

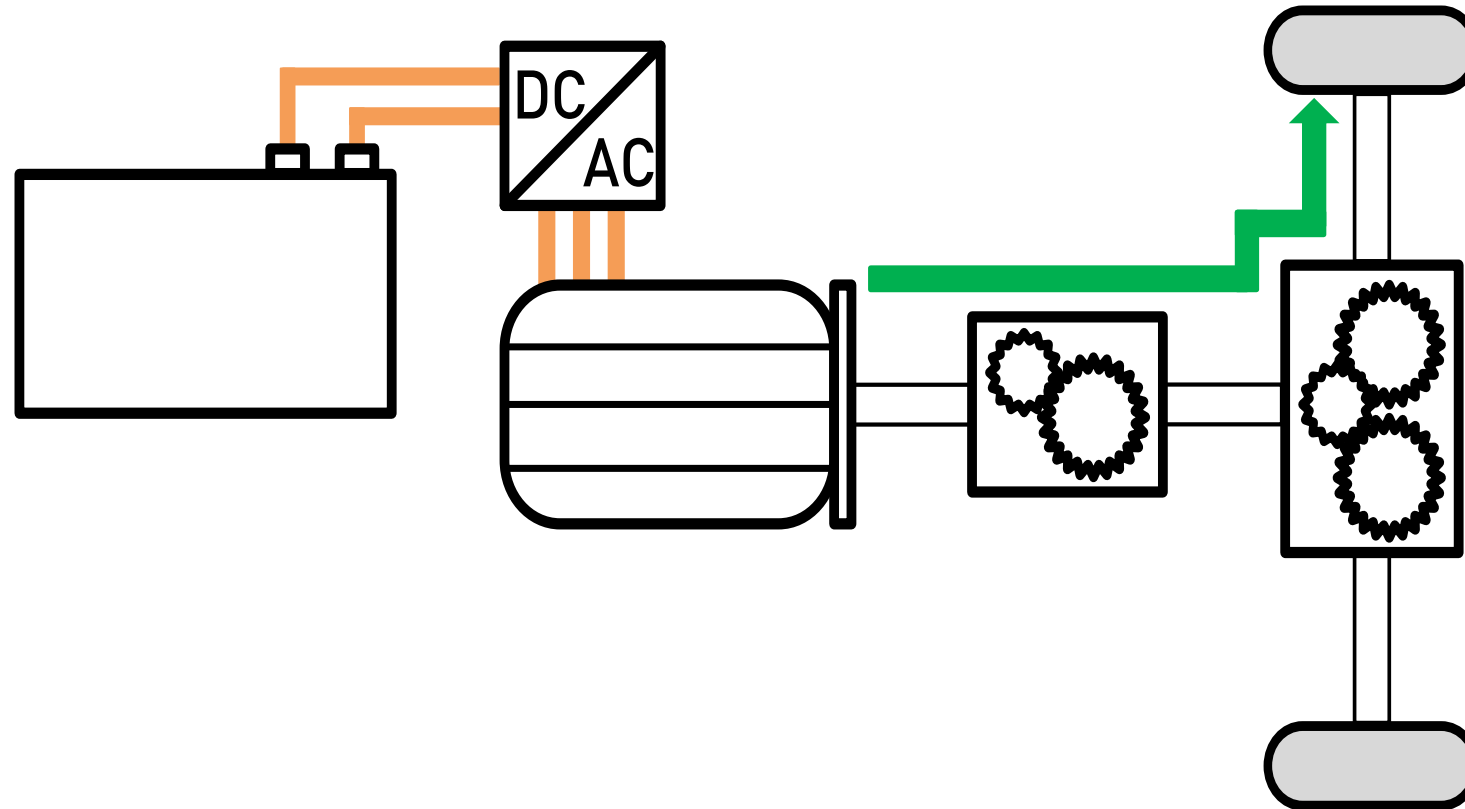


h_da

HOCHSCHULE DARMSTADT
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive Electrical Powertrain

Prof. Dr.-Ing. Jens Hoffmann



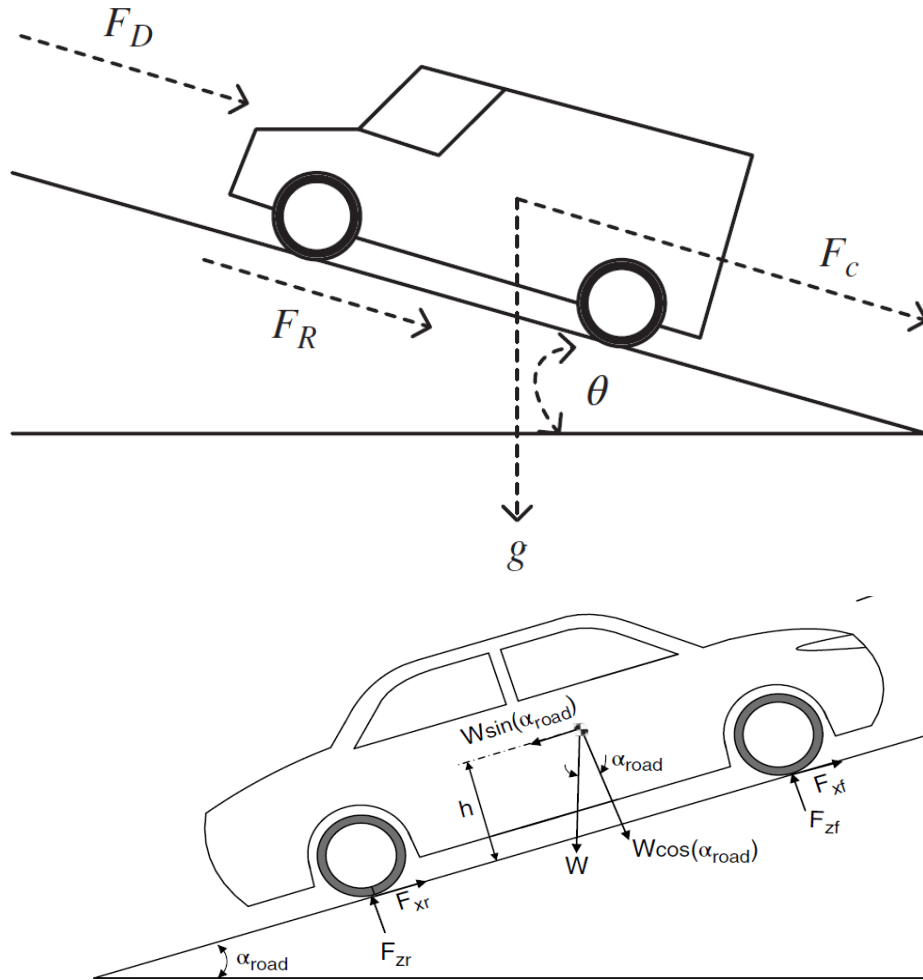
Berechnung des Fahrwiderstands

$$F_W = c_w * A_{proj} * \frac{\rho}{2} * (v_{Fzg} + v_{Wind})^2 + m * (1 + \lambda) * a + m * g * \sin(\alpha) + f_R * m * g$$

Berechnung der Antriebskraft

$$F_A = \frac{M_{Antrieb}}{r_{dyn}} = \frac{M_{Motor} * i * \eta}{r_{dyn}}$$

The Main Vehicle Load Forces



The Main Load Forces :

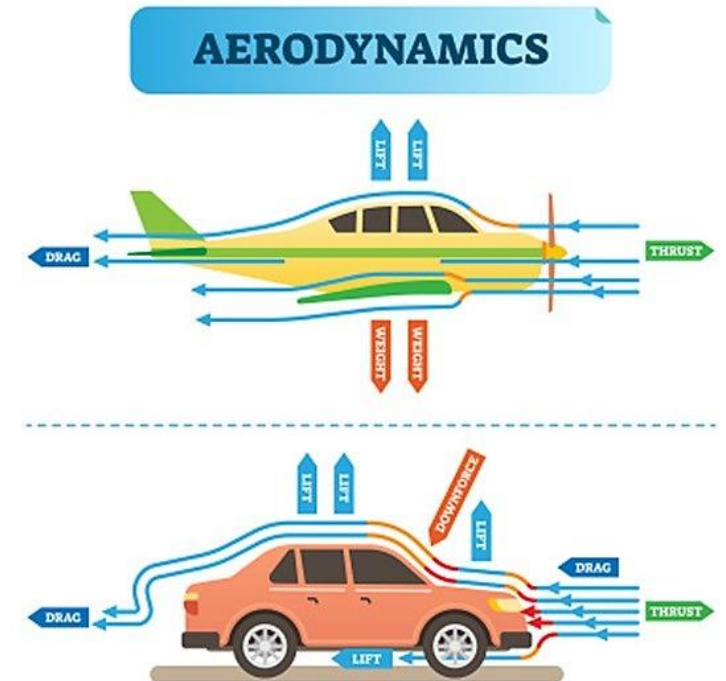
- F_D = Aerodynamic Drag
- F_R = Rolling Resistance
- F_C = Climbing Resistance

Vehicle Load Forces – Aerodynamic Drag

- Air Resistance

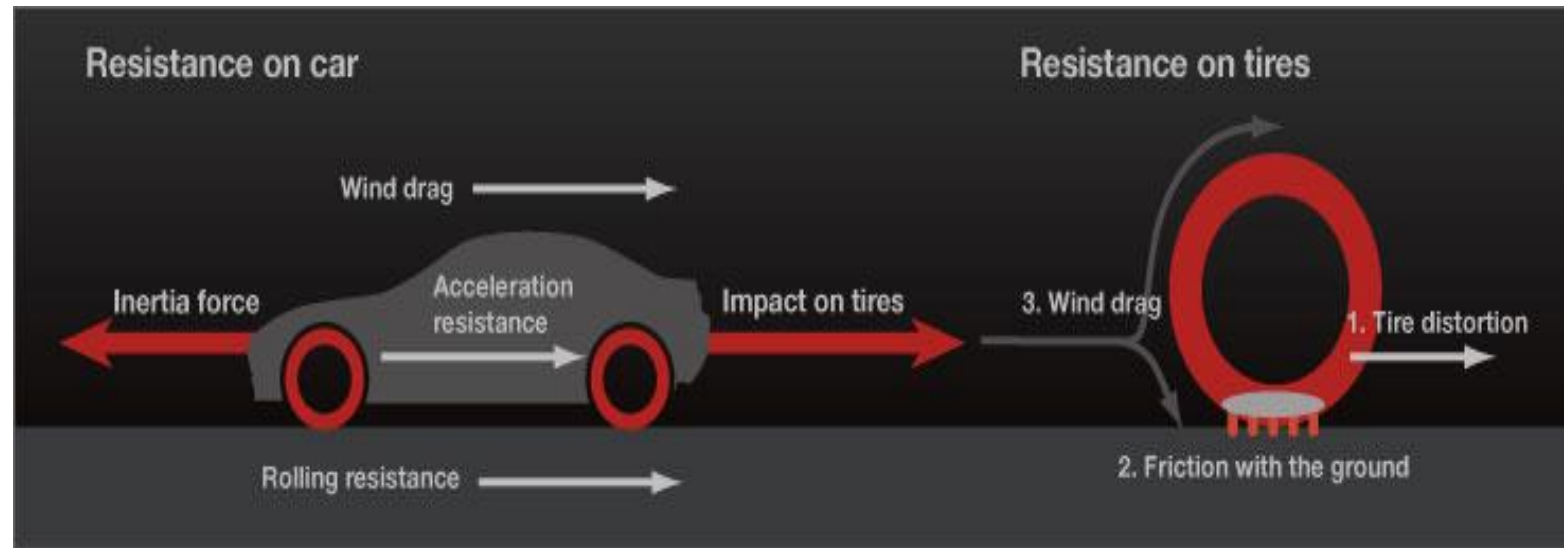
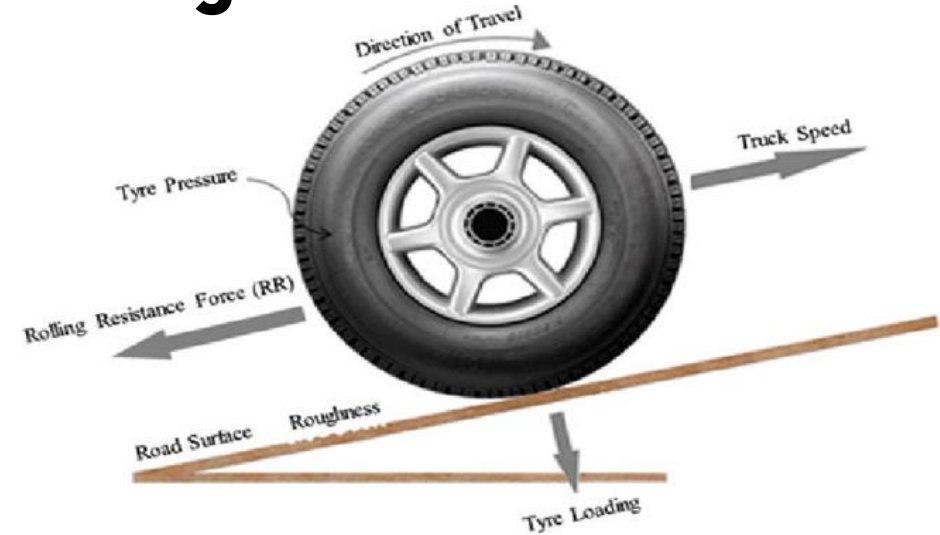
- Equation:
$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A (v + v_{air})^2$$
 - ρ = Air Density;
 - C_D = Aerodynamic Drag Coefficient
 - A = Cross-sectional Area of the Vehicle in m^2
 - v = vehicle speed in m/s; v_{air} = wind speed in m/s

