



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



Wie umweltfreundlich sind Elektroautos?

Eine ganzheitliche Bilanz

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)
Referat IG I 5 · 11055 Berlin
E-Mail: IGI5@bmu.bund.de · Internet: www.bmu.de

Redaktion

BMU, Referat IG I 5 - Umwelt und Verkehr, Elektromobilität

Gestaltung

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin

4. aktualisierte Auflage

Stand: Oktober 2019

Download dieser Publikation

Internet: www.bmu.de/publikationen

Hinweis

Diese Publikation wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

Mehr Informationen unter: www.bmu.de/publikationen

Inhalt

Einstieg	4
Sind Elektrofahrzeuge umweltfreundlicher als Verbrenner?	4
Klimafreundlichkeit	6
Wie viel Treibhausgase verursachen Elektroautos?	6
Lautstärke	8
Sind Elektroautos leiser als normale Autos?	8
Gesundheit	10
Welche weiteren Umweltwirkungen hat Elektromobilität?	10
Ressourcen	14
Welchen Ressourcenbedarf haben Elektroautos?	14
Gibt es zum Elektroauto Alternativen?	16
Fazit	18



Einstieg

Sind Elektrofahrzeuge umweltfreundlicher als Verbrenner?

Elektroautos können negative Umweltfolgen des Autoverkehrs vermindern – insbesondere den Kohlendioxid (CO₂)-Ausstoß. Neben den Klimagasemissionen sind auch die Luftschadstoffe des Straßenverkehrs problematisch, vor allem Feinstaub und Stickoxide. Durch die aktuelle Debatte um den Dieselantrieb erfahren letztere hohe Aufmerksamkeit. Viele fragen sich: Welches Fahrzeug ist eigentlich wirklich umweltfreundlich?

Wie stellt sich die Umweltbilanz eines Elektroautos dar, wenn man nicht nur „am Auspuff“ misst, sondern auch die Strombereitstellung und die Herstellung des Autos inklusive Antriebsbatterie und Elektromotor berücksichtigt? Wie sieht die Bewertung aus, wenn nicht auf Herstellerangaben und Prospekte zurückgegriffen wird, sondern auf Daten, die im Alltagsbetrieb ermittelt werden?

Eine solche umfassende Untersuchung kann mittels Umweltbilanzen erstellt werden. Hierbei gelten nicht die Angaben des Herstellers oder aus den Fahrzeugpapieren, sondern es werden realistische Verbrauchswerte herangezogen. Wie sieht die echte Reichweite eines Elektroautos aus? Wie viel Strom geht beim Laden verloren? Welche Mengen an Schadstoffen kommen beim Verbrennungsmotor wirklich aus dem Auspuff? Die Antworten darauf bietet eine Umweltbilanz.

Bei den nachfolgend beschriebenen Umweltwirkungen werden moderne Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor der Kompaktklasse mit einem aktuellen Elektroauto verglichen. Genaue Angaben zu zugrundeliegenden Daten und Annahmen sowie weitere Informationen zur Elektromobilität sind zu finden unter www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/.

Eine Umweltbilanz ist die Zusammenfassung aller Umweltauswirkungen, hier bezogen auf das Elektroauto. Dabei fließt der gesamte Lebensweg des Fahrzeuges ein: die Herstellung aller Bauteile, der Betrieb und die dafür benötigte Energie, der Wartungsaufwand und schließlich die Entsorgung. In all diesen Lebensphasen wird auch berücksichtigt, welche Umweltwirkungen die Rohstoffe und Energieträger bei ihrer Gewinnung und Verarbeitung verursachen.



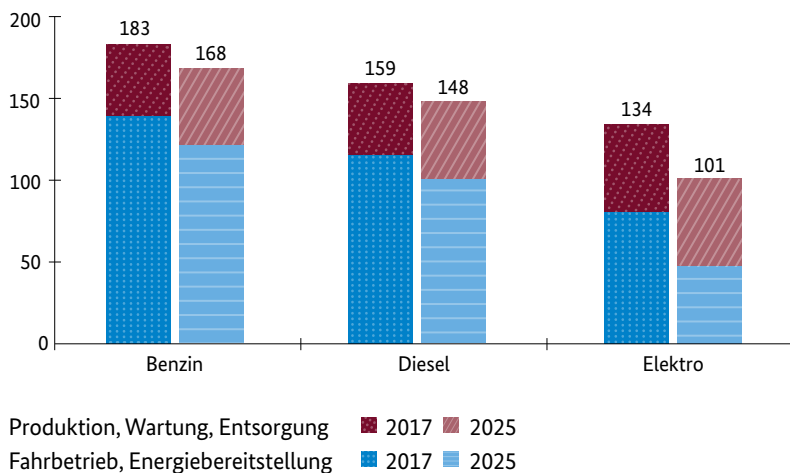
Klimafreundlichkeit

Wie viel Treibhausgase verursachen Elektroautos?

