

Update: Ökobilanz
alternativer Antriebe



**UPDATE:
ÖKOBILANZ ALTERNATIVER ANTRIEBE**

David Fritz
Holger Heinfellner
Günther Lichtblau
Werner Pölz
Gudrun Stranner

Projektleitung

David Fritz

AutorInnen

David Fritz, Holger Heinfellner, Günther Lichtblau, Werner Pözl, Gudrun Stranner

Satz/Layout

Manuela Kaitna

Umschlagphoto

© andrea lehmkuhl – Fotolia.com

Das vorliegende Update enthält aktualisierte Daten zu REP0572.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Das Umweltbundesamt druckt seine Publikationen auf klimafreundlichem Papier

Korrigierte Auflage

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2018

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-452-0

INHALT

	EINLEITUNG.....	5
1	SYSTEMGRENZEN.....	6
2	ERGEBNISSE.....	8
2.1	Treibhausgas-Emissionen.....	8
2.2	Stickoxid-Emissionen.....	9
2.3	Partikel-Emissionen.....	10
2.4	Kumulierter Energieaufwand KEA.....	11
3	FAZIT UND ZUSAMMENFASSUNG.....	12
4	ERGEBNISTABELLE.....	13

EINLEITUNG

Der Anteil von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben ist in den letzten Monaten auf Grund unterschiedlicher Maßnahmen stark gestiegen. Insgesamt sind in Österreich rund 12.800 reine Elektrofahrzeuge und 24.700 Hybridfahrzeuge zugelassen. Sie sind eine wesentliche Alternative, um die Nutzung fossiler Energie im Verkehrssektor zu reduzieren. Entsprechend der dynamischen Entwicklung der Technologie und des Fahrzeugmarkts werden auch kontinuierlich neue Forschungsergebnisse über Umweltauswirkungen von Herstellungsprozessen etc. veröffentlicht und breit diskutiert.

**neue Erkenntnisse
und Erweiterung
der Studie**

In diesem Update sind die aktuellsten Entwicklungen und Erkenntnisse zur Ökobilanzierung von elektrischen Antrieben in Österreich zusammengefasst. Damit liegen aktualisierte Daten zum Report „ÖKOBILANZ ALTERNATIVER ANTRIEBE-Fokus Elektrofahrzeuge“ (REP 0572, UMWELTBUNDESAMT 2016) vor. Die relevantesten Anpassungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- **Methan-Emissionen bei der Erdölförderung:** Methan-Emissionen, die bei der Erdölförderung freigesetzt werden, wurden bislang international deutlich unterschätzt. Die durchschnittlichen Treibhausgas-Emissionen aus „Venting“ (entgasen) und „Flaring“ (abfackeln) von Methan bei der Erdölförderung wurde auf Basis aktueller Studienergebnisse von rund 1,5 bis 6 g CO₂-eq/ kWh auf rund 28 g CO₂-eq/kWh erhöht^{1, 2}.
- **Produktion des Lithium-Ionen Akkumulators:** Neue Erkenntnisse über den Energieeinsatz für die Produktion des Lithium-Ionen Akkumulators³ sowie veränderte Materialzusammensetzungen führen dazu, dass die Treibhausgas-Emissionen bei der Akkuherstellung auf rund 66-78 kg CO₂-eq/kWh Energieinhalt ansteigen. Zum Vergleich: 2016 wurde noch von 25-32 kg CO₂-eq/kWh Energieinhalt ausgegangen (REP 0572, UMWELTBUNDESAMT 2016).

Diese Faktoren haben deutliche Auswirkungen auf die Gesamtemissionsbilanz der Fahrzeuge und erfordern eine Aktualisierung der Berechnungen der Umwelteffekte der unterschiedlichen Antriebskonzepte. Neben Batterie-elektrischem Fahrzeug (BEV), Hybridfahrzeug (Hybrid Electric Vehicle HEV) und Hybridfahrzeug mit externer Strombetankungsmöglichkeit (Plug-in Hybrid Electric Vehicle PHEV) werden in diesem Update auch Antriebssysteme, die auf Wasserstoff-Brennstoffzellen bzw. Gas-Verbrennung basieren, dargestellt.

