen Jahren bereits Kobalt und Nickel aus Lithium-Ionen-Batterien recycelt, bei der Wiederverwertung von Lithium wurden entscheidende Fortschritte gemacht. 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.



3. Ressourcenverfügbarkeit, soziale & ökologische Aspekte der Rohstoffgewinnung, Recycling

3.4

Begeben wir uns mit der massiven Nachfrage nach Rohstoffen wie Lithium in neue Abhängigkeiten von wenigen ausländischen Lieferanten?

Die Befürchtung, dass mit dem Ausbau der Elektromobilität neue Abhängigkeiten zu ausländischen Lieferanten entstehen, ist nicht ganz von der Hand zu weisen. Tatsächlich konzentrieren sich die

bisher bekannten Vorkommen wichtiger Ressourcen wie Kobalt oder Lithium auf wenige Regionen der Welt. Kobalt wird zum Beispiel hauptsächlich in der Demokratischen Republik Kongo abgebaut, Lithium in Chile, Argentinien und Australien sowie Seltene Erden in China. Inwieweit einzelne staatliche Akteure oder Unternehmen in diesen Regionen ihre Machtposition ausnutzen oder eher multilateral agieren werden, lässt sich schwer vorhersagen.

Allerdings gibt es immer Möglichkeiten, Abhängigkeiten zu verringern. Dazu muss der Rohstoffbedarf der Elektromobilität weiter reduziert werden, zum Beispiel durch verbesserte Batterietechnologien, die weniger Kobalt benötigen, oder durch die Förderung von Recycling und Zweitanwendungen. Aber auch intelligente Mobilitätskonzepte und die Vermeidung von Verkehr verringern den Rohstoffbedarf.

Da Elektrofahrzeuge vor allem in der Herstellung rohstoffintensiv sind, wird es verstärkt darum gehen, Anzahl, Größe und Materialbedarf von Fahrzeugen bedarfsgerechter und intelligenter zu gestalten.

4



Vergleich mit anderen Antriebstypen, Alternativen

- 4.1 Sind Plug-In-Hybride die optimale Lösung zwischen Reichweitenproblematik und Klimabilanz?
- 4.2 Ist ein Hybrid besser als ein reines Elektroauto?
- 4.3 Wie effizient ist der batterieelektrische Antrieb im Vergleich zur Wasserstoff-Brennstoffzelle?
- 4.4 Ist Erdgas die klimafreundlichere Alternative zur Elektromobilität?
- 4.5 Ist die Nutzung von synthetischen Kraftstoffen aus überschüssigen erneuerbaren Energien realistisch und sinnvoll?

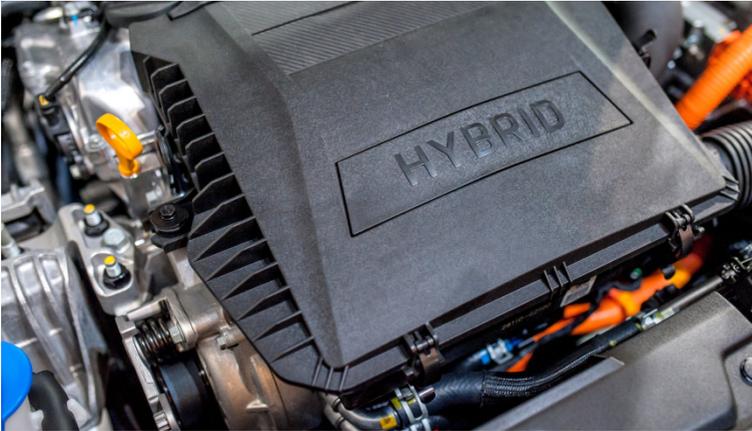
Sind Plug-In-Hybride die optimale Lösung zwischen Reichweitenproblematik und Klimabilanz?

Ein Plug-In-Hybrid-Fahrzeug (PHEV) kombiniert einen elektrischen mit einem konventionellen Antrieb und kann extern geladen werden. Wenn die Hälfte der Kilometer elektrisch gefahren wird, stößt ein mittelgroßer PHEV („Golf-Klasse“) über die gesamte Lebensdauer etwa ein Fünftel weniger Treibhausgase aus als ein Dieselfahrzeug. In diesem Anwendungsfall sind die Treibhausgasemissionen über die Gesamtlebensdauer eines mittelgroßen PHEVs damit beim heutigen Strommix i. d. R. niedriger als mit „normalen“ Hybrid- und Erdgasfahrzeugen (siehe Fragen 4.2 und 4.4). Letztlich entscheidet aber die Art der Nutzung über die Klimabilanz der PHEVs: Je mehr Kilometer elektrisch gefahren werden, desto klimafreundlicher ist das Fahrzeug im Vergleich zum Diesel oder anderen Antrieben. PHEVs haben meist deutlich kleinere Akkus als rein elektrische Fahrzeuge. Dadurch fallen bei der Herstellung weniger CO₂-Emissionen an. Entscheidend ist jedoch wiederum die Nutzungsphase.

PHEVs verbrauchen meist etwas mehr Strom und Benzin als ihre rein elektrischen oder rein konventionellen Pendanten. Das liegt unter anderem am höheren Gewicht der Fahrzeuge. Eine Unsicherheit für Nutzer und Klimabilanz stellen die auf dem Prüfstand ermittelten Verbrauchswerte dar. Hierfür kommen Verfahren zur Messung von Spritverbrauch und Abgasemissionen auf Basis eines einheitlichen Fahrzyklus zum Einsatz. Die bisher üblichen „kombinierten“, im alten NEFZ¹-Zyklus ermittelten, CO₂-Emissionen von PHEVs ließen sich kaum in die Realität übertragen. Der neue WLTP²-Zyklus führt zu etwas realistischeren und transparenteren Werten, da auch Fahrten mit nicht geladenen Batterien einbezogen werden.

¹ Neuer Europäischer Fahrzyklus

² Worldwide Harmonised Light-Duty Vehicles Test Procedure



Kritisch zu sehen ist, dass PHEVs bisher meist als schwere Oberklassefahrzeuge angeboten werden, die überdurchschnittlich viele Emissionen verursachen.

Als Vorteil der PHEVs gilt, dass sie dank ihres konventionellen Antriebs auch weite Distanzen zurücklegen können. Mit den Fortschritten bei der Batterietechnik wird sich jedoch künftig die Reichweite der rein elektrischen Fahrzeuge verlängern (siehe Frage 6.5). Schon heute könnten die meisten Strecken mit einem rein elektrischen Auto absolviert werden (siehe Frage 7.1). PHEVs erleichtern eventuell den Einstieg in das elektrische Fahren und werden häufig als Übergangstechnologie gesehen. Ein anderes Bild zeigt sich jedoch zuletzt in den Zulassungszahlen: Während seit Mitte 2018 etwa doppelt so viele BEV (Battery Electric Vehicles) wie PHEV in Deutschland zugelassen wurden, überwiegen zwischen Oktober 2019 bis Mitte 2020 die PHEV.

Ist ein Hybrid besser als ein reines Elektroauto?

Ein Hybridfahrzeug hat neben einem konventionellen Verbrennungsmotor auch einen Elektromotor und eine kleine Batterie. Im Gegensatz zum Plug-In-Hybridfahrzeug (PHEV), das eine wesentlich größere Batterie besitzt, wird der Hybrid-Pkw nicht zusätzlich extern mit Strom geladen. Insbesondere im Stadtverkehr bieten Hybridfahrzeuge heute eine sinnvolle und kostengünstige Möglichkeit, CO₂-Emissionen von Pkw zu verringern. Langfristig reicht die Hybridisierung jedoch nicht aus, um die Treibhausgase nachhaltig zu reduzieren.

Beim Bremsen wird die Bremsenergie im Hybridfahrzeug 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 erreicht, dass der Verbrennungsmotor in günstigen Drehzahlbereichen betrieben wird. Mit einem aktuellen Benzin-Hybridfahrzeug 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 zwar 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 PHEV 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 (siehe Frage 1.1).



4.3

Wie effizient ist der batterieelektrische Antrieb im Vergleich zur Wasserstoff-Brennstoffzelle?

