



# Vehicle concepts & -systems

Module 3 Technical Basics to vehicles

WS 2022/2023

## Module 3: Technical basics to vehicles

- **08:30 – 09:00: Presentation Teamwork & Feedback**
- 09:00 – 14:00: Basic components & parameters for vehicle design
  - Driving resistances (quick recap)
  - Components of a vehicle / vehicle design
  - Body
  - Drivetrain
    - Well to wheel
    - Basics to automotive drivetrains
    - Battery technology
    - Electric engines
    - *Optional: Hybrid drivetrain architectures*

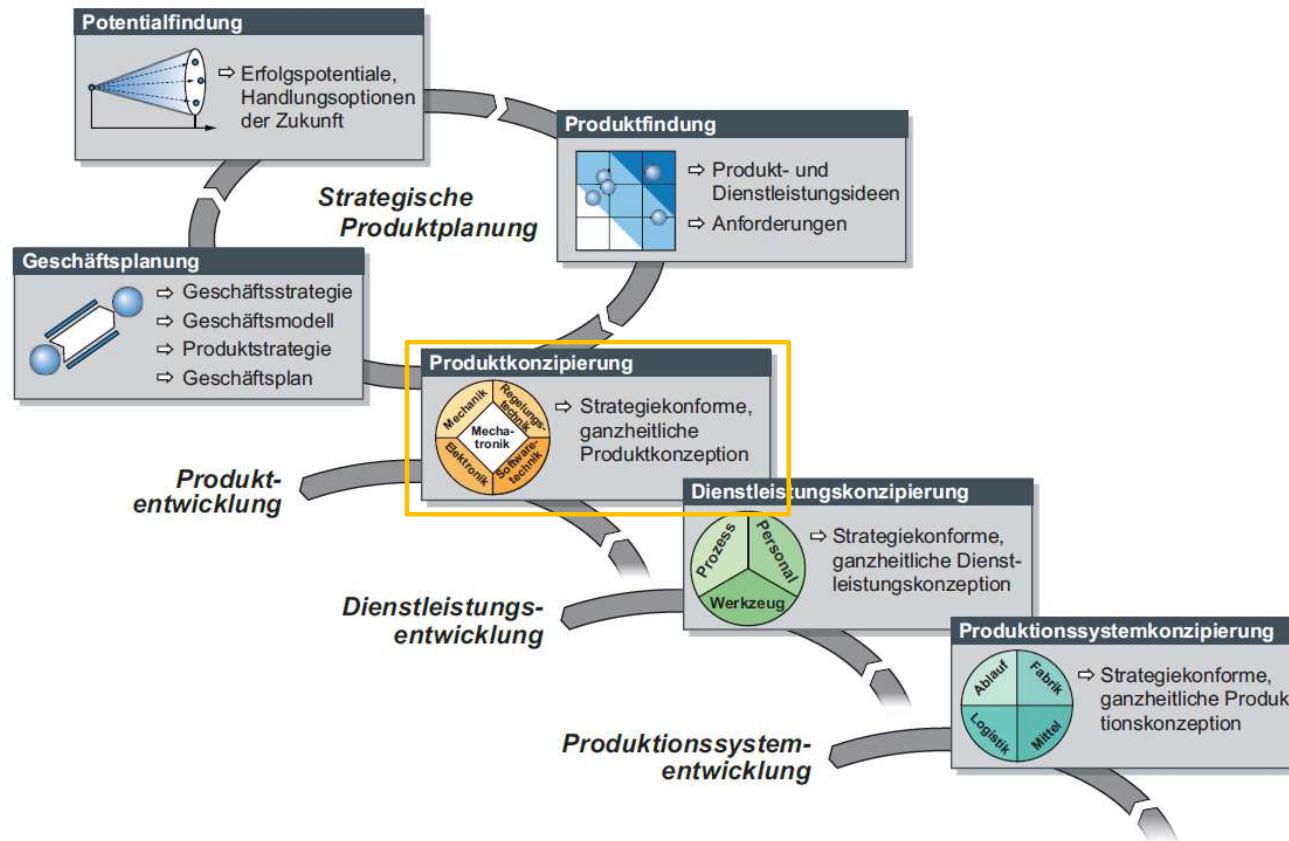
## Teamwork

- From a components' perspective – which component is your most important? By terms of...
  - Customer
  - Legislative
  - Engineering effort
- Please describe your selected most important component more precise and in more detail with the tools and methods you learned.
- Which well to wheel values do you calculate for your prioritized market? How to you evaluate your position regarding your competitors?

## Module 3: Technical basics to vehicles

- 08:30 – 09:00: Presentation Teamwork & Feedback
- **09:00 – 14:00: Basic components & parameters for vehicle design**
  - Driving resistances (quick recap)
  - Components of a vehicle / vehicle design
  - Body
  - Drivetrain
    - Well to wheel
    - Basics to automotive drivetrains
    - Battery technology
    - Electric engines
    - *Optional: Hybrid drivetrain architectures*

# Software Engineering in the reference model of GAUSEMEIER



Module 3

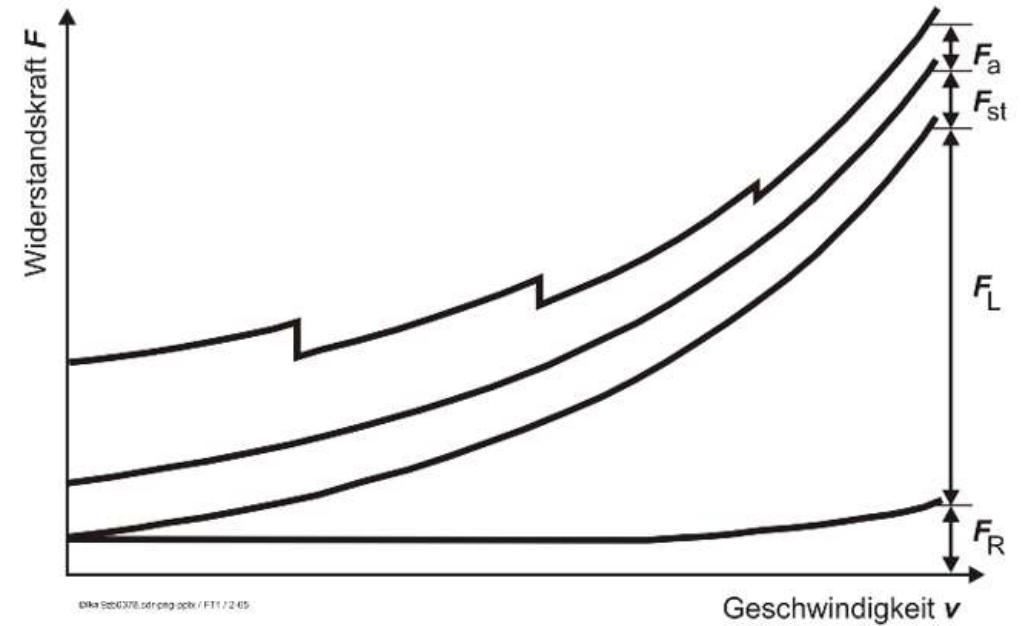
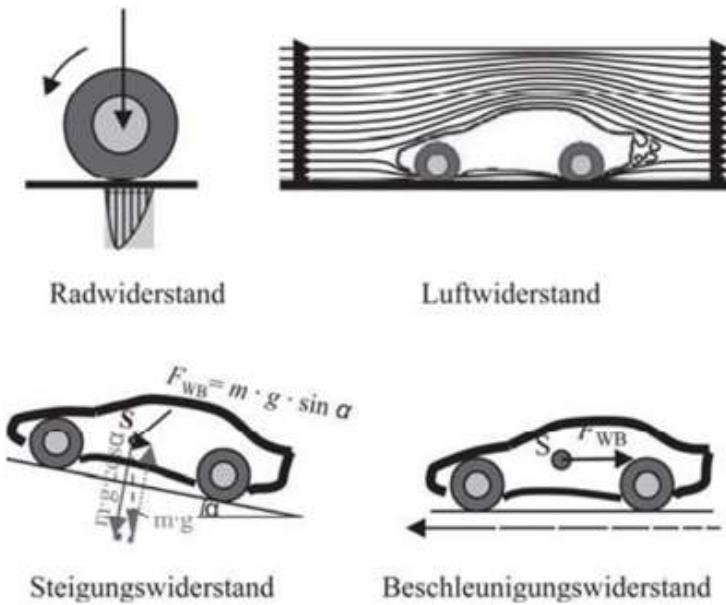
[GDP+19]

Please keep in mind we are mainly talking about class M  
... but even the german classification of vehicles has a broad concept basis

- **L – weniger als 4 Räder:** Krafträder, 3-Räder
- **M- mind. 4 Räder: Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung**
- **N – Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit mind. 4 Rädern**
- **O – Anhänger oder Sattelanhänger**

[Hak17]

## Driving resistances - overview



[Hak17]

## $c_w * A$ for different vehicles

	$c_w [ ]$	Stirnfläche [ $m^2$ ]	$c_w A [ m^2 ]$
VW Up	0,32	2,07	0,66
Mercedes E-Klasse T-Modell S212	0,30	2,33	0,70
BMW 3er F30	0,28	2,20	0,62
BMW X3 F25	0,34	2,65	0,90
Audi R8	0,36	1,99	0,72

$$c_w = \frac{F_w}{q A} = \frac{2F_w}{\rho v^2 A}$$

q = Staudruck  
P = Dichte

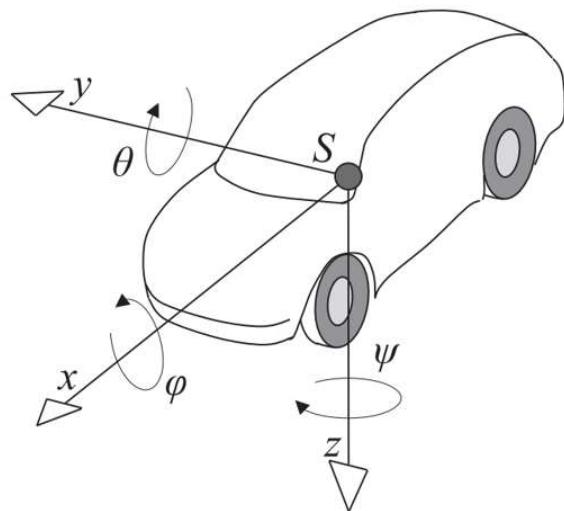
Abb. 2-2: Gegenüberstellung der Luftwiderstandsparameter aktueller Fahrzeuge

[Hak17]

# Vehicle behaviour & effects regarding driving resistance

Ein Körper im Raum hat 3 translatorische und 3 rotatorische Freiheitsgrade

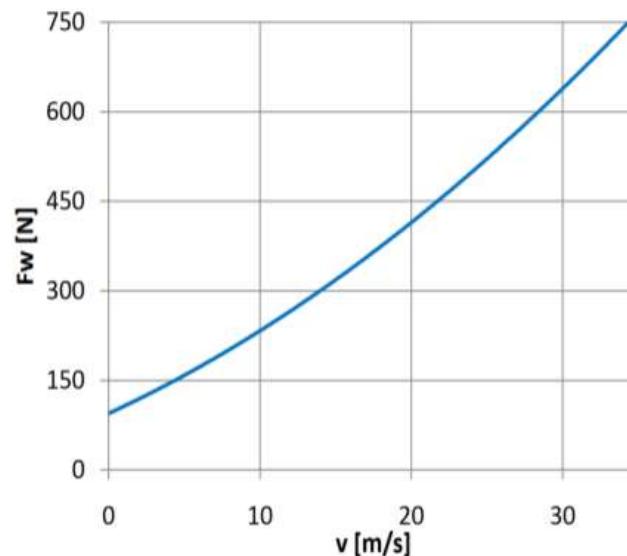
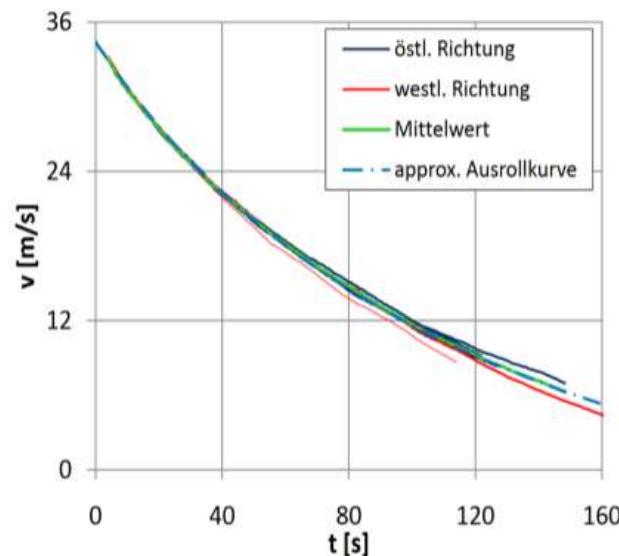
	x-Achse	y-Achse	z-Achse
<b>Bewegung in Richtung der</b>	Fahren (Zucken, Rucken)	Schieben	Federn
<b>Drehung um die</b>	<b>Wanken</b> bzw. Rollen → Wankwinkel $\varphi$	<b>Nicken</b> → Nickwinkel $\theta$	<b>Gieren</b> → Gierwinkel $\psi$



[Hak17]

# Driving resistance (Review session with Prof. Schick)

## Resistance forces on a vehicle measured by coasting test



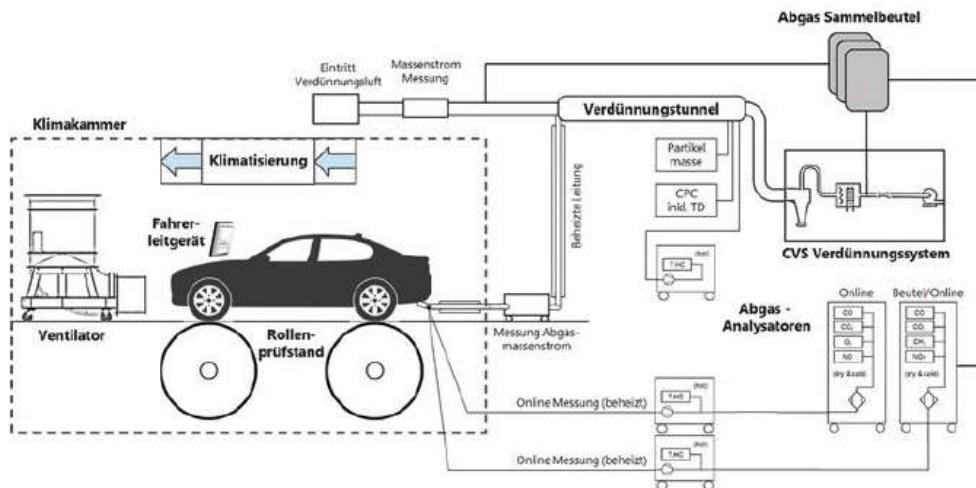
Set of curves of the coasting test in the plane and determined compensation curve (left); resulting transient driving resistance above vehicle speed (right)

$c_0, c_1$  represents roll resistance, bearing friction, oil splash etc.