- So, the $P_D = F_D * v$



Vehicle Load Forces – Rolling Resistance

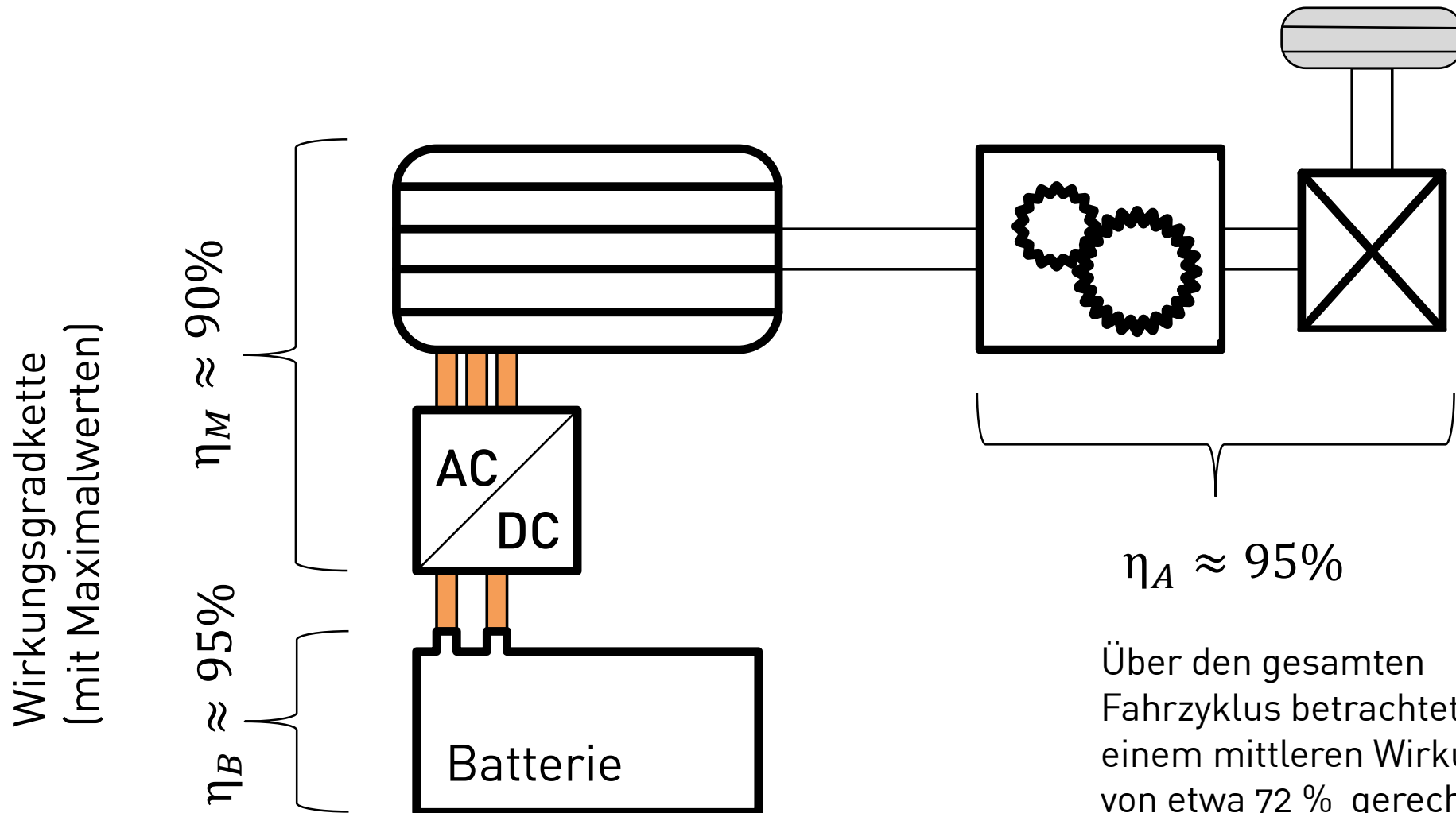
- Combination of All Frictional Load Forces;
- Equation: $F_R = C_R mg$
 - C_R = Coefficient of Rolling Resistance
 - m = mass of the vehicle in kg
 - g = acceleration due to gravity





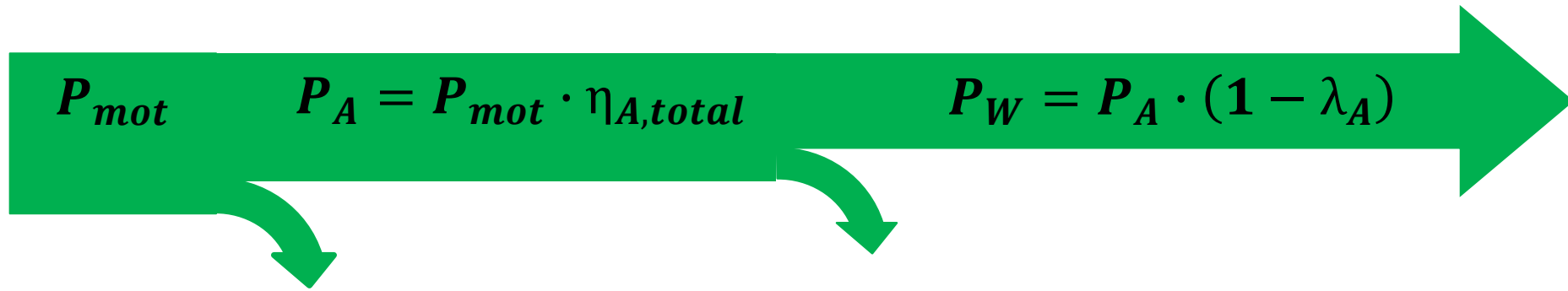
Formelzeichen	Bezeichnung	Quelle	(Erwartungs-) Wert
c_w	Beiwert des Luftwiderstandes	Literatur	0,27
A_{proj}	Fahrzeugstirnfläche	Literatur	2,3 m²
ρ	Luftsdichte	Formel	$\frac{p_{Luft}}{R_{Luft} * T}$
R_{Luft}	Spezifische Gaskonstante Luft	Literatur	287 J/KgK
v_{Fzg}	Fahrzeuggeschwindigkeit	Messbar	
v_{Wind}	Windgeschwindigkeit	Vernachlässigbar*	-
m	Fahrzeugmasse	Messbar	~ 1850 kg
λ	Drehmassenzuschlagsfaktor	Messbar/Schätzwert	~ 1,2
a	(Längs-)Beschleunigung	Messbar	
g	Erdbeschleunigung	Literatur	9,81 m/s²
α	Steigungswinkel	Vernachlässigbar*	-
f_R	Rollwiderstandsbeiwert	Messbar	~ 0,013 – 0,015
r_{dyn}	Dynamischer Radhalbmesser (Good Year 215/50R19 93T)	Literatur (Conti Reifenratgeber)	~ 339,3 mm
i	Getriebeübersetzung	Literatur	11,53
η_A	Wirkungsgrad Antriebsstrang	Schätzwert	

Antriebsstrang schematisch



Über den gesamten Fahrzyklus betrachtet kann ein mittlerer Wirkungsgrad von etwa 72 % gerechnet werden.

h_da

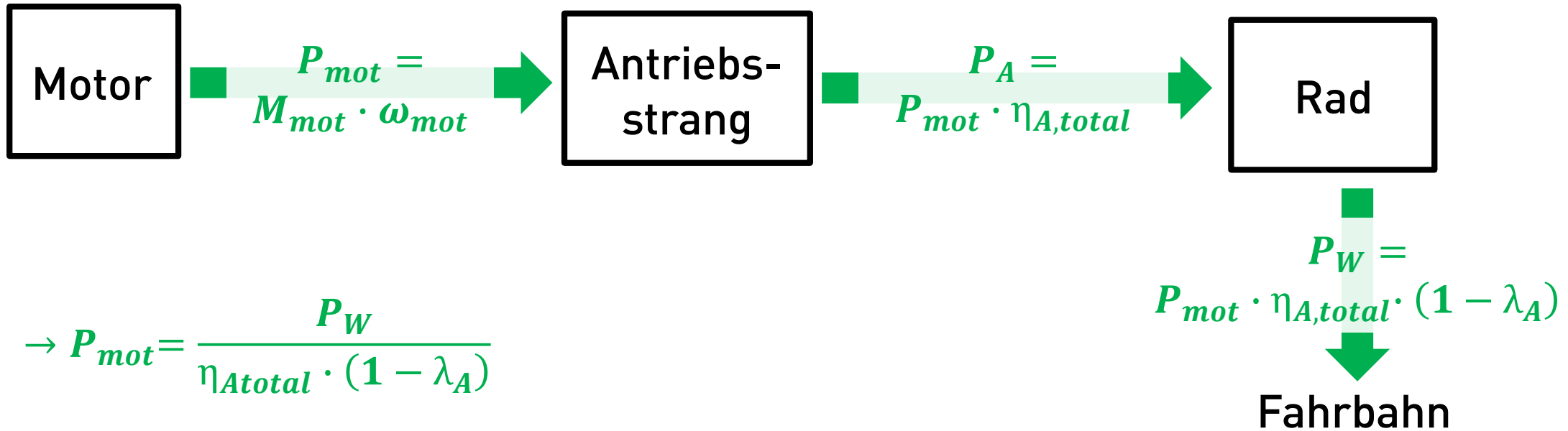


Getriebeverluste:

$$P_{VA} = P_{mot} \cdot (1 - \eta_{A,total})$$

Schlupfverluste:

$$P_{V\lambda} = P_A \cdot \lambda_A$$



h_da

Fahrmotor für Elektroantrieb an der Vorderachse

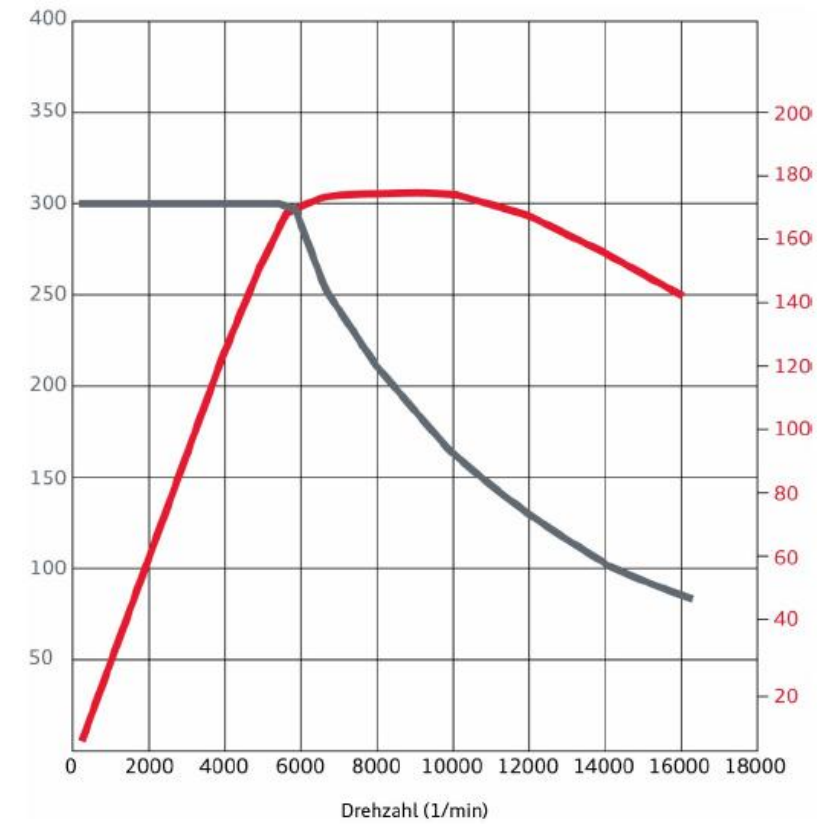
Motor mit Kennbuchstabe EBGA

Audi e-tron GT



684_055a

Drehmoment-Leistungskurve



684_377

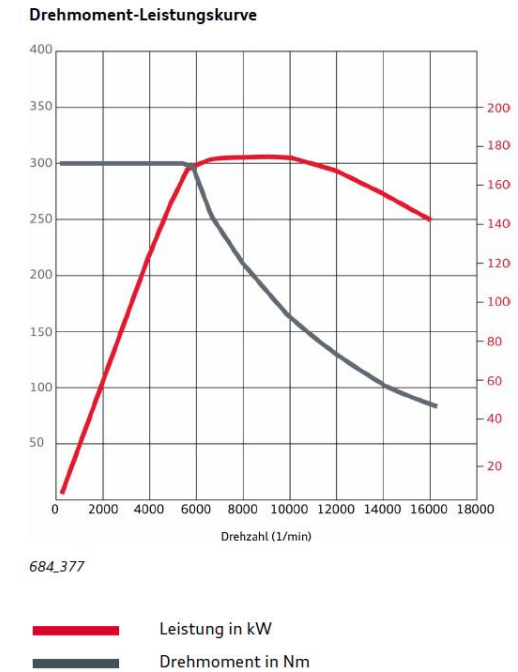
— Leistung in kW
— Drehmoment in Nm

Audi e-tron GT

Merkmale	Technische Daten
Einsatz	e-tron GT und RS e-tron GT (Vorderachse)
Motorkennbuchstabe	EBGA
Bauart	Permanenterregte Synchronmaschine
Läuferart	Innenläufer
Polpaare	4
Kühlung	Kühlmantel um die Statorwicklungen
Kühlmittel	G12 evo
Dauerleistung in kW bei 8000 U/min	80 kW
Peakleistung bei 8000 U/min	175 kW
Drehmoment in Nm bis 5500 U/min (4s)	300 Nm