Vergleicht man die Energiebilanz „von der Quelle bis zur Straße“, schneidet das Elektroauto deutlich besser ab als der Brennstoffzellen-Pkw: Das batterieelektrisch betriebene Fahrzeug kommt auf eine Energieeffizienz von rund 69 Prozent, das mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellenfahrzeug nur auf rund 26 Prozent. Wie ist dieser mehr als 2,5-mal so hohe Energieaufwand zu erklären?

Beide Fahrzeugtypen werden durch Elektromotoren angetrieben, die einen sehr hohen Wirkungsgrad von rund 90 Prozent aufweisen. Der Strom für den Antrieb stammt allerdings aus unterschiedlichen Quellen. Batterieelektrische Fahrzeuge werden im Idealfall mit Strom aus regenerativen Quellen betankt. Hier gehen nur rund 10 Prozent der Energie beim Ladevorgang verloren. Fahrzeuge mit Brennstoffzellen erzeugen ihren Strom dagegen selbst. Brennstoffzellen wandeln Wasserstoff und Sauerstoff in Wasser um, dabei wird der Strom für den Antrieb erzeugt. Der Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle liegt je nach abgerufener Leistung bei nur 40 bis 60 Prozent, es kann also nur etwa die Hälfte der Energie genutzt werden. Höhere elektrische Wirkungsgrade einer Brennstoffzelle werden nur bei niedriger Leistung erreicht.

Bisher hat auch der Energieträger selbst eine schlechtere Klimabilanz, denn Wasserstoff wird heute noch größtenteils aus fossilen Quellen wie Erdgas gewonnen. Alternativ könnte Wasserstoff künftig aber



auch mit Hilfe von erneuerbarem Strom erzeugt werden. Das dabei genutzte Elektrolyse-Verfahren und die anschließende Wasserstoff-Verflüssigung sind allerdings auch sehr energieintensiv, fast die Hälfte der eingesetzten Energie geht dabei verloren.

Wasserstoff-Brennstoffzellen können aber immer dort von Vorteil sein, wo die direkte Nutzung von Strom nicht oder nur schwer möglich ist, wo lange Distanzen zurückgelegt werden müssen und es genügend Platz für Wasserstofftanks gibt. Ein Beispiel ist die Seeschifffahrt.

4.4

Ist Erdgas die klimafreundlichere Alternative zur Elektromobilität?

Im Vergleich zu Elektrofahrzeugen verursachen Erdgas-Pkw unter Berücksichtigung der Fahrzeugherstellung über 60 Prozent mehr Treibhausgasemissionen.

Gegenüber den längeren Kohlenwasserstoffmolekülen im Benzin und Diesel hat Erdgas den Vorteil, dass der Kohlenstoffanteil geringer ist. Ein Erdgasfahrzeug stößt rund 17 Prozent weniger verbrennungsbedingte klimaschädliche Emissionen aus als ein Benziner. Dennoch ist Erdgas problematisch: Denn Erdgas ist ein Gasmisch, das hauptsächlich aus fossilem Methan besteht. Die Klimawirkung von Methan ist 28-mal so groß wie die von CO_2 . Entweicht Methan bei der Förderung, beim Transport oder der Nutzung des Erdgases, entstehen weitere Treibhausgasemissionen.

Die Klimabilanz von Erdgas verbessert sich, wenn Biogas beigemischt wird. Biogas wird aus Biomasse hergestellt, aus Reststoffen oder Anbaubiomasse wie Mais, und ähnelt Erdgas in seiner Zusammensetzung. Nachhaltiges Biogas aus Reststoffen kann in Deutschland allerdings nur in begrenztem Umfang gewonnen werden und würde lediglich einen Bruchteil des Bedarfs aus dem Straßenverkehr decken. Wird stattdessen Anbau-Biomasse verwendet, besteht die Gefahr, dass Konkurrenz zur Ernährungssicherung und ungewollte Flächennutzungsveränderungen auftreten. Deshalb müssen strenge Nachhaltigkeitskriterien an die Nutzung von Biogas geknüpft werden. Erdgas ist deshalb auf die Dauer keine klimafreundliche Alternative zur Elektromobilität.

4.5

Ist die Nutzung von synthetischen Kraftstoffen aus überschüssigen erneuerbaren Energien realistisch und sinnvoll?

Als synthetische Kraftstoffe werden meist flüssige Kohlenwasserstoffe bezeichnet, die nicht aus Erdöl gewonnen werden. Sie können zum Beispiel aus Biomasse, Erdgas oder Kohle künstlich hergestellt werden.



Damit können Verbrenner wie Diesel-Fahrzeuge oder Benzinere betankt werden. Eine häufig als nachhaltige Lösung propagierte weitere Möglichkeit, diese Kraftstoffe herzustellen, besteht darin, mit Strom per Elektrolyse Wasserstoff zu erzeugen. Dieser wird dann mit CO_2 aus der Luft oder aus Quellen mit einer höheren Konzentration (z. B. Biogaskraftwerk) weiter zu Flüssigkraftstoffen verarbeitet. Solche Kraftstoffe werden auch als eFuels bezeichnet.

Würde der benötigte Strom ausschließlich aus Überschüssen erneuerbarer Energien stammen, die zum Beispiel durch Windkraftanlagen bei starkem Wind entstehen, könnten solche Kraftstoffe zum Klimaschutz beitragen. Aus heutiger Sicht ist dieses Szenario jedoch unwahrscheinlich. Der Bau von Anlagen zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe ist mit großen Investitionen verbunden. Um die Anlagen wirtschaftlich zu betreiben, muss die Auslastung hoch sein. Weil der Strombedarf dafür aber nicht allein aus Überschüssen der regenerativen Stromerzeugung gedeckt werden kann, müsste die Erzeugung von regenerativem Strom zusätzlich ausgebaut werden.

Die Nutzung synthetischer Kraftstoffe hat damit eine wesentlich niedrigere Energieeffizienz als die direkte Nutzung von Strom für den Elektroantrieb: Im Vergleich müssten fünfmal mehr Anlagen zur Stromerzeugung errichtet werden. Damit ist diese Lösung auch wesentlich teurer. Deshalb sind synthetische Kraftstoffe aus aktueller Perspektive nur dort sinnvoll, wo Strom nicht direkt genutzt werden kann, zum Beispiel im Flug- und Schiffsverkehr. Für Pkw sind batterieelektrische Fahrzeuge eine bessere Option.

5



Einbindung in das heutige und zukünftige Energiesystem

- 5.1 Wie viele zusätzliche Kapazitäten für erneuerbare Energien werden wir für die E-Fahrzeuge brauchen?
- 5.2 Müssen wir bei einem massiven Ausbau der Ladeinfrastruktur mit einer Überlastung des Stromnetzes rechnen?
- 5.3 Können Stromversorger auf die Akkus der E-Fahrzeuge zugreifen, um sie als Speicher für Schwankungen bei den erneuerbaren Energien zu nutzen?
- 5.4 Verbessert sich die Klimabilanz eines E-Fahrzeugs, wenn der Nutzer es mit Ökostrom lädt?

Wie viele zusätzliche Kapazitäten für erneuerbare Energien werden wir für die E-Fahrzeuge brauchen?

Je größer der Anteil an Elektrofahrzeugen, desto höher der Strombedarf im Verkehrssektor. 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 5 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 Anlagen (Annahme: Onshore-Standorte, also an Land) aus, würden in diesem Szenario etwa 10.000 neue Windräder gebraucht. Noch nicht berücksichtigt ist dabei der Bedarf aus dem Straßengüterverkehr, wenn dieser ebenfalls „elektrifiziert“ wird.

Allerdings gibt es neben der Elektrifizierung der Pkw weitere Bausteine der Energiewende, die einen großen Einfluss auf den zukünftigen Strombedarf besitzen. So wird für den Güterverkehr ebenfalls mit einer Elektrifizierung gerechnet. Auch im Gebäudebereich wird sich der Verbrauch zum Beispiel durch den Einsatz von Wärmepumpen und der strombasierten Fernwärmebereitstellung erhöhen.

