

# Die Ökobilanz von schweren Nutzfahrzeugen und Bussen

Bewertung ausgesuchter Anwendungsfälle  
alternativer Antriebskonzepte hinsichtlich  
Reduktionspotential von CO<sub>2</sub>-Emissionen  
und Energieverbrauch

# DIE ÖKOBILANZ VON SCHWEREN NUTZFAHRZEUGEN UND BUSSEN

*Bewertung ausgesuchter Anwendungsfälle  
alternativer Antriebskonzepte hinsichtlich  
Reduktionspotenzial von CO<sub>2</sub>-Emissionen und  
Energieverbrauch*

Fritz David  
Heinfellner Holger  
Lambert Stefan

REPORT  
REP-0801

WIEN 2022

**Projektleitung** Holger Heinfellner

**AutorInnen** David Fritz  
Holger Heinfellner  
Stefan Lambert

**Lektorat** Ira Mollay

**Satz/Layout** Thomas Lössl

**Umschlagfoto** © zhu difeng - Fotolia.com

**Auftraggeber** Diese Publikation wurde erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK),  
Abteilung II/1 – Mobilitätswende

Gesamtumsetzung BMK: Robin Krutak

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

## Impressum

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

*Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form auf <https://www.umweltbundesamt.at/>.*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2022

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-625-8

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	5
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	7
<b>SUMMARY</b> .....	12
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	16
<b>2 FAHRZEUGSPEZIFIKATIONEN UND SYSTEMGRENZEN</b> .....	18
<b>2.1 Anwendungsfälle und Mengengerüste</b> .....	18
2.1.1 Mittelschwerer Lkw im urbanen Verteilerverkehr (MLV).....	20
2.1.2 Schwerer Lkw im Transitverkehr (SLT).....	22
2.1.3 Linienbus im Stadtverkehr (LSV).....	23
2.1.4 Regionalbus im Überlandverkehr (RÜV).....	25
<b>2.2 Relevante Komponenten der Fahrzeugherstellung</b> .....	27
2.2.1 Grundfahrzeug.....	28
2.2.2 Wasserstoffspeicher.....	30
2.2.3 Sonstige Fahrzeugkomponenten .....	30
2.2.4 Übersicht Fahrzeugherstellung.....	31
<b>2.3 Relevante Parameter der Energiebereitstellung</b> .....	32
2.3.1 Fossile Treibstoffe – Diesel, CNG, LNG.....	32
2.3.2 Biogene Treibstoffe – Biodiesel sowie LNG und CNG biogenen Ursprunges.....	34
2.3.3 Strom.....	34
2.3.4 Sonstige Parameter der Energiebereitstellung (Ad-Blue, Wasserstoff, strombasierte flüssige Kraftstoffe).....	35
2.3.5 Übersicht Energiebereitstellung.....	35
<b>3 ERGEBNISSE</b> .....	37
<b>3.1 Treibhausgase</b> .....	37
3.1.1 Gesamte Lebenszyklusemissionen .....	37
3.1.2 Spezifische Lebenszyklusemissionen .....	42
<b>3.2 Energieeinsatz</b> .....	46
<b>3.3 Exkurs flüssige synthetische Kraftstoffe</b> .....	47
<b>3.4 Exkurs Kraftstoffe biogenen Ursprungs</b> .....	49
<b>4 INFRASTRUKTUR</b> .....	51
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	53

<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>54</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>55</b>
<b>ANHANG A – EINGANGSPARAMETER .....</b>	<b>56</b>
<b>A.1: Mittelschwerer Lkw im urbanen Verteilerverkehr (MLV).....</b>	<b>56</b>
<b>A.2: Schwerer Lkw im Transitverkehr (SLT).....</b>	<b>57</b>
<b>A.3: Linienbus im Stadtverkehr (LSV).....</b>	<b>58</b>
<b>A.4: Regionalbus im Überlandverkehr (RÜV).....</b>	<b>59</b>
<b>ANHANG B.1 – ERGEBNISTABELLEN – GESAMTEMISSIONEN.....</b>	<b>60</b>
<b>B.1.1: Mittelschwerer Lkw im urbanen Verteilerverkehr (MLV) in kg CO<sub>2</sub>-eq.....</b>	<b>60</b>
<b>B.1.2: Schwerer Lkw im Transitverkehr (SLT) in kg CO<sub>2</sub>-eq .....</b>	<b>61</b>
<b>B.1.3: Linienbus im Stadtverkehr (LSV) in kg CO<sub>2</sub>-eq .....</b>	<b>62</b>
<b>B.1.4: Regionalbus im Überlandverkehr (RÜV) in kg CO<sub>2</sub>-eq .....</b>	<b>63</b>
<b>ANHANG B.2 – ERGEBNISTABELLEN – SPEZIFISCHE EMISSIONEN JE KILOMETER .....</b>	<b>64</b>
<b>B.2.1: Mittelschwerer Lkw im urbanen Verteilerverkehr (MLV) in g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm .....</b>	<b>64</b>
<b>B.2.2: Schwerer Lkw im Transitverkehr (SLT) in g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm .....</b>	<b>65</b>
<b>B.2.3: Linienbus im Stadtverkehr (LSV) in g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm.....</b>	<b>66</b>
<b>B.2.4: Regionalbus im Überlandverkehr (RÜV) in g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm .....</b>	<b>67</b>

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BEV .....	Battery Electric Vehicle (batterieelektrisches Fahrzeug)
CNG .....	Compressed Natural Gas (Erdgas)
EE.....	Erneuerbare Energie
LNG .....	Liquefied Natural Gas (verflüssigtes Erdgas)
CO <sub>2</sub> .....	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2</sub> -eq.....	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent: Die Wirkung treibhausgaswirksamer Emissionen wird über das sog. Global Warming Potential umgerechnet und in CO <sub>2</sub> -eq ausgedrückt
e-Fuel .....	Strombasierte Kraftstoffe für Verbrennungskraftmaschinen
ERS.....	Electric Road System, z. B. Stromversorgung mittels Oberleitung
FCEV .....	Fuel Cell Electric Vehicle (Fahrzeug mit H <sub>2</sub> -Brennstoffzellenantrieb)
Fkm.....	Ein Fahrzeugkilometer (Fkm) ist die Maßeinheit für die Bewegung eines Fahrzeuges über eine Entfernung von einem Kilometer
FTS.....	Fischer-Tropsch-Synthese
H <sub>2</sub> .....	Wasserstoff
ICE .....	Internal Combustion Engine (Fahrzeug mit Verbrennungsmotor)
KEA .....	Kumulierter Energieaufwand; stellt den gesamten Primärenergieaufwand von Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produkts dar
kg.....	Kilogramm
kWh .....	Kilowattstunde
LSV.....	Linienbus im Stadtverkehr
MLV .....	Mittelschwerer Lkw im urbanen Verteilerverkehr
OL.....	Oberleitung
ONC.....	Overnight Charging; das Fahrzeug lädt nach dem betrieblichen Einsatz, z. B. über Nacht

OPC .....	Opportunity Charging; das Fahrzeug lädt auch während des betrieblichen Einsatz, z. B. untertags (nach)
Pkm .....	Ein Personenkilometer (Pkm) ist die Maßeinheit für die Beförderung einer Person über eine Entfernung von einem Kilometer
PGM.....	Platinum Group Metals
Pkw.....	Personenkraftwagen
RÜV.....	Regionalbus im Überlandverkehr
SLT .....	Schwerer Lkw im Transitverkehr
THG .....	Treibhausgas
Tkm .....	Ein Tonnenkilometer (Tkm) ist eine Maßeinheit für den Güterverkehr, die für die Beförderung einer Tonne Güter über eine Entfernung von einem Kilometer steht

## 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 17 verschiedene Technologie- und Kraftstoffoptionen im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge und Busse analysiert. Dabei wurden unterschiedliche Antriebstechnologien (ICE, FCEV, BEV und Hybride daraus) und Kraftstoffe (fossil flüssig und gasförmig, synthetisch flüssig, „grüner“ Wasserstoff, unterschiedliche Stromquellen) geprüft. Aufgrund der hohen Anzahl möglicher Fahrzeugkonfigurationen in den untersuchten Fahrzeugkategorien wurden vier Anwendungsfälle definiert:

- Mittelschwerer Lkw (27 t) im urbanen Verteilerverkehr (MLV)
- Schwerer Lkw (40 t) im Transitverkehr (SLT)
- Linienbus (12 m) im Stadtverkehr (LSV)
- Regionalbus (12 m) im Überlandverkehr (RÜV)

### ***herstellungsbedingte Emissionen***

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

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

Die so ermittelten Emissionswerte unterlagen höheren Schwankungen in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Annahmen und wurden deshalb in den meisten Fällen in Bandbreiten ausgewiesen. Ergänzend zu den genannten Fahrzeugkomponenten wurden die Emissionen aus der Bereitstellung der erforderlichen Energie (von fossilen Kraftstoffen bis zu erneuerbarem Strom) bilanziert.

Der größte Hebel zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) liegt dabei im eingesetzten Energiemix entlang der Herstellungskette, insbesondere in der Zusammensetzung des eingesetzten Stromes. Entscheidend ist zudem der Ersatz von Primärrohstoffen durch Rohstoffe, die wiederverwertet werden (Sekundärrohstoffe). Für die Emissionen aus der Energiebereitstellung wurden Bandbreiten ermittelt, da die diesbezüglichen Emissionen bei Strom, Wasserstoff und strombasierten synthetischen Kraftstoffen teils deutlich variieren können.



**BEV (inkl. Oberleitung)  
mit 100 % Strom aus  
erneuerbaren Energien  
erreichen die  
niedrigsten Emissionen**

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass batterieelektrische bzw. (im Fall des SLT) via Oberleitung geladene Fahrzeuge bei Einsatz von 100 % Strom aus erneuerbaren Energiequellen in allen untersuchten Anwendungsfällen die niedrigsten THG-Emissionen verursachen. Bei den batterieelektrischen Fahrzeugen können die Emissionen zudem durch den Einsatz kleinerer Akkumulatoren in Kombination mit sogenanntem Opportunity Charging (also Zwischenladung auf der Strecke) reduziert werden. So beträgt die Bandbreite bei MLV zwischen 23 g CO<sub>2</sub>-eq je Tonnenkilometer und 29 g CO<sub>2</sub>-eq je Tonnenkilometer in Abhängigkeit der verbauten Batteriekapazität und rund 8 g CO<sub>2</sub>-eq je Tonnenkilometer bei einem SLT, der via Oberleitung mit erneuerbarem Strom versorgt wird.

Die Differenz ergibt sich daraus, dass SLT eine höhere durchschnittliche Beladung aufweisen als MLV, wodurch die Gesamtemissionen in Bezug auf die transportierte Tonne niedriger sind. Bei batterieelektrischen Bussen auf Basis erneuerbaren Stroms beträgt die Bandbreite 5 g CO<sub>2</sub>-eq je Personenkilometer für einen Linienbus mit kleiner Batterie und 12 g CO<sub>2</sub>-eq je Personenkilometer für einen Regionalbus mit großer Batterie. Ähnlich niedrige Werte können mit Fahrzeugen erreicht werden, die mit Wasserstoff-Brennstoffzelle betrieben werden (FCEV), sofern der erforderliche Wasserstoff via Elektrolyse und unter Einsatz von 100 % Strom aus erneuerbaren Energiequellen generiert wird.

**kumulierter  
Energieaufwand für  
e-Fuels um Faktor 6  
höher als bei BEV**

Die künftig zu erwartende hohe Nachfrage nach erneuerbarer Energie in allen Wirtschaftssektoren erfordert einen möglichst effizienten Energieeinsatz. Dieser Aspekt wird bei schweren Nutzfahrzeugen und Bussen den Einsatz strombasierter flüssiger synthetischer Kraftstoffen, sogenannter „e-Fuels“, limitieren. Zwar liegen die THG-Emissionen beim Einsatz derartiger Kraftstoffe nur geringfügig über jenen von Elektrofahrzeugen mit erneuerbarer Energie. Der kumulierte Energieaufwand ist jedoch je nach Anwendungsfall um den Faktor 5,5 bis 6,5 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).

Ähnliches gilt für Biokraftstoffe, die zwar eine höhere Energieeffizienz aufweisen als e-Fuels – der kumulierte Energieaufwand ist aber dennoch zwei- bis dreimal höher als bei BEV. Die begrenzte Verfügbarkeit der Rohstoffe für Biokraftstoffe ebenso wie die technischen und rechtlichen Restriktionen in Zusammenhang mit der erforderlichen Fahrzeugumrüstung bzw. -freigabe zum Betrieb mit reinen Biokraftstoffen stehen ebenfalls einem intensiven Einsatz entgegen.

**Infrastruktur  
außerhalb der  
Systemgrenzen**

Die Infrastruktur, die für den Einsatz der unterschiedlichen Technologie- und Kraftstoffoptionen erforderlich ist, reicht von LNG-Tankstellen über die Produktionsanlagen für synthetische Kraftstoffe bis hin zu Oberleitungssystemen auf dem hochrangigen Straßenverkehrsnetz. Die Bilanzierung der Infrastruktur liegt jedoch außerhalb der Systemgrenzen dieser Studie und wurde dementsprechend nicht durchgeführt.

**Elektrofahrzeuge verursachen bis zu 89 % weniger THG-Emissionen als konventionelle Fahrzeuge**

Zusammenfassend ergibt sich in allen untersuchten Anwendungsfällen ein klarer Klimavorteil für batterieelektrische Fahrzeuge (inkl. Oberleitungslösungen), vor allem, wenn für die Energiebereitstellung Strom aus erneuerbaren Quellen (etwa nach Umweltzeichen 46) herangezogen wird: Im Vergleich zu rein fossil angetriebenen Lkw und Bussen verursachen Elektrofahrzeuge über den gesamten Lebenszyklus je nach Größe des verbauten Akkumulators zwischen 82 % und 89 % weniger THG-Emissionen als dieselbetriebene Fahrzeuge bzw. zwischen 79 % und 87 % weniger THG-Emissionen als Fahrzeuge, die mit fossilem Erdgas (CNG) betrieben werden.

Abbildung A: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen je Tonnenkilometer, MLV.

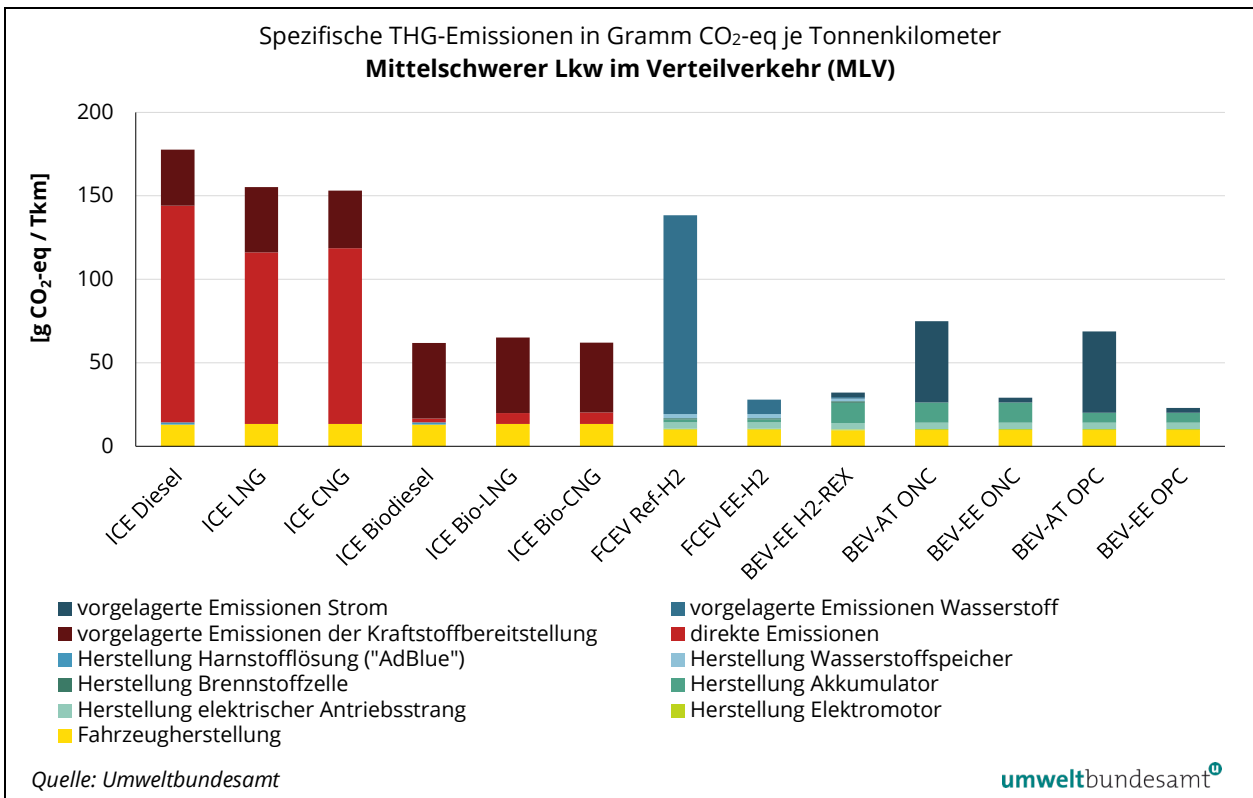


Abbildung B: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen je Tonnenkilometer, SLT.

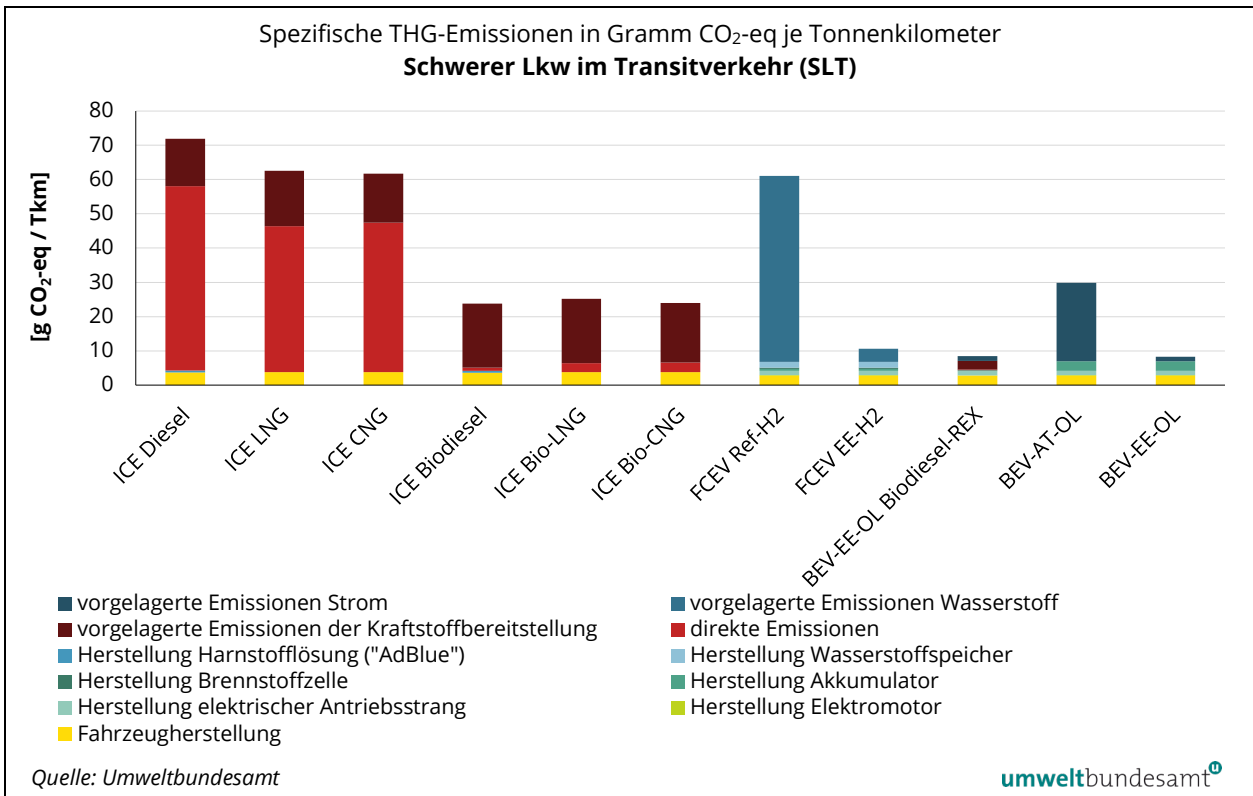


Abbildung C: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen je Personenkilometer, LSV.

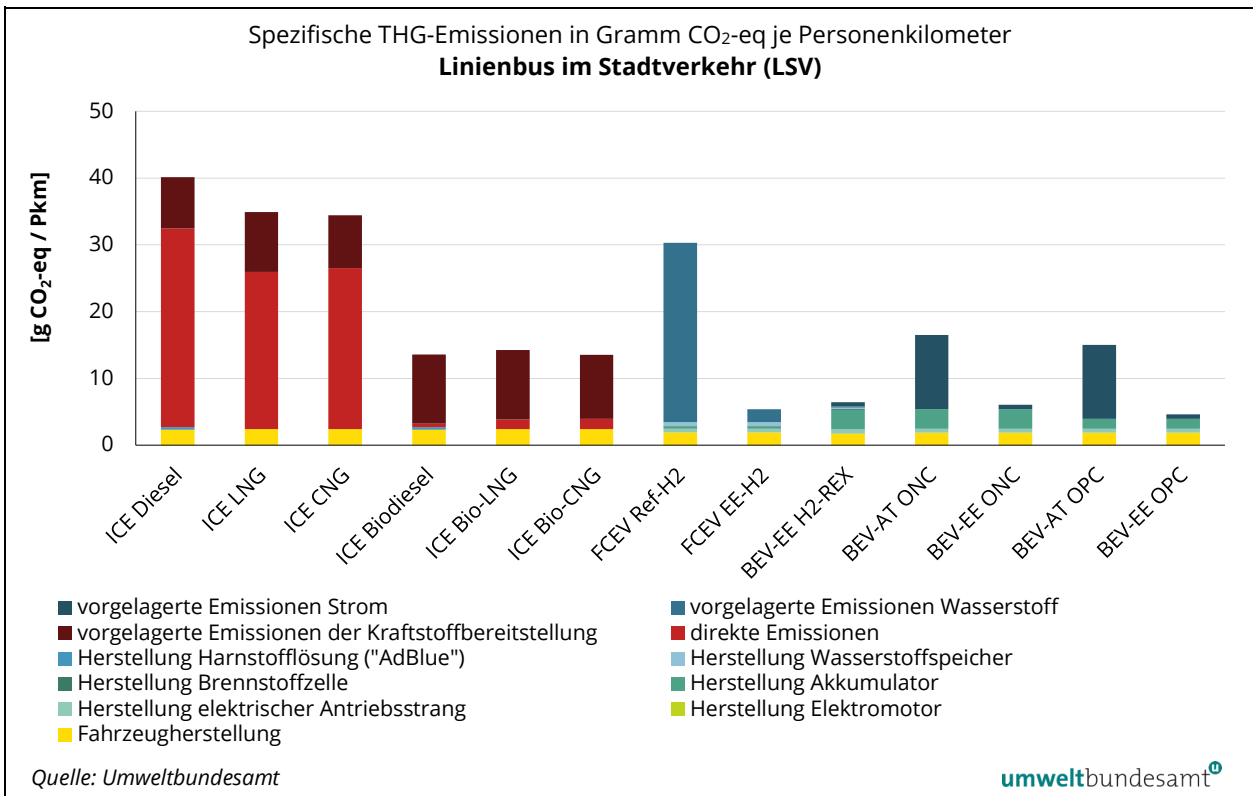
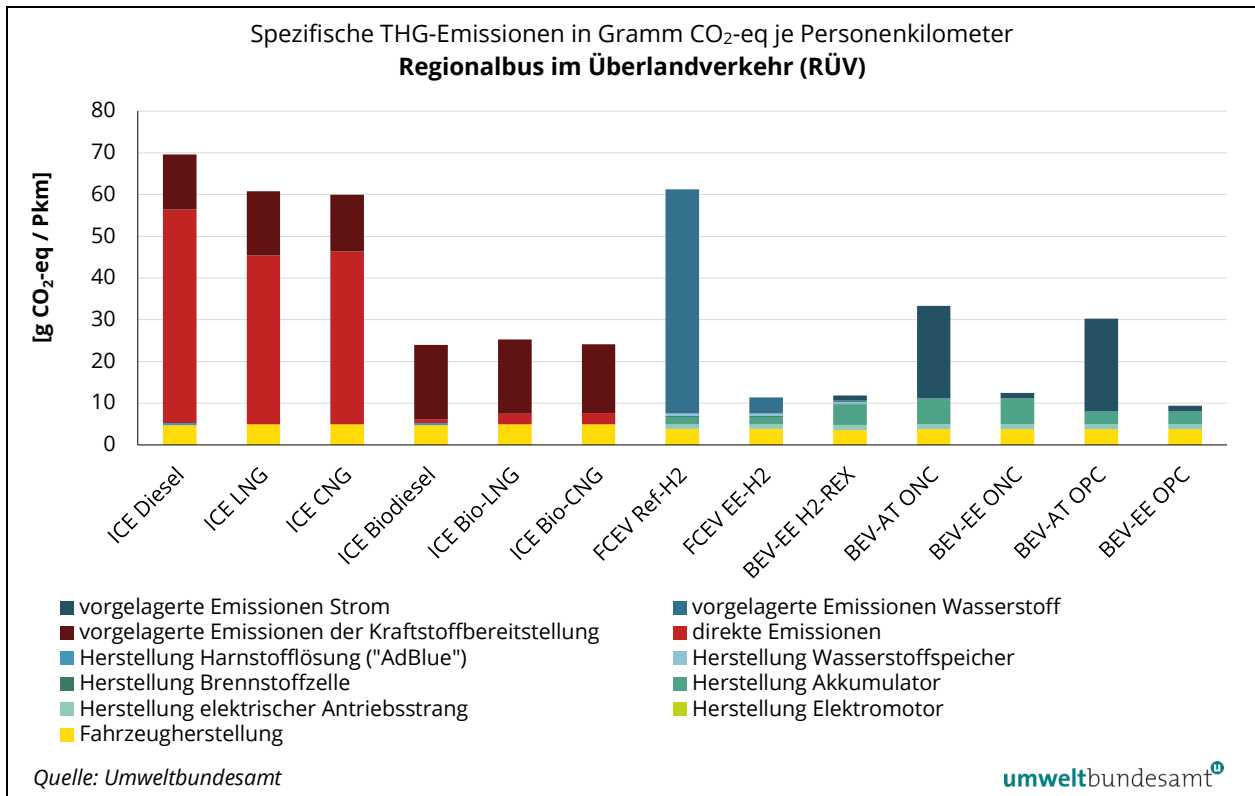


Abbildung D: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen je Personenkilometer, RÜV.