$c_2$  represents air resistance

$$a = \frac{dv}{dt} = c_0 + c_1 * v_{rel} + c_2 * v_{rel}^2$$

# Measurement of energy demand & emissions on a testbench



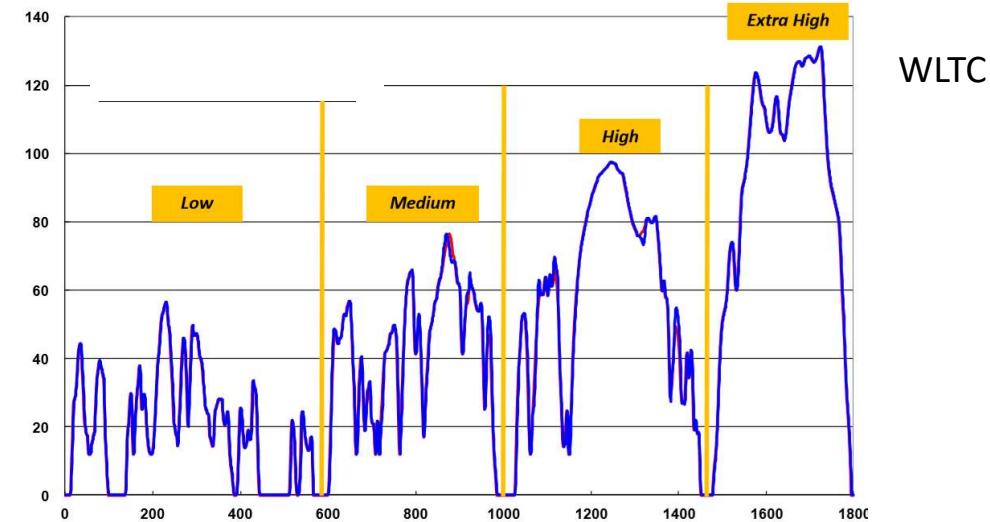
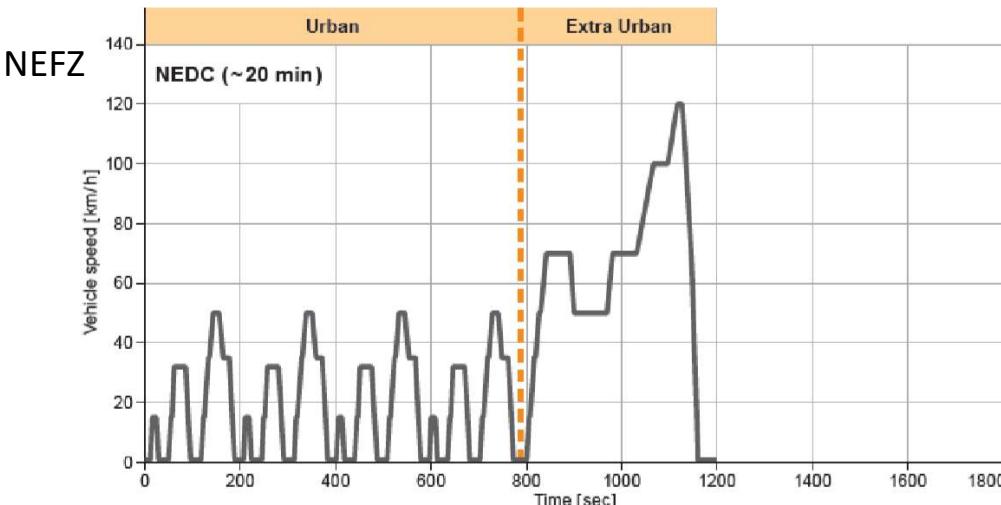
**Abb. 4.2** Versuchsaufbau zur Ermittlung von Abgas- und Verbrauchswerten von Personewagen im Labor

$$FC = \frac{1}{\rho_{Fuel}} \times \frac{1}{CWF_{Fuel}} \times \frac{100}{1000} \times (HC \times CWF_{HC} + CO \times CWF_{CO} + CO_2 \times CWF_{CO_2})$$

$\rho_{Fuel}$	Kraftstoffdichte bei 15 °C [kg/dm <sup>3</sup> ] bzw. [kg/m <sup>3</sup> ]
CWF <sub>Fuel</sub>	Kohlenstoffmassenanteil des Kraftstoffs [-]
CWF <sub>HC</sub>	Kohlenstoffmassenanteil der HC-Emission [-]
CWF <sub>CO</sub>	Kohlenstoffmassenanteil der CO-Emission [-]
CWF <sub>CO<sub>2</sub></sub>	Kohlenstoffmassenanteil der CO <sub>2</sub> -Emission [-]
$\frac{100}{1000}$	Umrechnungsfaktor von 1 auf 100 km und von g auf kg

[ZPB+20]

# Europe: Comparison of test cycles NEFZ & WLTC



Parameter	WLTP	NEFZ
Starttemperatur	kalt	kalt
Zyklusdauer	1.800 s	1.180 s
Standzeit	242 s	267 s
Stopptanteil	13,4 %	22,6 %
Distanz	23.262 m	10.931 m
Höchstgeschwindigkeit	131,3 km/h	120 km/h
Durchschnittsgeschwindigkeit	46,5 km/h	33,35 km/h
Temperatur	23° Celsius	25 +/- 5° Celsius
Sonderausstattung des individuellen Modells	Werden berücksichtigt für Gewicht, Aerodynamik, Rollwiderstand, Bordnetzbedarf; ohne Klimaanlage in Stufe I.	Bleiben außer Reifen unberücksichtigt; ohne Klimaanlage.

Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor	Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge	Elektrofahrzeuge
Ein nach zeitlicher Dauer, Streckenprofil (Stadt, Land, Autobahn), Temperaturbedingungen, Beschleunigung etc. definierter Prüfstandzyklus wird einmal gefahren.	Der Zyklus wird analog zu Verbrennern mehrmals gefahren, bis die Batterie des Hybridfahrzeugs leer ist. Damit erfasst man die rein-elektrische Reichweite.	Der Zyklus wird analog zu Plug-in-Hybriden so oft gefahren, bis die Batterie leer ist.
Als Ergebnis wird aus den CO <sub>2</sub> -Emissionen der Kraftstoff-Verbrauch ermittelt. Ebenso werden die Schadstoffemissionen (NO <sub>x</sub> , Partikel, ...) gemessen.	Die elektrische Reichweite im Verhältnis zur Gesamtreichweite ergibt den Nutzenfaktor (UF). Der PiH Nutzenfaktor liegt zwischen 100% (reine E-Fahrzeuge) und 0% (reine Verbrenner).	Über ein mit Stromzähler ausgestattetes Ladegerät wird der Stromverbrauch zur Komplettaufladung der Batterie in kWh gemessen.
	Der CO <sub>2</sub> -Wert errechnet sich aus dem konventionellen Fahranteil und den gemessenen CO <sub>2</sub> -Emissionen.	Die verbrauchte Strommenge und die Reichweite des Fahrzeugs ergeben den Strombedarf in kWh/100 km.

[www.daimler.com], [CPT19]

# USA: Test Cycles for Passenger Cars & Light duty vehicles

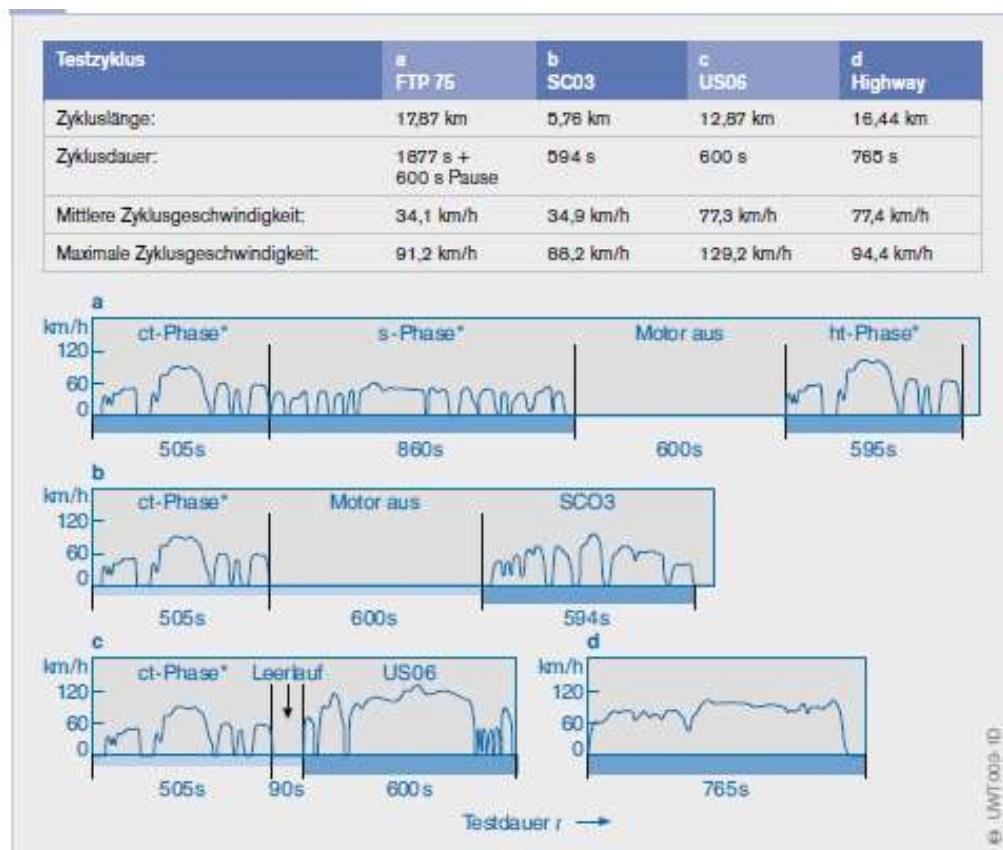


Bild 13  
\* ct Kaltphase  
\* s stabilisierte Phase  
\* ht Heißtest

[Rei20]

# Measurement of emissions in real „on the road conditions“ „Real Driving Emissions“ (RDE)



[www.daimler.com], [AVL20]

# Antriebsleistung und Fahrwiderstände

**Formel 6.2** Luftwiderstand,  $F_L$  [N]

**Formel 6.1** Rollwiderstand,  $F_R$  [N]

$$F_R = \mu \times m \times g$$

$\mu$  Reibungskoeffizient Reifen [-]  
 $m$  Fahrzeugmasse [kg]  
 $g$  Gravitationsfeldstärke [ $\text{m/s}^2$ ]

$$F_L = \frac{\rho}{2} \times c_w \times A \times v^2$$

$\rho$  Luftdichte [ $\text{kg/m}^3$ ]  
 $c_w$  Luftwiderstandsbeiwert [-]  
 $A$  Frontfläche [ $\text{m}^2$ ]  
 $v$  Geschwindigkeit [ $\text{m/s}$ ]

**Formel 6.4** Antriebsleistung,  $P$  [kW]

$$P = (F_R + F_L + F_B) \times v$$

**Formel 6.3** Beschleunigungswiderstand,  $F_B$  [N]

$$F_B = m_{\text{eq}} \times \frac{dv}{dt}$$

$m_{\text{eq}}$  Fahrzeugmasse inkl. rotativer Anteile [kg]  
 $\frac{dv}{dt}$  Beschleunigung [ $\text{m/s}^2$ ]

$$P = \left( \mu \times m \times g + \frac{\rho}{2} \times c_w \times A \times v^2 + m_{\text{eq}} \times \frac{dv}{dt} \right) \times v$$

[ZPB+20]

## Module 3: Technical basics to vehicles

- 08:30 – 09:00: Presentation Teamwork & Feedback
- **09:00 – 14:00: Basic components & parameters for vehicle design**
  - Driving resistances (quick recap)
  - **Components of a vehicle / vehicle design**
  - Body
  - Drivetrain
    - Well to wheel
    - Basics to automotive drivetrains
    - Battery technology
    - Electric engines
    - *Optional: Hybrid drivetrain architectures*

# Components of a vehicle & weight contribution

Karosserie (ca. 50% Gewichtsanteil)	Antrieb (ca. 30% Gewichtsanteil)	Fahrwerk (ca. 20% Gewichtsanteil)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Rohkasserie inkl. Türen, Hauben und evtl. Verdeck Verglasung Dichtungen</li> <li>Tür- und Haubenschlösser</li> <li>Scheibenwischeranlage</li> <li>Beleuchtungseinrichtungen</li> <li>Zierleisten</li> <li>Stoßfänger</li> <li>Instrumente</li> <li>Sitze</li> <li>Innenausschlag und -verkleidungen, Teppiche</li> <li>Heizung und Klimatisierung</li> <li>Pedalerie, Batterie</li> <li><i>Elektrik und Elektronik</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motor inkl. Ansaug- und Auspufftrakt</li> <li>Motorkühlung</li> <li>Energiespeicher</li> <li>Drehzahl-Drehmomentwandler (z. B. Kupplung und Schaltgetriebe)</li> <li>Achsgetriebe</li> <li>Antriebswellen</li> <li><i>Elektrik und Elektronik</i></li> </ul> <p>Optional: Kardanwelle</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reifen und Räder</li> <li>Radführungen</li> <li>Federn und Dämpfer</li> <li>Bremsanlage</li> <li>Lenkung</li> <li><i>Elektrik und Elektronik</i></li> </ul>

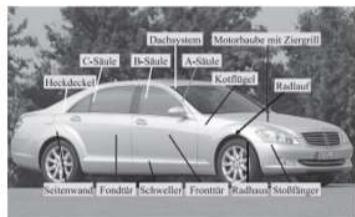
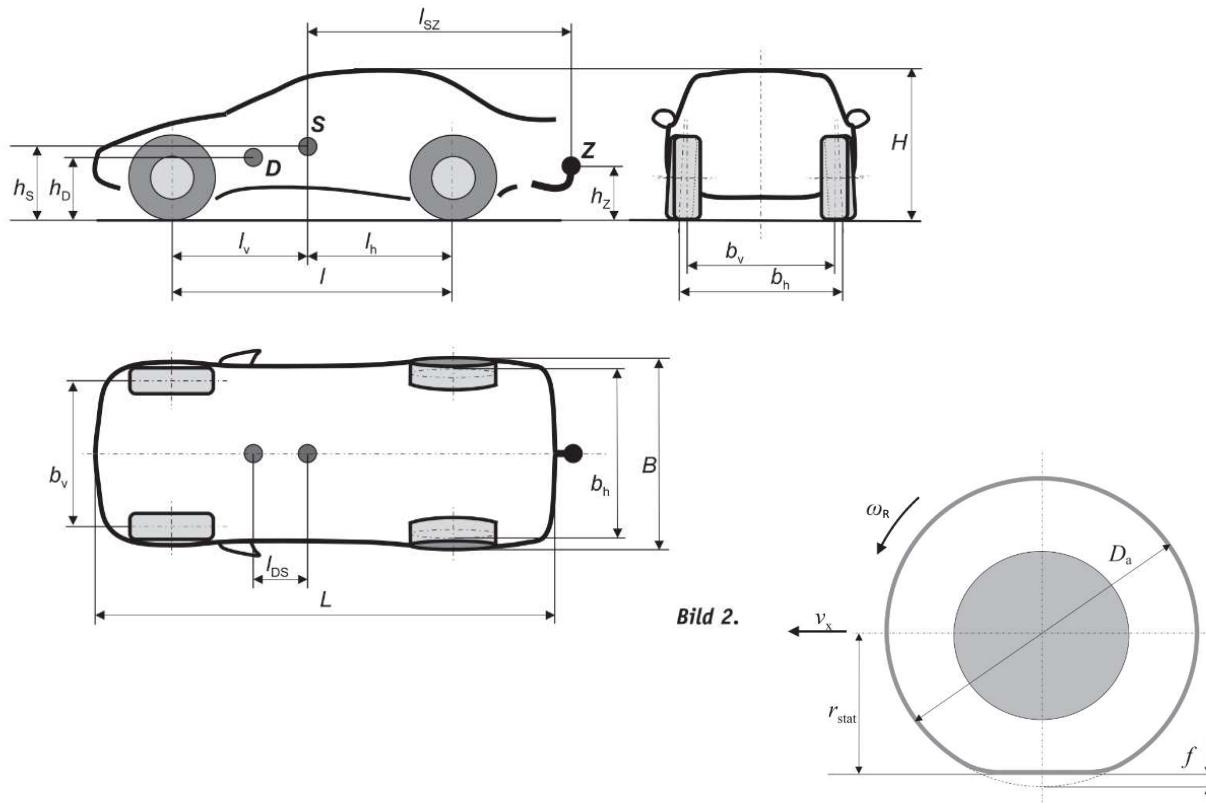


Bild 5.1: Bezeichnungen der wichtigsten Bauteile an einer Pkw-Karosserie



[Hak17], [www.kfztech.de]

