

DIE ÖKOBILANZ VON PERSONENKRAFTWAGEN

***Bewertung alternativer Antriebskonzepte
hinsichtlich CO₂-Reduktionspotential und
Energieeinsparung***

Fritz David
Heinfellner Holger
Lambert Stefan

REPORT
REP-0763

WIEN 2021

ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Ökobilanz (oder Lebenszyklusanalyse) werden sowohl die vor- und nachgelagerten (bzw. indirekten) Emissionen bei der Herstellung des Fahrzeugs und des Energieträgers als auch die direkten Emissionen aus dem Fahrbetrieb dargestellt. Damit liefert die Ökobilanz ein umfassendes Bild zur Klimaverträglichkeit verschiedener Antriebsformen nicht nur im Sektor Verkehr, sondern auch in den Sektoren Energie und Industrie im In- und Ausland.

Inhalt der Lebenszyklusanalyse

In der gegenständlichen Lebenszyklusanalyse wurden 39 verschiedene Fahrzeug- und Technologiekombinationen untersucht. Dabei wurden unterschiedliche Antriebstechnologien (ICE, HEV, PHEV, FCEV und BEV), Kraftstoffe (fossil flüchtig und gasförmig, synthetisch flüssig, grüner und grauer Wasserstoff, unterschiedliche Stromquellen) und Fahrzeugsegmente (Kleinwagen, Kompaktklasse, Oberklasse) geprüft.

herstellungsbedingte Emissionen

Die herstellungsbedingten Emissionen wurden getrennt für die sechs bedeutendsten Fahrzeugelemente analysiert und in Abhängigkeit von der Technologie aufsummiert:

- Grundfahrzeug (ICE)
- Elektromotor (HEV, PHEV, BEV, FCEV)
- Elektrischer Antriebsstrang und Akkumulator (HEV, PHEV, BEV)
- Brennstoffzelle und Wasserstoffspeicher (FCEV)

Die so ermittelten Emissionswerte unterliegen Schwankungen in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Annahmen und wurden deshalb in Bandbreiten ausgewiesen.

Der größte Hebel zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) liegt dabei in allen Bereichen der Herstellung im eingesetzten Energiemix entlang der Herstellungskette, insbesondere in der Zusammensetzung des eingesetzten Stromes, sowie in der Substitution von Primärrohstoffen durch Rohstoffe, die durch Aufbereitung (Recycling) wiederverwertet werden (Sekundärrohstoffe). Ebenso wurden für die Emissionen aus der Energiebereitstellung Bandbreiten ermittelt, da die diesbezüglichen Emissionen bei Strom, Wasserstoff und strombasierten synthetischen Kraftstoffen teils deutlich variieren können.

BEV mit 100 % Strom aus erneuerbaren Energien erreicht die niedrigsten Emissionen

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass batterieelektrische Pkw (BEV) bei Einsatz von 100 % Strom aus erneuerbaren Energiequellen in allen Fahrzeugsegmenten die niedrigsten THG-Emissionen verursachen. Die Bandbreite beträgt zwischen rund 50 g CO_{2eq} (Kleinwagen) und 100 g CO_{2eq} (Oberklasse) je gefahrenen Kilometer. Werden BEV mit Strom in der durchschnittlichen österreichischen Zusammensetzung betrieben, erhöhen sich diese Werte auf 86 g CO_{2eq} (Kleinwagen) bis 157 g CO_{2eq} (Oberklasse) je gefahrenen Kilometer.

Ähnlich niedrige Werte wie mit BEV unter Einsatz von 100 % Strom aus erneuerbaren Energiequellen können mit Fahrzeugen erreicht werden, die mit Wasser-

stoff-Brennstoffzelle betrieben werden (FCEV), wenn der erforderliche Wasserstoff via Elektrolyse und ebenfalls unter Einsatz von 100 % Strom aus erneuerbaren Energiequellen generiert wird. Demgegenüber steht jedoch eine geringere Energieeffizienz, wodurch je nach Fahrzeugsegment zwischen 39 % und 83 % mehr Energie je gefahrenen Kilometer eingesetzt werden müssen als im Falle der Direktverstromung, bspw. in einem BEV. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund der angestrebten Klimaneutralität im Verkehr bis 2040 (BKA 2020) und dem damit einhergehenden stark steigenden Bedarf an erneuerbarer Primärenergie von zentraler Bedeutung.

