

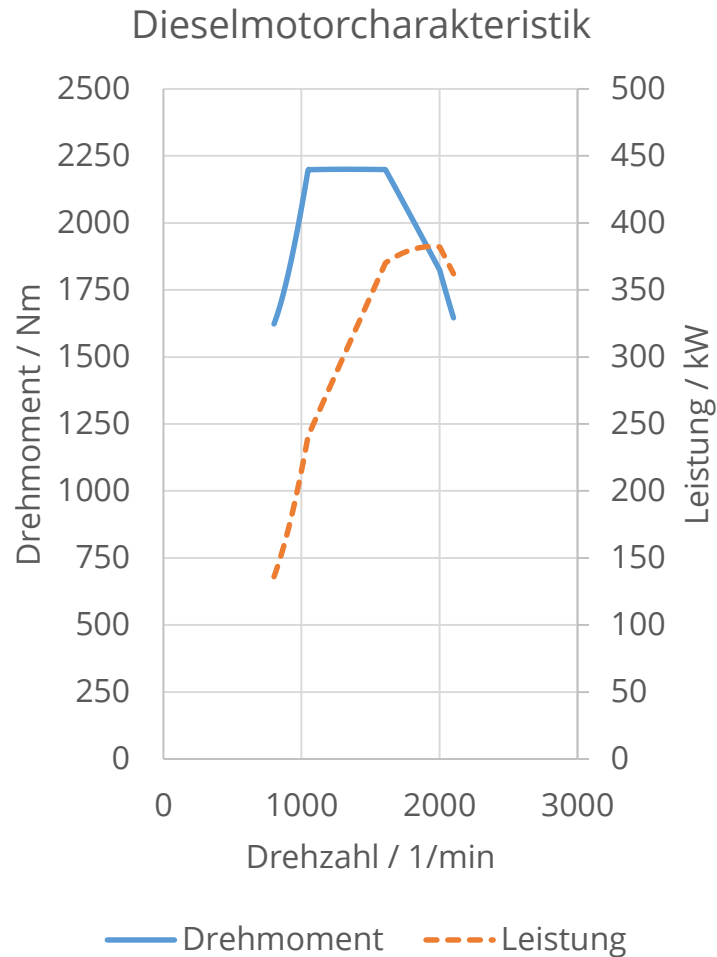
Inhalte

Vorlesung Triebfahrzeugtechnik (Antriebskonfigurationen)

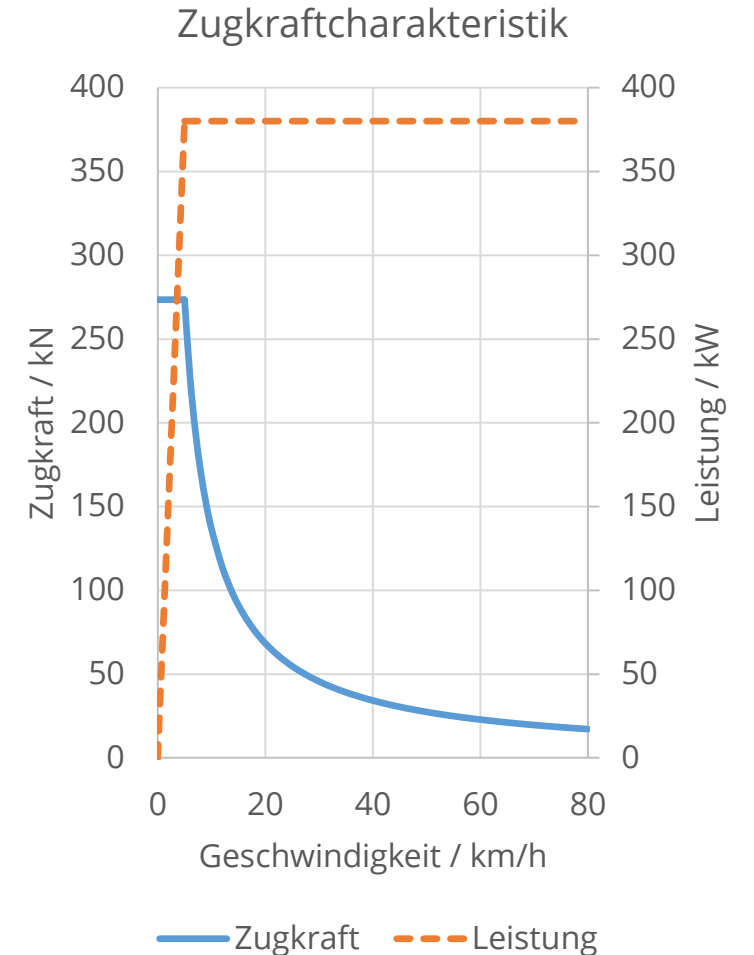
7. Leistungsauslegung von Triebfahrzeugen
8. Dieselmotor und andere Verbrennungskraftmaschinen
- 9. Leistungsübertragungsanlagen**
10. Hilfs- und Nebenbetriebe
11. Leittechnik (Überblick)
12. Fallstudien unkonventionelle Triebfahrzeuge

