



Hochschule für  
Technik und Wirtschaft  
Dresden  
University of Applied Sciences



Förderkreis Abgasnachbehandlungstechnologien für Verbrennungskraftmaschinen e.V.

# „Vergessene“ Emissionen – eine Well-to-Tank Betrachtung zukünftiger Mobilität

Prof. Dr.-Ing. Uwe Gärtner  
[www.gaencon.de](http://www.gaencon.de)

# 1. History & Motive

# „Wer nichts weiß, muss alles glauben<sup>1</sup>!“

<sup>1</sup> Marie von Ebner-Eschenbach, Aphorismen, 1880



**So viel Strom brauchen  
Autos mit  
Verbrennungsmotor**

Der Strombedarf für Elektroautos wird überschätzt. Denn mit dem Ende des Verbrennungsmotors sparen wir auch eine Menge Strom ein. Ein Gedankenexperiment.

Unfassbar: 42 kWh Energieaufwand für sechs Liter Diesel?

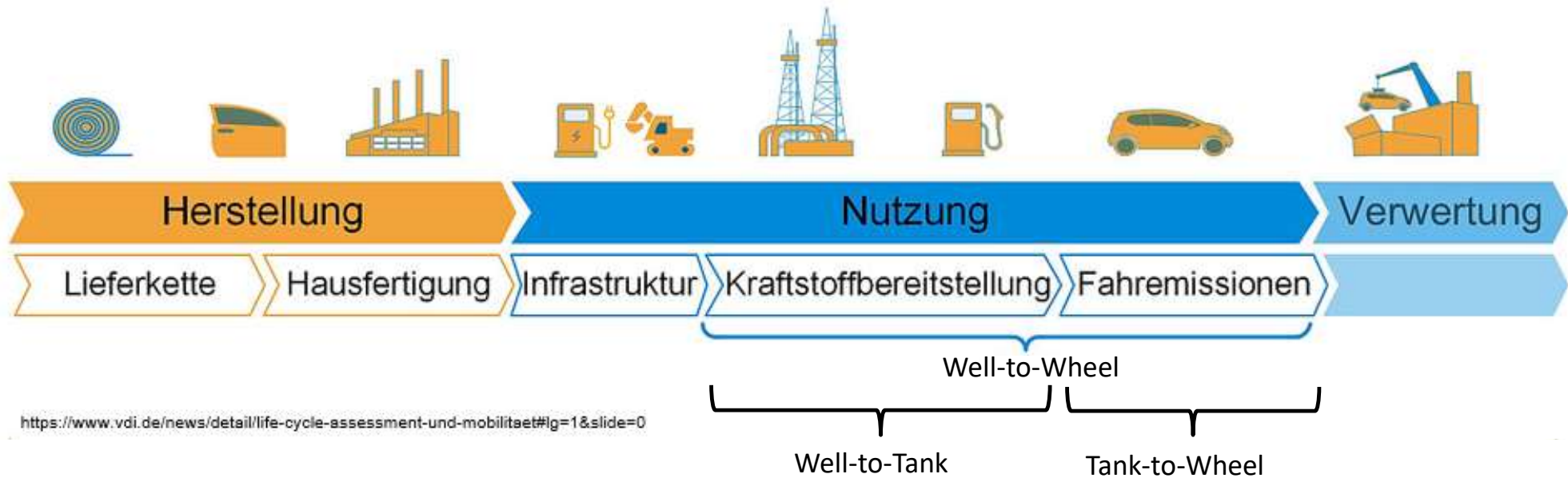


„[...] aber sie stoßen weder Stickoxide, noch Schwefeldioxid aus, machen keinen unnötigen Lärm und brauchen für den Vortrieb bauartbedingt 2/3 weniger Energie als Verbrenner.“

Quellen:  
<https://e-engine.de/unfassbar-42-kwh-energieaufwand-fuer-sechs-liter-diesel/>  
<https://e-engine.de/freitag-magazin-adac-pannenvergleich-stromer-vs-verbrenner-teslas-preispolitik-geht-auf-die-42-kwh-diesel-maer-byds-erstes-halb-jahr-2023-mit-sattem-plus/>  
<https://edison.media/energie/so-viel-strom-brauchen-autos-mit-verbrennungsmotor/25014347/>

## 2. System Boundary

# Life-Cycle-Assessment (Maus, 2020)



<https://www.vdi.de/news/detail/life-cycle-assessment-und-mobilitaet#ig=1&slide=0>

Maus, W. (2020). Life-Cycle-Assessment und Mobilität. Abgerufen am 06.08.2022. von <https://www.vdi.de/news/detail/life-cycle-assessment-und-mobilitaet>

## 3. Reference Vehicles

# Technical Data of Reference Vehicles

VW Golf 2.0 TDI SCR Style DSG



VW Golf 1.5 eTSI Style DSG

VW Golf 1.5 TGI Life DSG

VW ID.3 Pro S (4-Sitzer)



		<b>Diesel</b>	<b>Benzin</b>	<b>Erdgas</b>	<b>Strom</b>
Leistung	[kW]	110	110	96	150
Hubraum	[cm³]	1968	1498	1498	/.
Verbrauch	[l/100km]				
	[kg/100km] [kWh/100km]	4,8	6,1	4,3	19,2
NOx	[mg/km]	15	9	6	78
PM	[mg/km]	0,1	0,1	0,3	2
PM	[#/km]	$0,01854 \cdot 10^{11}$	$0,02673 \cdot 10^{11}$	$0,1359 \cdot 10^{11}$	k.A.
CO	[mg/km]	11	657	125	27
HC	[mg/km]	2	6	14	2

Quellen:

<https://www.adac.de/-/media/pdf/tet/ecotest/ecotest-methodik-ab-04-2021.pdf>

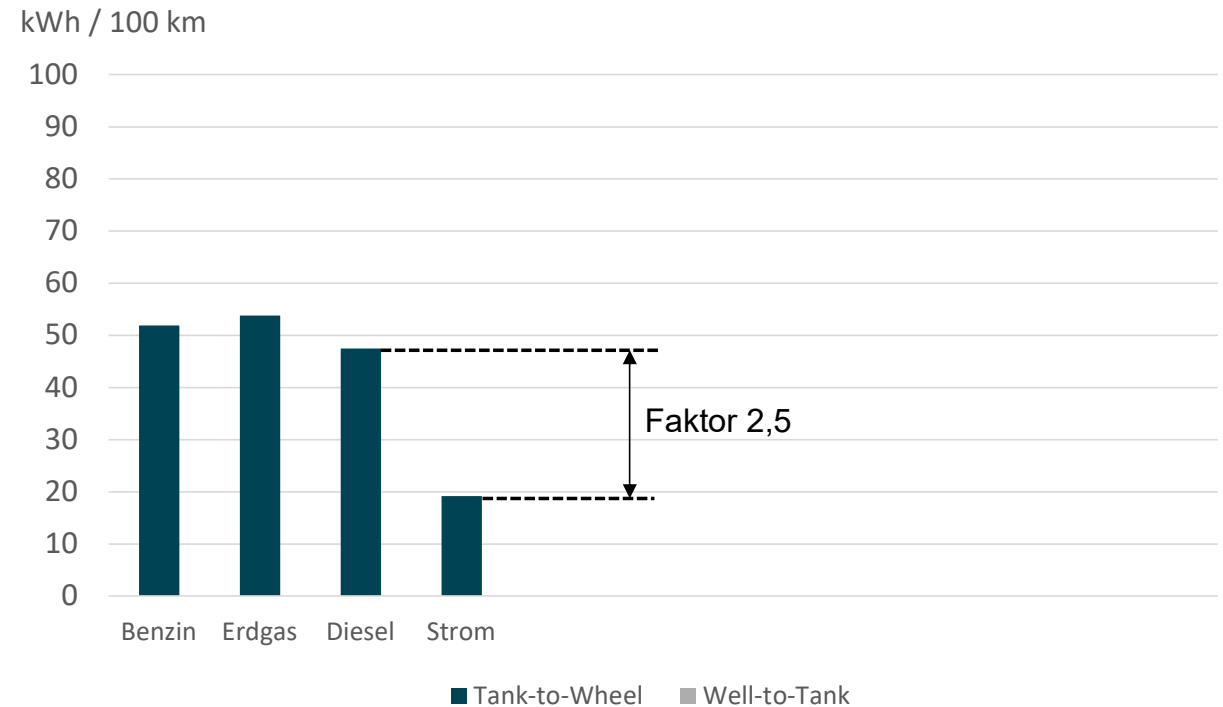
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/ecotest/>

## 4. Energy Balance



# Demand for Energy of Reference Vehicles (Tank-to-Wheel)

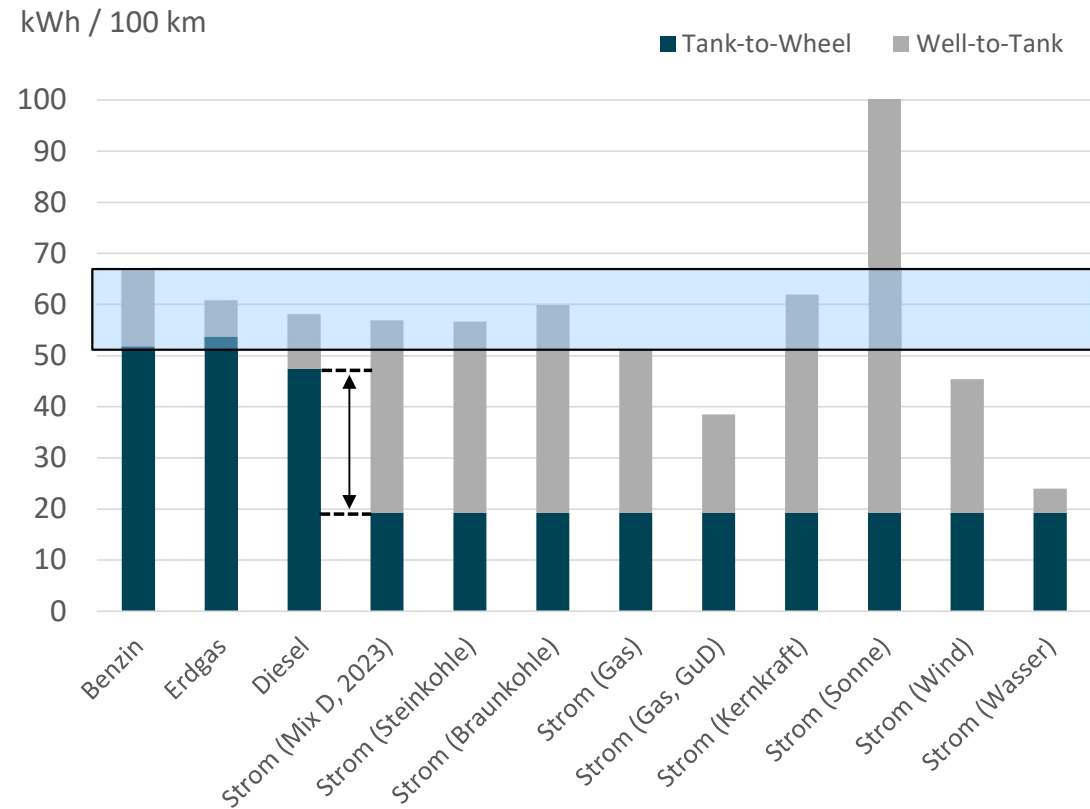
*In einer isolierten Tank-to-Wheel (TtW) Betrachtung zeigen batterieelektrische Fahrzeuge BEV erhebliche Vorteile*



Datenquellen:  
(ADAC, 2024a), (ADAC, 2024b), (BWE, 2022), (Fraunhofer ISE, 2024),  
(Gloor, 2019), (Hoekstra, 2020), (Michaelidis, 2021), (Rodrigues et al., 2022),  
(UBA, 2023)

# Demand for Energy of Reference Vehicles (Well-to-Wheel)

*Vermeintliche Vorteile des BEV  
 in einer Tank-to-Wheel (TtW)  
 Betrachtung können sich durch  
 die Well-to-Tank (WtT)  
 Energiebedarfe relativieren.*

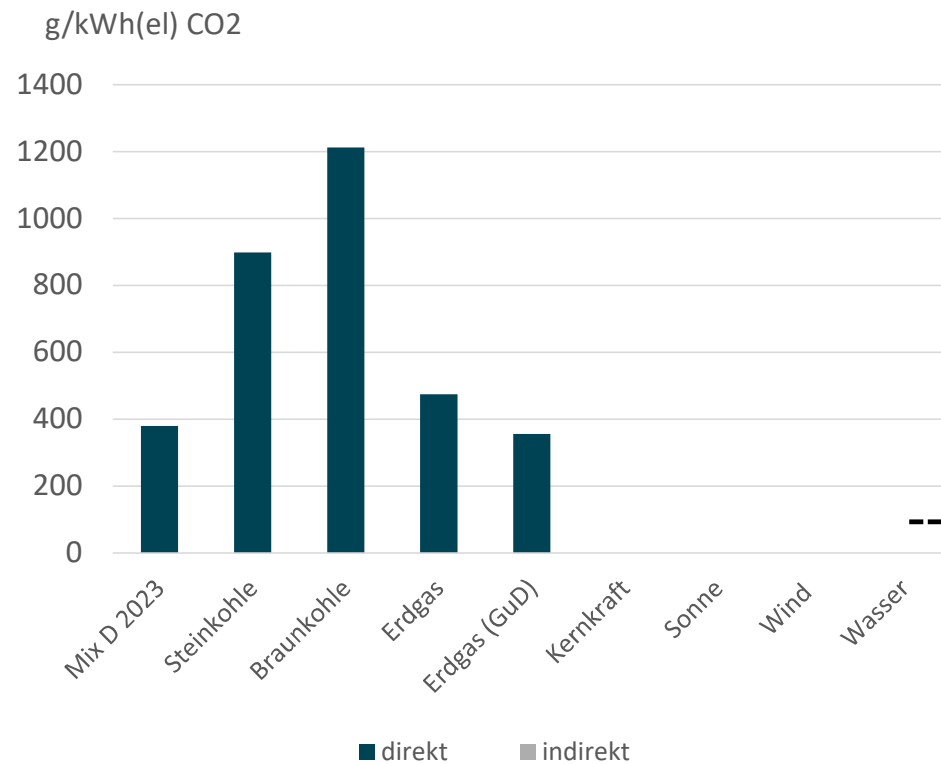


Datenquellen:  
 (ADAC, 2024a), (ADAC, 2024b), (BWE, 2022), (Fraunhofer ISE, 2024),  
 (Gloor, 2019), (Hoekstra, 2020), (Michaelidis, 2021), (Rodrigues et al., 2022),  
 (UBA, 2023)