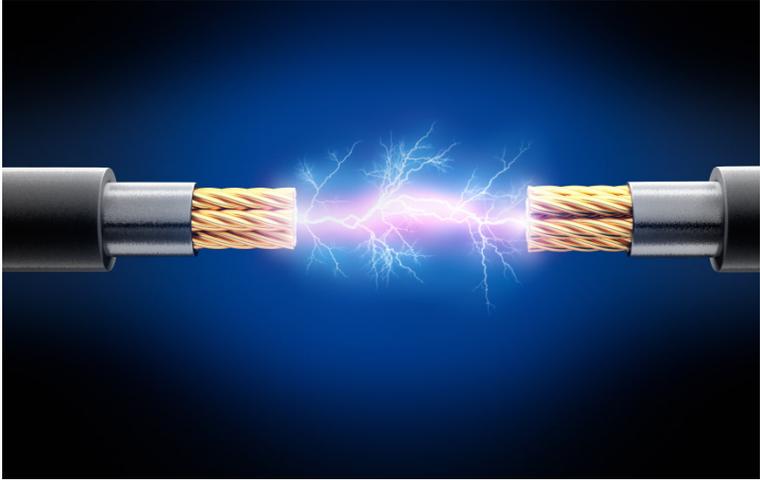


Im Industriesektor erhöht sich der Strombedarf durch eine Elektrifizierung der Bereitstellung von Prozesswärme, dem Einstieg in die strombasierte Dampfbereitstellung und eine steigende Produktion von Sekundärstahl. Zudem werden zukünftig neue Prozesse wie die Elektrolyse für die Wasserstoffproduktion und die als DACS (Direct Air Capture and Storage) bezeichnete Abscheidung von CO₂ aus der Luft zur geologischen Speicherung den Verbrauch erhöhen.

In einer aktuellen Studie für die Agora-Energiewende¹ wird gezeigt, dass trotz Energieeffizienzmaßnahmen an anderer Stelle die Stromnachfrage von heute rund 600 Terrawattstunden bis zum Jahr 2050 um rund 60 Prozent auf über 960 Terrawattstunden ansteigen kann.

Dies zeigt, dass die Umstellung auf Elektromobilität langfristig erhebliche Auswirkungen auf die Stromerzeugung in Deutschland haben wird, damit aber nicht alleine dasteht. Damit die Elektromobilität ihrem Klimaschutzanspruch gerecht wird, müssen die Anlagen zur Erzeugung von erneuerbarem Strom rechtzeitig entsprechend ausgebaut werden.

¹ <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland/>



5.2

Müssen wir bei einem massiven Ausbau der Ladeinfrastruktur mit einer Überlastung des Stromnetzes rechnen?

Mit der Verbreitung von Elektrofahrzeugen wird sich die Stromnachfrage in den Netzen erhöhen. Neue Stromverbraucher wie zum Beispiel elektrische Wärmepumpen und die zunehmende Einspeisung erneuerbarer Energien belasten die Netze zusätzlich. Welche Auswirkungen sind dadurch zu erwarten? Möglich ist, dass sich Leitungen örtlich begrenzt überhitzen, Spannungsabweichungen auftreten oder die Spitzenlast im gesamten System steigt.

Diese Effekte können lokal sehr unterschiedlich ausfallen. Während Teile des Stromnetzes der steigenden Nachfrage auch künftig gewachsen sein werden, können regional umfangreiche Ausbauten der Netze notwendig werden. Schafft sich beispielsweise in einem Vorort jeder fünfte Haushalt ein Elektroauto an, könnte die maximale Auslastung des lokalen Netzes um 50 Prozent steigen. Bei schwach

ausgelegten Netzen besteht die Gefahr, dass Leitungen und Transformatoren überlastet werden. Um solche negativen Folgen zu vermeiden, müssen seit März 2019 alle Ladeeinrichtungen wie Ladesäulen oder Wall-Boxen beim örtlichen Netzbetreiber angemeldet werden. Damit bekommen die Netzbetreiber die Möglichkeit, zielgerichtet auf die steigende Anzahl von Elektrofahrzeugen zu reagieren und bedarfsgerecht in den Ausbau der Verteilnetze zu investieren.

Üblicherweise ist die Stromnachfrage schon heute am frühen Abend am höchsten. Werden in dieser Zeit künftig immer mehr Elektroautos geladen, können sich die Lastspitzen weiter verstärken. Um die Netze zu entlasten und den Ausbaubedarf zu reduzieren, wird es mit zunehmender Zahl an Elektroautos immer wichtiger, den Ladevorgang intelligent zu steuern (siehe Frage 5.3). Lastspitzen können etwa durch eine zeitliche Staffelung der Ladung vermieden werden. Dafür müssen schon heute die technischen Voraussetzungen und regulatorischen Rahmenbedingungen geschaffen werden.

5.3

Können Stromversorger auf die Akkus der E-Fahrzeuge zugreifen, um sie als Speicher für Schwankungen bei den erneuerbaren Energien zu nutzen?

Je mehr Strom aus Wind- und Sonnenenergie gewonnen wird, desto größer ist die Herausforderung für die Netzstabilität. Denn regenerative Energien fallen nicht gleichmäßig an, sondern schwankend. Die Batteriespeicher der Elektrofahrzeuge könnten diese Fluktuation theoretisch dämpfen. Aber funktioniert das auch in der Praxis? Und kann der Ladestand sogar ohne Zustimmung des Nutzers über Nacht sinken, weil Stromversorger auf die Batterie zugreifen?

Technisch ist es möglich, Strom aus den Batterien von E-Fahrzeugen wieder ins Netz einzuspeisen. Diese Rückspeisung wird auch als bidirektionales Laden oder Vehicle-to-Grid bezeichnet. Mittelfristig könnte diese Technologie helfen, Schwankungen bei der Stromerzeugung auszugleichen. Solche Konzepte spielen jedoch bisher in der Praxis keine Rolle.



Sie setzen eine Zustimmung des Nutzers und neue Geschäftsmodelle voraus. Zudem gilt es zu klären, welche rechtlichen Konsequenzen das bidirektionale Laden hat und wie sich das häufige Be- und Entladen auf die Alterung von Batterien auswirkt.

Konkurrierende Ansätze zum Dämpfen der Erzeugungsschwankungen sind zum Beispiel stationäre Energiespeicher, die Zwischenspeicherung von Strom als Wärme (Power-to-Heat) oder in Form von Gas (Power-to-Gas). Verglichen mit der Alternative, überschüssigen Strom in Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoff umzuwandeln (siehe Fragen 4.3 und 4.5), ist die Zwischenspeicherung in Fahrzeugbatterien aber energieeffizienter.

Andere Konzepte setzen bei der Nachfrage an: Mit dem Ausbau der Elektromobilität wird es immer wichtiger, intelligente Ladestrategien zu entwickeln, um Lastspitzen zu glätten. Das kann beispielsweise durch eine zeitliche Staffelung von Ladevorgängen geschehen. Über die Anbindung an ein intelligentes Stromnetz (Smart Grid) wird die Fahrzeugbatterie vorzugsweise dann geladen, wenn viel erneuerbarer Strom günstig erzeugt wird. Eine solche Steuerung des Ladevorgangs wird in Pilotvorhaben bereits getestet und ist wohl auch mittelfristig das relevantere Thema als „Vehicle-to-Grid“. Anzumerken

ist auch, dass der geplante Netzausbau dem Auftreten von überschüssigen Strommengen künftig entgegenwirken wird.

Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass sich gesteuertes Laden vorteilhaft auf das Verteilnetz in Deutschland auswirkt. Die Investitionen, die durch die Strom-, die Wärme- und die Verkehrswende erforderlich sind, lassen sich so um bis zu 50 Prozent reduzieren.

5.4

Verbessert sich die Klimabilanz eines E-Fahrzeugs, wenn der Nutzer es mit Ökostrom lädt?

Ja, vorausgesetzt die Qualität stimmt. 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. Im Jahr 2019 wurden in Deutschland bereits 42,6 Prozent des Stromverbrauchs aus erneuerbaren Quellen erzeugt, zukünftig wird dieser Anteil weiter zunehmen. Heutige Elektrofahrzeuge haben gegenüber Pkw mit Verbrennungsmotor bereits einen deutlichen Klimavorteil (siehe Frage 1.1).

Nutzer von Elektrofahrzeugen können zusätzlich selbst zum Ausbau von erneuerbaren Energien beitragen. Den Ausbau können sie beispielsweise durch Investitionen in Solaranlagen auf dem Hausdach oder durch eine Beteiligung an Energiegenossenschaften anstoßen. Eine weitere Möglichkeit ist, das Fahrzeug mit Ökostrom zu 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. Mit dem Bezug dieser Produkte lassen sich die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu konventionellen Stromprodukten nicht verringern.