# Design relevant parameters (outside dimensions)

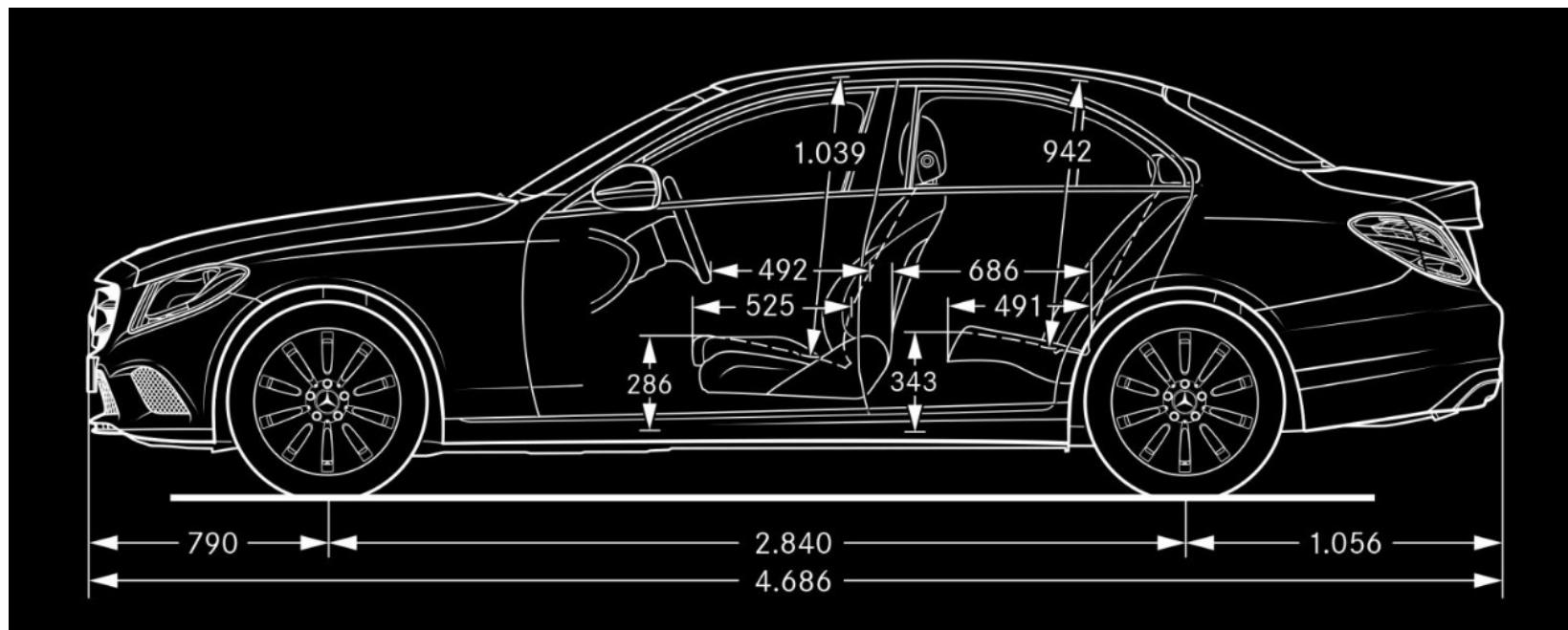


## Relevant für Fahrdynamik:

- Breite B
- Höhe H
- Länge L
- Radstand l
- Spurweiten b
- Schwerpunktlage S
- Sturzwinkel (abhängig von Radaufstands-Mittelpunkt)
- Druckpunkt D (idealisierte Angriffspunkt Windkräfte)  
(je weiter D vor S, desto höher Giermoment (Fzg Dreht aus dem Wind))
- Zughaken Z
- Radabmessungen
  - Außendurchmesser Da
  - Reifenbreite
  - rstat
  - rdyn
  - Vx Fahrgeschwindigkeit
  - wR Radkreisfrequenz
  - f Reifeneinfederung

[Hak17]

## Design relevant parameters (inside dimensions)



[Hak17], [www.mercedes-benz.com]

## Module 3: Technical basics to vehicles

- 08:30 – 09:00: Presentation Teamwork & Feedback
- **09:00 – 14:00: Basic components & parameters for vehicle design**
  - Driving resistances (quick recap)
  - Components of a vehicle / vehicle design
  - **Body**
  - Drivetrain
    - Well to wheel
    - Basics to automotive drivetrains
    - Battery technology
    - Electric engines
    - *Optional: Hybrid drivetrain architectures*

## Frame construction



*Bild 5.3: Ausnutzung der Verwindbarkeit des Rahmens bei Geländefahrzeugen am Beispiel des Unimogs bei einer Grabendurchquerung [Daimler]*



*Bild 5.2: Fahrzeugrahmen eines Lkws [MAN]*

Bei der Rahmenbauweise muss der **Aufbau keine tragende Funktion** haben, da diese vom Rahmen allein erfüllt wird. **Nutzfahrzeuge** (Nfz) sind grundsätzlich mit Rahmen ausgeführt, vgl. Bild 5.2. Beim Nfz können daher vergleichsweise kostengünstig unterschiedlichste Aufbauten und auch Wechselaufbauten realisiert werden.

Im Vergleich zu einer selbsttragenden Karosserie kann sich ein **Rahmen ohne plastische Verformungen stark verwinden**. Für **Geländewagen** ist das oft von Vorteil, da z. B. bei der diagonalen Durchquerung eines Grabens starke Verschränkungen der beiden Achsen erforderlich sind, um einen ständigen Bodenkontakt aller vier Räder zu ermöglichen, vgl. Bild 5.3.

[Hak17]

# Self supporting structures

## Vorteile einer selbsttragenden Karosserie ggü. Rahmenbauweise:

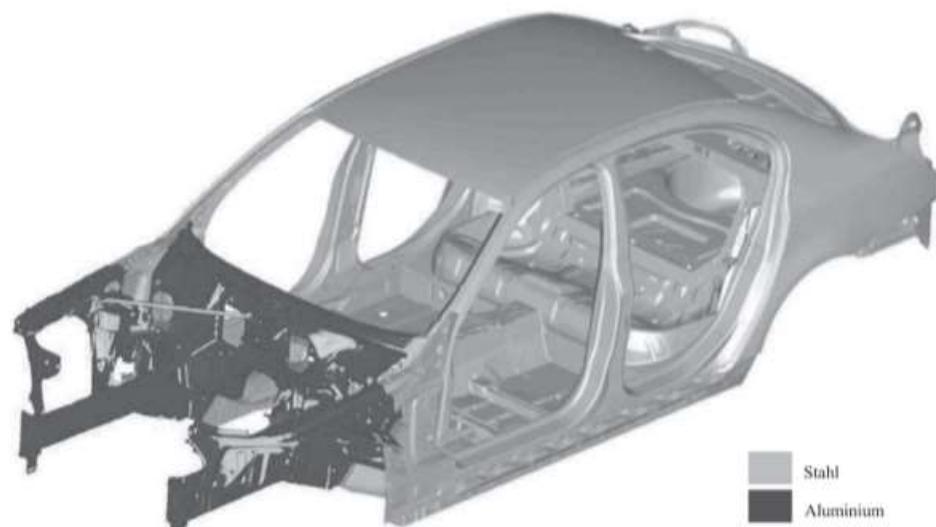
- geringeres Gewicht bei höherer Steifigkeit des Aufbaus
- geringerer Schwerpunkt und geringere Fahrzeugstirnfläche bei gleichem Raumangebot
- höhere passive Sicherheit u. a. durch bessere Crash-Kompatibilität (Unfälle zwischen leichten und schweren Fahrzeugen sind für die Insassen in den leichten Fahrzeugen weniger kritisch.)

## Innerhalb der Karosseriestruktur sind die Anforderungen an Steifigkeit, Festigkeit und plastische Verformbarkeit durch Crash sehr unterschiedlich:

Die Knautschzonen müssen sich stark plastisch deformieren lassen, wobei der dazu erforderliche Energiebedarf in engen Grenzen durch die beim Unfall erwünschte Fahrzeugverzögerung vorgegeben ist. Die Fahrgastzelle hingegen sollte über eine hohe Festigkeit verfügen. Eine hohe Steifigkeit der Gesamtstruktur ist wiederum sehr wichtig für den Komfort, die Akustik und auch für die Fahrdynamik.

Dies wird bei modernen Karosserien erreicht durch::

- die Verwendung unterschiedlicher Materialstärken (heute auch innerhalb einzelner Tiefziehbleche durch Laserschweißen oder spezielle Walzvorgänge möglich)
- unterschiedliche Stahlgüten
- unterschiedliche Materialien (Stahl, Aluminium, Magnesium, Kunststoff)
- die Formgestaltung (z. B. definierte Knickstellen der Knautschelemente – so genannte Imperfekt-funktionen).



*Bild 5.5: Beispiel für die Verwendung unterschiedlicher Materialien an modernen selbsttragenden Karosserien in Schalenbauweise (Ser BMW E60) [BMW]*

[Hak17]

## Space-Frame body

Die in den letzten Jahren stark weiterentwickelte **Space-Frame-Bauweise** (vgl. Bild 5.7) unterscheidet sich von der selbsttragenden Karosserie in Schalenbauweise dadurch, dass neben Tiefziehblechen auch **Strangpressprofile, Guss- und Schmiedeformteile verwendet werden**. Die tragende Struktur **bilden in erster Linie die Profile und Formteile**. Die für die Außenhaut erforderlichen Bleche können dadurch sehr dünnwandig und/oder aus Aluminium und damit leicht ausgeführt werden. Die einzelnen Elemente können aufgrund der stark unterschiedlichen Materialien häufig nicht verschweißt werden. Hier sind Niet-, Schraub- oder Klebverbindungen erforderlich.



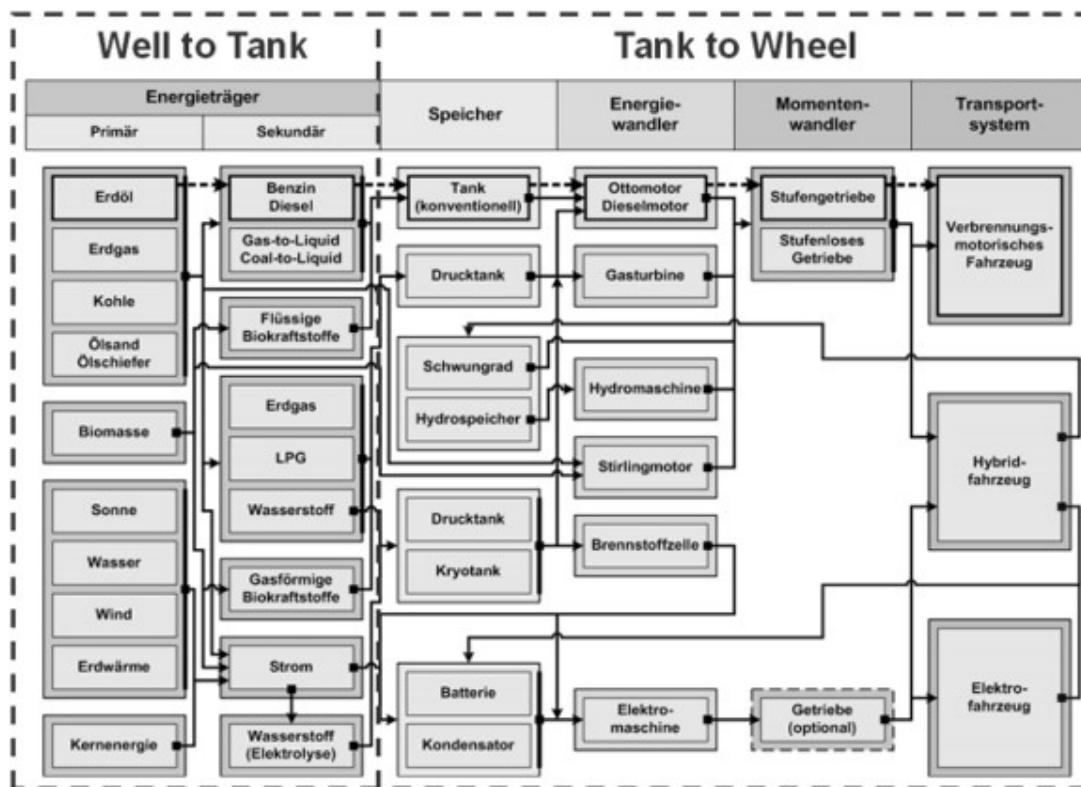
Bild 5.7: Space-Frame-Bauweise am Beispiel der Aluminium-Karosserie des Audi A8 [Audi]

[Hak17]

## Module 3: Technical basics to vehicles

- 08:30 – 09:00: Presentation Teamwork & Feedback
- **09:00 – 14:00: Basic components & parameters for vehicle design**
  - Driving resistances (quick recap)
  - Components of a vehicle / vehicle design
  - Body
  - **Drivetrain**
    - Well to wheel
    - Basics to automotive drivetrains
    - Battery technology
    - Electric engines
    - *Optional: Hybrid drivetrain architectures*

# Well to Wheel scheme



[Hak17]

## Well to Wheel - example: Drivetrains of Golf 7

			
Normverbrauch [l/100km]	5,0	3,9	-
Normverbrauch [kWh/100km]	-	-	12,7 Ladeverluste 2,2 kWh
	SuperE10	B7 Diesel	
4,5l Benzin	0,5l Bioethanol	3,627l Diesel	0,273l FAME
Well to Tank CO2 [g/km]	19,64	2,94	19,71
Tank to Wheel CO2 [g/km]	106,65	0	1,23
Well to Wheel CO2 [g/km]	129,23	96,12	117,06
VW Golf 7 BMT mit 7-Gang DSG			
	85,82	5,96	129,9
	0	0	0
	85,82	5,96	129,9

[Hak17]

# Mercedes-Benz C-Class 2022

Source: [Mercedes C-Klasse \(300/300 d/300 e\): Vergleich | autozeitung.de](#)

Preise			
Grundpreis	54.780 €	56.317 €	57.953 € (52.328 € nach Abzug E-Prämie)
Kosten pro Kilometer*	0,34/0,28 € 0,98/0,64 € inkl. Wertverlust	0,34/0,26 € 1,04/0,64 € inkl. Wertverlust	0,31/0,25 € 0,93/0,60 € inkl. Wertverlust

AUTO ZEITUNG 19/2022	Mercedes C 300 4Matic T-Modell	Mercedes C 300 d T- Modell	Mercedes C 300 e T- Modell
<b>Technik</b>			
<b>Zylinder/Ventile pro Zylinder</b>	4-Zylinder, 4-Ventiler, Turbo; Starter-Generator, 48-Volt	4-Zyl., 4-Vent., Turbodiesel; Starter-Generator, 48 Volt	4-Zylinder, 4-Ventiler, Turbo + E-Maschine
<b>Hubraum</b>	1999 cm³	1993 cm³	1999 cm³
<b>Gesamtleistung</b>	-	-	230 kW/313 PS
<b>Leistung Verbrenner/E-Motor</b>	190 (+15) kW/258 (+20) PS, 5800 /min	195 (+15) kW/265 (+20) PS, 4200 /min	150 kW/204 PS 95 kW/204 PS
<b>Max. Gesamtdrehmoment</b>	400 Nm, 2000 - 3200 /min	550 Nm, 1800 - 2200 /min	320 Nm, 2000 - 4000 /min
<b>Batterie</b>	-	-	Lithium-Ionen
<b>Spannung/Kapazität (brutto)</b>	-	-	354 V / 25,4 kWh
<b>Getriebe/Antrieb</b>	9-Stufen-Automatik / Allrad	9-Stufen-Automatik / Hinterrad	9-Stufen-Automatik / Hinterrad

Messwerte			
Leergewicht (Werk/Test)	1715/1810 kg	1760/1862 kg	2045/2106 kg
Beschleunigung 0- 100 km/h (Test)	6,1 s	5,9 s	5,9 s
Höchstgeschwindigkeit (Werk)	250 km/h	250 km/h	240 km/h (140 km/h rein elektr.)
Bremsweg aus 100 km/h kalt/warm (Test)	33,6/33,2 m	33,7/33,7 m	33,5/34,5 m
Verbrauch auf 100 km (Test/WLTP)	8,6/7,3 l	6,3/5,1 l	5,1 l S + 13,6 kWh / 0,5 l S + 18,3 kWh
CO2-Ausstoß (Test/WLTP)	205/165 g/km	167/135 g/km	171/12 g/km
Reichweite	685 km	794 km	625 km (bei leerem Akku) 109 km (elektr. lt. WLTP)

## Mercedes-Benz C-Class / Task for the afternoon

- How would you rate the EQC400 in comparison to the C-Class models of the 300 series (cost per km)
- How would you rate the 4 models in
  - US
  - China

# Energy wells mapped on drivetrain requirements

Kraftstoff	Benzin	Diesel	Erdgas	Alkohole		Wasserstoff			Batterie	
				Methanol	Ethanol	gasf.	flüssig	Hydrid	Pb	Li-Ionen
Energiedichte [MJ/kg] des Kraftstoffs [MJ/l]	43	42,5	ca. 48	20	27	120	120	120		
	32,3	35,3	24,9	15,6	21,2					
Energiedichte [MJ/kg] incl. Speicher [MJ/l]	37	36	14*)	17	23	4,0	24	1,5	0,15	≈1,5
	28	30	17	13	18	1,9	3,5	2,9	0,25	≈0,6
Gesamtwirkungsgrad $\eta$	0,2	0,3	0,25	0,12	0,22	0,5*)	0,5*)	0,5*)	0,7	0,7
Arbeit am Rad [MJ/kg]	7,4	10,8	3,5*)	3,7	5,1	2,0*)	12*)	0,8*)	0,1	0,42
	5,6	9,0	4,3	2,9	4,0	1,0*)	1,8*)	1,5*)	0,17	1,05
bezogene Speichermasse	1	0,7	2,1*)	2,0	1,5	3,7*)	0,6*)	9,3*)	74	17,6
bezogenes Speicher-volumen	1	0,6	1,3	1,9	1,4	5,6*)	3,1*)	3,7*)	32,9	5,33

\*) bei Verwendung eines GFK-Tanks, mit Stahltank nur ca. 50 % der angegebenen Werte

\*) bei Brennstoffzellen, mit Verbrennungsmotor nur ca. 40 % der angegebenen Werte

## Exkurs: Speicherung von Wasserstoff

Die Energiedichte ist beim gasförmigen Wasserstoff, bezogen auf das Volumen, sehr gering. Die hier angegebenen Werte beziehen sich auf die Speicherung in Drucktanks mit 300 bar. Angestrebt werden in Zukunft Drücke bis ca. 750 bar, um die Energiedichte zu erhöhen. Aus Gewichtsgründen bestehen die Drucktanks aus einem gasdichten metallischen Innenbehälter, der mit hochfesten Fasern umwickelt wird, um die mechanische Festigkeit sicherzustellen. Verflüssigter Wasserstoff bietet eine erheblich höhere Energiedichte. Da er bei Umgebungsdruck bereits bei  $-253^{\circ}\text{C}$  siedet, kann er nur in Tanks mit sehr wirkungsvoller Isolation gelagert werden. Verwendet werden hierzu doppelwandige Tanks mit so genannter Vakuum-Superisolierung. Hierbei werden Drücke bis ca. 4 bar zugelassen. Trotzdem verbleiben aber Abdampfverluste in der Größenordnung von 1 bis 2 % des Inhalts pro Tag.