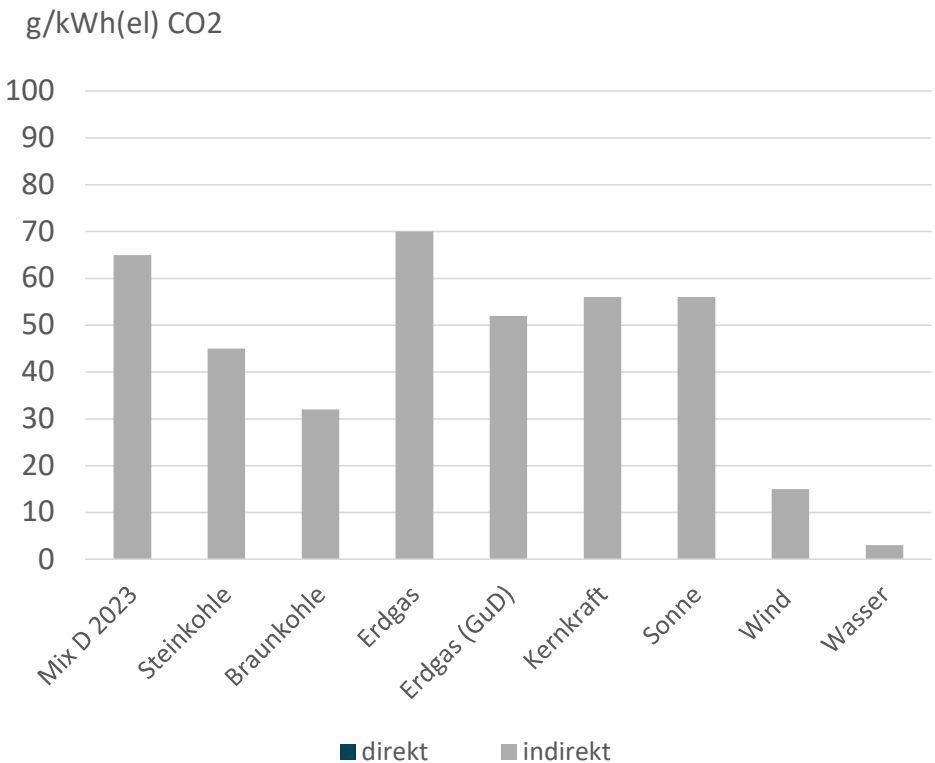
## 5. CO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>eq Emissions