Wichtig ist, dass auch ein tatsächlicher Impuls für einen zusätzlichen Ausbau der erneuerbaren Energien entsteht. Im sogenannten freiwilligen Ökostrommarkt haben sich verschiedene Produktmodelle mit spezifischen Anforderungen entwickelt, welche sicherstellen sollen, dass tatsächlich ein Zusatzbeitrag bewirkt wird. Wer sichergehen will, kann sich an Labels wie „Grüner Strom Label“, „ok-power“, TÜV Nord „Geprüfter Ökostrom“ oder TÜV Süd „EE01“ orientieren.

Diese Labels garantieren ein Mindestmaß an ökologischer Qualität, indem sie beispielsweise das Kraftwerksalter begrenzen oder öffentlich geförderte Strommengen ausschließen. Leider gibt es daneben auch Labels, die wenig über die Qualität des Ökostroms aussagen.



6



Laden und Ladeinfrastruktur

- 6.1 Ist die übliche Stromversorgung im Haushalt ausreichend, um eine eigene Ladestation einzurichten?
- 6.2 Wo kann man sein E-Auto laden, wenn man keinen eigenen Stellplatz hat?
- 6.3 Wie lange dauert das Laden eines E-Fahrzeugs?
- 6.4 Gibt es Unterschiede in den Strompreisen, wenn man an öffentlichen Ladestationen lädt?
- 6.5 Was kann man tun, wenn die Batterie leer und keine funktionierende Ladesäule erreichbar ist?

6.1

Ist die übliche Stromversorgung im Haushalt ausreichend, um eine eigene Ladestation einzurichten?

Wer Wohneigentum und einen Stellplatz auf dem eigenen Grundstück besitzt, kann eine Ladestation meist problemlos einrichten. Lediglich in älteren Gebäuden reicht die häusliche Elektroinstallation in Einzelfällen nicht aus. 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. Dennoch sollten Fachleute vorab prüfen, ob die Anschlussleitungen darauf ausgelegt sind, diese Leistung über eine längere Zeit sicher zu übertragen.

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 allerdings durchschnittlich mehr als zehn Stunden still. Diese Ladezeit reicht aus, um die meisten gängigen elektrischen Fahrzeuge vollständig zu laden.



Im Frühjahr 2020 hat die Bundesregierung Gesetzesentwürfe beschlossen, die es Mietern und Eigentümern in Wohneigentümergesellschaften zukünftig erleichtern wird, Ladeinfrastruktur zu installieren. Die Änderungen im WEG (Wohnungseigentumsgesetz) und im BGB (Bürgerliches Gesetzbuch) treten voraussichtlich im Herbst 2020 in Kraft und geben einen Anspruch auf Lademöglichkeiten. Allerdings können auch in technischer Hinsicht Schwierigkeiten auftreten: Tiefgaragen haben zum Beispiel oft keine angemessene Stromversorgung, eine Nachrüstung kann an Brandschutzvorgaben scheitern oder zumindest die Kosten deutlich erhöhen. Für die Zukunft gilt allerdings: Bei Neubau und Grundsanierung von Wohngebäuden mit mehr als zehn Stellplätzen müssen künftig alle Stellplätze mit Schutzrohren für Elektrokabel ausgestattet werden, damit Ladepunkte bei Bedarf rasch errichtet werden können.

6.2

Wo kann man sein E-Auto laden, wenn man keinen eigenen Stellplatz hat?

Nach Einschätzung der Bundesregierung sollten 15 Prozent der Lademöglichkeiten öffentlich zugänglich sein, zum Beispiel auf Stellplätzen am Straßenrand oder auf privaten Flächen an Supermärkten oder Autohäusern. Zahlreiche Anbieter und Online-Communities geben inzwischen einen umfassenden Überblick über Anzahl, Leistung und Ausstattung der Stromtankstellen sowie über Preise, Abrechnungsmethoden, Zugang, Öffnungszeiten und Zahlungsmedien. Dazu zählen zum Beispiel die Plattformen Lemnet¹, Goingelectric² und Openchargemap³, der Routenplaner des ADAC für E-Fahrzeuge⁴, der E-Tankstellen Finder⁵ oder die App Mehr-Tanken⁶.

¹ <https://lemnet.org/de>

² <https://www.goingelectric.de/>

³ <https://openchargemap.org/site>

⁴ <https://maps.adac.de/Default.aspx?preset=true&id=148>

⁵ <https://e-tankstellen-finder.com/at/de/elektrotankstellen>

⁶ https://www.chip.de/downloads/Mehr-Tanken-Android-App_54731450.html

Ein Eintrag von Ladepunkten in das Verzeichnis der Bundesnetzagentur ist erst seit 2016 verpflichtend.

Der weitere Ausbau der Ladeinfrastruktur hängt entscheidend davon ab, inwieweit private Unternehmen dies jenseits von staatlichen Initiativen als Geschäftsfeld sehen. Hier sind jedoch mittlerweile viele Player aktiv, auch bei den sogenannten Schnellladern, die Batterien mit hoher Leistung in kurzer Zeit aufladen können. In diesem Bereich engagieren sich unter anderem der Autobauer Tesla sowie Ionity, ein Joint Venture deutscher Fahrzeughersteller. Neben Supermarktketten wie Aldi Süd, Lidl oder Kaufland stellen zunehmend auch Möbelgeschäfte und Baumärkte Parkplätze mit Normalladepunkten zur Verfügung. Die Telekom will ihre Verteilerkästen für die Ladung von E-Fahrzeugen zugänglich machen.

Die meisten E-Auto-Fahrer nutzen bisher überwiegend ihre private Lademöglichkeit. Sofern während der Standzeiten des Fahrzeugs verlässlich öffentliche Normalladepunkte zur Verfügung stehen, können diese eine Alternative darstellen. Dass Nutzer im Alltag vorwiegend auf Schnellladestationen zurückgreifen – ähnlich wie die heutige Nutzung von Tankstellen – ist dagegen bisher kaum zu beobachten. Schnellladen wird vorwiegend für Langstrecken genutzt, da die Stationen an zentralen, verkehrsgünstigen Punkten in Städten oder entlang von Autobahnen liegen. Der Strom ist dort in der Regel teurer als bei Stationen mit geringerer Ladeleistung. Studien deuten zudem darauf hin, dass sich die Batterielebensdauer reduziert, wenn zu häufig mit hohen Leistungen geladen wird.



Wie lange dauert das Laden eines E-Fahrzeugs?

Um abzuschätzen, wie lange es dauert, die Fahrzeugbatterie von 0 auf 100 Prozent zu laden, teilt man die nutzbare Batteriekapazität durch die Ladeleistung. Zu beachten ist nicht nur die maximale Abgabeleistung der Ladestation, sondern auch, ob diese fahrzeugseitig möglich ist. Die Möglichkeit zum Gleichstromladen ist oft eine Sonderausstattung mit Aufpreis.

Ein Beispiel: Der Renault Zoe, das im ersten Halbjahr 2020 in Europa am häufigsten verkaufte Elektrofahrzeug, besitzt eine Batteriekapazität von 41 bis 52 Kilowattstunden (kWh). Wird die Batterie der Version mit 41 kWh an einer Haushaltssteckdose mit 2,3 Kilowatt (kW) Wechselstrom geladen, beträgt die Ladezeit etwa 20 Stunden für 80 Prozent bzw. 25 Stunden für eine vollständige Ladung. Wallboxen für die Installation in der eigenen Garage können mit 3,7 bis 22 kW deutlich höhere Ladeleistungen als Haushaltssteckdosen ermöglichen. An einer 22 kW Wallbox benötigt der Renault Zoe auch zu Hause nur etwa eine Stunde und 40 Minuten für 80 Prozent Ladung. Eine Schnellladung derselben Batterie auf 80 Prozent¹ mit 43 kW Wechselstrom dauert dagegen nur etwa 65 Minuten. Immer mehr Fahrzeuge werden in Konfigurationen angeboten, die deutlich höheren Ladeleistungen wie z. B. 100 kW Gleichstrom (z. B. VW ID.3) und darüber zulassen. Und schon bald soll eine Leistung von 150 kW bei Schnellladern Standard werden.