## 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 terms of climate 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***

In this life cycle analysis, 17 different technology and fuel options were analysed in the field of heavy commercial vehicles and buses. Different propulsion technologies (ICE, FCEV, BEV and hybrids thereof) and fuels (fossil liquid and gaseous, synthetic liquid, "green" hydrogen, different electricity sources) were considered. Due to the high number of possible vehicle configurations in the vehicle categories examined, four use cases were defined:

- Medium truck (27 tonnes) in distribution traffic (MLV)
- Heavy truck (40 tonnes) in transit (SLT)
- City bus (12 meters) (LSV)
- Regional Bus (12 meters) in intercity transport (RÜV)

### ***Production related emissions***

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 (BEV, FCEV)
- electric powertrain and battery pack/accumulator (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. In addition to the vehicle components mentioned, the emissions from the production of the required energy (from fossil fuels to renewable electricity) were examined.

The most powerful levers to 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.

**BEV (incl. catenary systems) with 100 % electricity from renewable energies achieve the lowest emissions**

The study comes to the conclusion that battery electric vehicles or (in the case of the SLT) vehicles charged via catenary line, when using 100% electricity from renewable energy sources, cause the lowest GHG emissions in all the use cases examined. In the case of battery electric vehicles, emissions can also be reduced by using smaller batteries in combination with so-called opportunity charging (i.e. intermediate charging on the way). The range for MLVs is between 23 g CO<sub>2</sub>-eq per tonne-kilometre and 29 g CO<sub>2</sub>-eq per tonne-kilometre, depending on the battery capacity installed, and around 8 g CO<sub>2</sub>-eq per tonne-kilometre for an SLT supplied with renewable electricity via an overhead line. The difference results from the fact that SLTs have a higher average load than MLVs, which means that the total emissions in relation to the transported tonne are lower. For battery-electric buses based on renewable electricity, the range is 5 g CO<sub>2</sub>-eq per passenger-kilometre for a regular bus with a small battery and 12 g CO<sub>2</sub>-eq per passenger-kilometre for a regional bus with a large battery. Similarly low values can be achieved with vehicles powered by hydrogen fuel cells (FCEVs), if the required hydrogen is generated via electrolysis and also using 100% electricity from renewable energy sources.

**Cumulative energy demand for e-fuels is 6 times higher than for BEVs**

The high demand for renewable energy that is expected in the future in all sectors of the economy requires the most efficient use of this energy. This aspect will also limit the use of electricity-based liquid synthetic fuels, so-called "e-fuels", in the vehicle categories of heavy commercial vehicles and buses. The GHG emissions from the use of such fuels are only slightly higher than those resulting from the use of electric vehicles with renewable energy. However, depending on the application, the cumulative energy input is 5.5 to 6.5 times higher than for BEVs. Therefore, the use of e-fuels should be focused on those transport modes and vehicle categories where battery-electric drives or fuel cell-based systems are limited in their use (e.g. air traffic).

The same applies to biofuels, which have a higher energy efficiency - but the cumulative energy input is 2 to 3 times higher than for BEVs. The limited availability of raw materials for biofuels, as well as technical and legal restrictions regarding the necessary vehicle conversion or approval for operation with pure biofuels, also stand in the way of intensive use.

**Infrastructure outside the scope of the study**

The infrastructure required for the deployment of the different technology and fuel options ranges from LNG refuelling stations and synthetic fuel production facilities to catenary line systems on the high-level road network. However, the analysis of the infrastructure lies outside the scope of this study and was accordingly not carried out.

**Electric vehicles cause up to 89% less GHG emissions than conventional vehicles**

Overall, there is a clear climate advantage for battery electric vehicles (incl. overhead line solutions) in all use cases examined, especially if electricity from renewable sources (e.g. according to eco-label 46) is used for the energy supply: Compared to purely fossil-fuelled heavy commercial vehicles and buses, electric vehicles cause between 82% and 89% less GHG emissions over the entire life cycle than diesel-powered vehicles, or between 79% and 87% less GHG emissions than vehicles powered by fossil natural gas (CNG), depending on the size of the battery installed.

Figure A: Comparison of specific GHG emissions per tonne-kilometre, medium truck

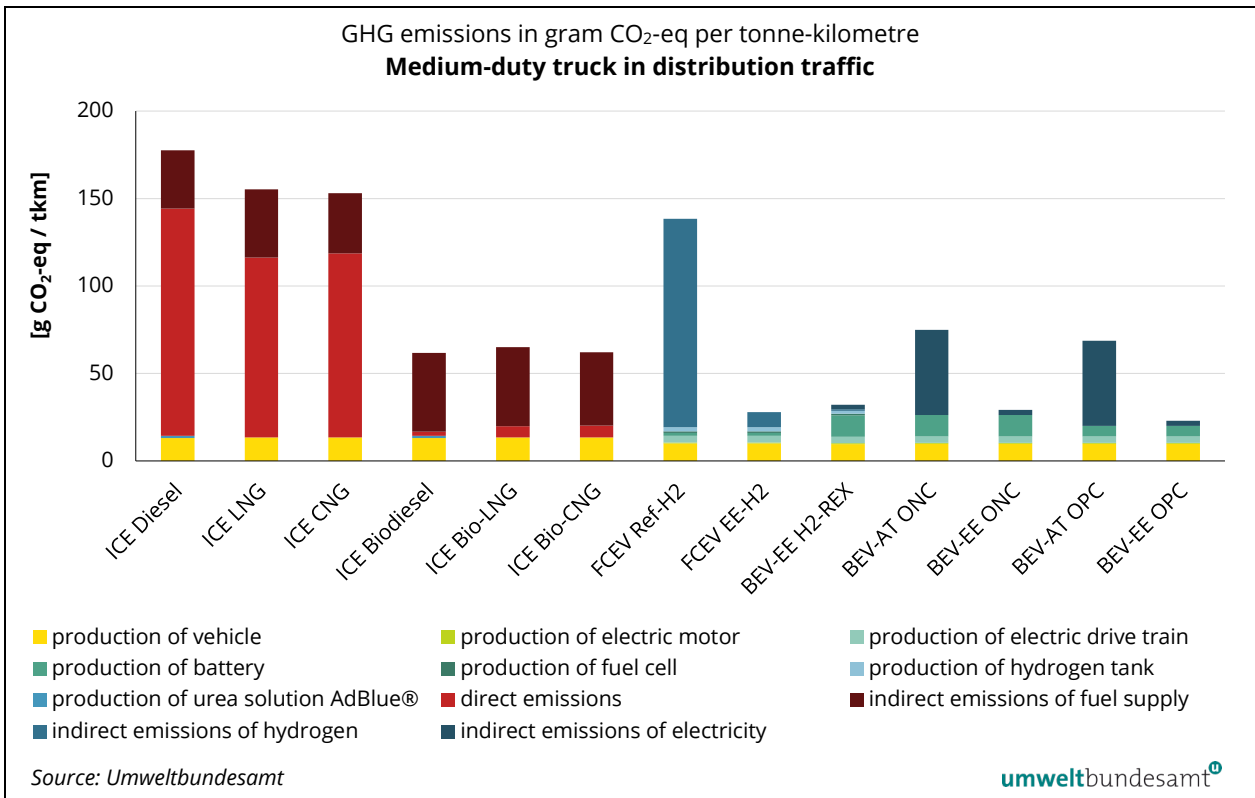


Figure B: Comparison of specific GHG emissions per tonne-kilometre, heavy truck

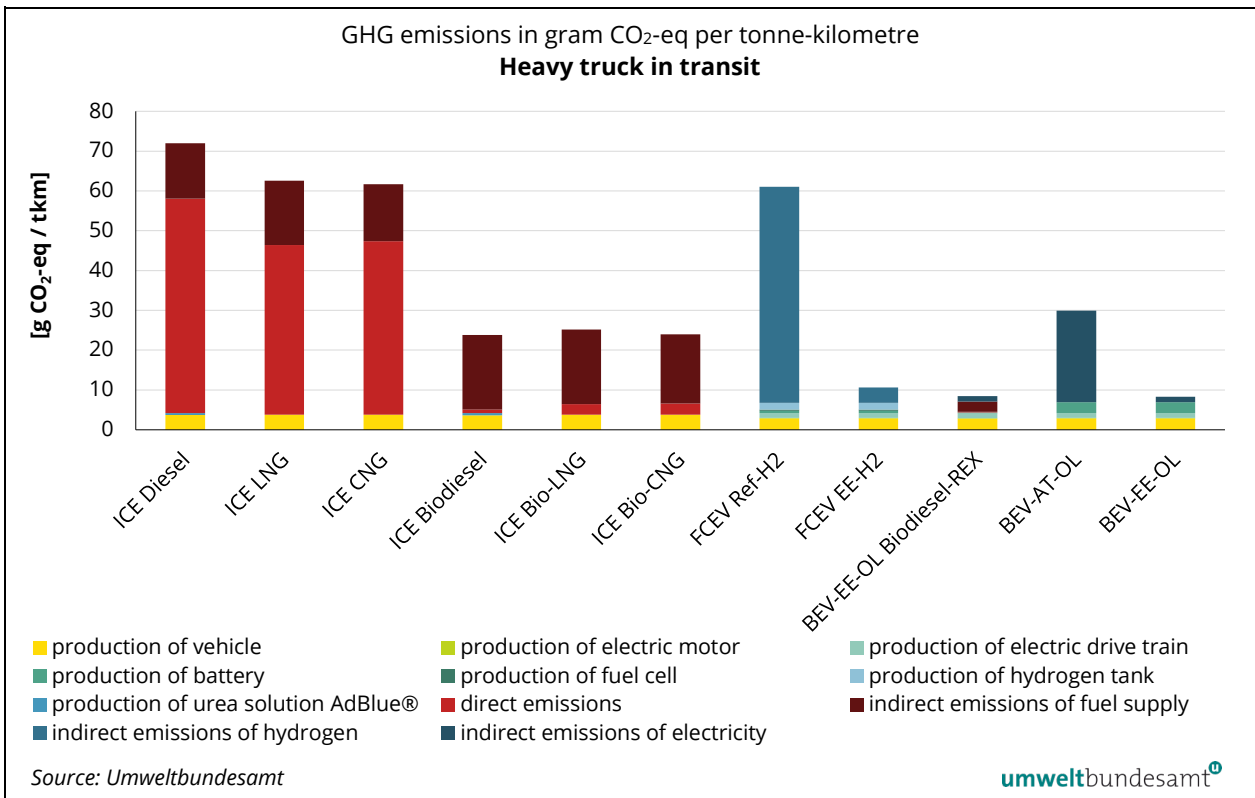


Figure C: Comparison of specific GHG emissions per passenger-kilometre, city bus

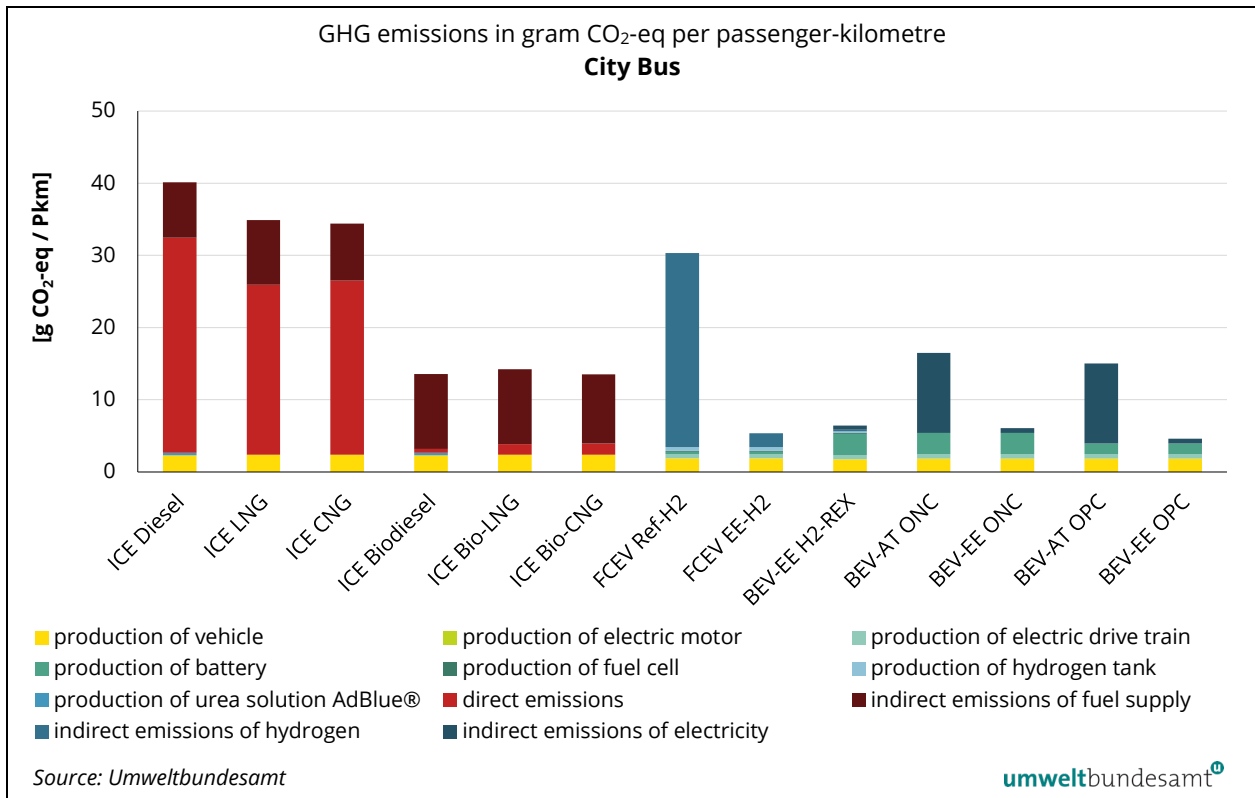
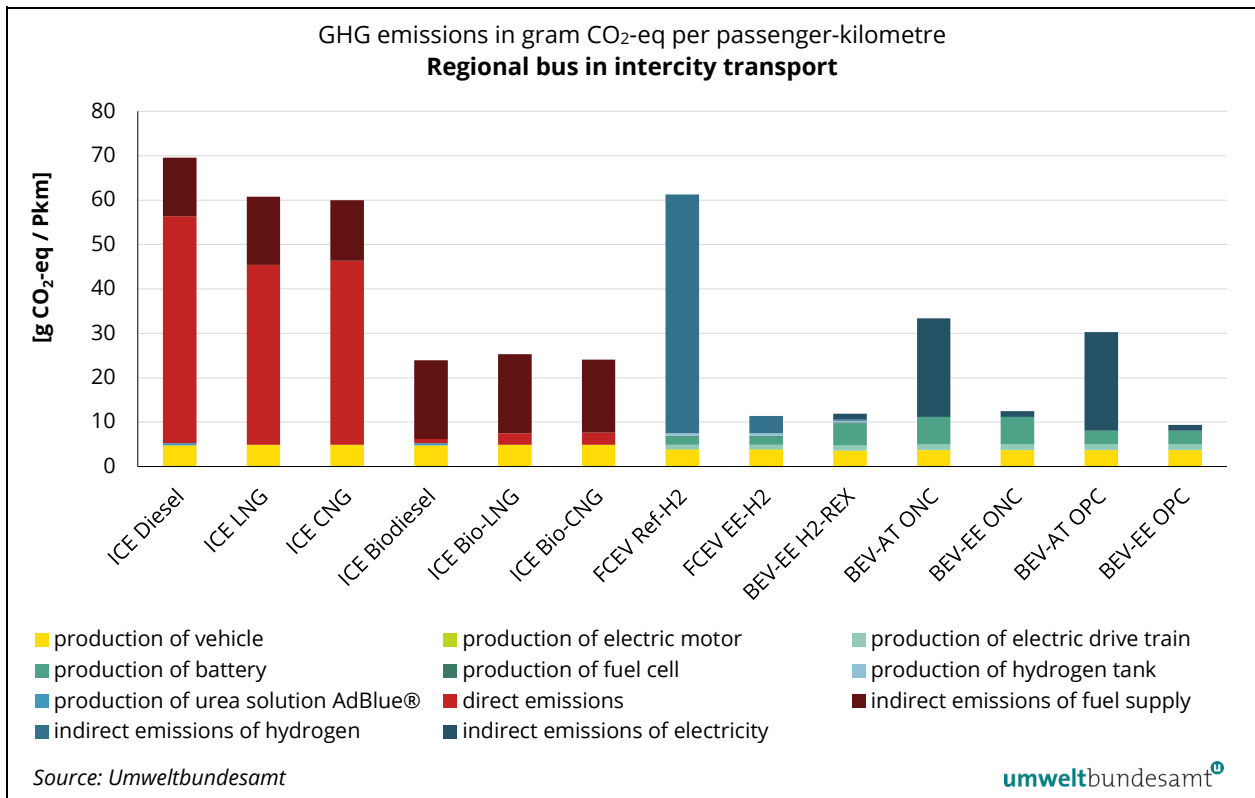


Figure D: Comparison of specific GHG emissions per passenger-kilometre, regional bus



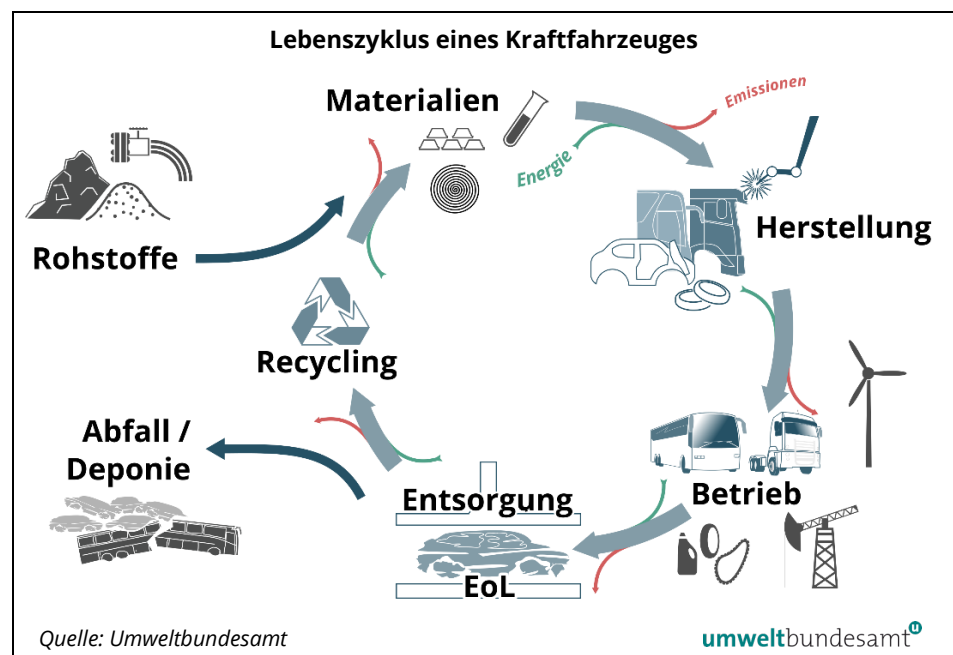


# 1 EINLEITUNG

**Hintergrund** Im Jahr 2019 wurden in Österreich 79,8 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-eq emittiert. Der Verkehrssektor ist davon für 30 % bzw. 24,0 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> verantwortlich. 31 % dieser Emissionen werden von Lastkraftwagen mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von mehr als 3,5 Tonnen sowie Linien- und Reisebussen emittiert. Ebenso wie die Gesamtemissionen aus dem Verkehr sind auch die Emissionen in diesen Fahrzeugkategorien 2019 zum vierten Mal in Folge im Vergleich zum jeweiligen Vorjahr gestiegen (Umweltbundesamt 2021a). Der Verkehrssektor zählt damit zu den Hauptverursachern von THG-Emissionen in Österreich und vor diesem Hintergrund ist es dringend erforderlich, die THG-Emissionen aus dem Verkehr deutlich zu reduzieren. Für eine gesamthafte Beurteilung der Klimarelevanz von eingesetzten Technologien ist es erforderlich, die Treibhausgas effekte inklusive vorgelagerter Emissionen zu betrachten.

**LCA für eine ganzheitliche Betrachtung** Die Frage nach der Klimaverträglichkeit von (alternativen) Antriebsformen und Kraftstoffen wird im Rahmen dieser Studie daher nicht nur im Sektor Verkehr in Österreich, also als Folge der direkten Emissionen aus dem Fahrbetrieb vor Ort, sondern auch hinsichtlich der vorgelagerten Emissionen in den Sektoren Energie und Industrie im In- und Ausland dargestellt. In der Lebenszyklusanalyse (oder Ökobilanz) werden die dort entstehenden vor- und nachgelagerten (bzw. indirekten) Emissionen ergänzend zu den direkten Emissionen aus dem Fahrbetrieb bilanziert. Vor- und nachgelagerte Emissionen entstehen dabei entlang der gesamten Wertschöpfungskette, also vom Abbau der Rohstoffe über die Fertigung und Montage des Fahrzeuges bis hin zum Recycling der einzelnen Fahrzeugkomponenten.

Abbildung 1:  
Lebenszyklus eines Kraftfahrzeuges.



**Vorarbeiten** Das Umweltbundesamt erstellt in regelmäßigen Abständen Lebenszyklusanalysen, um die ökologischen Auswirkungen von elektrischen Antrieben (BEV, FCEV) mit konventionellen (ICEV) und alternativen Antrieben (HEV, PHEV, Biomethanfahrzeuge etc.) zu vergleichen. In den bisherigen Arbeiten wurden Fahrzeugtechnologien und Kraftstoffe im Segment der Personenkraftwagen (Pkw) analysiert. Die letzte Veröffentlichung stammt aus April 2021 (Umweltbundesamt 2021b). Einige Informationen und Parameter aus der Studie „Die Ökobilanz von Personenkraftwagen, Bewertung ausgesuchter Anwendungsfälle alternativer Antriebskonzepte hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial und Energieeinsparung“ konnten jedoch unverändert für die gegenständliche Studie zur Analyse schwerer Nutzfahrzeuge und Busse übernommen werden. Beispielhaft genannt werden können die Stromzusammensetzungen unterschiedlicher Produktionsländer, die Materialzusammensetzungen unterschiedlicher Fahrzeugkomponenten oder Energieeinsätze zur Energiebereitstellung. Andere Aspekte wurden für die gegenständliche Studie zu schweren Nutzfahrzeugen und Bussen neu recherchiert bzw. berechnet. Details können dem Kapitel 2.2 entnommen werden.