Fahrmotor für Elektroantrieb an der Vorderachse

Motor mit Kennbuchstabe EBGA

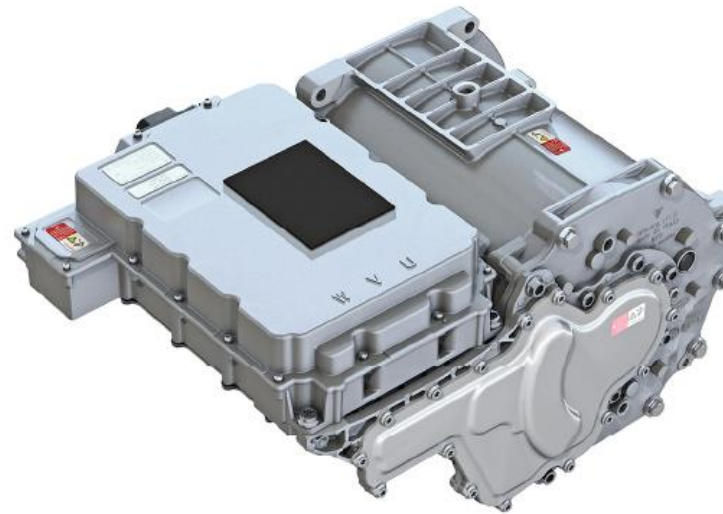


h_da

Audi e-tron GT

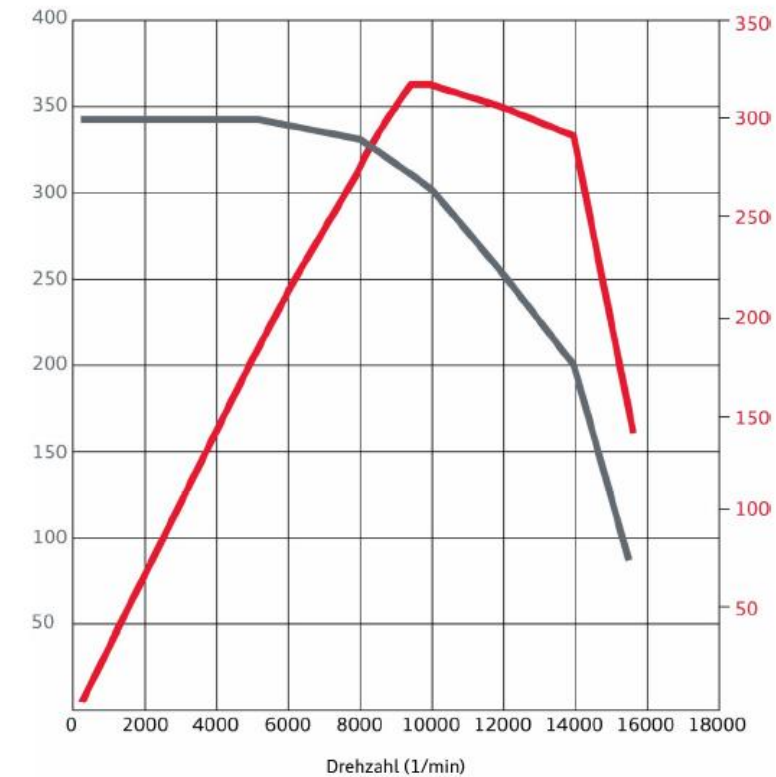
Fahrmotor für Elektroantrieb an der Hinterachse

Motor mit Kennbuchstabe EBFA



684_055b

Drehmoment-Leistungskurve



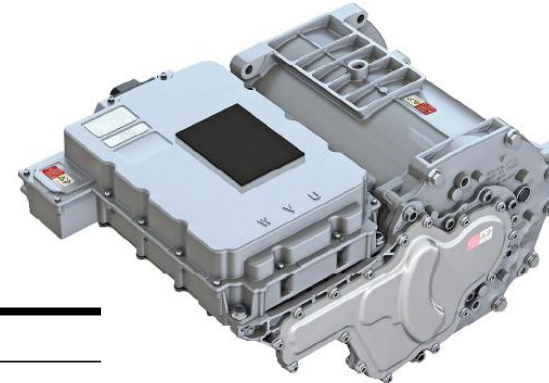
684_378

— Leistung in kW
— Drehmoment in Nm

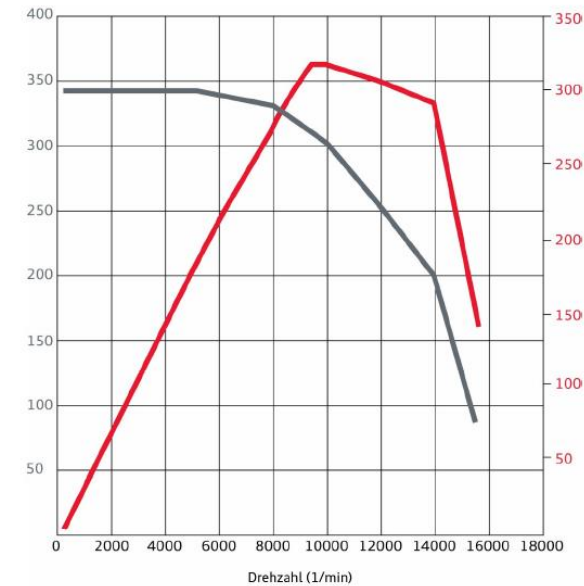
Audi e-tron GT

Fahrmotor für Elektroantrieb an der Hinterachse

Motor mit Kennbuchstabe EBFA



Drehmoment-Leistungskurve



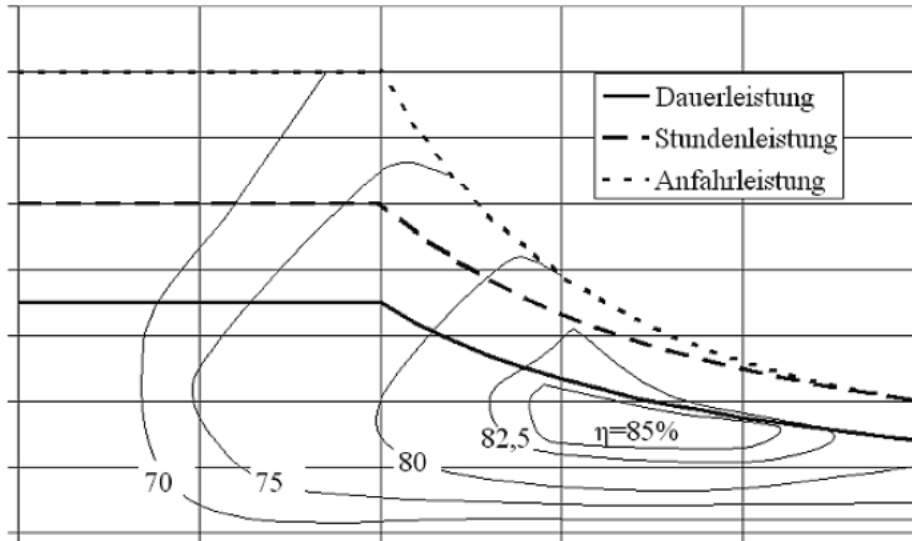
684_378

— Leistung in kW
— Drehmoment in Nm

Merkmale	Technische Daten
Einsatz	e-tron GT (Hinterachse)
Motorkennbuchstabe	EBFA
Bauart	Permanentterregte Synchronmaschine
Läuferart	Innenläufer
Polpaare	4
Kühlung	Kühlmantel um die Statorwicklungen
Kühlmittel	G12 evo
Dauerleistung in kW bei 10000 U/min	120 kW
Peakleistung bei 10000 U/min	320 kW
Drehmoment in Nm bis 5000 U/min (4s)	340 Nm

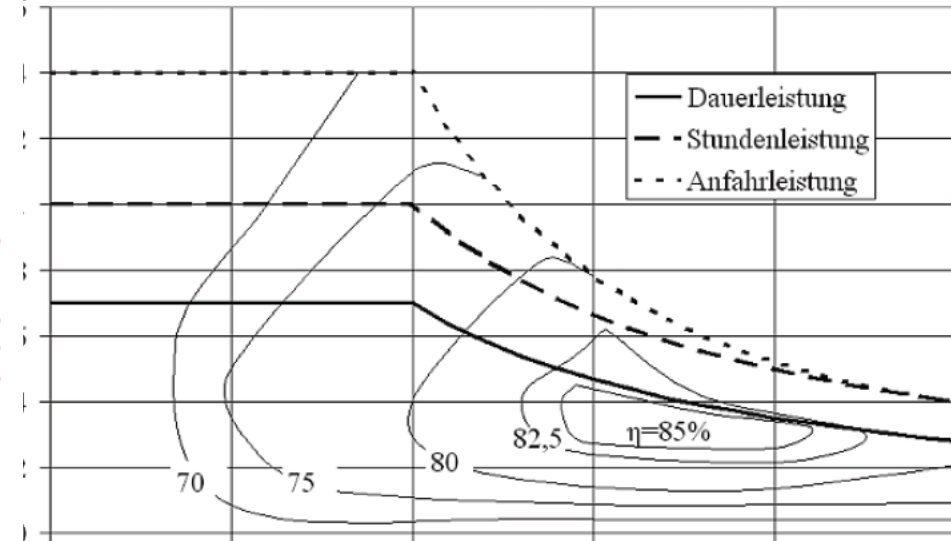
$$F_A = \eta_{A,total} \cdot i_{A,total} \cdot \frac{M_{mot}}{r_A}$$

