



Wie umweltfreundlich sind Elektroautos?

Elektroautos gelten als eine Möglichkeit, negative Umweltfolgen des Autoverkehrs zu vermindern. Vor allem als Lösung für die Klimaprobleme, also den CO₂-Ausstoß des Straßenverkehrs werden sie häufig ins Feld geführt. Doch auch darüber hinaus geraten sie zunehmend in den Blick. Denn abgesehen von Klimagasemissionen sind auch die Luftschadstoffe des Straßenverkehrs problematisch, vor allem Feinstaub und Stickoxide. Letztere erfahren durch die Debatte um den Dieselantrieb hohe Aufmerksamkeit. Viele fragen sich: Auf welche Angaben kann ich mich eigentlich verlassen?

Aber sind Elektrofahrzeuge umweltfreundlicher als Benzin- und Dieselfahrzeuge? Wie stellt sich ihre Umweltbilanz dar, wenn man nicht nur „am Auspuff“ misst, sondern auch die Strombereitstellung und die Herstellung vom Auto inklusive Antriebsbatterie, Elektromotor und allen anderen Teilen berücksichtigt? Und wie sieht das ganze aus, wenn man nicht auf Herstellerangaben und Prospekte zurückgreift, sondern Daten heranzieht, die im Alltagsbetrieb ermittelt werden?¹

Eine solch umfassende Untersuchung kann im Rahmen von Umweltbilanzen erstellt werden. Hier fließt der gesamte Lebensweg von Fahrzeugen ein: Die Herstellung aller Bauteile, der Betrieb des Fahrzeugs und die dafür benötigte Energie, der Wartungsaufwand und schließlich die Entsorgung des Autos. In all diesen „Lebensphasen“ wird auch berücksichtigt, welche Umweltwirkungen die Rohstoffe und Energieträger bei ihrer Gewinnung und Verarbeitung verursachen.

Herangezogen werden nicht die Angaben aus den Fahrzeugpapieren sondern es werden realistische Verbrauchswerte modelliert und aus Tests auf der Straße abgeleitet oder direkt entnommen. 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? Solche Fragen stellt eine Umweltbilanz.

Bei den nachfolgenden Umweltwirkungen werden typische moderne Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor mit einem typischen aktuellen Elektroauto verglichen, immer am Beispiel eines Autos der Kompaktklasse (auch „Golf-Klasse“ genannt). Grundlage bildet wenn nicht anders angegeben die „Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen“ des Umweltbundesamts ([UBA-Texte 27/2016](#))².

Klimafreundlichkeit: Wie viel Treibhausgase verursachen Elektroautos?

Auf der Straße verursacht ein Elektroauto keine Emissionen von Kohlendioxid (CO₂) oder anderen Treibhausgasen. 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

¹ Bei der Beantwortung dieser Fragen und der weiteren Analyse hat das Umweltbundesamt fachlich unterstützt.

² Einige Auswertungen wurden durch das ifeu-Institut Heidelberg, Autor der genannten Studie, auf Basis neuer Daten aktualisiert. Warum war dies erforderlich? Zum einen ändert sich der Strommix auch in einem so kurzen Zeitraum merklich. Zum anderen verläuft auch bei der Elektromobilität die Entwicklung rasch: Aktuelle Fahrzeuge verfügen über eine größere Reichweite und dazu werden Antriebsbatterien verwendet, die sich zum Beispiel bei der Kapazität und der Energiedichte unterscheiden.



andere Emissionsquellen, einzubeziehen. Das gilt auch für die Fahrzeugherstellung und bei Autos mit Verbrennungsmotor natürlich auch für die Kraftstoffbereitstellung vom Bohrloch bis zur Tankstelle.

Die folgende Abbildung zeigt die Gesamtheit der Klimawirkungen der verschiedenen Auto-Typen im Vergleich.