Ergänzend zu den **Treibhausgas-Emissionen** werden auch **Partikel- und Stickoxid-Emissionen** berechnet, genauso wie der **kumulierte Energieaufwand**. Die Umwelteffekte werden dabei als **direkte** und **indirekte Emissionen** bzw. als direkter und indirekter Energieeinsatz ausgewiesen. Bei indirekten bzw. vorgelagerten Emissionen oder dem entsprechenden Energieeinsatz werden die Fahrzeugherstellung, die Akkumulatorherstellung und die Energiebereitstellung berücksichtigt.

Umwelteffekte

¹ Study On Actual Ghg Data For Diesel, Petrol, Kerosene And Natural Gas, European Commission, Dg Ener, Work Order: ENER/C2/2013-643, July 2015

² Flaring und Venting von Erdölbegleitgas, Aktuelle Entwicklung und Auswirkungen von Marginal Oil, era – energy research architecture, Dezember 2015

³ Siehe z. B.: 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, Mia Romare, Lisbeth Dahlöf, May 2017

1 SYSTEMGRENZEN⁴

Beschreibung der unterschiedlichen Fahrzeuge

Fahrzeug-spezifikation

Grundsätzlich wird für jedes Fahrzeug von der gleichen Jahreskilometerleistung (15.000 km), Lebensdauer (15 Jahre) und Besetzungsgrad (= 1) ausgegangen, wodurch ein Vergleich der unterschiedlichen Antriebssysteme möglich ist. Bei der Fahrzeugherstellung werden je nach Typ unterschiedliche Materialien eingesetzt, die Hauptbestandteile der Fahrzeuge sind dennoch in etwa gleich. Sämtliche Fahrzeuge bestehen zu einem Großteil aus (verzinktem) Stahl, Gusseisen, Aluminium, Glas und Kunststoffkomponenten. Die wesentlichsten Einflussgrößen für die Emissionen bei der Fahrzeugherstellung sind Größe und Gewicht des Autos.

Als elektrischer Speicher wurde ein Li-Ionen Akkumulator angenommen, als Ionen-Material Manganoxid. Der Herstellungsprozess wurde entsprechend der aktuellen Forschungserkenntnisse als deutlich energieintensiver bewertet.

Die Eingangsdaten/Berechnungen für sämtliche Materialien und Energieträger in diesem Update stellen den aktuellen Stand von September 2017 dar.

Die folgende Tabelle gibt einen Auszug der technischen Daten der unterschiedlichen PKW.

*Tabelle 1:
Technische Daten
der unterschiedlichen
Fahrzeuge
(eigene Annahmen).*

	Gewicht⁵ [kg]	Gewicht Li-Ionen Akku [kg]
Otto-/Dieselmotor (1,4 – 2,0 Liter ⁶)	1.700	0
Otto-/Dieselmotor (1,4 – 2,0 Liter) HEV ⁷	1.700	24
Ottomotor (1,4 – 2,0 Liter) PHEV ⁷	1.700	72
BEV ⁷	1.400	300
FC-BEV ⁷	1.700	60
Gas-/Ottomotor	1.600	0

Der elektrische Fahranteil der Hybridvarianten ist wesentlich für die Bilanz und wird wie folgt angesetzt.

Fahranteil Elektromotor⁸	
HEV⁷	20 %
PHEV⁷	44 %

⁴ Nähere Spezifikationen zu Systemgrenzen und Hintergrundinformationen können dem Report 0572 „Ökobilanz alternativer Antriebe – Fokus Elektrofahrzeuge“ (UMWELTBUNDESAMT 2016) entnommen werden.

⁵ Exklusive Akkugewicht

⁶ Hubraum

⁷ HEV ... Hybrid Electric Vehicle, PHEV ... Plug-in Hybrid Electric Vehicle, BEV ... Battery Electric Vehicle, FC-BEV ... Fuel Cell Battery Electric Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug)

⁸ Spritmonitor.de

Die Umwelteffekte der fossil betriebenen Benzin- und Dieselfahrzeuge werden für die aktuellste Euroklasse 6d_temp dargestellt, wobei von einer durchschnittlichen Hubraumklasse (zwischen 1,4 und 2,0 Liter) ausgegangen wird. Plug-in Hybrid Fahrzeuge (PHEV) werden nur für den Ottomotor betrachtet, da keine PHEV-Varianten mit Dieselantrieb vorliegen (fehlende Marktverfügbarkeit). Die Biokraftstoffbeimengung (volumetrisch: 6,4 % Biodiesel und 4,8 % Bioethanol) wird in den Berechnungen berücksichtigt.