Auf der Straße verursacht ein Elektroauto kein CO₂ oder andere Treibhausgasemissionen. Für den Klimawandel ist aber nicht relevant, wo die Emissionen entstehen, sondern wie groß diese insgesamt sind. Daher ist es für die Bewertung der Klimaverträglichkeit von Elektrofahrzeugen unerlässlich, die Strombereitstellung – also den Ausstoß der Kraftwerke – und andere Emissionsquellen einzubeziehen. Das gilt auch für die Fahrzeugherstellung und bei Autos mit Verbrennungsmotor für die Kraftstoffbereitstellung vom Bohrloch bis zur Tankstelle. Abbildung 1 zeigt die Gesamtheit der Klimawirkungen der verschiedenen Auto-Typen im Vergleich. Man sieht: Elektroautos sind im Vorteil.

Der Ausbau erneuerbarer Energien im Strombereich wird den Vorsprung des Elektrofahrzeuges im Jahr 2025 weiter vergrößern, obwohl die Vergleichsfahrzeuge ebenfalls effizienter werden. Mit jedem Jahr, das die Energiewende voranschreitet, wird auch elektrisches Fahren klimafreundlicher. Das Potenzial nachhaltiger Biokraftstoffe für Benziner und Diesel scheint dagegen begrenzt.

Abbildung 1: CO₂-Emissionen in Gramm pro Fahrzeug-Kilometer über den gesamten Lebenszyklus am Beispiel eines Pkw der Kompaktklasse



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten des Umweltbundesamtes

Die Bilanz fossiler Kraftstoffe könnte sich künftig sogar verschlechtern, etwa bei einer verstärkten Förderung aus Teersanden oder mittels Fracking.



Ein heute gekauftes, für den breiten Markt typisches Elektroauto schneidet im Vergleich mit verbrennungsmotorischen Fahrzeugen unter Klimagesichtspunkten besser ab – auch beim aktuellen deutschen Strom-Mix. Im Vergleich mit einem besonders sparsamen Dieselfahrzeug liegt der CO₂-Vorteil eines Elektroautos bei 16 Prozent, gegenüber einem modernen Benziner bei 27 Prozent. Die Tankfüllung der Elektroautos, die bereits auf der Straße unterwegs sind, macht darüber hinaus „die Energiewende mit“, die eines normalen Autos eher nicht. Berechnungen des Umweltbundesamtes zeigen: Ein Elektrofahrzeug, das 2025 neu zugelassen wird, wird über seinen Lebensweg 32 Prozent weniger CO₂-Emissionen als ein moderner Diesel verursachen. Verglichen mit einem Benzinauto sind es sogar 40 Prozent.



Lautstärke

Sind Elektroautos leiser als normale Autos?

Viele Menschen in Deutschland sind von Verkehrslärm betroffen. Elektromotoren arbeiten weitaus leiser als Verbrennungsmotoren. Allerdings entsteht beim Autoverkehr der meiste Lärm nicht durch den Motor, sondern beim Zusammenspiel aus Reifen und Fahrbahn oder – bei hohen Geschwindigkeiten – durch aerodynamische Geräusche. Bei diesen ergeben sich keine Unterschiede zwischen einem Elektroauto oder einem konventionellem Fahrzeug.

Erst ab ungefähr 25 Kilometer pro Stunde sind beim Autofahren die Rollgeräusche entscheidend. Unterhalb dieser Geschwindigkeit sind die Motorgeräusche die bestimmende Lärmquelle. Daher sind Elektroautos in Bereichen geringer Geschwindigkeit wie in Wohngebieten oder beim Anfahren an Kreuzungen und Ampeln leiser.

