



Verein zur Weiterentwicklung  
der Energiewende Europas

# E-Autos und Verbrenner

Univ.-Prof. Dr. Georg Brasseur

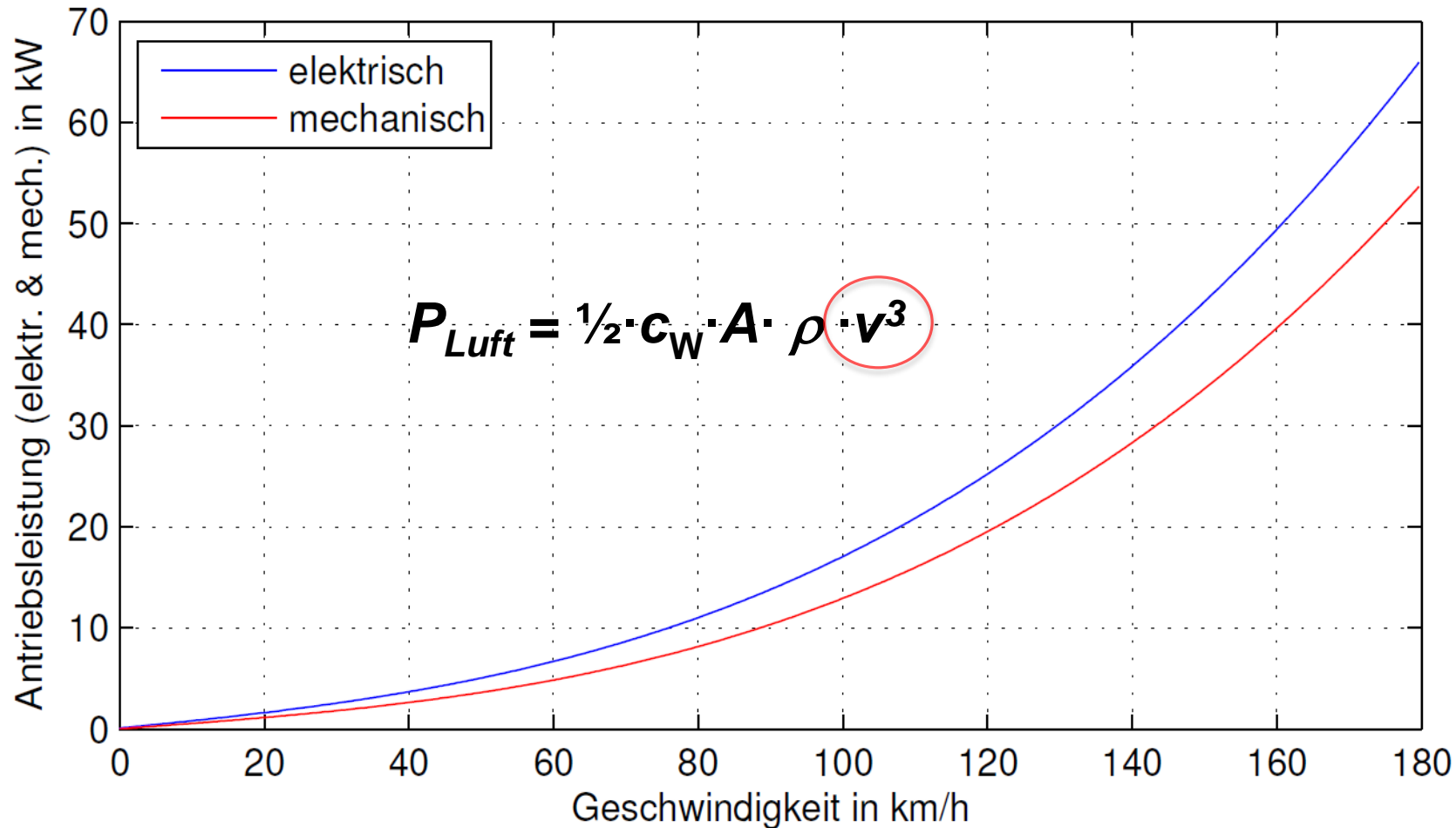
Institut für Elektrische Messtechnik und Sensorik



Technische Universität Graz



# Elektrische & mechanische Antriebsleistung eines Mittelklasse Pkw ohne Nebenaggregate und stationär betrieben



Rollwiderstandsbeiwert  $\mu = 0,013$ ; Luftwiderstand  $c_W A = 0,60$ ;  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

## Antriebsleistung, Energieverbrauch und Fahrzeit eines Pkw 400 km, konstante Geschwindigkeit, ohne Nebenaggregate

Geschwindigkeit	Fahrzeit für 400 km	Antriebsleistung		Energieverbrauch des Antriebstranges abhängig vom Wirkungsgrad $\eta$	
		mechanisch am Rad	elektrisch aus dem Speicher	$\eta = 100 \%$	$\eta = \text{realistisch}$
80 km/h	5 h	<b>8,1 kW</b>	11,0 kW	40,5 kWh	<b>55,0 kWh</b>
100 km/h	4 h	<b>12,9 kW</b>	17,1 kW	51,6 kWh	<b>68,4 kWh</b>
130 km/h	gut 3 h	<b>23,6 kW</b>	30,2 kW	72,6 kWh	<b>92,9 kWh</b>
150 km/h	2¾ h	<b>33,7 kW</b>	42,3 kW	89,9 kWh	<b>112,8 kWh</b>
180 km/h	2¼ h	<b>54,0 kW</b>	66,3 kW	120,0 kWh	<b>147,3 kWh</b>

# Bereitstellung der **Antriebsleistung** für ein Fahrzeug

## A) Verbrennungskraftmaschine (Vkm) mit 6-Gang Getriebe



BMW N47D16 1,6 I, 70 kW  
4-Zylinder, ca. **130 kg**



BMW 6 Gang Getriebe, ca. **50 kg**

ca. **180 kg**

**Masse**

**Teileanzahl**

**Über 1000**

## B) Elektroantrieb mit 1-Gang Getriebe

**Antriebseinheit:**  
**91 kg** [1]



**Wenige 100**

**Nissan Leaf 2017**

Ladegerät + Umrichter: 12 kg  
 $P_{\max} = 110$  kW e-Motor: 54 kg  
Getriebe + Differenzial: 25 kg