Bei den reinen Elektrofahrzeugen (BEV) wird auch unterschieden, welcher Strom für das Aufladen der Akkus verwendet wird: Strom aus dem klassischen österreichischen Strommix (inkl. Importe) und „Grünstrom“ nach der Richtlinie Umweltzeichen 46⁹.

**klassischer
Strommix und
Grünstrom**

Bei den Wasserstoff-Brennstoffzellen PKW (FC-BEV) wird neben der H₂-Herstellung durch Erdgas-Reforming auch die H₂-Herstellung mittels Elektrolyse mit UZ-46 Strom betrachtet. Für Gas-PKW werden die Brennstoffe CNG¹⁰ und Biogas berücksichtigt.

⁹ Das österreichische Umweltzeichen definiert in der Version 4.1 vom Jänner 2013 die Kriterien für die Stromerzeugung. Der Strom muss zur Gänze aus erneuerbaren Energieträgern stammen und bestimmte Kriterien erfüllen. Diese Kriterien sind in der Richtlinie „UZ 46 – Grüner Strom“ definiert. Der Emissionsfaktor wird basierend auf dem Stromerzeugungsmix der größten Anbieter für UZ 46 Strom ermittelt.

¹⁰ Compressed Natural Gas

2 ERGEBNISSE

2.1 Treibhausgas-Emissionen (THG)

Treibhausgas-Emissionen sind in erster Linie CO₂-Emissionen, ebenfalls dazu zählen andere klimawirksame Gase (wie z. B. Methan oder Lachgas), die über einen Umrechnungsfaktor (über das sog. Global Warming Potential) in CO₂-eq-Emissionen umgerechnet werden.