Drehmoment in Nm



Drehzahl in 1/min

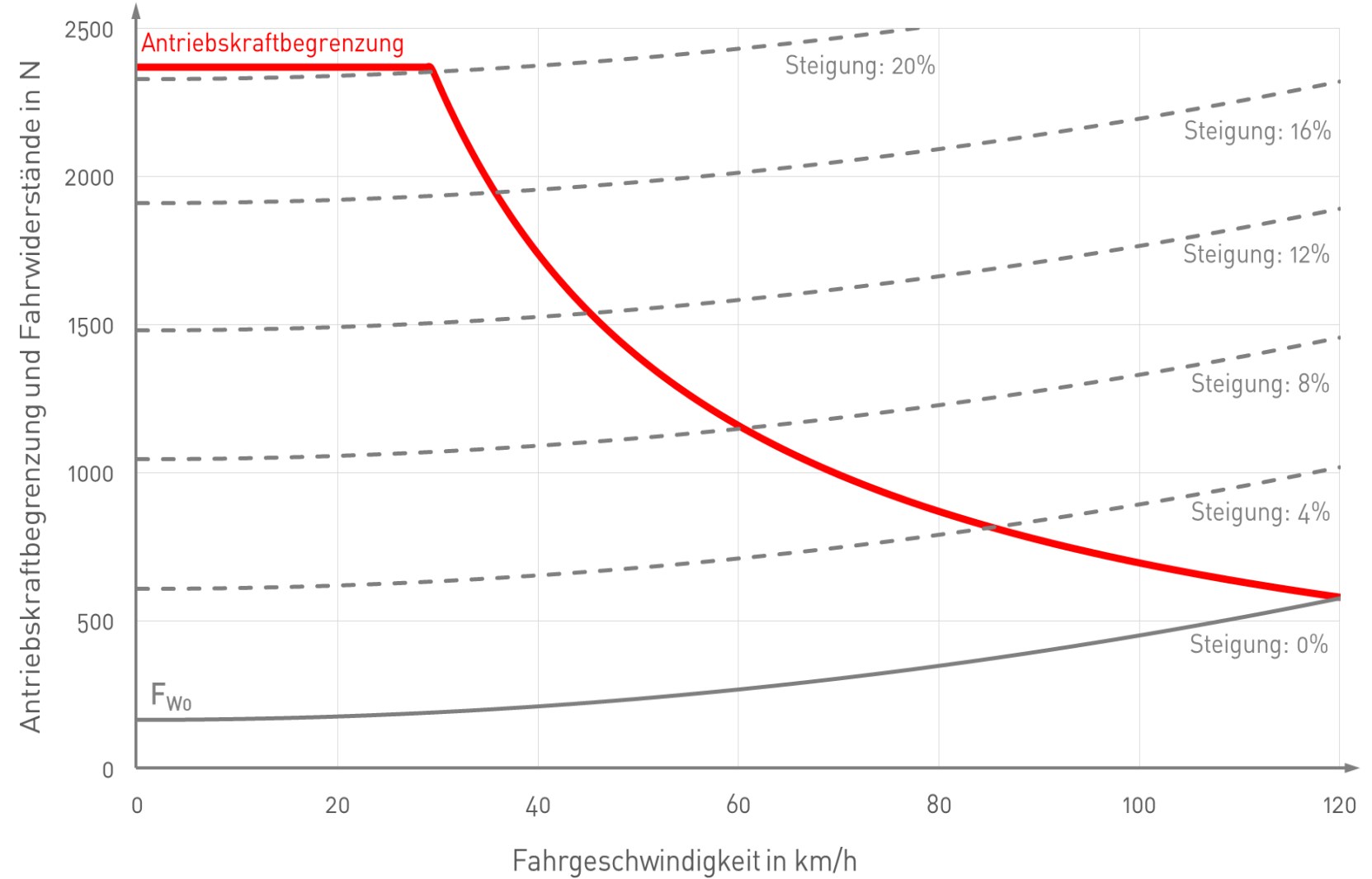
Antriebskraft in N



Geschwindigkeit in km/h

$$v_x = r_A \cdot \frac{\omega_{mot}}{i_{A,total}} \cdot (1 - \lambda_A)$$

Zugkraftdiagramm



h_da

Zugkraft

Motormoment

$$M_{mot}$$

$$\frac{\eta_{A,total} \cdot i_{A,total}}{r_A}$$

F_A

Rollwiderstand

$$F_{WR} = m \cdot g \cdot f_r$$

Luftwiderstand

$$F_{WL} = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

Steigungswiderstand

$$F_{Wst} = m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$$

+

+

F_{W0}

+

-

$F_{\ddot{U}}$

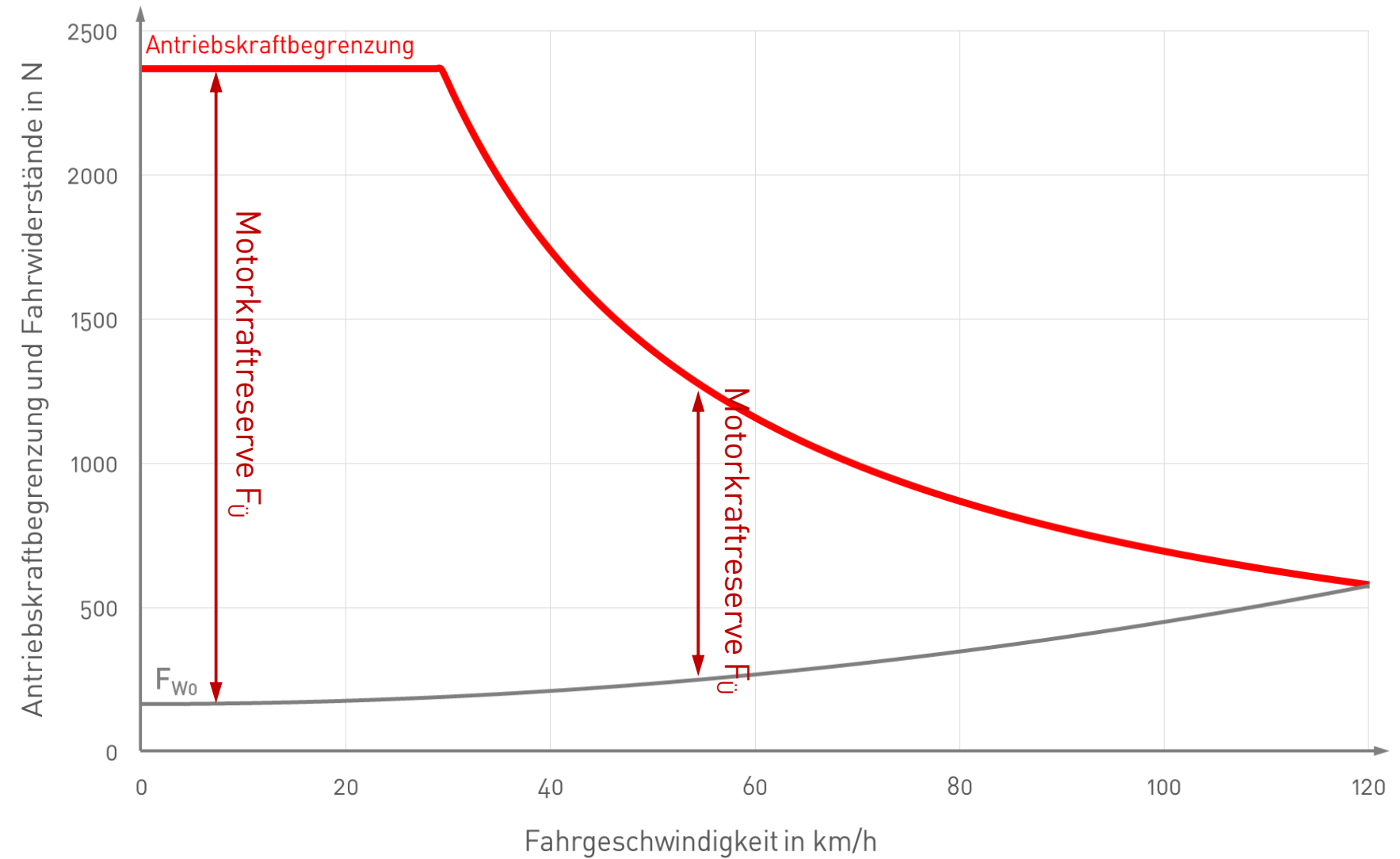
+

-

$$\frac{1}{\xi \cdot m}$$

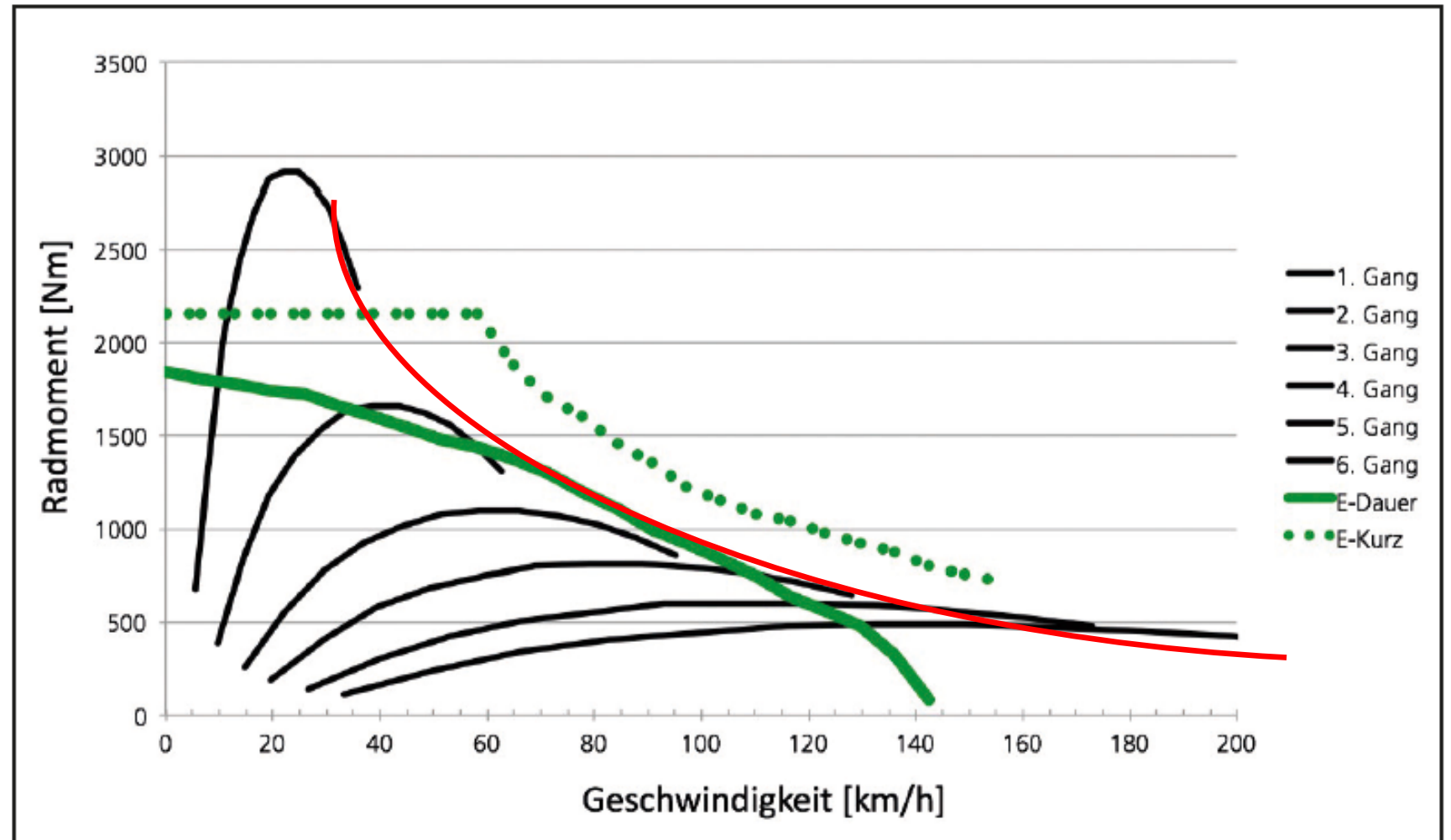
Beschleunigungs-
vermögen a_x

Zugkraftdiagramm



Traction Drive

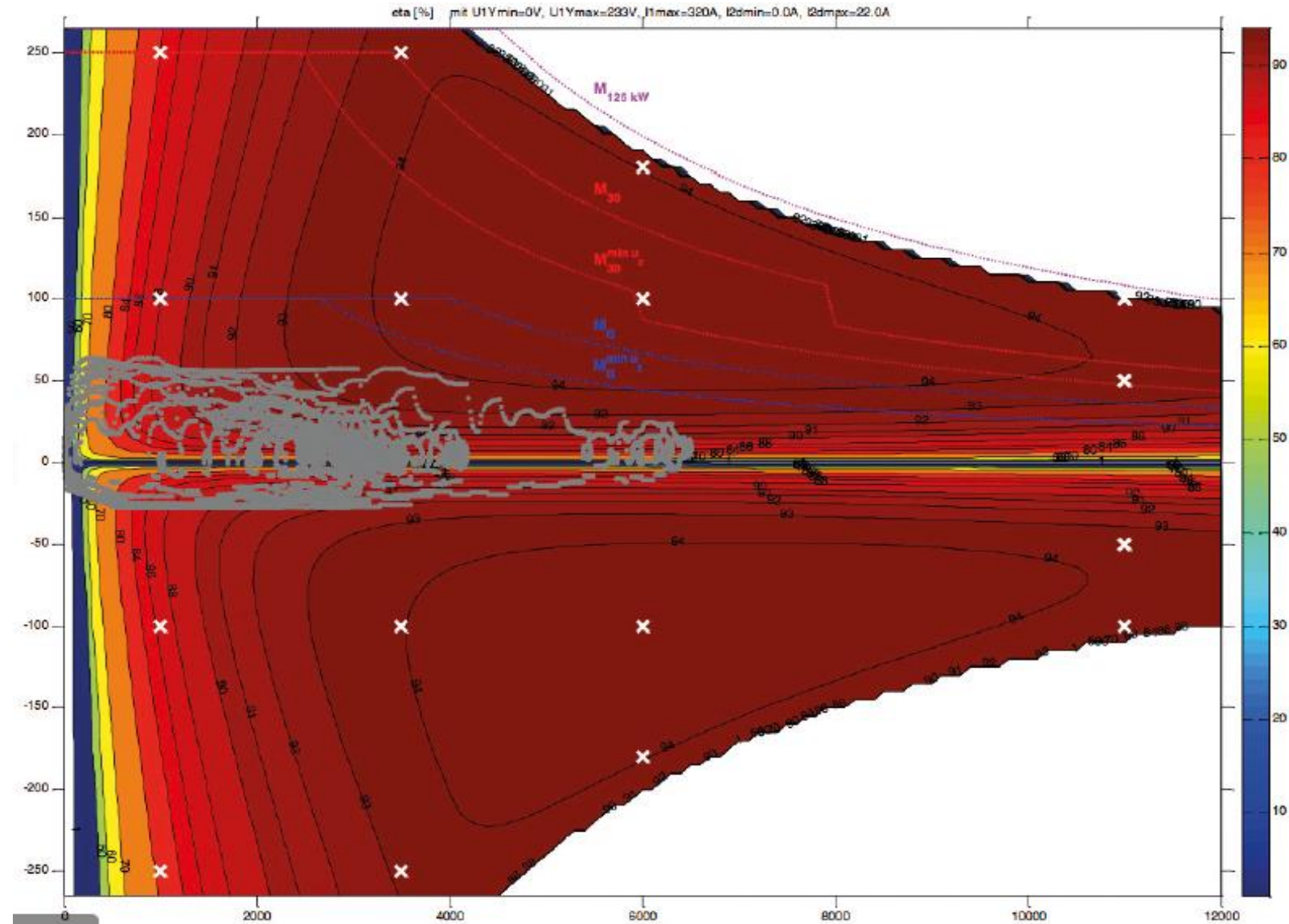
Internal combustion engine
and
electric traction drive