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.0.1 Aufgaben der Leistungsübertragung (Wiederholung)

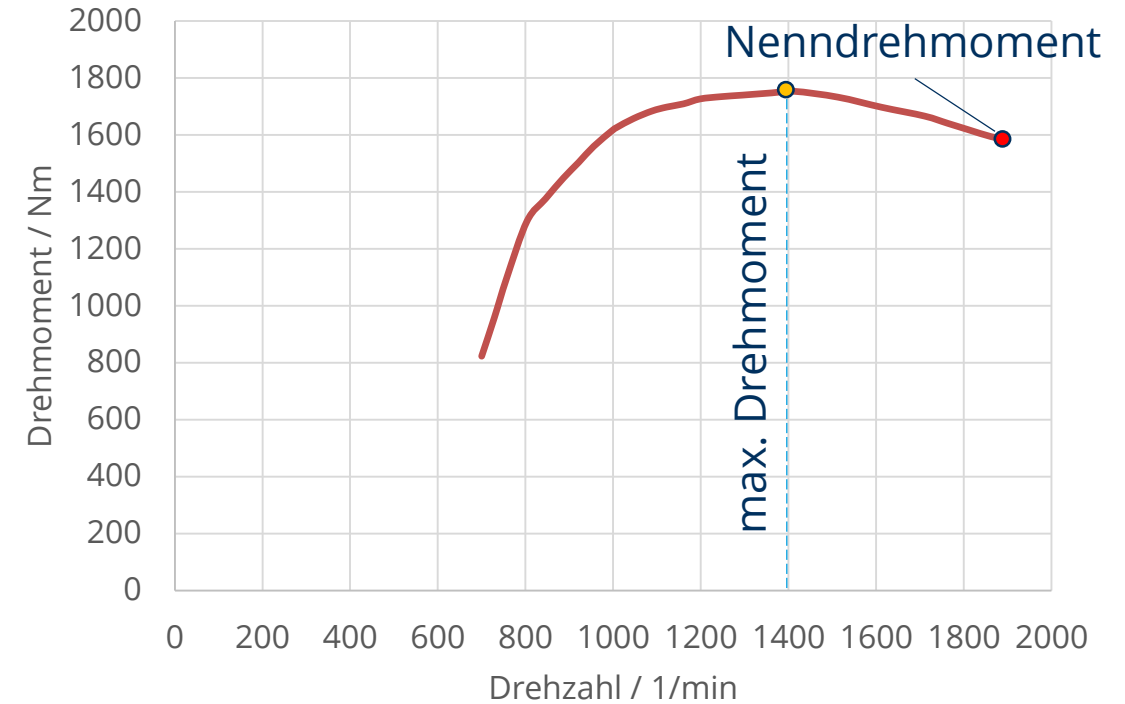
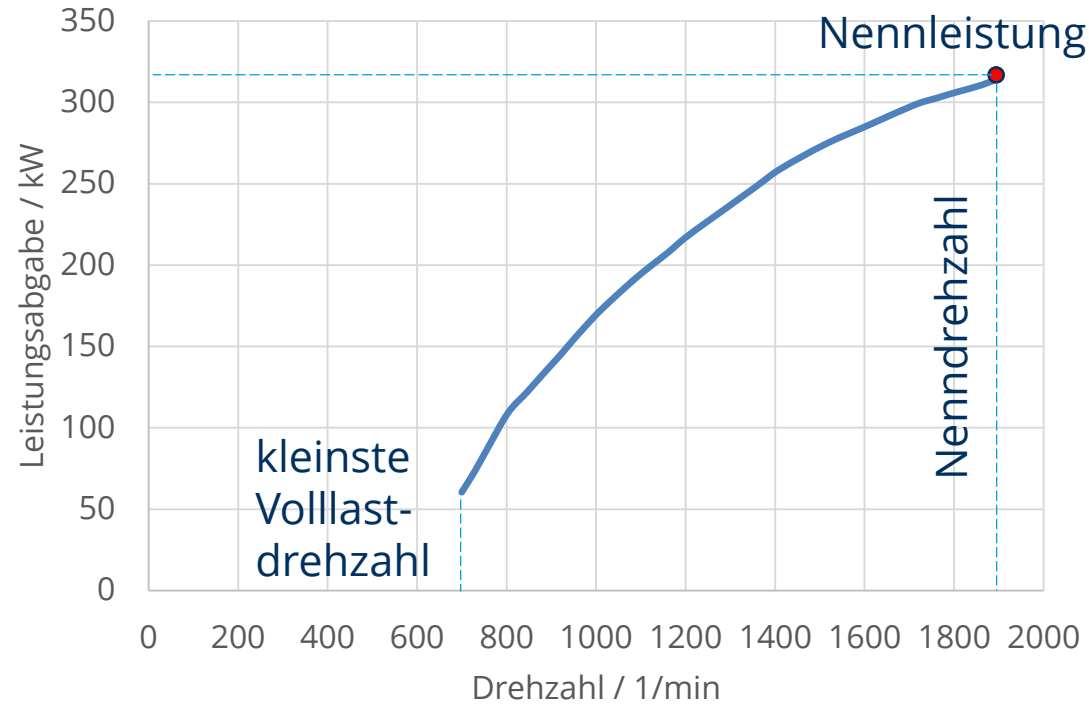