Gasförmiger Wasserstoff wird von Metallpulver, das sich in Rohren befindet, absorbiert. Es entstehen so genannte Hydride. Dabei wird Wärme frei, d. h., beim Betanken wird Wärme abgegeben. Umgekehrt muss Wärme zugeführt werden, um den Wasserstoff zu entnehmen. Daher wird der Metallhydrid-Wasserstoffspeicher als Röhrenwärmetauscher ausgeführt. Der in Metall eingelagerte Wasserstoff wird von Wasser umgeben, das den Wärmeaustausch beim Befüllen und Entnehmen übernimmt. Der Metallhydrid-Speicher hat den Nachteil des sehr hohen Gewichts.

[Hak17]

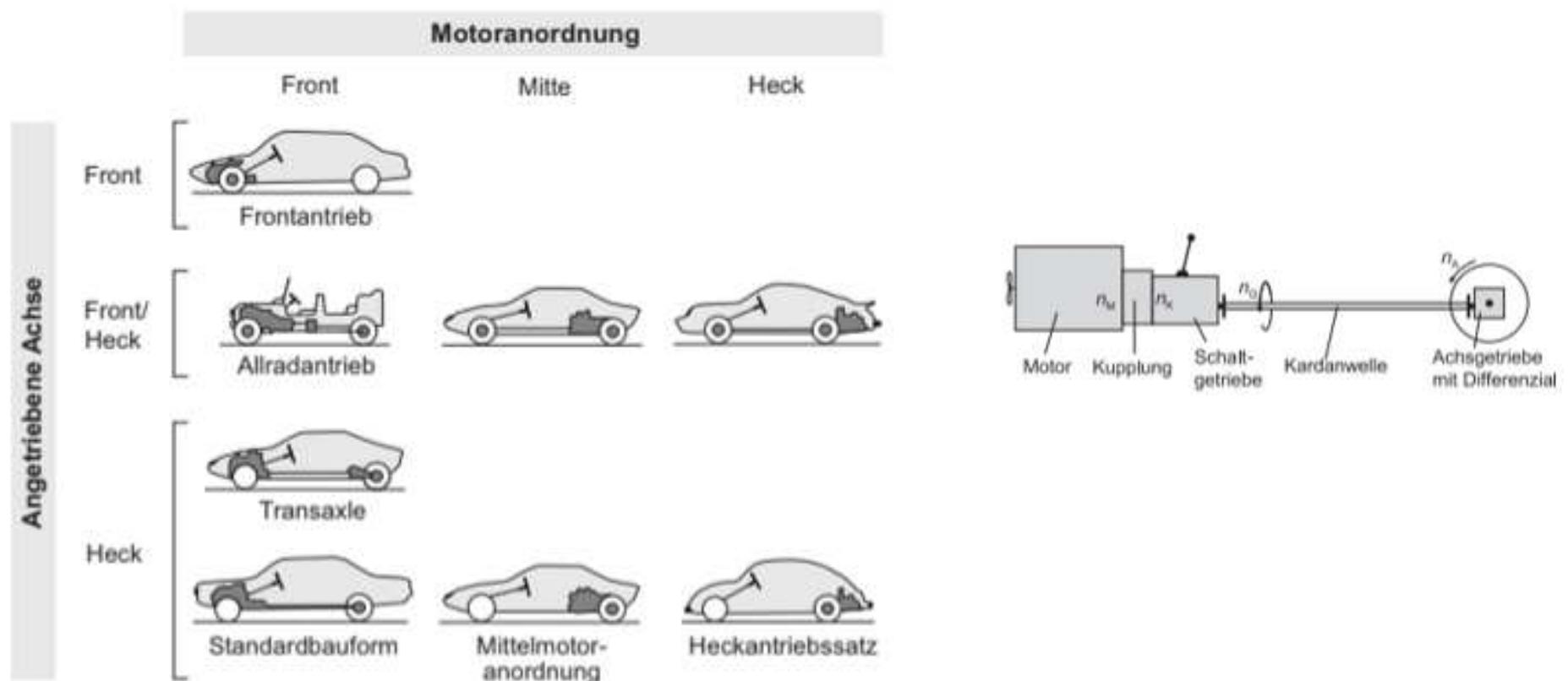
# Basics to automotive drivetrains

## Requirements to the drivetrain

- ausreichende Leistung (Leistungsgewicht heute bei Pkw üblich: < 25 kg/kW)
- Leistungsabgabe schnell variierbar (von Schubbetrieb bis Vollast)
- hohe Leistungsdichte des Antriebs (Leistung/Bauraum)
- geringes Leistungsgewicht des Antriebs (Gewicht Antriebsaggregat/Leistung)
- hohe Energiedichte des Energiespeichers,
- guter Wirkungsgrad
- geringe Schadstoffemission
- geringe Geräuschemission
- geringe Schwingungen
- zuverlässig
- hohe Lebensdauer
- günstig herstellbar
- recyclebar
- ungefährlich

[Hak17]

# Classic drivetrain architectures (based on combustion engines)



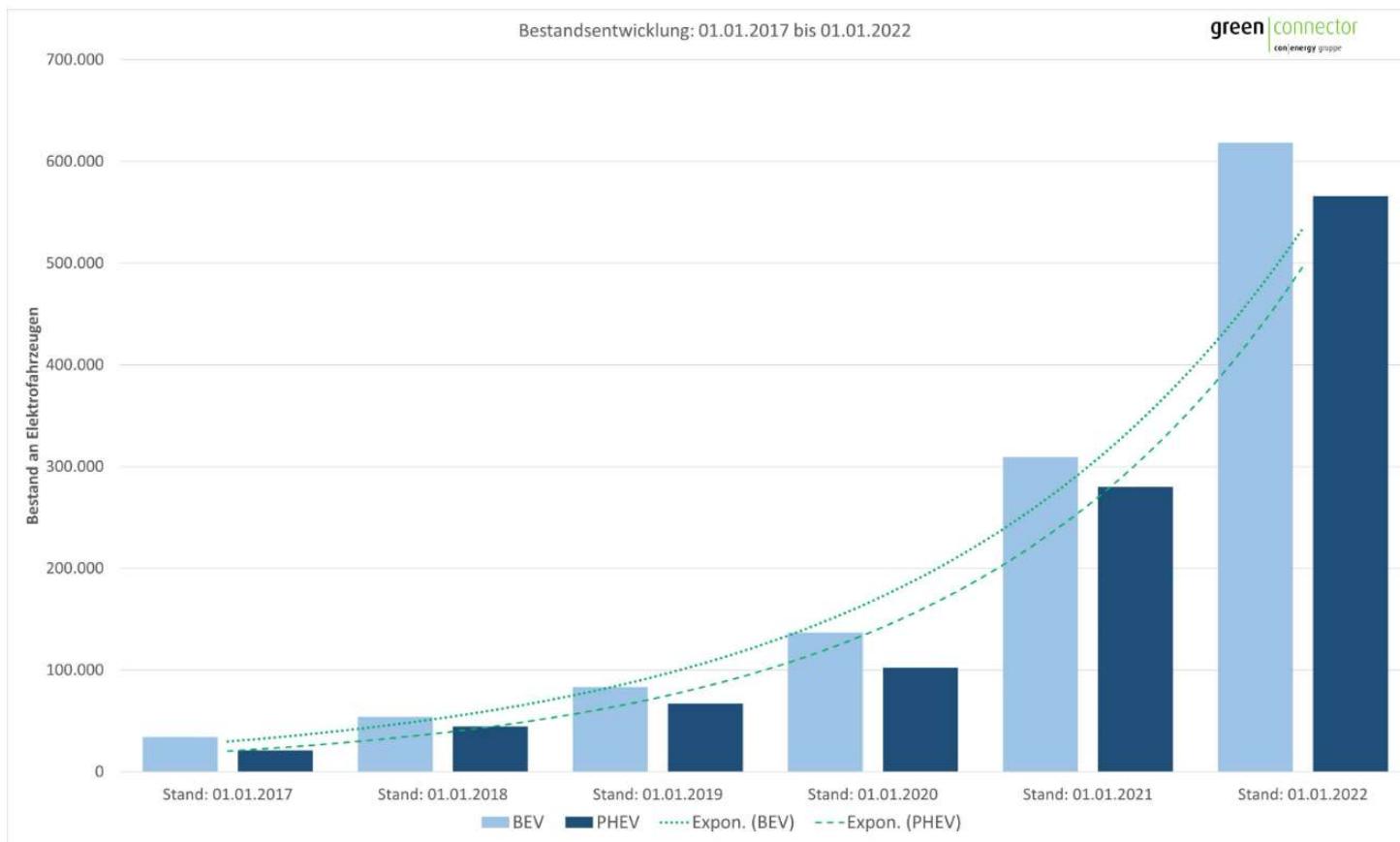
[Hak17]

# Combustion engines

... no longer a deepdive input planned...

We can have discussions on single topics if you have some questions.