Größere Vorteile ergeben sich bei Nutzfahrzeugen wie Bussen, Räum- oder Müllfahrzeugen. Hier sind elektrische Fahrzeuge im gesamten Geschwindigkeitsspektrum des Stadtverkehrs deutlich leiser. Dies gilt ebenfalls für Mopeds und Motorräder. Bei motorisierten Zweirädern sind der Verbrennungsmotor und die damit verbundenen weiteren Bauteile in der Regel so laut, dass elektrische Varianten in allen Geschwindigkeitsbereichen vorteilhaft sind.



Im Pkw-Bereich haben Elektroautos bei geringen Geschwindigkeiten ein begrenztes Lärminderungspotenzial. Fahrzeugklassen, bei denen elektrische Antriebe eine deutliche Lärmentlastung bringen können, sind vor allem Motorräder und Mopeds sowie Nutzfahrzeuge, die hauptsächlich innerorts bewegt werden und sehr häufig anfahren und wieder abbremsen.

AVAS-Pflicht für Elektroautos

Die Europäische Union (EU) schreibt für neue Fahrzeuge ab dem Jahr 2019 ein akustisches Fahrzeug-Warnsystem (AVAS – Acoustic Vehicle Alerting System) vor. Elektroautos müssen dann Töne abstrahlen, um auf sich aufmerksam zu machen und damit vor allem gefährdete Verkehrsteilnehmer wie Blinde und Sehbehinderte zu warnen. Das Geräusch muss laut EU-Vorschrift leicht erkennbar auf das Verhalten eines Fahrzeugs hinweisen und könnte dem Geräusch eines Fahrzeugs derselben Klasse ähneln, das mit einem Verbrennungsmotor ausgestattet ist. Ebenso muss der Klang die Fahrzeugaktionen wie Anfahren, Stoppen und Beschleunigen kommunizieren.

Die durch AVAS entstehenden Töne werden deutlich angenehmer sein als ein normales Motorengeräusch. Voraussichtlich werden Elektroautos später mittels Sensorik nur noch einen Ton erzeugen, wenn tatsächlich eine Gefahr besteht und Fußgänger oder Radfahrer gewarnt werden müssen.

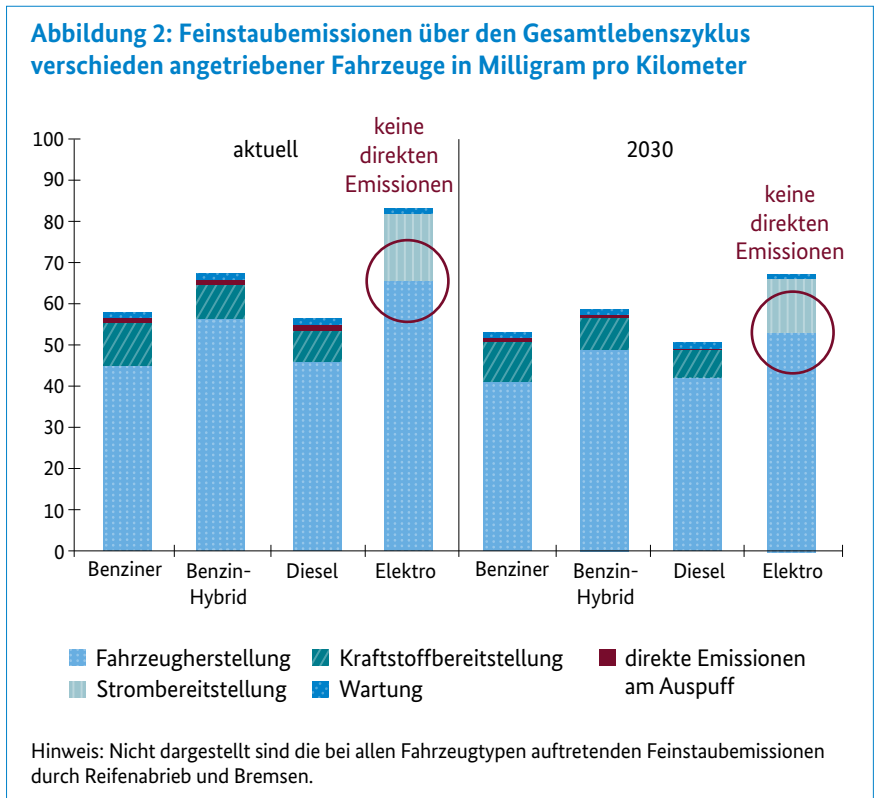


Gesundheit

Welche weiteren Umweltwirkungen hat Elektromobilität?