# CO<sub>2</sub>-Emissions of the Electric Power Generation incl. WtT

**DIREKT**

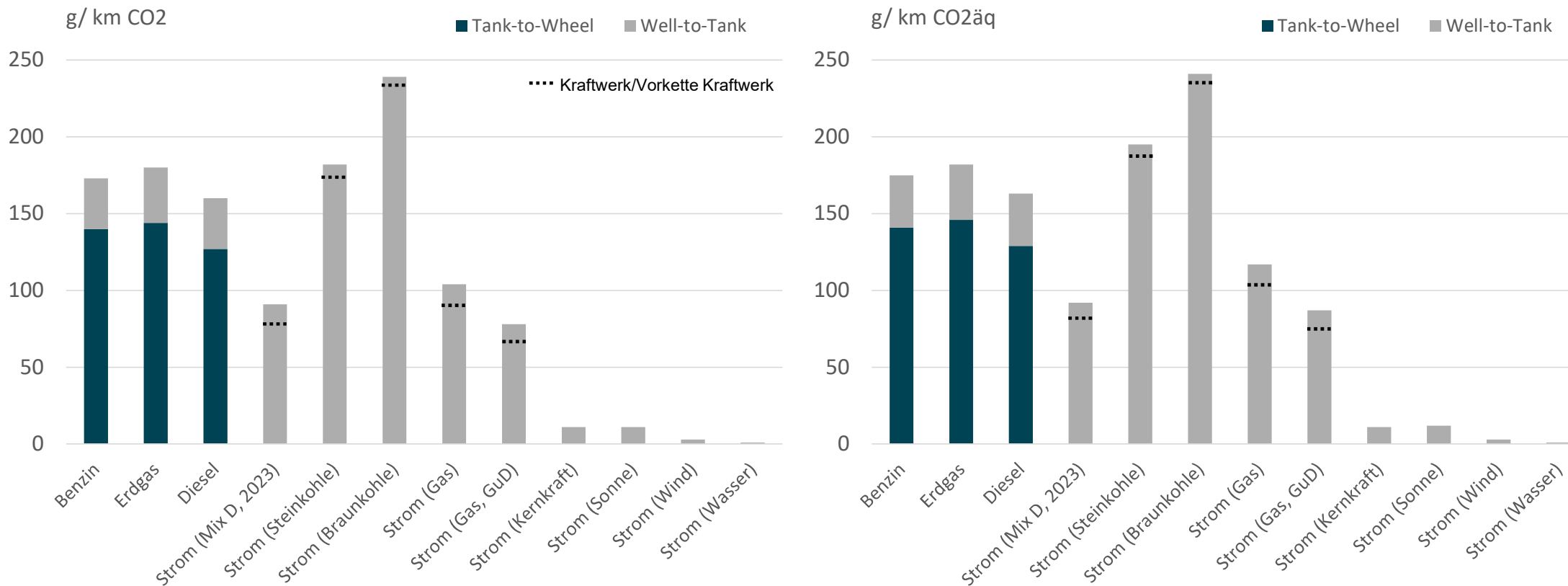


**INDIREKT**



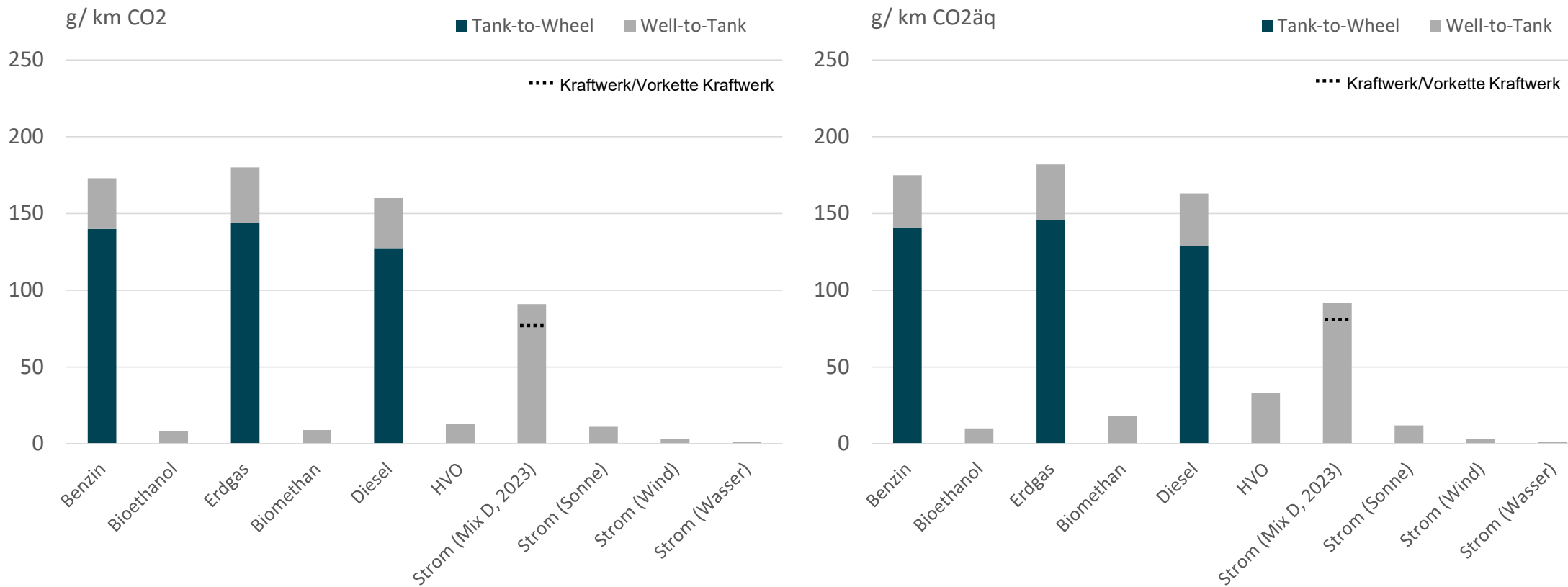
Datenquellen: (Icha et al., 2024), (Hengstler et al., 2021), (Lauf et al., 2023), (UBA, 2023), (UBA, 2024)

# CO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>eq – Emissions of the Reference Vehicles



Datenquellen: (Icha et al., 2024), (Hengstler et al., 2021), (Lauf et al., 2023), (UBA, 2023), (UBA, 2024), (Hoekstra, 2020), (ADAC, 2024a), (ADAC, 2024b), (Fraunhofer ISE, 2024)

# CO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>eq – Emissions of the Reference Vehicles



Datenquellen: (Icha et al., 2024), (Hengstler et al., 2021), (Lauf et al., 2023), (UBA, 2023), (UBA, 2024), (Hoekstra, 2020), (ADAC, 2024a), (ADAC, 2024b), (Fraunhofer ISE, 2024)

## 6. Pollutants Well-to-Tank WtT

## Spezifische Emissionsfaktoren für den Deutschen Strommix

Schadstoff	Einheit	1990	2000	2021
Schwefeldioxid	g/kWh	4,796	0,569	0,196
Stickstoffdioxid	g/kWh	1,055	0,490	0,374
Staub	g/kWh	0,745	0,026	0,010
PM <sub>10</sub>	g/kWh	nicht berichtet	0,023	0,009
Kohlenmonoxid	g/kWh	0,389	0,205	0,174
Kohlendioxid*	kg/kWh	0,764	0,644	0,375
Lachgas	g/kWh	0,020	0,015	0,011
Methan	g/kWh	0,016	0,030	0,164
Treibhausgasäquivalente	kg/kWh	0,770	0,649	0,418
NM VOC	g/kWh	0,013	0,014	0,015
Quecksilber	mg/kWh	0,028	0,015	0,006

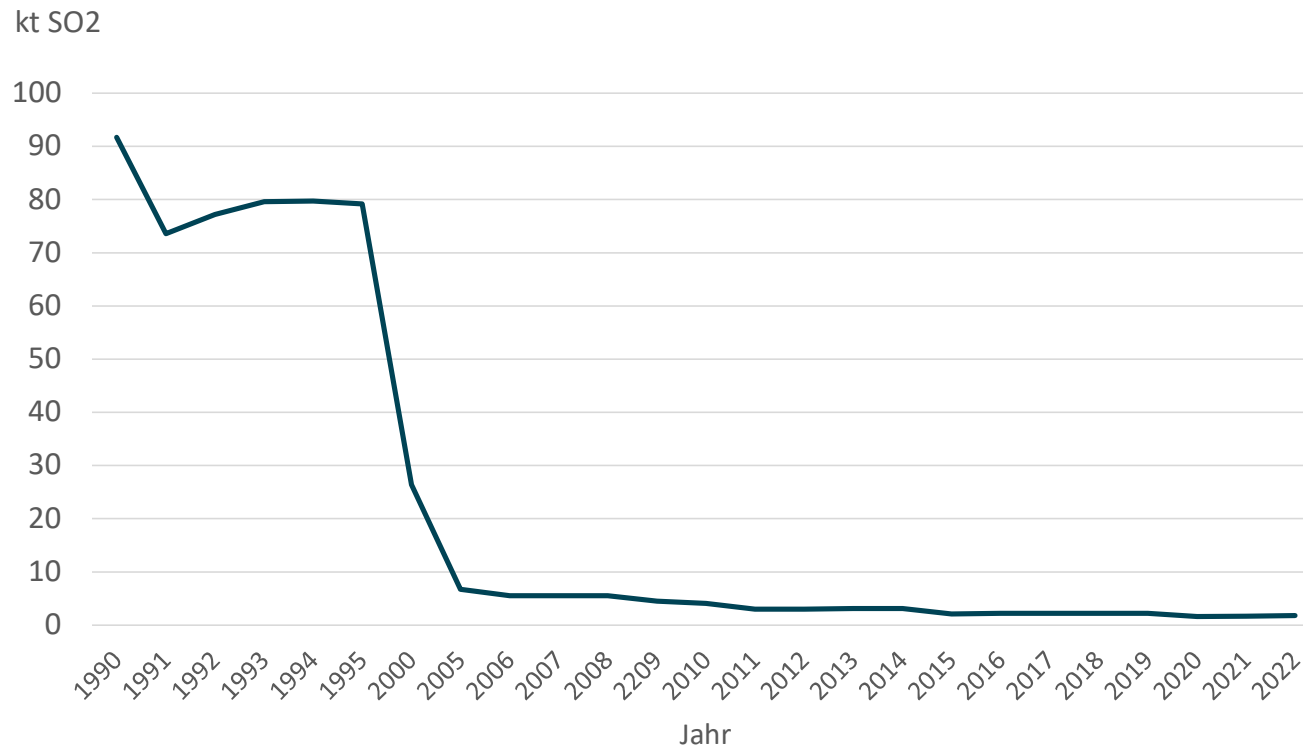
\*) Ohne Emissionen aus biogenen Brennstoffen