## BEV in Germany...



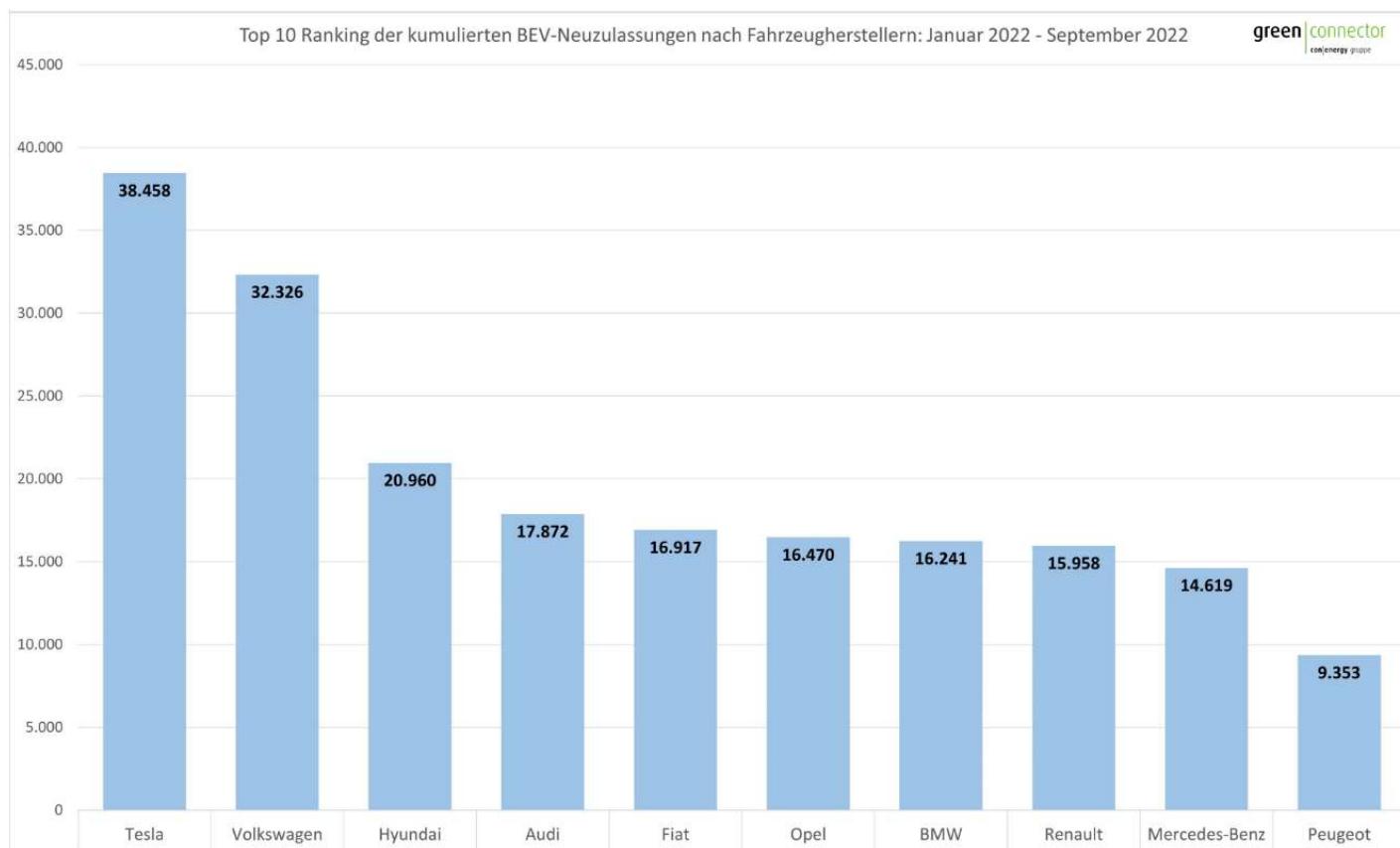
Quelle: Stadtwerke Lübeck

## BEV – Vehicles (TOP scorer 2022 in Germany)



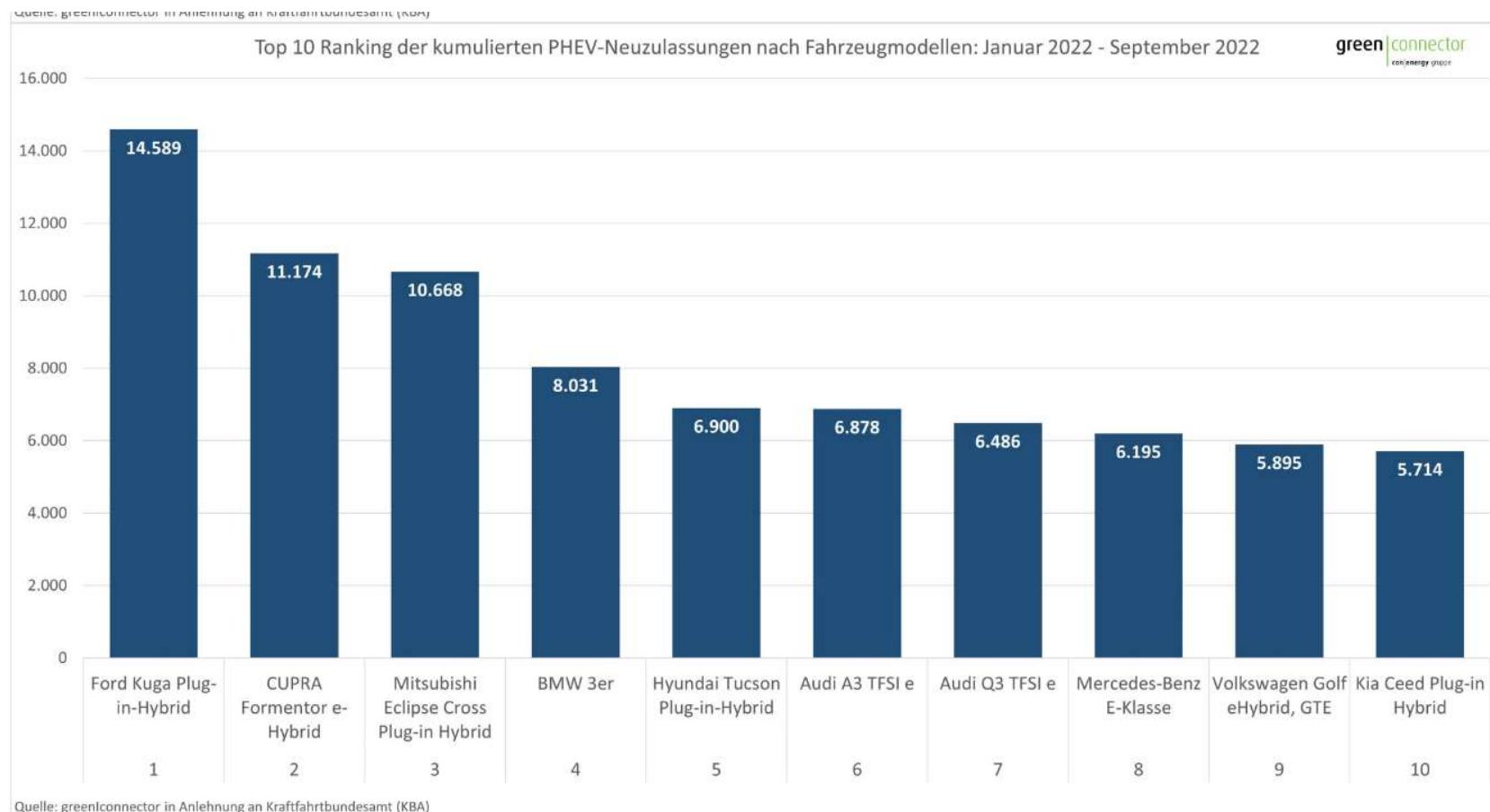
Quelle: Stadtwerke Lübeck

## BEV – Vehicles (TOP scorer 2022 in Germany)



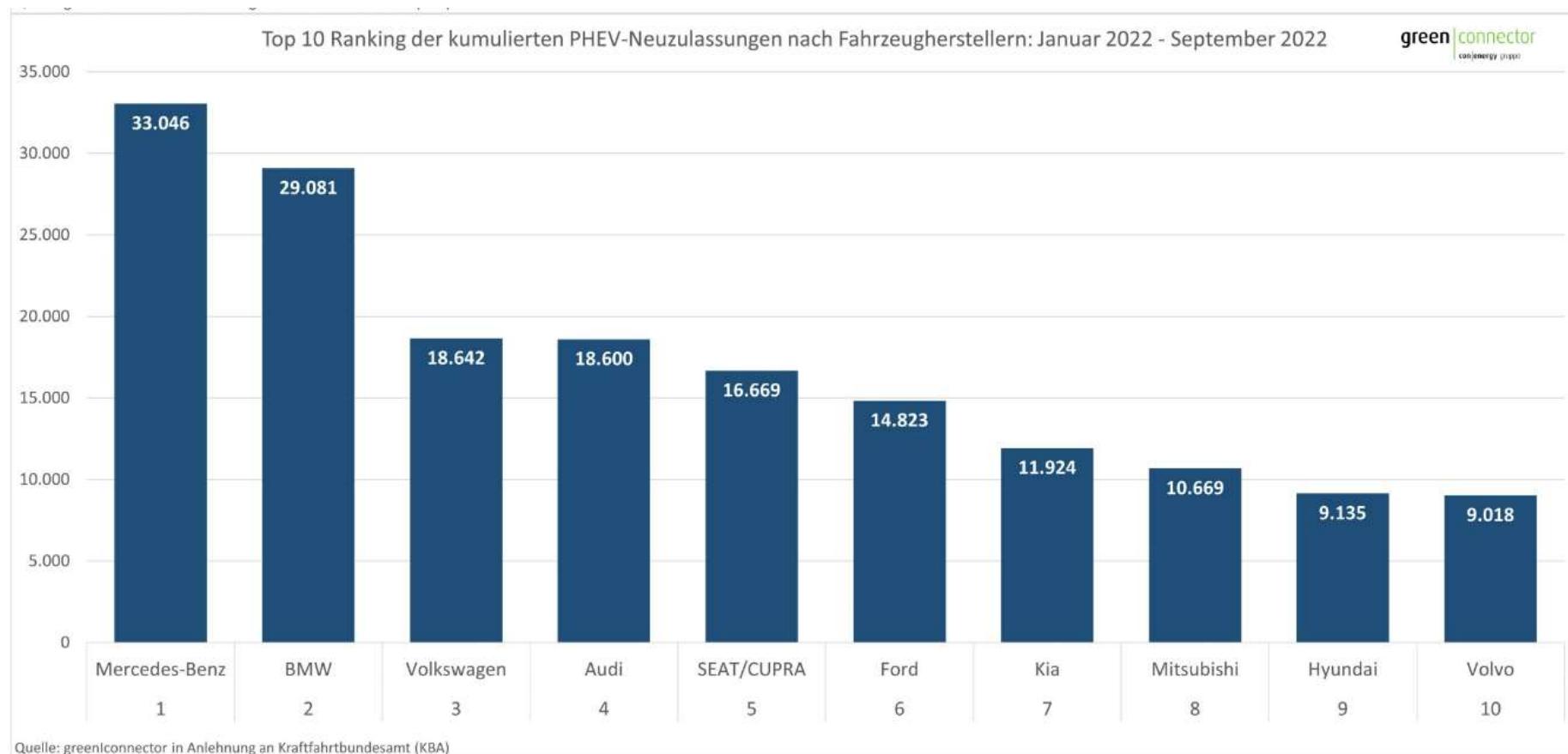
Quelle: Stadtwerke Lübeck

# PHEV TOP Scorer in Germany



Quelle: Stadtwerke Lübeck

## PHEV TOP Scorer in Germany



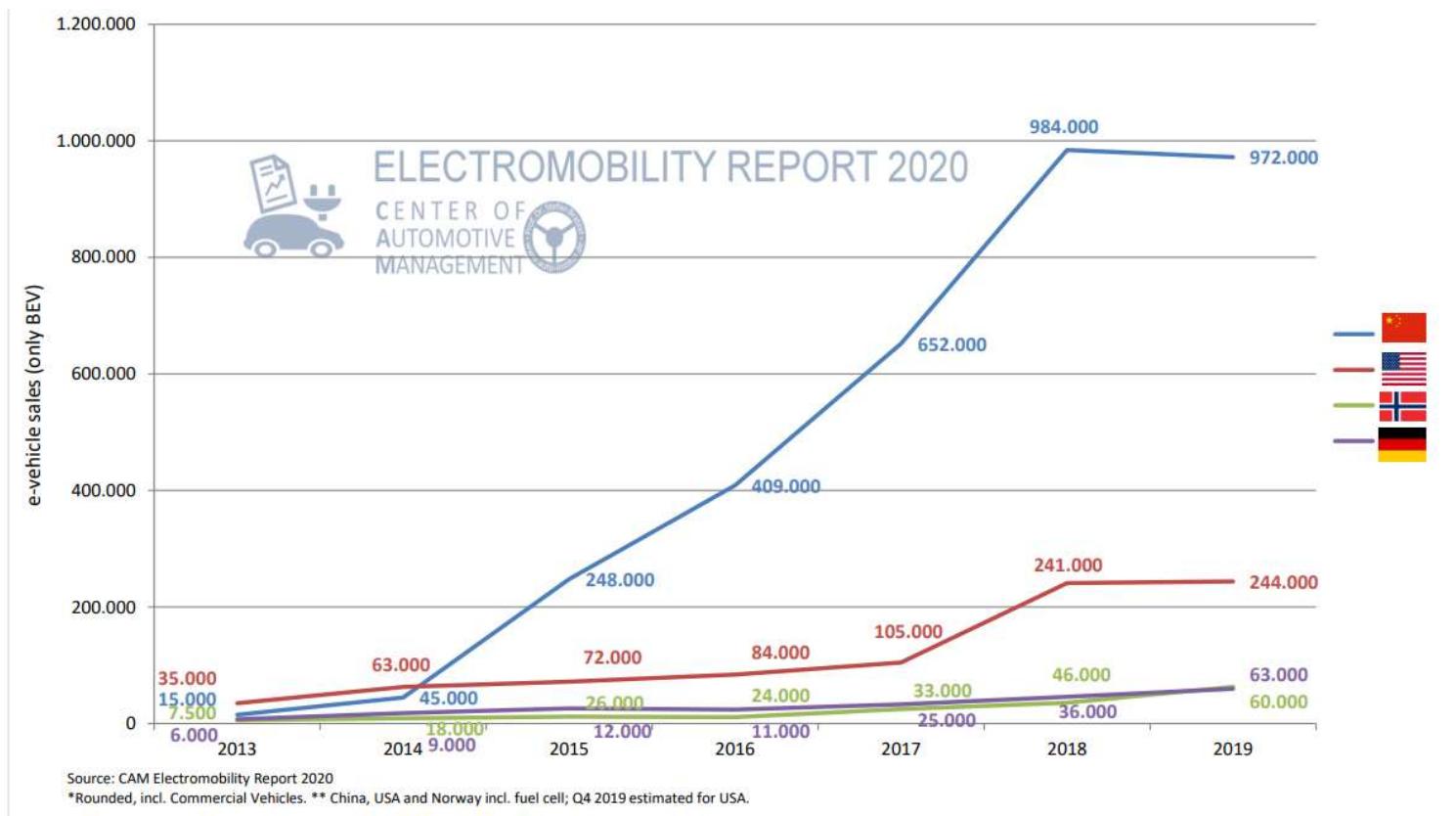
Quelle: Stadtwerke Lübeck

## You need more detailed information for Germany

... please find more information for the german market:

[Kraftfahrt-Bundesamt - Monatliche Neuzulassungen \(kba.de\)](http://Kraftfahrt-Bundesamt - Monatliche Neuzulassungen (kba.de))

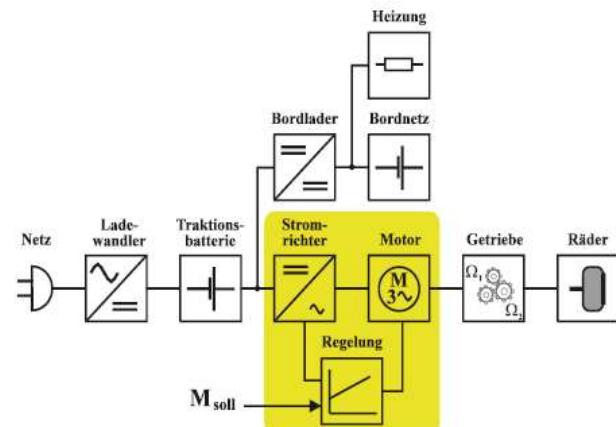
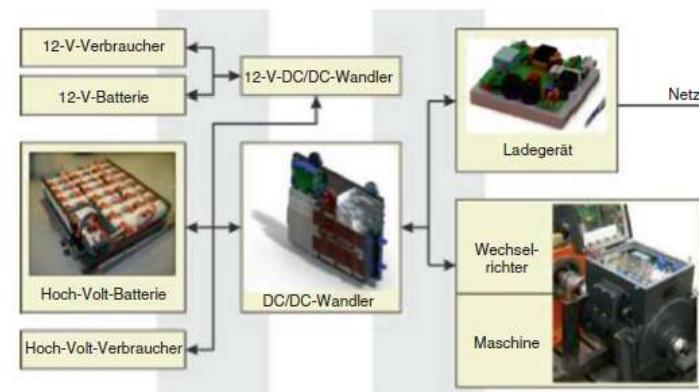
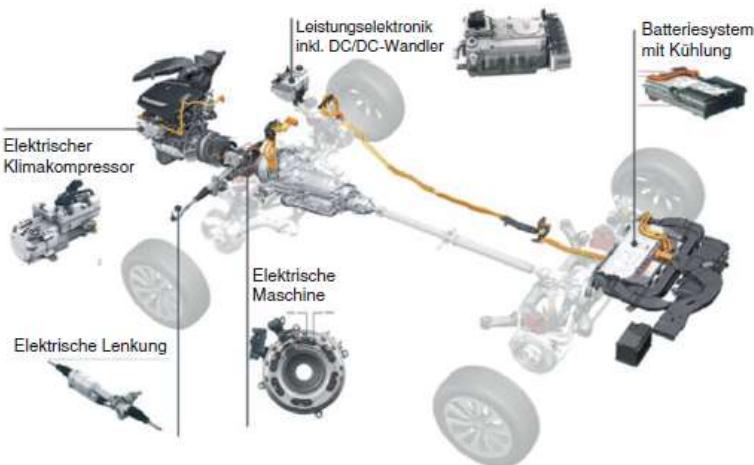
## BEV sales in key markets



Quelle. [www.auto-institut.de](http://www.auto-institut.de)

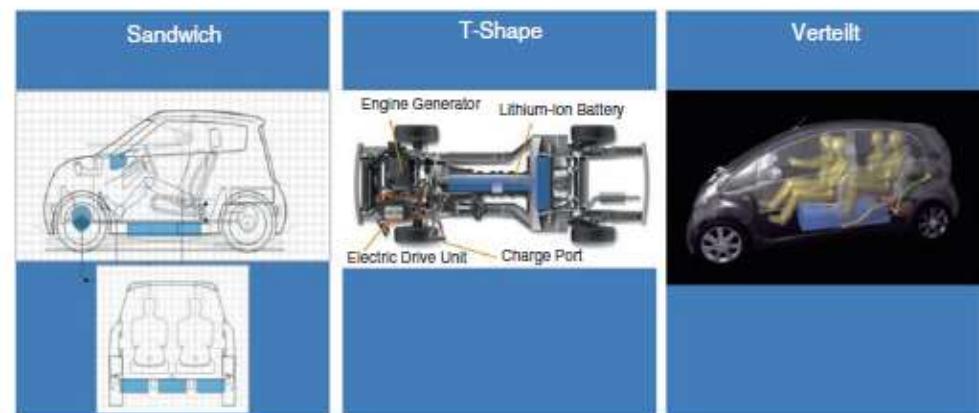
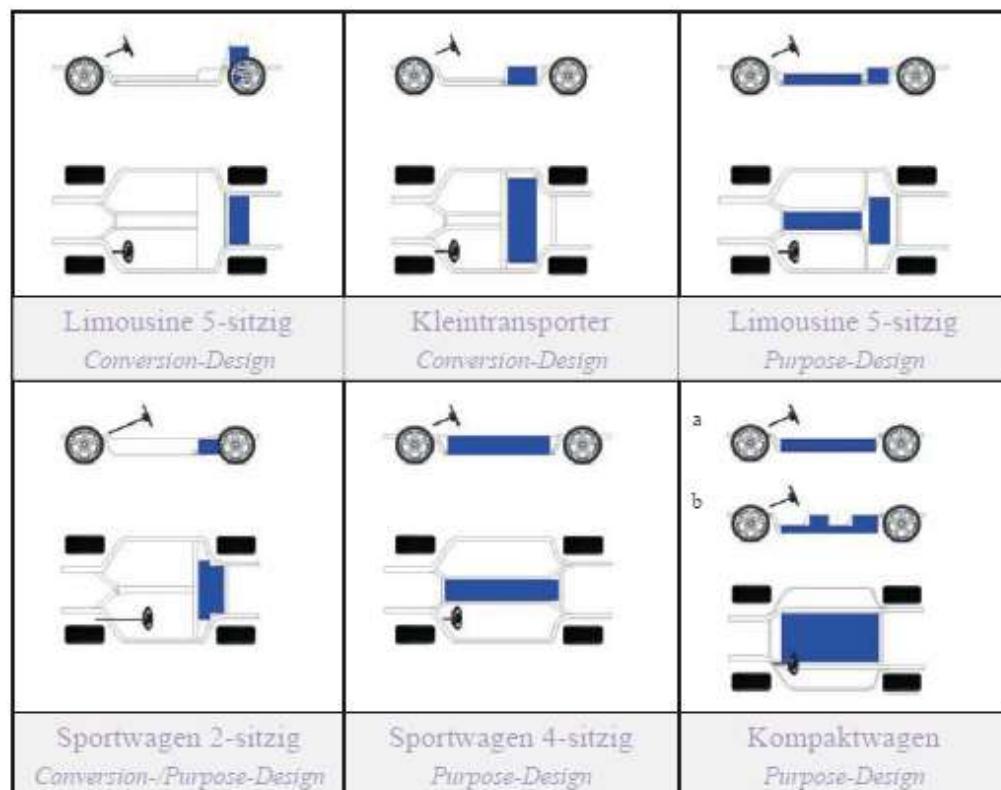
# Components of an electric vehicle