kumulierter Energieaufwand für e-Fuels um Faktor 9–12 höher als bei BEV

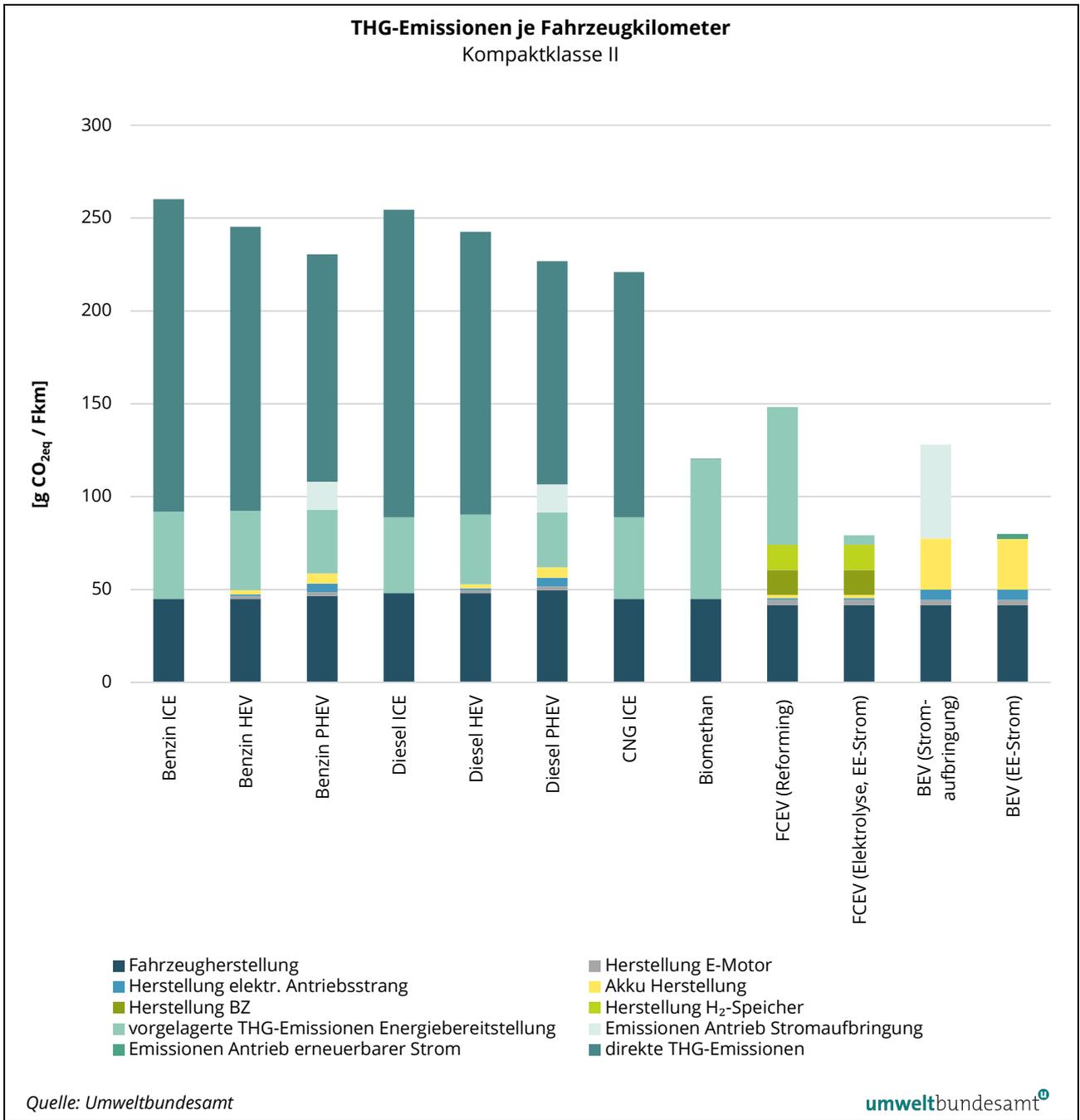
Der Aspekt der anzustrebenden hohen Effizienz im Umgang mit erneuerbarer Energie wird auch den breiten Einsatz von strombasierten flüssigen synthetischen Kraftstoffen im Segment der Pkw limitieren. Selbst wenn für die Herstellung derartiger e-Fuels 100 % Strom aus erneuerbaren Energiequellen und CO₂ aus der Umgebungsluft herangezogen werden, ist der kumulierte Energieaufwand je nach Fahrzeugsegment um den Faktor 9 bis 12 höher als bei BEV. Daher sollte der Einsatz von e-Fuels auf jene Verkehrsmodi und Fahrzeugkategorien fokussiert werden, wo batterieelektrische Antriebe oder brennstoffzellenbasierte Systeme in ihrem Einsatz beschränkt sind (z. B. Flugverkehr).

Darüber hinaus wurde mit der Studie aufgezeigt, dass auch innerhalb der Technologie der batterieelektrischen Fahrzeuge Potenzial zur Reduktion der THG-Emissionen über den Lebenszyklus besteht. So können die THG-Emissionen als Folge der Nutzung eines BEV durch Downsizing und den Einsatz kleinerer Fahrzeuge mit niedrigerem Fahrzeuggewicht und kleineren Akkukapazitäten halbiert werden. Ebenso ist die Qualität des eingesetzten Stroms von entscheidender Bedeutung für die THG-Emissionen von Pkw.