**neue Studienelemente** In dieser Studie werden die direkten und indirekten THG-Emissionen für unterschiedliche Antriebstechnologien und alternative Kraftstoffe, differenziert nach Fahrzeugkategorie und am Beispiel ausgesuchter Anwendungsfälle, analysiert und dargestellt. Ein besonderer Fokus wird dabei auf die Emissionen als Folge der Herstellung insbesondere von Karosserie, Akku, (E-)Motor sowie Brennstoffzelle und Wasserstoffspeicher gelegt. Eine umfassende Untersuchung der Klimawirkung erfolgt durch Variation wesentlicher Parameter der Herstellungskette mittels Sensitivitätsanalyse.

## 2 FAHRZEUGSPEZIFIKATIONEN UND SYSTEMGRENZEN

### 2.1 Anwendungsfälle und Mengengerüste

Bei der Ökobilanz von Personenkraftwagen erfolgte eine Aufteilung in Fahrzeugsegmente, vom Kleinwagen bis zum Fahrzeug der Oberklasse, wobei vorrangig das Fahrzeuggewicht, der Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch und – im Falle des batterieelektrischen Fahrzeuges – die Kapazität und damit das Gewicht des Akkus unterschieden wurden (Umweltbundesamt, 2021b).

#### **große Bandbreite bei Fahrzeugen**

In den Fahrzeugkategorien der schweren Nutzfahrzeuge und Busse zeigte sich eine wesentlich größere Bandbreite möglicher Fahrzeugkonfigurationen: Schwere Nutzfahrzeuge variieren zwischen einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von mehr als 3,5 Tonnen und standardmäßig 40 Tonnen und unterscheiden sich maßgeblich im Anwendungszweck und damit unter anderem dem Fahrzeugaufbau oder der zu erbringenden Tagesfahrleistung. Auch bei Bussen ergeben sich beispielsweise durch die Unterscheidung in Stadtbusse und Regionalbusse unterschiedliche Anwendungsfälle, die wiederum unterschiedliche Fahrzeugspezifikationen zur Folge haben.

Allgemein erfolgt die Konfiguration eines schweren Nutzfahrzeuges oder eines Busses, insbesondere mit alternativer Antriebstechnologie, stets vor dem Hintergrund eines konkreten Anwendungsfalles, der die Bauart des Fahrzeuges oder bedeutsame Fahrzeugcharakteristika, wie die mögliche Zuladung oder die maximale Reichweite, determiniert. Beim batterieelektrischen Stadtbus eCitaro von Mercedes-Benz kann in der Konfiguration beispielsweise zwischen zwei Fahrzeuglängen mit zwei bis vier Türen, zwei Batterietechnologien (Lithium-Ionen-Batterie und Festkörperbatterien) und sechs bis zwölf Batteriemodulen gewählt werden (Mercedes Benz, 2021).

#### **Abgrenzung von vier Fahrzeugen**

Wie dieses Beispiel zeigt, ist es in den Kategorien der schweren Nutzfahrzeuge und Busse nicht möglich, mit einer Studie zur Lebenszyklusanalyse alle Fahrzeugkategorien ganzheitlich abzudecken. Aus diesem Grund werden nachfolgend exemplarisch vier Fahrzeuge (jeweils zwei Lastkraftwagen und zwei Busse) beschrieben, die in Kombination mit unterschiedlichen Antriebstechnologien und Kraftstoffen hinsichtlich ihrer Lebenszyklusemissionen und ihrer Energieeffizienz untersucht wurden. Die Parametrisierung erfolgte dabei in Abhängigkeit des definierten Anwendungsfalles unter Berücksichtigung verfügbarer Informationen zur standardmäßigen Ausstattung des jeweiligen Fahrzeuges. Die Eckdaten zu den jeweiligen Fahrzeugen sind in den nachfolgenden Unterkapiteln angeführt. Eine detaillierte Auflistung sämtlicher Fahrzeugspezifika zu allen vier Fahrzeugen in Abhängigkeit des jeweiligen Anwendungsfalles sowie unterteilt nach untersuchten Technologie- bzw. Kraftstoffoptionen findet sich in **Anhang A** dieses Berichtes.

Jedes der vier untersuchten Fahrzeuge wurde in unterschiedlichen technologischen Ausführungen bzw. unter Einsatz unterschiedlicher Kraftstoffe analysiert.

Die nachfolgenden Optionen **a) bis i)** wurden dabei für **alle Fahrzeuge** gleichermaßen untersucht. Bei den (mehrheitlich) batterieelektrischen Optionen **j) bis q)** wurden jene Optionen **gewählt**, die **für den jeweiligen Anwendungsfall** sinnvoll bzw. praktikabel scheinen. Ergänzende Informationen dazu finden sich in den nachfolgenden Kapiteln 2.1.1 bis 2.1.4.

**17 Technologie- bzw. Kraftstoffoptionen**

**Verbrennungsmotor mit flüssigem Kraftstoff:**

- a. Verbrennungskraftmaschine mit handelsüblichem Dieselmotorkraftstoff mit rund 7 % Biodieselbeimischung (B7) (**ICE Diesel**)
- b. Verbrennungskraftmaschine mit 100 % Biodiesel (**ICE Biodiesel**)
- c. Verbrennungskraftmaschine mit synthetischem Diesel aus erneuerbarer Energie und atmosphärischem CO<sub>2</sub> (**ICE e-Diesel**)

**Verbrennungsmotor mit gasförmigem Kraftstoff:**

- d. Verbrennungskraftmaschine (High Pressure Direct Injection) mit fossilem Flüssiggas (**ICE LNG**)
- e. Verbrennungskraftmaschine (High Pressure Direct Injection) mit 100 % verflüssigtem Biomethan (siehe KVO §2 Z. 13 c)) (**ICE Bio-LNG**)
- f. Verbrennungskraftmaschine (High Pressure Direct Injection) mit fossilem Gas (**ICE CNG**)
- g. Verbrennungskraftmaschine (High Pressure Direct Injection) mit 100 % Biomethan (siehe KVO §2 Z. 13 c)) (**ICE Bio-CNG**)

**Wasserstoff-Brennstoffzelle:**

- h. Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb mit Wasserstoff aus Erdgasreforming (**FCEV Ref-H<sub>2</sub>**)
- i. Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb mit Wasserstoff aus Elektrolyse mit Strom aus erneuerbarer Energie (**FCEV EE-H<sub>2</sub>**)

**Batterieelektromobilität mit Range Extender:**

- j. Betrieb über Oberleitung (oder ähnliche Systeme, wie z. B. Stromschienen) mit Strom aus erneuerbarer Energie und Dieselgenerator (Biodiesel) zur Reichweitenverlängerung (**BEV-EE-OL Biodiesel-REX**)
- k. Batterieelektroantrieb mit Strom aus erneuerbarer Energie und Wasserstoff-Brennstoffzelle mit Wasserstoff aus erneuerbarer Energie zur Reichweitenverlängerung (**BEV-EE H<sub>2</sub>-REX**)

**Batterieelektromobilität ohne Range Extender:**

- l. Batterieelektroantrieb mit Strom aus erneuerbarer Energie und Nachtladung – Overnight Charging (**BEV-EE ONC**)
- m. Batterieelektroantrieb mit österreichischem Strommix und Nachtladung – Overnight Charging (**BEV-AT ONC**)
- n. batterieelektroantrieb mit Strom aus erneuerbarer Energie und einmaliger Zwischenladung während Betrieb – Opportunity Charging (**BEV-EE OPC**)
- o. batterieelektroantrieb mit österreichischem Strommix und einmaliger Zwischenladung während Betrieb – Opportunity Charging (**BEV-AT OPC**)

### **Elektromobilität auf Basis Oberleitung:**

- p. Elektroantrieb mit Strom aus erneuerbarer Energie über Oberleitung (oder ähnliche Systeme, wie z. B. Stromschienen) mit Batterie für die „letzte Meile“ (**BEV-EE OL**)
- q. Elektroantrieb mit österreichischem Strommix über Oberleitung (oder ähnliche Systeme, wie z. B. Stromschienen) mit Batterie für die „letzte Meile“ (**BEV-AT OL**)

Im Anwendungsfall „Schwerer Lkw im Transitverkehr“ (vgl. Kapitel 2.1.2) erfolgt die permanente Ladung mittels Oberleitung am hochrangigen Straßennetz.

### **2.1.1 Mittelschwerer Lkw im urbanen Verteilerverkehr (MLV)**

Verteilerverkehr findet in der Transportlogistik zwischen dem Verteilpunkt und einem oder mehreren Empfangspunkten statt. Ein klassischer Anwendungsfall ist die Belieferung von Filialen des Lebensmitteleinzelhandels (Empfangspunkte), ausgehend von einem Warenlager. In diesem Fall kommen oft mittelschwere Lastkraftwagen mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von 12 Tonnen und zwei oder drei Achsen zum Einsatz. Im suburbanen und ländlichen Raum, wo Filialen mit vergleichsweise großen filialeigenen Lagerflächen beliefert werden, verkehren diese Lastkraftwagen oft mit einem zusätzlichen Anhänger. Im hier analysierten Anwendungsfall werden Filialen im urbanen Raum beliefert, wo auch aufgrund der beengten Platzverhältnisse meist Solo-Lastkraftwagen (ohne Anhänger) eingesetzt werden.

Abbildung 2:  
Symbolbild eines  
mittelschweren Lkw im  
Verteilerverkehr.



© Daimler Truck

umweltbundesamt<sup>®</sup>

*Tabelle 1:  
Allgemeine Spezifikationen  
des untersuchten  
Solo-Lkw.*

Zulässiges Gesamtgewicht [t]	27
Achszahl	3
Aufbau	Koffer
Durchschnittliche Beladung [t]	5
Jahresfahrleistung [km]	50.000
Lebensdauer [Jahre]	12
<b>Gesicherte Tagesreichweite bei Optionen mit Elektromotor [km]</b>	
FCEV	500
BEV H <sub>2</sub> -REX	150 + 50
BEV ONC	150
BEV OPC	75

Die Auswahl der untersuchten (mehrheitlich) batterieelektrischen Optionen für den Anwendungsfall „Mittelschwerer Lkw im urbanen Verteilerverkehr“ kann Tabelle 2 entnommen werden.

*Tabelle 2:  
Analysierte (mehrheitlich)  
batterieelektrische  
Optionen, MLV*

	BEV-EE-OL Biodiesel-REX	
j)	Batterieelektrofahzeug, erneuerbarer Strom über Oberleitung, Range Extender mit Biodiesel	✘
	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	
k)	Batterieelektrofahzeug, erneuerbarer Strom, Range Extender mit „grünem“ Wasserstoff	✓
	BEV-EE ONC	
l)	Batterieelektrofahzeug, erneuerbarer Strom, Nachtladung	✓
	BEV-AT ONC	
m)	Batterieelektrofahzeug, österreichischer Strommix, Nachtladung	✓
	BEV-EE OPC	
n)	Batterieelektrofahzeug, erneuerbarer Strom, einmalige Zwischenladung untertags	✓
	BEV-AT OPC	
o)	Batterieelektrofahzeug, österreichischer Strommix, einmalige Zwischenladung untertags	✓
	BEV-EE OL	
p)	Batterieelektrofahzeug, erneuerbarer Strom über Oberleitung	✘
	BEV-AT OL	
q)	Batterieelektrofahzeug, österreichischer Strommix über Oberleitung	✘

## 2.1.2 Schwerer Lkw im Transitverkehr (SLT)

Unter Transitverkehr wird allgemein Güterverkehr durch jene Staaten verstanden, die weder Ausgangsort noch Bestimmungsort des Transports sind. Der straßenseitige Güter-Transitverkehr ist geprägt von langen Distanzen mit hoher Zuladung und erfolgt hauptsächlich auf dem hochrangigen Straßenverkehrsnetz, also auf Autobahnen und Schnellstraßen. Zum Einsatz kommt in den meisten Fällen eine Sattelzugmaschine mit Sattelaufleger und einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 40 Tonnen.

Abbildung 3:  
Symbolbild eines  
schweren Lkw im  
Transitverkehr.



Tabelle 3:  
Allgemeine Spezifikationen  
des untersuchten  
Sattelzuges.

Zulässiges Gesamtgewicht [t]	40
Achszahl	5
Aufbau	Plane
Durchschnittliche Beladung [t]	15
Jahresfahrleistung [km]	100.000
Lebensdauer [Jahre]	8
<b>Gesicherte Tagesreichweite bei Optionen mit Elektromotor [km]</b>	
FCEV	1.000
BEV OL Diesel-REX	unbegrenzt (OL) + 100 (Diesel)
BEV OL	unbegrenzt (OL) + 100 (Batterie)

Die Auswahl der untersuchten (mehrheitlich) batterieelektrischen Optionen für den Anwendungsfall „Schwerer Lkw im Transitverkehr“ kann Tabelle 4 entnommen werden.

*Tabelle 4:  
Analysierte (mehrheitlich) batterieelektrische Optionen, SLT.*

	BEV-EE-OL Biodiesel-REX	
j)	Batterieelektrofahrzeug, erneuerbarer Strom über Oberleitung, Range Extender mit Biodiesel	✓
	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	
k)	Batterieelektrofahrzeug, erneuerbarer Strom, Range Extender mit „grünem“ Wasserstoff	✗
	BEV-EE ONC	
l)	Batterieelektrofahrzeug, erneuerbarer Strom, Nachtladung	✗
	BEV-AT ONC	
m)	Batterieelektrofahrzeug, österreichischer Strommix, Nachtladung	✗
	BEV-EE OPC	
n)	Batterieelektrofahrzeug, erneuerbarer Strom, einmalige Zwischenladung untertags	✗
	BEV-AT OPC	
o)	Batterieelektrofahrzeug, österreichischer Strommix, einmalige Zwischenladung untertags	✗
	BEV-EE OL	
p)	Batterieelektrofahrzeug, erneuerbarer Strom über Oberleitung	✓
	BEV-AT OL	
q)	Batterieelektrofahrzeug, österreichischer Strommix über Oberleitung	✓

### 2.1.3 Linienbus im Stadtverkehr (LSV)

Stadtbusse bilden in vielen mittelgroßen Städten das Rückgrat des öffentlichen Personenverkehrs, und auch in Großstädten spielen sie gemeinsam mit U-Bahn und Straßenbahn eine zentrale Rolle im öffentlichen Personennahverkehr. Stadtbusse unterscheiden sich vorrangig in der Länge und Höhe des Fahrzeuges (Doppelstockbus) und damit in der Beförderungskapazität. Einstöckige Busse werden als Niederflurfahrzeuge mit Fahrzeuglängen zwischen 8 und 20 Metern eingesetzt, wobei es sich ab 18 Metern Fahrzeuglänge um Gelenkbusse handelt. Der städtische Fahrbetrieb ist durch die vergleichsweise hohe Zahl an Haltestellen, die zahlreichen Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge und die niedrige durchschnittliche bzw. maximal erlaubte Fahrgeschwindigkeit (i.d.R. 50 km/h im Ortsgebiet) geprägt.



Abbildung 4:  
Symbolbild eines Linienbusses im Stadtverkehr.



Tabelle 5:  
Allgemeine Spezifikationen des untersuchten Stadtbusses.

Zulässiges Gesamtgewicht [t]	19
Fahrzeuglänge [m]	12
Achszahl	2
Fahrgastkapazität [Personen]	100
Durchschnittliche Auslastung [-]	30 %
Jahresfahrleistung [km]	55.000
Lebensdauer [Jahre]	12
<b>Gesicherte Tagesreichweite bei Optionen mit Elektromotor [km]</b>	
FCEV	500
BEV H <sub>2</sub> -REX	150 + 50
BEV ONC	150
BEV OPC	75

Die Auswahl der untersuchten (mehrheitlich) batterieelektrischen Optionen für den Anwendungsfall „Linienbus im Stadtverkehr“ kann Tabelle 6 entnommen werden.

Tabelle 6:  
Analysierte (mehrheitlich) batterieelektrische Optionen, LSV.

j)	BEV-EE-OL Biodiesel-REX Batterieelektrofahrzeug, erneuerbarer Strom über Oberleitung, Range Extender mit Biodiesel	✘
k)	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX Batterieelektrofahrzeug, erneuerbarer Strom, Range Extender mit „grünem“ Wasserstoff	✓

l)	BEV-EE ONC Batterieelektrofahrzeug, erneuerbarer Strom, Nachtladung	✓
m)	BEV-AT ONC Batterieelektrofahrzeug, österreichischer Strommix, Nachtladung	✓
n)	BEV-EE OPC Batterieelektrofahrzeug, erneuerbarer Strom, einmalige Zwischenladung untertags	✓
o)	BEV-AT OPC Batterieelektrofahrzeug, österreichischer Strommix, einmalige Zwischenladung untertags	✓
p)	BEV-EE OL Batterieelektrofahrzeug, erneuerbarer Strom über Oberleitung	✗
q)	BEV-AT OL Batterieelektrofahrzeug, österreichischer Strommix über Oberleitung	✗

### 2.1.4 Regionalbus im Überlandverkehr (RÜV)

Im dezentralen ländlichen Raum stellen Regionalbusse oftmals das einzige Angebot des öffentlichen Personenverkehrs dar. Ähnlich wie bei Stadtbussen werden auch im Überlandverkehr unterschiedliche Fahrzeuglängen und damit unterschiedliche Beförderungskapazitäten eingesetzt: Bei Regionalbussen reicht die Bandbreite der Fahrzeuglänge von 10 bis 15 Metern. Die Beförderungskapazitäten sind dabei im Vergleich zu Stadtbussen geringer, da im Regionalbus deutlich mehr Sitzplätze angeboten werden.

Abbildung 5:  
Symbolbild eines  
Regionalbusses im  
Überlandverkehr.



Tabelle 7:  
Allgemeine Spezifikationen  
des untersuchten  
Regionalbusses.

Zulässiges Gesamtgewicht [t]	19
Fahrzeuglänge [m]	12
Achszahl	2
Fahrgastkapazität [Personen]	75
Auslastung [-]	20 %
Jahresfahrleistung [km]	65.000
Lebensdauer [Jahre]	12
<b>Gesicherte Tagesreichweite bei Optionen mit Elektromotor [km]</b>	
FCEV	500
BEV H <sub>2</sub> -REX	200 + 50
BEV ONC	200
BEV OPC	100

Die Auswahl der untersuchten (mehrheitlich) batterieelektrischen Optionen für den Anwendungsfall „Regionalbus im Überlandverkehr“ kann Tabelle 8 entnommen werden.

Tabelle 8:  
Analysierte (mehrheitlich)  
batterieelektrische  
Optionen, RÜV.

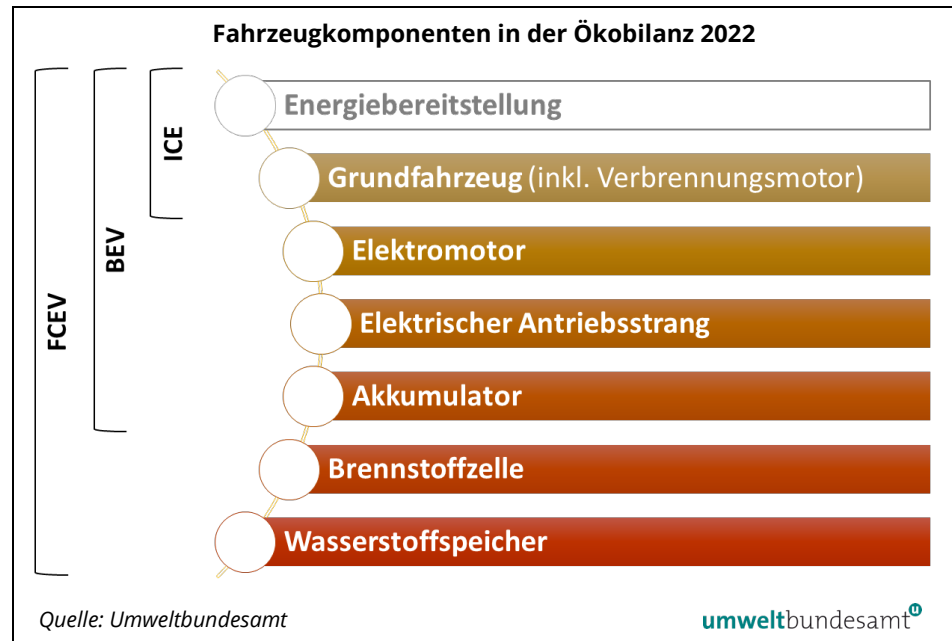
	BEV-EE-OL Biodiesel-REX	
j)	Batterieelektrofahrfahrzeug, erneuerbarer Strom über Oberleitung, Range Extender mit Biodiesel	✘
	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	
k)	Batterieelektrofahrfahrzeug, erneuerbarer Strom, Range Extender mit „grünem“ Wasserstoff	✓
	BEV-EE ONC	
l)	Batterieelektrofahrfahrzeug, erneuerbarer Strom, Nachtladung	✓
	BEV-AT ONC	
m)	Batterieelektrofahrfahrzeug, österreichischer Strommix, Nachtladung	✓
	BEV-EE OPC	
n)	Batterieelektrofahrfahrzeug, erneuerbarer Strom, einmalige Zwischenladung untertags	✓
	BEV-AT OPC	
o)	Batterieelektrofahrfahrzeug, österreichischer Strommix, einmalige Zwischenladung untertags	✓
	BEV-EE OL	
p)	Batterieelektrofahrfahrzeug, erneuerbarer Strom über Oberleitung	✘
	BEV-AT OL	
q)	Batterieelektrofahrfahrzeug, österreichischer Strommix über Oberleitung	✘

## 2.2 Relevante Komponenten der Fahrzeugherstellung

Für die Berechnung der THG-Emissionen aus der Fahrzeugherstellung sind je nach Antriebstechnologie folgende Parameter von besonderer Bedeutung (vgl. Umweltbundesamt, 2021b), wobei die Analyse dieser Parameter getrennt für jedes der vier definierten Fahrzeugen erfolgt:

- **Grundfahrzeug** in kg: Hier wird das Fahrzeuggewicht angegeben, wobei bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (ICE) das gesamte Fahrzeug (inkl. Motor und Antriebsstrang, Karosserie, Reifen, Elektronik, Aufbau, Interieur, etc.) analysiert wird. Bei (teilweise) alternativ angetriebenen Fahrzeugen sind die entsprechenden Antriebselemente (Elektromotor und Akku bzw. Brennstoffzelle und Wasserstoffspeicher) nicht im Grundfahrzeug berücksichtigt, sondern werden in den nachfolgenden Parametern bilanziert.
- **E-Motor** in kW: Die Leistung des Elektromotors ist abhängig von den Anforderungen im jeweiligen Einsatzbereich (Güterverkehr mit Lkw versus Personentransport mit Bussen und steigt allgemein mit dem höchstzulässigen Gesamtgewicht des jeweiligen Fahrzeuges.
- **Elektrischer Antriebsstrang** in kg: Hier werden die Bestandteile des Antriebsstranges von elektrisch betriebenen Fahrzeugen zusammengefasst. Dazu zählen Konverter, Ladekabel inkl. Ladegerät, Inverter und Stromverteiler.
- **Akku** in kWh: Es wird ein Lithium-Ionen-Akku mit Metalloxid-Kathode betrachtet. Dazu wurde die Annahme getroffen, dass die Herstellung der Batterie in Asien erfolgt, es wird ein fiktiver Strommix (Mischung der Stromproduktionsversorgung der Länder China, Japan und Südkorea) herangezogen.
- **Brennstoffzelle** in kW: Die Leistung der Brennstoffzelle ist abhängig von den Anforderungen im jeweiligen Einsatzbereich. Als Katalysator wird eine Protonenaustauschmembran mit Platin als wichtigster Vertreter der Gruppe der Platinmetalle (PGM) herangezogen.
- **Wasserstoffspeicher** in kg: Es wird ein 700 bar Typ 3 Speicher mit durch Kohlefasern verstärkten Aluminiummantel bilanziert.

Abbildung 6:  
Wichtigste Elemente zur  
Bilanzierung der  
herstellungsbedingten  
Emissionen.



Die einzelnen treibhausgasrelevanten Teile bzw. Parameter der Fahrzeuge sowie die Antriebsenergie werden im Folgenden detailliert beschrieben. Dabei werden die jeweils eingesetzten Materialien und ihre Herstellungsketten sowie der Energieeinsatz in Form von Strom und Prozesswärme bzw. Dampf bei der Montage der Bauteile berücksichtigt.

