

# Elektromobilität, Energiewende und Energiebereitstellung

Eine kurze Betrachtung zukünftiger Herausforderungen

Verkehrsreferententagung des ADAC OWL | Bielefeld | 10. März 2023  
Frank Gudermann | Vorstand für Verkehr und Technik

# Wie viel Energie braucht unsere Mobilität?

# Effizienzvergleich verschiedener Fahrzeugantriebssysteme

Wolfgang Bolsums, ADAC NSA | 28. April 2022

# Otto Verbrennungsmotor

Rohölförderung

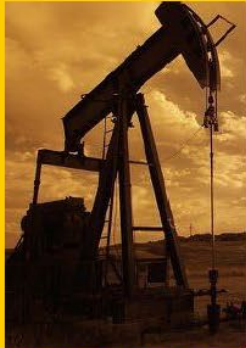


Bild: CC0 / Pixabay / skeeze

Raffination

$\eta \approx 95\%$



Bild: BP.com

Ottomotor

$\eta \approx 30\%$

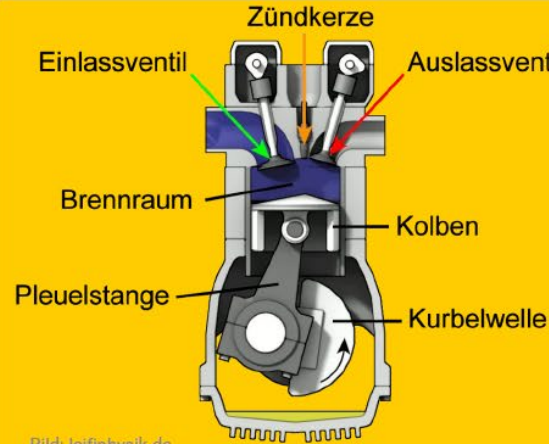


Bild: teifiphysik.de

Fahrzeug

Antriebsrad

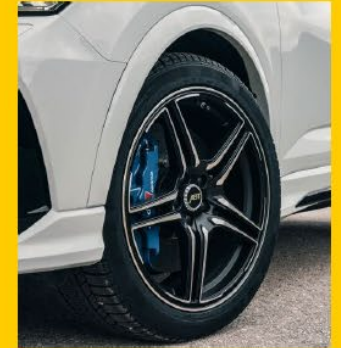


Bild: ABT



Rohöl



Benzin  
chem. Energie



mech. Energie

**Gesamtwirkungsgrad: 29%**

# Diesel Verbrennungsmotor

Rohölförderung

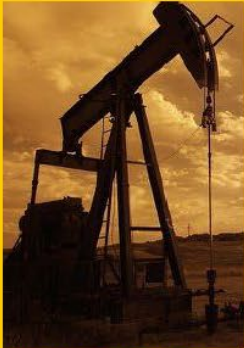


Bild: CC0 / Pixabay / skeeze

Raffination

$\eta \approx 95\%$



Bild: BP.com

Dieselmotor

$\eta \approx 45\%$

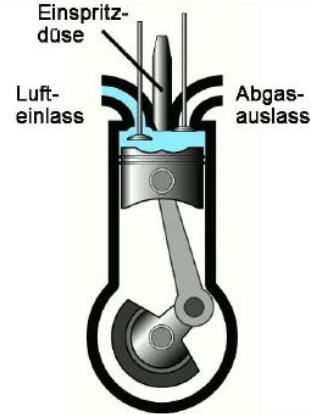