AMK Motor DT5, 77 kW  
Durchmesser 200 mm,  
Länge 400 mm, **55 kg**,  
Flüssigkeitsgekühlt



[1] Nissan Japan, Chef der Motorenentwicklung, 20.11.2018

# Strom **erzeugung** nach Quellen im Jahr 2022

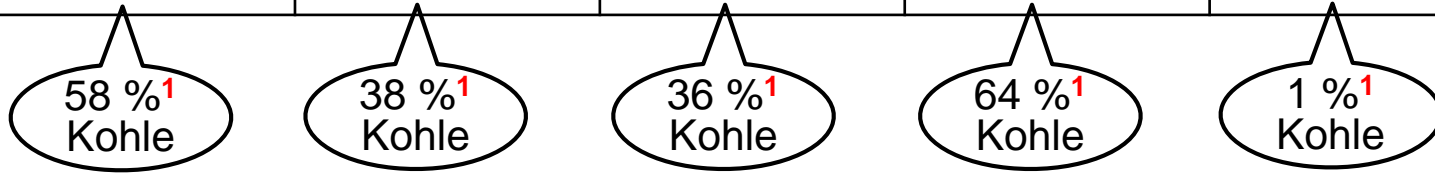


<b>Globale Primärenergie</b> 161 000 TWh = 100 %	<b>Globaler Strombedarf</b> 28 700 TWh = 17,8 %
---	--

## OECD Countries

- Australia
- Austria
- Belgium
- Canada
- Czech Republic
- Denmark
- Estonia
- Finland
- France
- Germany
- Greece
- Hungary
- Ireland
- Italy
- Japan
- Korea
- Luxembourg
- Mexico
- New Zealand
- Norway
- Poland
- Portugal
- Slovak Republic
- Spain
- Sweden
- Switzerland
- The Netherlands
- Turkey
- United Kingdom
- United States

Strom- erzeugung	Global 28 700 TWh 100 %	OECD 11 170 TWh 39 %	Europa 4660 TWh 16 %	Deutschland 560 TWh 2 %	Österreich 73 TWh 0,23 %
<b>Min. CO<sub>2</sub></b>	39 %	48 %	57 %	50 %	77 %
<b>Fossil</b>	61 %	52 %	43 %	50 %	23 %



<sup>1</sup> Basierend auf der Bruttoproduktion

**Muss wachsen  
(inklusive Kernenergie)**

[https://ourworldindata.org/grapher/elec-mix-bar?country=AUT-OWID\\_EUR-DEU-OWID\\_EU27-OWID\\_WRL](https://ourworldindata.org/grapher/elec-mix-bar?country=AUT-OWID_EUR-DEU-OWID_EU27-OWID_WRL), accessed 31.3.24.  
[https://ourworldindata.org/grapher/elec-mix-bar?tab=table&showSelectionOnlyInTable=1&country=AUT-OWID\\_EUR-OWID\\_EU27-DEU-OWID\\_WRL-OECD+%28E%29](https://ourworldindata.org/grapher/elec-mix-bar?tab=table&showSelectionOnlyInTable=1&country=AUT-OWID_EUR-OWID_EU27-DEU-OWID_WRL-OECD+%28E%29), accessed 31.3.24.  
[https://ourworldindata.org/grapher/electricity-coal?tab=chart&time=latest&showSelectionOnlyInTable=1&country=AUT-OWID\\_EUR-DEU-OECD+%28E%29-OWID\\_WRL](https://ourworldindata.org/grapher/electricity-coal?tab=chart&time=latest&showSelectionOnlyInTable=1&country=AUT-OWID_EUR-DEU-OECD+%28E%29-OWID_WRL), accessed 31.3.24.