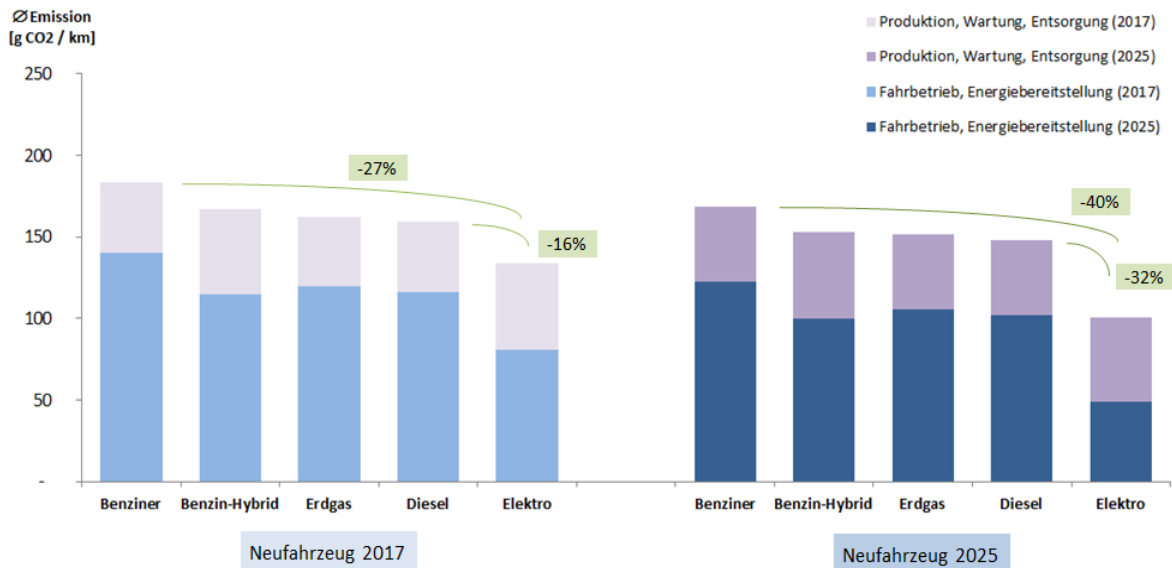


Abbildung 1: CO₂-Emissionen pro Fahrzeugkilometer über den gesamten Lebenszyklus, links für ein Fahrzeug, das 2017 neu zugelassen wird, rechts für eines, das 2025 neu auf die Straße kommt.

Eine Erkenntnis ist: Ein heute gekauftes Elektroauto schneidet im Vergleich mit verbrennungsmotorischen Fahrzeugen unter Klimagesichtspunkten besser ab – auch beim aktuellen deutschen Strommix und auch, wenn man wie hier vorgenommen mit besonders sparsamen Verbrennern vergleicht.

In der Abbildung sieht man auch: Der zukünftige Ausbau erneuerbarer Energien im Strombereich macht sich bemerkbar. Der Vorsprung des E-Fahrzeug 2025 ist größer, und das obwohl auch die Vergleichsfahrzeuge effizienter werden. Mit jedem Jahr, das die Energiewende voranschreitet, wird auch elektrisches Fahren klimafreundlicher. Bei Benziner und Diesel ist vergleichbares eher unwahrscheinlich. Denn das Potenzial nachhaltiger Biokraftstoffe scheint begrenzt und die Bilanz fossiler Kraftstoffe könnte sich künftig sogar verschlechtern, etwa bei einer verstärkten Förderung aus Teersanden oder mittels „Fracking“.

In Kurzform könnte man sagen: Die Tankfüllung beim E-Auto wird künftig sauberer, die eines normalen Autos eher nicht. Das gilt auch für alle Fahrzeuge, die schon gekauft und auf der Straße sind. Sie „machen die Energiewende mit“.

Eine nähere Analyse der Klimabilanz von Elektroautos ist [hier](#) zu finden.



Lärm: Sind Elektroautos leiser als normale Autos?

Lärm nervt und kann krank machen. Viele Menschen in Deutschland sind von Verkehrslärm betroffen. Elektromotoren arbeiten weitaus leiser als Verbrennungsmotoren. Aber beim Autoverkehr kommt der meiste Lärm nicht vom Motor, sondern vom Zusammenspiel aus Reifen und Fahrbahn oder, bei hohen Geschwindigkeiten, durch aerodynamische Geräusche. Bei diesen ergeben sich keine Unterschiede zwischen Elektroauto und Benziner oder Diesel.

