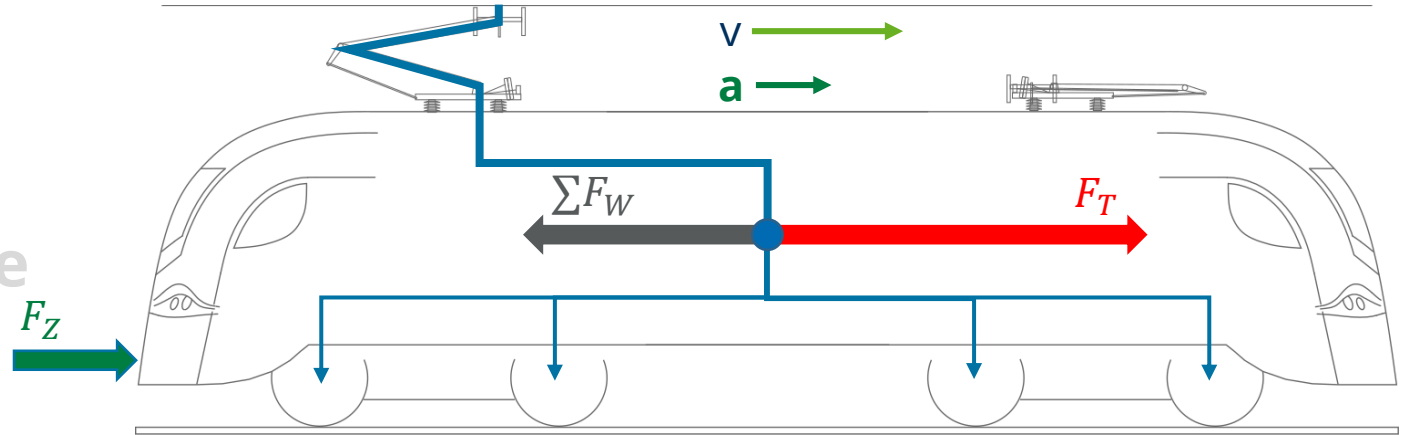


# Vorlesungsinhalte

- 0 Einführung
- 1 Grundlagen
- 2 Fahrwiderstandskräfte
- 3 Antriebskräfte
- 4 Bewertung des Traktionsvermögens
- 5 Leistungs- und Energiebedarf**
- 6 Betrachtungen zu Energie und Fahrzeit
- 7 Grundlagen der Fahrzeitberechnung
- Rechnerpraktikum Zugfahrtsimulation