Quelle: Umweltbundesamt



## 6.1 SO<sub>2</sub>-Emissions

# History of SO<sub>2</sub>-Emissions in Germany (Road Traffic only)



Kohlekraftwerke erzeugen enorme Mengen an Kohlenstoffdioxid bei der Stromerzeugung

Bild: Pixabay

kt SO <sub>2</sub>	1990	2022
Energie	3135	142
Haushalte	1026	13

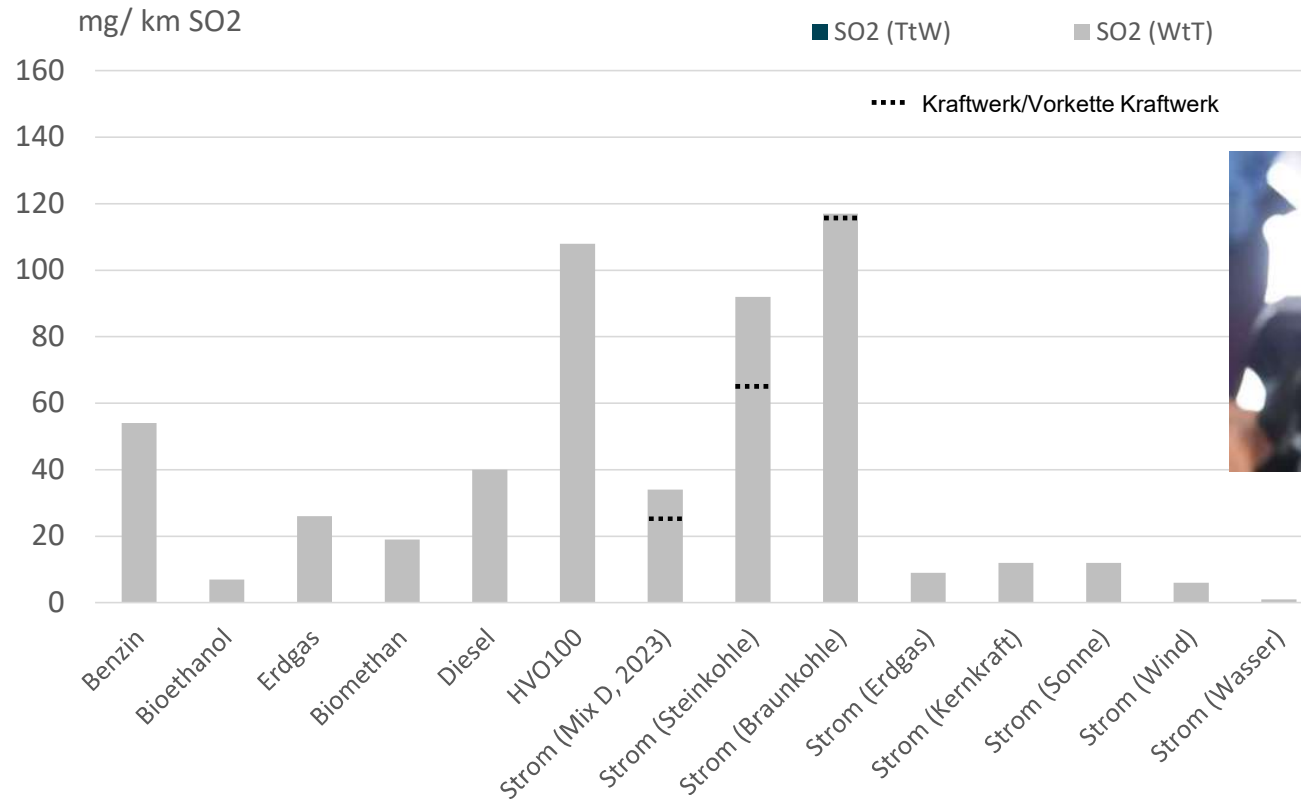


Besonders im Winter tragen Holz- und Kohlelieferungen zu Feinstaubbelastung bei.

Quelle: Grzegorz Polak / Fotolia.com

Datenquellen: (Icha et al., 2024), (Hengstler et al., 2021), (Lauf et al., 2023), (UBA, 2023), (UBA, 2024), (Hoekstra, 2020), (ADAC, 2024a), (ADAC, 2024b), (Fraunhofer ISE, 2024)