Bild: leifiphysik.de

Fahrzeug

Antriebsrad

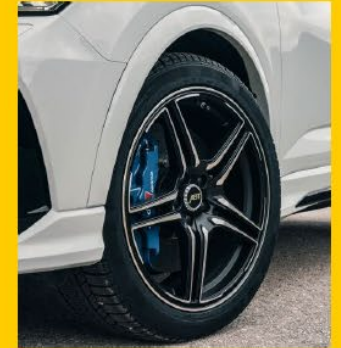


Bild: ABT



Rohöl



Diesel  
chem. Energie



mech. Energie

**Gesamtwirkungsgrad: 43%**

# Elektroantrieb

Wind-/ Solaranlage



Bild: climate.copernicus.eu

elektr. Energie

Batterie  
 $\eta \approx 83\%$



Bild: elektroauto-news.net

elektr. Energie

Fahrzeug

Elektromotor  
 $\eta \approx 90\%$



Bild: elektroauto-news.net

mech. Energie

Antriebsrad

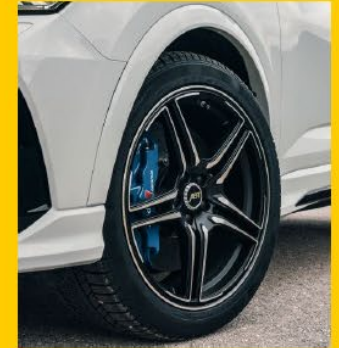


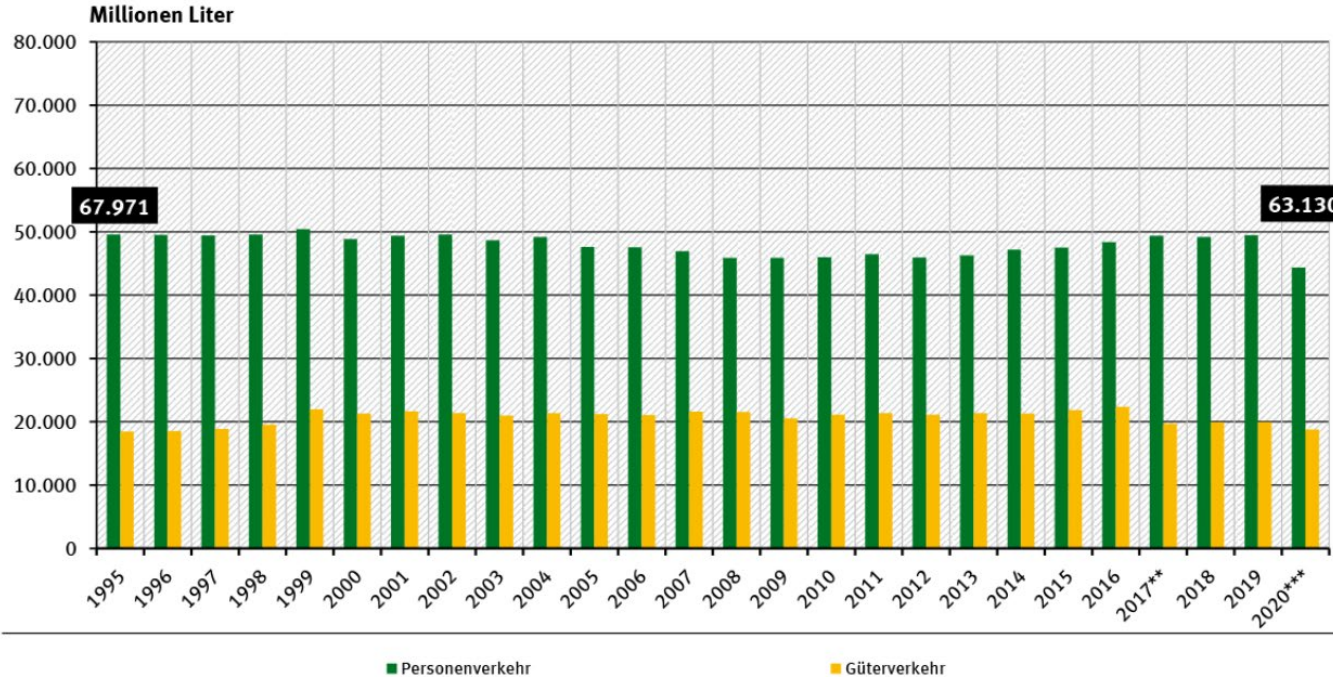
Bild: ABT

**Gesamtwirkungsgrad: 75%**  
(beim derzeitigen Strommix: 45%)

## Effizienzwerte zur Umrechnung des Kraftstoffvolumens in dessen Energiegehalt

Elektroantrieb	$\eta_{\text{gesamt}}$ : 75%
Diesel Verbrennungsmotor	$\eta_{\text{gesamt}}$ : 43%
Otto Verbrennungsmotor	$\eta_{\text{gesamt}}$ : 29%

## Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr\*



\* Berechnung auf Basis der Inländerfahrleistung (einschließlich Auslandsstrecken deutscher Kraftfahrzeuge und ohne Inlandsstrecken ausländischer Kraftfahrzeuge)