### 2.2.1 Grundfahrzeug

Der Parameter Grundfahrzeug umfasst insbesondere das Chassis, die Karosserie, die Bereifung, das Interieur (z. B. Sitze), den Kofferaufbau (MLV) bzw. Sattelaufleger (SLT) und im Falle eines ICE auch den Motor mit allen zugehörigen Elementen sowie der Abgasanlage.

#### **Unterschiede in der Materialzusammensetzung der Fahrzeuge**

Die Auflistung einzelner Materialien je Lkw variiert deutlich und in Abhängigkeit des Anwendungsfalles. Eine genaue Auflistung ist daher mit einigen Unsicherheiten verbunden. Wesentlich ist jedoch, dass in jedem Anwendungsfall Stahl aufgrund des großen Mengenanteils die wesentliche Materialkomponente darstellt. Für die untersuchten Lastkraftwagen beträgt der Anteil von Stahl am Gesamtgewicht rund 85 %. Weitere wichtige Bestandteile sind der Gummi in den Reifen sowie Aluminium im Aufbau.

Bei Bussen ist der Anteil an metallischen Rohstoffen etwas geringer, mit rund 70 % jedoch immer noch das mengenmäßig wichtigste Material. Hier spielt das Interieur eine größere Rolle als beim Lkw. Dieser Umstand spiegelt sich auch beim Emissionsfaktor des Fahrzeuggewichtes wider.

#### **Energieeinsatz bei der Herstellung**

Werden nun die entsprechenden Emissionsfaktoren zur Gewinnung und Veredelung des jeweiligen Materials herangezogen, können die THG-Emissionen des

Materialeinsatzes berechnet werden. Hier können unter Umständen in Abhängigkeit vom eingesetzten Material große Unterschiede bei den THG Emissionen anfallen. Eine wesentliche Einflussgröße ist dabei die Rohstoffbereitstellung, so weist beispielsweise Eisen aus Primärrohstoffen eine um den Faktor 4 höhere Treibhausgasintensität je kg Eisen auf, als Eisen das aus Sekundärrohstoffen erzeugt wird. Ähnliche Unterschiede zwischen Primär- und Sekundärmaterial gelten auch für andere Metalle. Für die Berechnung der gesamten THG-Emissionen aus der Fahrzeugherstellung muss ergänzend dazu noch der Energieeinsatz zur Herstellung und zur Montage der einzelnen Elemente des Fahrzeuges berücksichtigt werden. ECOINVENT 2021 weist einen Energieeinsatz für diese Fahrzeugherstellung von rund 1 kWh (30 % Strom und 70 % Prozesswärme aus Erdgas) je kg Fahrzeuggewicht aus. Für Busse ist dieser Wert wiederum geringfügig höher. Tabelle 9 zeigt die Emissionsfaktoren je kg Grundfahrzeug für die betrachteten Fälle.

*Tabelle 9:  
Emissionsfaktoren aus  
der Herstellung des  
Grundfahrzeuges.*

Fahrzeugkategorie	[kg CO <sub>2</sub> -eq je kg]		
	Best Case	verwendet	Worst Case
LKW (MLV, SLT) ICE-28 t	1,16	3,05	3,48
LKW (MLV, SLT) ICE-40 t	1,20	3,00	3,22
Bus (LSV, RÜV) ICE	3,26	4,30	5,36
LKW (MLV, SLT) alternativ-28 t	0,99	2,59	2,95
LKW (MLV, SLT) alternativ-40 t	1,02	2,52	2,73
Bus (LSV, RÜV) alternativ	2,77	3,66	4,56

Für alternativ angetriebene Lkw und Busse (BEV, FCEV) wurde der Herstellungsfaktor für das Grundfahrzeug im Vergleich zum Fahrzeug mit Verbrennungsmotor um 15 % reduziert. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass Fahrzeugkomponenten wie insbesondere Verbrennungsmotor, Abgasnachbehandlung und Tank mit einem recherchierten Gewichtsanteil am Gesamtfahrzeug von rund 15 % entfallen. Dieser Gewichtsanteil entspricht näherungsweise auch 15 % der CO<sub>2</sub>-Reduktion. Wie bereits erwähnt, sind Elektromotor, Akkumulator, Brennstoffzelle und Wasserstofftank in diesem Faktor nicht inkludiert.

**Schwankungsbreiten  
bei Emissionsfaktoren**

Die angegebenen Emissionsfaktoren unterliegen großen Schwankungsbreiten, die sich maßgeblich daraus ergeben, zu welchen Anteilen in der Herstellung Primär- oder Sekundärmaterialien (Recycling) verwendet werden. Wird beispielsweise Primärstahl mittels Hochofen aus Erz hergestellt, entstehen rund 1,4 bis 2,0 kg CO<sub>2</sub>-eq je kg Stahl. Bei Sekundärstahl aus Schrott, der im Lichtbogenofen hergestellt wird, reduziert sich der Emissionsfaktor um mehr als 50 % (Gemis 2021). Ein ähnliches Treibhausgasreduktionspotenzial ergibt sich auch bei andere Sekundärmetallen. Im Best Case wird davon ausgegangen, dass überall dort, wo es technisch möglich und sinnvoll ist, auf Sekundärmaterialien zurückgegriffen wird und im Herstellungsprozess hauptsächlich erneuerbare Energieträger zum Einsatz kommen.

### 2.2.2 Wasserstoffspeicher

**Typenunterschiede der Wasserstoffspeicher**

In der Fahrzeugkategorie der Personenkraftwagen wird in der Regel ein Wasserstoffspeicher vom Typ 4 eingesetzt. Dieser speichert Wasserstoff unter einem Druck von bis zu 700 bar und weist den Vorteil eines vergleichsweise kleinen Volumens auf. Bei Lkw und Bussen steht mehr Platz zur Verfügung, weshalb die kompakte Bauform des Typ 4-Wasserstoffspeichers eine geringere Rolle spielt. In der vorliegenden Studie wird daher ein kostengünstigerer Typ 3-Wasserstoffspeicher für alle Fahrzeugtypen angenommen.

Der Materialeinsatz des Typ 3-Wasserstoffspeichers liegt rund 50 % über jenem des Typ 4-Speichers. Wasserstoffspeicher vom Typ 3 besitzen ebenfalls einen Behälter aus Aluminium. Die Ummantelung besteht jedoch zu einem geringeren Anteil aus Kohlefaser. Dementsprechend wird mehr Aluminium eingesetzt und der Materialeinsatz ist in Summe höher.

**THG-Emissionen bei der Speicherherstellung**

Die THG-Emissionen aus der Herstellung des Wasserstoffspeichers sind maßgeblich von der eingesetzten Kohlefaser abhängig. Für die Kohlefaser gibt es je nach Ausgangsmaterial und Herstellungspfad ebenfalls eine hohe Bandbreite des Emissionsfaktors von rund 20 kg CO<sub>2</sub>-eq je kg bis zu 40 kg CO<sub>2</sub>-eq je kg (Sternberg et al. 2019). Da bei Typ 3 deutlich weniger Kohlefaser eingesetzt wird, ergeben sich THG-Einsparungen von rund 50 % verglichen mit Typ 4. Eine deutliche Reduktion der herstellungsbedingten Emissionen bei Kohlefaser ist möglich, falls für die Faser biogenes Ausgangsmaterial eingesetzt wird. Dies ist derzeit jedoch meist noch nicht der Fall.

Tabelle 10:  
Emissionen aus der Herstellung des Wasserstoffspeichers.

	[kg CO <sub>2</sub> -eq/kg Speichervermögen]		
	Best Case	verwendet	Worst Case
FCEV	170	255	340

### 2.2.3 Sonstige Fahrzeugkomponenten

Die übrigen für die Bilanzierung der gesamten Treibhausgasemissionen bedeutsamen Fahrzeugkomponenten sind der Elektromotor, der elektrische Antriebsstrang und die Brennstoffzelle. Hier ergeben sich keine nennenswerten Unterschiede zu vergleichbaren Elementen, die in Personenkraftwagen verbaut werden, wenngleich deutlich größere Materialmengen eingesetzt werden müssen.

**Akkumulator**

Beim Akkumulator werden in den Kategorien der Lkw und Busse teilweise auch bereits Festkörperbatterien angeboten. Diese Akkutechnologie bildet aber noch die Ausnahme, weshalb – wie für Personenkraftwagen – auch für die Ökobilanz von schweren Nutzfahrzeugen und Bussen der Einsatz von Lithium-Ionen-Akkumulatoren angenommen wurde.

Ein wesentlicher Unterschied im Vergleich zur Ökobilanz von Personenkraftwagen besteht darin, dass für den Akkumulator aufgrund der großen Anzahl an La-

devorgängen mit teilweise hohen Ladeleistungen für alle vier analysierten Fahrzeuge zur Fahrzeuglebensmitte ein Akkutausch einkalkuliert wurde. Die mit der Herstellung des Akkumulators verbundenen Emissionen fallen demnach bei allen betreffenden Technologieoptionen doppelt an. Selbiges wurde in Absprache mit Fachexpert:innen auch für die Brennstoffzelle von FCEV angenommen.

Die in der Ökobilanz ermittelten zugrundeliegenden Emissionsfaktoren haben aber auch für den Akkumulator unverändert Gültigkeit, weshalb für alle in diesem Unterkapitel genannten sonstigen Fahrzeugkomponenten auf die Studie „Die Ökobilanz von Personenkraftwagen – Bewertung alternativer Antriebskonzepte hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial und Energieeinsparung“ (Umweltbundesamt, 2021 b) verwiesen wird.

### 2.2.4 Übersicht Fahrzeugherstellung

Tabelle 11 gibt einen Überblick der THG-Emissionsfaktoren der diskutierten Komponenten aus der Fahrzeugherstellung, die als Grundlage für den Technologievergleich herangezogen werden.

*Tabelle 11:  
Übersicht über die THG-Emissionsfaktoren der wesentlichen Parameter der Fahrzeugherstellung.*

Komponenten der Fahrzeugherstellung	THG Emissionsfaktor	Systemgrenze und Kurzbeschreibung
Grundfahrzeug LKW (MLV, SLT): ICE	3,00–3,05 kg CO <sub>2</sub> -eq je kg	Karosserie, Verbrennungsmotor, Antriebsstrang, Montage in Europa
Grundfahrzeug LKW (MLV, SLT): FCEV bzw. BEV	2,55–2,59 kg CO <sub>2</sub> -eq je kg	Karosserie, Montage in Europa
Grundfahrzeug Busse (LSV, RÜV): ICE	4,30 kg CO <sub>2</sub> -eq je kg	Karosserie, Verbrennungsmotor, Antriebsstrang, Montage in Europa
Grundfahrzeug Busse (LSV, RÜV): FCEV bzw. BEV	3,65 kg CO <sub>2</sub> -eq je kg	Karosserie, Montage in Europa
Elektromotor	4,5 kg CO <sub>2</sub> -eq je kW Leistung	Materialeinsatz und Energieeinsatz der Montage, europäischer Strommix für Montage
elektrischer Antriebsstrang	42 kg CO <sub>2</sub> -eq je kg	Kabel, Ladegerät, Inverter, Konverter und Stromverteiler. Produktion in Europa
Akkumulator	82,5 kg CO <sub>2</sub> -eq je kWh Kapazität	Materialeinsatz und Energieeinsatz der Montage, fiktive durchschnittliche Stromzusammensetzung für China, Japan und Südkorea



Komponenten der Fahrzeugherstellung	THG Emissionsfaktor	Systemgrenze und Kurzbeschreibung
Brennstoffzelle	20 kg CO <sub>2</sub> -eq je kW Leistung <sup>1</sup>	Material- und Energieeinsatz, großer Einfluss der PGM
Wasserstoffspeicher	255 kg CO <sub>2</sub> -eq je kg Speichervolumen	Materialeinsatz mit durchschnittlichem Emissionsfaktor für die Karbonfaser

## 2.3 Relevante Parameter der Energiebereitstellung

Wie Abbildung 6 entnommen werden kann, wird im Rahmen einer ganzheitlichen Lebenszyklusanalyse ergänzend zur Herstellung des Fahrzeuges auch die Produktion jener Energie bilanziert, die für den Betrieb des jeweiligen Fahrzeuges in Abhängigkeit der zu erbringenden Fahrleistung und vor dem Hintergrund der Energieeffizienz unterschiedlicher Antriebstechnologien bereitgestellt werden muss.

**Umfang der Analyse** Für die Analyse der **Treibhausgasemissionen** aus der Energiebereitstellung werden nachfolgend flüssige Kraftstoffe fossilen sowie biogenen Ursprunges ebenso wie die Stromproduktion im Detail erläutert und in Kapitel 2.3.5 um weitere Emissionsfaktoren ergänzt.

Selbiges gilt für den **kumulierten Energieaufwand** zur Herstellung der jeweiligen Nutzenergie von der Herstellung eines flüssigen Kraftstoffes über die Produktion von Wasserstoff bis zur Bereitstellung von Strom. Unter dem kumulierten Energieaufwand (KEA) wird im allgemeinen die Summe aller Primärenergieinputs verstanden, die für ein Produkt (hier: kWh Antriebsenergie) aufgewendet werden muss.<sup>2</sup>

### 2.3.1 Fossile Treibstoffe – Diesel, CNG, LNG

**Umfang der Herstellungskette** Die Herstellungskette von Kraftstoffen fossilen Ursprunges beginnt am Bohrloch bzw. bei der Erdgasquelle und endet beim Betankungsvorgang des jeweiligen Fahrzeuges. Entlang dieser Herstellungskette sind unterschiedliche Energie- und Materialeinsätze erforderlich, die THG-Emissionen verursachen.

<sup>1</sup> In der Ökobilanz von Personenkraftwagen (Umweltbundesamt 2021b) wird eine Bandbreite von 15 bis 40 kg CO<sub>2</sub>-eq je kW Leistung angeführt und für die weitere Berechnung der Wert von 30 kg CO<sub>2</sub>-eq je kW Leistung ausgewählt. Dieser Wert wurde in der gegenständlichen Ökobilanz für schwere Nutzfahrzeuge und Busse in Absprache mit Expert:innen der HyCentA Research GmbH mit Sitz in Graz aufgrund technologischer Fortschritte in den letzten Monaten (insbesondere Effizienzsteigerungen und einer Reduktion der eingesetzten Platinmenge) auf 20 kg CO<sub>2</sub>-eq je kW Leistung reduziert.

<sup>2</sup> Definition in Anlehnung an das Gabler Wirtschaftslexikon

Für die Berechnung der THG-Emissionen werden alle wesentlichen Prozesse, angefangen von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Stoffbereitstellung bzw. Energienutzung berücksichtigt. Dies umfasst unter anderem den Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen.

**Emissionsquellen bei Diesel** Wesentliche Emissionsquellen bei der Herstellung von fossilem Diesel liegen bei der Rohölgewinnung und bei der Herstellung und Aufbereitung in der Raffinerie. Bei der Rohölgewinnung ist der Umgang mit dem bei allen Förderstellen entweichenden Erdölbegleitgas maßgeblich. Wird dieses unverbrannt in die Atmosphäre abgelassen („Venting“), kommt es zu einer starken Freisetzung von klimaschädlichen Gasen. Dieses Begleitgas kann aber auch vollständig aufgefangen, aufbereitet und als Erdgas weitergenutzt werden. Daraus ergibt sich wieder eine Bandbreite bei den THG-Emissionen aus der Herstellung von Diesel.

**direkte Emissionen** Die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der motorischen Verbrennung von Diesel sind jedoch praktisch ausschließlich vom sogenannten Verbrennungsluftverhältnis abhängig und liegen in Österreich in Abhängigkeit der Beimengungsrate von Biodiesel bei ungefähr 0,255 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh Energiegehalt.

**Emissionsquellen bei Erdgas** Bei Erdgas können Ausgasungen aus den Pipelines erhebliche THG-Quellen darstellen. Eine weitere relevante THG-Quelle kann bei der Förderung auftreten, falls es hier zu unerwünschten Freisetzungen in Folge von Leckagen kommt, insbesondere bei Schiefergas. Bei Erdgas tritt zusätzlich noch der Effekt auf, dass dieses wesentlich klimaschädlicher wirkt als beispielsweise CO<sub>2</sub>. Wird Erdgas komprimiert, so spricht man von CNG, ein weiterer Umwandschritt führt dann zur Verflüssigung. Diese Aggregatzustandsänderungen erfordern teils erhebliche Energieeinsätze und können bei schlechten Umwandlungswirkungsgraden dazu führen, dass es insgesamt im Vergleich zu fossilem Diesel zu keiner THG-Einsparung durch die Verwendung von CNG bzw. LNG kommt.

Die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Verbrennung von CNG bzw. LNG unterscheiden sich nicht und liegen mit 0,200 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh deutlich unter jenen von Diesel.

**verwendete Emissionsfaktoren** Der in dieser Studie verwendete Emissionsfaktor für die Herstellung von fossilem Diesel (inkl. normkonformer bzw. handelsüblicher Beimischung von Biodiesel in der Höhe von bis zu 7 %) beträgt rund 0,066 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh. Für CNG beträgt der Wert 0,067 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh und für LNG 0,078 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh. Der höhere Wert für LNG ist auf den zusätzlichen Verflüssigungsschritt zurückzuführen.

Der kumulierte Energieaufwand für Diesel liegt bei rund 1,17 kWh/kWh, für CNG bei rund 1,15 kWh/kWh und für LNG bei rund 1,23 kWh/kWh. Hier wurden alle wesentlichen Energieeinsätze berücksichtigt, wobei bei Diesel auch die besagte Beimischung von Biodiesel inkludiert ist (siehe folgende Kapitel). Die wesentlichen Beiträge zum KEA stammen für Diesel aus der Raffinerie und für CNG aus dem Transport in der Pipeline bzw. aus der Aufbereitung. Durch den zusätzlichen Umwandschritt bei LNG ergibt sich ein um 7 % höherer KEA als bei CNG.

### 2.3.2 Biogene Treibstoffe – Biodiesel sowie LNG und CNG biogenen Ursprunges

Die herstellungsbedingten THG-Emissionen ebenso wie der kumulierte Energieaufwand (KEA) bei Treibstoffen biogenen Ursprungs sind stark vom Ausgangsmaterial abhängig.

#### **Emissionsfaktor für biogenen Biodiesel**

Biodiesel, der beispielsweise aus Abfällen und Reststoffen gewonnen wird (z. B. Altspeseöl, tierische Fette oder Fettsäuren), weist einen vergleichsweise niedrigen Emissionsfaktor von rund 0,033 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh auf. Mit 0,10 bis 0,12 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh liegt dieser Emissionsfaktor deutlich höher, wenn als Ausgangsstoff Pflanzen (Soja, Sonnenblumen oder Raps) eingesetzt werden. Beim kumulierten Energieeinsatz ergibt sich so eine Bandbreite von rund 1,1 kWh/kWh bis zu 1,3 kWh/kWh.

Diese Schwankungen gelten auch für Ausgangsstoffe, die zu Biomethan (siehe KVO § 2 Z. 13 c)) und in weiterer Folge zu bio-CNG bzw. bio-LNG weiterverarbeitet werden. Biomethan aus Düngemittel bzw. Abfall weist deutlich geringere Emissionen bzw. einen deutlich geringeren KEA auf als beispielsweise Biomethan, das aus Maissilage gewonnen wird. Allgemein gilt bei Biomethan das Erfordernis, den Methanschlupf entlang der Herstellungskette so gering wie möglich zu halten, da schon geringfügige Entweichungen auf Grund der hohen Klimawirksamkeit von Biomethan dessen Klimavorteil drastisch reduzieren können.

#### **Herkunft der Biokraftstoffe**

Im Transportsektor wird in Österreich gemäß nationalem Biokraftstoffregister „elektronischer Nachhaltigkeitsnachweis“ (kurz: e1Na) derzeit ausschließlich Biomethan aus Speiseresten und Fettabscheider auf die Ziele der Kraftstoffverordnung angerechnet. Hier liegt der THG-Emissionsfaktor bei rund 0,081 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh, für Bio-CNG und für Bio-LNG bei rund 0,09 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh. Der KEA für Bio-CNG liegt bei 1,33 kWh/kWh und für Bio-LNG bei 1,48 kWh/kWh.

Für Biodiesel wird in der Studie ein Mittelwert aller derzeit in Österreich befindlichen Arten von Ausgangsstoffen herangezogen. Die THG-Emissionen betragen damit rund 0,090 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh und der KEA rund 1,2 kWh/kWh.

### 2.3.3 Strom

Bei der Bereitstellung von Strom werden in der gegenständlichen Studie zwei Bereitstellungspfade unterschieden:

#### **Stromaufbringung Österreichs**

Bei der **Stromaufbringung Österreichs** werden die inländische Stromerzeugung und die Stromimporte berücksichtigt. Der Emissionsfaktor für die inländische Stromerzeugung wird anhand des Kraftwerkparcs (sämtliche Stromerzeugungsanlagen in Österreich) ermittelt. Für die Stromimporte werden die Emissionsfaktoren der Stromerzeugung der Importländer herangezogen. Der aktuelle Emissionsfaktor liegt bei 0,22 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh und damit nochmals 0,05 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh niedriger als noch vor rund einem Jahr (vgl. (Umweltbundesamt

2021b)). Dies liegt in erster Linie an der geringeren Menge an Importstrom. Der KEA der Stromaufbringung liegt bei rund 1,57 kWh/kWh.

**Umweltzeichen  
„Grüner Strom“**

Das österreichische **Umweltzeichen „Grüner Strom“** definiert in der Version 6.0 vom Jänner 2022 die Kriterien für die ausschließlich erneuerbare Stromerzeugung. Der Strom muss dabei zur Gänze aus erneuerbaren Energieträgern stammen und bestimmte Kriterien erfüllen. Diese Kriterien sind in der Richtlinie "ZU 46 – Grüner Strom" definiert. Der Emissionsfaktor wird basierend auf dem Stromerzeugungsmix der größten Anbieter ermittelt und liegt aktuell bei 0,013 kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh<sup>3</sup>. Für diesen Strommix ergibt sich ein KEA von rund 1,23 kWh/kWh.

**2.3.4 Sonstige Parameter der Energiebereitstellung (Ad-Blue, Wasserstoff, strombasierte flüssige Kraftstoffe)**

**keine Unterschiede bei anderen Parametern**

Die übrigen für die Bilanzierung der gesamten Treibhausgasemissionen bedeutsamen Parameter der Energiebereitstellung betreffen den Kraftstoffzusatz Ad-Blue sowie die Herstellung von Wasserstoff mittels Elektrolyse und von strombasierten flüssigen Kraftstoffen („e-Fuels“). Hier ergeben sich keine nennenswerten Unterschiede zur Parametrisierung in der Kategorie der Personenkraftwagen. Aus diesem Grund wird für alle genannten sonstigen Parameter der Energiebereitstellung auf die Studie „Die Ökobilanz von Personenkraftwagen – Bewertung alternativer Antriebskonzepte hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential und Energieeinsparung“ (Umweltbundesamt 2021b) verwiesen.

**2.3.5 Übersicht Energiebereitstellung**

Tabelle 12 gibt einen Überblick über die THG-Emissionsfaktoren der Energiebereitstellung, die als Grundlage für den Technologie- und Kraftstoffvergleich herangezogen werden.