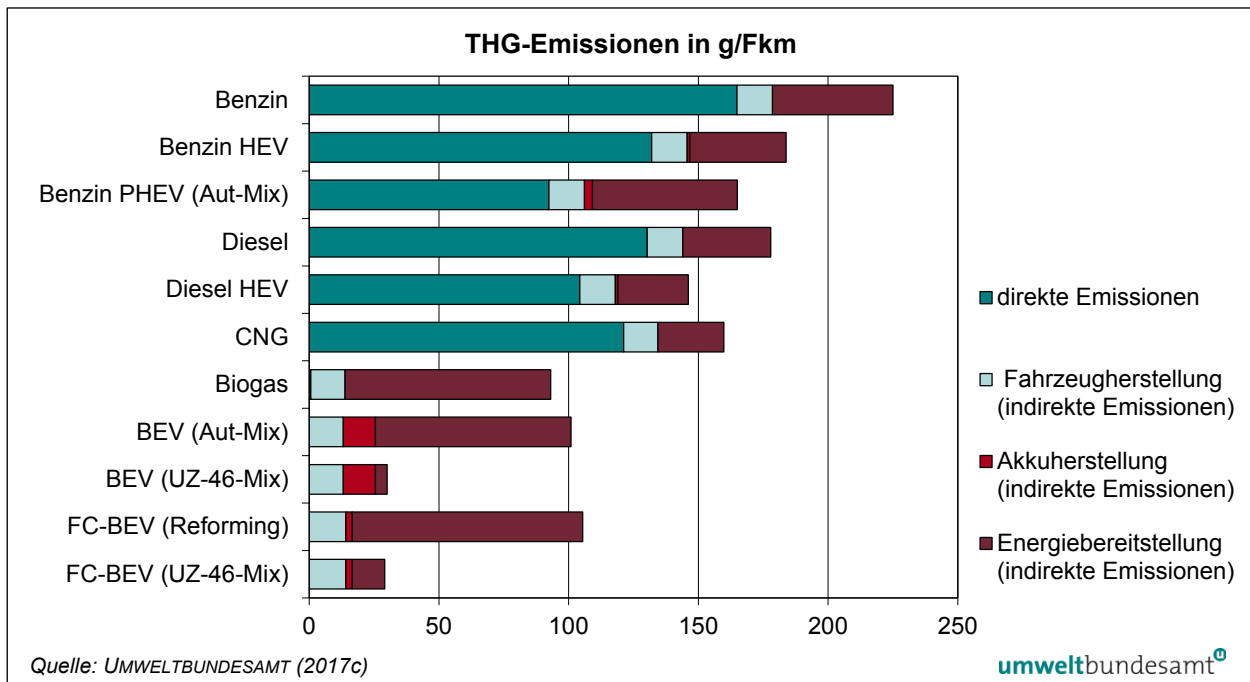


Abbildung 1: Gesamte Treibhausgas-Emissionen in g CO₂-eq pro Fahrzeugkilometer verschiedener Pkw-Antriebsarten.

Die wichtigsten Ergebnisse:

**fossile Kraftstoff-
verbrennung
ausschlaggebend**

**Elektrofahrzeug
rund 80 %
weniger THG**

- Es zeigt sich eindeutig, dass konventionelle fossil betriebene Fahrzeuge die meisten Treibhausgas-Emissionen verursachen, wobei die direkten Emissionen aus der Kraftstoffverbrennung den größten Beitrag liefern.
- Ein elektrischer Fahranteil von 44 % verringert zwar die direkten Emissionen des Benzin PHEV, dennoch werden beinahe 100 g CO₂-eq/Fkm ausgestoßen.
- Ein klarer Klimavorteil bei den elektrischen Antrieben (BEV und FC-BEV) ist dann gegeben, wenn für die Energiebereitstellung Strom aus erneuerbaren Quellen (etwa nach Umweltzeichen 46) herangezogen wird: im Vergleich zum rein fossilen Benzin PKW um 86 bzw. 87 % weniger THG-Emissionen, im Vergleich zum rein fossilen Diesel um 83 bzw. 84 %.
- Bei der Fahrzeugherstellung unterscheiden sich die Treibhaus-Emissionen nur marginal.
- Die Akkuherstellung eines BEV bedingt ähnlich viele Emissionen wie die restliche Fahrzeugherstellung.
- Bei Biogas ist der Methanschupf in der Herstellungskette die prägende THG-Quelle. Dieser lässt sich technisch um ca. 50 % reduzieren, dadurch kann die Bilanz für die Biogas-PKW deutlich besser ausfallen.

2.2 Stickoxid-Emissionen (NOx)

Stickoxide entstehen überwiegend als unerwünschte Nebenprodukte bei der Verbrennung von Treibstoffen bei hoher Temperatur und sind u. a. auf Grund ihrer gesundheitsschädigenden Wirkung von besonderem Interesse.