Zu beachten ist jedoch, dass sich die abgegebene Ladeleistung besonders bei Gleichstrom bei Annäherung an 100 Prozent verlangsamt. Daher wird oft auch nur die Ladezeit für 80 Prozent angegeben. Ohnehin sollte in der Praxis nicht von 100 Prozent-Ladezyklen ausgegangen werden: Ladestände zwischen 20 und 80 Prozent sind vorteilhaft, um eine maximale Lebensdauer der Batterie zu erreichen.

¹ Schnellladestationen reduzieren ab 80 Prozent Ladung die Ladeleistung, um die Batterie zu schonen. Dasselbe geschieht bei besonders hohen oder niedrigen Temperaturen.

Und in der Praxis beträgt der Ladestand einer Batterie bei Ladebeginn i. d. R. nicht Null, denn dies würde bedeuten, dass bei der vorherigen Ladung die Restladung des Akkus gerade noch zur Ankunft an der Ladesäule gereicht hat. Relevanter ist daher die Frage, wieviel Ladezeit z. B. für eine Fahrleistung von 100 km erforderlich ist. Angenommen ein elektrisches Mittelklassefahrzeug verbraucht 15 kWh/100 km, dann dauert das Laden an einer Wallbox mit 3,7 kW etwa 4 Stunden. Durchschnittlich legen die Deutschen weniger als 20 Kilometer pro Strecke zurück - selbst bei niedrigster Ladeleistung ist also weniger als eine Stunde nötig, um diese Strommenge nachzuladen.

6.4

Gibt es Unterschiede in den Strompreisen, wenn man an öffentlichen Ladestationen lädt?

Aktuell beträgt der Anteil von Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeugen am Straßenverkehr in Deutschland weniger als ein Prozent. Der Markt für öffentliche Ladeinfrastruktur ist daher wenig entwickelt, wenn man ihn etwa mit dem etablierten Tankstellennetz vergleicht. Entsprechend variieren die Preise stark und es lohnt sich, vor einer längeren Fahrt, bei der die Batterie unterwegs geladen werden muss, die Tarife zu checken. Dabei helfen zum Beispiel Ladestationsverzeichnisse im Internet (siehe Frage 6.2).

Die Preismodelle sind vielfältig: Manche Fahrzeug- oder Einzelhändler bieten ihren Kunden kostenlose Lademöglichkeiten an. Stromanbieter verlangen für das Normalladen an ihren Ladesäulen meist ähnliche Preise wie für Haushaltsstrom. Teils kommen jährliche oder monatliche Grundgebühren hinzu oder es werden Startgebühren für jeden Ladevorgang erhoben. Im Durchschnitt liegt der Preis bei 29 bis 39 Cent pro Kilowattstunde für Laden mit Wechselstrom (AC), er kann jedoch auch 79 Cent pro Kilowattstunde betragen (Stand Mai



2020). Das Schnellladen ist meist um 10 bis 20 Cent pro Kilowattstunde teurer. Aber auch Zeittarife, bei denen pro Minute abgerechnet wird, können kostspielig werden. Hier empfiehlt es sich, den Preis vorab genau zu kalkulieren, v. a. bevor man das Fahrzeug über Nacht lädt. Üblich sind darüber hinaus nach Ladeleistung gestaffelte Pauschalpreise von etwa 5 bis 10 Euro pro Ladevorgang. Einige Anbieter erhöhen den Preis ab einer bestimmten Ladedauer, damit die Ladesäulen schnell wieder frei werden. Übersichten über aktuelle Angebote können beim ADAC¹ oder der Plattform Mobility House² eingeholt werden.

Für Betreiber gibt es viele Unsicherheiten, zum Beispiel im Hinblick auf Nutzerentwicklung oder rechtliche Rahmenbedingungen. Welche Modelle und Preise sich langfristig durchsetzen werden, ist daher ungewiss. Das betrifft auch die Standards für Zugangs- und Bezahlmedien: In der Vergangenheit waren für viele Stationen jeweils individuelle Ladekarten nötig. Wer deutschlandweit reiste, musste oft Dutzende von Karten mitführen. Durch gemeinsame Initiativen von Ladeinfrastruktur-Anbietern und Roaming-Apps wurde diese Situation vereinfacht. Zudem müssen neue Ladestationen auch das spontane Bezahlen ohne Zugangsmedium, zum Beispiel per Kreditkarte, zulassen.

¹ <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/elektroauto-ladesaeulen-strompreise/>

² https://www.mobilityhouse.com/de_de/ratgeber/elektroauto-oeffentlich-laden-welcher-ladetarif-ist-der-richtige-fuer-mich

6.5

Was kann man tun, wenn die Batterie leer und keine funktionierende Ladesäule erreichbar ist?

Längere Strecken mit dem E-Auto sollten gut geplant werden. Wenn unterwegs die Batterie nachgeladen werden muss, sollten Nutzer die Lage möglicher Ladestationen mit den jeweiligen Zugangs- und Bezahlmöglichkeiten recherchieren und prüfen, ob die Stationen rund um die Uhr zugänglich sind. Manche Plattformen zeigen auch in Echtzeit, ob ein Ladepunkt belegt ist.

Bleibt das Fahrzeug trotzdem wegen einer leeren oder kaputten Batterie liegen, muss es abgeschleppt werden. Laut ADAC ist das die häufigste Pannursache bei E-Autos. Solange die Fahrzeuggarantie nicht abgelaufen ist, sollte der Hersteller zuerst kontaktiert werden. Renault, Kia und Nissan bieten für solche Fälle einen Pannenservice an. BMW-Kunden können bei leerer Batterie sogar von einem „mobilen Recharger“ profitieren, der den Pkw direkt am Ort wieder auflädt. Der ADAC, der im Rahmen der üblichen Pannenhilfe agiert, hat einen ähnlichen Service als Pilotprojekt gestartet. Beim Abschleppen eines E-Autos ist zu beachten, dass die Antriebsachse angehoben werden muss, damit die Energierückgewinnung (Rekuperation) außer Kraft gesetzt wird. Bei Pannen oder Unfällen ist generell ein Blick in die Bedienungsanleitung ratsam, ein besonderes Sicherheitsrisiko besteht aber nicht. Zum Beispiel ist die Brandlast eines vollen Benzintanks eine größere Gefahr als das Batteriesystem. Abschleppdienste, Rettungskräfte und Insassen sollten sich aber einiger Verhaltensregeln bewusst sein und zum Beispiel den Antrieb bei einer Panne deaktivieren oder beim Bergen und Löschen die Hochvolttechnik außer Betrieb nehmen.



7



Reichweite

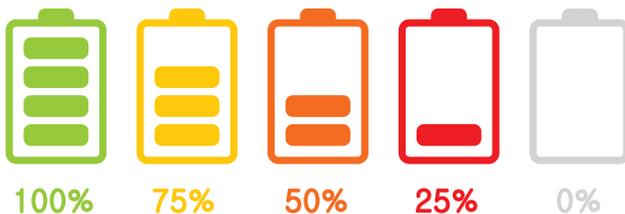
- 7.1 Ist die Reichweite eines E-Fahrzeugs alltagstauglich?
- 7.2 Wie weit kann die tatsächliche Reichweite eines E-Autos von den Herstellerangaben nach unten abweichen?
- 7.3 Wird sich die Reichweite der E-Fahrzeuge zukünftig noch erheblich steigern?

7.1

Ist die Reichweite eines E-Fahrzeugs alltagstauglich?

Fast alle E-Fahrzeuge, die heute auf den Markt kommen, haben laut aktuellem Messzyklus (WLTP) eine Reichweite von mehr als 200 km. Besonders Fahrzeuge der Mittel- und Oberklasse liegen mit WLTP-Reichweiten von 300 bis über 500 km auch deutlich darüber. Oft werden die Fahrzeuge mit unterschiedlichen Batteriegrößen angeboten, so dass Kunden ein den eigenen Anforderungen entsprechendes Fahrzeug wählen können. Die Nutzung von Nebenverbrauchern wie Heizung oder Klimaanlage, aber auch kalte Außentemperaturen und eine ungünstige Fahrweise können die Reichweite jedoch auf die Hälfte senken (siehe Frage 7.2). Allerdings legen über 90 Prozent der Privat-Pkw in Deutschland täglich weniger als 80 km zurück, sofern keine außergewöhnlichen Fahrten wie Urlaubsfahrten 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.