*Tabelle 12: Übersicht über die THG-Emissionsfaktoren der wesentlichen Parameter der Energiebereitstellung.*

Parameter des Fahrbetriebes	THG-Emissionsfaktor in kg CO <sub>2</sub> -eq je kWh Energiegehalt	KEA in kWh/kWh	Systemgrenze und Kurzbeschreibung
Diesel (fossil)	0,07	1,17	Bereitstellung von 1 kWh fossilen Treibstoffs, inkludiert die Vorkette von der Förderung bis zur Tankstelle
CNG (fossil)	0,07	1,15	Bereitstellung von 1 kWh fossilen Treibstoffs, inkludiert die Vorkette von der Förderung bis zur Tankstelle
LNG (fossil)	0,08	1,17	Bereitstellung von 1 kWh fossilen Treibstoffs, inkludiert die Vorkette von der Förderung bis zur Tankstelle

<sup>3</sup> <https://www.umweltzeichen.at/file/Richtlinie/UZ%2046/Long/UZ46%20R6.0a%20Richtlinie%20Gr%C3%BCner%20Strom%202022.pdf>

<b>Parameter des Fahrbetriebes</b>	<b>THG-Emissionsfaktor in kg CO<sub>2</sub>-eq je kWh Energiegehalt</b>	<b>KEA in kWh/kWh</b>	<b>Systemgrenze und Kurzbeschreibung</b>
Biodiesel	0,09	1,2	Bereitstellung von 1 kWh Biodiesel. Durchschnitt aller derzeit in Österreich befindlichen Arten von Ausgangsstoffen
Bio-CNG	0,082	1,33	Bereitstellung von 1 kWh Bio-CNG. Ausgangsstoffe sind Speisereste und Fettabscheider
Bio-LNG	0,091	1,48	Bereitstellung von 1 kWh Bio-LNG. Ausgangsstoffe sind Speisereste und Fettabscheider
Erneuerbarer Strom	0,014	1,23	Strom ausschließlich aus erneuerbaren Energieträgern, Wasserkraft (60 %), Wind (30 %), PV (10 %)
Stromaufbringung	0,22	1,57	durchschnittliche österreichische Stromaufbringung, inkl. Stromimport
H <sub>2</sub> -Reforming	0,31	1,5	Erdgasförderung und Reformingprozess sowie Verdichtung
H <sub>2</sub> -Elektrolyse mit erneuerbarem Strom	0,02	1,86	100 % erneuerbarer Stromeinsatz zur Elektrolyse und Verdichtung
e-Fuels	0,04	3,44	Einsatz von ausschließlich EE-Strom entlang der gesamten Herstellungskette, d. h. Elektrolyse, FTS und CO <sub>2</sub> -Absorption aus der Atmosphäre. Zusätzlich wird der Wärmebedarf aus Biomasse bereitgestellt

### 3 ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse im Hinblick auf THG-Emissionen und den kumulierten Energieaufwand visualisiert und diskutiert. Die Ergebnisse werden getrennt nach Fahrzeug bzw. Anwendungsfall und jeweils sowohl aggregiert über das gesamte Fahrzeugleben als auch spezifisch in Bezug auf den gefahrenen Tonnen- (MLV, SLT) bzw. Personenkilometer (LSV, RÜV) ausgewiesen. Die gesammelten und detaillierten Ergebnisse sind diesem Bericht im Anhang B angefügt.

#### 3.1 Treibhausgase

##### 3.1.1 Gesamte Lebenszyklusemissionen

Werden die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Fahrbetrieb mit der Lebensdauer der Fahrzeuge bei Berücksichtigung der jährlichen Fahrleistung aggregiert sowie die indirekten Emissionen der Fahrzeugherstellung inklusive der Emissionen der Energiebereitstellung ebenfalls berücksichtigt und die Summe aller auftretenden Emissionen gebildet, so werden die sogenannten gesamten Lebenszyklusemissionen dargestellt.

##### 3.1.1.1 Mittelschwerer Lkw im Verteilverkehr (MLV)

###### **am meisten CO<sub>2</sub>-eq bei fossilem Diesel**

Wie bereits erläutert, wird dem MLV eine Jahresfahrleistung von 50.000 km bei einer Lebensdauer von 12 Jahren zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 2.1.1). Unter diesen Annahmen weisen Fahrzeuge, die mit fossilem Diesel (inkl. gesetzlich verpflichteter Beimengung eines biogenen Anteils) betrieben werden, mit rund 533 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq mit Abstand die höchsten Lebenszyklusemissionen auf. Aber auch wenn anstatt des fossilen Dieselkraftstoffes fossiles LNG oder CNG (wie in dieser Studie definiert) zum Einsatz kommen, lassen sich die Lebenszyklusemissionen nur geringfügig um -13 % bzw. -14 % reduzieren.

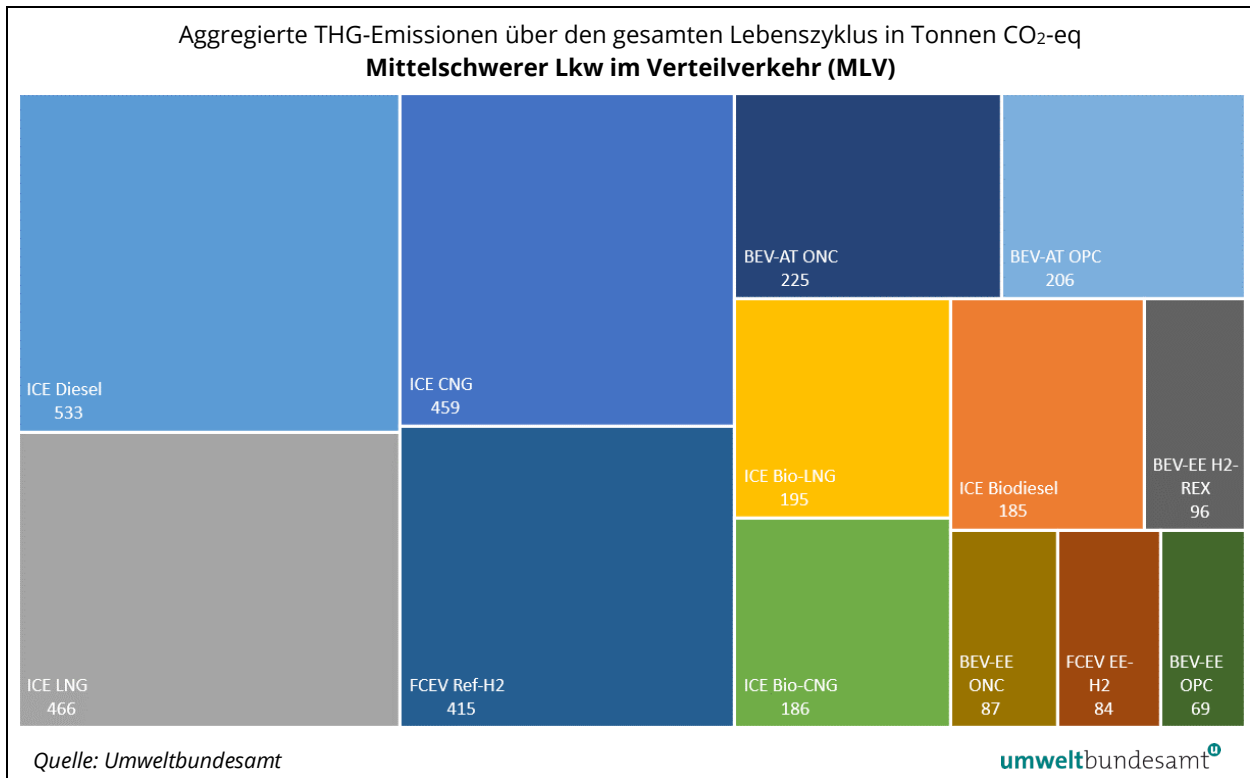
Eine deutliche Reduktion der THG-Emissionen verbrennungsmotorisch angetriebener MLV kann durch den Einsatz von Kraftstoffen ausschließlich biogenen Ursprunges erzielt werden: -65 % bei Biodiesel anstatt fossilem Diesel, -58 % beim Einsatz von biogenem LPG und -59 % bei CNG im Vergleich zu den jeweiligen fossilen Varianten.

###### **niedrigste THG-Emissionen: -87 %**

Die mit Abstand niedrigsten THG-Emissionen in der Höhe von rund 69 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq (-87 % im Vergleich zum dieselbetriebenen Fahrzeug) entstehen beim Einsatz eines batterieelektrischen Fahrzeuges, das ausschließlich mit erneuerbarem Strom geladen sowie während der Nutzung zwischengeladen wird („Opportunity Charging“) und damit mit einem vergleichsweise kleinen Akkumulator ein Auslangen findet. Alle anderen technologisch vergleichbaren Optionen, die von einem Elektromotor angetrieben und ausschließlich mit erneuerbarem

Strom bzw. Wasserstoff aus erneuerbarem Strom betrieben werden, liegen in derselben Größenordnung bzw. geringfügig höher. Wird das batteriebetriebene Fahrzeug hingegen mit Strom in der durchschnittlichen österreichischen Zusammensetzung bzw. das Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeug mit Wasserstoff aus Erdgas betrieben, können die Technologien nicht ihr volles Potenzial entfalten und die Emissionen steigen auf 206 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq (BEV-AT OPC) bis 225 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq (BEV-AT ONC) bzw. 415 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq (FCEV Ref-H<sub>2</sub>).

Abbildung 7: Vergleich der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus, MLV.



### 3.1.1.2 Schwerer Lkw im Transitverkehr (SLT)

Für SLT wird in der gegenständlichen Studie eine Jahresfahrleistung von 100.000 km bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von acht Jahren angenommen (vgl. Kapitel 2.1.2).

**höheres Emissionsniveau**

Das Emissionsniveau eines SLT ist aufgrund des höheren Fahrzeuggewichts und der höheren Fahrleistung grundsätzlich höher als jenes eines MLV. Die Verhältnisse der THG-Reduktionspotenziale alternativ angetriebener Fahrzeuge im Vergleich zu ihren jeweiligen fossil angetriebenen Pendanten sind jedoch vergleichbar.

Auch im Bereich der SLT weist das dieselbetriebene Fahrzeug mit 863 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq mit Abstand die höchsten Lebenszyklusemissionen auf und wird gefolgt von den Optionen fossiles LNG und fossiles CNG mit geringfügig niedrigeren THG-Emissionen.

Auch beim SLT können die THG-Emissionen eines verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeuges durch den Einsatz von Kraftstoffen biogenen Ursprungs deutlich gesenkt werden: -67 % bei Biodiesel anstatt fossilem Diesel, -60 % beim Einsatz von biogenem LNG bzw. -61 % bei CNG im Vergleich zu den jeweiligen fossilen Varianten.

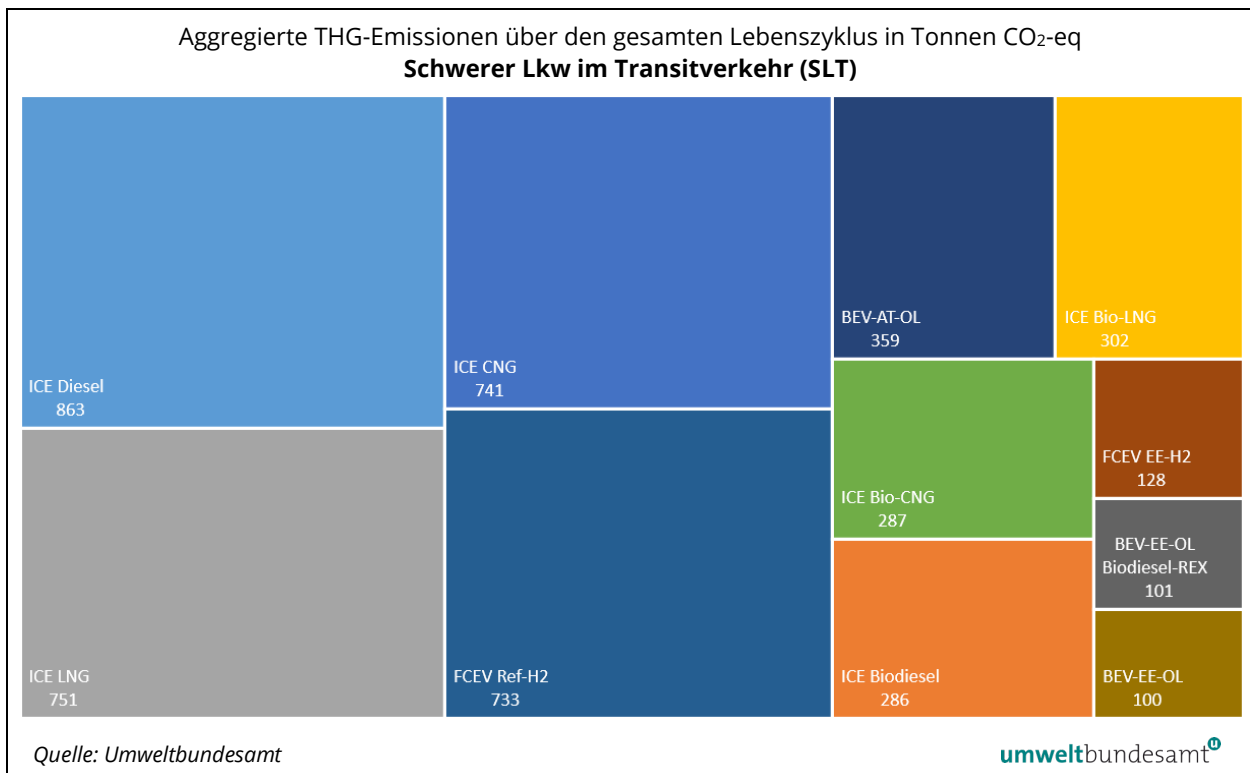
**deutliche Reduktion durch ERS**

Um -88 % können die Emissionen eines konventionellen dieselbetriebenen Lastsattelzuges reduziert werden, wenn das Fahrzeug stattdessen elektromotorisch angetrieben und mittels eines sogenannten Electric Road System (ERS), beispielsweise einer Oberleitung, ausschließlich mit erneuerbarem Strom versorgt wird. Überträgt die Oberleitung Strom aus der durchschnittlichen österreichischen Zusammensetzung, reduziert sich dieses Potential auf -58 %.

**Unterschiede je nach Wasserstoffgewinnung**

Wie bereits in Abbildung 7 zum MLV ersichtlich, ist auch beim SLT die Art des Wasserstoffs von zentraler Bedeutung für die Lebenszyklusemissionen eines Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeugs. Wird sogenannter „grüner“ Wasserstoff eingesetzt, also Wasserstoff, der ausschließlich aus Elektrolyse mit Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt wird, lässt sich ein ähnlich hohes Reduktionspotenzial wie beim Oberleitungssystem mit erneuerbarem Strom erkennen. Bei Wasserstoff aus Erdgasreforming sind die Lebenszyklusemissionen mit 733 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq hingegen ähnlich hoch wie bei einem verbrennungsmotorisch mit fossilen Kraftstoffen angetriebenen Fahrzeug.

Abbildung 8: Vergleich der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus, SLT.





### 3.1.1.3 Linienbus im Stadtverkehr (LSV)

Dem LSV wird eine Jahresfahrleistung von 55.000 Kilometern über eine Lebensdauer von 12 Jahren zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 2.1.3).

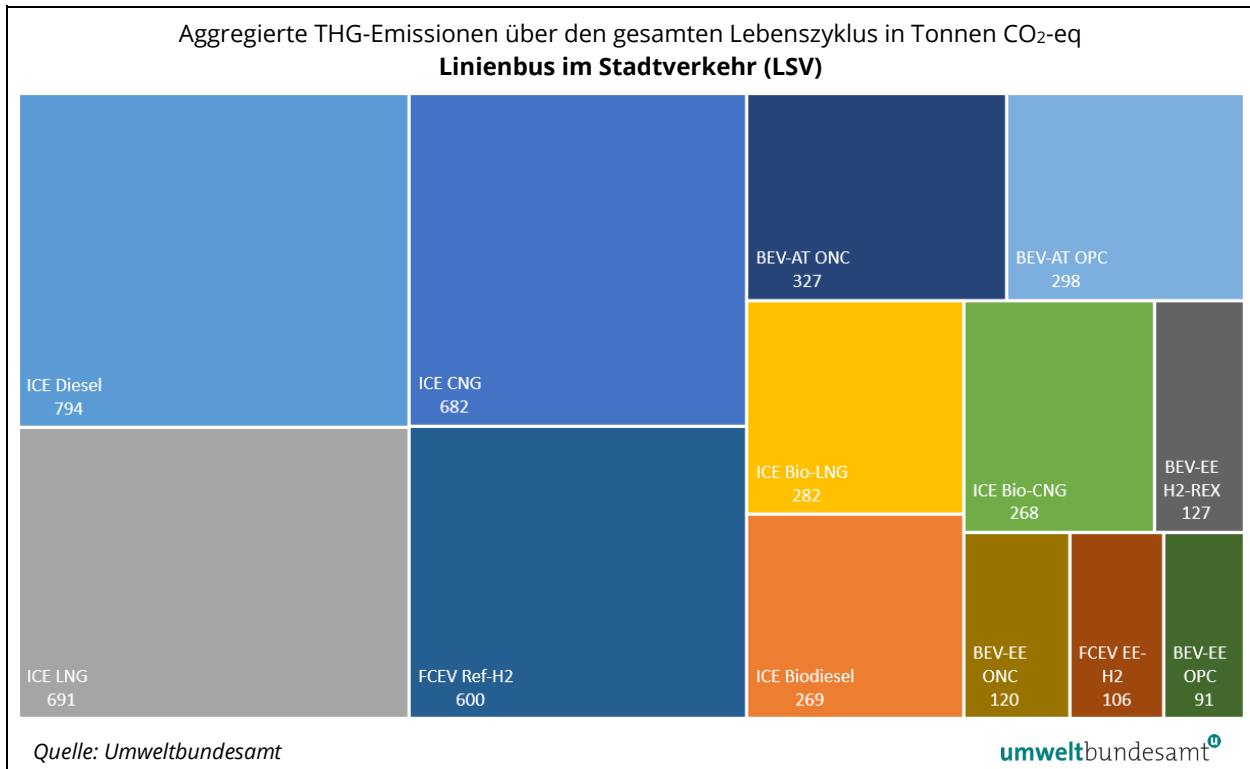
Das konventionelle dieselbetriebene Fahrzeug emittiert über den gesamten Lebenszyklus 794 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq, die mit fossilem Gas betriebenen Fahrzeuge 691 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq (LNG) bzw. 682 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq (CNG). Durch den Einsatz von Kraftstoffen biogenen Ursprunges können diese Emissionen um -66 % (Biodiesel), -59 % (biogenes LNG) bzw. -61 % (biogenes CNG) reduziert werden.

#### **Bandbreite der Emissionen**

Bei jenen Technologieoptionen, die auf dem Einsatz eines Elektromotors sowie ausschließlich erneuerbarer Energie basieren, werden Treibhausgase in einer Bandbreite von 91 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq für das BEV-EE OPC (batterieelektrisches Fahrzeug mit Zwischenladung) über 106 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq für das FCEV EE-H<sub>2</sub> (Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeug mit „grünem“ Wasserstoff) bis 127 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq für das BEV-EE H<sub>2</sub>-REX (batterieelektrisches Fahrzeug mit wasserstoffbasierter Reichweitenverlängerung) emittiert.

Wird das batterieelektrische Fahrzeug mit durchschnittlichem österreichischen Strom geladen, erhöhen sich die Emissionen auf 298 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq für ein Fahrzeug mit Zwischenladung (OPC) bzw. 327 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq für ein Fahrzeug, das die gesamte Tagesstrecke mit einer Akkuladung bewältigen kann (ONC).

Abbildung 9: Vergleich der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus, LSV.



### 3.1.1.4 Regionalbus im Überlandverkehr (RÜV)

**höhere Jahresfahrleistung**

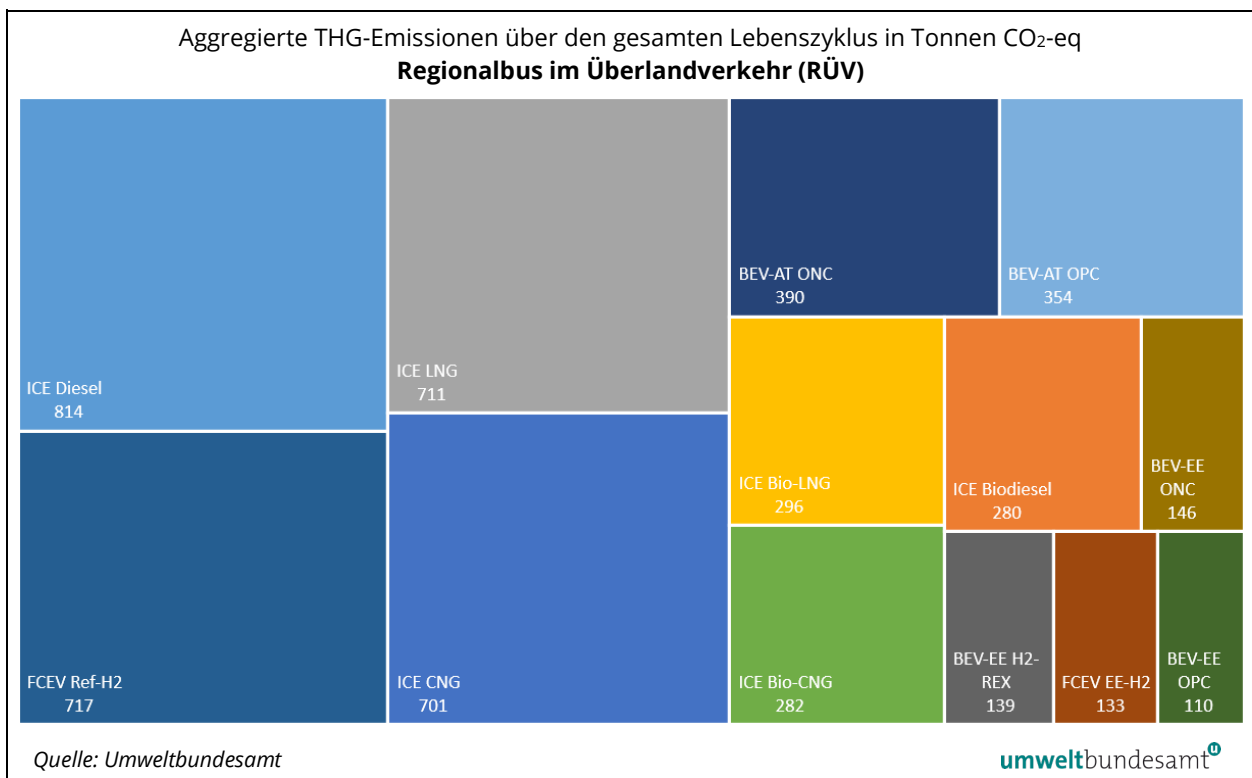
RÜV weisen in der gegenständlichen Studie dieselbe durchschnittliche Lebensdauer von 12 Jahren auf wie LSV, erbringen dabei aber eine höhere durchschnittliche Jahresfahrleistung von 65.000 km.

Die verbrennungsmotorisch angetriebenen Technologieoptionen und deren Verhältnisse zueinander entsprechen grundsätzlich den Berechnungsergebnissen zum LSV. Die absoluten Lebenszyklusemissionen sind aufgrund der höheren Fahrleistung zwischen 3 % und 6 % höher.

**größerer Akku**

Bei den batterieelektrischen Optionen sind die THG-Emissionen des RÜV gegenüber jenen des LSV durchwegs um 19 % bis 21 % höher. Dies ist darauf zurückzuführen, dass aufgrund der höheren maximalen Tagesfahrleistung ein größerer Akkumulator verbaut werden muss. Die absoluten THG-Emissionen eines batterieelektrischen Fahrzeuges, das zwischengeladen und ausschließlich mit erneuerbarem Strom betrieben wird, belaufen sich damit auf 110 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq. Wird ein Akkumulator eingesetzt, mit dem die gesamte Tagesstrecke zurückgelegt werden kann, erhöhen sich diese Emissionen auf 146 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq.

Abbildung 10: Vergleich der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus, RÜV.



### 3.1.1.5 Zusammenstellung

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der gesamten Lebenszyklusemissionen nochmals zusammengestellt. Klar ersichtlich sind die vergleichsweise niedrigen Gesamtemissionen bei MLV im Vergleich zum SLT aufgrund der geringeren Materialmengen und der geringeren Jahresfahrleistung, ebenso wie im Vergleich zu

den Bussen, unter anderem aufgrund des dort gegebenen Kühl- und Heizbedarfs für den Personenverkehr. Ebenfalls deutlich werden die Vorteile des Einsatzes von Kraftstoffen biogenen Ursprunges in Verbrennungsmotoren. Die mit Abstand niedrigsten Gesamtemissionen entstehen aber in allen Anwendungsfällen bei batterieelektrischen Fahrzeugen, insbesondere dann, wenn ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energiequellen zum Einsatz kommt.

*Tabelle 13:  
Zusammenstellung der  
Ergebnisse der gesamten  
Lebenszyklusemissionen.*

Technologie- bzw. Kraftstoffart	Lkw		Busse	
	MLV	SLT	LSV	RÜV
	[Tonnen CO <sub>2</sub> -eq]		[Tonnen CO <sub>2</sub> -eq]	
ICE Diesel	533	863	794	814
ICE Biodiesel	185	286	269	280
ICE LNG	466	751	691	711
ICE Bio-LNG	195	302	282	296
ICE CNG	459	741	682	701
ICE Bio-CNG	186	287	268	282
FCEV Ref-H <sub>2</sub>	415	733	600	717
FCEV EE-H <sub>2</sub>	84	128	106	133
BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	96	-	127	139
BEV-EE ONC	87	-	120	146
BEV-AT ONC	225	-	327	390
BEV-EE OPC	69	-	91	110
BEV-AT OPC	206	-	298	354
BEV-EE-OL Biodiesel-REX	-	101	-	-
BEV-EE-OL	-	100	-	-
BEV-AT-OL	-	359	-	-

### 3.1.2 Spezifische Lebenszyklusemissionen

Die spezifischen Lebenszyklusemissionen geben Auskunft über die Emissionen je gefahrenem Kilometer und ergeben sich aus der Division der gesamten Lebenszyklusemissionen durch die gesamte Fahrleistung, die im Zuge eines Lebens von einem Fahrzeug erbracht wird. Da die nachfolgenden Ergebnisse zudem je Tonnenkilometer (MLV, SLT) bzw. je Personenkilometer (LSV, RÜV) angegeben werden, muss auch die durchschnittliche Auslastung bzw. Besetzung des Fahrzeuges in der Berechnung Berücksichtigung finden. Diese wurde beim MLV auf 5 Tonnen und beim SLT auf 15 Tonnen bzw. im Bereich der Busse auf Basis verfügbarer Informationen mehrerer Verkehrsbetriebe beim LSV auf 30 Personen und beim RÜV auf 15 Personen angenommen (vgl. Kapitel 2.1).