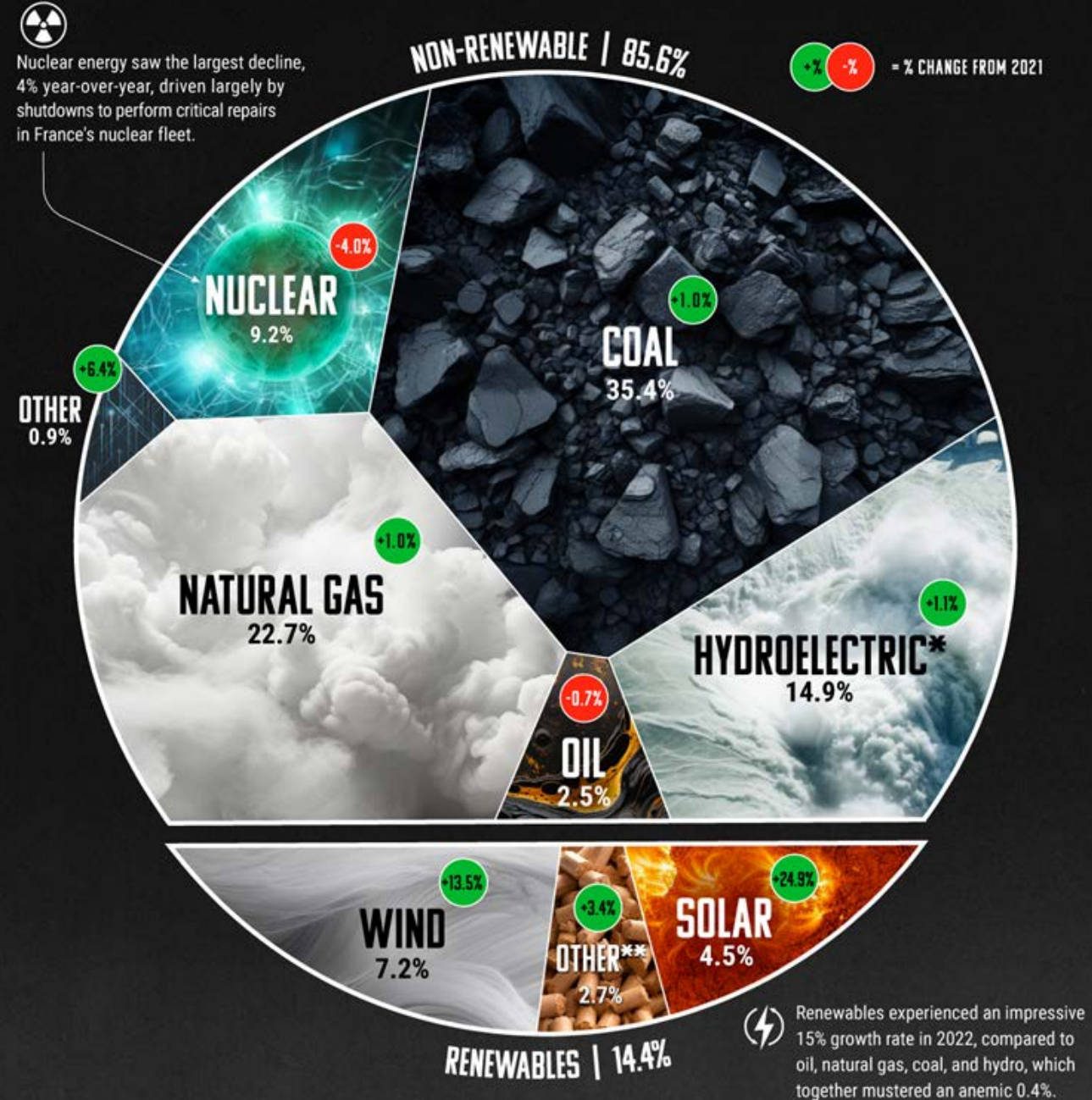
# Elektrische Energie

## Primärenergie zur globalen Stromerzeugung in 2022

**Nur 18 %  
des globalen Energiebedarfs**



Nuclear energy saw the largest decline, 4% year-over-year, driven largely by shutdowns to perform critical repairs in France's nuclear fleet.



\*The Statistical Review excludes hydroelectric energy in their renewable calculations; renewables, including hydro, represented 29% of global electricity generation in 2022.

\*\* Other Renewables includes geothermal, biomass, and other renewable fuels.

# Stromerzeugung nach Quellen im Jahr 2022



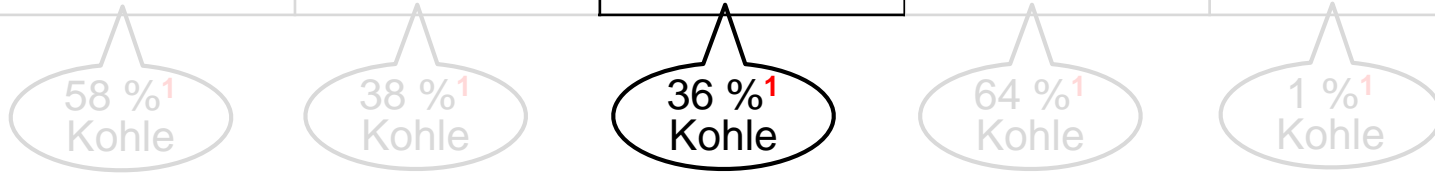
<b>Globale Primärenergie</b> 161 000 TWh = 100 %	<b>Globaler Strombedarf</b> 28 700 TWh = 17,8 %
---	--

## OECD Countries

- Australia
- Austria
- Belgium
- Canada
- Czech Republic
- Denmark
- Estonia
- Finland
- France
- Germany
- Greece
- Hungary
- Ireland
- Italy
- Japan
- Korea
- Luxembourg
- Mexico
- New Zealand
- Norway
- Poland
- Portugal
- Slovak Republic
- Spain
- Sweden
- Switzerland
- The Netherlands
- Turkey
- United Kingdom
- United States

## Verbraucher-Strommix Europa gleich für ALLE Länder Europas

Strom-erzeugung	Global 28 700 TWh 100 %	OECD 11 170 TWh 39 %	<b>Europa</b> <b>4660 TWh</b> <b>16 %</b>	Deutschland 560 TWh 2 %	Österreich 73 TWh 0,23 %
Min. CO <sub>2</sub>	39 %	48 %	<b>57 %</b>	50 %	77 %
Fossil	61 %	52 %	<b>43 %</b>	50 %	23 %