Auf längeren Fahrten wie Urlaubsreisen können E-Auto-Nutzer auf Schnellladestationen zurückgreifen (siehe Frage 6.4). Jedoch sind öffentliche Lademöglichkeiten noch nicht überall ausreichend vorhanden, verlässlich und zugänglich. Alternativ sollten Nutzer daher für längere Strecken auch auf den öffentlichen Verkehr, Leihwagen oder eine Kombination von verschiedenen Verkehrsmitteln (intermodale Angebote) zurückgreifen. Ein Umdenken hin zu einer flexiblen Nutzung von Mobilitätsbausteinen würde insgesamt dazu beitragen, den Verkehrssektor klimafreundlicher zu gestalten.



7.2

Wie weit kann die tatsächliche Reichweite eines E-Autos von den Herstellerangaben nach unten abweichen?

Die Reichweite von Elektrofahrzeugen kann in der Praxis erheblich von den Herstellerangaben bzw. den Berechnungen für den Normverbrauch abweichen. Stärker als beim Verbrenner hängt die Reichweite beim E-Auto von Bedingungen und Fahrverhalten ab: Mit welcher Geschwindigkeit wird eine Strecke zurückgelegt? Nutzt der Fahrer zusätzliche Stromverbraucher wie die Heizung? Ein Elektromotor erzeugt weniger Abwärme als ein Verbrenner, deshalb verbraucht die Heizung mehr Strom. Bei niedrigen Temperaturen ist die Batterie weniger leistungsfähig, was die Reichweite im Winter weiter einschränken kann.

Ein Beispiel: Das meistverkaufte E-Auto Renault ZOE wird aktuell u. a. mit einer nutzbaren Batteriekapazität von 52 kWh angeboten. Der Hersteller gibt für diese Variante die Reichweite Messzyklus von 395 km (kombiniert Stadt/über Land) an. Für den Praxisbetrieb gibt der ADAC auf Basis von Tests eine Reichweite von 335 km an, also rund 15 Prozent weniger. Je nach Nutzung kann die Reichweite in der Praxis aber auch bei 280 bis 300 km auf der Autobahn oder 400 km in der Stadt liegen.

Besonders bei niedrigen Temperaturen kann die Reichweite eines E-Fahrzeugs auch darunter liegen. Bei Temperaturen von 0°C kann ein besonders hoher Reichweitenverlust von bis zu 50 Prozent im städtischen Verkehr mit niedrigen durchschnittlichen Geschwindigkeiten auftreten, auf der Autobahn kann sich die Reichweite um rund 10 Prozent verringern. Abgemildert werden kann dieser Effekt, wenn das Fahrzeug im Winter in einer Garage abgestellt oder vorgeheizt wird. Manche Hersteller bieten Luft-Wärmepumpenheizungen an, die den Energiebedarf reduzieren. Hinzu kommt: Mit zunehmendem Alter verliert die Batterie an Kapazität, damit nimmt auch die Reichweite ab. In einem Dauertest eines Nissan Leaf sank die Reichweite nach sechs Jahren und 92.500 km Laufleistung um 11 Prozent.

Mit der technischen Weiterentwicklung dürfte der Effekt der Batteriealterung zurückgehen. Um den Reichweitenverlust so gering wie möglich zu halten, sollten Nutzer die Ladehinweise der Hersteller beachten und zum Beispiel nicht standardmäßig schnellladen.

7.3

Wird sich die Reichweite der E-Fahrzeuge zukünftig noch erheblich steigern?

Die Reichweite neuer Elektrofahrzeuge ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen, begünstigt insbesondere durch verbesserte und preisgünstigere Batterien. Bei Normverbrauch sind heute Distanzen von über 200 km pro Batterieladung Standard, viele Hersteller geben sogar Distanzen von über 400 km an. Auch wenn im Alltag vor allem kürzere Strecken zurückgelegt werden (siehe Frage 7.1), können größere Reichweiten neue Nutzer vom Kauf eines E-Autos überzeugen.

Experten gehen davon aus, dass der Trend anhält: Mit Fortschritten bei der Batterietechnologie, beispielsweise im Hinblick auf die Energiedichte, werden die Batteriekapazitäten weiter zunehmen. Gleichzeitig ist der Kostendruck hoch. Batterien sind der Haupttreiber für die – im Vergleich zum Verbrenner – höheren Anschaffungskosten beim E-Auto. Technische Verbesserungen könnten also statt für größere Batterien auch zur Kostensenkung bei gleichen Kapazitäten genutzt werden.

Anzunehmen ist auch, dass sich das Fahrzeugangebot weiter ausdifferenzieren wird. Schon heute können Käufer bei demselben Modell teilweise zwischen verschiedenen Batteriegrößen wählen und ihr Fahrzeug so optimal an ihren Bedarf anpassen (siehe Frage 7.1). Das ist nicht nur ökonomisch sinnvoll, sondern auch umweltverträglicher: Ein niedriges Fahrzeuggewicht senkt den Verbrauch und bei der Produktion von kleineren Batterien wird die Umwelt weniger belastet.

8



Kosten

- 8.1** Sind E-Autos immer teurer als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor?
- 8.2** Wie hoch ist der Wertverlust bei E-Autos, vor allem wegen der abnehmenden Batteriekapazität?
- 8.3** Sollte man mit dem Kauf eines E-Fahrzeugs warten, weil die Preise sinken werden?

Sind E-Autos immer teurer als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor?

Elektrofahrzeuge sind in der Anschaffung ohne Förderung noch teurer als vergleichbare 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-Hybridfahrzeugen profitieren zudem von der „Kaufprämie“ zur Förderung der Elektromobilität. Die Kaufprämie setzt sich zusammen aus einem Herstelleranteil und einem Bundesanteil. Im Rahmen des Konjunkturpakets wurde der Bundesanteil der „Kaufprämie“ bis zum Ende des Jahres 2021 erhöht. Die Kaufprämie ist sowohl an den Nettolistenpreis des Fahrzeuges als auch an den Antrieb gebunden. Plug-in-Hybride mit einem Nettolistenpreis von unter 40.000 Euro erhalten eine Kaufprämie von bis zu 6.750 Euro, die sich beim Überschreiten der 40.000 Euro Grenze auf 5.625 Euro reduziert. Reine E-Autos erhalten eine höhere Förderung von bis zu 9.000 Euro bzw. 7.500 Euro, falls der Nettolistenpreis über 40.000 Euro liegt. Überschreitet der Nettopreis 65.000 Euro, erhalten die Fahrzeuge keine Förderung mehr. Eine Übersicht zu allen förderfähigen E-Autos ist auf der Internetseite der BAFA zu finden.¹

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 aktuellen Kostenvergleich kommt der ADAC zu dem Ergebnis, dass die Gesamtkosten von Elektrofahrzeugen aufgrund der Förderung häufig auch bei Jahresfahrleistungen von 10.000 km niedriger als bei vergleichbaren Verbrennern ausfallen. Einzelne Modelle wie z. B. der Kia Soul rechnen sich auch bei hohen Jahresfahrleistungen von über 20.000 km noch nicht. Mit welchen Kosten zu rechnen ist, hängt immer von Modell und Nutzung ab.

¹ https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/emob_liste_foerderfaehige_fahrzeuge.html

8.2

Wie hoch ist der Wertverlust bei E-Autos, vor allem wegen der abnehmenden Batteriekapazität?

Die prozentualen Restwerte von E-Fahrzeugen lagen vor wenigen Jahren oft unter denen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Allerdings ist zu beobachten, dass vormals pessimistische Prognosen zunehmend nach oben korrigiert werden.