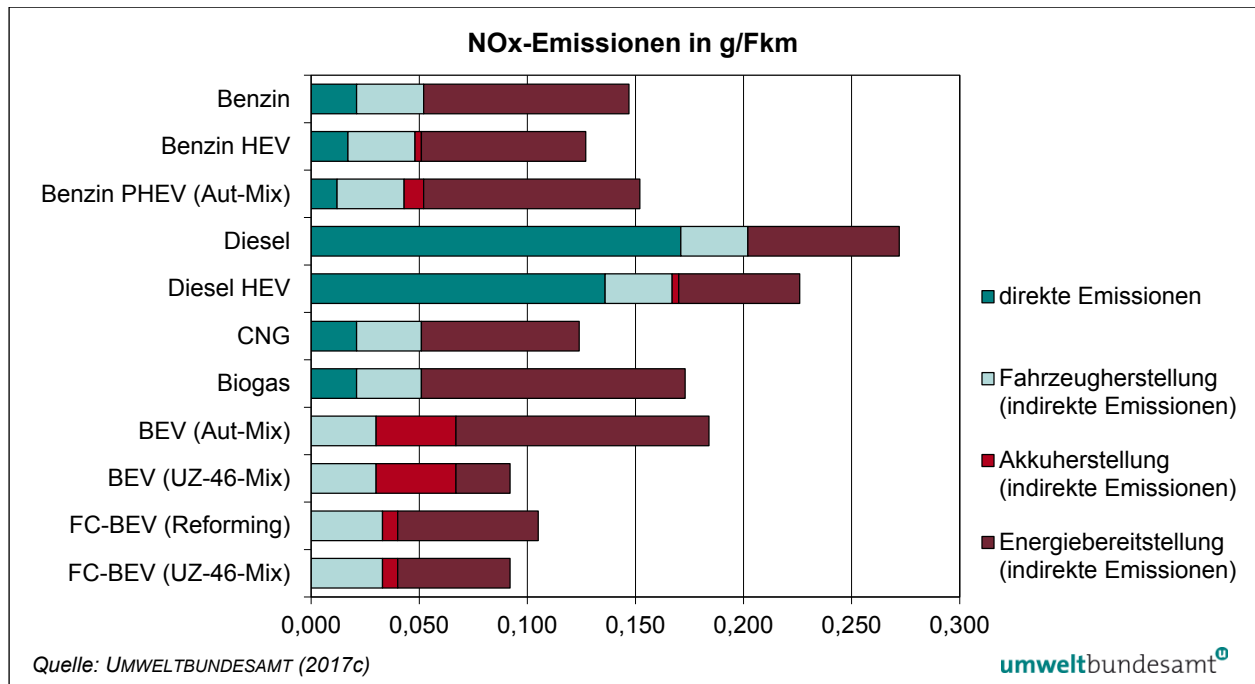


Abbildung 2: Gesamte Stickoxidemissionen in g NOx pro Fahrzeugkilometer verschiedener Pkw-Antriebsarten.

Die wichtigsten Ergebnisse zu den NOx-Emissionen:

- Diesel-PKW stoßen mit Abstand die meisten direkten NOx-Emissionen aus.
- Die Energiebereitstellung bedingt (mit Ausnahme der Diesel-PKW) die meisten NOx-Emissionen.
- Umweltvorteile der elektrischen Antriebe hinsichtlich der gesamten NOx-Emissionen zeigen sich nur bei Nutzung des Stromes nach Umweltzeichen 46.
- BEV und FC-BEV mit UZ-46 Strom verursachen im Vergleich zu fossilen Benzin PKW um 38 % weniger und im Vergleich zum Diesel PKW um 66 % weniger NOx-Emissionen.
- Bei Biogas stammen die indirekten NOx-Emissionen der Energiebereitstellung vorwiegend aus der Landwirtschaft (Diseleinsatz z. B. im Traktor) und aus dem Fermenter (Energieeinsatz).

NOx-Emissionen vor allem bei Diesel-PKW

2.3 Partikel-Emissionen

Partikel-Emissionen entstehen nicht nur bei Herstellung und Betrieb des Fahrzeugs, sondern auch durch Abrieb und Wiederaufwirbelung. Partikel-Emissionen weisen ein hohes gesundheitliches Risiko auf.