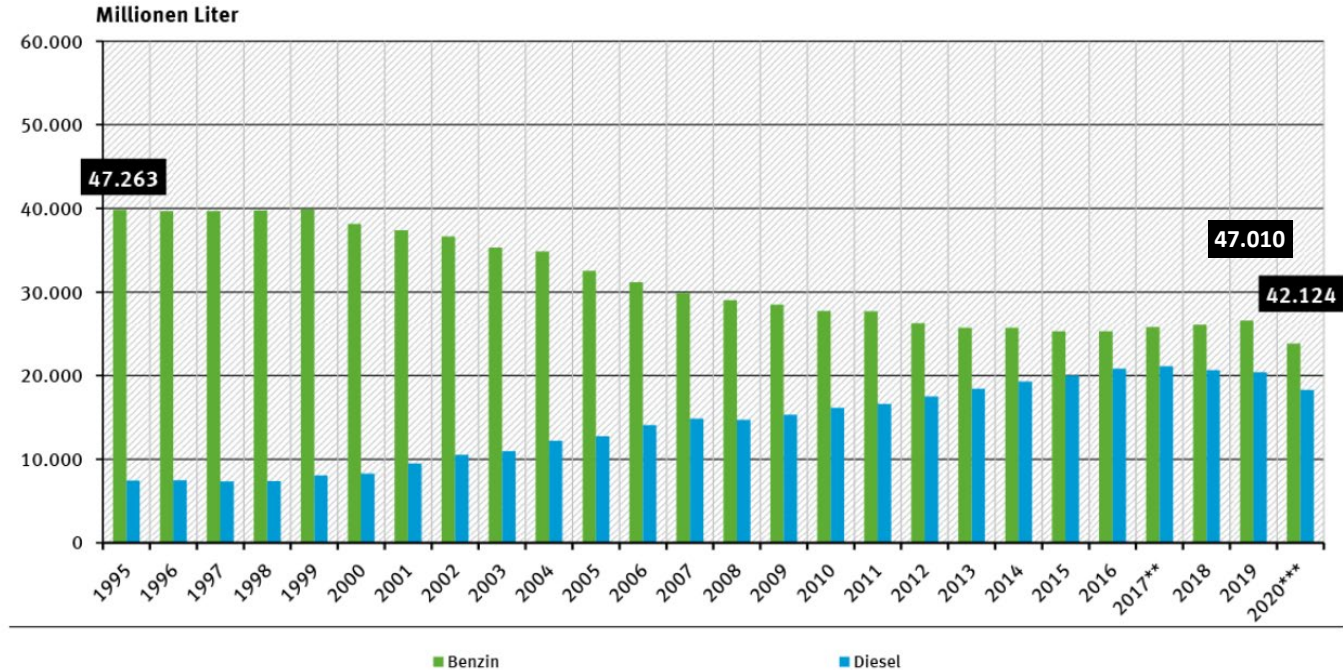
\*\* ab 2017 Neuberechnung der Fahrleistungs- und Verbrauchsrechnung

\*\*\* zum Teil vorläufige Werte

Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), Verkehr in Zahlen 2021/2022, S. 309



## Kraftstoffverbrauch von Pkw und Kombi\*



\* Berechnung auf Basis der Inländerfahrleistung (einschließlich Auslandsstrecken deutscher Kraftfahrzeuge und ohne Inlandsstrecken ausländischer Kraftfahrzeuge)

\*\* ab 2017 Neuberechnung der Fahrleistungs- und Verbrauchsrechnung

\*\*\* zum Teil vorläufige Werte

Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), Verkehr in Zahlen 2021/2022, S. 309

# Wie viel Energie braucht unsere individuelle Mobilität?

## Umrechnung des Kraftstoffvolumens in dessen Energiegehalt

Der Energiegehalt beträgt bei

**Benzin 8,4 kWh/l**

**Diesel 9,8 kWh/l**

Erdgas 13,0 kWh/kg

Autogas 6,9 kWh/l

Das sind Durchschnittswerte, die in der Realität etwas schwanken können, da die exakte Zusammensetzung der Kraftstoffe variiert, insbesondere bei Benzin.