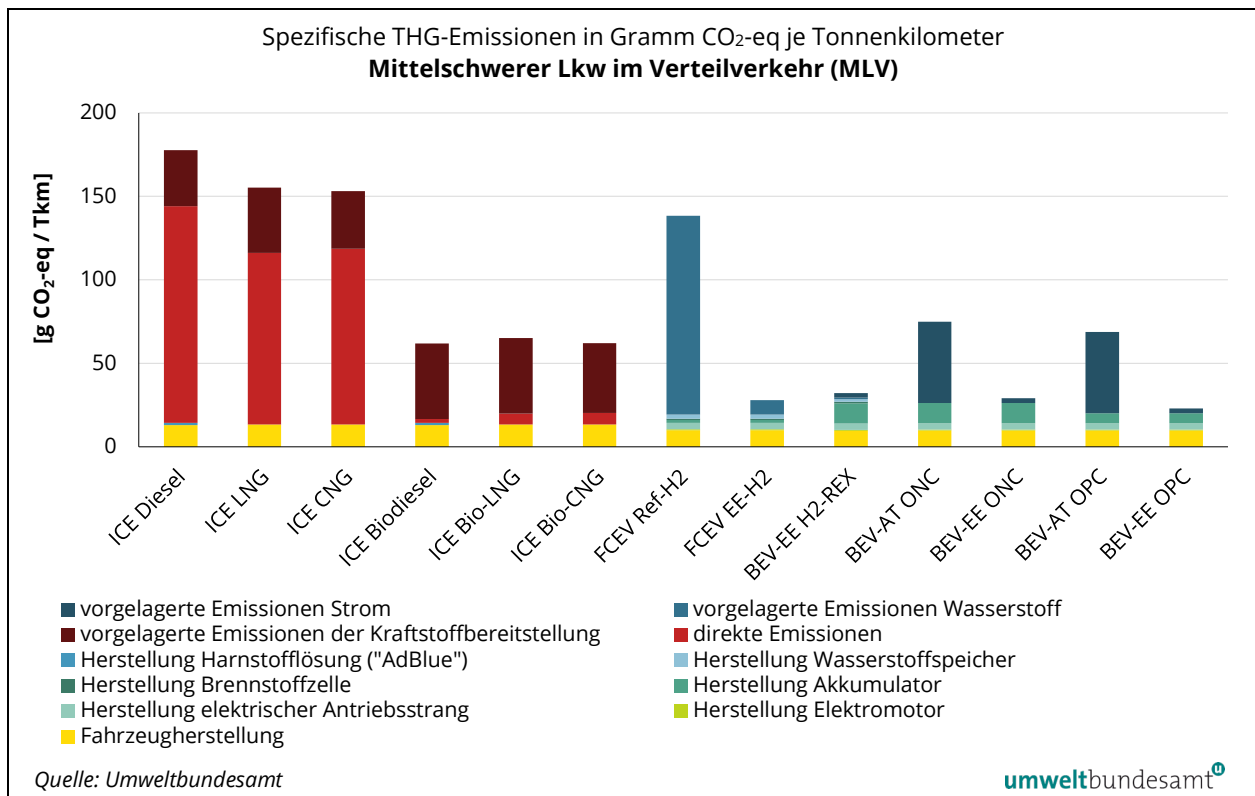
### 3.1.2.1 Mittelschwerer Lkw im Verteilverkehr (MLV)

Wie Abbildung 11 entnommen werden kann, wurden für einen verbrennungsmotorisch angetriebenen MLV unter Einsatz fossiler Kraftstoffe spezifische THG-Emissionen zwischen 153,1 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm und 177,6 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm errechnet. Beim Einsatz von Kraftstoffen biogenen Ursprungs lassen sich diese Emissionen auf knapp über 60 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm reduzieren.

Im Bereich der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeuge zeigt sich auch bei den Ergebnissen zu den spezifischen Emissionen die Bedeutung von Wasserstoff, der via Elektrolyse aus erneuerbarer Energie gewonnen wird. Während sich die spezifischen Emissionen auf diese Weise auf 27,9 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm reduzieren lassen, erhöhen sie sich auf 138,4 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm, wenn Wasserstoff aus Erdgasreforming verwendet wird.

Auch bei batterieelektrischen Fahrzeugen kann das volle Potenzial zur THG-Reduktion dann genutzt werden, wenn ausschließlich erneuerbarer Strom eingesetzt wird. In diesem Fall ergeben sich spezifische THG-Emissionen von 23,0 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm (BEV-EE OPC), 29,1 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm (BEV-EE ONC) bzw. 32,1 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm (BEV-EE H<sub>2</sub>-REX). Aber auch wenn diese Fahrzeuge mit durchschnittlichem österreichischem Strom betrieben werden, sind die spezifischen Emissionen deutlich niedriger als bei konventionell angetriebenen Fahrzeugen mit fossilen Kraftstoffen.

Abbildung 11: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen je Tonnenkilometer, MLV.



### 3.1.2.2 Schwerer Lkw im Transitverkehr (SLT)

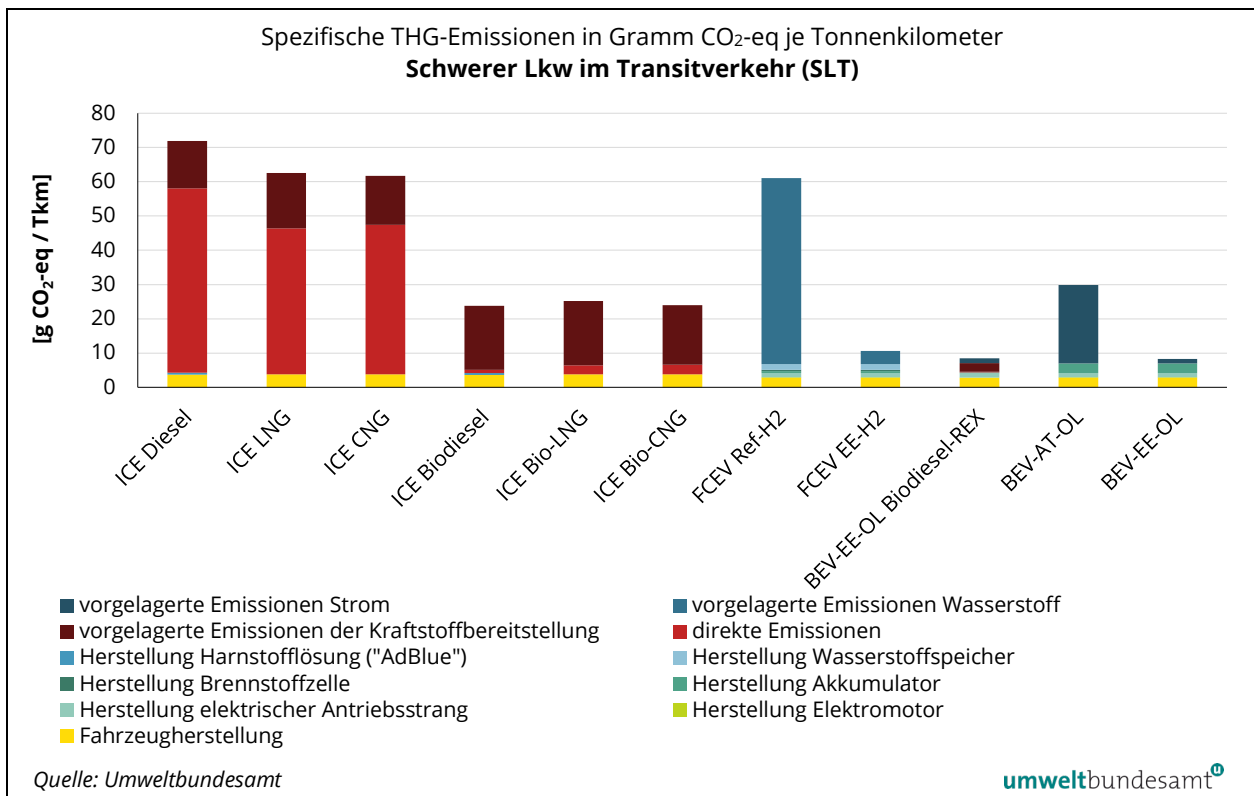
**höhere Beladung  
reduziert  
Emissionsniveau**

Bei SLT zeigt sich grundsätzlich ein ähnliches Bild wie bei MLV, wenngleich das Emissionsniveau von SLT in Bezug auf die transportierte Tonne niedriger ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass SLT in dieser Studie, aber auch in der Praxis eine deutlich höhere Beladung aufweisen und sich die gesamten Lebenszyklusemissionen so auf ein größeres Transportvolumen „verteilen“ als dies bei MLV der Fall ist.

Für konventionell angetriebene Fahrzeuge mit fossilen Kraftstoffen ergeben sich so zwischen 61,7 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm und 71,9 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm, die sich unter Einsatz von biogenen Kraftstoffen auf 23,8 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm bis 25,2 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm reduzieren lassen. Bei Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeugen belaufen sich die spezifischen Emissionen auf 10,6 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm („grüner“ Wasserstoff) bis 61,0 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm (Wasserstoff auf Basis Erdgasreformung).

Die niedrigsten spezifischen Emissionen in der Höhe von 8,3 g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm ergeben sich bei elektromotorisch angetriebenen Fahrzeugen, die mittels Oberleitung ausschließlich mit erneuerbarem Strom versorgt werden. Führt die Oberleitung durchschnittlichen österreichischen Strom, so erhöhen sich die spezifischen Emissionen ungefähr um den Faktor 3,6.

Abbildung 12: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen je Tonnenkilometer, SLT.



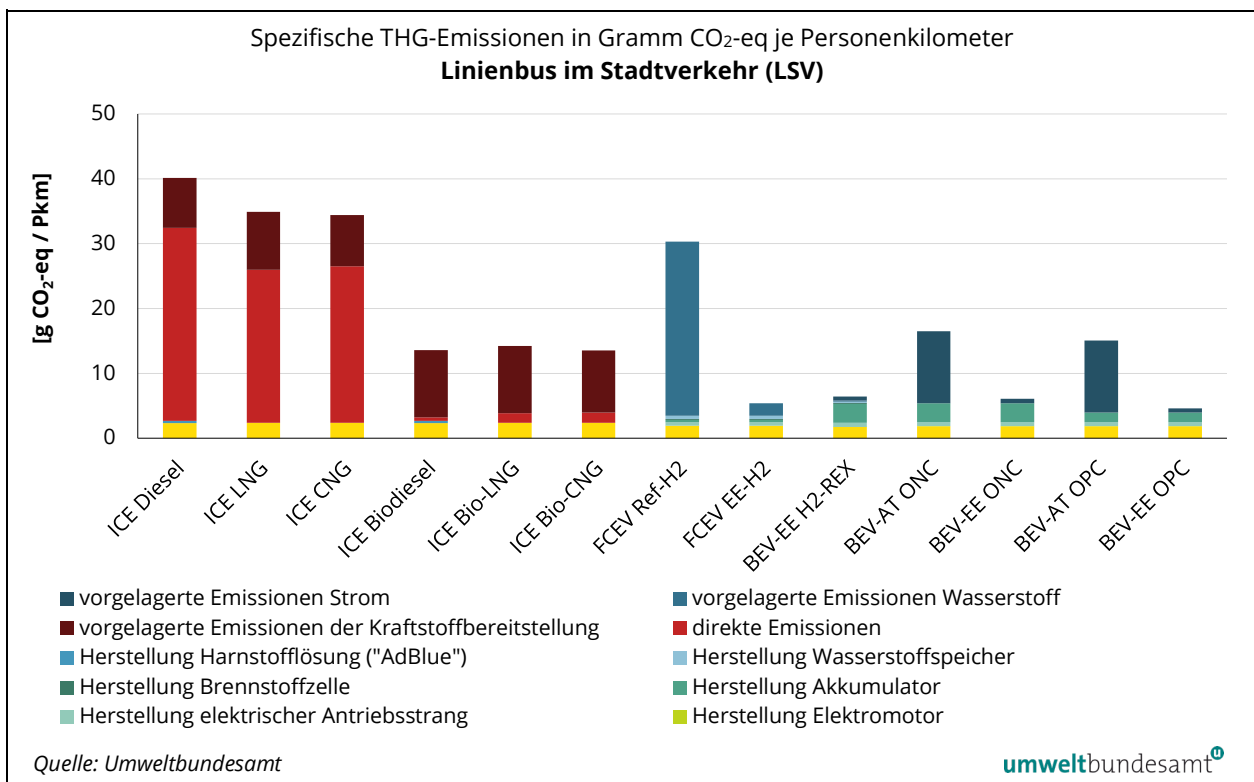
### 3.1.2.3 Linienbus im Stadtverkehr (LSV)

Beim LSV werden die spezifischen Emissionen auf den Personenkilometer bezogen. Sie belaufen sich bei konventionell angetriebenen Linienbussen mit fossilen Kraftstoffen auf 34,4 g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm (CNG), 34,9 g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm (LNG) bzw. 40,1 g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm (Diesel) und lassen sich durch den Einsatz biogener Kraftstoffe auf 13,6 g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm bis 14,2 g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm reduzieren.

Bei Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeugen ergibt sich eine Bandbreite von 5,4 g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm (erneuerbarer Strom) bis 30,3 g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm (Erdgasreformung).

Mit einem batterieelektrischen Fahrzeug mit Zwischenladung eines vergleichsweise kleinen Akkumulators mittels erneuerbarem Strom lassen sich die spezifischen Emissionen auf 4,6 g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm senken. Wird ein größerer Akkumulator verbaut, erhöhen sich die spezifischen Emissionen auf 6,1 g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm. Wird das Fahrzeug zusätzlich zum größeren Akkumulator auch noch mit einer wasserstoffbasierten Reichweitenverlängerung mit „grünem“ Wasserstoff erweitert, werden rund 6,4 g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm emittiert.

Abbildung 13: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen je Personenkilometer, LSV.



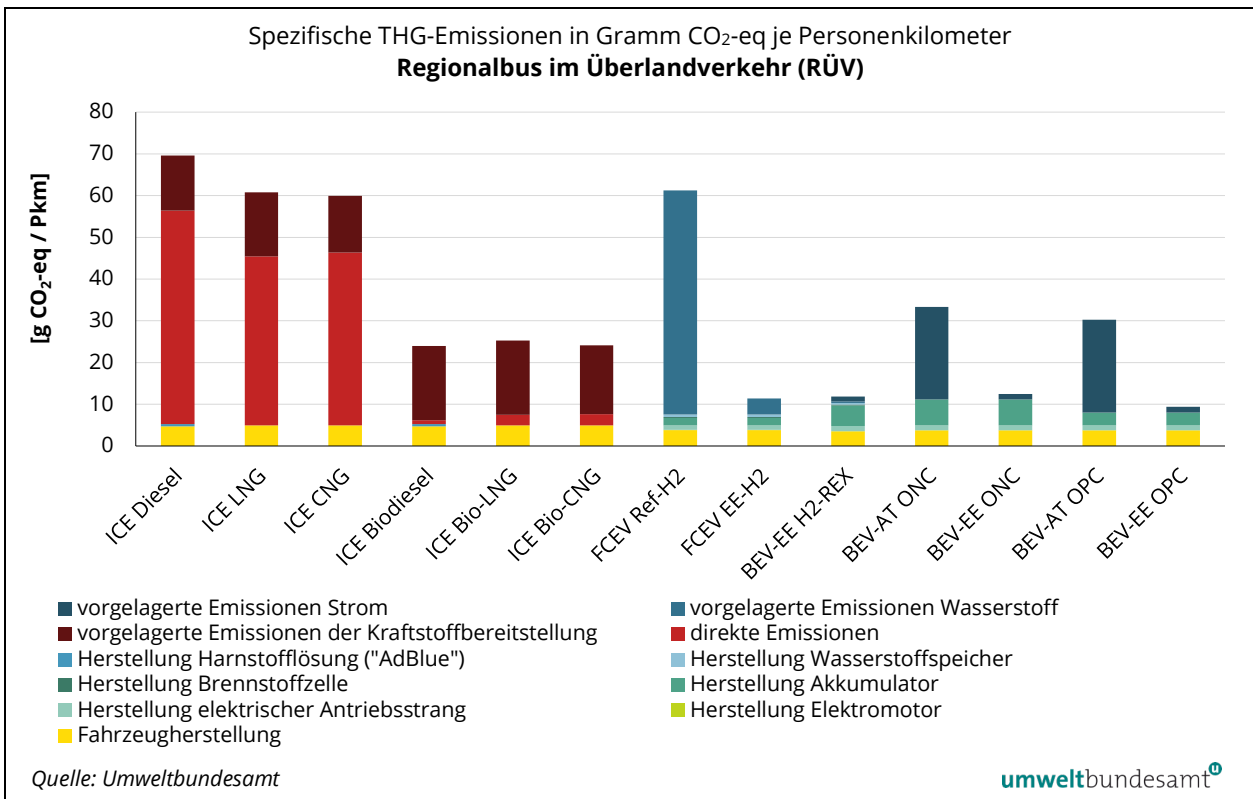
### 3.1.2.4 Regionalbus im Überlandverkehr (RÜV)

**geringere Auslastung  
erhöht  
Emissionsniveau**

Auch bei den spezifischen Emissionen je Personenkilometer zeigt die Auswertung der Ergebnisse für den RÜV ein sehr ähnliches Bild wie für den LSV. Da RÜV aber eine geringere durchschnittliche Auslastung aufweisen als LSV, werden die gesamten Lebenszyklusemissionen auf weniger Fahrgäste aufgeteilt.

Als Resultat daraus sind die spezifischen Emissionen eines konventionell (mit fossilen oder biogenen Kraftstoffen) angetriebenen RÜV zwischen 74 % und 78 % höher als jene eines LSV. Bei den alternativ angetriebenen Optionen (FCEV und BEV) erfolgt durchwegs ungefähr eine Verdoppelung der spezifischen Emissionen auf beispielsweise 9,4 g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm für einen BEV-EE OPC bzw. 11,4 g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm für einen FCEV, der mit „grünem“ Wasserstoff betrieben wird.

Abbildung 14: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen je Personenkilometer, RÜV.



### 3.2 Energieeinsatz

#### **Energieeinsatz im Vergleich der Fahrzeugarten**

Abbildung 15 zeigt einen Technologievergleich für alle untersuchten Fahrzeuge nach Anwendungsfällen im Hinblick auf den kumulierten Energieaufwand. Wie der Abbildung entnommen werden kann, weisen batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) einen KEA in der Höhe von 1,35 kWh je Fahrzeugkilometer (Fkm) bis 1,72 kWh/Fkm (MLV) bzw. 1,85 kWh/Fkm bis 2,35 kWh/Fkm (LSV, RÜV) auf. Oberleitungs-Lkw (SLT) liegen mit 1,91 kWh/Fkm (BEV-EE-OL) bis 2,43 kWh/Fkm (BEV-EE-OL Diesel-REX) etwas darüber. Dies entspricht ungefähr der Hälfte eines durchschnittlichen, mit fossilen oder biogenen Kraftstoffen betriebenen Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor: 2,98 kWh/Fkm (ICE Diesel, MLV) bis 5,10 kWh/Fkm (ICE Bio-LNG, LSV). Das ist insbesondere auf den höheren Wirkungsgrad des Elektromotors zurückzuführen.

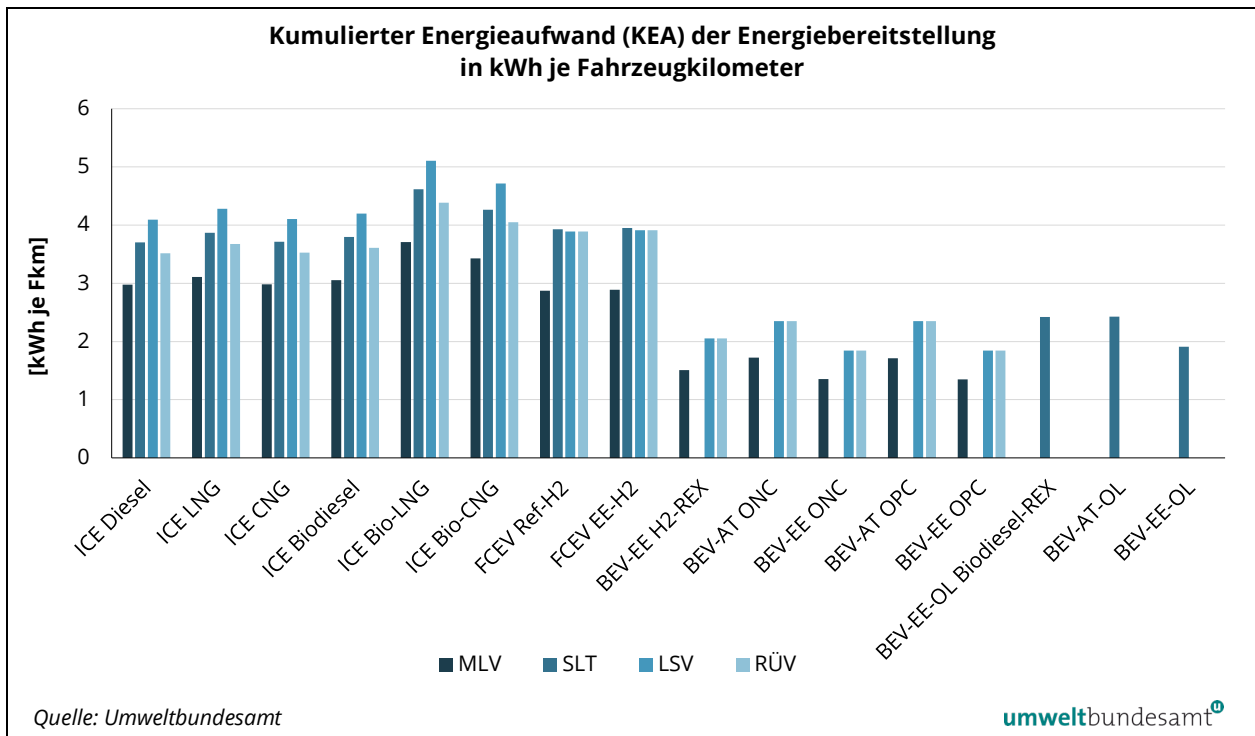
**LSV deutlich höhere Emissionen**

Ein Vergleich der verbrennungsmotorisch betriebenen Fahrzeuge untereinander zeigt zudem, dass LSV einen deutlich höheren KEA als alle anderen Fahrzeuge aufweisen. Dieser Umstand wird bedingt durch die Nutzungscharakteristik eines Linienbusses im Stadtverkehr, insbesondere die zahlreichen Beschleunigungs- und Bremsvorgänge und die hohe Haltestellendichte, die einen erhöhten Heiz- bzw. Kühlaufwand des Fahrzeuginneren erfordern. Der KEA eines RÜV bewegt sich aus denselben Gründen in der Größenordnung eines schweren Lkw im Transitverkehr (SLT).

**Energieeinsatz Wasserstoffherstellung**

Der Vergleich der Varianten mit Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb zeigt, dass hinsichtlich des kumulierten Energieeinsatzes der Energiebereitstellung praktisch kein Unterschied zwischen Wasserstoff aus Erdgasreforming und Wasserstoff aus Elektrolyse mit erneuerbarem Strom festgestellt werden kann. Die Energieeffizienz dieser der beiden Herstellungsmöglichkeiten von Wasserstoff ist annähernd gleich.

Abbildung 15: Vergleich des kumulierten Energieaufwandes in kWh/Fkm.



### 3.3 Exkurs flüssige synthetische Kraftstoffe

Synthetische flüssige Kraftstoffe, auch „e-Fuels“ genannt, bieten dann die Möglichkeit, konventionelle Fahrzeuge mit Verbrennungskraftmaschinen annähernd CO<sub>2</sub>-neutral zu betreiben, wenn für die Herstellung des Kraftstoffes über die gesamte Herstellungskette ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energiequellen und CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre verwendet werden.