Ein paar Unterschiede gibt es aber doch: Erst ab ungefähr 25 km/h sind beim Autofahren die Rollgeräusche entscheidend. Unterhalb dieser Geschwindigkeit, also bei langsamer Fahrt oder beim Anfahren sind die Motorgeräusche die bestimmende Lärmquelle. Daher sind Elektroautos in Gebieten geringer Geschwindigkeit (zum Beispiel 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. Dasselbe gilt für Mopeds und Motorräder. Bei motorisierten Zweirädern sind der Verbrennungsmotor und die damit verbundenen weiteren Prozesse/Bauteile in der Regel so laut, dass elektrische Varianten in allen Geschwindigkeitsbereichen vorteilhaft sind.

Eine nähere Darstellung ist [hier](#) zu finden.

Schadstoffe und Gesundheit: Welche weiteren Umweltwirkungen hat Elektromobilität?

Rein batterie-elektrische Fahrzeuge haben keinen Auspuff und fahren lokal abgasfrei. Auch mit Strom aufladbare Hybridelektrofahrzeuge haben einen Betriebsmodus, bei dem keine Abgase frei werden. Wo lokale Abgase für gesundheitsschädliche Belastungen der Luftqualität verantwortlich sind, kann das schon ein großer Gewinn sein und zur Entlastung beitragen. Aber auf den Lebenszyklus bezogen entstehen sowohl bei Elektrofahrzeugen als auch bei konventionellen Autos Schadstoffemissionen.

Bekannte Beispiele für umwelt- und gesundheitsgefährdende Schadstoffe sind Stickoxide und Feinstaub. Wie gesundheitsschädlich solche Stoffe sind, hängt in der Regel auch vom Ort der Freisetzung ab. Das sieht man im Straßenverkehr zum Beispiel daran, dass besonders die Messstationen für Luftqualität an viel befahrenen Straßen zu denen gehören, an denen die Werte der verschiedenen Schadstoffe hoch sind und die Luftqualitätsgrenzwerte zum Teil deutlich überschritten werden. Das liegt daran, dass in solchen Bereichen der lokale Ausstoß aus dem Straßenverkehr zusätzlich zur Hintergrundbelastung aus Industrie- und Kraftwerksabgasen oder von Heizungen und Kaminen auftritt.

Vor allem Anwohner, Fußgänger und Radfahrer haben darunter zu leiden. Aber auch wer im Auto sitzt, ist vor der schlechten Umgebungsluft nicht sicher. Deswegen lohnt sich zunächst auch ein Blick auf den Vergleich der verschiedenen Autos am Auspuff selbst, den nachfolgende Abbildung zeigt.

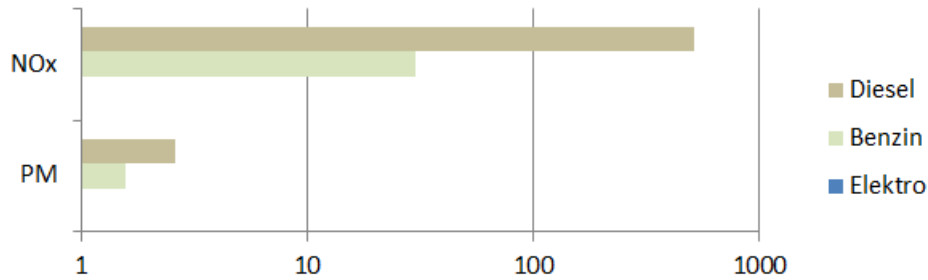


Abbildung 2: Logarithmische Darstellung der Emissionen von Stickoxiden (NO_x) und Feinstaub (PM) in mg/km

direkte Emissionen (am Auspuff), innerorts, Euro 6, nach [HBEFA](#), Version 3.3, April 2017

Der Vergleich fällt aus naheliegenden Gründen deutlich zugunsten des Elektroautos aus. Welches Bild aber ergibt sich, wenn man zusätzlich die Schadstoffemissionen berücksichtigt, die nicht direkt am Fahrzeug entstehen? Und woher kommen diese überhaupt?