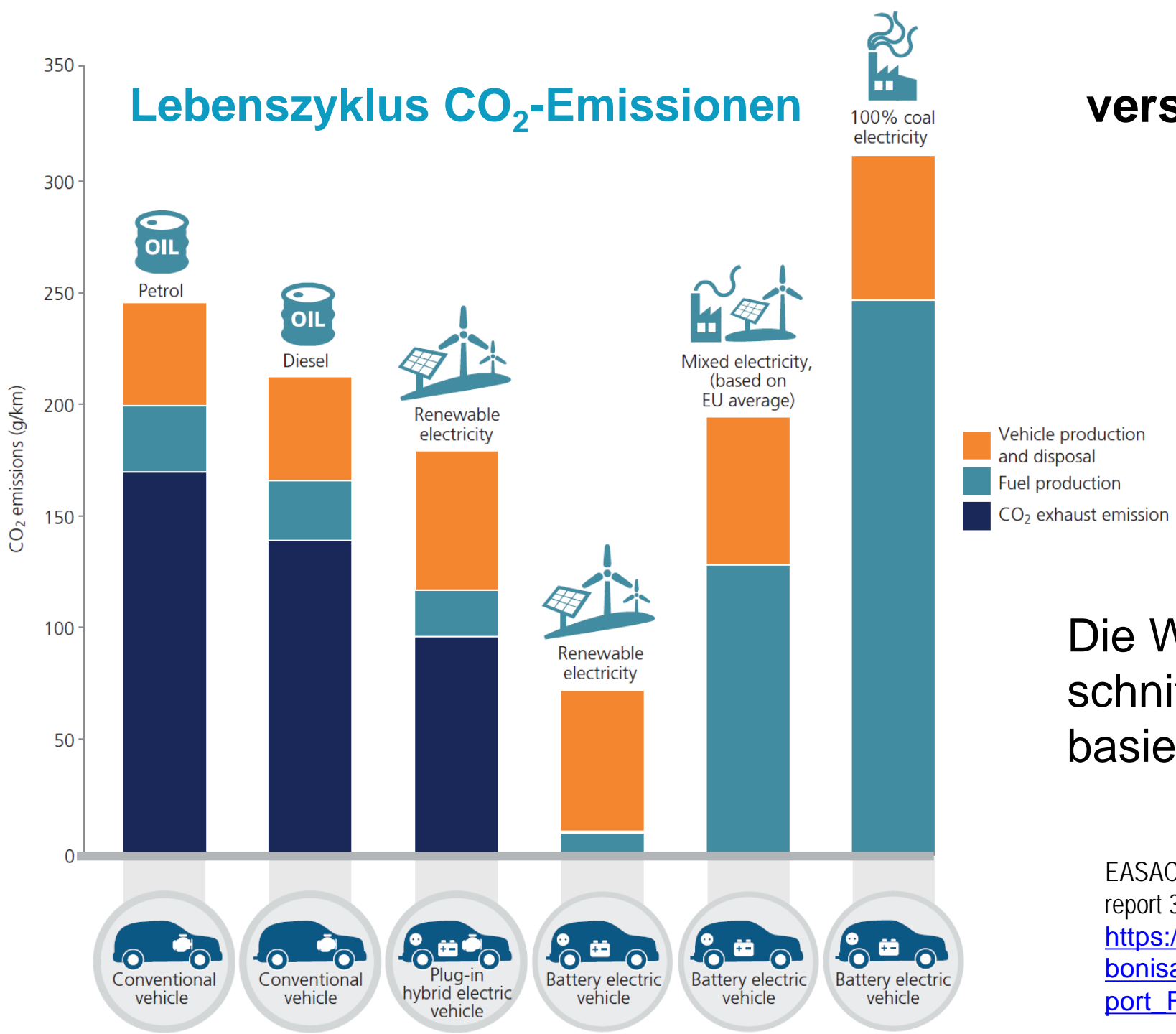


Muss wachsen (inklusive Kernenergie)

<sup>1</sup> Basierend auf der Bruttoproduktion

[https://ourworldindata.org/grapher/elec-mix-bar?country=AUT-OWID\\_EUR-DEU-OWID\\_EU27-OWID\\_WRL](https://ourworldindata.org/grapher/elec-mix-bar?country=AUT-OWID_EUR-DEU-OWID_EU27-OWID_WRL), accessed 31.3.24.  
[https://ourworldindata.org/grapher/elec-mix-bar?tab=table&showSelectionOnlyInTable=1&country=AUT-OWID\\_EUR-OWID\\_EU27-DEU-OWID\\_WRL-OECD+%28E%29](https://ourworldindata.org/grapher/elec-mix-bar?tab=table&showSelectionOnlyInTable=1&country=AUT-OWID_EUR-OWID_EU27-DEU-OWID_WRL-OECD+%28E%29), accessed 31.3.24.  
[https://ourworldindata.org/grapher/electricity-coal?tab=chart&time=latest&showSelectionOnlyInTable=1&country=AUT-OWID\\_EUR-DEU-OECD+%28E%29-OWID\\_WRL](https://ourworldindata.org/grapher/electricity-coal?tab=chart&time=latest&showSelectionOnlyInTable=1&country=AUT-OWID_EUR-DEU-OECD+%28E%29-OWID_WRL), accessed 31.3.24.

# Lebenszyklus CO<sub>2</sub>-Emissionen



## verschiedener Fahrzeug- und Kraftstoff-typen

Die Werte werden sind für durchschnittliche Mittelklassefahrzeug basierend auf 220.000 km erhoben

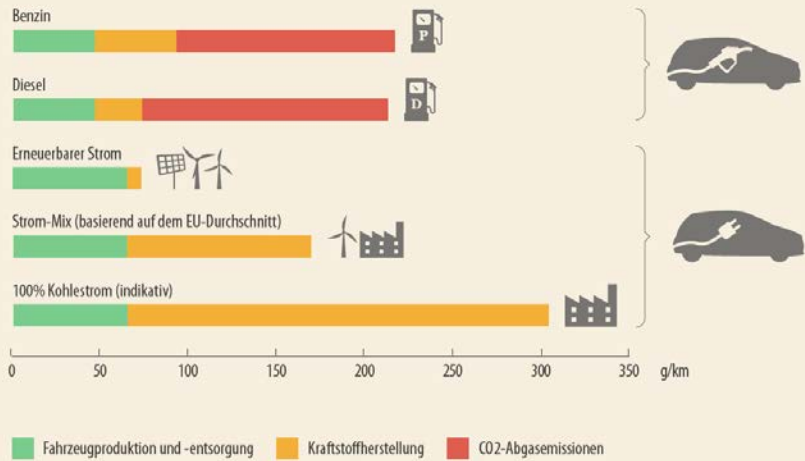
EASAC Decarbonisation of transport: options and challenges, policy report 37, page 33, 3-2019, [https://easac.eu/fileadmin/PDF\\_s/reports\\_statements/Decarbonisation\\_of\\_Transport/EASAC\\_Decarbonisation\\_of\\_Transport\\_FINAL\\_March\\_2019.pdf](https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Decarbonisation_of_Transport/EASAC_Decarbonisation_of_Transport_FINAL_March_2019.pdf), accessed 14.4.2024.