h_da

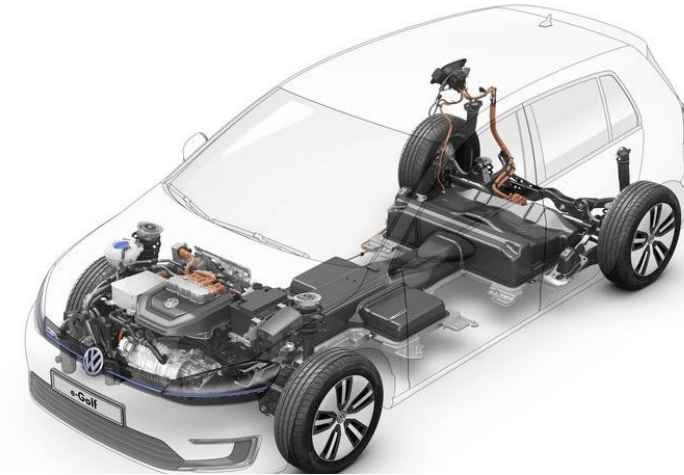
Matching

Areas of operation

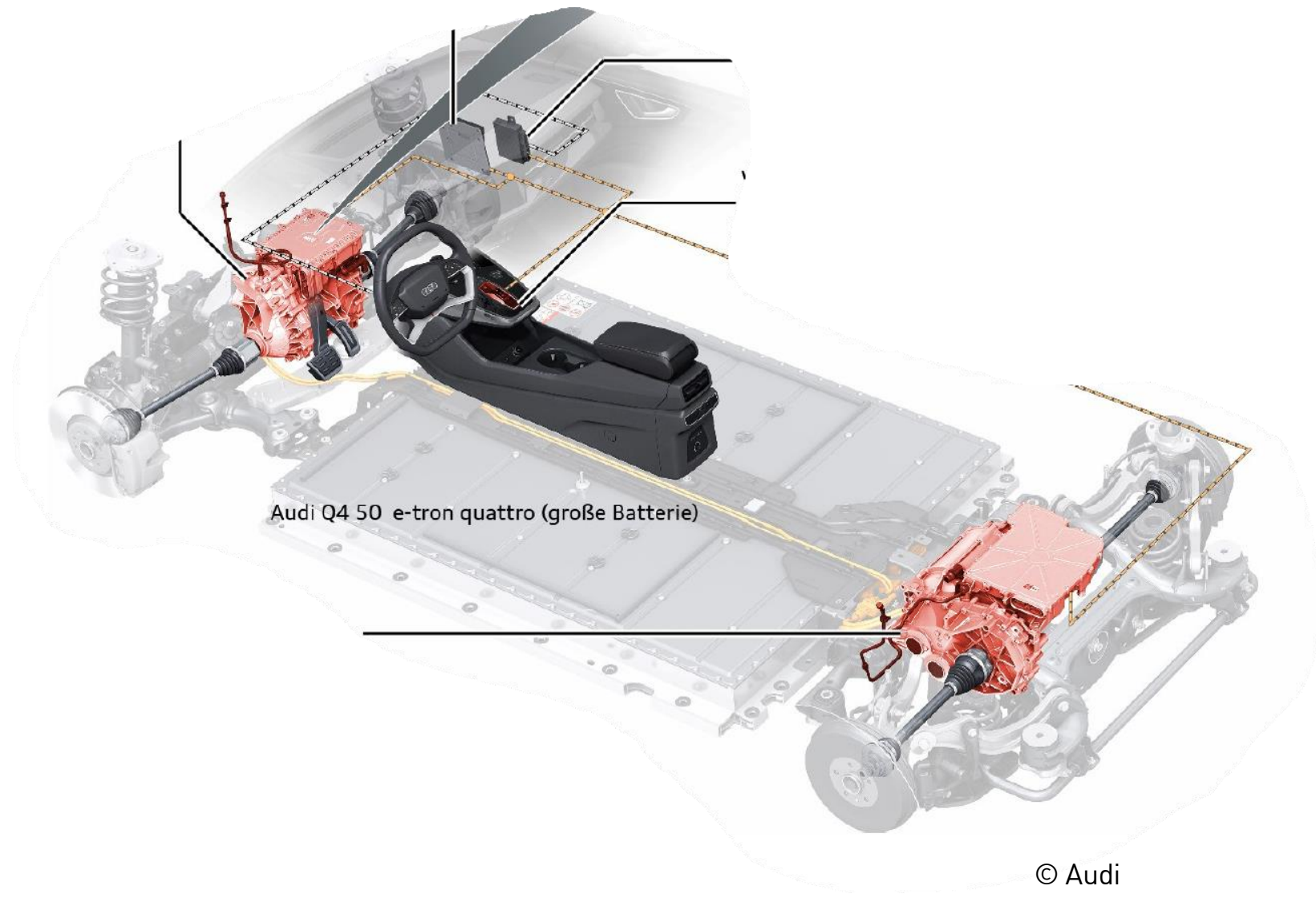


Aufgabe: Fahrzeug-Berechnung

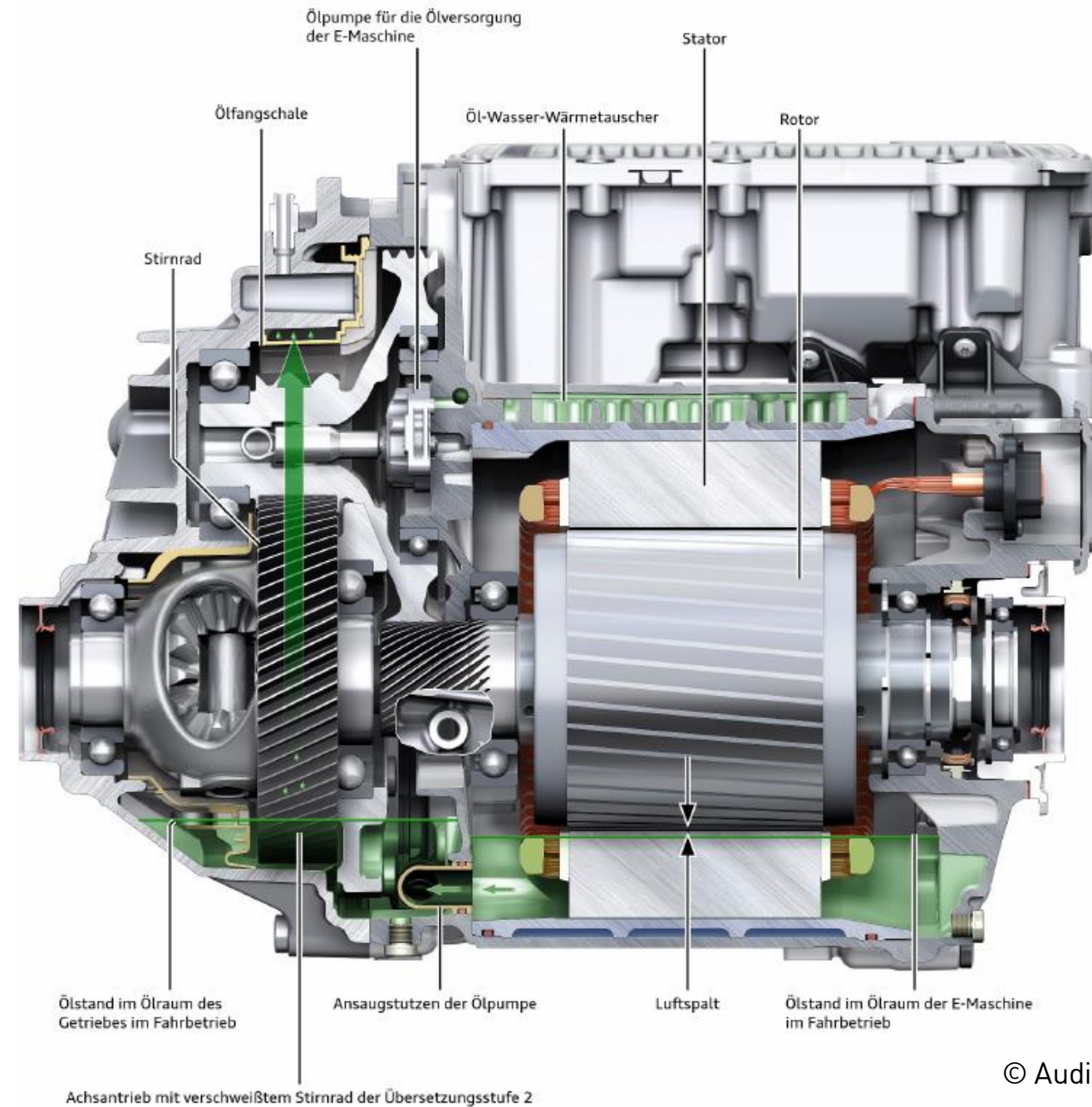
Dynamischer Radradius 0.343 m
 Übersetzung 9.7 mit Wirkungsgrad 0.9
 Höchstgeschwindigkeit 150 km/h



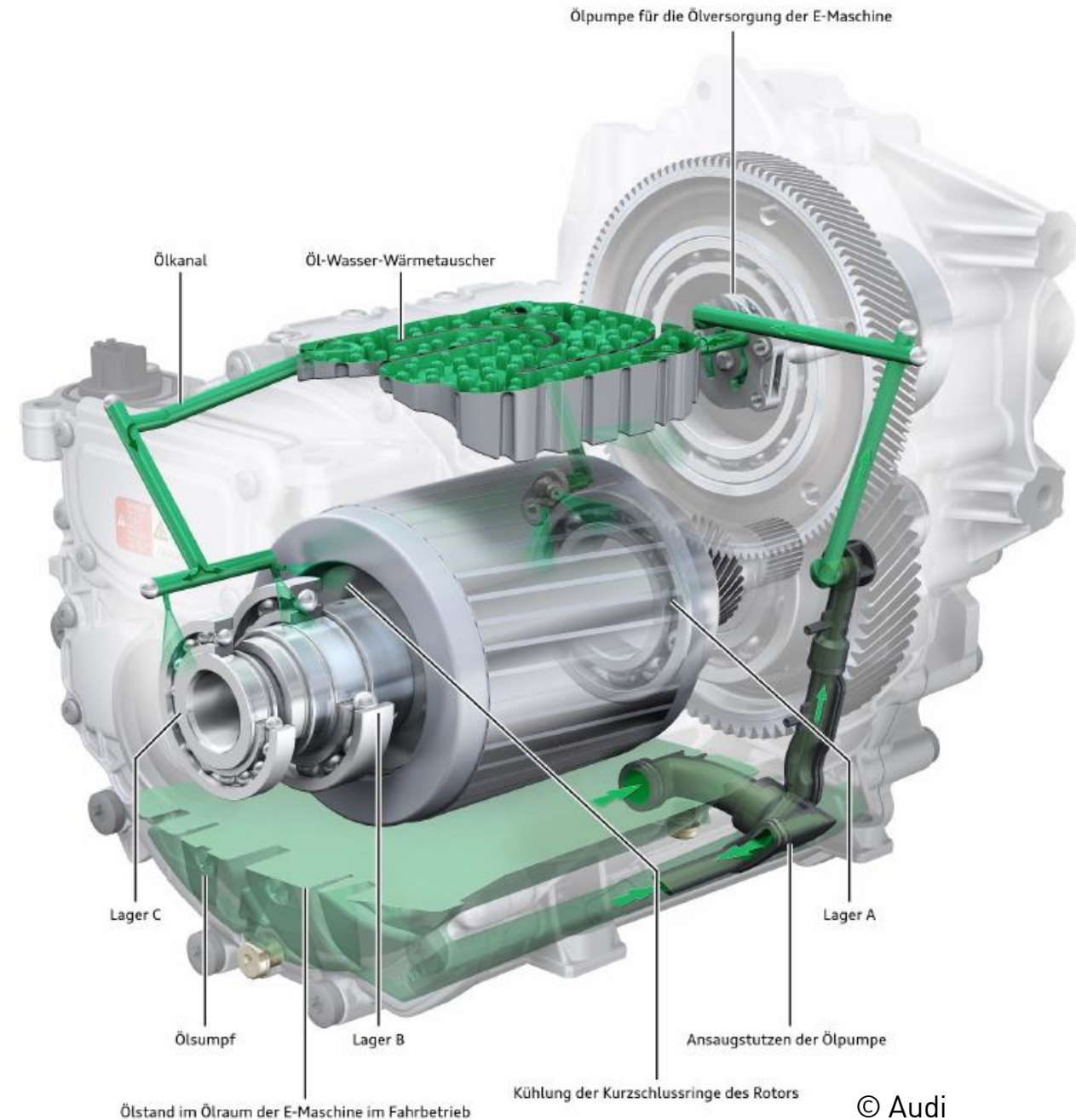
	Road			Motor		
	velocity [km/h]	f_A [N]	Power P_A [kW]	speed n_{mot} [1/min]	Max torque [Nm]	Max Power [kW]
End of Base speed					250	102
Endpoint	150					102