Anders als vielleicht landläufig vermutet entstehen sowohl Stickoxide als auch Feinstaub beim Elektroauto nicht in besonderem Maße durch den Anteil der Kohle am Fahrstrom. Denn Kohlekraftwerke haben durch moderne Reinigungstechnik bezogen auf die in Elektroautos verbrauchten Kilowattstunden Strom keine besonders hohen Emissionen. Aber die Fahrzeugherstellung schlägt zu Buche, und dies nicht nur beim Elektroauto. Zum Beispiel trägt insbesondere die Stahlherstellung zu Feinstaubemissionen bei. Die Gesamtemissionen bei diesen Schadstoffen sind – wenngleich aufgrund des Ort des Ausstoßes meist weniger gesundheitsrelevant – bei allen Fahrzeugen durchaus erheblich, wie nachfolgende Grafiken verdeutlichen.

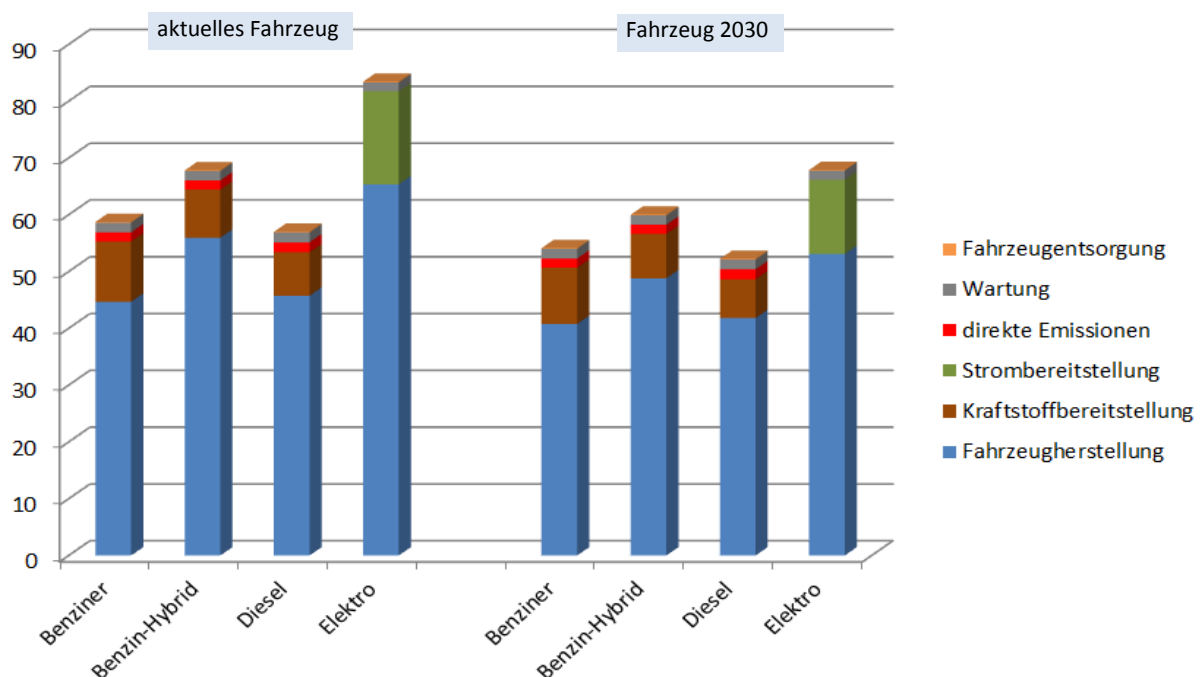


Abbildung 3: Feinstaubemissionen in mg/km, nach UBA/2016 wie eingangs erläutert rot dargestellt sind die direkten Emissionen, wie sie auch Abbildung 2 darstellt