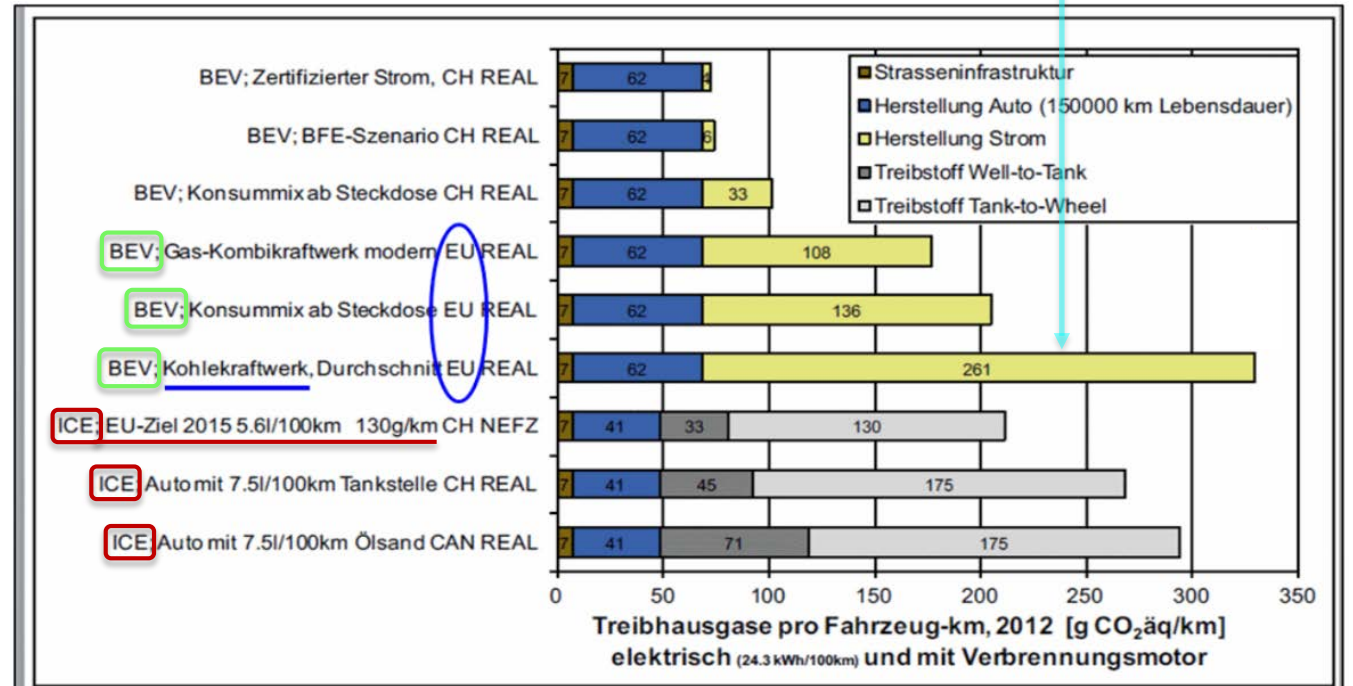
# Lebenszyklusbewertung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs in der EU mit **Vkm** und **BEV**

## CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN DES VERKEHRS IN DER EU

### CO<sub>2</sub>-Lebenszyklusemissionen verschiedener Fahrzeug- und Kraftstoffarten (2014)



### Residualstrom mix



THELMA/ETH Zürich, 2013

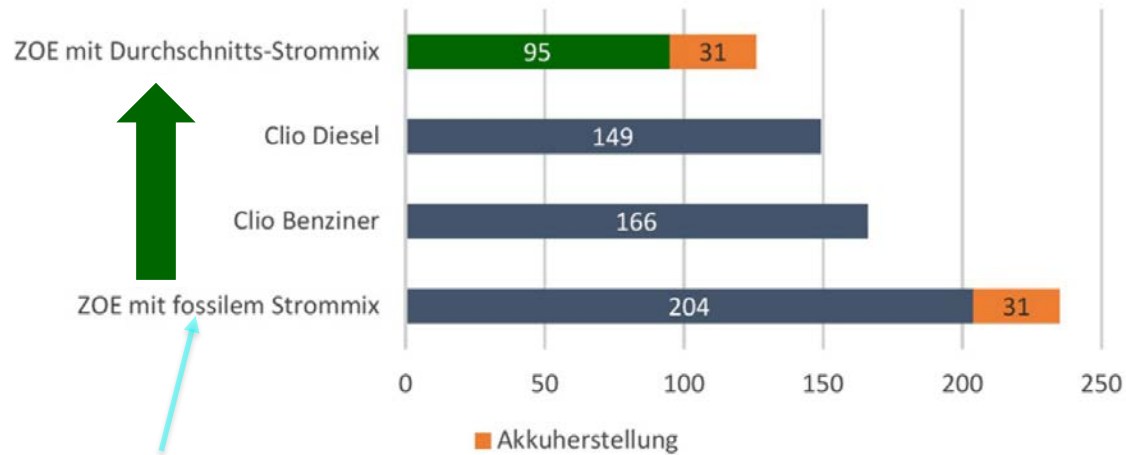
BEV = Battery Electric Vehicle ICE = Internal Combustion Engine, Verbrennungsmotor  
 BFE-Szenario: Energieperspektive 2050 des Bundes (CH): Strom aus Schweizer Produktion und Import von Kernenergie

# Vergleich Vkm mit BEV mit Ladestrom aus verschiedenen Primärquellen

## Greenwashing

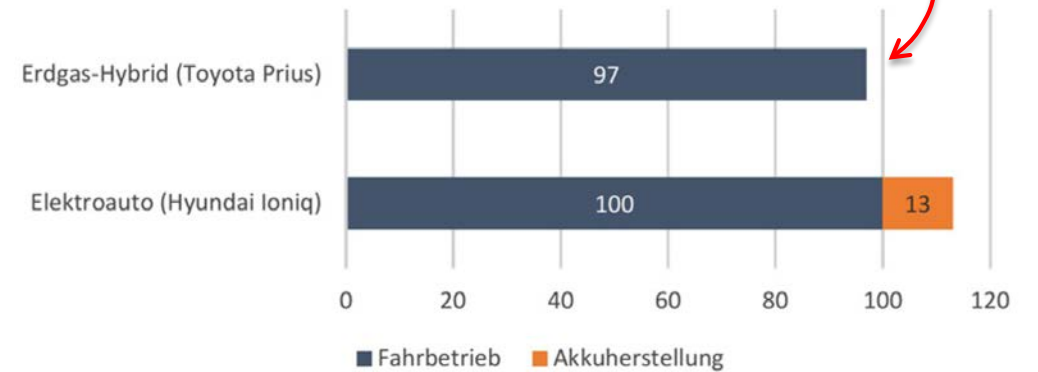
Ein von Benzin auf Erdgas umgebauter Toyota Prius und ein mit Erdgas betriebenes Kraftwerk zur **Stromerzeugung**