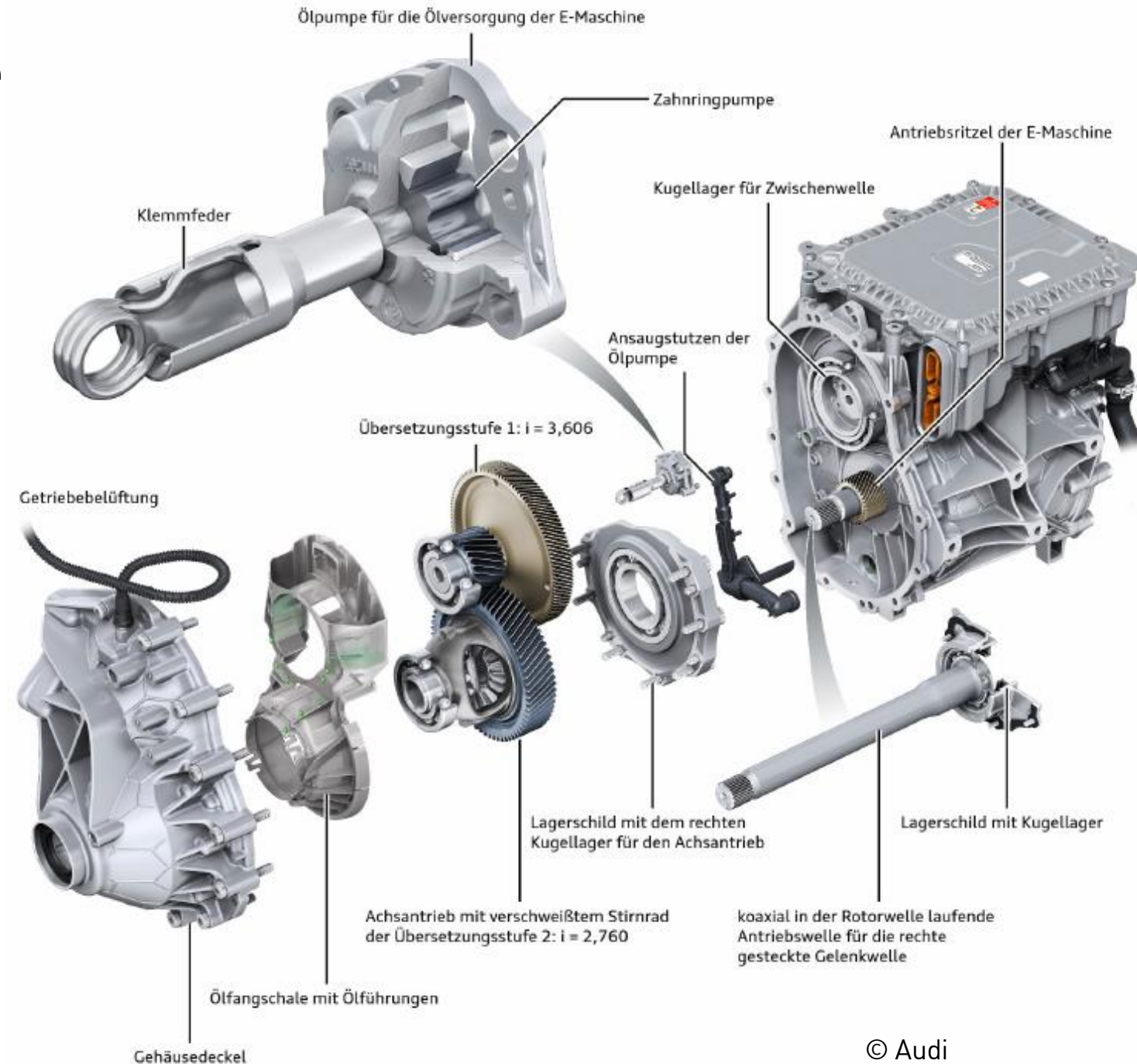
Traction Drive Front VW MEB



Traction Drive Front VW MEB

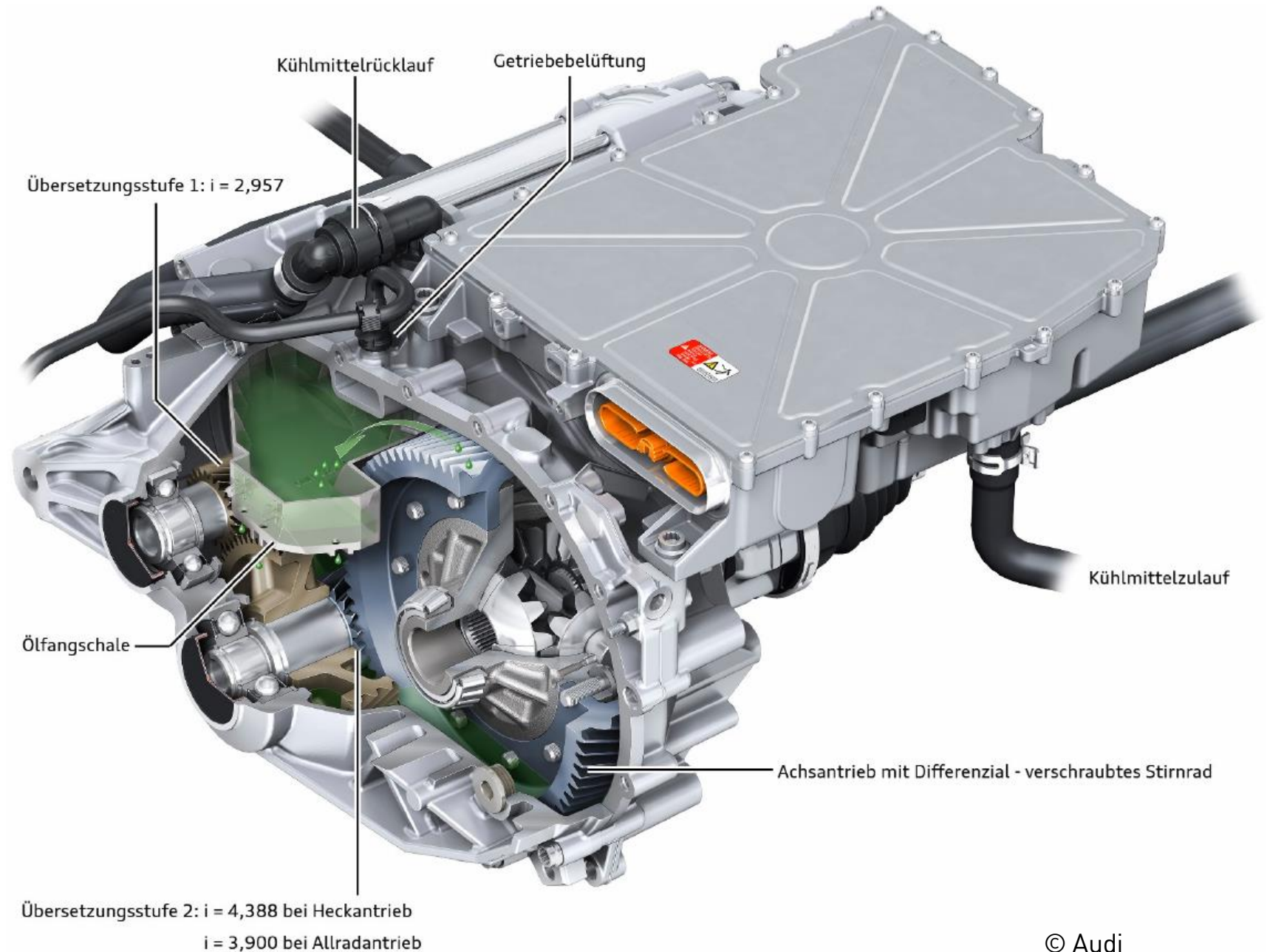


Traction Drive Front VW MEB

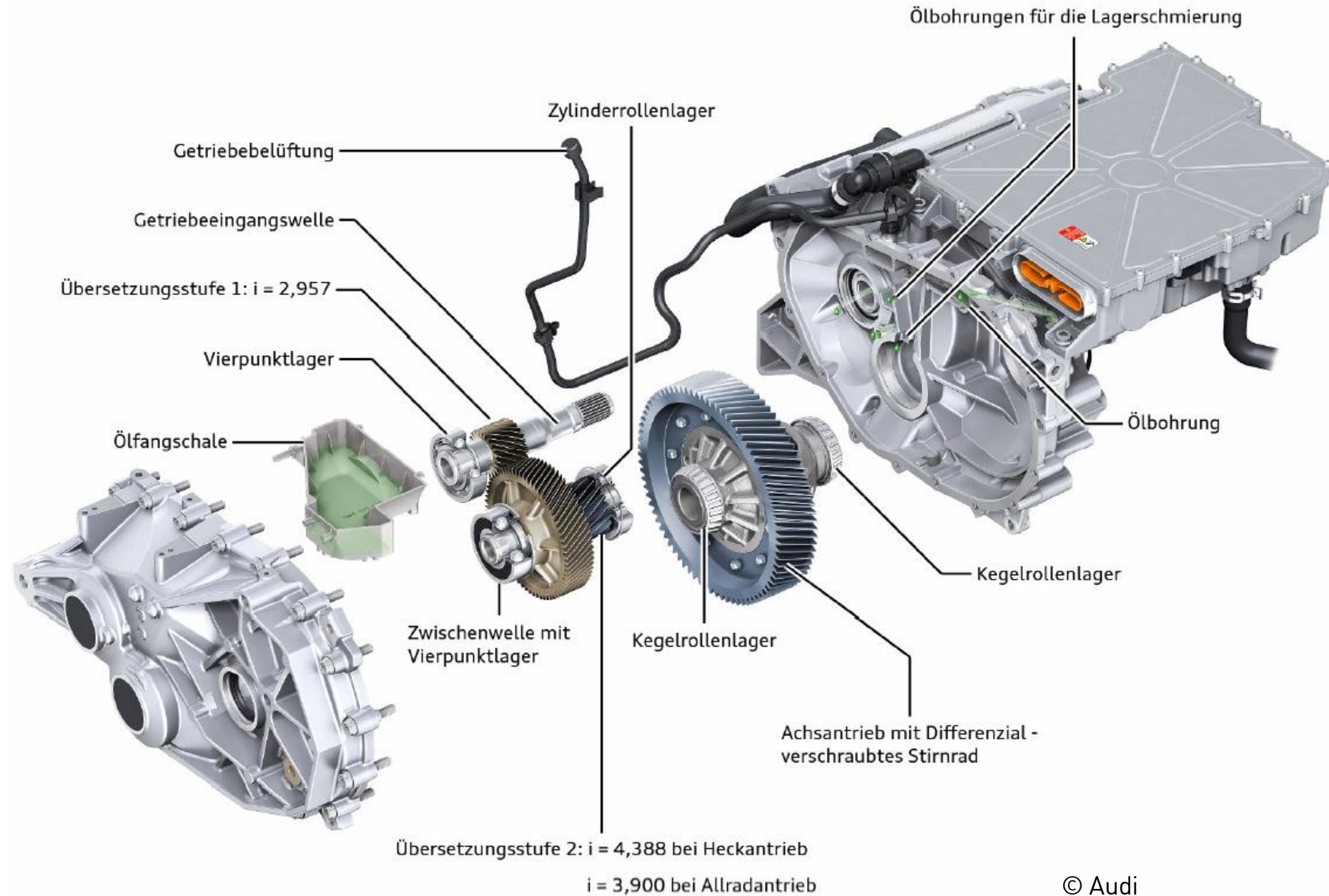


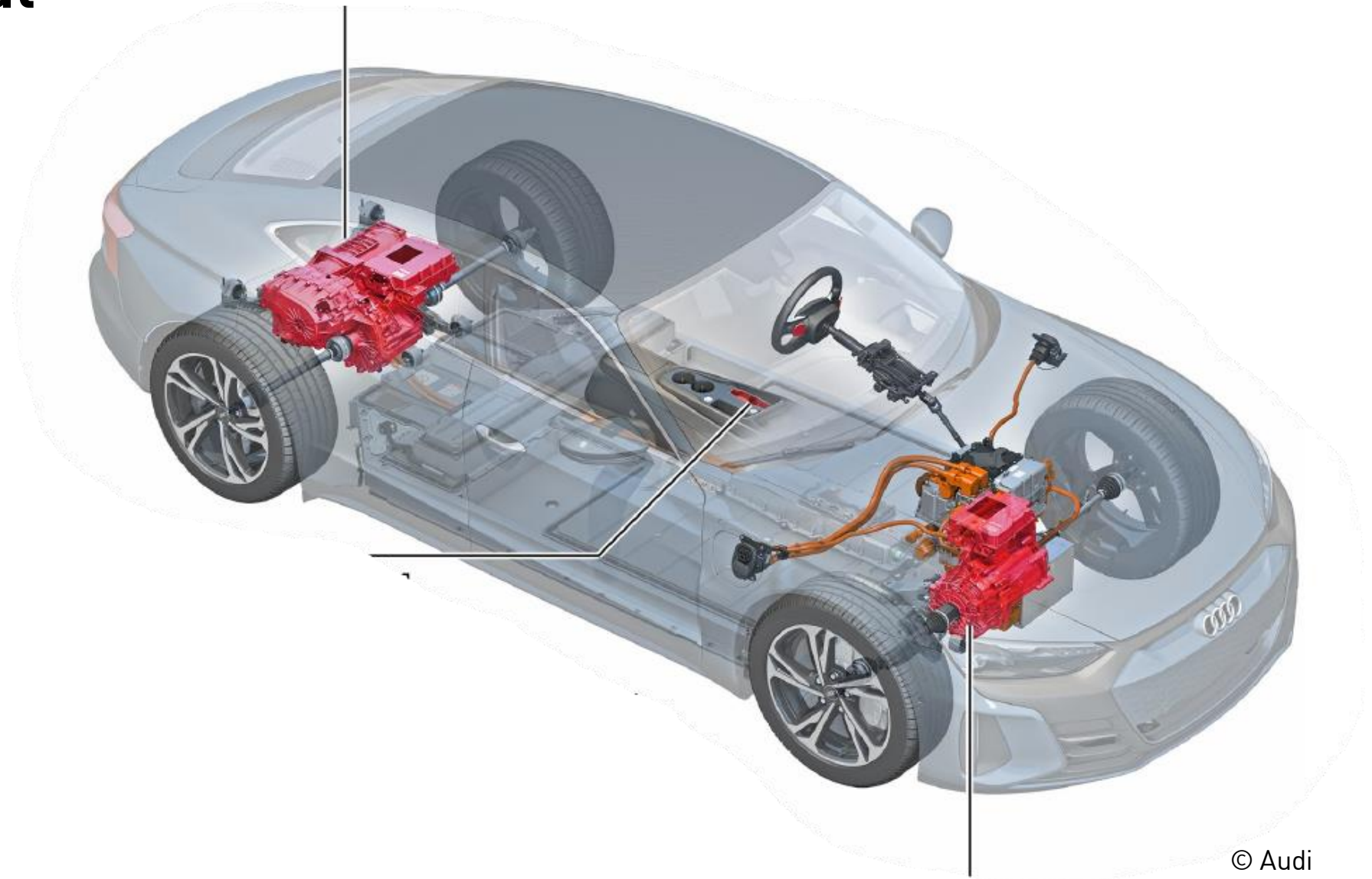
h_da

Traction Drive Rear VW MEB



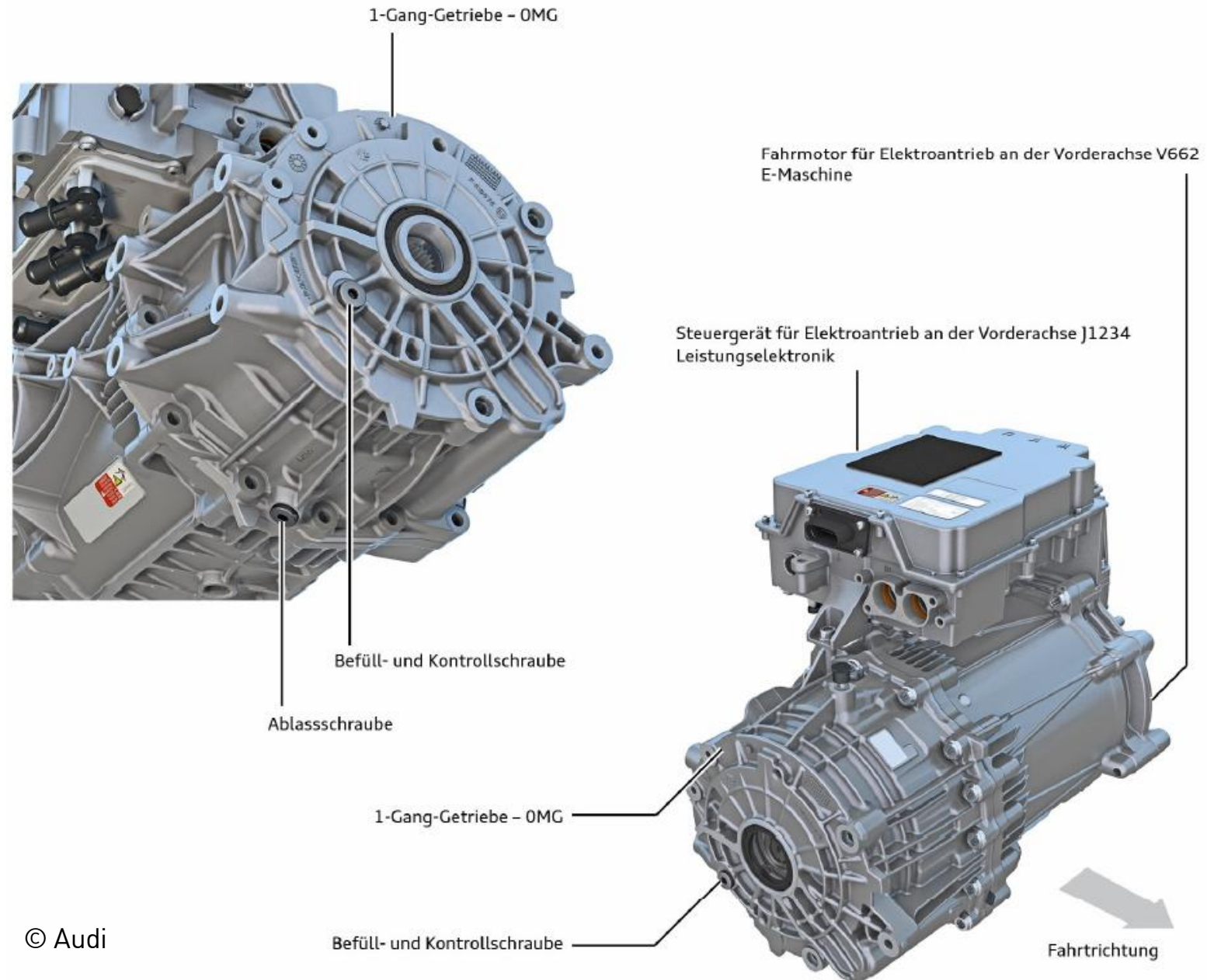
Traction Drive Rear VW MEB





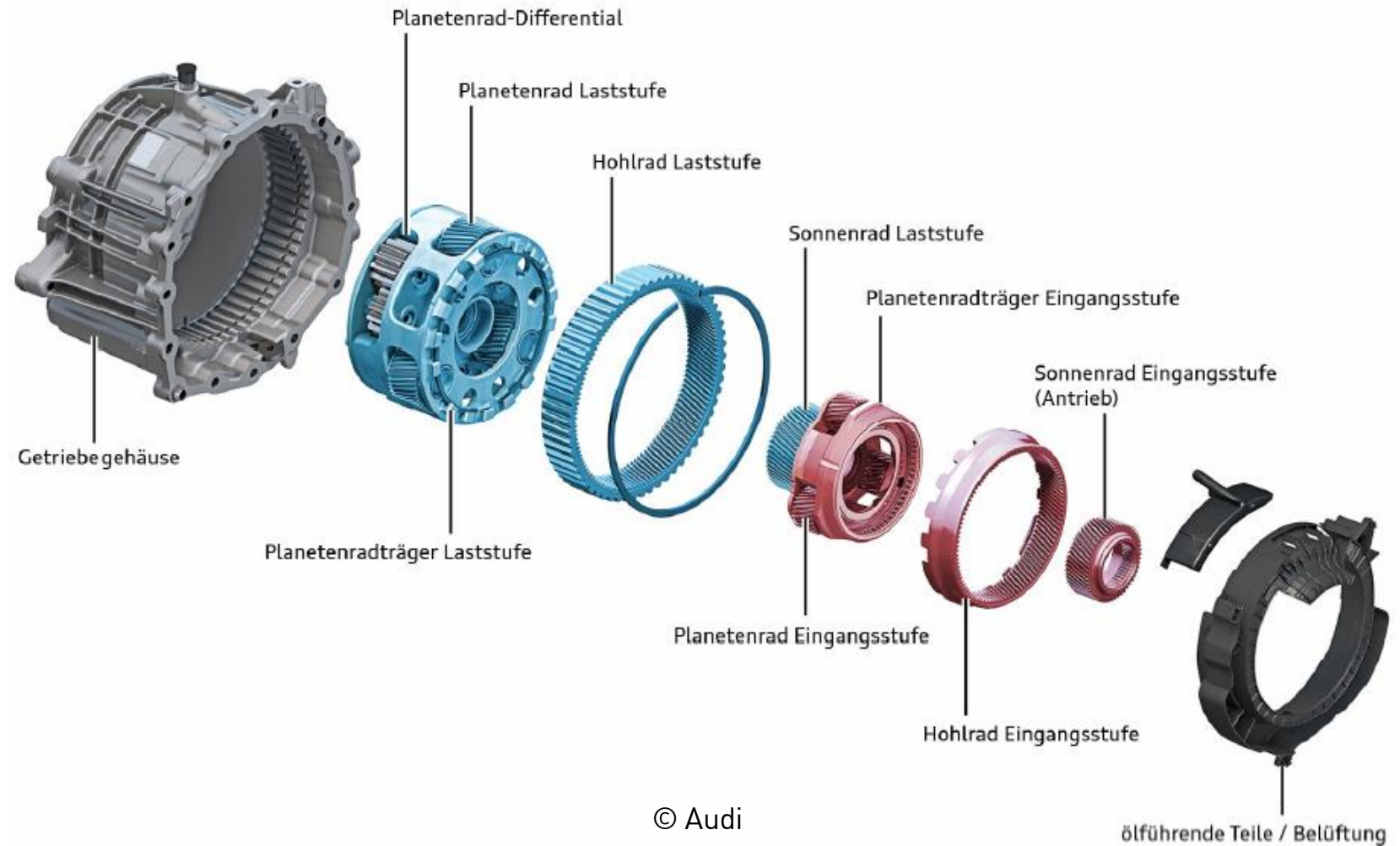
h_da

Traction Drive Front Audi e-tron GT

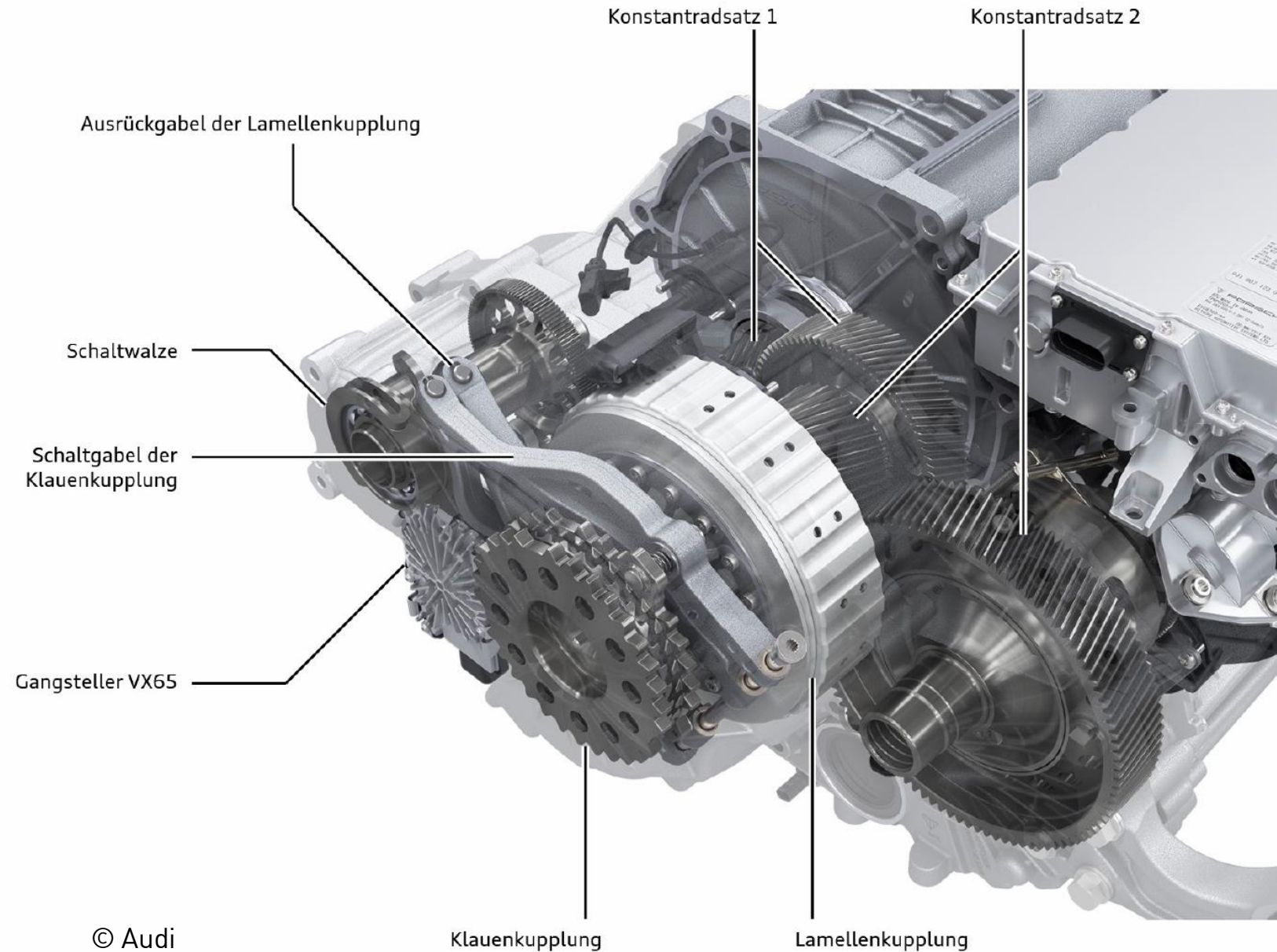


© Audi

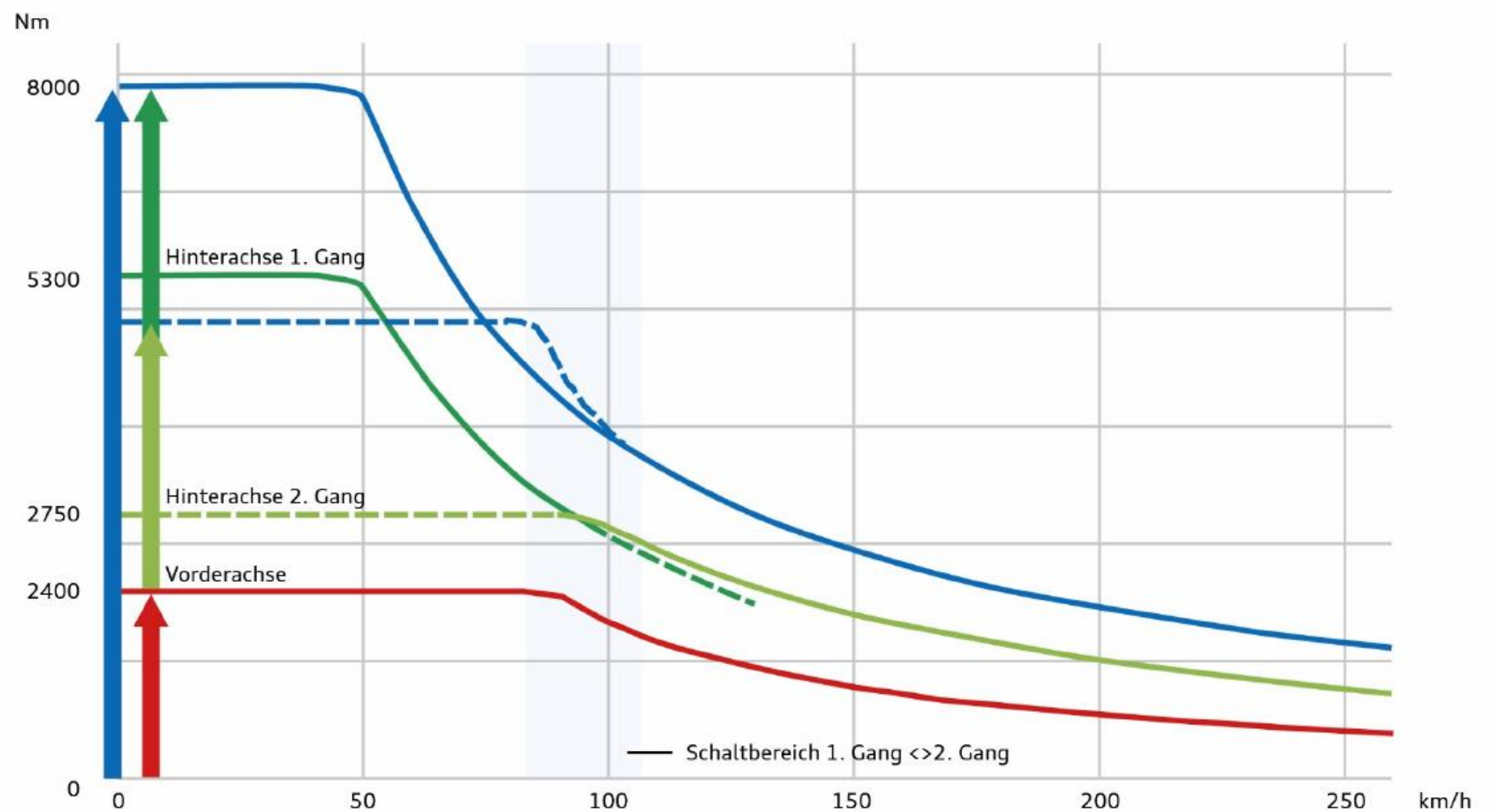
Traction Drive Front Audi e-tron GT



Traction Drive Rear Audi e-tron GT

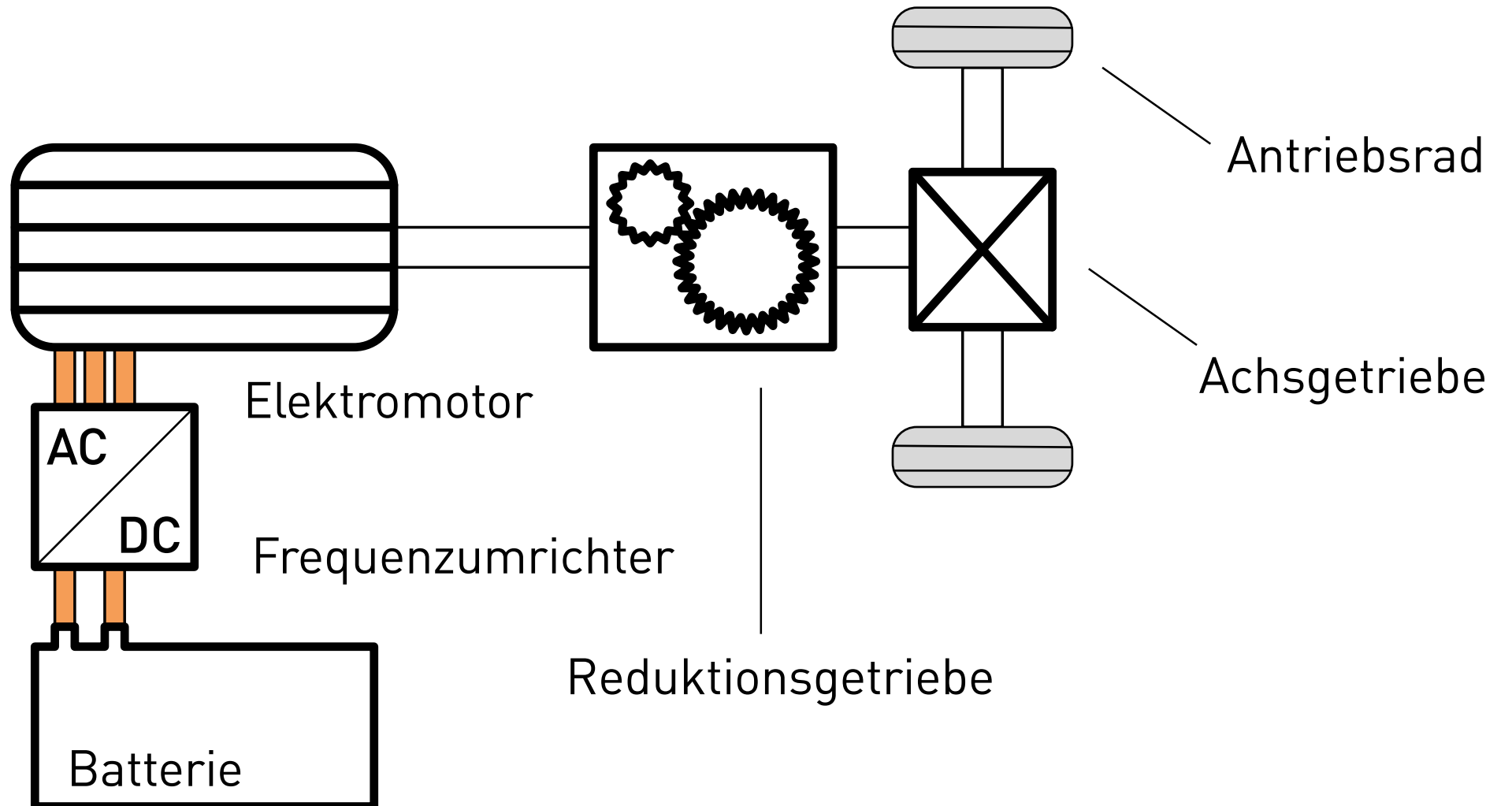


h_da



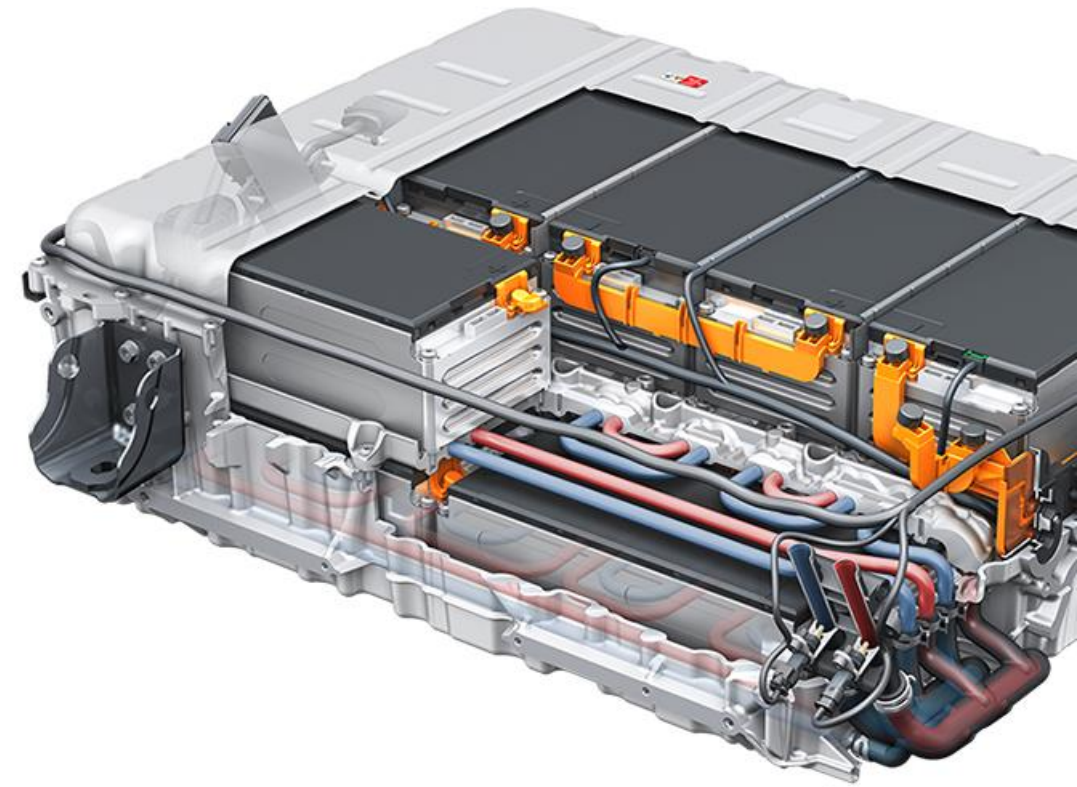
- maximales Gesamtantriebsmoment im 1. Gang und unter Berücksichtigung der Hochschaltung in den 2. Gang ab ca. 100 km/h (ohne Launch Control)
- - - maximales Gesamtantriebsmoment im 2. Gang