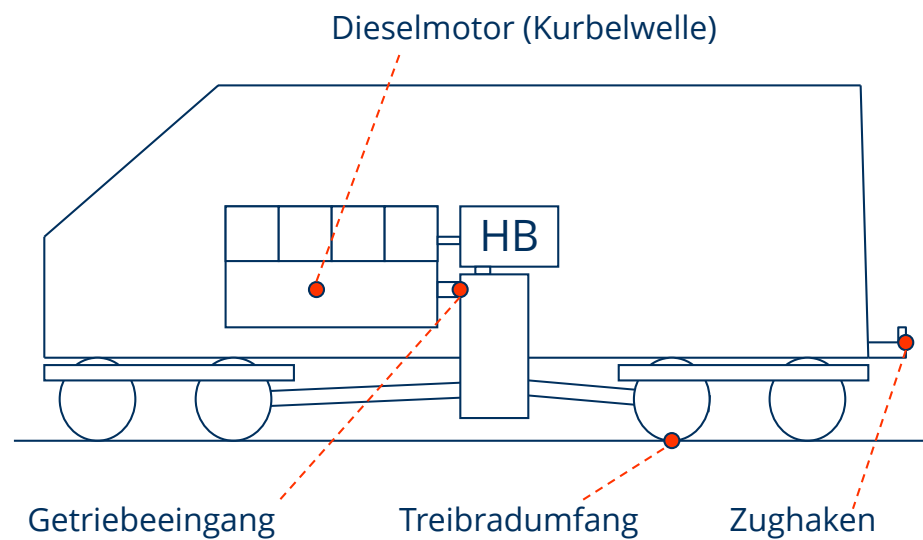
# Leistungsbedarf

Vereinfacht gilt:  $W = F \cdot s$  und  $P = W/t$

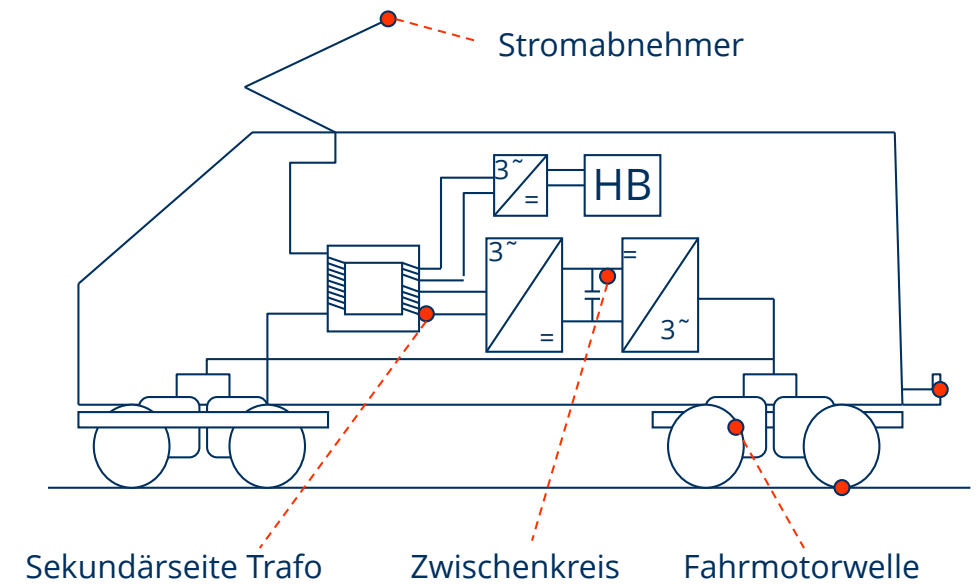
Daraus folgt:  $P = F \cdot v$

**Bei der Ermittlung des Leistungsbedarfes ist der Bezugspunkt zu beachten!**

Dieseltraktion



elektrische Traktion



# Beispiele „Zugförderprogramm“



BR 120

Beförderung von Reisezügen mit einer Masse von 700 t  
mit einer Geschwindigkeit von 160 km/h

Beförderung von Schnellgüterzügen mit einer Masse von 1500 t  
mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h

Beförderung von gemischten Güterzügen mit einer Masse von 2200 t  
mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h

Beförderung von Güterganzzügen mit einer Masse von 2700 t  
mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h

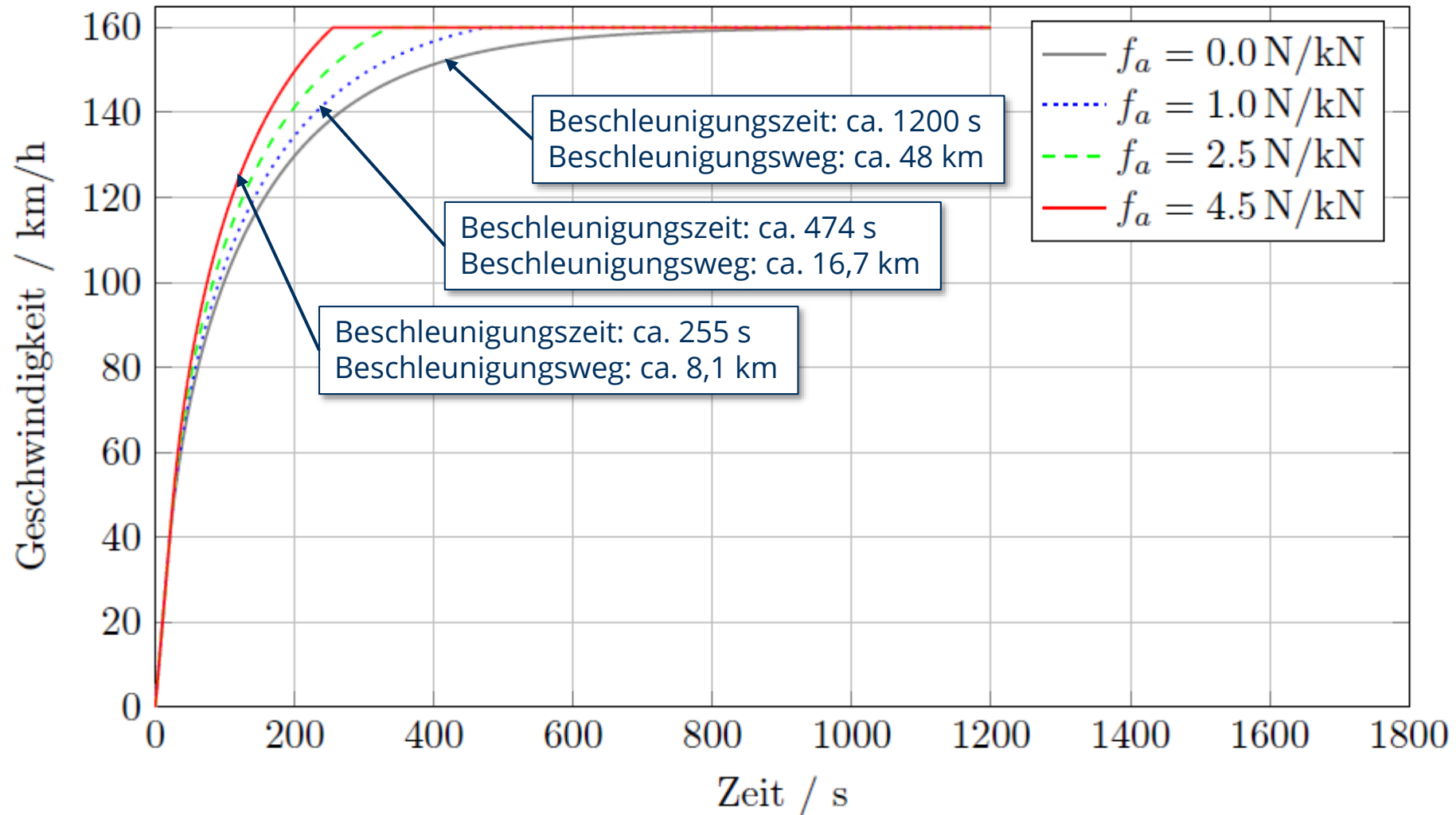


Siemens Vectron

Beförderung von Güterzügen mit einer Masse von 1600 t  
mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h in der Ebene  
bei einem Zugkraftüberschuss von 3 N/kN