# SO<sub>2</sub>-Emissions (Well-to-Wheel) of the Reference Vehicles

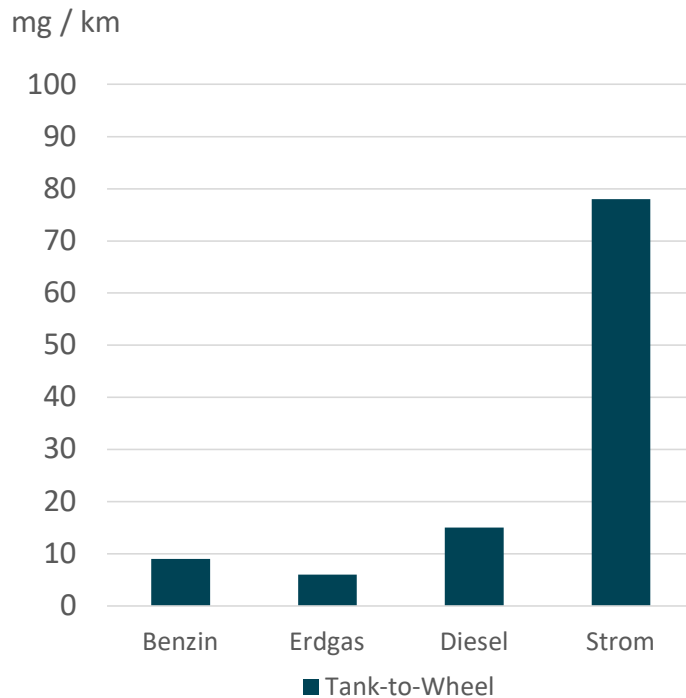


© Karl-Josef Hildenbrand/Christoph Schmidt/dpa/Montage

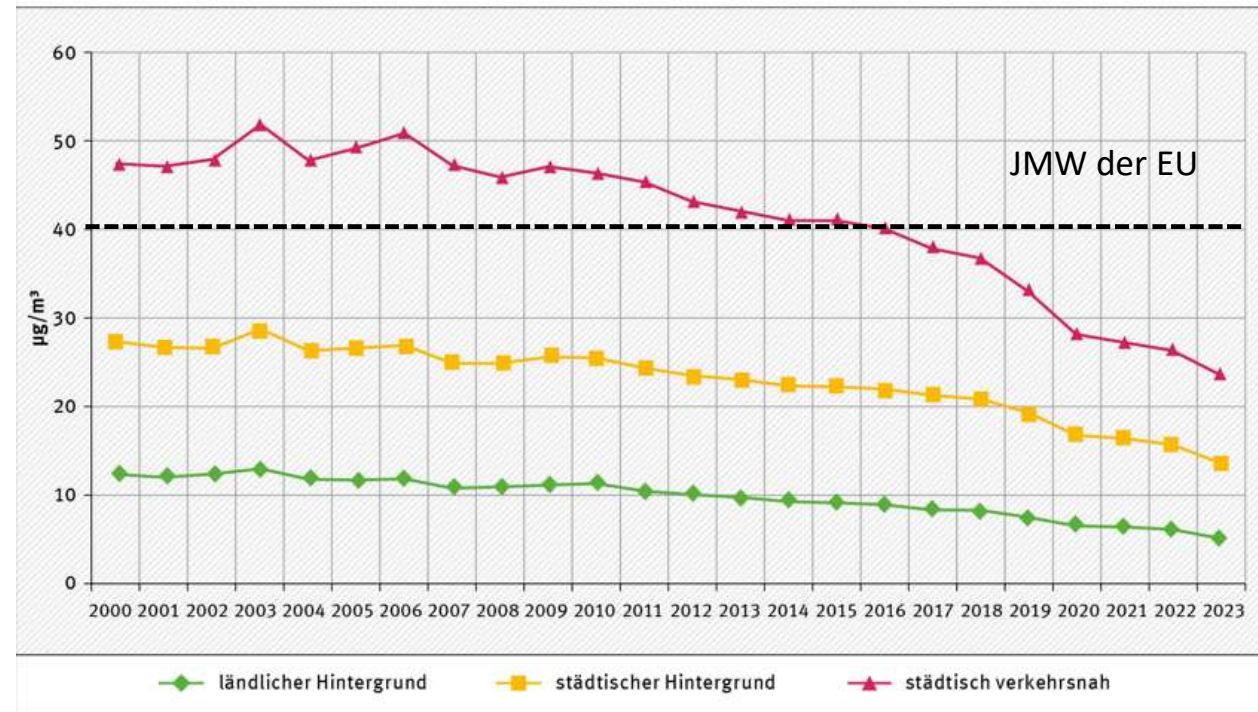
Datenquellen: (Icha et al., 2024), (Hengstler et al., 2021), (Lauf et al., 2023), (UBA, 2023), (UBA, 2024), (Hoekstra, 2020), (ADAC, 2024a), (ADAC, 2024b), (Fraunhofer ISE, 2024)

## 6.2 NO<sub>x</sub>-Emissions

# NO<sub>x</sub>-Emissions (Tank-to-Wheel) of the Reference Vehicles and History of intra-urban Air Quality



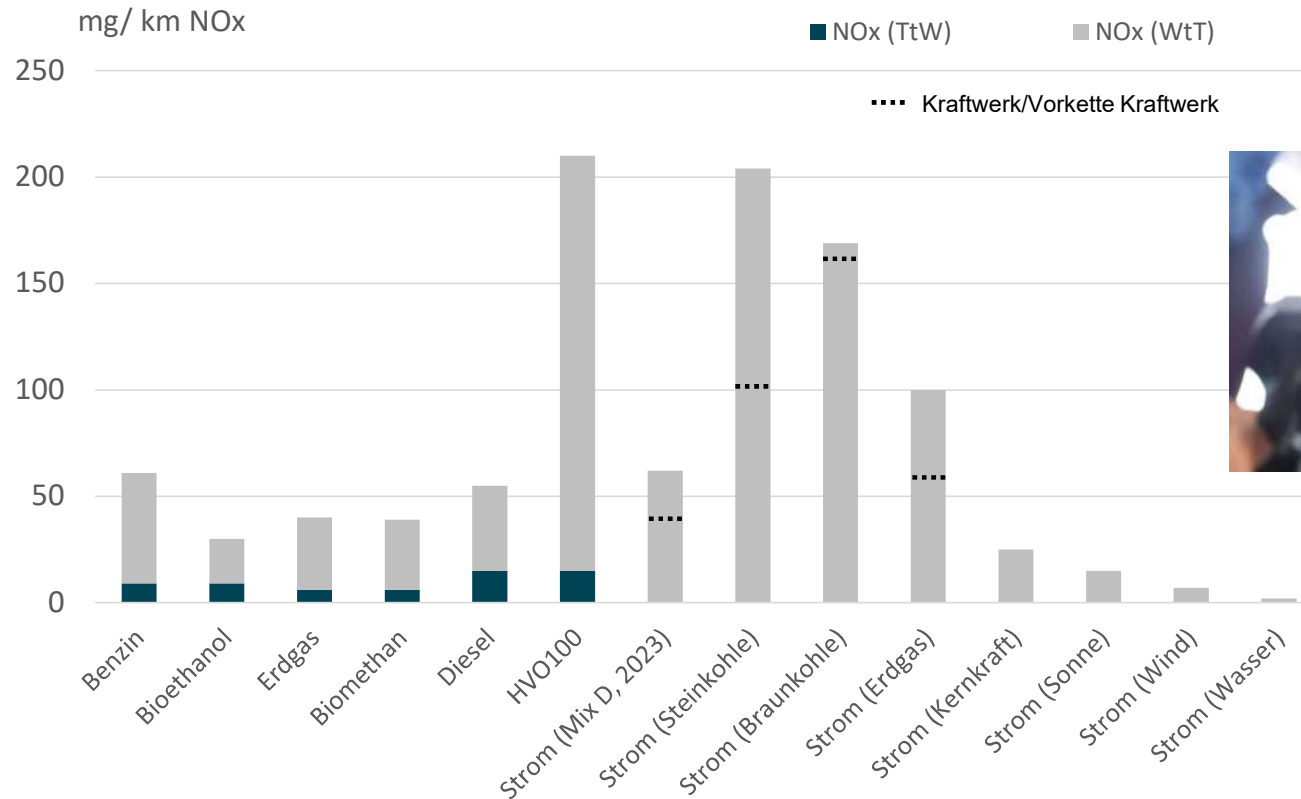
Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte im Mittel über ausgewählte Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2000–2023



Quelle: Umweltbundesamt 2024

Quellen:  
<https://www.adac.de/-/media/pdf/tet/ecotest/ecotest-methodik-ab-04-2021.pdf>  
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/ecotest/>

# NO<sub>x</sub>-Emissions (Well-to-Wheel) of the Reference Vehicles



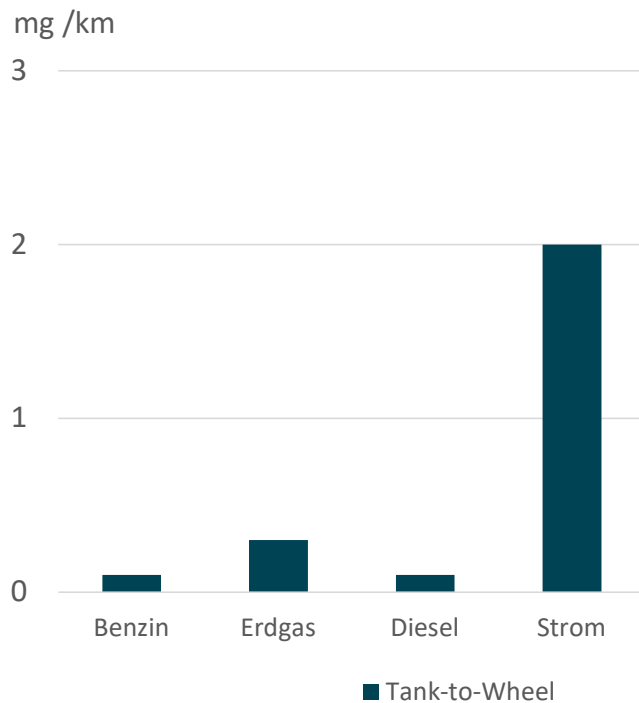
© Karl-Josef Hildenbrand/Christoph Schmidt/dpa/Montage