- maximales Antriebsmoment an der Hinterachse im 1. Gang
- - - maximales Antriebsmoment an der Hinterachse im 2. Gang
- maximales Antriebsmoment an der Vorderachse

Antriebsstrang schematisch



Der energetische Wirkungsgrad η_{Wh} , ergibt sich aus dem Quotienten von entnommener (E_{ela}) und hinzugefügter Energie (E_{lad})

$$\eta_{Wh} = E_{ela} / E_{lad}$$

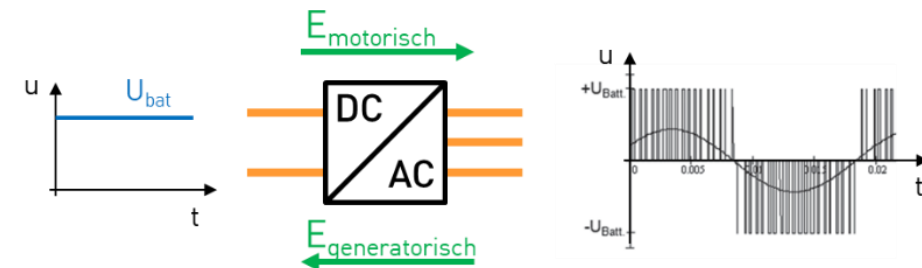


Anhaltswerte:

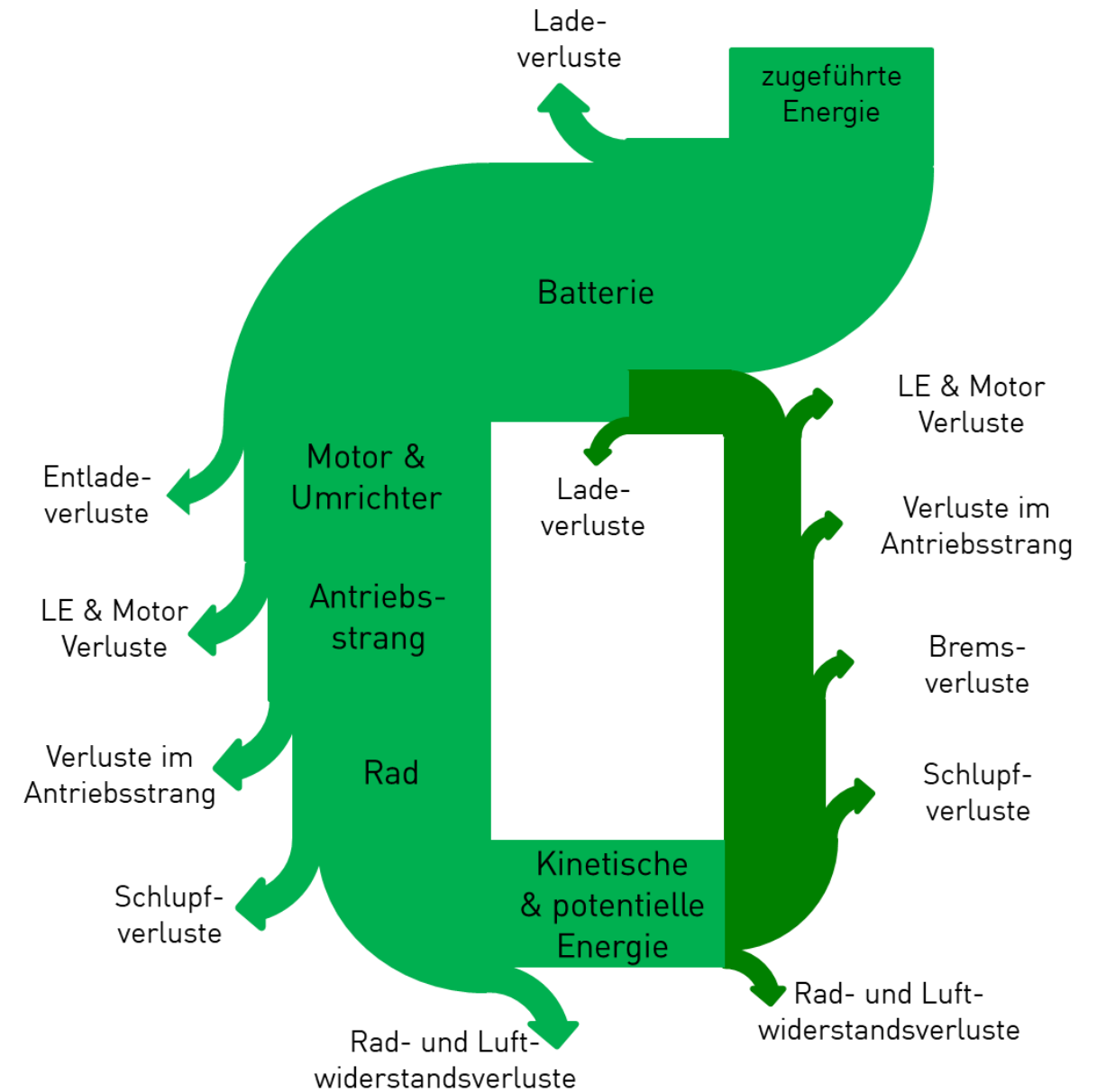
	Bleibatterie	NiCd	NiMH	Lithium-Ionen
Energetischer Wirkungsgrad (η_{Wh})	0,8	0,65	0,65	0,95

In Umrichtern treten folgende Verluste auf:

- Schaltverluste in den Halbleitern
- Durchlassverluste in den Halbleitern
- Ohmsche Verluste in den Stromschienen und an parasitären Widerständen
- Verluste durch Eigenverbrauch (z.B. Ansteuerung der Leistungshalbleiter, Elektronik für die Motorregelung)
- Verluste in Zuleitungen und Klemmen

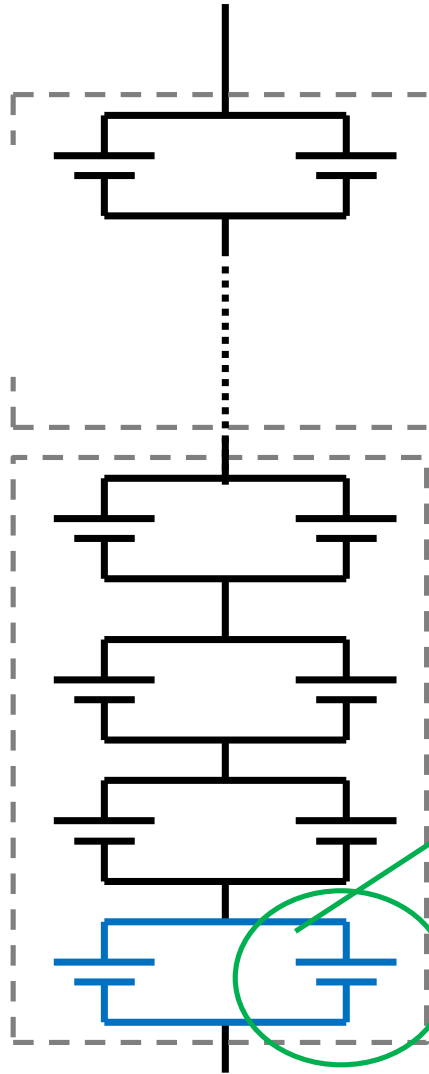