Beförderung von Reisezügen mit einer Masse von 550 t  
mit einer Geschwindigkeit von 200 km/h in der Ebene  
bei einem Zugkraftüberschuss von 5 N/kN

# Bedeutung des Zugkraftüberschusses



# Fahrdynamischen Leistungsauslegung nach Zugförderprogramm

Herleitung der Auslegungsgleichung:

$$P_T = \sum F_W v$$

$$\sum F_W = F_{WFT} + f_{WFW} m_W g + f_{WS} (m_T + m_W) g$$

Ergänzung um spezifischen Zugkraftüberschuss  $F_a$  bei Zielgeschwindigkeit:

$$F_a = f_a (m_T + m_W) g$$

Traktionsleistungsbedarf am Treibrad:

$$P_T = \frac{v}{3,6} (F_{WFT} + f_{WFW} m_W g + f_{WS} [m_T + m_W] g + f_a [m_W + m_T] g)$$

Dieseltriebfahrzeuge: Bestimmung der Dieselmotorleistung (Wirkungsgrad  $Lü$ , Hilfsleistungsbedarf, Komfortleistung):

$$P_{DM} = P_{DM,T} + P_{ZSS}$$

$$P_{DM} = \frac{P_T}{\eta_{Lü} \cdot (1 - \psi)} + P_{ZSS} = \frac{v}{3,6} \left[ \frac{F_{WFT} + f_{WFW} m_W g + (f_{WS} + f_a) \cdot g \cdot (m_T + m_W)}{\eta_{Lü} \cdot (1 - \psi)} \right] + P_{ZSS}$$

ZSS - ZugSammelSchiene



# Fahrdynamischen Leistungsauslegung nach Zugförderprogramm

## Gleichung für **Dieseltriebfahrzeuge**

(Ziel: Auswahl eines geeigneten Dieselmotors)

$$P_{DM} = \frac{P_T}{\eta_{Lü} \cdot (1 - \psi)} + P_{ZSS} = \frac{v}{3,6} \left[ \frac{F_{WFT} + f_{WFW} m_W g + (f_{WS} + f_A) \cdot g \cdot (m_T + m_W)}{\eta_{Lü} \cdot (1 - \psi)} \right] + P_{ZSS}$$

## Gleichung für **Elektrotriebfahrzeuge**

(Ziel: Auswahl geeigneter Fahrmotoren)