Datenquellen: (Icha et al., 2024), (Hengstler et al., 2021), (Lauf et al., 2023), (UBA, 2023), (UBA, 2024), (Hoekstra, 2020), (ADAC, 2024a), (ADAC, 2024b), (Fraunhofer ISE, 2024)

## 6.3 PM-Emissions

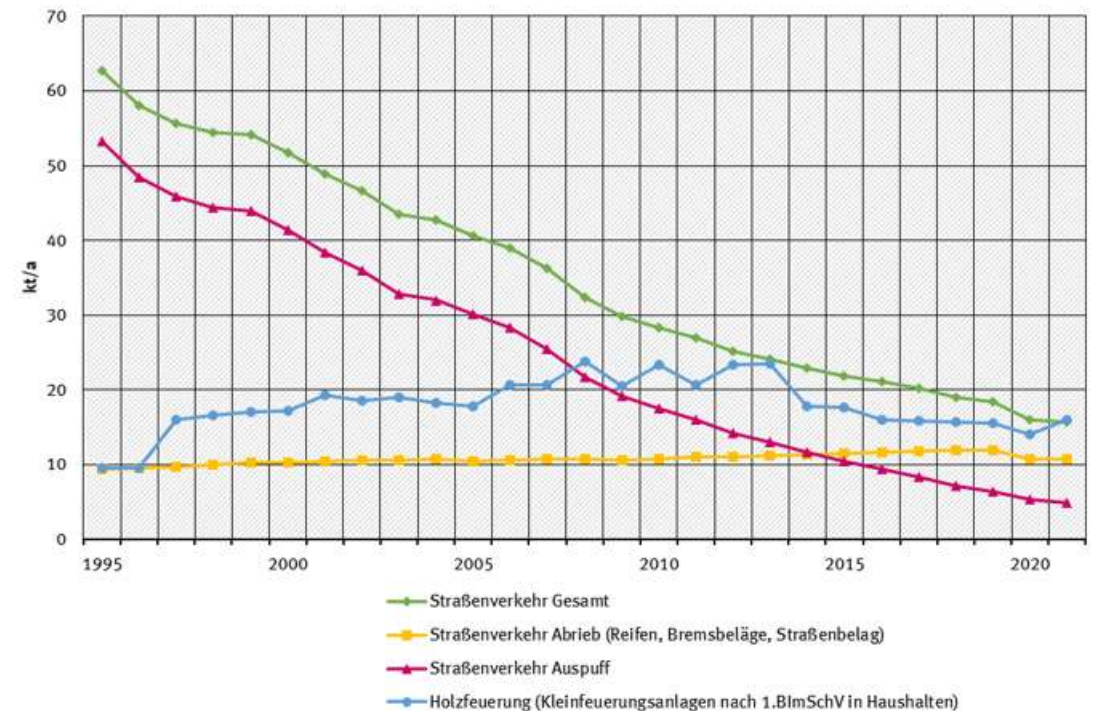


# PM-Emissions (Tank-to-Wheel) of Reference Vehicles and PM 2.5 Emissions of Road Traffic



PM<sub>2,5</sub>-Emissionen von Straßenverkehr und Holzfeuerung im Vergleich

Entwicklung der nationalen Emissionen nach Berichterstattung 2023

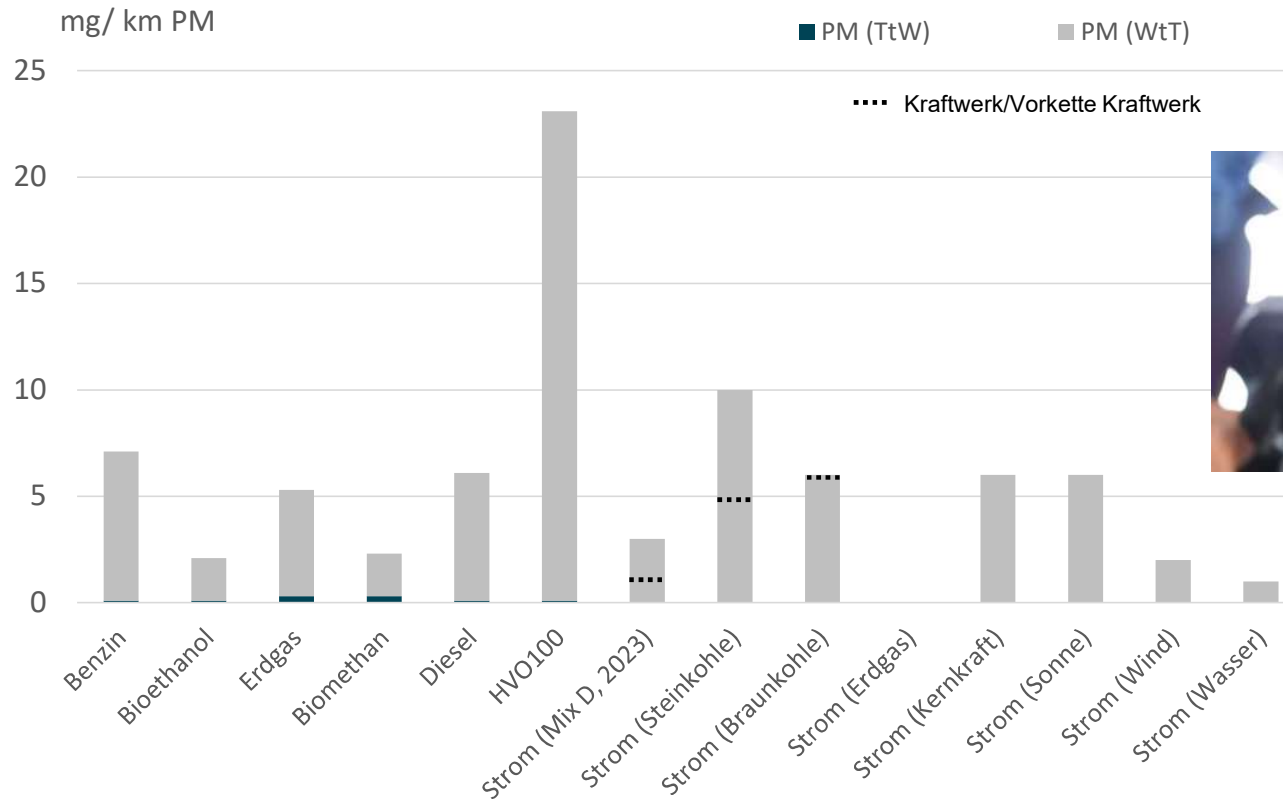


Quelle: Umweltbundesamt

Quellen:  
<https://www.adac.de/-/media/pdf/tet/ecotest/ecotest-methodik-ab-04-2021.pdf>  
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/ecotest/>