<b>Hauptitel:</b>	Kraftstoffverbrauch von Pkw und Kombi*
<b>Untertitel:</b>	Millionen Liter
<b>Quelle:</b>	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), Verkehr in Zahlen 2021/2022, S. 309
<b>Fußnote:</b>	* Berechnung auf Basis der Inländerfahrleistung (einschließlich Auslandsstrecken deutscher Kraftfahrzeuge und ohne Inlandsstrecken ausländischer Kraftfahrzeuge) ** ab 2017 Neuberechnung der Fahrleistungs- und Verbrauchsrechnung
<b>Fußnote:</b>	*** zum Teil vorläufige Werte

Jahr	Millionen Liter		
	Benzin	Diesel	Summe
2019	26.593	20.417	47.010

Quelle: Eigene Berechnungen

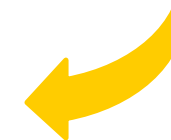
Energiebedarf Mobilität Pkw und Kombi			
Energie in 10 <sup>6</sup> kWh (gWh)			
Jahr	Benzin	Diesel	Summe
2019	223.381	200.087	423.468

Volumen



Benzin 8,4 kWh/l

Diesel 9,8 kWh/l



Energie

Wie hoch wäre der Strombedarf,  
wenn alle Pkw und Kombi  
**elektrisch** angetrieben würden?

Quelle: Eigene Berechnungen

Energiebedarf Mobilität Pkw und Kombi			
Energie in 10 <sup>6</sup> kWh (gWh)			
Jahr	Benzin	Diesel	Summe
2019	223.381	200.087	<b>423.468</b>

Geleistete Bewegungsenergie: ~ **150.800 gWh**

Erforderliche elektrische Energie: ~ **201.100 gWh**

Wirkungsgrad Ottomotor: 29 %

Wirkungsgrad Dieselmotor: 43%

Wirkungsgrad (E-Antrieb): 75 %

201.100 gWh jährlich für  
100 % Elektromobilität (Pkw)

Ist das viel?

## Ein Vergleich

Quelle: 1: Werte für Strom für Raumwärme, Warmwasser (Hygienezwecke), Beleuchtung und Elektrogeräte; Statistisches Bundesamt; Stand: 15 Juli 2021  
 2: Werte für Mineralöl, Gas, Kohle, ...; Statistisches Bundesamt; Stand Juli 2021  
[https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/energieverbrauch-haushalte.html?view=main\[Print\]](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/energieverbrauch-haushalte.html?view=main[Print])

	Energiebedarf private Haushalte (Auszug)			
	Energie in 10 <sup>6</sup> kWh (gWh)			
Jahr	Strom	Mineralöl	Gas	Kohle
2019	126.932			

Jahresenergiebedarf in 2019 für 100 % Elektromobilität:

~ **201.100 gWh**



## Ein Vergleich

Quelle:

1: Werte für Strom für Raumwärme, Warmwasser (Hygienezwecke), Beleuchtung und Elektrogeräte; Statistisches Bundesamt; Stand: 15 Juli 2021  
 2: Werte für Mineralöl, Gas, Kohle, ...; Statistisches Bundesamt; Stand Juli 2021  
[https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/energieverbrauch-haushalte.html?view=main\[Print\]](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/energieverbrauch-haushalte.html?view=main[Print])

	Energiebedarf private Haushalte (Auszug)			
	Energie in 10 <sup>6</sup> kWh (gWh)			
Jahr	Strom	Mineralöl	Gas	Kohle
<b>2019</b>	126.932	125.000	297.000	5.000

Jahresenergiebedarf in 2019 für 100 % Elektromobilität: **~ 201.100 gWh**

Jahresenergiebedarf in 2019 privater Haushalte  
aus Mineralöl, Gas, Kohle (ohne Strom): **427.000 gWh**

## Ziel der Energiewende: Einsatz von **Wärmepumpen** als Ersatz für Mineralöl, Gas und Kohle in privaten Haushalten

	Energiebedarf private Haushalte (Auszug)			
	Energie in 10 <sup>6</sup> kWh (gWh)			
Jahr	Strom	Mineralöl	Gas	Kohle
2019	126.932	125.000	297.000	5.000

Energiebedarf private Haushalte aus  
Mineralöl, Gas, Kohle:

**427.000 gWh**

An die Haushalte zu liefernde  
elektrische Energie:

**~ 122.000 gWh**

Wirkungsgrad (Wärmepumpe): **~ 350 % \***



\* Quelle: <https://www.nachhaltigleben.ch/bauen/wirkungsgrad-waermepumpe-785>

## Herausforderung der Energiebereitstellung

Ein theoretisches Szenario auf der Basis von Daten des Jahres 2019

Jahresenergiebedarf für 100 % Elektromobilität:	~ 201.000 gWh
An die Haushalte zu liefernde elektrische Energie für 100 % Wärme aus Wärmepumpen:	~ 122.000 gWh
In Summe zusätzlich bereit zu stellen:	<b>~ 323.000 gWh</b> (~ 2,5 x Strombedarf priv. Haushalte)
Bestehender Strombedarf privater Haushalte:	<b>127.000 gWh</b>
Bruttostromverbrauch in Deutschland 2019 insgesamt: <small>(Quelle: Umweltbundesamt auf Basis AG Energiebilanzen, Tabelle Bruttostromerzeugung in Deutschland, Stand 12/2021)</small>	<b>555.000 gWh</b>
Der Bruttostromverbrauch Deutschlands würde sich durch Elektromobilität und Wärmepumpen um 58,2 % erhöhen auf	<b>~ 878.000 gWh</b>

## Herausforderung der Energiebereitstellung

Drei Optionen die zusätzlich benötigte Energie bereit zu stellen:

	<b>Elektromobilität</b> (Pkw und Kombi) (201.000 gWh)	<b>Wärmepumpen</b> (private Haushalte) (122.000 gWh)	<b>Summe</b> (314.000 gWh)
<b>Atomkraftwerke</b> mittlerer Größe (je 11.000 gWh/a)	18	11	<b>29</b>
<b>Windkraftanlagen</b> mittlerer Leistung (je 11 gWh/a)	18.272	11.090	<b>29.362</b>
<b>Photovoltaikfläche</b> Jahresertrag: 15 kWh/m <sup>2</sup>	13.400 km <sup>2</sup> (115 km x 115 km)	8.133 km <sup>2</sup> (90 km x 90 km)	<b>21.533 km<sup>2</sup></b> (146 km x 146 km) (≙ Hessen)

## Herausforderung der Energiebereitstellung

	Elektromobilität (Pkw und Kombi) (201.000 gWh)	Wärmepumpen (private Haushalte) (122.000 gWh)	Summe (314.000 gWh)
<b>Windkraftanlagen</b> mittlerer Leistung (je 11 gWh/a)	18.272	11.090	<b>29.362</b>
<b>Anfang 2021 installierte Windkraftanlagen:</b>			<b>29.731*</b>
<b>Jahresleistung dieser Anlagen:</b>			<b>122.000 gWh *</b>

\* (Quelle: <https://strom-report.de/windenergie/>)

## Fazit:

Energiewende (Wärmepumpen) und rein elektrische Antriebe für Pkw erfordern große Mengen elektrischer Energie.

Die **CO<sub>2</sub>-neutrale Erzeugung** und die **Verteilung des erforderlichen Stroms** zu den Endverbrauchern stellen große Herausforderungen dar und sind mit extrem hohen Investitionskosten verbunden.

## Fazit:

Es scheint sinnvoll, die Elektromobilität (Pkw) durch direkten Einsatz CO<sub>2</sub>-neutraler Energieträger zu flankieren, wie beispielsweise

- **Bioethanol**
- **Biogas**
- **hydrierte Pflanzenöle** (HVO, hydrogenated vegetable oils)
- **E-Fuels** (aus „grünem“ Wasserstoff)

Für den Güterverkehr und im ÖPNV ist **Wasserstoff** (in Verbindung mit Brennstoffzellen) sehr gut als Energieträger geeignet.

## Fazit:

Ein sinnvoller Mix der Energieträger unter Einbeziehung von Verbrennungsmotoren kann Herausforderungen und Kosten, z. B. durch die Nutzung bestehender Infrastruktur (Tankstellen) wesentlich reduzieren.

Überschüssiger, derzeit nicht genutzter Strom aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen sollte zur dezentralen Herstellung von Wasserstoff verwendet und die Energie so gespeichert werden.



**Vielen Dank für Eure  
Aufmerksamkeit!**