**Ausblick auf Einsatzmöglichkeiten**

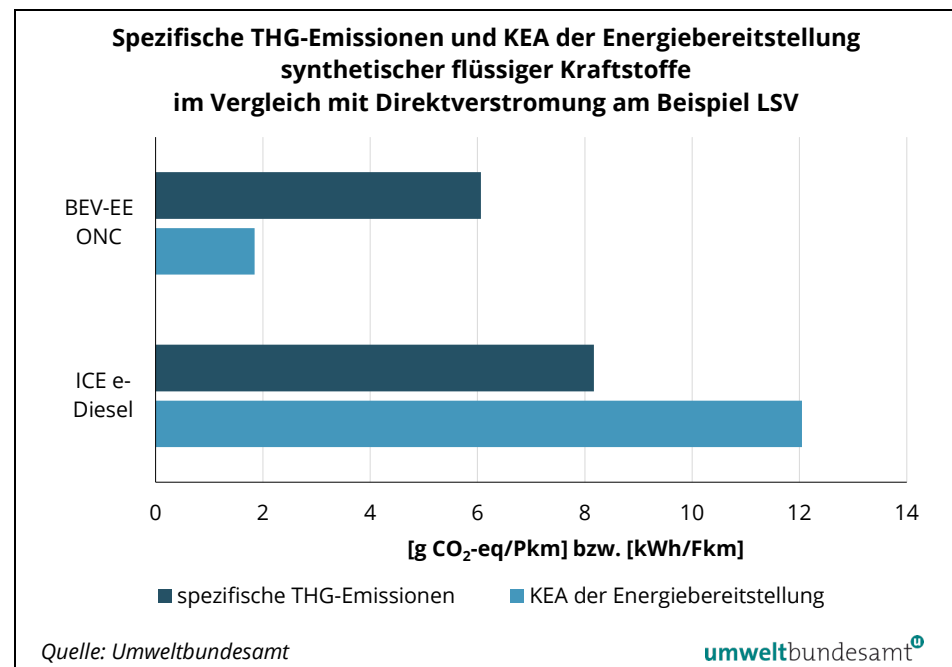
Praktisch befindet sich diese Kraftstoffoption noch in der Entwicklung und ein flächiger Einsatz ist nicht absehbar. So fehlt es nach wie vor weltweit an den notwendigen Kapazitäten sowohl der Elektrolyseure als auch der Fischer-Tropsch-Synthesenanlagen. Auch zur Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre wurden bislang nur Pilotanlagen errichtet. Die erwarteten Kosten reichen je nach Quelle von 1,42 € bis 2,36 € je Liter (EAS 2021) bzw. 2,20 € bis 4,80 € je Liter (Prognos 2020) im Jahr 2030. Damit sind flüssige synthetische Kraftstoffe aus heutiger Sicht im Vergleich zu den Alternativen, insbesondere im Vergleich zu Strom bei direktem Einsatz in BEV, nicht konkurrenzfähig.

Die theoretische Analyse dieser Kraftstoffoption zeigt, dass die gesamten und auch die spezifischen THG-Emissionen eines konventionellen, mit einem flüssigen synthetischen Kraftstoff angetriebenen Fahrzeug ähnlich niedrig sind wie jene eines batterieelektrischen Fahrzeuges, das mit erneuerbarer Energie betrieben wird. Am Beispiel des Linienbusses im Stadtverkehr (LSV) belaufen sich diese Emissionen auf 8,17 g CO<sub>2</sub>-eq je Personenkilometer (ICE e-Diesel) im Vergleich zu 6,06 g CO<sub>2</sub>-eq je Personenkilometer beim BEV-EE-ONC unter Einsatz von ausschließlich erneuerbarem Strom (vgl. Abbildung 16).

**deutlich niedrigere Energieeffizienz**

Dem gegenüber steht jedoch die deutlich niedrigere Energieeffizienz beim Einsatz von flüssigen synthetischen Kraftstoffen, die sich aus den zahlreichen Prozessschritten zur Herstellung eines „e-Fuels“ ergibt. So muss für den Betrieb eines LSV mit einem flüssigen synthetischen Kraftstoff 6,5 mal mehr Primärenergie aufgewendet werden als für den Betrieb eines batterieelektrischen Fahrzeuges, in dem der Strom aus erneuerbarer Energie direkt eingesetzt werden kann.

Abbildung 16:  
Vergleich der spezifischen THG-Emissionen sowie des KEA zwischen BEV und ICE mit „e-Fuel“.



<b>steigende Stromnachfrage</b>	Aktuelle Studien kommen zu dem Ergebnis, dass die Nachfrage nach Strom aus erneuerbaren Energien in den kommenden Jahren und Jahrzehnten im Verkehrssektor, aber auch in allen anderen Sektoren signifikant steigen wird (Umweltbundesamt 2020) (BMK 2021). Auch bei einem sehr ambitionierten Ausbau der entsprechenden Produktionsanlagen wird diese Nachfrage aber nur dann bedient werden können, wenn der produzierte erneuerbare Strom möglichst effizient eingesetzt wird. Aus diesem Grund ist die Energieeffizienz des zukünftigen Technologiemix ein wesentliches Argument für eine Technologieentscheidung im Mobilitätssektor.
<b>beschränktes Einsatzgebiet</b>	Der Einsatz von „e-Fuels“ ist technisch machbar und theoretisch sinnvoll, stellt aber aus genannten Gründen mittelfristig für Lkw und Busse keine praktische Option dar. Aus dem hohen Primärenergiebedarf und der daraus folgenden vergleichsweise ineffizienten Nutzung der verfügbaren Energie lässt sich ableiten, dass der Einsatz von synthetischen flüssigen Kraftstoffen auf jene Anwendungsbereiche zu fokussieren ist, wo energieeffizientere Technologien, wie z. B. batterieelektrische Antriebe oder brennstoffzellenbasierte Systeme (beispielsweise aufgrund der niedrigen Energiedichte), in ihrem Einsatz beschränkt sind (z. B. im Flugverkehr).

### 3.4 Exkurs Kraftstoffe biogenen Ursprungs

Wie in den Kapiteln 3.1.1 und 3.1.2 aufgezeigt, kann der Einsatz von Kraftstoffen biogenen Ursprungs in Reinform einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge und Busse bilden. Biogenes LNG und CNG verursacht rund 60 % weniger Treibhausgasemissionen als vergleichbare Kraftstoffe fossilen Ursprungs. Biodiesel kann die Emissionen im Vergleich zu fossilem Diesel sogar um rund zwei Drittel senken, wenn die Ausgangsstoffe für die Biodieselproduktion sehr niedrige THG-Emissionen aufweisen, wie z. B. im Fall von Rohstoff aus Abfällen. Dieses theoretische Potenzial zur Reduktion der THG-Emissionen wird in der Praxis aber durch die eingeschränkte Verfügbarkeit von Rohstoffen zur Herstellung von Biokraftstoffen limitiert.

<b>Vorgaben für Substitution</b>	Im Jahr 2019, also vor Beginn der Pandemie, wurden in Österreich rund 8,7 Millionen Tonnen Otto- und Dieselmotorkraftstoffe abgesetzt. Rund 592.000 Tonnen davon entfielen auf Biokraftstoffe: 485.000 t Biodiesel, 86.000 t Bioethanol und 21.000 t hydrierte Pflanzenöle (HVO, Hydrotreated Vegetable Oils). In Summe entspricht der Anteil demnach rund 7 %. Das Inverkehrbringen von Biokraftstoffen in Österreich erfolgt dabei in erster Linie durch die Vorgaben zur Substitution von fossilen Kraftstoffen, die derzeit hauptsächlich durch die Beimischung von Biodiesel zu Diesel und von Bioethanol zu Benzin erfüllt wird (BMK 2020).
----------------------------------	---

Unter der hypothetischen Annahme, dass diese Absatzmenge entsprechend den derzeitigen Anteilen um 20 % angehoben werden könnte, stünden zusätzliche 118.400 Tonnen Biokraftstoffe mit einem Energiegehalt von umgerechnet

rund 4.200 TJ oder 1.200 GWh<sup>4</sup> zur Verfügung. In Reinform in den Verkehr gebracht, könnten damit rund 5.500 Lastkraftwagen mit einem durchschnittlichen spezifischen Verbrauch von 2,87 kWh/Fkm eine durchschnittliche Jahresfahrleistung von 74.500 km erbringen<sup>5</sup>. Am 31. Dezember 2021 waren in Österreich 73.381 Lastkraftwagen und Sattelzugfahrzeuge registriert<sup>6</sup>. Das bedeutet, dass durch einen erheblichen Anstieg der in Österreich in Verkehr gebrachten Biokraftstoffmenge um 20 % lediglich rund 7,5 % der schweren Nutzfahrzeuge mit reinem Biokraftstoff betrieben werden könnten. Hier ist jedoch anzumerken, dass die betreffenden Fahrzeuge für einen Betrieb mit beispielsweise 100% Biodiesel technisch umgerüstet und von den Fahrzeugherstellern freigegeben sein müssen, was derzeit nur in beschränktem Ausmaß der Fall ist.

**eingeschränkte  
Verfügbarkeit**

Dieses Rechenbeispiel zeigt, dass ein breiter Einsatz von Kraftstoffen biogenen Ursprungs durch deren eingeschränkte Verfügbarkeit einerseits und die technischen und rechtlichen Restriktionen in Zusammenhang mit der erforderlichen Fahrzeugumrüstung bzw. -freigabe andererseits begrenzt wird. Zudem werden die verfügbaren Biokraftstoffe aus heutiger Sicht zukünftig insbesondere dort zum Einsatz kommen, wo batterieelektrische Antriebe oder brennstoffzellenbasierte Systeme in ihrer Anwendung limitiert sind. Dies betrifft insbesondere den Baustellenverkehr und Fahrzeuge in der Land- und Forstwirtschaft bzw. in hochreiner Kraftstoffform auch den Flugverkehr.

---

<sup>4</sup> Zugrunde liegende Heizwerte lt. EEEffG: Biodiesel: 0,0366 TJ/t; Bioethanol: 0,0309 TJ/t, sonst. biogene flüssig: 0,0366 TJ/t

<sup>5</sup> Durchschnittlicher spezifischer Verbrauch und durchschnittliche Jahresfahrleistung von Lastkraftwagen mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von 3,5 bis 40 t lt. Verkehrsträgerliste des Umweltbundesamtes (Stand: Juni 2021):  
<https://www.umweltbundesamt.at/umwelthemen/mobilitaet/mobilitaetsdaten/emissionsfaktoren-verkehrsmittel>

<sup>6</sup> Kraftfahrzeugbestand in Österreich per 31.12.2020 gemäß Statistik Austria:  
[https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?idcService=GET\\_PDF\\_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=125434](https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?idcService=GET_PDF_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=125434)

## 4 INFRASTRUKTUR

Jede der in dieser Studie diskutierten Technologie- bzw. Kraftstoffoptionen benötigt Infrastruktur, sowohl für die Produktion als auch für die Verteilung der jeweiligen Energie.

### **Engpässe in der Infrastruktur**

Diese Infrastruktur ist bei fossilen Benzin- und Dieselmotoren mit der Raffinerie Schwechat bzw. den etablierten Importketten und österreichweit mehr als 2.700 Tankstellen bereits vorhanden (WKÖ 2021). Ähnliches gilt für die Kraftstoffe CNG und LNG, wenngleich die Anzahl der 125 öffentlichen Tankstellen mit CNG-Zapfsäulen<sup>7</sup> und insbesondere der drei öffentlichen Tankstellen mit LNG-Zapfsäulen<sup>8</sup> für einen breiten Einsatz erhöht werden müsste.

### **biogene Kraftstoffe**

Ähnliches gilt für die biogenen Pendanten dieser fossilen Kraftstoffe. Sie könnten dann zwar über dieselben Tankstellen bzw. Zapfsäulen bezogen werden, doch für jene Biokraftstoffmengen, die für einen breiten Einsatz dieser Kraftstoffe auch im Straßenverkehr notwendig wären, müssten zunächst die entsprechenden Produktionsanlagen im In- oder Ausland errichtet werden.

Flüssige biogene Kraftstoffe („e-Fuels“) können, wie bereits erwähnt, nur dann CO<sub>2</sub>-neutrale Mobilität ermöglichen, wenn über die gesamte Herstellungskette des Kraftstoffes ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energiequellen und zusätzlich CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre verwendet werden. Derartige Produktions- bzw. Absorptionsanlagen existieren derzeit weltweit nur im Pilotstadium und müssten für einen wirtschaftlichen Einsatz erst errichtet werden.

### **Wasserstoff**

Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeuge benötigen eine spezielle Betankungsinfrastruktur. In Österreich existieren derzeit sechs Wasserstofftankstellen, die großteils noch nicht für eine Betankung von schweren Nutzfahrzeugen und Bussen ausgelegt sind. Auch hier wäre für eine Ausbreitung der Technologie demnach eine Verdichtung der Betankungsmöglichkeiten in Österreich erforderlich. Darüber hinaus wird an diesen Tankstellen derzeit Wasserstoff aus Erdgasreformung angeboten. Neben dem Ausbau der Betankungsinfrastruktur ist demnach auch die Errichtung von Produktionsanlagen für Wasserstoff aus erneuerbarer Energie erforderlich.

### **Batterieelektrik**

Für den Betrieb von batterieelektrischen Fahrzeugen braucht es ausreichend Wind- und Wasserkraft- bzw. Photovoltaikanlagen zur Produktion des erforderlichen Stromes. Die großen Akkumulatoren erfordern zudem meist den Einsatz von vergleichsweise materialintensiven Schnellladestationen, insbesondere für die Zwischenladung während des Fahrzeugeinsatzes (OPC-Optionen), aber auch für die Nachtladung. Für die Errichtung von Oberleitungen am hochrangigen Straßenverkehrsnetz braucht es entsprechende Mengen an Beton und Stahl ebenso wie Aluminium, Kupfer und Bronze für Tragseile und Fahrdrähte.

<sup>7</sup> <https://www.erdgasautos.at/tanken/tanken-in-oesterreich/>

<sup>8</sup> <https://energynewsmagazine.at/2021/09/24/drei-Ing-tankstellen-in-oesterreich-omv-eroeffnet-in-himberg/>

**Systemgrenzen für Studie** Wenn sämtliche Materialmengen für die beschriebenen Infrastrukturelemente für die Produktion und für die Verteilung der unterschiedlichen Energieformen bekannt sind, müssen die damit verbundenen Emissionen bzw. Energieeinsätze den jeweiligen Technologie- bzw. Kraftstoffoptionen zugeteilt werden. Diese Allokation wiederum erfordert Informationen über die Anzahl der Fahrzeuge, die diese Infrastruktur nutzen werden, sowie deren zu erwartende Fahrleistung.

Sowohl die Recherche und Bilanzierung von Art und Anzahl der erforderlichen Infrastrukturen und der damit verbundenen Materialmengen, als auch die Szenarienbildung zur Entwicklung des Fahrzeugbestandes und der Fahrleistung zur Allokation der zusätzlichen infrastrukturbedingten THG-Emissionen und des infrastrukturbedingten Energieeinsatzes sind außerhalb der Systemgrenzen dieser Studie und wurden dementsprechend nicht berücksichtigt.

## LITERATURVERZEICHNIS

- BMK – Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Innovation und Technologie (2020): Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2020, Wien.
- BMK – Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Innovation und Technologie (2021): Mobilitätsmasterplan 2030 für Österreich, Wien.
- EAS – Energie Agentur Steiermark (2021): "e-Fuels", Darstellung der aktuellen Studienlage zu Power-to-X-Produkten, Graz.
- Gemis (2021): Globales Emissions-Modell integrierter Systeme, Version 5.0.
- Mercedes Benz (2021): Der e-Citaro – Technische Information.  
Abgerufen am 4. Jänner 2022 von [https://www.mercedes-benz-bus.com/content/dam/mbo/markets/common/buy/services-online/download-technical-brochures/images/content/regular-service-buses/ecitaro/ecitaro-10-20/TI\\_eCitaro\\_2020\\_DE.pdf](https://www.mercedes-benz-bus.com/content/dam/mbo/markets/common/buy/services-online/download-technical-brochures/images/content/regular-service-buses/ecitaro/ecitaro-10-20/TI_eCitaro_2020_DE.pdf).
- Prognos (2020): Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger, Endbericht zum Projekt „Transformationspfade und regulatorischer Rahmen für synthetische Brennstoffe“, Basel.
- Sternberg, A.; Hank, C. & Hebling, C. (2019): Treibhausgas-Emissionen für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge mit Reichweiten über 300 km. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.
- Umweltbundesamt (2020): Pathways to a Zero Carbon Transport Sector. Ergebnisbericht. Wien. Umweltbundesamt.
- Umweltbundesamt (2021a): Treibhausgas-Bilanz Österreichs 2019. Abgerufen am 25. März 2021 von <https://www.umweltbundesamt.at/news210119>.
- Umweltbundesamt (2021b): Die Ökobilanz von Personenkraftwagen, Bewertung alternativer Antriebskonzepte hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential und Energieeinsparung. Wien, 2021.
- WKÖ – Wirtschaftskammer Österreich (2020): Tankstellenstatistik 2020. Abgerufen am 9. Jänner 2022 von <https://www.wko.at/branchen/industrie/mineraloelindustrie/tankstellenstatistik-2020.pdf>.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Lebenszyklus eines Kraftfahrzeuges .....	16
Abbildung 2: Symbolbild eines mittelschweren Lkw im Verteilerverkehr .....	20
Abbildung 3: Symbolbild eines schweren Lkw im Transitverkehr .....	22
Abbildung 4: Symbolbild eines Linienbusses im Stadtverkehr .....	24
Abbildung 5: Symbolbild eines Regionalbusses im Überlandverkehr .....	25
Abbildung 6: Wichtigste Elemente zur Bilanzierung der herstellungsbedingten Emissionen .....	28
Abbildung 7: Vergleich der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus, MLV. ....	38
Abbildung 8: Vergleich der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus, SLT. ....	39
Abbildung 9: Vergleich der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus, LSV. ....	40
Abbildung 10: Vergleich der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus, RÜV. ....	41
Abbildung 11: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen je Tonnenkilometer, MLV. ....	43
Abbildung 12: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen je Tonnenkilometer, SLT. ....	44
Abbildung 13: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen je Personenkilometer, LSV. ....	45
Abbildung 14: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen je Personenkilometer, RÜV. ....	46
Abbildung 15: Vergleich des kumulierten Energieaufwandes in kWh/Fkm.....	47
Abbildung 16: Vergleich der spezifischen THG-Emissionen sowie des KEA zwischen BEV und ICE mit „e-Fuel“. ....	48

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	allgemeine Spezifikationen des untersuchten Solo-Lkw. ....	21
Tabelle 2:	analysierte (mehrheitlich) batterieelektrischen Optionen, MLV .....	21
Tabelle 3:	allgemeine Spezifikationen des untersuchten Sattelzuges .....	22
Tabelle 4:	analysierte (mehrheitlich) batterieelektrischen Optionen, SLT .....	23
Tabelle 5:	allgemeine Spezifikationen des untersuchten Stadtbusses.....	24
Tabelle 6:	analysierte (mehrheitlich) batterieelektrischen Optionen,, LSV .....	24
Tabelle 7:	allgemeine Spezifikationen des untersuchten Regionalbusses.....	26
Tabelle 8:	analysierte (mehrheitlich) batterieelektrischen Optionen, RÜV .....	26
Tabelle 9:	Emissionsfaktoren aus der Herstellung des Grundfahrzeuges. ....	29
Tabelle 10:	Emissionen aus der Herstellung des Wasserstoffspeichers. ....	30
Tabelle 11:	Übersicht über die THG-Emissionsfaktoren der wesentlichen Parameter der Fahrzeugherstellung. ....	31
Tabelle 12:	Übersicht über die THG-Emissionsfaktoren der wesentlichen Parameter der Energiebereitstellung.....	35
Tabelle 13:	Zusammenstellung der Ergebnisse der gesamten Lebenszyklusemissionen. ....	42



## ANHANG A – EINGANGSPARAMETER

### A.1: Mittelschwerer Lkw im urbanen Verteilerverkehr (MLV)

		ICE Diesel	ICE LNG	ICE CNG	ICE Biodiesel	ICE e-Diesel	ICE Bio-LNG	ICE Bio-CNG	FCEV Ref-H <sub>2</sub>	FCEV EE-H <sub>2</sub>	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	BEV-AT ONC	BEV-EE ONC	BEV-AT OPC	BEV-EE OPC
Gewicht Grundfahrzeug	[kg]	12.800	13.200	13.200	12.800	12.800	13.200	13.200	11.600	11.600	11.100	11.300	11.300	11.300	11.300
Leistung Elektromotor	[kW]	-	-	-	-	-	-	-	350	350	350	350	350	350	350
Gewicht Antriebsstrang	[kg]	-	-	-	-	-	-	-	270	270	270	270	270	270	270
Kapazität des Akkumulators	[kWh]	-	-	-	-	-	-	-	30	30	220	220	220	110	110
Leistung Brennstoffzelle	[kW]	-	-	-	-	-	-	-	70	70	70	-	-	-	-
Kapazität Wasserstoffspeicher	[kg]	-	-	-	-	-	-	-	29	29	20	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch AdBlue	[kg/km]	0,01	-	-	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch Diesel/Gas	[kWh/km]	2,54	2,41	2,46	2,54	2,54	2,41	2,46	-	-	-	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch Wasserstoff	[kWh/km]	-	-	-	-	-	-	-	1,91	1,91	0,19	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch Strom	[kWh/km]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99	1,10	1,10	1,10	1,10

## A.2: Schwerer Lkw im Transitverkehr (SLT)

		ICE Diesel	ICE LNG	ICE CNG	ICE Biodiesel	ICE e-Diesel	ICE Bio-LNG	ICE Bio-CNG	FCEV Ref-H <sub>2</sub>	FCEV EE-H <sub>2</sub>	BEV-EE-OL Biodiesel-REX	BEV-AT-OL	BEV-EE-OL
Gewicht Grundfahrzeug	[kg]	14.700	15.100	15.100	14.400	14.700	15.100	15.100	13.200	13.200	12.800	13.200	13.200
Leistung Elektromotor	[kW]	-	-	-	-	-	-	-	450	450	450	450	450
Gewicht Antriebsstrang	[kg]	-	-	-	-	-	-	-	350	350	350	350	350
Kapazität des Akkumulators	[kWh]	-	-	-	-	-	-	-	40	40	20	200	200
Leistung Brennstoffzelle	[kW]	-	-	-	-	-	-	-	100	100	-	-	-
Kapazität Wasserstoffspeicher	[kg]	-	-	-	-	-	-	-	79	79	-	-	-
spezifischer Verbrauch AdBlue	[kg/km]	0,01	-	-	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch Diesel/Gas	[kWh/km]	3,16	3,00	3,06	3,16	3,16	3,00	3,06	-	-	0,43	-	-
spezifischer Verbrauch Wasserstoff	[kWh/km]	-	-	-	-	-	-	-	2,62	2,62	-	-	-
spezifischer Verbrauch Strom	[kWh/km]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,55	1,55	1,55

### A.3: Linienbus im Stadtverkehr (LSV)

		ICE Diesel	ICE LNG	ICE CNG	ICE Biodiesel	ICE e-Diesel	ICE Bio-LNG	ICE Bio-CNG	FCEV Ref-H <sub>2</sub>	FCEV EE-H <sub>2</sub>	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	BEV-AT ONC	BEV-EE ONC	BEV-AT OPC	BEV-EE OPC
Gewicht Grundfahrzeug	[kg]	10.700	11.000	11.000	10.700	10.700	11.000	11.000	10.200	10.200	9.300	9.900	9.900	9.900	9.900
Leistung Elektromotor	[kW]	-	-	-	-	-	-	-	170	170	170	170	170	170	170
Gewicht Antriebsstrang	[kg]	-	-	-	-	-	-	-	260	260	290	290	290	290	290
Kapazität des Akkumulators	[kWh]	-	-	-	-	-	-	-	40	40	350	350	350	175	175
Leistung Brennstoffzelle	[kW]	-	-	-	-	-	-	-	70	70	70	-	-	-	-
Kapazität Wasserstoffspeicher	[kg]	-	-	-	-	-	-	-	39	39	17	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch AdBlue	[kg/km]	0,02	-	-	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch Diesel/Gas	[kWh/km]	3,50	3,32	3,39	3,50	3,50	3,32	3,39	-	-	-	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch Wasserstoff	[kWh/km]	-	-	-	-	-	-	-	2,59	2,59	0,26	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch Strom	[kWh/km]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,50	1,50	1,50	1,50