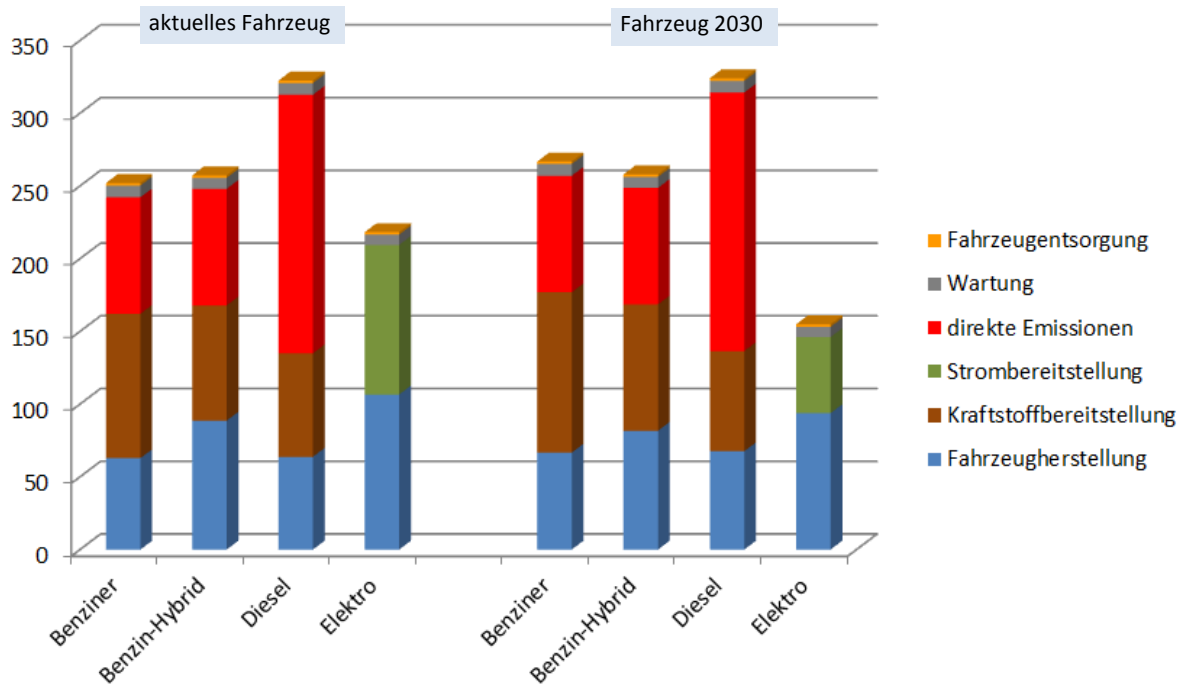


Abbildung 4: Stickoxidemissionen in mg/km, nach UBA/2016 wie eingangs erläutert rot dargestellt sind die direkten Emissionen, wie sie auch Abbildung 2 darstellt

Was zeigt sich? Während bei den klimarelevanten Emissionen bereits heute ein deutlicher Vorteil des Elektroautos zu sehen war, ergibt sich bei Feinstaub und Stickoxiden ein differenzierteres Bild³. Vor allem durch den höheren Herstellungsaufwand ist der Feinstaubwert beim E-Auto höher. Bei Stickoxiden schneiden Elektroautos hingegen besser ab, vor allem im Vergleich zum Diesel. Betrachtet man nur die direkten Emissionen, die vor allem in Gebieten mit hoher Verkehrsbelastung gesundheitsschädlich sein können, sind Elektroautos in beiden Schadstoffkategorien im Vorteil, da sie lokal abgasfrei sind.

Welchen Ressourcenbedarf haben Elektroautos?

Die vorgenannte Analyse hat sich auf den *Ausstoß* von umwelt- und gesundheitswirksamen Stoffen (bzw. Geräuschen) bezogen. In einer umfassenden Bilanz wird häufig zusätzlich die *Entnahme* oder *Inanspruchnahme* von nur begrenzt zur Verfügung stehenden Stoffen untersucht. Nun sind die *rohstoffbedingten* Beeinträchtigungen mit Schadstoffen in den obigen Analysen bereits enthalten. Eine Ressourcenbewertung betrachtet die Inanspruchnahme endlicher Rohstoffe aber auch unabhängig davon, ob hiermit eine direkte und unmittelbar bestimmte Umweltwirkung einhergeht.