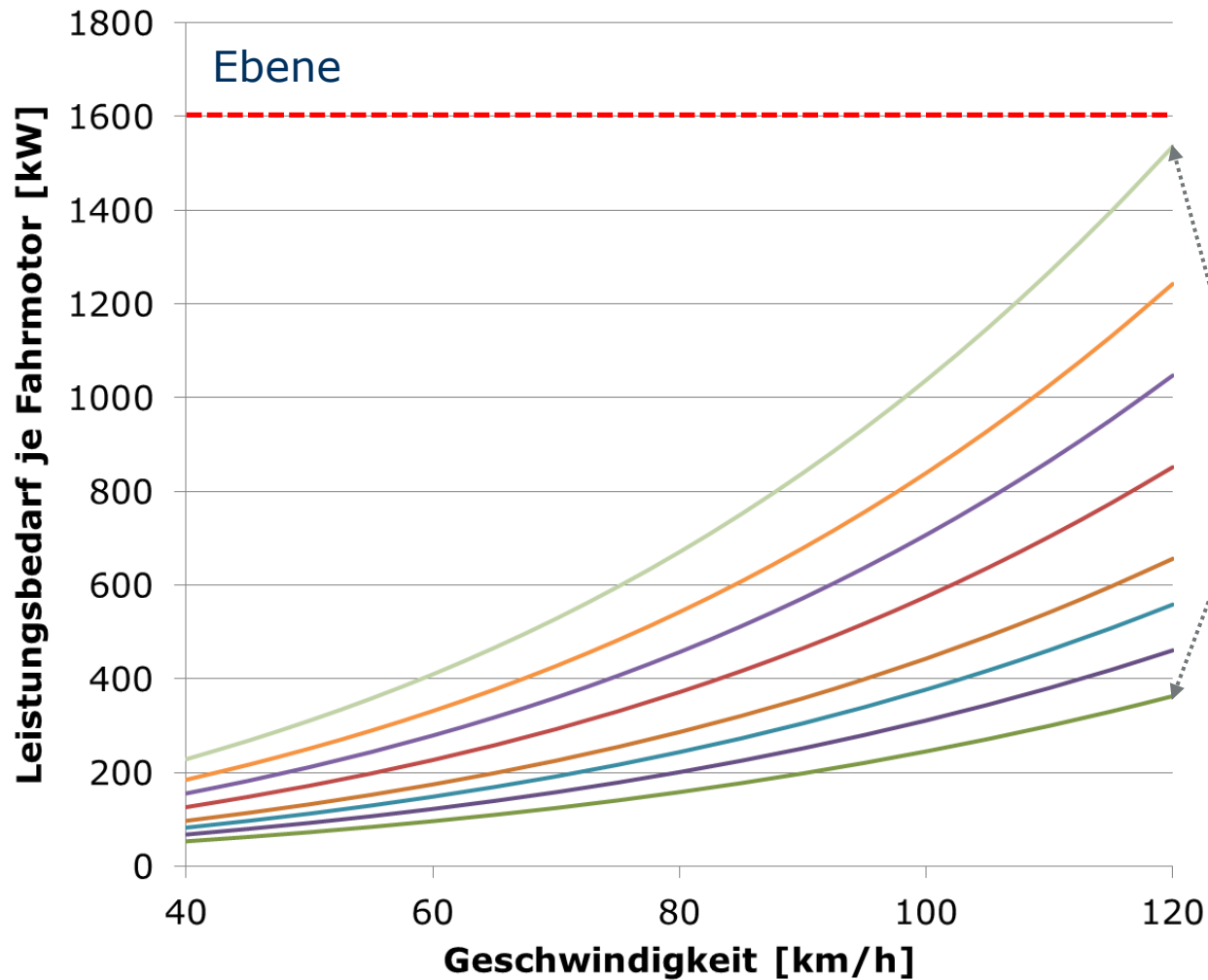
$$P_{DM} = \frac{P_T}{z_{FM} \cdot \eta_{RS}} = \frac{v}{3,6} \left[ \frac{F_{WFT} + f_{WFW} m_W g + (f_{WS} + f_A) \cdot g \cdot (m_T + m_W)}{z_{FM} \cdot \eta_{RS}} \right]$$

$z_{FM}$  – Anzahl der Fahrmotoren (z.B. Bo'Bo' = 4)

$\eta_{RS}$  – Wirkungsgrad des Radsatzantriebes



# Leistungsbedarf (Fahrmotoren) einer elektrischen Bo'Bo'-Lokomotive



Annahmen:  
 - Güterganzzug  
 -  $f_a = 0,0010$   
 - Masse der Lok: 84 t

- $m_W = 600$  t
- $m_W = 800$  t
- $m_W = 1000$  t
- $m_W = 1200$  t
- $m_W = 1600$  t
- $m_W = 2000$  t
- $m_W = 2400$  t
- $m_W = 3000$  t

zum Vergleich:

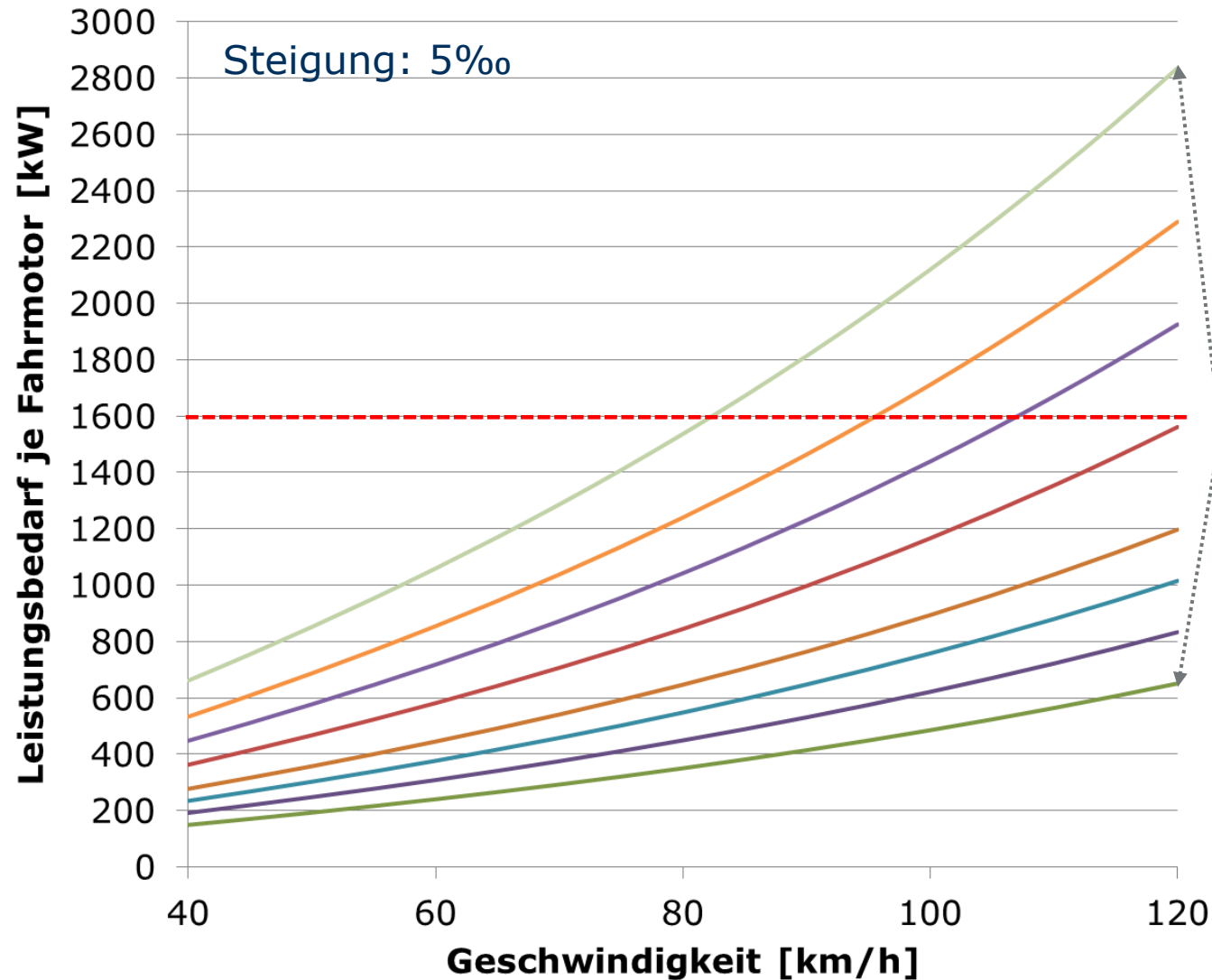


BR 145: 4 x 1050 kW



BR 152: 4 x 1600 kW

# Leistungsbedarf (Fahrmotoren) einer elektrischen Bo'Bo'-Lokomotive



Annahmen:  
 - Güterganzzug  
 -  $f_a = 0,0010$   
 - Masse der Lok: 84 t

- $m_W = 600$  t
- $m_W = 800$  t
- $m_W = 1000$  t
- $m_W = 1200$  t
- $m_W = 1600$  t
- $m_W = 2000$  t
- $m_W = 2400$  t
- $m_W = 3000$  t

zum Vergleich:



BR 145: 4 x 1050 kW



BR 152: 4 x 1600 kW

# Praktisches Beispiel: Fahrzeugausschreibung

## ABSCHNITT II: AUFTRAGSGEGENSTAND

### II.1) **BESCHREIBUNG**

#### II.1.1) **Bezeichnung des Auftrags durch den Auftraggeber:**

Herstellung, Zulassung und Lieferung von Streckendiesellokomotiven.

...

#### II.1.5) **Kurze Beschreibung des Auftrags oder Beschaffungsvorhabens:**

...

Die Lokomotiven müssen folgende Grundanforderungen erfüllen:

- Realisierung des folgenden Zugförderprogramms: 5 Doppelstockwagen (DoSto) mit je 55 t und ein Steuerwagen mit 60 t und  $V_{\max}$  140 km/h in der Ebene mit einem Zugkraftüberschuss von 3N/kN und einer zentralen Energieversorgung (ZEV) von mindestens 300 kVA,
- Streckenklasse C2,
- Antrieb: Dieselmotor mit Abgasnorm Stage IIIB, gegebenenfalls auch Teillieferungen mit Stage IIIA,
- Anfahrzugkraft: mindestens 235 kN. Die Lokomotive muss auch auf 270 kN ausgelegt werden können,
- $V_{\max}$  140 km/h /Option 160 km/h,

...

# Praktisches Beispiel: Fahrzeugausschreibung

It. Ausschreibung: 140 (160) km/h  
 It. Ausschreibung: 5x55t + 60t = 335t  
 It. Ausschreibung: 0 Promille (Ebene)  
 It. Ausschreibung: 3 N/kN  
 It. Ausschreibung: Streckenklasse C2 = 20t/Radsatz

$$P_{DM,T} = \frac{v}{3,6} \left[ \frac{F_{WFT} + f_{WFW} \cdot g \cdot m_W + (f_{WS} + f_a) \cdot g \cdot (m_T + m_W)}{\eta_{Lü} \cdot (1 - \psi)} \right]$$

Schätzung der fehlenden Parameter (Orientierung an Bestandsfahrzeugen):

$$F_{WFT, BR 218} = 2,85 + 3,48 \cdot \left( \frac{v + 15}{100} \right)^2$$

$$F_{WFT, BR 228} = 1,47 + 2,65 \cdot \left( \frac{v + 20}{100} \right)^2$$

$$F_{WFT, ER 20} = 0,965 + 1,472 \cdot \frac{v}{100} + 3,34 \cdot \left( \frac{v}{100} \right)^2$$



$$f_{WFW} = 0,0015 + 0,0028 \cdot \left( \frac{v}{100} \right)^2$$

Gl. nach Strahl, Reisezüge allg.