Renault Clio: CO2-Emissionen in g/km



Residualstrom mix

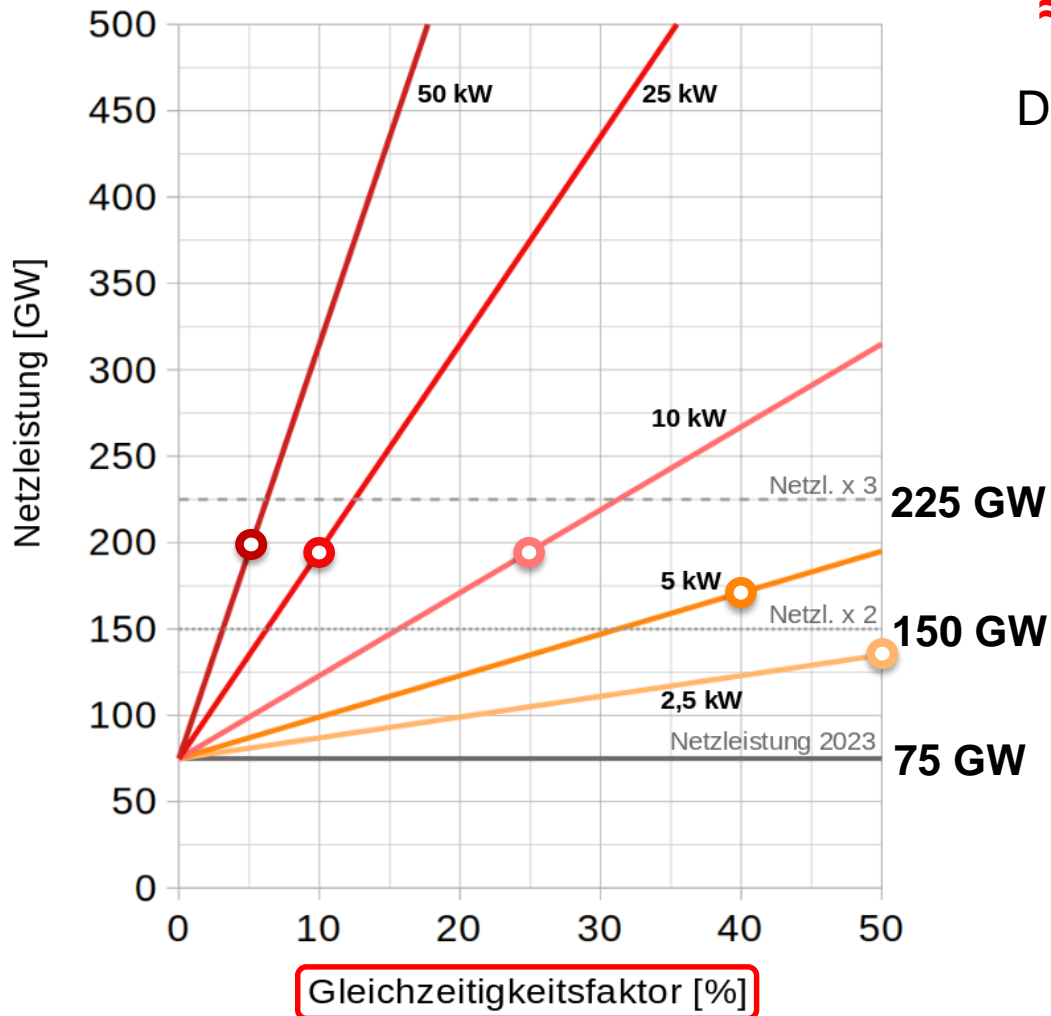
Elektro- versus optimiertes Erdgasauto (beide mit Erdgas als Primärenergie)



# Elektromobilität in Deutschland 2019<sup>1</sup>, alle Pkw sind elektrisch

Pkw: 47,72 Mio. Pkw, 15 000 km/a @ **25 kWh**/100 km inkl. Heizung + Kühlung → **179 TWh/a** (+29 % von D)

## Ladestrombedingter Netzleistungsanstieg<sup>2</sup>



Installierte Kraftwerksleistung und Energie in Deutschland:  
**≈ 214 GW; 612 TWh/a; Mittlere Leistung  $\bar{P} \approx 75$  GW**

Der **Ladestrom** aus dem öffentlichen Netz ist **Residualstrom!**

24-fach

**Zum Vergleich:**

**Tanken von 60 l Diesel in 3 min.** bedeutet:  
 $60 \text{ l} \cdot 10 \text{ kWh/l} = \mathbf{600 \text{ kWh}}$

**„Tanken“ mit „Kabel“ mit 12 MW in 3 Minuten**

2 Zeit-online, Verträge das Stromnetz Millionen Wallboxen?, 25.11.2022, <https://www.zeit.de/news/2022-11/25/vertraegt-das-stromnetz-millionen-wallboxen>, accessed 10.10.2023 und Kai Ruhser, Der Elektroauto-Schwindel, <https://derelektroautoschwindel.wordpress.com/fa-umweltbilanz-von-elektroautos/>, accessed 21.1.2023

1 bp Statistical Review of World Energy June 2020, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, accessed 25.12.2020.

## Resümee zum **Vollausbau** der **Elektromobilität** in **Deutschland** für 47,7 Mio. e-Pkw in 2019

IKT, Wärmepumpen, Haushalte, ... und insbesondere **Elektrolyseure** sind auf Strom angewiesen, um die Industrie mit **Wasserstoff** und **grünen importierten eFuels** zu **defossilisieren**. Für **Mobilität** ist kein grüner Strom verfügbar. **Mobilität** hat aber auch andere Optionen als **Strom**.

Der **elektrische Antriebstrang** ist genial einfach, kostengünstig und hat einen hohen Wirkungsgrad. Man sollte **in einem E-Auto nicht** die **On-board Energie in Batterien speichern**, sondern On-board aus grünen Kraftstoffen konvertieren.

Es ist von der Politik zu hinterfragen, ob es nicht unverantwortlich ist, eine **Mobilitätsform** durch öffentliche Mittel zu fördern, die im **Vollausbau nicht funktioniert**.