Zwei häufig verwendete Maße einer Ressourcenbewertung sind der Kumulierte Energieaufwand und der Kumulierte Rohstoffaufwand. Wie stellt sich die Situation bei diesen Werten dar? Beim kumulierten Energieaufwand schneiden Elektroautos besser ab als verbrennungsmotorische Fahrzeuge. Das liegt

³ 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-Hybride sind ähnlich zu beurteilen, wie Abbildung 3 zeigt.



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.

Nähere Informationen zu diesem Thema finden sich in der genannten Grundlagenstudie des Umweltbundesamts.

Gibt es noch andere Alternativen als Elektroautos?

Auf jeden Fall. Brennstoffzellenfahrzeuge zum Beispiel sind lokal auch abgasfrei. Und synthetische Kraftstoffe auf Basis von Strom aus erneuerbaren Energien – häufig e-fuels oder Power-to-Liquid/Power-to-Gas genannt – könnten künftig gar Benzin und Diesel CO₂-neutral machen. Um deren Potenzial zum Klimaschutz beurteilen zu können, muss man vor allem zwei Fragen beantworten: Wieviel Energie braucht man für Mobilität mit solchen Technologien, sagen wir, um einen Kilometer zu fahren? Und: Ist diese Energie erneuerbar, also klimaneutral?

Bei der ersten Frage haben vor allem e-fuels einen systemimmanenten Nachteil: Sie benötigen im Fahrzeug einen Verbrennungsmotor und dieser ist im Vergleich zum E-Motor um ein Mehrfaches weniger effizient. Bei e-fuels kommt noch hinzu, dass neben der Nutzungs- auch die Erzeugungsseite wenig effizient ist, also mehr Energie verbraucht. Denn bis aus Strom, Wasser und CO₂ Flüssigkraftstoff wird, sind mehrere Umwandschritte nötig, die jeweils erhebliche Umwandlungsverluste mit sich bringen und daher Energie „kosten“. Mit Abstrichen gilt das auch für Wasserstoff und Brennstoffzellenfahrzeuge. Weil diese elektrisch fahren, ist der bloße Antrieb zwar so effizient wie beim Elektroauto. Aber die Erzeugung des Wasserstoffs und die anschließende Wiederverstromung in der Brennstoffzelle sind ebenfalls mit Verlusten verbunden.

Im Endeffekt brauchen all diese Varianten mehr erneuerbare Energie, um einen Kilometer Mobilität zu ermöglichen. Im Vergleich zum Elektroauto sind es zwischen zwei- und fast siebenmal mehr, wie Abbildung 5 zeigt.