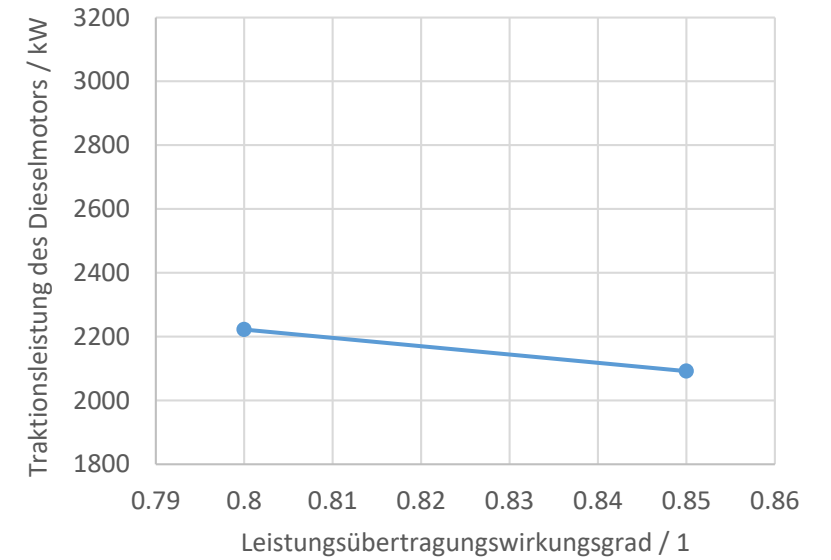
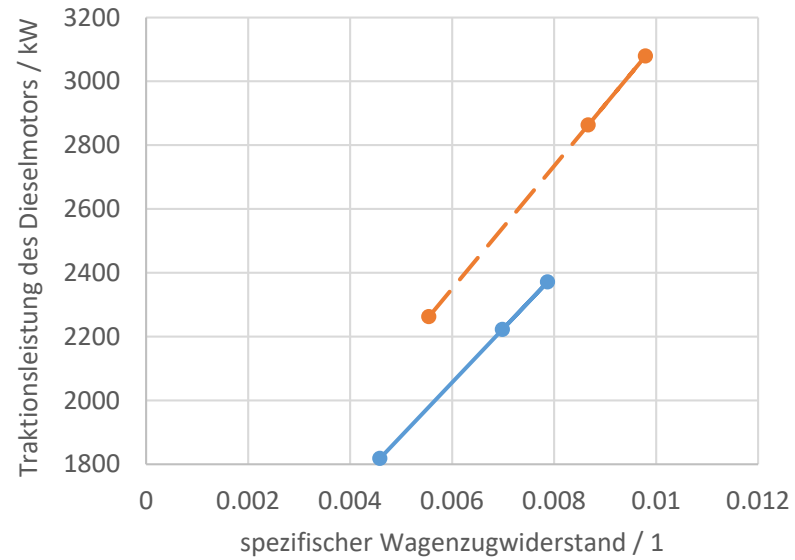
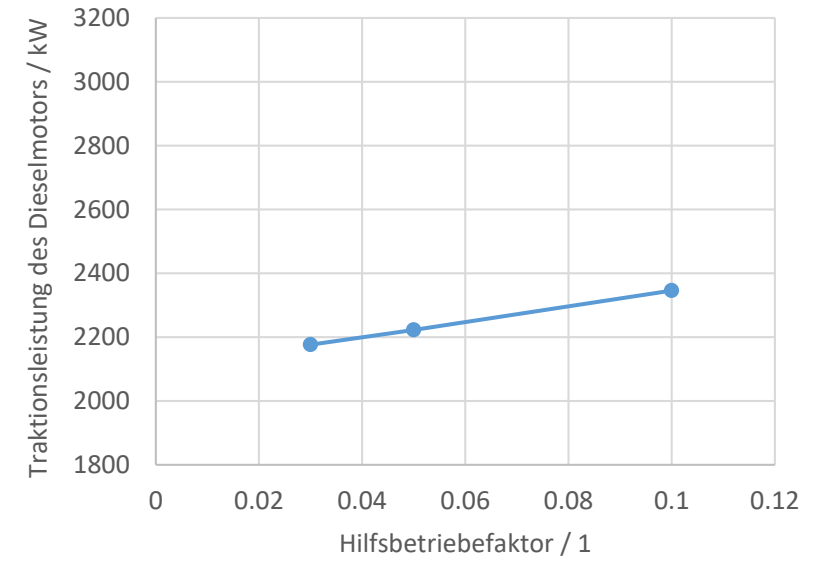
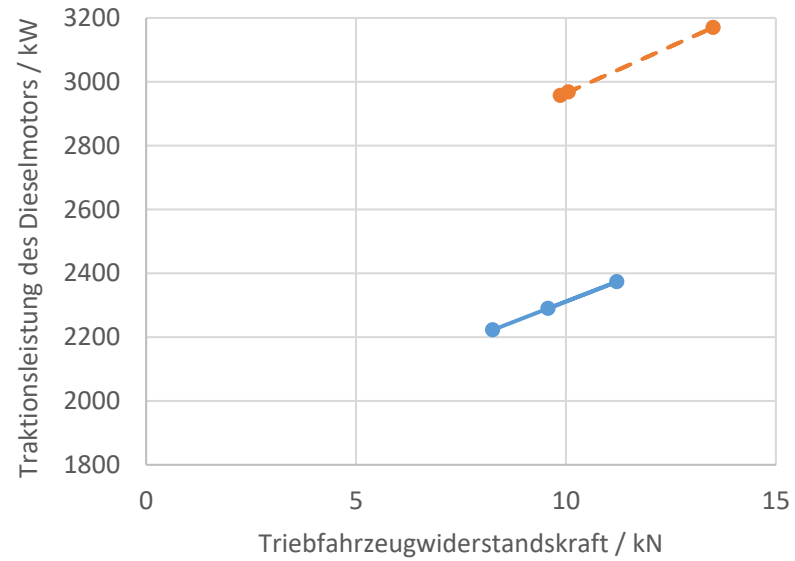
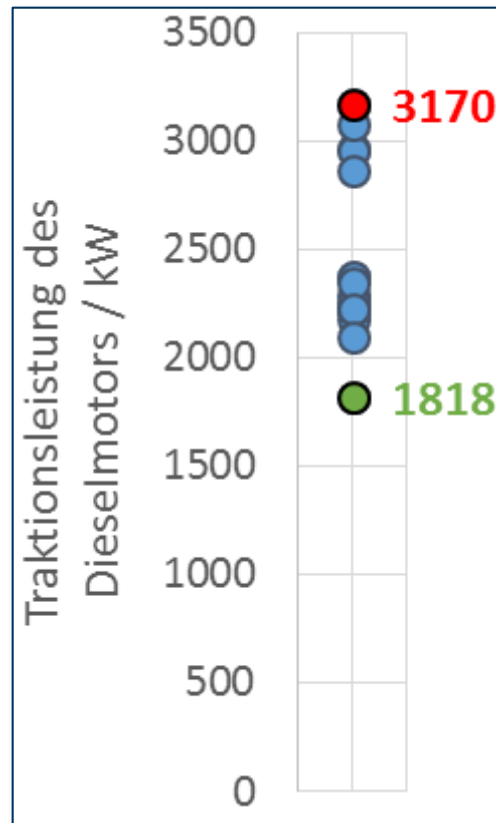
$$f_{WFW} = 0,0016 + 0,0032 \cdot \left( \frac{v}{100} \right)^2$$