# Auswirkungen der **Energiewende** auf den **Verkehr** in Europa

Zur Erinnerung: nur **18 %** der **Primärenergie** in Europa (und global) ist **Elektrizität**

In **Industrienationen** werden **35 %** der **Primärenergie** (**Erdöl**) für den **Transportsektor** und davon ca. 2/3 (21 %) für den **Pkw-Verkehr** verwendet.

Energie am Rad zur Energie im Speicher (Tank)

In **Ballungsräumen** ist der Wirkungsgrad des Antriebstranges:

- bei Pkw mit **Verbrennungsmotor** **15 – 20 %**
- bei **batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV)** **80 %**

Die trügerische Versuchung

Mit einem **BEV** kann man 80 bis 85 % **fossile Primärenergie** einsparen!

**Trugschluss:** Nicht die Batterie, sondern der **elektrische Antriebstrang** bewirkt den **hohen Wirkungsgrad**, denn

- **Strom** in Europa ( $\approx 4.600 \text{ TWh/a}$ ) ist zu **40 % fossil** und nur zu **60 % grün** und
- **Volatile Energie** ist immer im **Netz** → weil kostengünstig → siehe „**Merit-Order**“.

# Auswirkungen der **Energiewende** auf den **Verkehr** in Europa

Zur Erinnerung: nur **18 %** der **Primärenergie** in Europa (und global) ist **Elektrizität**

In **Industrienationen** werden **35 %** der **Primärenergie** (**Erdöl**) für den **Transportsektor** und davon ca. 2/3 (21 %) für den **Pkw-Verkehr** verwendet.

Energie am Rad zur Energie

Der **fehlende grüne Strom** (**Residualstrom**) muss von **fossilen Kraftwerken** aufgebracht werden und diese sind auch für die **Netzstabilität** **essenziell** (Regelkraftwerke).

Die  
tügerische  
ersuchung

In **Ballu**

- bei
- bei

Mit ein

**Trugschluss:** Nicht die Batterie, sondern der **elektrische Antriebstrang** bewirkt den **hohen Wirkungsgrad**, denn

- **Strom** in Europa ( $\approx 4.600$  TWh/a) ist zu **40 % fossil** und nur zu **60 % grün** und
- **Volatile Energie** ist immer im **Netz** → weil kostengünstig → siehe „**Merit-Order**“.

## Ein Weg zur **Durchsetzung der CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung** beim Pkw-Verkehr

- Die gesetzliche **Regelung** (Tank-to-Wheel), dass Ladestrom für Elektrofahrzeuge keine CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht, **muss fallen**. Sie ist physikalisch **falsch**, solange der Ladestrom nicht **100 % grün ist**.
- **Jede CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahme** sollte verpflichtend mit **Life Cycle Assessment (LCA)** oder zumindest „Well-to-Wheel“ die Erfüllung der **CO<sub>2</sub>-Emissionslimits** nachweisen. **Nicht die Technologie**, sondern die **Erfüllung der Limits** entscheidet!
- Damit würden Fahrzeughersteller die Möglichkeit verlieren, **Strafzahlungen** wegen Nichteinhaltung der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte zu **vermeiden**.
- Leistungsstarke SUV wären am Markt nicht mehr wettbewerbsfähig, womit **die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs signifikant sinken würden**.

**Man hat die Wahl:** Konventionelles Vkm Fahrzeug oder **Erzeugung** der **elektr. Antriebsenergie** im Fahrzeug mit Vkm aus flüss. Kraftstoff => **Fuel-Converter**

**ALTERNATIVE**

**Ziel: Minimierung der CO<sub>2</sub>- und Schadstoffemissionen**

**Grundlagen:** Carnot-Prozess: Wirkungsgrad  $\eta_i$  eines verlustlosen (idealen) Kreisprozesses:

$$\eta_i = 1 - (T_A / T_V) = 1 - (T_{\min} / T_{\max}), \quad \text{mit } T_V \dots \text{Verbrennungstemperatur des Gases im Arbeitsraum}$$

$$T_A \dots \text{Austrittstemperatur aus dem Arbeitsraum}$$

**Intermittierende** Verbrennung (**Vkm**):  $\eta_i = 1 - (1100 \text{ K} / 2900 \text{ K}) = \mathbf{0,62}$

**Gasturbine:**  $\eta_i = 1 - (950 \text{ K} / 1900 \text{ K}) = \mathbf{0,50}$

**Reale Motoren mit intermittierender Verbrennung:**

Wirkungsgrad  $\eta$  Lkw Dieselmotoren im Bestpunkt:  $\eta = \mathbf{45 \%}$  [4]

Langsam laufende Schiffsdieselmotoren (Kreuzkopfmotoren):  $\eta = \mathbf{54 \%}$  [4]