Obsolete Komponenten	Stark veränderte Komponenten	Hinzukommende Komponenten
<ul style="list-style-type: none"> <li>Verbrennungsmotor (Motorblock, Kolben, Dichtungen, Ventile, Nockenwelle, Ölwanne, Ölfilter, Lager)</li> <li>Tanksystem</li> <li>Einspritzanlage</li> <li>Kupplung</li> <li>Abgasanlage</li> <li>Nebenaggregate (Ölpumpe, Turbolader, Lichtmaschine)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Getriebe</li> <li>Radaufhängung</li> <li>Kraftübertragung</li> <li>Klimaanlage, Heizung</li> <li>Kühlwasserpumpe</li> <li>Wärmedämmung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektromotor (und weitere Antriebselemente)</li> <li>Leistungselektronik</li> <li>Batteriesystem (Akku, Batteriemanagement, Kühlung/ Temperierung)</li> <li>Ladegerät</li> <li>DC/DC-Wandler</li> </ul>



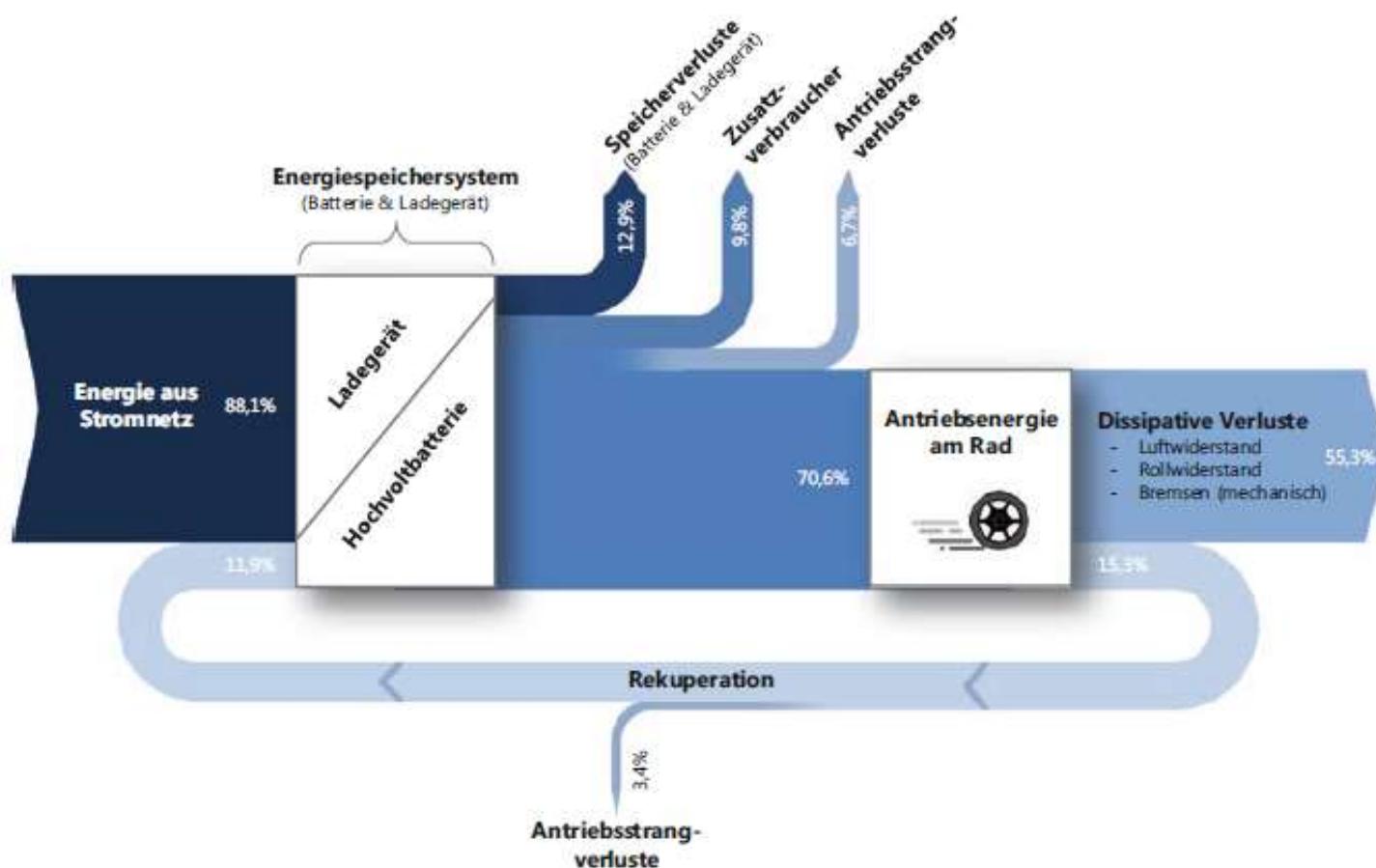
[KVS18]

# Packaging architectures in BEV vehicles



[KVS18]

# Energy flow in electric vehicles



[ZPB+20]

Current favorite BEV design: „Skateboard“

Example: Mercedes-Benz EQS



# Fuel Cell vehicles

## Examples: Mercedes F-Cell

- Elektromotor
- Li-Ionen-Akku
- Wasserstoff- $(H_2)$ -Speicher
- Brennstoffzelle

Das Fahrzeug wird mit **Wasserstoff** betankt und der Wasserstoff mit Hilfe der Brennstoffzelle in elektrische Energie umgewandelt, die den Elektromotor des Fahrzeugantriebs speist.

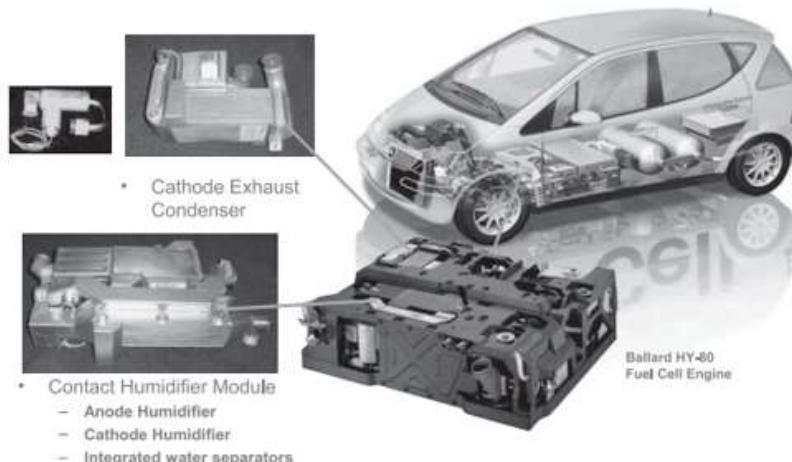
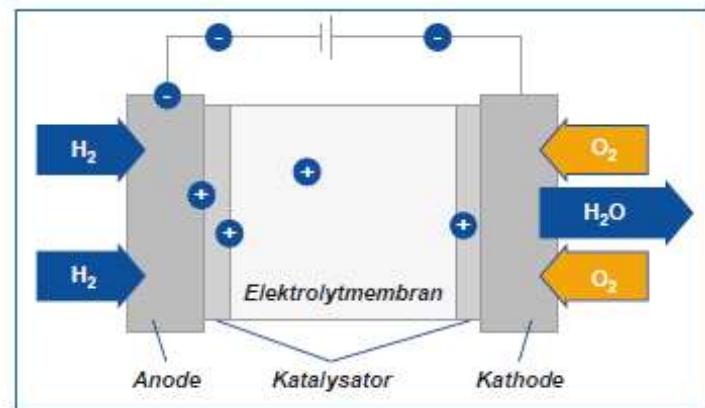


Bild 3.5: Fahrzeugantrieb mit Brennstoffzelle und Elektromotor [Ballard]

- Wasserstoff ist dann klimaneutral wenn mit regenerativen Energien Elektrolyse prozessiert wird (Trennung Sauerstoff und Wasserstoff)  
=> Well To Tank
- Nach Prozess in der Brennstoffzelle bleibt Wasser zurück  
=> Tank to Wheel
- Anwendung bei großen Fahrzeugen (z.B. LKW) mit konstanten Fahrprofilen  
(alternativ sind große Zwischenspeicher notwendig)
- Geringe Energiedichte von Wasserstoff bezogen auf das Volumen führt zu Herausforderungen bei der Speicherung (Drucktanks bis zu 750 bar notwendig)
- Aktuell wenig Infrastruktur (ca. 80 Tankstellen in Deutschland)

[Hak17], [Kar20]

## Functions principle of electrolysis



[CPT19], [KVS18]

# Battery technology

## Example: Tesla battery

- In general automotive industry uses cylindrical & prismatic cells; differences in diameter & height
- Tesla uses also prismatic cells
- Most batteries consist of Li-Ion cells with differences in the cathode materials:
  - Nickel-Cobalt-Aluminium (NCA)
  - Nickel-Cobalt-Mangan (NCM)
  - Lithium-Eisenphosphat (LFP)

### Big battery suppliers:

- Panasonic
- LG
- CATL
- Tesla (!)



Tesla battery with cylindrical cells (46mm diameter; 60mm height)

<https://insideevs.de>

# Most important part of BEV vehicles is currently the battery

## Why?

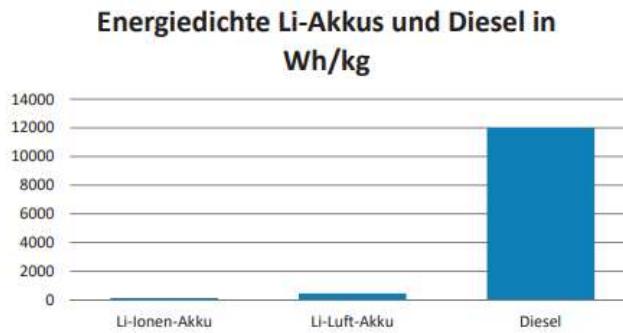
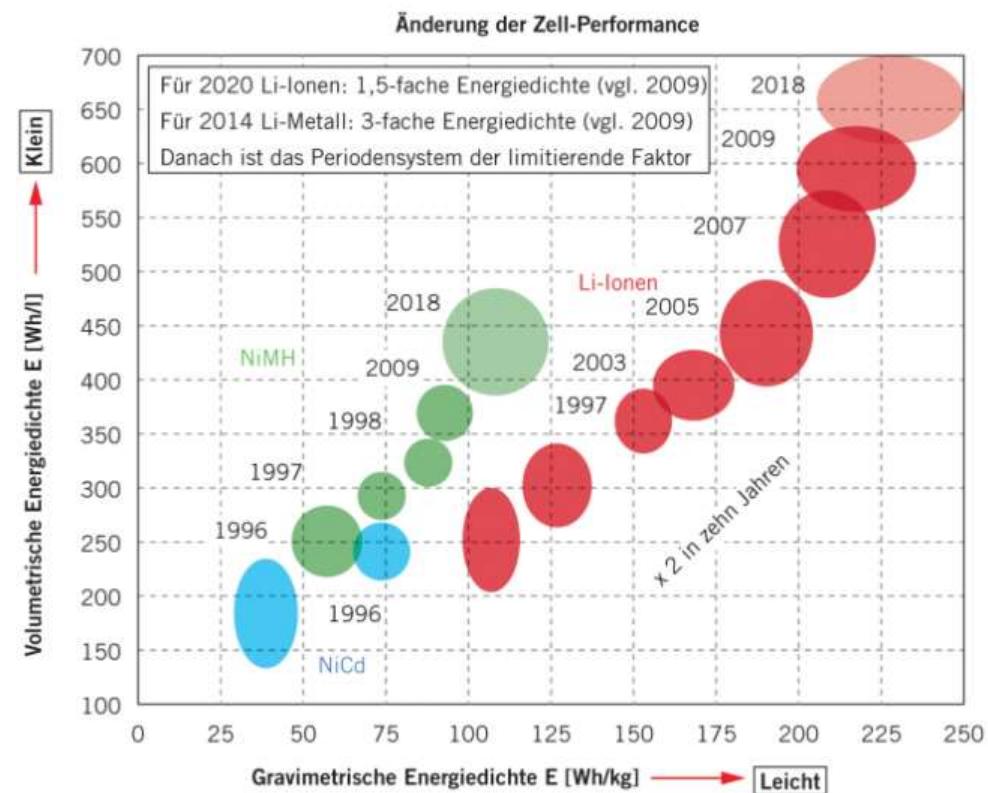


Bild 5.20 Anhaltswerte: Energiedichten Akkus in Wh/kg im Vergleich zu Dieselkraftstoff

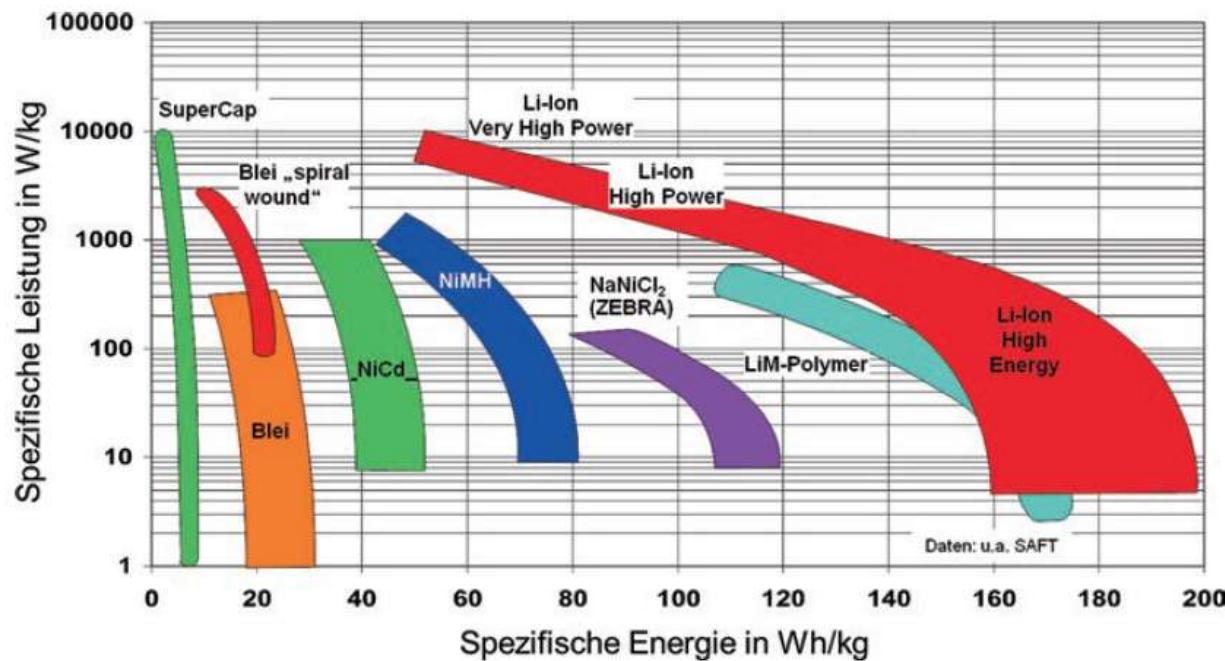
- **Cell: (Li-Ionen)**
  - **Kathodenmaterial:** Lithium Metall-Oxid; variable Anteile aus Nickel, Mangan, Kobalt
  - **Anodenmaterial:** Graphit oder amorpher Kohlenstoff

[Kar21] [Bir18]

**Anforderungen:** Effizienz, Zuverlässigkeit, Kosten, Lebensdauer, Größe, Leistungsabgabe („Leistungs- oder Reichweitenbatterien“)