Bekannte umwelt- und gesundheitsgefährdende Schadstoffe sind Stickoxide und Feinstaub. Wie gesundheitsschädlich solche Stoffe sind, hängt auch vom Ort der Freisetzung ab. So verzeichnen gerade die Messstationen für Luftqualität an viel befahrenen Straßen zum Teil deutliche Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte für verschiedene Schadstoffe. Denn in diesen Bereichen tritt der lokale Ausstoß aus dem Straßenverkehr zusätzlich zur Hintergrundbelastung aus Industrie- und Kraftwerksabgasen oder von Heizungen und Kaminen auf. Vor allem Anwohner, Fußgänger und Radfahrer haben darunter zu leiden. Aber auch wer im Auto sitzt, ist durch die Außenluftzufuhr von der schlechten Umgebungsluft betroffen.

Rein batterie-elektrische Fahrzeuge haben keinen Auspuff. Sie fahren lokal abgasfrei. Autos mit Verbrennungsmotoren dagegen stoßen zusätzlich antriebsbedingte Luftschadstoffe aus, abgesehen von Emissionen durch Reifen- und Bremsabrieb, den alle Fahrzeuge verursachen. Dies betrifft zum Beispiel Stickoxi-

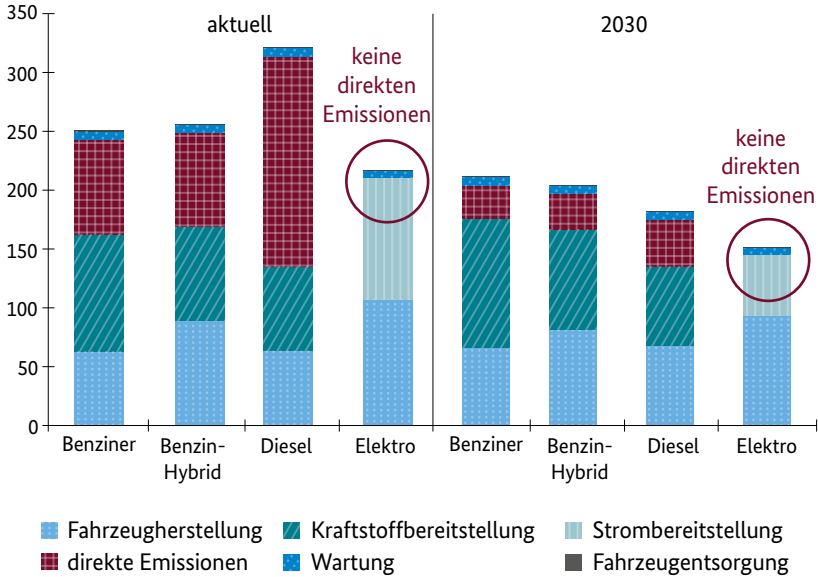


Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten des Umweltbundesamtes

de und Feinstaub – und aktuell insbesondere Dieselaautos meist deutlich mehr als Benziner. Dort, wo diese Abgase wesentlich für gesundheitsschädliche Belastungen der Luft verantwortlich sind, sind Elektroautos also ein großer Gewinn. Sie tragen dazu bei, die Luftqualität zu verbessern.

Welches Bild ergibt sich nun, wenn man zusätzlich die Schadstoffemissionen berücksichtigt, die nicht direkt am Fahrzeug entstehen? Und woher kommen diese überhaupt? Zum einen entstehen Luftschadstoffe bei der Herstellung des Fahrstromanteils, der auf fossile Energieträger zurückzuführen ist. Entgegen der allgemeinen Vermutung entstehen dabei allerdings keine besonders hohen Feinstaub- oder Stickoxidemissionen. Denn Kohlekraftwerke verfügen mittler-

Abbildung 3: Stickoxidemissionen über den Gesamtlebenszyklus verschieden angetriebener Fahrzeuge in Milligramm pro Kilometer



Direkte Emissionen für das Jahr 2030 nach HBEFA 4.1; September 2019

Hinweis: Nicht dargestellt sind die bei allen Fahrzeugtypen auftretenden Feinstaubemissionen durch Reifenabrieb und Bremsen.