Wirkungsgrad



h_da

Zellverschaltungen



Zelle:

$$U_{\text{Zelle}} = 3,65 \text{ V}$$

$$C_{\text{Zelle}} = 56,3 \text{ Ah}$$

Parallelschaltung: 2P

$$U_{2P} = U_{\text{Zelle}} = 3,65 \text{ V}$$

$$C_{2P} = 2 \cdot C_{\text{Zelle}} = 112,6 \text{ Ah}$$

	Nissan Leaf
Batterietyp	Li-Ion
Kathode	Lithium-Nickel-Kobalt-Mangan - NMC
Nennkapazität	(39,5 kWh) / 37 kWh
Nennleistung	110 kW
Nennspannung	350 V
Aufbau: Pack	24 Module in Reihe
Modul	4S2P
Zelle	AESC Pouch Zellen mit 3,65 V / 56,3 Ah

Pack

$$24s \ 4s2p \triangleq 192 \text{ Zellen}$$

$$U_{\text{pack}} = 24 \cdot U_{\text{modul}_1} = 350 \text{ V}$$

$$C_{\text{pack}} = C_{\text{modul}_1} = 112,6 \text{ Ah}$$

$$\Rightarrow E_{\text{pack}} = U_{\text{pack}} \cdot C_{\text{pack}} = 39,5 \text{ kWh}$$

Modul

Reihen-Parallelschaltung: 4S2P

$$U_{\text{modul}_1} = 4 \cdot U_{2p} = 14,6 \text{ V}$$

$$C_{\text{modul}_1} = C_{2p} = 112,6 \text{ Ah}$$