# Electric capability of battery technologies

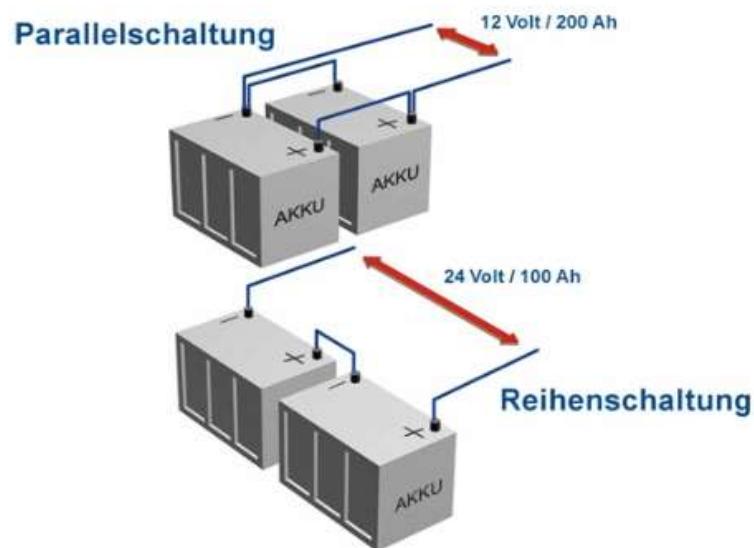


	Batteriekapazität BEV-Standardfahrzeug [kWh]	Batteriegewicht [kg]	Batteriekapazität PHEV-Standardfahrzeug (Kundenverbrauch) [kWh]	Batterie- gewicht [kg]
2016	29,5	219	7,71	57
2030	61,25	245	11,56	46

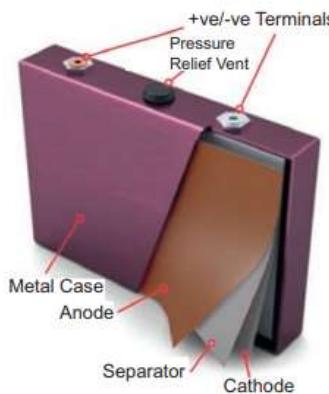
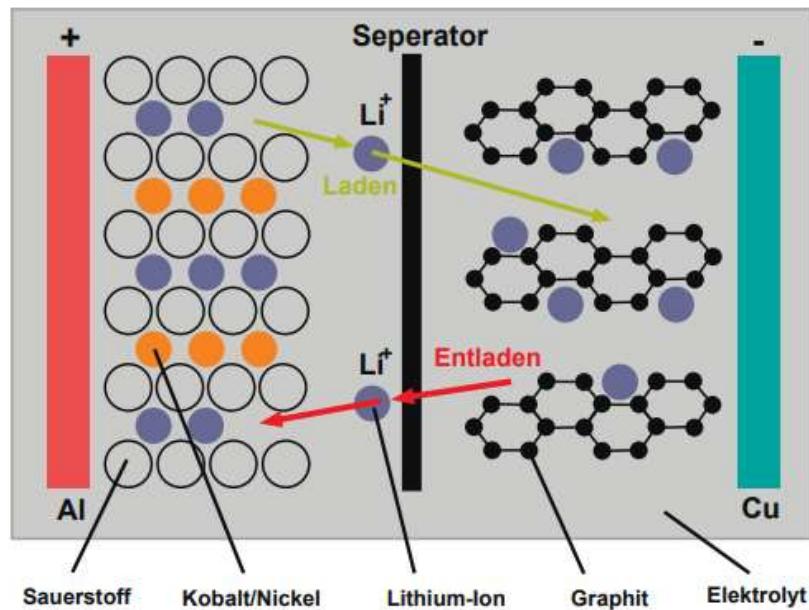
[KVS18], [ZPB+20]

# Electric Power - basics

$$P=U*I$$



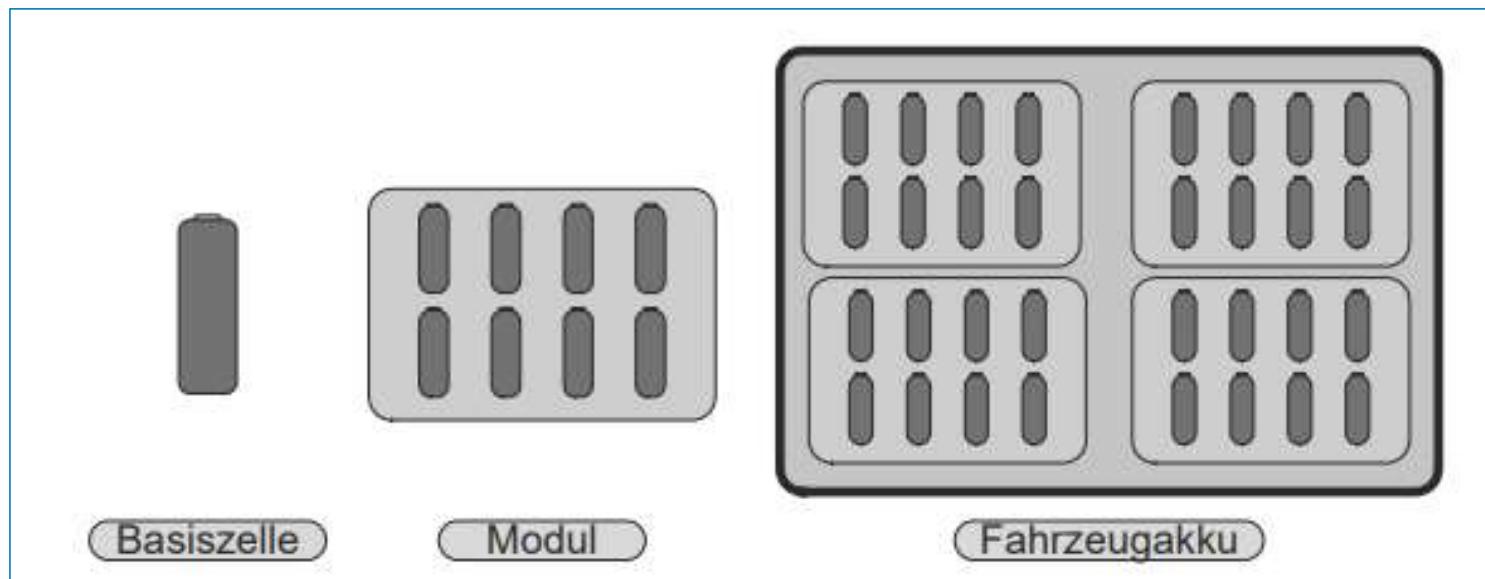
## Battery cells – chemical & physical structure



**Bild 5.18** Aufbau von Li-Ionen-Basiszellen. Links eine prismatische Zelle, rechts eine Rundzelle. Quelle: Johnson Matthey Battery Systems

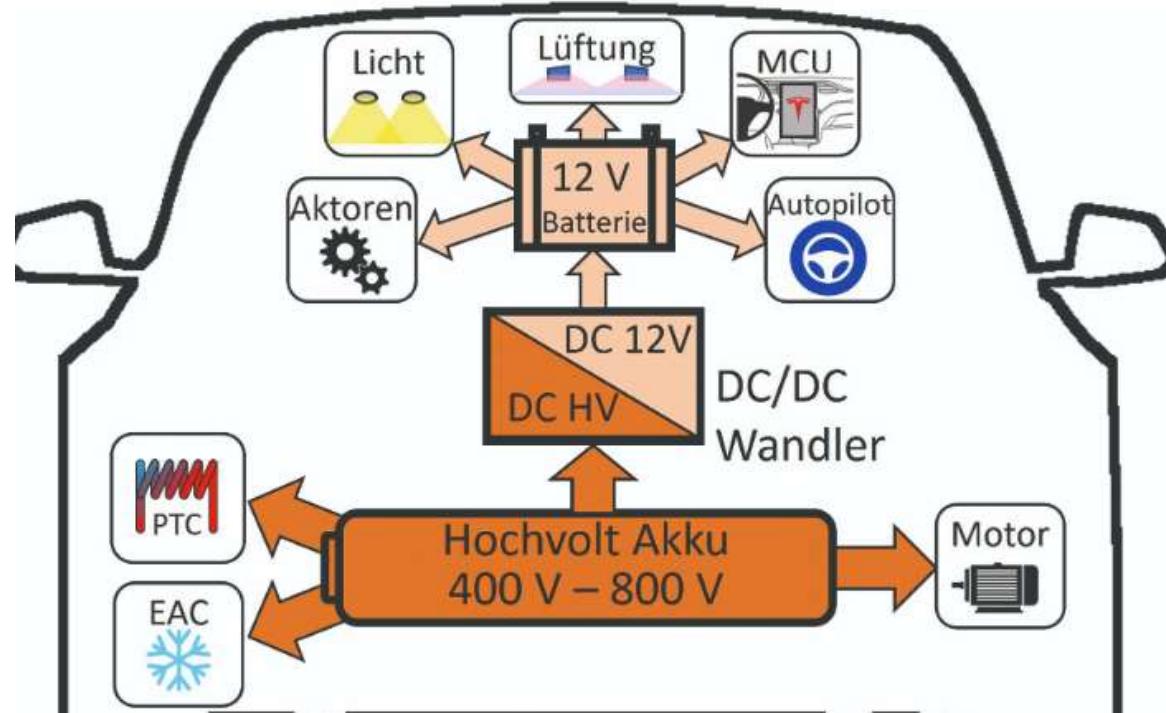
[Kar21]

## Building battery modules



[Kar21]

Electronic components in BEV cars need different voltage levels which means also more than one battery.



<https://temagazin.de/e-mobilitaet>

# Measuring the efficiency of a battery

## C-Koeffizient:

Lade- und Entladestrom werden auf die maximale Kapazität einer Batterie bezogen (Vergleichbarkeit unterschiedlich großer Batterien)

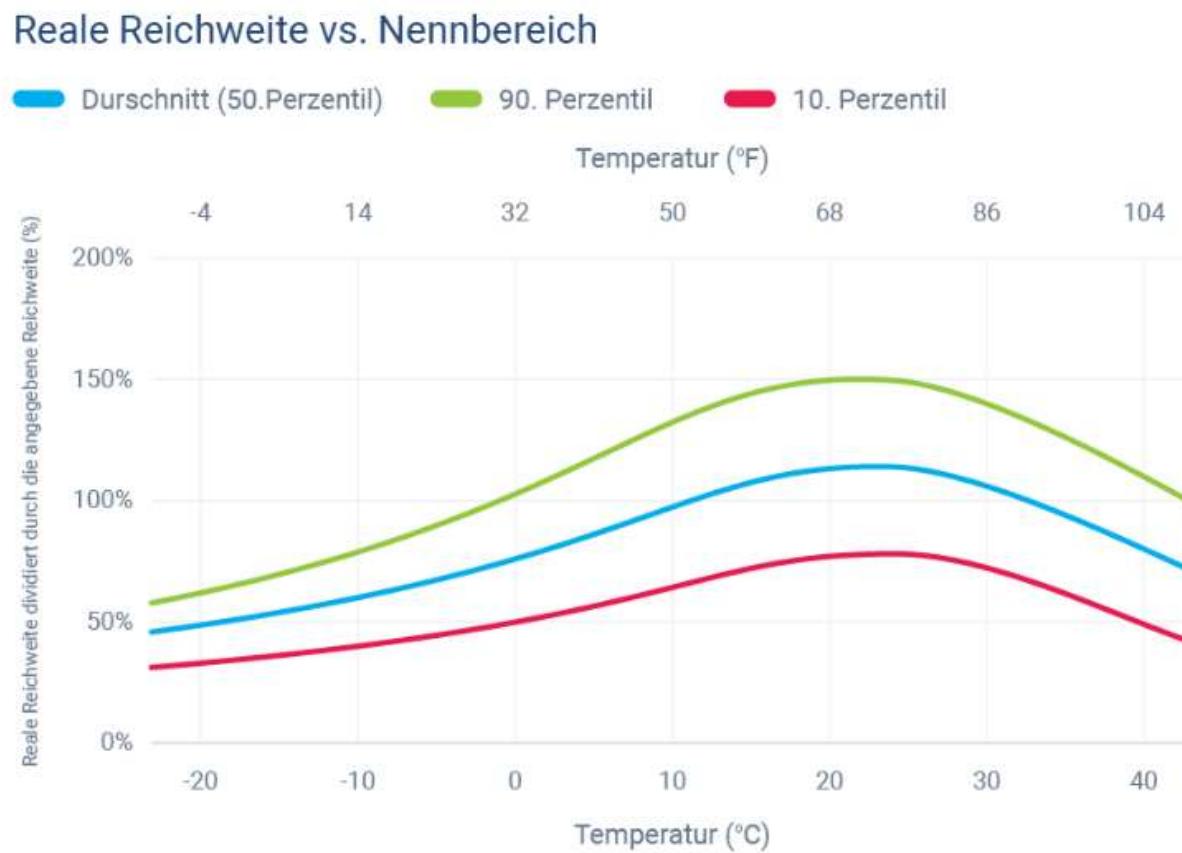
„1C“ bedeutet, eine Batterie wird in 1h komplett ge- oder entladen.

< 1C bedeutet es dauert länger als 1h

> 1C bedeutet es dauert weniger als 1h

$$c\text{-Rate} = \frac{I_{\text{Batterie}} / \text{A}}{Q_{\text{Batterie}} / \text{Ah}}$$

# Analysis of different BEV cars regarding real range over temperature



<https://www.geotab.com>

# Electric engines

[Kar20]

# Electromechanical energy converters

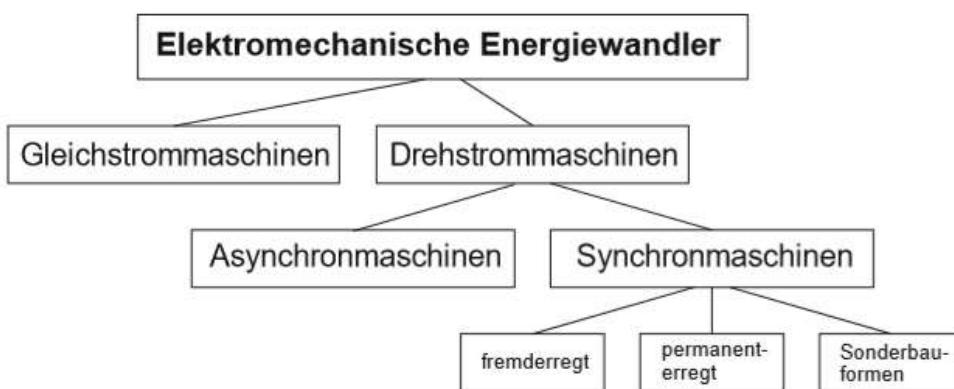
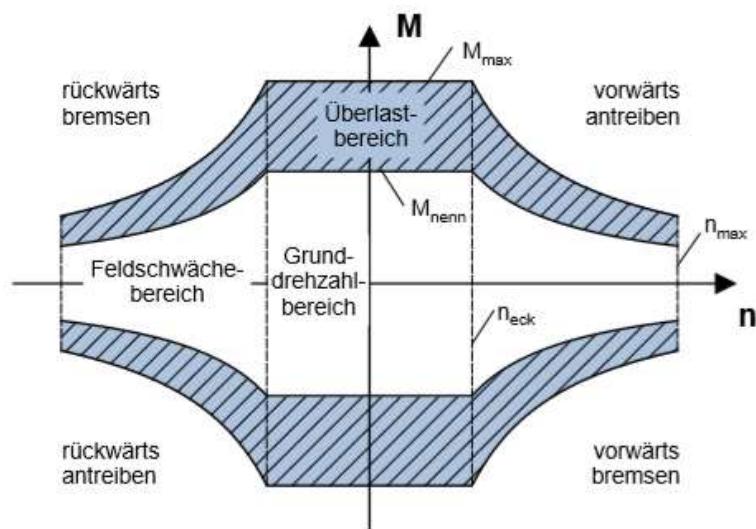


Abbildung 2-4: Klassifizierung elektromechanische Energiewandler /3/

- **Permanent erregte Synchron- und Asynchronmaschinen**  
am häufigsten verwendet
- **Permanent erregte Synchronmaschinen**  
Sehr hoher Wirkungsgrad (aber kostenintensiv aufgrund seltener Erden in Dauermagneten)
- **Asynchronmaschinen**  
fehlende Selbsterregung  
=> Geringes Schleppmoment im Schub (vor allem relevant für Hybridkonzepte mit auch VKM Betrieb und keiner Entkopplung; z.B. Parallelhybrid mit fester Verbindung mit Getriebeeingangswelle)

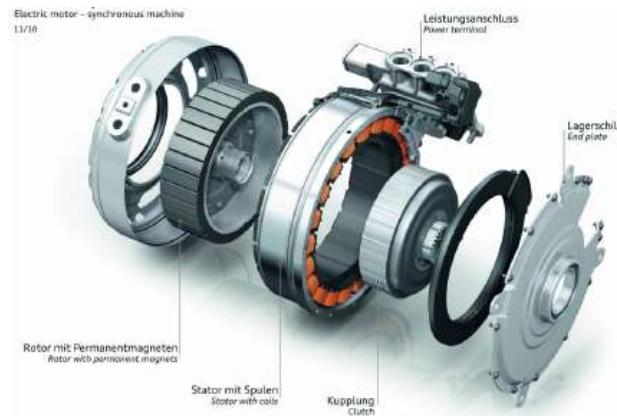
# Limitations in operating conditions for electric engines