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten des Umweltbundesamtes

weile über moderne Abgasreinigungstechnik. Bezogen auf die in Elektroautos verbrauchten Kilowattstunden Strom hält sich der Anteil der ausgestoßenen Luftschadstoffe an der Gesamtbilanz daher in Grenzen.

Einen wesentlichen Beitrag zur Luftverschmutzung leistet allerdings die Fahrzeugherstellung, die die zweite und weitaus bedeutendere Emissionsquelle darstellt – sowohl beim Elektro- als auch beim Verbrennerauto. So wird insbesondere bei der Stahlherstellung viel Feinstaub verursacht. Die Gesamtemissio-

nen bei Luftschadstoffen sind bei allen Fahrzeugarten durchaus erheblich, wie die Abbildungen 2 und 3 zeigen. Aufgrund des meist weit abgelegenen Ortes der Emissionsquelle der direkten Emissionen sind sie für den Großteil der Bevölkerung jedoch weniger gesundheitsrelevant.



Während bei den klimarelevanten Emissionen bereits heute ein deutlicher Vorteil des Elektroautos zu sehen ist, ergibt sich bei Feinstaub und Stickoxiden ein differenzierteres Bild¹. Auf den Lebenszyklus bezogen entstehen sowohl bei Elektrofahrzeugen als auch bei konventionellen Autos Schadstoffemissionen. Vor allem durch den höheren Herstellungsaufwand ist der Feinstaubwert beim Elektroauto höher. Bei Stickoxiden schneiden diese hingegen besser ab, insbesondere im Vergleich zum Diesel. Betrachtet man nur die direkten Emissionen am Auspuff, die vor allem in Gebieten mit hoher Verkehrsbelastung gesundheitsschädlich sein können, sind Elektroautos in beiden Schadstoffkategorien im Vorteil.

1 Für Erdgasfahrzeuge liegen aus Mangel an verfügbaren Messungen bisher lediglich grobe Abschätzungen der direkten Emissionen vor. Es wird angenommen, dass die Feinstaub- und Stickoxidemissionen in der Größenordnung von Benzinern liegen. Benzin-elektrische Hybride sind ähnlich zu beurteilen.



Ressourcen

Welchen Ressourcenbedarf haben Elektroautos?

Neben der Analyse des Ausstoßes umwelt- und gesundheitswirksamer Stoffe und Geräusche wird in einer umfassenden Umweltbilanz häufig zusätzlich die Inanspruchnahme von nur begrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen untersucht. Zwei häufig verwendete Maße einer solchen Ressourcenbewertung sind der kumulierte Energieaufwand und der kumulierte Rohstoffaufwand.

Wie stellt sich in unserer Bilanz die Situation bei diesen Werten dar? Beim kumulierten Energieaufwand schneiden Elektroautos besser ab als verbrennungsmotorische Fahrzeuge. Das liegt vor allem daran, dass sie aufgrund des hocheffizienten Elektromotors viel weniger Energie zum Fahren benötigen. Dies gleicht den höheren Energieaufwand bei der Fahrzeugherstellung mehr als aus. Wenn der Anteil der erneuerbaren Energien weiter steigt, nimmt auch dieser Vorteil weiter zu.

Beim kumulierten Rohstoffaufwand schneiden Elektrofahrzeuge hingegen heute schlechter ab als verbrennungsmotorische Fahrzeuge. Für die Herstellung der Fahrzeugkomponenten werden mehr Rohstoffe gebraucht. Produktionsfortschritte, eine höhere Materialeffizienz, mehr erneuerbare Energien und auch Recycling können dazu beitragen, die Rohstoffbedarfe zu senken. Bei den Antriebsbatterien ist ein solcher Trend bereits zu beobachten. In welchem Maße sich dies fortsetzt, muss weiter beobachtet und begleitet werden. Deswegen hat das Bundesumweltministerium die Entwicklung von Recyclingverfahren für neue Komponenten gefördert und es gelten schon jetzt Wiederverwertungsvorgaben für Batterien und Fahrzeuge. Außerdem kann die Industrie dazu beitragen, Rohstofflieferketten nachhaltiger zu gestalten. Dies erfolgt bereits unter den Stichworten Responsible Mining und Due Diligence.