Die Schwacke GmbH zeichnet jährlich Fahrzeuge aus, die einen überdurchschnittlich geringen Wertverlust haben. Im Jahr 2018 schneiden E-Fahrzeuge erstmals auffällig gut ab. Die „wertstabilsten“ E-Fahrzeuge (Mini Cooper SE, Peugeot 208 Elektromotor 136 und Tesla Model S) lagen zuletzt mit einem Restwert von fast 57 bis 61 Prozent sogar über dem Marktdurchschnitt der Verbrenner.¹

Prognosen zum Wertverlust bei E-Autos sind schwierig: Der technische Fortschritt bei E-Fahrzeugen ist rasant, insbesondere Batteriekapazitäten und Reichweiten nehmen zu. Gleichzeitig sinken die Anschaffungskosten für Neufahrzeuge mit vergleichbarer Reichweite. Ältere Modelle verlieren dadurch an Attraktivität. Aber auch eine Veränderung in den Rahmenbedingungen wie z.B. die Höhe der staatlichen Förderung hat einen Einfluss auf den Restwert: Günstige Neufahrzeuge können den Preis von gebrauchten Elektrofahrzeugen drücken. Ob sich die positive Entwicklung der vergangenen Jahre also fortsetzt, ist ungewiss. Die Schwacke GmbH, die Elektrofahrzeuge zuletzt noch als besonders wertbeständig bezeichnet hat, geht aufgrund der erhöhten Kaufprämie (siehe Frage 8.1) bis 2021 von sinkenden Restwerten aus.

Ebenso wenig ist allerdings abzusehen, wie sich die Restwerte von Verbrennern entwickeln werden, insbesondere angesichts von Fahrverboten für Dieselfahrzeuge.

¹ <https://www.schwacke.de/neuigkeiten/auto-bild-und-schwacke-wertmeister-2020/>

Sollte man mit dem Kauf eines E-Fahrzeugs warten, weil die Preise sinken werden?

Wie sich die Preise für E-Fahrzeuge in den kommenden Jahren entwickeln werden, ist kaum vorherzusagen. E-Autos sind in der Anschaffung vor allem deshalb teuer, weil sie bisher nur in geringen Stückzahlen produziert werden und die Batterien weiterhin teuer sind. Die Motortechnik selbst ist vergleichsweise simpel und sogar günstiger als beim Verbrenner.

Die Kosten für Lithium-Ionen-Batterien sind in jüngster Vergangenheit zwar jährlich um etwa 10 bis 20 Prozent gesunken, weil es Fortschritte bei der Technologie gab und mehr Batterien hergestellt wurden. Ob dieser Trend anhält, bleibt jedoch abzuwarten. Die Preisbildung für die benötigten Rohstoffe auf dem Weltmarkt ist sehr komplex. Eine wachsende Nachfrage nach Batteriesystemen könnte temporär sogar zu steigenden Preisen führen. Kaum vorhersagbar ist auch, welche Preispolitik die Fahrzeughersteller verfolgen werden. Möglich wäre, dass sie Fortschritte in der Batterietechnologie eher dazu nutzen, die Reichweiten der Fahrzeuge zu erhöhen, als die Kaufpreise zu senken.

Dagegen ist es absehbar, dass es sich bei der im Rahmen des Konjunkturpaketes erhöhten Kaufprämie für Elektrofahrzeuge um eine befristete Maßnahme handelt. Mit Auslaufen dieser Prämie Ende 2025 könnten die Anschaffungskosten wieder ansteigen.

Die Entscheidung für ein E-Fahrzeug sollte eher davon abhängen, ob die angebotenen Fahrzeuge die eigenen Anforderungen erfüllen. Die Frage könnte auch am eigentlichen Problem vorbei zielen, denn momentan ist es eher problematisch, dass die Hersteller die Nachfrage nicht bedienen können. Zuletzt haben die Hersteller ihre Fahrzeugpalette deutlich ausgeweitet und bieten mittlerweile einen Großteil der gängigen Modelle zumindest als Plug-in-Hybrid an.

Europas größter Autohersteller VW hat beispielsweise indes angekündigt, in den nächsten drei Jahren Elektrofahrzeuge in jedem Kernsegment anzubieten.¹

Käufer sollten beim Kostenvergleich zudem immer die Einsparungen über die gesamte Nutzungsdauer mitberechnen. Vergleichsrechnungen zeigen, dass E-Fahrzeuge in vielen Fällen heute schon kostengünstiger sind als Verbrenner (siehe Frage 8.1).

Häufig wird in diesem Zusammenhang auch die Frage gestellt, ob es nicht ökologisch sinnvoller ist, einen „schmutzigen“ Verbrenner weiterzufahren als einen emissionsarmen Neuwagen zu kaufen. Für die Umwelt ist der Umstieg oft ein Gewinn: Bei vielen Umweltaspekten, zum Beispiel beim Ausstoß von Treibhausgasen und Luftschadstoffen, sind die negativen Auswirkungen während der Nutzung viel größer als bei der Produktion. Es ist also tatsächlich oft sinnvoll, ein zwar fahrtüchtiges Auto, das aber viele Schadstoffe ausstößt, nicht weiter zu nutzen – zumal es in Deutschland ein gut funktionierendes Recyclingsystem für Pkw gibt (vgl. Frage 3.3).



¹ https://www.volkswagen.de/de/e-mobilitaet-und-id/id_familie.html

Literaturverzeichnis

ADAC (2016): ADAC Autotest. Renault Zoe Z.E. Life.

ADAC (2018a): ADAC Autotest. VW e-Golf.

ADAC (2018b): Gelbe Engel haben 4 Millionen Mal geholfen. Online verfügbar: <https://www.adac.de/der-adac/verein/aktuelles/pannenhilfebilanz-2017/>; letzter Abruf am 12.08.2016.

ADAC (2018c): Kostenvergleich E-Fahrzeuge + Plug-In Hybride gegen Benziner und Diesel.

Autobild (2017): Das Reichweiten-Märchen. Online verfügbar: <http://www.autobild.de/artikel/acht-elektro-autos-im-reichweiten-check-13047587.html>; letzter Abruf am 19.06.2018.

Buchert et al. (2017): Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität (Agora Verkehrswende, Hrsg.). Online verfügbar: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/Nachhaltige_Rohstoffversorgung_Elektromobilitaet/Agora_Verkehrswende_Synthesepapier_WEB.pdf; letzter Abruf am 12.12.2017.

BuW – Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (2017): Abschlussbericht der Begleit- und Wirkungsforschung 2017. Schaufenster-Programm Elektromobilität (BuW – Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität, Hrsg.) (Ergebnispapier der Begleit- und Wirkungsforschung Nr. 30). Unter Mitarbeit von B. Harendt, D. Schumann & M. Wirth.

Doll et al. (2011): Integration von Elektrofahrzeugen in Carsharing-Flotten. Simulation anhand realer Fahrprofile. Karlsruhe: ISI.

ENTEKA (2018): Elektroauto auftanken, so oft Sie wollen. Online verfügbar: <https://www.enteka.de/ladekarte-elektroauto-flatrate/>; letzter Abruf am 12.06.2018.

FEV (2015): Battery Durability in Electrified Vehicle Applications: A Review of Degradation Mechanisms and Durability Testing. Final Report EP-C-12-014 WA 3-01 (Final Report EP-C-12-014 WA 3-01).

- Fischhaber et al. (2016):** Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen. Analyse von Nachnutzungsanwendungen, ökonomischen und ökologischen Potenzialen (BuW – Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität & Deutsches Dialog Institut, Hrsg.) (Ergebnispapier der Begleit- und Wirkungsforschung Nr. 18).
- Focus (2017, 14. November):** Eine Minute laden, 800 Kilometer Reichweite: Henrik Fisker verkündet Batterie-Revolution. Focus. Online verfügbar: https://www.focus.de/auto/elektroauto/feststoff-batterie-eine-minute-laden-800-kilometer-reichweite-fisker-verkuen-det-batterie-revolution_id_7845395.html; letzter Abruf am 19.06.2018.
- Fraunhofer-Gesellschaft (2017):** Forschung Kompakt: 1000 Kilometer Reichweite durch neues Batteriekonzept.
- Frenzel et al. (2015):** Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland. Nutzerprofile, Anschaffung, Fahrzeugnutzung. Köln: DLR.
- Gassmann (2017):** Renault hat kein Problem mehr mit der Reichweite, Welt. Online verfügbar: <https://www.welt.de/wirtschaft/article161098555/Renault-hat-kein-Problem-mehr-mit-der-Reichweite.html>; letzter Abruf am 15.06.2018.
- Hajek, S. (2017a, 15. November):** Lithium und Kobalt – Bremsen Rohstoff-Engpässe das Elektroauto aus? Wirtschaftswoche. Online verfügbar: <http://www.wiwo.de/technologie/auto/lithium-und-kobalt-bremsen-rohstoff-engpaesse-das-elektroauto-aus/20560144-all.html>; letzter Abruf am 19.06.2018.
- Hajek, S. (2017b, 29. August):** Hält das Stromnetz dem E-Auto-Boom stand? Reicht der Strom? Wirtschaftswoche. Online verfügbar: <https://www.wiwo.de/technologie/mobilitaet/elektromobilitaet-reicht-der-strom/20231296-2.html>; letzter Abruf am 11.06.2018.
- Heidt et al. (2013):** On the road to sustainable energy supply in road transport – potentials of CNG and LPG as transportation fuels. Short study in the context of the scientific supervision, support and guidance of the BMVBS in the sectors Transport and Mobility with a specific focus on fuels and propulsion technologies, as well as energy and climate. Heidelberg, Berlin, Munich, Leipzig: DLR; IFEU; LBST; DBFZ.