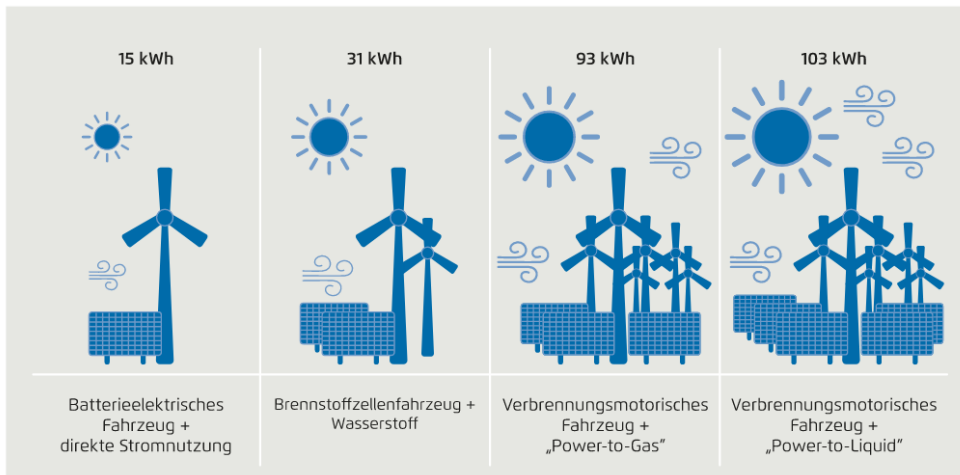


Abbildung 5: Strombedarf aus erneuerbaren Energien für verschiedene Antriebs- und Kraftstoffkombinationen pro 100 Kilometer, Darstellung der [Agora Verkehrswende, 2017](#), auf Basis der im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums erstellten [MKS-Kurzstudie „Erneuerbare Energien im Verkehr“](#)

Wie sieht es bei der zweiten Frage aus: Ist die Energie erneuerbar? Wasserstoff und e-fuels brauchen wie vorangehend erläutert mehr Energie als ein Elektroauto. Der Strommix ist wie schon dargestellt mittlerweile zwar so sauber, dass Elektroautos positiv abschneiden. Aber die Anteile aus Steinkohle-, Braunkohle- und Erdgaskraftwerken gibt es trotzdem noch über längere Zeit. Wenn man aus diesem Strommix statt den Strom direkt zu nutzen e-fuels herstellt, potenziert sich diese Last. Dies führt dazu, dass Autos auf Basis solcher Kraftstoffe nicht nur schlechter abschneiden als Elektroautos. Im Strommix sind sie sogar deutlich klimaschädlicher als Benzin und Diesel.

Und wenn man diese Kraftstoffe ausschließlich aus erneuerbarem Strom herstellt? Dann wären sie klimafreundlich. Allerdings sollte man dann nicht verschweigen, dass sich die dargestellten Unterschiede beim Energiebedarf nicht nur in der Umweltbilanz, sondern auch in den Kosten niederschlagen. Kraftstoffe, für die eigens neue Windräder oder andere Anlagen 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 die erneuerbaren Energien genutzt werden können.⁴ Zudem ist zu berücksichtigen, dass auch 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 machen. Eine lebenswerte Stadt braucht nicht zuletzt mehr öffentliche Verkehrsmittel, mehr Radverkehr und kurze Wege zwischen Arbeiten, Wohnen und Versorgung. Aller Voraussicht nach

⁴ Abschätzungen für die Gesteigungskosten verschiedene treibhausgasneutraler PtG- und PtL-Produkte können der Studie „Erarbeitung einer fachlichen Strategie zur Energieversorgung des Verkehrs bis zum Jahr 2050“ des Umweltbundesamts (UBA-Texte 72/2016) entnommen werden (S. 66 bis 70).



aber wird dennoch ein erheblicher Teil der Verkehrsleistung auch künftig mit motorisierten Verkehrsmitteln erbracht werden. 80% der Verkehrsleistung in Deutschland geschieht außerhalb der Kernstädte.

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, wo das Elektroauto bereits heute erhebliche Vorteile hat. Dieser Vorsprung wird weiter zunehmen, denn der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung wächst stetig. In den vergangenen sechs Jahren hat er sich auf rund ein Drittel verdoppelt und in weniger als zehn Jahren, also in einem 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, also auch eine Rolle spielt, „was direkt am Auspuff rauskommt“. Und, dass neue Technologien aufgrund am Anfang noch geringer Skaleneffekte häufig in mancher Hinsicht höhere Aufwände verursachen.

Erinnert sei an die anfängliche Diskussion um den „Erntefaktor“ von Solarzellen. Die ersten Photovoltaikanlagen waren rohstoff- und energieintensiv und konnten diesen „Rucksack“ durch ihre zunächst geringe Stromausbeute kaum wieder abarbeiten. Geneigte Akteure, auch aus der fossilen Energiewelt, brandmarkten sie dafür. Durch die standardisierten Prozesse, eine höhere Rohstoff- und Energieeffizienz und die Nutzung alternativer Materialien sind diese Nachteile längst in den Hintergrund getreten und Solarstrom zum einem unverzichtbaren Teil einer saubereren Energieerzeugung geworden.

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