Aufgrund der hohen Effizienz liegen Elektrofahrzeuge bezogen auf den Gesamtenergiebedarf über den Lebensweg vorn. Hinsichtlich des gesamten Rohstoffaufwandes haben Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor einen Vorteil. Hier besteht noch Verbesserungspotential, insbesondere im Bereich der Energiespeicher. Die Weiterentwicklung von Produktion, Materialeffizienz und Speichertechnologie wird die Bilanz aller Voraussicht nach deutlich verbessern.

Gibt es zum Elektroauto Alternativen?

Wenn es um Lösungsmöglichkeiten für einen klimafreundlichen Straßenverkehr geht, werden nicht nur Elektrofahrzeuge diskutiert. Brennstoffzellenfahrzeuge, meist auf Basis von Wasserstoff, fahren auch elektrisch und somit ebenfalls lokal abgasfrei. Und synthetische Kraftstoffe auf Basis von Strom aus erneuerbaren Energien, häufig e-fuels oder Power-to-Liquid/Power-to-Gas genannt, könnten künftig Benzin und Diesel CO₂-neutral werden lassen. Um deren Potenzial zum Klimaschutz beurteilen zu können, müssen mehrere wichtige Fragen beantwortet werden.

Wieviel Energie wird für Mobilität mit solchen Technologien benötigt?

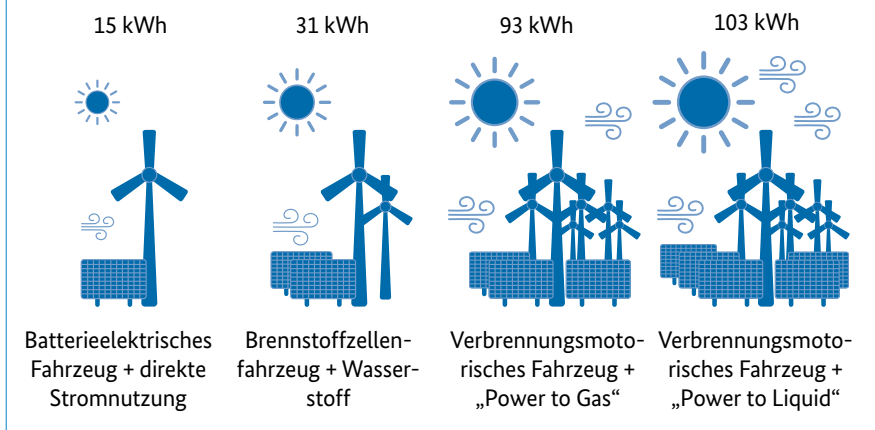
Vor allem e-fuels haben einen systembedingten Nachteil: Sie benötigen im Fahrzeug einen Verbrennungsmotor und dieser ist im Vergleich zum Elektromotor um ein Mehrfaches weniger effizient. Zudem verbraucht die Erzeugung von e-fuels viel Energie. Denn bis aus Strom, Wasser und CO₂ flüssiger oder gasförmiger Kraftstoff wird, sind mehrere Umwandlungsschritte nötig. Die bringen jeweils erhebliche Energieverluste mit sich. Dies gilt teilweise auch für Wasserstoff- und Brennstoffzellenfahrzeuge. Zwar ist der bloße Antrieb so effizient wie beim Elektroauto, aber die Erzeugung des Wasserstoffs und die anschließende Wiederverstromung in der Brennstoffzelle sind ebenfalls mit Verlusten verbunden.

Letztlich benötigen alle Varianten mehr erneuerbare Energie als ein Elektrofahrzeug, um einen Kilometer Mobilität zu ermöglichen, wie Abbildung 4 zeigt.

Ist diese Energie erneuerbar und damit klimaneutral?

Wasserstoff und e-fuels benötigen mehr Energie als ein Elektroauto. Der Strom-Mix ist inzwischen so sauber, dass Elektroautos positiv abschneiden. Aber die Anteile aus Steinkohle-, Braunkohle- und Erdgaskraftwerken wird es noch über längere Zeit geben. Werden e-fuels aus diesem Strom-Mix hergestellt, potenziert sich diese Last. Dies führt dazu, dass Autos auf Basis solcher Kraftstoffe nicht nur schlechter abschneiden als Elektroautos, sondern sogar deutlich klimaschädlicher als Benzin und Diesel sind.