**Pkw Stadt: 15-20 %;** im Bestpunkt **37-42 %** [5]; **F1 2017** an der Vollast **50 %**

**Gas- und/oder Dampfturbinen zur Stromerzeugung:**

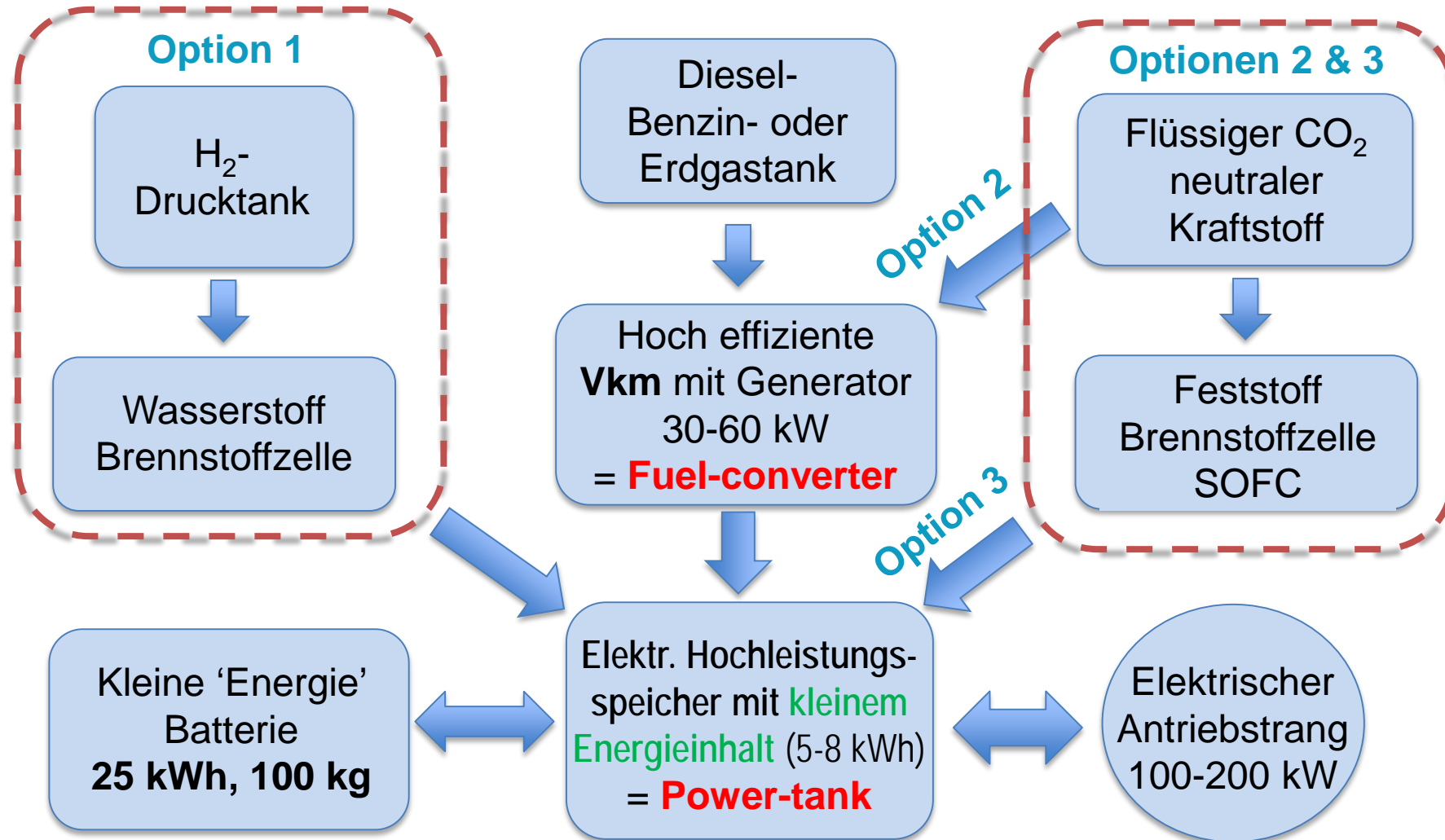
**Waste heat recovery !**

**Elektrischer Wirkungsgrad  $\eta$**  aus [6]: weltweit ca. **33 %**, deutsche Kraftwerke zZt. ca. **38 %**, neun Kohlekraftwerke **40-45%** und mit Erdgas betriebene **GuD-Kraftwerke** bis zu **64 %**. **Warum so groß?**

[4] Basshuysen, R. und Schäfer F., HRSG., *Handbuch Verbrennungsmotor*, Springer Vieweg, 2015, S. 22.; [5] Springer Professional, Pkw-Antriebe im Überblick - Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft: [https://www.springerprofessional ...](https://www.springerprofessional...); [6] [http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Basis\\_Energie/Basis\\_Energie\\_Nr\\_17/BasisEnergie\\_17\\_internetx.pdf](http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Basis_Energie/Basis_Energie_Nr_17/BasisEnergie_17_internetx.pdf); 10.1.2018



# Zusammenwirken eines **Fuel-Converters** mit ein oder zwei **elektrischen Speichern**: ein **flexibles und anpassungsfähiges Konzept**



## Beispiel für die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs

- Konventioneller Pkw mit **Verbrennungskraftmaschine (Vkm)** arbeitet in **Ballungsräumen** mit einer **Effizienz vom 15 bis 20 %**. Wenn eine **Vkm** nur für **einen einzigen Lastpunkt** ausgelegt wird, steigt der **Wirkungsgrad  $\eta$**  signifikant auf ca. **50 %**. Wenn diese Vkm einen **Generator mit  $\eta = 95 %$**  antreibt, dessen elektrische Energie eine **Batterie ( $\eta = 90 %$ )** auflädt und dazu parallelgeschaltet einen **elektrischen Antriebsstrang mit  $\eta = 85 %$**  versorgt, ergibt sich ein **Gesamtwirkungsgrad von  $\eta_{\Sigma} = 0,5 * 0,95 * 0,9 * 0,85 = 36,3 %$** . Das bedeutet, die **Effizienz des Pkw-Verkehrs** verdoppelt sich von 15 – 20 % auf **36 %**. Das bedeutet eine nahezu **Halbierung des Kraftstoffverbrauchs ohne Einschränkung** der **Fahreigenschaften** und **Reichweite** sowie Nutzung der **bestehenden Tankstelleninfrastruktur**.
- Wie der Ersatz von **Gasthermen** durch **SOFCs** kombiniert mit **Wärmepumpen**, bewirkt der oben beschriebene Serienhybrid für die **nächsten 15 – 20 Jahre eine Halbierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen** unter Weiterverwendung fossiler Energie.
- **Nach 15 – 20 Jahren** sollten ausreichend **synthetische Kraftstoffe** verfügbar sein, um damit die fossilen **CO<sub>2</sub>-Emissionen** des Pkw-Verkehrs zu „Netto-Null“ zu minimieren.

# Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit und ich freue mich auf die Diskussionen im Workshop!

Weiters bitte ich um Mitgliedschaft oder Spenden für den gemeinnützigen Verein

<https://www.neter.at/>

**n**ew **e**nergy **t**ransition **E**urope **R**esearch-Association

[georg.brasseur@tugraz.at](mailto:georg.brasseur@tugraz.at)

[g.brasseur@neter.at](mailto:g.brasseur@neter.at)