# PM-Emissions (Well-to-Wheel) of the Reference Vehicles



© Karl-Josef Hildenbrand/Christoph Schmidt/dpa/Montage

Datenquellen: (Icha et al., 2024), (Hengstler et al., 2021), (Lauf et al., 2023), (UBA, 2023), (UBA, 2024), (Hoekstra, 2020), (ADAC, 2024a), (ADAC, 2024b), (Fraunhofer ISE, 2024)

# Zusammenfassung

- Bei der landläufigen Energiebilanz Tank-zum-Rad (Tank-to-Wheel TtW) resultiert für das BEV ein Vorteil um einen Faktor 2 bis 4.
- Eine für den Fahrbetrieb gesamtheitliche Energiebilanz Well-to-Tank ergibt nur bei Stromerzeugung mit sehr hohem Wirkungsgrad einen Benefit für das BEV.
- Die CO<sub>2</sub>-Emissionen WtW liegen bei Verwendung von Strom aus 100% EE oder alternativ bei Biomethan, Bioethanol und HVO 100 im niedrigen 2-stelligen Bereich.
- Schwefeldioxid-Emissionen haben im Straßenverkehr, Tank-to-Wheel betrachtet, seit Jahrzehnten keine Relevanz mehr. Eine Betrachtung der jeweiligen Vorketten hingegen zeigt durchaus nennenswerte Emissionen, insbesondere bei Stromerzeugung aus Stein- und Braunkohle.
- Stickoxid-Emissionen stammen bei BEV und aktuellen ICEV primär aus den Vorketten. Besonders auffällig sind diese bei Stromerzeugung aus Stein- u. Braunkohle, Erdgas, aber auch Herstellung von HVO 100.
- Die Partikel-Emissionen moderner Motoren bewegen sich bei etwa 0,1 mg/km. Die Emissionen der Vorketten liegen mit etwa 5 mg/km um ein Vielfaches höher, auch bei der Stromerzeugung aus EE wie Wind, Sonne und Wasser.
- “Non-Exhaust-Emissions” haben wesentlich größere Relevanz als “Exhaust Emissions”



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## **Kontakt:**

Prof. Dr.-Ing. Uwe Gärtner

[www.gaencon.de](http://www.gaencon.de)

info@gaencon.de

# BACKUP

# Literatur

Hoekstra, A. (2020). *Die Herstellung von Benzin und Diesel verursacht mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen als wir dachten*. Abgerufen von <https://innovationorigins.com/de/die-herstellung-von-benzin-und-diesel-verursacht-mehr-co2-emissionen-als-wir-dachten/>

Icha, P. & Lauf, T. (2024). *Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2023*. Umweltbundesamt ISSN 1862-4359  
Abgerufen von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/23\\_2024\\_cc\\_strommix.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/23_2024_cc_strommix.pdf)

Lauf, T., Memmler, M. & Schneider, S. (2023). *Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2022*. Umweltbundesamt ISSN 1862-4359  
abgerufen von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/20231219\\_49\\_2023\\_cc\\_emissionsbilanz\\_erneuerbarer\\_energien\\_2022\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/20231219_49_2023_cc_emissionsbilanz_erneuerbarer_energien_2022_bf.pdf)

Maluck, L. (2023) *DER HILFT NICHT NUR DER UMWELT: HVO TUT mtu-MOTOREN GUT*. Abgerufen von [https://www.mtu-solutions.com/eu/de/stories/technologie/hvo\\_kind-to-the-climate-good-for-mtu-engines.html](https://www.mtu-solutions.com/eu/de/stories/technologie/hvo_kind-to-the-climate-good-for-mtu-engines.html)

Maus, W. (2020). *Life-Cycle-Assessment und Mobilität*. Abgerufen am 06.08.2022. von <https://www.vdi.de/news/detail/life-cycle-assessment-und-mobilitaet>

ADAC (2024a). *Ecotest*. Abgerufen von <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/ecotest>

ADAC (2024b). *ADAC Ecotest - Test- und Bewertungskriterien (ab 4/2021)*. Abgerufen von <https://www.adac.de/-/media/pdf/tet/ecotest/ecotest-methodik-ab-04-2021.pdf>

Biemann K., Helms, H., Münter, D., Liebich, A., Pelzeter, J. & Kämper, C. (2024). *Analyse der Umweltbilanz von Kraftfahrzeugen mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen auf dem Weg zu einem treibhausgasneutralen Verkehr*. Endbericht des Instituts für Energie- und Umweltforschung gGmbH im Auftrag des UBA, Heidelberg, ISSN 1862-4804  
Abgerufen von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/13\\_2024\\_texte\\_analyse\\_der\\_umweltbilanz\\_von\\_kraftfahrzeugen\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/13_2024_texte_analyse_der_umweltbilanz_von_kraftfahrzeugen_0.pdf)

BWE (2022). *Energieumwandlung*. Bundesverband WindEnergie BWE. Abgerufen von <https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/funktionsweise/energiewandlung/>

Dhom, M. (2024). *So fährt sich ein Diesel-Pkw mit HVO100*. Abgerufen von <https://www.springerprofessional.de/betriebsstoffe/motorentechnik/so-faehrt-sich-ein-diesel-pkw-mit-hvo100/27059886>

Hengstler, J. et al. (2021). *Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen*. Abschlussbericht im Auftrag des UBA, ISSN 1862-4359  
Abgerufen von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06\\_cc\\_35-2021\\_oekobilanzen\\_windenergie\\_photovoltaik.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06_cc_35-2021_oekobilanzen_windenergie_photovoltaik.pdf)

## Literatur

Michaelidis, E. E. (2021). *Primary Energy Use and Environmental Effects of Electric Vehicles*. Department of Engineering, Texas Christian University Fort Worth, World Electric Vehicle Journal, <https://doi.org/10.3390/wevj12030138>

Rodrigues, J.P.D.S., Nunes, W.T., M. Brunoro, M. & Nunes, R.B. (2022). *Comparison of Well-to-Wheel energy efficiency between combustion vehicles and electric vehicles*. 2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), Prague, Czech Republic, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICECET55527.2022.9872658

UBA (2023). *Durchschnittlicher Brutto-Wirkungsgrad des fossilen Kraftwerksparks*. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/bild/durchschnittlicher-brutto-wirkungsgrad-des-fossilen>

UBA (2024). *CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kilowattstunde Strom 2023 gesunken*. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-2023>

## Abkürzungen

BEV	Battery Electric Vehicle
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
DERA	Deutsche Rohstoffagentur
GEMIS	Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
IINAS	International Institute for Sustainability Analysis
LCA	Life-Cycle-Assessment
OEM	Original Equipment Manufacturer
MEB	Modularer E-Antriebs-Baukasten
T&E	Transport & Environmental, ein Zusammenschluss von Umweltverbänden mit Verkehrsschwerpunkt auf europäischer Ebene