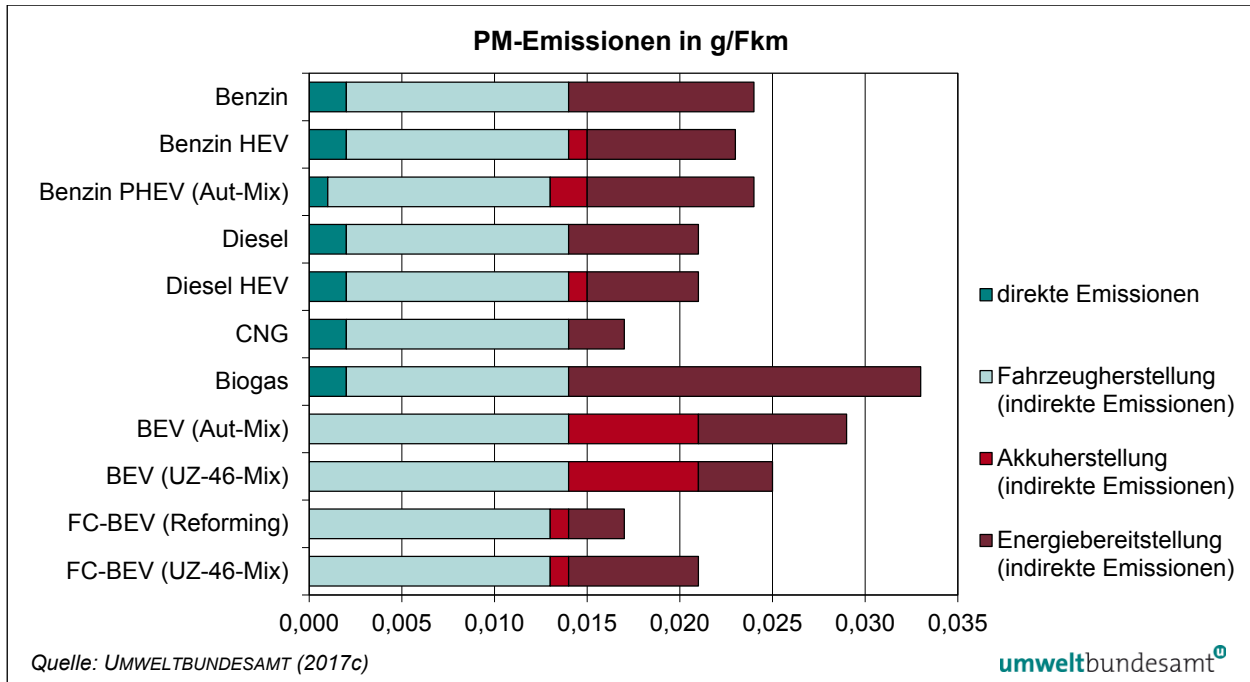


Abbildung 3: Gesamte Partikel-Emissionen in g PM pro Fahrzeugkilometer verschiedener Pkw-Antriebsarten.

Die wichtigsten Ergebnisse zu den Partikel-Emissionen:

Partikel-Emissionen stammen aus der Fahrzeugherstellung

- Alternative Antriebe weisen hinsichtlich Partikel-Emissionen keine bessere Ökobilanz auf.
- Bei allen Antriebsarten sind die PM₁₀-Emissionen aus der Fahrzeugherstellung in einer ähnlichen Größenordnung.
- Bei Biogas-PKW sind die indirekten Emissionen der Energiebereitstellung (vorwiegend beim Fermenter und aus der Düngemittelproduktion) höher als die bei der Fahrzeugherstellung.
- Der hohe Energieeinsatz (und hier vor allem die Energiebereitstellung durch Kohlekraftwerke z. B. bei der Aluminiumproduktion) bei der Akkuherstellung bedingt die hohe PM-Emissionen bei den BEV.
- Bei fossil betriebenen PKW hat der Partikelfilter, der standardmäßig in allen PKW der Euroklasse 6d_{temp} vorhanden ist, das Problem der Partikel-Emissionen deutlich reduziert.

2.4 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Im kumulierten Energieaufwand sind der vorgelagerte Energieeinsatz, z. B. zur Herstellung des Fahrzeuges, Transportbewegungen der benötigten Rohstoffe, wie auch der Energieeinsatz für das Fahren selbst, zusammengefasst.