## Generelle Betriebsgrenzen E-Maschinen:

- **Drehzahl:** mechanische Festigkeit Wellen / Naben
- **Drehmoment:** Temperatur Wicklung

## Beispiel: Synchronmaschine



[Bal15], [Kar20]

## Power of electric drivetrains

$$P_{\text{Fahrzeug}} = F_{\text{Antrieb}} \cdot v$$

$$F_{\text{Antrieb}} = \eta_{\text{Antrieb}} \cdot M_{\text{E-Motor}} \cdot \omega / v$$

$$F_{\text{Antrieb}} v = \eta_{\text{Antrieb}} \cdot M_{\text{E-Motor}} \cdot \omega$$

$$P_{\text{E-Motor}} = M_{\text{E-Motor}} \cdot \omega$$

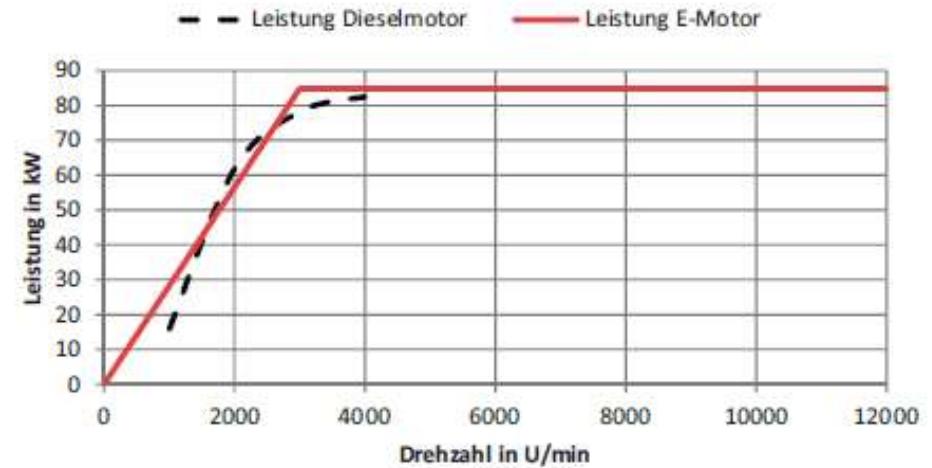
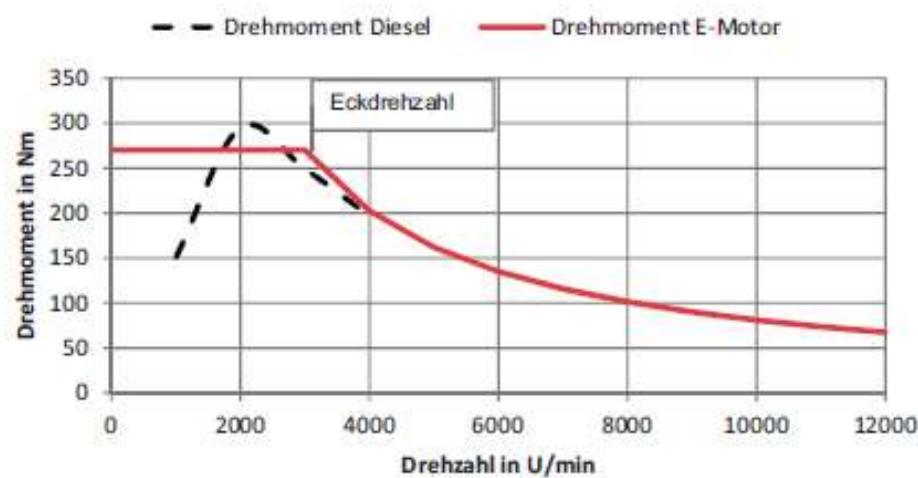
$$P_{\text{Fahrzeug}} = \eta_{\text{Antrieb}} \cdot P_{\text{E-Motor}}$$

Falls kein Getriebe eingesetzt wird, gilt bei Elektrofahrzeugen der folgende proportional Zusammenhang zwischen **Geschwindigkeit (v)** und **Drehzahl der E-Maschine (n)**:

$$\frac{v_{\text{Fahrzeug}}}{n_{\text{E-Motor}}} = \frac{v_{\text{max}}}{n_{\text{max}}}$$

[Kar20]

# Torque & power of electric drivetrains in comparison to combustion engines

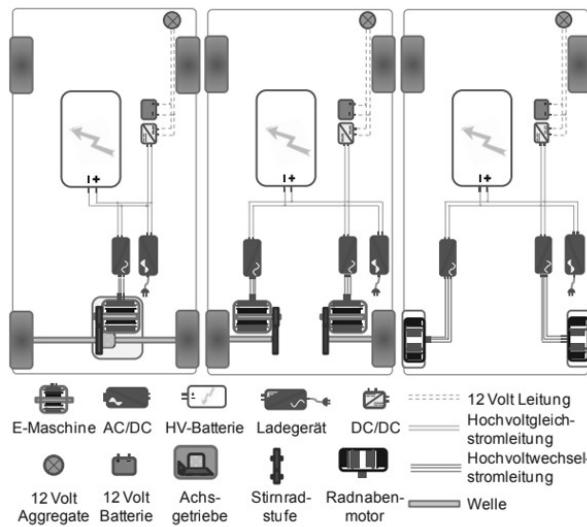


[Kar20]

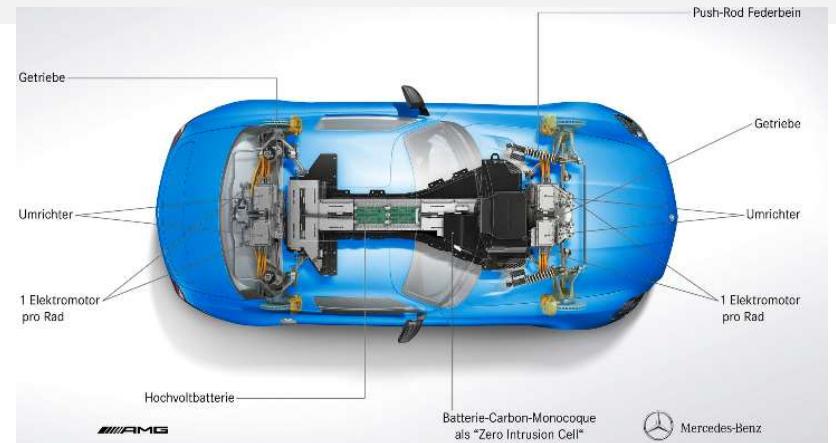
# Types of integration fo the electric engine



## Strukturen von Elektroantrieben



SLS AMG: 4x radnahe E-Maschinen (Summe: 552kW)

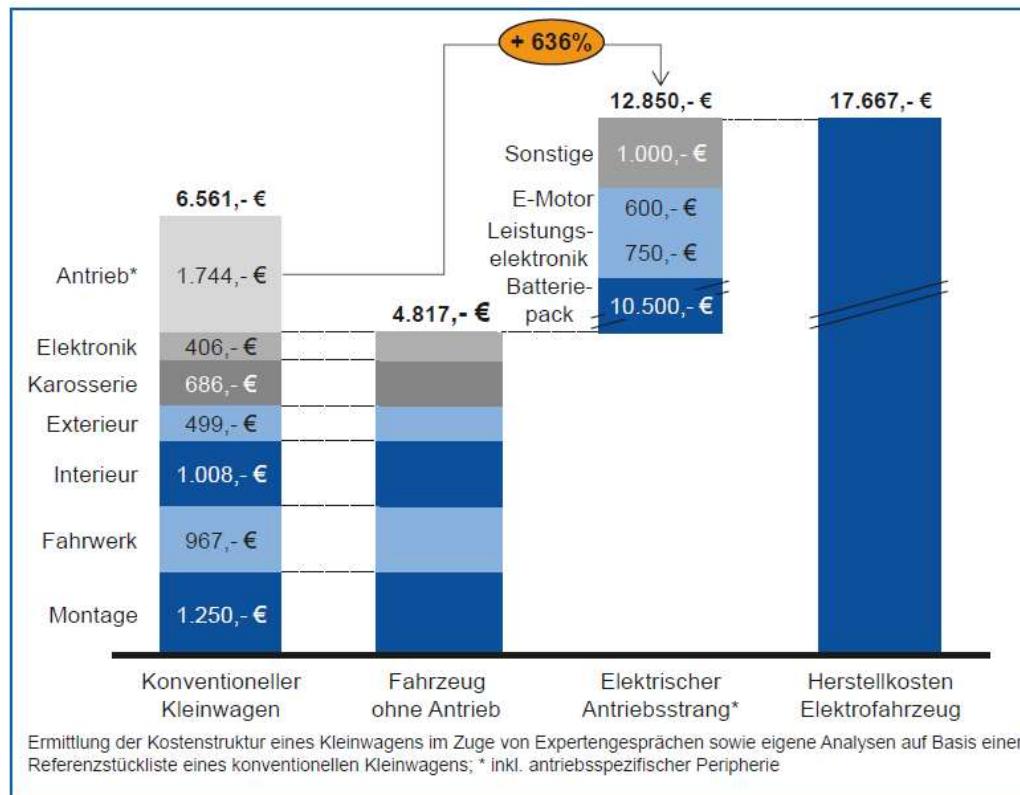


Tesla: 1 (Heck) oder 2 (Allrad) zentrale E-Maschinen



[Hak17], [KVS18], [Kar20], [www.daimler.com]

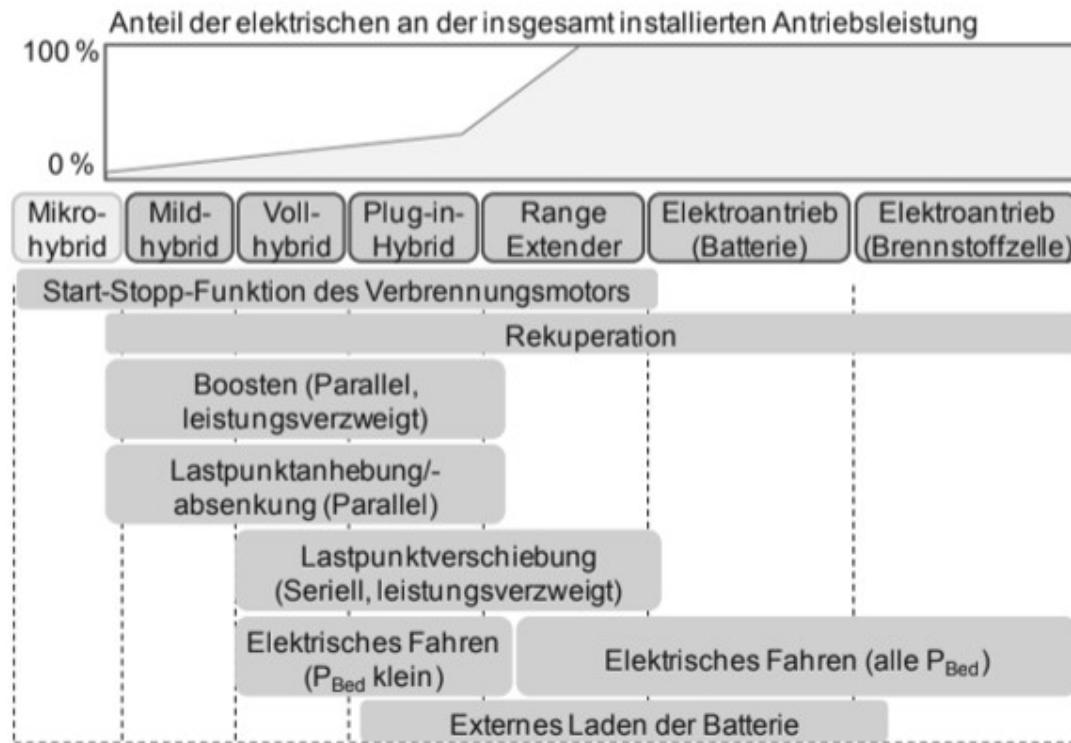
# Manufacturing costs of a BEV vehicle in comparison to a conventional combustion engine vehicle



[KVS18]

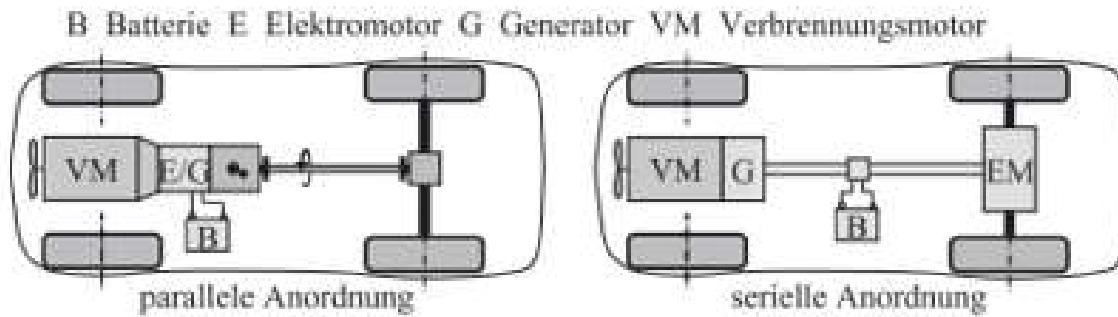
# Hybrid drivetrain architectures

# Features & functions of hybrid and BEV drivetrain systems



[Hak17]

# Parallel and serial architecture



## Parallel:

Beide Motoren können das Fzg antreiben  
(Anwendung in vielen hybriden  
Serienfahrzeugen)

- + Bereitstellung der einzelnen Leistung beider Antriebsquellen
- + Addition der Leistung möglich
- + Nutzung der E-Maschine in Schubphasen als Generator

- Meist komplexe Steuerungslogik des Antriebs

**Anwendung:**  
höhere Geschwindigkeiten

## Seriell:

VKM kann nur Strom erzeugen, nicht das Fzg antreiben (z.B. i3)

- + Betrieb des Verbrenners im optimalen Wirkungsgrad
- + Kein Getriebe / Kupplung
- Umwandlung mechanische Energie => elektrische Energie => mechanische Energie (Energieverluste)

**Anwendung:**  
Stadtverkehr  
Range Extender

**Mischform:**  
**Leistungsverzweigt**  
**V1)**

Energie des VKM tlw. an Antriebsräder und tlw. an Generator (z.B. Prius)

**V2)**  
Umschaltbarer Parallel- und Serienhybrid (z.B. Honda Accord)

[Hak17]

## Parallel Hybrid drivetrain – Example: Porsche Panamera S E-Hybrid



### Porsche Panamera S E-Hybrid

Gewicht: ca. 2100 kg (leer)  
V-Motor: 6 Zyl. Benziner,  
245 kW, 440 Nm, 2995 cm<sup>3</sup>  
E-Motor: Drehstrom,  
70 kW, 310 Nm  
Systemleistung: 315 kW  
Batterie: 9,4 kWh (Li-Ionen,  
Plug-In Hybrid)  
Getriebe: 8-Gang Autom.  
Besonderheit: Reiner E-Betrieb mit max. 70 kW bis 135 km/h möglich.  
Max. E-Reichweite: 36 km

Abb. 3-20: Parallelle Struktur des Porsche Panamera S E-Hybrid

[Hak17]

# Serial Hybrid drivetrain – Example: MB Citaro BlueTec Hybrid

Insbesondere die überwiegende Nutzung dieser Fahrzeuge im dynamischen Stadtverkehr, mit hohen Stillstandsanteilen sowie das hohe Potential der Rekuperation, bieten Vorteile für das serielle Konzept in diesem Fahrzeugsegment und erlauben beispielsweise einen phlegmatisierten Betrieb des Verbrennungsmotors ausschließlich in effizienten Betriebspunkten.



Abb. 3-17: Serielles Hybridfahrzeug - MB Citaro BlueTec® Hybrid

[Hak17]

## Teamwork

- From a components' perspective – which component is your most important? By terms of...
  - Customer
  - Legislative
  - Engineering effort
- Please describe your selected most important component more precise and in more detail with the tools and methods you learned.
- Which well to wheel values do you calculate for your prioritized market? How do you evaluate your position regarding your competitors?



[www.hs-kempten.de/adrive](http://www.hs-kempten.de/adrive)