### A.4: Regionalbus im Überlandverkehr (RÜV)

		ICE Diesel	ICE LNG	ICE CNG	ICE Biodiesel	ICE e-Diesel	ICE Bio-LNG	ICE Bio-CNG	FCEV Ref-H <sub>2</sub>	FCEV EE-H <sub>2</sub>	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	BEV-AT ONC	BEV-EE ONC	BEV-AT OPC	BEV-EE OPC
Gewicht Grundfahrzeug	[kg]	12.900	13.400	13.400	12.900	12.900	13.400	13.400	12.100	12.100	11.200	11.800	11.800	11.800	11.800
Leistung Elektromotor	[kW]	-	-	-	-	-	-	-	190	190	190	190	190	190	190
Gewicht Antriebsstrang	[kg]	-	-	-	-	-	-	-	295	295	330	330	330	330	330
Kapazität des Akkumulators	[kWh]	-	-	-	-	-	-	-	125	125	350	440	440	220	220
Leistung Brennstoffzelle	[kW]	-	-	-	-	-	-	-	70	70	70	-	-	-	-
Kapazität Wasserstoffspeicher	[kg]	-	-	-	-	-	-	-	28	28	17	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch AdBlue	[kg/km]	0,01	-	-	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch Diesel/Gas	[kWh/km]	3,01	2,85	2,91	3,01	3,01	2,85	2,91	-	-	-	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch Wasserstoff	[kWh/km]	-	-	-	-	-	-	-	2,59	2,59	0,26	-	-	-	-
spezifischer Verbrauch Strom	[kWh/km]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,50	1,50	1,50	1,50

## ANHANG B.1 – ERGEBNISTABELLEN – GESAMTEMISSIONEN

### B.1.1: Mittelschwerer Lkw im urbanen Verteilerverkehr (MLV) in kg CO<sub>2</sub>-eq

	ICE Diesel	ICE LNG	ICE CNG	ICE Biodiesel	ICE e-Diesel	ICE Bio-LNG	ICE Bio-CNG	FCEV Ref-H <sub>2</sub>	FCEV EE-H <sub>2</sub>	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	BEV-AT ONC	BEV-EE ONC	BEV-AT OPC	BEV-EE OPC
Fahrzeugherstellung	39.037	40.257	40.257	39.037	39.037	40.257	40.257	30.071	30.071	28.775	29.293	29.293	29.293	29.293
Herstellung Elektromotor	-	-	-	-	-	-	-	1.578	1.578	1.578	1.578	1.578	1.578	1.578
Herstellung elektrischer Antriebsstrang	-	-	-	-	-	-	-	11.341	11.341	11.329	11.329	11.329	11.341	11.341
Herstellung Akkumulator	-	-	-	-	-	-	-	4.948	4.948	36.283	36.283	36.283	18.142	18.142
Herstellung Brennstoffzelle	-	-	-	-	-	-	-	2.800	2.800	2.800	-	-	-	-
Herstellung Wasserstoffspeicher	-	-	-	-	-	-	-	7.324	7.324	5.100	-	-	-	-
Herstellung Harnstofflösung ("AdBlue")	4043	-	-	4.043	4.043	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Summe Herstellung</b>	<b>43.080</b>	<b>40.257</b>	<b>40.257</b>	<b>43.080</b>	<b>43.080</b>	<b>40.257</b>	<b>40.257</b>	<b>58.061</b>	<b>58.061</b>	<b>85.865</b>	<b>78.483</b>	<b>78.483</b>	<b>60.353</b>	<b>60.353</b>
direkte Emissionen fossiler Kraftstoffe	389.475	308.403	315.592	6.869	6.869	19.321	20.590	-	-	-	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen fossiler Kraftstoffe	100.281	117.179	103.557	135.448	64.899	135.705	125.357	-	-	-	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-	357.252	25.581	2.558	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Strom	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.900	146.549	8.780	145.885	8.740
<b>Summe Energie</b>	<b>489.756</b>	<b>425.583</b>	<b>419.149</b>	<b>142.317</b>	<b>71.768</b>	<b>155.026</b>	<b>145.947</b>	<b>357.252</b>	<b>25.581</b>	<b>10.458</b>	<b>146.549</b>	<b>8.780</b>	<b>145.885</b>	<b>8.740</b>
<b>SUMME</b>	<b>532.836</b>	<b>465.840</b>	<b>459.406</b>	<b>185.397</b>	<b>114.848</b>	<b>195.283</b>	<b>186.204</b>	<b>415.313</b>	<b>83.642</b>	<b>96.323</b>	<b>225.032</b>	<b>87.263</b>	<b>206.238</b>	<b>69.093</b>

**B.1.2: Schwerer Lkw im Transitverkehr (SLT) in kg CO<sub>2</sub>-eq**

	ICE Diesel	ICE LNG	ICE CNG	ICE Biodiesel	ICE e-Diesel	ICE Bio-LNG	ICE Bio-CNG	FCEV Ref-H <sub>2</sub>	FCEV EE-H <sub>2</sub>	BEV-EE-OL Biodiesel-REX	BEV-AT-OL	BEV-EE-OL
Fahrzeugherstellung	44.135	45.336	45.336	43.235	44.135	45.336	45.336	33.687	33.687	32.666	33.687	33.687
Herstellung Elektromotor	-	-	-	-	-	-	-	2.029	2.029	2.029	2.029	2.029
Herstellung elektrischer Antriebsstrang	-	-	-	-	-	-	-	14.701	14.701	14.701	14.701	14.701
Herstellung Akkumulator	-	-	-	-	-	-	-	6.597	6.597	3.298	32.985	32.985
Herstellung Brennstoffzelle	-	-	-	-	-	-	-	4.000	4.000	-	-	-
Herstellung Wasserstoffspeicher	-	-	-	-	-	-	-	20.034	20.034	-	-	-
Herstellung Harnstofflösung ("AdBlue")	6.707	-	-	6.707	6.707	-	-	-	-	-	-	-
<b>Summe Herstellung</b>	<b>50.842</b>	<b>45.336</b>	<b>45.336</b>	<b>49.941</b>	<b>50.842</b>	<b>45.336</b>	<b>45.336</b>	<b>81.048</b>	<b>81.048</b>	<b>52.694</b>	<b>83.401</b>	<b>83.401</b>
direkte Emissionen fossiler Kraftstoffe	646.059	511.577	523.502	11.394	11.394	32.049	34.154	-	-	1.548	-	-
vorgelagerte Emissionen fossiler Kraftstoffe	166.345	194.376	171.780	224.680	107.655	225.107	207.942	-	-	30.527	-	-
vorgelagerte Emissionen Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-	651.537	46.654	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Strom	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.504	275.482	16.504
<b>Summe Energie</b>	<b>812.404</b>	<b>705.953</b>	<b>695.282</b>	<b>236.074</b>	<b>119.048</b>	<b>257.156</b>	<b>242.096</b>	<b>651.537</b>	<b>46.654</b>	<b>48.579</b>	<b>275.482</b>	<b>16.504</b>
<b>SUMME</b>	<b>863.246</b>	<b>751.290</b>	<b>740.618</b>	<b>286.015</b>	<b>169.890</b>	<b>302.492</b>	<b>287.432</b>	<b>732.585</b>	<b>127.702</b>	<b>101.273</b>	<b>358.883</b>	<b>99.905</b>

**B.1.3: Linienbus im Stadtverkehr (LSV) in kg CO<sub>2</sub>-eq**

	ICE Diesel	ICE LNG	ICE CNG	ICE Biodiesel	ICE e-Diesel	ICE Bio-LNG	ICE Bio-CNG	FCEV Ref-H <sub>2</sub>	FCEV EE-H <sub>2</sub>	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	BEV-AT ONC	BEV-EE ONC	BEV-AT OPC	BEV-EE OPC
Fahrzeugherstellung	46.004	47.293	47.293	46.004	46.004	47.293	47.293	37.276	37.276	33.987	36.179	36.179	36.179	36.179
Herstellung Elektromotor	-	-	-	-	-	-	-	766	766	766	766	766	766	766
Herstellung elektrischer Antriebsstrang	-	-	-	-	-	-	-	10.921	10.921	12.181	12.181	12.181	12.181	12.181
Herstellung Akkumulator	-	-	-	-	-	-	-	6.597	6.597	57.723	57.723	57.723	28.862	28.862
Herstellung Brennstoffzelle	-	-	-	-	-	-	-	2.800	2.800	2.800	-	-	-	-
Herstellung Wasserstoffspeicher	-	-	-	-	-	-	-	9.914	9.914	4.284	-	-	-	-
Herstellung Harnstofflösung ("AdBlue")	7.118	-	-	7.118	7.118	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Summe Herstellung</b>	<b>53.122</b>	<b>47.293</b>	<b>47.293</b>	<b>53.122</b>	<b>53.122</b>	<b>47.293</b>	<b>47.293</b>	<b>68.274</b>	<b>68.274</b>	<b>111.741</b>	<b>106.850</b>	<b>106.850</b>	<b>77.988</b>	<b>77.988</b>
direkte Emissionen fossiler Kraftstoffe	589.439	466.743	477.623	10.395	10.395	29.241	31.161	-	-	-	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen fossiler Kraftstoffe	151.767	177.341	156.726	204.989	98.220	205.378	189.718	-	-	-	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-	531.990	38.093	3.809	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Strom	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.850	219.780	13.167	219.780	13.167
<b>Summe Energie</b>	<b>741.206</b>	<b>644.085</b>	<b>634.348</b>	<b>215.384</b>	<b>108.615</b>	<b>234.619</b>	<b>220.879</b>	<b>531.990</b>	<b>38.093</b>	<b>15.660</b>	<b>219.780</b>	<b>13.167</b>	<b>219.780</b>	<b>13.167</b>
<b>SUMME</b>	<b>794.328</b>	<b>691.378</b>	<b>681.642</b>	<b>268.506</b>	<b>161.736</b>	<b>281.912</b>	<b>268.172</b>	<b>600.264</b>	<b>106.367</b>	<b>127.401</b>	<b>326.630</b>	<b>120.017</b>	<b>297.768</b>	<b>91.155</b>

**B.1.4: Regionalbus im Überlandverkehr (RÜV) in kg CO<sub>2</sub>-eq**

	ICE Diesel	ICE LNG	ICE CNG	ICE Biodiesel	ICE e-Diesel	ICE Bio-LNG	ICE Bio-CNG	FCEV Ref-H <sub>2</sub>	FCEV EE-H <sub>2</sub>	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	BEV-AT ONC	BEV-EE ONC	BEV-AT OPC	BEV-EE OPC
Fahrzeugherstellung	55.462	57.612	57.612	55.462	55.462	57.612	57.612	44.219	44.219	40.930	43.123	43.123	43.123	43.123
Herstellung Elektromotor	-	-	-	-	-	-	-	857	857	857	857	857	857	857
Herstellung elektrischer Antriebsstrang	-	-	-	-	-	-	-	12.393	12.393	13.853	13.853	13.853	13.861	13.861
Herstellung Akkumulator	-	-	-	-	-	-	-	20.593	20.593	57.723	72.566	72.566	36.283	36.283
Herstellung Brennstoffzelle	-	-	-	-	-	-	-	2.800	2.800	2.800	-	-	-	-
Herstellung Wasserstoffspeicher	-	-	-	-	-	-	-	7.076	7.076	4.284	-	-	-	-
Herstellung Harnstofflösung ("AdBlue")	6.178	-	-	6.178	6.178	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Summe Herstellung</b>	<b>61.640</b>	<b>57.612</b>	<b>57.612</b>	<b>61.640</b>	<b>61.640</b>	<b>57.612</b>	<b>57.612</b>	<b>87.938</b>	<b>87.938</b>	<b>120.447</b>	<b>130.399</b>	<b>130.399</b>	<b>94.124</b>	<b>94.124</b>
direkte Emissionen fossiler Kraftstoffe	598.265	473.731	484.774	10.551	10.551	29.678	31.628	-	-	-	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen fossiler Kraftstoffe	154.039	179.997	159.072	208.059	99.691	208.454	192.558	-	-	-	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-	628.716	45.019	4.502	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Strom	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.005	259.740	15.561	259.740	15.561
<b>Summe Energie</b>	<b>752.304</b>	<b>653.728</b>	<b>643.846</b>	<b>218.609</b>	<b>110.241</b>	<b>238.132</b>	<b>224.186</b>	<b>628.716</b>	<b>45.019</b>	<b>18.507</b>	<b>259.740</b>	<b>15.561</b>	<b>259.740</b>	<b>15.561</b>
<b>SUMME</b>	<b>813.944</b>	<b>711.340</b>	<b>701.458</b>	<b>280.250</b>	<b>171.881</b>	<b>295.744</b>	<b>281.798</b>	<b>716.654</b>	<b>132.957</b>	<b>138.954</b>	<b>390.139</b>	<b>145.960</b>	<b>353.864</b>	<b>109.685</b>



## ANHANG B.2 – ERGEBNISTABELLEN – SPEZIFISCHE EMISSIONEN JE KILOMETER

### B.2.1: Mittelschwerer Lkw im urbanen Verteilerverkehr (MLV) in g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm

	ICE Diesel	ICE LNG	ICE CNG	ICE Biodiesel	ICE e-Diesel	ICE Bio-LNG	ICE Bio-CNG	FCEV Ref-H <sub>2</sub>	FCEV EE-H <sub>2</sub>	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	BEV-AT ONC	BEV-EE ONC	BEV-AT OPC	BEV-EE OPC
Fahrzeugherstellung	13,01	13,42	13,42	13,01	13,01	13,42	13,42	10,02	10,02	9,59	9,76	9,76	9,76	9,76
Herstellung Elektromotor	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Herstellung elektrischer Antriebsstrang	-	-	-	-	-	-	-	3,78	3,78	3,78	3,78	3,78	3,78	3,78
Herstellung Akkumulator	-	-	-	-	-	-	-	1,65	1,65	12,09	12,09	12,09	6,05	6,05
Herstellung Brennstoffzelle	-	-	-	-	-	-	-	0,93	0,93	0,93	-	-	-	-
Herstellung Wasserstoffspeicher	-	-	-	-	-	-	-	2,44	2,44	1,70	-	-	-	-
Herstellung Harnstofflösung ("AdBlue")	1,35	-	-	1,35	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Summe Herstellung</b>	<b>14,36</b>	<b>13,42</b>	<b>13,42</b>	<b>14,36</b>	<b>14,36</b>	<b>13,42</b>	<b>13,42</b>	<b>19,35</b>	<b>19,35</b>	<b>28,62</b>	<b>26,16</b>	<b>26,16</b>	<b>20,12</b>	<b>20,12</b>
direkte Emissionen fossiler Kraftstoffe	129,83	102,80	105,20	2,29	2,29	6,44	6,86	-	-	-	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen fossile Kraftstoffe	33,43	39,06	34,52	45,15	21,63	45,24	41,79	-	-	-	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-	119,08	8,53	0,85	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Strom	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,63	48,85	2,93	48,63	2,91
<b>Summe Energie</b>	<b>163,25</b>	<b>141,86</b>	<b>139,72</b>	<b>47,44</b>	<b>23,92</b>	<b>51,68</b>	<b>48,65</b>	<b>119,08</b>	<b>8,53</b>	<b>3,49</b>	<b>48,85</b>	<b>2,93</b>	<b>48,63</b>	<b>2,91</b>
<b>SUMME</b>	<b>177,61</b>	<b>155,28</b>	<b>153,14</b>	<b>61,80</b>	<b>38,28</b>	<b>65,09</b>	<b>62,07</b>	<b>138,44</b>	<b>27,88</b>	<b>32,11</b>	<b>75,01</b>	<b>29,09</b>	<b>68,75</b>	<b>23,03</b>

**B.2.2: Schwerer Lkw im Transitverkehr (SLT) in g CO<sub>2</sub>-eq je Tkm**

	ICE Diesel	ICE LNG	ICE CNG	ICE Biodiesel	ICE e-Diesel	ICE Bio-LNG	ICE Bio-CNG	FCEV Ref-H <sub>2</sub>	FCEV EE-H <sub>2</sub>	BEV-EE-OL Biodiesel-REX	BEV-AT-OL	BEV-EE-OL
Fahrzeugherstellung	3,68	3,78	3,78	3,60	3,68	3,78	3,78	2,81	2,81	2,72	2,81	2,81
Herstellung Elektromotor	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Herstellung elektrischer Antriebsstrang	-	-	-	-	-	-	-	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
Herstellung Akkumulator	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,55	0,27	2,75	2,75
Herstellung Brennstoffzelle	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,33	-	-	-
Herstellung Wasserstoffspeicher	-	-	-	-	-	-	-	1,67	1,67	-	-	-
Herstellung Harnstofflösung ("AdBlue")	0,56	-	-	0,56	0,56	-	-	-	-	-	-	-
<b>Summe Herstellung</b>	<b>4,24</b>	<b>3,78</b>	<b>3,78</b>	<b>4,16</b>	<b>4,24</b>	<b>3,78</b>	<b>3,78</b>	<b>6,75</b>	<b>6,75</b>	<b>4,39</b>	<b>6,95</b>	<b>6,95</b>
direkte Emissionen fossiler Kraftstoffe	53,84	42,63	43,63	0,95	0,95	2,67	2,85	-	-	0,13	-	-
vorgelagerte Emissionen fossile Kraftstoffe	13,86	16,20	14,32	18,72	8,97	18,76	17,33	-	-	2,54	-	-
vorgelagerte Emissionen Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-	54,29	3,89	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Strom	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,38	22,96	1,38
<b>Summe Energie</b>	<b>67,70</b>	<b>58,83</b>	<b>57,94</b>	<b>19,67</b>	<b>9,92</b>	<b>21,43</b>	<b>20,17</b>	<b>54,29</b>	<b>3,89</b>	<b>4,05</b>	<b>22,96</b>	<b>1,38</b>
<b>SUMME</b>	<b>71,94</b>	<b>62,61</b>	<b>61,72</b>	<b>23,83</b>	<b>14,16</b>	<b>25,21</b>	<b>23,95</b>	<b>61,05</b>	<b>10,64</b>	<b>8,44</b>	<b>29,91</b>	<b>8,33</b>

**B.2.3: Linienbus im Stadtverkehr (LSV) in g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm**

	ICE Diesel	ICE LNG	ICE CNG	ICE Biodiesel	ICE e-Diesel	ICE Bio-LNG	ICE Bio-CNG	FCEV Ref-H <sub>2</sub>	FCEV EE-H <sub>2</sub>	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	BEV-AT ONC	BEV-EE ONC	BEV-AT OPC	BEV-EE OPC
Fahrzeugherstellung	2,32	2,39	2,39	2,32	2,32	2,39	2,39	1,88	1,88	1,72	1,83	1,83	9,76	9,76
Herstellung Elektromotor	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,53	0,53
Herstellung elektrischer Antriebsstrang	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,55	0,62	0,62	0,62	3,78	3,78
Herstellung Akkumulator	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,33	2,92	2,92	2,92	6,05	6,05
Herstellung Brennstoffzelle	-	-	-	-	-	-	-	0,14	0,14	0,14	-	-	-	-
Herstellung Wasserstoffspeicher	-	-	-	-	-	-	-	0,50	0,50	0,22	-	-	-	-
Herstellung Harnstofflösung ("AdBlue")	0,36	-	-	0,36	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Summe Herstellung</b>	<b>2,68</b>	<b>2,39</b>	<b>2,39</b>	<b>2,68</b>	<b>2,68</b>	<b>2,39</b>	<b>2,39</b>	<b>3,45</b>	<b>3,45</b>	<b>5,64</b>	<b>5,40</b>	<b>5,40</b>	<b>20,12</b>	<b>20,12</b>
direkte Emissionen fossiler Kraftstoffe	29,77	23,57	24,12	0,53	0,53	1,48	1,57	-	-	-	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen fossile Kraftstoffe	7,67	8,96	7,92	10,35	4,96	10,37	9,58	-	-	-	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-	26,87	1,92	0,19	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Strom	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,60	11,10	0,67	48,63	2,91
<b>Summe Energie</b>	<b>37,43</b>	<b>32,53</b>	<b>32,04</b>	<b>10,88</b>	<b>5,49</b>	<b>11,85</b>	<b>11,16</b>	<b>26,87</b>	<b>1,92</b>	<b>0,79</b>	<b>11,10</b>	<b>0,67</b>	<b>48,63</b>	<b>2,91</b>
<b>SUMME</b>	<b>40,12</b>	<b>34,92</b>	<b>34,43</b>	<b>13,56</b>	<b>8,17</b>	<b>14,24</b>	<b>13,54</b>	<b>30,32</b>	<b>5,37</b>	<b>6,43</b>	<b>16,50</b>	<b>6,06</b>	<b>68,75</b>	<b>23,03</b>

**B.2.4: Regionalbus im Überlandverkehr (RÜV) in g CO<sub>2</sub>-eq je Pkm**

	ICE Diesel	ICE LNG	ICE CNG	ICE Biodiesel	ICE e-Diesel	ICE Bio-LNG	ICE Bio-CNG	FCEV Ref-H <sub>2</sub>	FCEV EE-H <sub>2</sub>	BEV-EE H <sub>2</sub> -REX	BEV-AT ONC	BEV-EE ONC	BEV-AT OPC	BEV-EE OPC
Fahrzeugherstellung	4,74	4,92	4,92	4,74	4,74	4,92	4,92	3,78	3,78	3,50	3,69	3,69	3,69	3,69
Herstellung Elektromotor	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Herstellung elektrischer Antriebsstrang	-	-	-	-	-	-	-	1,06	1,06	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Herstellung Akkumulator	-	-	-	-	-	-	-	1,76	1,76	4,93	6,20	6,20	3,10	3,10
Herstellung Brennstoffzelle	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,24	0,24	-	-	-	-
Herstellung Wasserstoffspeicher	-	-	-	-	-	-	-	0,60	0,60	0,37	-	-	-	-
Herstellung Harnstofflösung ("AdBlue")	0,53	-	-	0,53	0,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Summe Herstellung</b>	<b>5,27</b>	<b>4,92</b>	<b>4,92</b>	<b>5,27</b>	<b>5,27</b>	<b>4,92</b>	<b>4,92</b>	<b>7,52</b>	<b>7,52</b>	<b>10,29</b>	<b>11,15</b>	<b>11,15</b>	<b>8,04</b>	<b>8,04</b>
direkte Emissionen fossiler Kraftstoffe	51,13	40,49	41,43	0,90	0,90	2,54	2,70	-	-	-	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen fossile Kraftstoffe	13,17	15,38	13,60	17,78	8,52	17,82	16,46	-	-	-	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-	53,74	3,85	0,38	-	-	-	-
vorgelagerte Emissionen Strom	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,20	22,20	1,33	-	-
<b>Summe Energie</b>	<b>64,30</b>	<b>55,87</b>	<b>55,03</b>	<b>18,68</b>	<b>9,42</b>	<b>20,35</b>	<b>19,16</b>	<b>53,74</b>	<b>3,85</b>	<b>1,58</b>	<b>22,20</b>	<b>1,33</b>	<b>22,20</b>	<b>1,33</b>
<b>SUMME</b>	<b>69,57</b>	<b>60,80</b>	<b>59,95</b>	<b>23,95</b>	<b>14,69</b>	<b>25,28</b>	<b>24,09</b>	<b>61,25</b>	<b>11,36</b>	<b>11,88</b>	<b>33,35</b>	<b>12,48</b>	<b>30,24</b>	<b>9,37</b>

**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

Die Ökobilanz zeigt die Klimaverträglichkeit verschiedener Technologie- und Kraftstoffoptionen in vier Anwendungsfällen in den Fahrzeugkategorien Schweres Nutzfahrzeug und Bus. Dafür wurden Treibhausgas-Emissionen und Energieaufwand verglichen. Berücksichtigt wurden sowohl vor- und nachgelagerte Emissionen, die bei Herstellung des Fahrzeugs und des Energieträgers entstehen, als auch direkte Emissionen aus dem Fahrbetrieb.

Die Analyse von 17 Technologie- bzw. Kraftstoffoptionen zeigt, dass batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) bei Einsatz von 100 % Strom aus erneuerbaren Energiequellen in allen Anwendungsfällen am klimafreundlichsten sind. Wasserstoffantriebe weisen ähnlich niedrige Treibhausgas-Emissionen auf, haben aber eine niedrigere Energieeffizienz. Die passende Konfiguration der Batteriekapazität, ressourcenschonende Produktion und Recycling helfen, die Ökobilanz von Schweren Nutzfahrzeugen und Bussen weiter zu verbessern.