Abbildung 4: Strombedarf aus erneuerbaren Energien in Kilowattstunden (kWh) für verschiedene Antriebs- und Kraftstoffkombinationen pro 100 Kilometer



Quelle: Agora Verkehrswende, auf Basis der im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums erstellten MKS-Kurzstudie „Erneuerbare Energien im Verkehr“

Und wenn diese Kraftstoffe ausschließlich aus erneuerbarem Strom hergestellt werden?

Dann wären sie klimafreundlich. Die dargestellten Unterschiede beim Energiebedarf schlagen sich jedoch nicht nur in der Umweltbilanz, sondern auch in den Kosten nieder. Kraftstoffe, für die viel mehr neue Windräder errichtet werden müssten, wären in der Herstellung viel teurer – nicht nur als Benzin und Diesel, sondern auch als Strom für die Batterie. Dies gilt selbst dann, wenn für die e-fuels besonders günstige Standorte für erneuerbare Energien genutzt werden können.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass auch Anlagen zur Aufspaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff, sogenannte Elektrolyseure, und die weiteren Anlagen zur Synthetisierung zu Kraftstoffen erhebliche Rohstoff- und Ressourcenbedarfe nach sich ziehen. Und auch die lokalen Umweltwirkungen durch Schadstoffe bleiben bei Verbrennungsmotoren selbst bei Verwendung von e-fuels zu großen Teilen bestehen.

Fazit

Elektrofahrzeuge sind kein Allheilmittel, um den Straßenverkehr klima- und umweltfreundlich zu gestalten. Eine lebenswerte Stadt braucht nicht zuletzt mehr öffentliche Verkehrsmittel, mehr Radverkehr und kurze Wege zwischen Arbeiten, Wohnen und Versorgung. Aller Voraussicht nach wird dennoch ein erheblicher Teil der Verkehrsleistung auch künftig mit motorisierten Verkehrsmitteln erbracht werden.

Deshalb muss auch der Autoverkehr klima- und umweltfreundlicher werden. Hierzu kann das Elektroauto einen wichtigen und vor allem einen zunehmenden Beitrag leisten. Das gilt besonders für den Klimaschutz, bei dem das Elektroauto bereits heute erhebliche Vorteile besitzt. Dieser Vorsprung wird weiter wachsen, denn der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung wächst stetig. In spätestens zehn Jahren – ein Zeitraum, den ein heute neu zugelassenes Fahrzeug in aller Regel noch „miterlebt“ – sollen erneuerbare Energien bereits den überwiegenden Teil des deutschen Strombedarfs decken.

Bei den anderen Umweltwirkungen ergibt sich ein differenzierteres Bild: Der Rohstoffaufwand ist bei Elektroautos höher als bei konventionellen Fahrzeugen, ebenso die Masse des insgesamt ausgestoßenen Feinstaubes. Bei Stickoxiden, die aktuell besonders im Fokus stehen, ist das Elektroauto hingegen im Vorteil. Dabei ist zu beachten, dass die Qualität der Umweltwirkung auch vom Ort der Emissionen abhängt.

Insgesamt gesehen kommt es also darauf an, welche Gewichtung und Abwägung bei einer Gesamtbetrachtung vorgenommen wird. Und welchen Zeitraum man anlegt. Wiegt Klimaschutz schwerer als der mengenmäßige Rohstoffverbrauch? Welchen Wert misst man dem Gesundheitsschutz vor Ort gegenüber Emissionen zu, die außerhalb der Innenstädte auftreten? Und: Welche klimafreundlichen Alternativen gibt es eigentlich, wenn man Autofahren nicht komplett abschaffen möchte?

Mehr Informationen zur Elektromobilität und eine ausführlichere Darstellung der Umweltbilanz mit Hinweisen zu den zu Grunde liegenden Studien gibt es unter:

www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/

Bildnachweise

Titelseite: © Tomwang112/iStock

Seite 4: © Michael Flippo/Fotolia

Seite 6: © Miredi/Fotolia

Seite 8: © Matthias Buehner/Fotolia

Seite 10: © a-wrangler/iStock

Seite 14: © Tom Bayer/Fotolia