Gl. DR, Dosto-Züge

$$f_{WFW} = 0,0010 + 0,0006 \cdot \frac{v}{100} + 0,0014 \cdot \left( \frac{v}{100} \right)^2$$

Messungen Metronom (Diss. R. Schimke)

# Beispiel: Fahrzeugaus- schreibung



# Praktisches Beispiel: Fahrzeugausschreibung

$$P_{DM,T} = \frac{140}{3,6} \left[ \frac{F_{WFT} + f_{WFW} \cdot g \cdot 335t + 0,003 \cdot g \cdot (80t + 335t)}{\eta_{Lü} \cdot (1 - \psi)} \right]$$

Annahme: 0,85  $\nearrow$   $\eta_{Lü} \cdot (1 - \psi)$   $\nwarrow$  Annahme: 0,08

Schätzung der fehlenden Parameter (Orientierung an Bestandsfahrzeugen):

$$F_{WFT, BR 218} = 2,85 + 3,48 \cdot \left( \frac{140 + 15}{100} \right)^2 = 11,2 \text{ kN}$$



$$f_{WFW} = 0,0015 + 0,0028 \cdot \left( \frac{140}{100} \right)^2 = 0,0070$$

Gl. nach Strahl, Reisezüge allg.

$$F_{WFT, BR 228} = 1,47 + 2,65 \cdot \left( \frac{140 + 20}{100} \right)^2 = 8,3 \text{ kN}$$



$$f_{WFW} = 0,0016 + 0,0032 \cdot \left( \frac{140}{100} \right)^2 = 0,0079$$

Gl. DR, Dosto-Züge

$$F_{WFT, ER 20} = 0,965 + 1,472 \cdot \frac{140}{100} + 3,34 \cdot \left( \frac{140}{100} \right)^2 = 9,6 \text{ kN}$$



$$f_{WFW} = 0,0010 + 0,0006 \cdot \frac{140}{100} + 0,0014 \cdot \left( \frac{140}{100} \right)^2$$