- Helms et al. (2016):** Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen (UBA - Umweltbundesamt, Hrsg.). Dessau-Roßlau.
- ICCT - International Council on Clean Transportation (2018):** Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Lifecycle Greenhouse Gas Emissions. ICCT Briefing. Unter Mitarbeit von D. Hall & N. Lutsey.
- IPCC (2014):** Climate Change 2014. Synthesis Report (Core Writing Team, R.K. Pauchari and L.A. Meyer, Hrsg.). Geneva, Switzerland. Online verfügbar: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf; letzter Abruf am 26.07.2016.
- Kölling, M. (2017, 29. Oktober):** Dreikampf der Elektro-Pioniere. Honda baut Elektroautos, Toyota setzt auf den Feststoff-Akku. Handelsblatt. Online verfügbar: <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/auto-von-morgen/toyota-honda-nissan-honda-baut-elektroautos-toyota-setzt-auf-den-feststoff-akku/20517924-2.html?ticket=ST-2203652-R0iVcdr0eadQCr7p9C2E-ap4>; letzter Abruf am 19.06.2018.
- Krybus et al. (2018):** Verteilnetzstudie Hessen 2024 - 2034. Frankfurt/Main, Kassel: BearingPoint GmbH; IEE.
- Minnich et al. (2017):** ePowered Fleets Hamburg - Elektromobilität in Flotten. Abschlussbericht der Begleitforschung - Ergebnisse und Handlungsempfehlungen. Berlin: Öko-Institut e.V.
- NPE - Nationale Plattform Elektromobilität (2015):** Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland. Statusbericht und Handlungsempfehlungen 2015.
- Öko-Institut e.V. (o.J.):** Wieso schwankt die Reichweitenanzeige in einem Elektroauto? Online verfügbar: <https://elektromobilitaethamburg.de/wieso-schwankt-die-reichweitenanzeige-in-einem-elektroauto/>; letzter Abruf am 19.06.2018.
- Perner et al. (2018):** Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe (Agora Energiewende & Agora Verkehrswende, Hrsg.). Frontier Economics.
- Proffe et al. (2012):** Cost analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles including Maintenance & Repair Costs and Resale Values. Los Angeles: DLR; Argonne National Laboratory.

Romare & Dahllöf (2017): The life cycle energy consumption and greenhouse gas emissions from lithium-ion batteries. A study with focus on current technology and batteries for light-duty vehicles. IVL.

Schierhorn & Martensen (2015): Überblick zur Bedeutung der Elektromobilität zur Integration von EE-Strom auf Verteilnetzebene. Werk-auftrag im Projekt „Analyse- und Dialogvorhaben zur Sicherstellung des Klimavorteils der Elektromobilität“ des BMUB. Darmstadt: Energynautics GmbH.

Timpe et al. (2017): Handlungsbedarf und -optionen zur Sicherstellung des Klimavorteils der Elektromobilität. Endbericht zum „Wissenschaftlichen Analyse- und Dialogvorhaben zur Sicherstellung des Klimavorteils der Elektromobilität“ (Vergabenummer 16EM2111) im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Freiburg, Berlin: Öko-Institut e.V.

Volkswagen (o.J.a): Denken Sie umweltbewusst und Sie kommen weiter. VW e-Golf. Online verfügbar: <https://www.volkswagen.de/de/models/e-golf.html>; letzter Abruf am 19.06.2018.

Volkswagen (o.J.b): Die e-Volution des Autos geht weiter. Der e-Golf. Online verfügbar: <https://www.volkswagen.de/de/models/e-golf.html>; letzter Abruf am 19.06.2018.

Geschäftsstelle Elektromobilität



Die Geschäftsstelle Elektromobilität berät und unterstützt das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung bei der strategischen Ausrichtung und organisatorischen Umsetzung von Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität in Hessen unter der Dachmarke „Strom bewegt“:

- eLotse: Ausbildungsseminare für Kommunen
- eCoach: Beratung über den Einsatz von Elektrobussen im ÖPNV und Nutzfahrzeugen in Kommunen
- Seminare für Kommunen und Unternehmen
- Kongresse, Messebeteiligungen, Veranstaltungen
- Modell- und Pilotprojekte
- Landes- und bundesweite Vernetzung

Kontakt:

LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH
Geschäftsstelle Elektromobilität
Mainzer Straße 118
65189 Wiesbaden



Ansprechpartner:

Ulrich Erven, Telefon 0611 95017-8612
Dr. Tina Knispel-Bings, Telefon 0611 95017-8651
Jürgen Schilling, Telefon 0611 95017-8362

info@strom-bewegt.de

www.lea-hessen.de

www.strom-bewegt.de

Impressum

Autoren Lukas Minnich, Moritz Mottschall, Peter Dolega, Dr. Matthias Buchert
Öko-Institut e. V., www.oeko.de

Redaktion Jürgen Schilling, LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH

Herausgeber LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH
Geschäftsstelle Elektromobilität
Mainzer Straße 118, 65189 Wiesbaden
Telefon 0611 95017-80
www.lea-hessen.de
www.strom-bewegt.de

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers übereinstimmen.

© Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (HMWEVL)
Kaiser-Friedrich-Ring 75, 65185 Wiesbaden
www.wirtschaft.hessen.de

Gestaltung Theißen-Design, www.theissen-design.de

Druck XXXXXXXXXXXX | Klimaneutraler Druck

Gedruckt auf Circle Silk Premium White, hergestellt aus **100 % Altpapier**, **FSC®-zertifiziert**, ausgezeichnet mit den Umweltzeichen **Euroblume**.

Bildnachweis Titelbild: Mathilda Bings; Umschlag Innen vorn: Tim Erven

Weitere Abbildungen stock.adobe.com:

Marco2811 (S.1 + Inhalt); Jenny Sturm (S.2); xiaoliangge (S.5); telesniuk (S.5 + Inhalt); endstern (S.8); alexander sievert (S.10); mpix-foto (S.12); upixa (S.13); malp (S.15 + Inhalt); Matyas Rehak (S.17); Deymos.HR (S.21 + Inhalt); kiri (S.23); Sergii Chernov (S.25); AA+W (S.26); H_Ko (S.28); sergbob (S.29 + Inhalt); Tarnero (S.31); shootingankauf (S.36); Wellnhofer Designs (S.37 + Inhalt); RioPatuca Images (S.38); RS-Studios (S.40); Denys Prykhodov (S.41); zinkevych (S.43); fotohansel (S.45 + Inhalt); mc_noppadol (S.46); v.poth (S.49 + Inhalt); adrian_ilie825 (S.53)

Grafik Seite 34: BMS Group (farbig modifiziert)

Vervielfältigung und Nachdruck – auch auszugsweise – nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung.

Januar 2021, 2. Auflage

Eventuelle Änderungen oder Ergänzungen werden auf unserer Website www.strom-bewegt.de veröffentlicht.

Ausschluss Wahlwerbung

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der LEA Landes-EnergieAgentur Hessen GmbH herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlkampfveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Die genannten Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl die Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist. Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Verzicht auf Geschlechterdifferenzierung

Aus Gründen der leichten Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung von Funktions- bzw. personenbezogenen Bezeichnungen, wie zum Beispiel Teilnehmer/Innen, verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

HESSEN



Hessisches Ministerium für
Wirtschaft, Energie, Verkehr
und Landesentwicklung

Fragen zur Elektromobilität

Umwelt - Energie - Anwendung