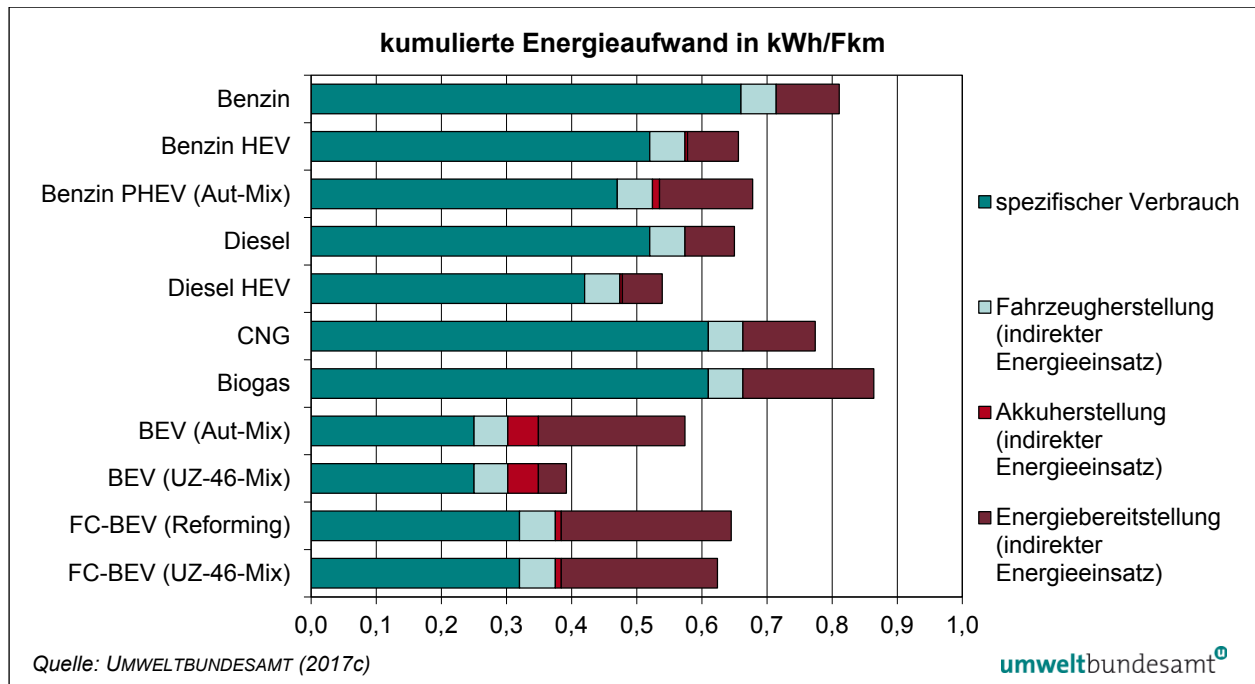


Abbildung 4: Kumulierter Energieaufwand in kWh pro Fahrzeugkilometer verschiedener Pkw-Antriebsarten.

Die wichtigsten Ergebnisse:

- BEV und FC-BEV haben einen erheblich geringeren spezifischen Verbrauch. Dies liegt am mehr als doppelt so hohen Wirkungsgrad eines Elektromotors im Vergleich zum Verbrennungsmotor.
- Der spezifische Verbrauch stellt für alle Antriebsarten den größten Beitrag zum KEA dar.
- Der KEA des BEV (UZ-46) ist um 51 % bzw. 40 % geringer als für Benzin bzw. Diesel PKW.
- Den größten KEA weisen die PKW auf, die auf Gasverbrennung basieren, da diese den größten spezifischen Verbrauch aufweisen und insbesondere bei Biogas die Energiebereitstellung energieintensiv ist.

KEA: spezifischer Verbrauch entscheidend

3 FAZIT UND ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Update werden die Treibhausgas- und Luftschadstoff-Emissionen von alternativen Antriebssystemen (BEV, FC-BEV, Biogas PKW bzw. Hybridvarianten fossiler PKW) mit den Emissionen der aktuellsten Generation fossiler PKW verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass mit einem höheren Grad der Elektrifizierung speziell die Treibhausgas-Emissionen drastisch reduziert werden können.

Bei der vorliegenden Ökobilanz sind insbesondere auch aktuelle Daten zur Herstellung der Batteriesysteme bei den Elektrofahrzeugen berücksichtigt. Die Batterieherstellung ist zwar mit großem Energieeinsatz und daher hohen Emissionen verbunden, jedoch entfallen beim Elektrofahrzeug Bauteile wie Getriebe und Abgasnachbehandlung und deren herstellungsbedingte Emissionen.

Entscheidend für die Treibhausgasbilanz von Fahrzeugen ist vor allem der Energieeinsatz für den Betrieb des Fahrzeugs. Während durch den Einsatz fossiler Energie bei Benzin- und Dieselfahrzeugen hohe Treibhausgas-Emissionen entstehen, weisen elektrische Fahrzeuge, keine direkten Treibhausgas-Emissionen in ihrer Bilanz auf. Unter Einbeziehung der direkten und indirekten Emissionen können durch Einsatz eines Elektroautos, das mit Strom aus erneuerbaren Quellen betrieben wird, im Vergleich zu einem fossil betriebenen PKW, 80 % der THG-Emissionen eingespart werden. Dazu kommt, dass bei Einsatz erneuerbaren Stromes auch die Stickoxid-Emissionen deutlich geringer ausfallen. Die Feinstaub-Emissionen steigen hingegen – je nach Stromherkunft – sogar leicht an.