Messungen Metronom (Diss. R. Schimke)

$$f_{WFW} = 0,0046$$

# Praktisches Beispiel: Fahrzeugausschreibung

$$P_{DM,T} = \frac{140}{3,6} \left[ \frac{9,6 \text{ kN} + 0,0046 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 335 \text{ t} + 0,003 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (80 \text{ t} + 335 \text{ t})}{0,85 \cdot (1 - 0,08)} \right]$$

$$P_{DM,T} = \frac{140}{3,6} \left[ \frac{9,6 \text{ kN} + 15,11 \text{ kN} + 12,21 \text{ kN}}{0,782} \right]$$

$$P_{DM,T} = 38,8889 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \left[ \frac{9,6 \text{ kN} + 15,11 \text{ kN} + 12,21 \text{ kN}}{0,782} \right]$$

$$P_{DM,T} = 1836 \text{ kW}$$

$$P_{DM} = P_{DM,T} + P_{ZSS} = 1836 \text{ kW} + 300 \text{ kW}$$

$$P_{DM} = 2136 \text{ kW}$$

# Hilfs- und Nebenbetriebe

## Hilfsbetriebe =

Aggregate, die der Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit der Traktions-, Brems-, Leit- und Sicherungsausrüstung dienen

### Beispiele:

Luftpresser

Kühlerlüfter

Trafoölpumpe

Fahrmotorlüfter

Kraftstoffpumpe

Kühlwasserpumpe



## Hilfsleistungsfaktor $\Psi$

in % der DM-Nennleistung

## Nebenbetriebe =

Aggregate, die dem Komfort und der Information von Reisenden und Personal dienen

### Beispiele:

Klimaanlage:

ca. 6-16 kW / Wagen

Bordbistro - ICE-T:

10 kVA

Beleuchtung – ICE 1:

2 kW/Wagen

---

### Versorgung über Zugsammelschiene:

ICE 1: 500 kVA

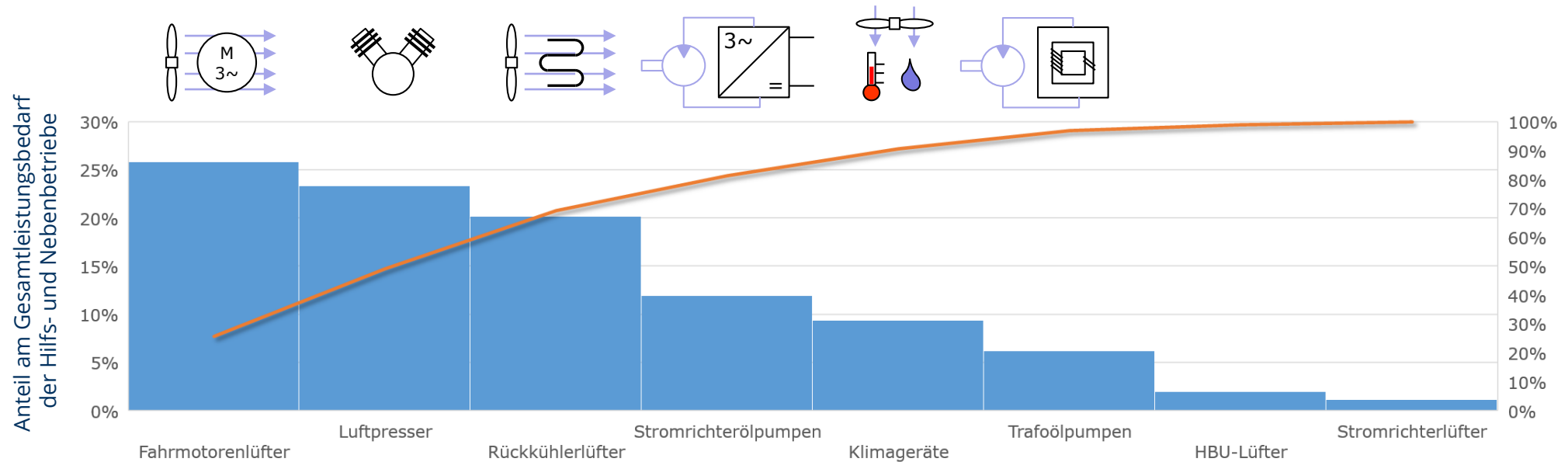
ICE-T: 4 x 250 kVA



Angabe als Pauschalleistung  
je Wagen oder Radsatz

# Hilfsbetriebe: Bsp. BR 145

Fahrmotorlüfter (4 Stck.):	30,8 kVA
Rückkühlerlüfter für Trafoöl (2 Stck.):	24,0 kVA
Trafoölpumpen (2 Stck.):	7,4 kVA
Stromrichterölpumpen (2. Stck.):	14,2 kVA
Stromrichterlüfter:	1,4 kVA
Hilfsbetriebeumrichterlüfter:	2,4 kVA
Luftpresser:	27,8 kVA
Klimageräte	11,2 kVA



Summierte Anteile am Gesamtleistungsbedarf der Hilfs- und Nebenbetriebe

# Komfortleistungsbedarf von Reisezügen

## Einstöckige Wagenparks

Altbau (nicht klimatisiert)



Leistungsbedarf Zugsammelschiene:  
**30 kVA/Wagen**

ca. 90...180 kW / Zug

Neubau (klimatisiert)



Leistungsbedarf Zugsammelschiene:  
**52 kVA/Wagen**

ca. 200...300 kW / Zug

## Doppelstock (klimatisiert)



Leistungsbedarf Zugsammelschiene:  
**67 kVA/Wagen**

ca. 200...400 kW / Zug