BEV verursachen 67–79 % weniger Emissionen als konventionelle Pkw

Zusammenfassend ergibt sich ein klarer Klimavorteil für batterieelektrische Pkw (BEV), vor allem wenn für die Energiebereitstellung Strom aus erneuerbaren Quellen (etwa nach Umweltzeichen 46) herangezogen wird: Im Vergleich zu einem rein fossil angetriebenen Pkw verursachen BEV je nach Fahrzeugsegment zwischen 67 % (Oberklasse) und 79 % (Kleinwagen) weniger THG-Emissionen. Ähnlich gut schneiden FCEV ab, die allerdings eine wesentlich schlechtere Energieeffizienz als BEV aufweisen.

Abbildung 1: Treibhausgasemissionen je Fahrzeugkilometer in der Kompaktklasse II.



SUMMARY

A life cycle assessment (or life cycle analysis) shows both the upstream and downstream (or indirect) emissions associated with vehicle production and energy sources, and the direct emissions from the use of a vehicle. The life cycle assessment thus provides a comprehensive picture of how sustainable different powertrain systems are in climate terms not only in the transport sector but also in the energy and industry sectors, both in Austria and abroad.

Content of the life cycle analysis

For the life cycle analysis presented in this study, 39 different vehicle and technology combinations have been examined. The analysis included different powertrain technologies (ICE, HEV, PHEV, FCEV and BEV), fuels (fossil fuels - liquids and gas, liquid synthetic fuels, green and grey hydrogen, different sources of electricity) and vehicle segments (small cars, small family/compact cars, luxury/executive cars).

Emissions associated with vehicle production

Emissions related to car production were analysed separately for the six most important vehicle elements and accumulated according to the relevant technology:

- basic vehicle (ICE)
- electric engine (HEV, PHEV, BEV, FCEV)
- electric powertrain and battery pack/accumulator (HEV, PHEV, BEV)
- fuel cell and hydrogen storage (FCEV)

The emissions calculated in this way vary according to the underlying assumptions and are therefore shown in ranges representing the relevant sets of emission values.

The most powerful levers that can avoid greenhouse gas emissions, in all areas of production, are the energy mix used along the production chain, in particular the electricity generation mix, as well as the substitution of primary raw materials with raw materials that can be reused through recycling (secondary raw materials). Ranges of emission values were also determined for emissions from energy supply, as emissions associated with electricity, hydrogen and electricity-based synthetic fuels can vary significantly.

BEVs with 100% renewable electricity achieve the lowest emissions

The study comes to the conclusion that battery electric vehicles (BEVs) produce the lowest greenhouse gas emissions in all vehicle segments when using 100% renewable electricity. Emissions range between around 50 gCO₂eq (small cars) and 100 gCO₂eq (luxury/executive cars) per vehicle kilometre travelled. For BEVs running on the current electricity generation mix in Austria, these values increase to 86 gCO₂eq (small cars) and 157 gCO₂eq (luxury/executive cars) per vehicle kilometre travelled.

Low emissions similar to those from BEV using 100% renewable electricity can also be achieved with fuel cell electric vehicles (FCEV) if the required hydrogen is generated via electrolysis and 100% renewable electricity is used. However, they are less energy efficient, with 39 % and 83 % more energy input per kilometre (depending on the vehicle segment) than for pure electric vehicles such as BEVs.

This is important, especially against the background of carbon neutrality in the transport sector, which Austria aims to reach by 2040 (BKA, 2020), and the strong increase in the demand for renewable primary energy associated with it.

Cumulative energy demand for e-fuels is 9-12 times higher than for BEVs

Another aspect is that aiming for high efficiency in the use of renewable energy will limit the widespread use of electricity-based liquid synthetic fuels in the passenger car segment. Even when using 100% renewable electricity and CO₂ from ambient air to produce such e-fuels, cumulative energy consumption is 9 to 12 times higher than with BEVs, depending on the vehicle segment. For the use of e-fuels, one should therefore focus on modes of transport and vehicle categories where the use of battery electric powertrain or fuel cell-based systems is limited (e.g. air traffic).

In addition, the study shows that the technology of battery electric vehicles holds potential for GHG emission reductions over the life cycle. The greenhouse gas emissions resulting from the use of a BEV can be halved by downsizing and using smaller vehicles with a lower weight and smaller battery capacities. The quality of the electricity used is also crucial to reducing greenhouse gas emissions from cars.

Emissions from BEVs are 67% to 79% lower than from conventional cars

In summary, battery electric cars (BEVs) clearly have an advantage when it comes to tackling climate change, especially if they use electricity from renewable sources (e.g. according to Ecolabel 46): compared to purely fossil fuel powered cars and depending on the vehicle segment, the GHG emissions produced by BEVs are 67 % (luxury/estate cars) to 79 % (small cars) lower. Good results are also achieved for FCEVs, although their energy efficiency is significantly lower.

Figure 1: GHG emissions per vehicle kilometer in compact class II.