Auch beim kumulierten Energieaufwand zeigen sich in Abhängigkeit von der Stromqualität die Vorteile der elektrischen Antriebe. Hervorzuheben ist der geringere spezifische Verbrauch im Vergleich zu fossil betriebenen Fahrzeugen. Dies liegt am hohen Wirkungsgrad des Elektromotors.

4 ERGEBNISTABELLE

Tabelle 2: Ergebnistabelle Gesamtauswertung nach Fahrzeugkilometern (Quelle: Umweltbundesamt 2017).

Antriebsart	THG-Emissionen in g/Fkm					NOx-Emissionen in g/Fkm					PM-Emissionen in g/Fkm					Kumulierter Energieaufwand in kWh/Fkm				
	Fahrbetrieb	Fahrzeug-herstellung ¹¹	Akku-herstellung ¹¹	Energie-bereitstellung ¹¹	Gesamt	Fahrbetrieb	Fahrzeug-herstellung ¹¹	Akku-herstellung ¹¹	Energie-bereitstellung ¹¹	Gesamt	Fahrbetrieb	Fahrzeug-herstellung ¹¹	Akku-herstellung ¹¹	Energie-bereitstellung ¹¹	Gesamt	Fahrbetrieb	Fahrzeug-herstellung ¹²	Akku-herstellung ¹²	Energie-bereitstellung ¹²	Gesamt
Benzin	164,9	13,7	-	46,4	225,0	0,021	0,031	-	0,095	0,148	0,002	0,012	-	0,010	0,024	0,66	0,054	-	0,097	0,81
Benzin HEV	132,0	13,7	1,0	37,1	183,8	0,017	0,031	0,003	0,076	0,128	0,002	0,012	0,001	0,008	0,023	0,52	0,054	0,004	0,078	0,66
Benzin PHEV (Aut-Mix)	92,4	13,7	3,1	55,8	165,0	0,012	0,031	0,009	0,100	0,152	0,001	0,012	0,002	0,009	0,024	0,47	0,054	0,011	0,143	0,68
Diesel	130,3	13,7	-	33,9	177,9	0,171	0,031	-	0,070	0,271	0,002	0,012	-	0,007	0,021	0,52	0,054	-	0,076	0,65
Diesel HEV	104,3	13,7	1,0	27,1	146,1	0,136	0,031	0,003	0,056	0,226	0,002	0,012	0,001	0,006	0,020	0,42	0,054	0,004	0,061	0,54
CNG	121,2	13,2	-	25,4	159,8	0,021	0,030	-	0,073	0,125	0,002	0,012	-	0,003	0,018	0,61	0,053	-	0,111	0,77
Biogas	0,6	13,2	-	79,3	83,0	0,021	0,030	-	0,122	0,173	0,002	0,012	-	0,019	0,033	0,61	0,053	-	0,201	0,86
BEV (Aut-Mix)	-	13,1	12,4	75,4	100,9	-	0,030	0,037	0,117	0,184	-	0,014	0,007	0,008	0,029	0,25	0,052	0,047	0,225	0,57
BEV (UZ-46-Mix)	-	13,1	12,4	4,5	30,1	-	0,030	0,037	0,025	0,091	-	0,014	0,007	0,004	0,025	0,25	0,052	0,047	0,043	0,39
FC-BEV (Reforming)	-	14,1	2,5	88,8	105,4	-	0,033	0,007	0,065	0,105	-	0,013	0,001	0,003	0,018	0,32	0,055	0,009	0,261	0,65
FC-BEV (UZ-46-Mix)	-	14,1	2,5	12,5	29,0	-	0,033	0,007	0,052	0,092	-	0,013	0,001	0,007	0,022	0,32	0,055	0,009	0,240	0,63

¹¹ Indirekte Emissionen

¹² Indirekter Energieeinsatz

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at