- Überbrückung der Drehzahllücke
- Wandlung des Drehmomentes
- Anpassung des Drehzahlbereiches
- Gewährleistung der Drehrichtungsumkehr bzw. Fahrtrichtungsumkehr
- Ausnutzung günstiger DM-Betriebspunkte
- Realisierung einer Leistungskonstanz an den Treibrädern



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.0.2 Leistungsverhalten Dieselmotor



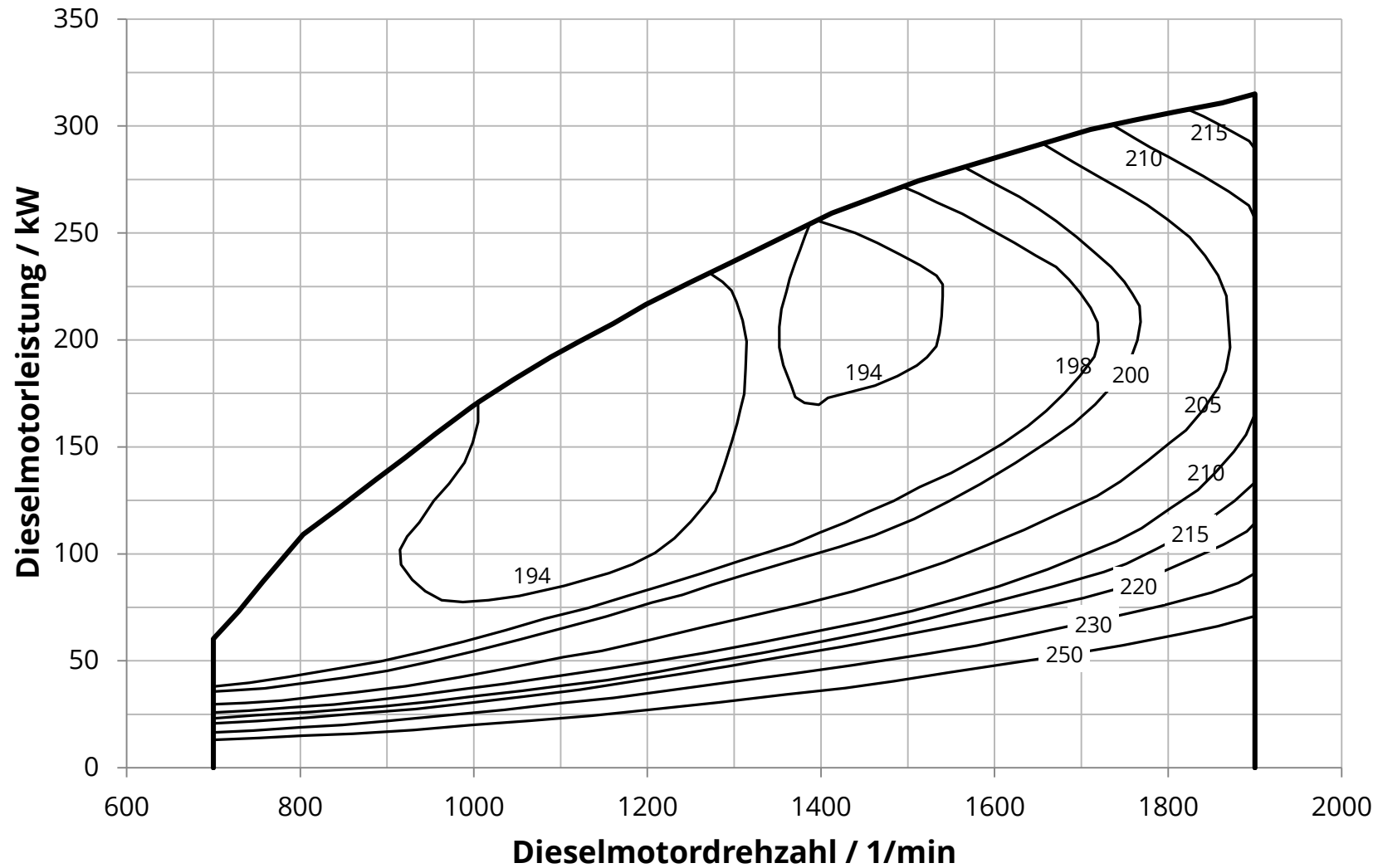
„Leistungsbereich“

$$P_{DM} = M_{DM} \omega_{DM} = M_{DM} \cdot 2\pi \cdot n_{DM}$$

„Drehmomentbereich“

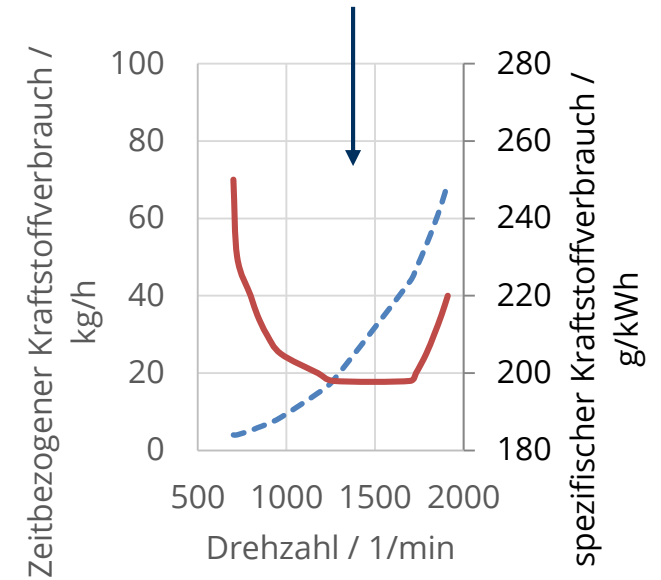
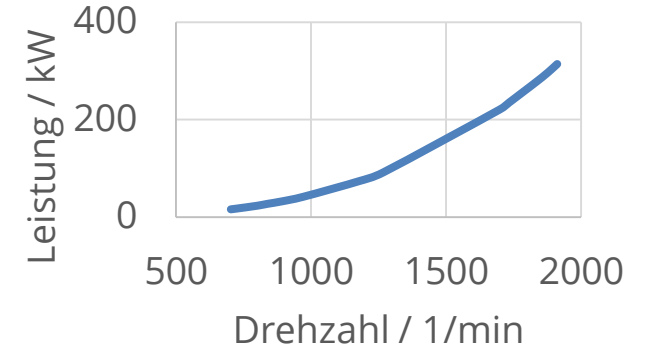
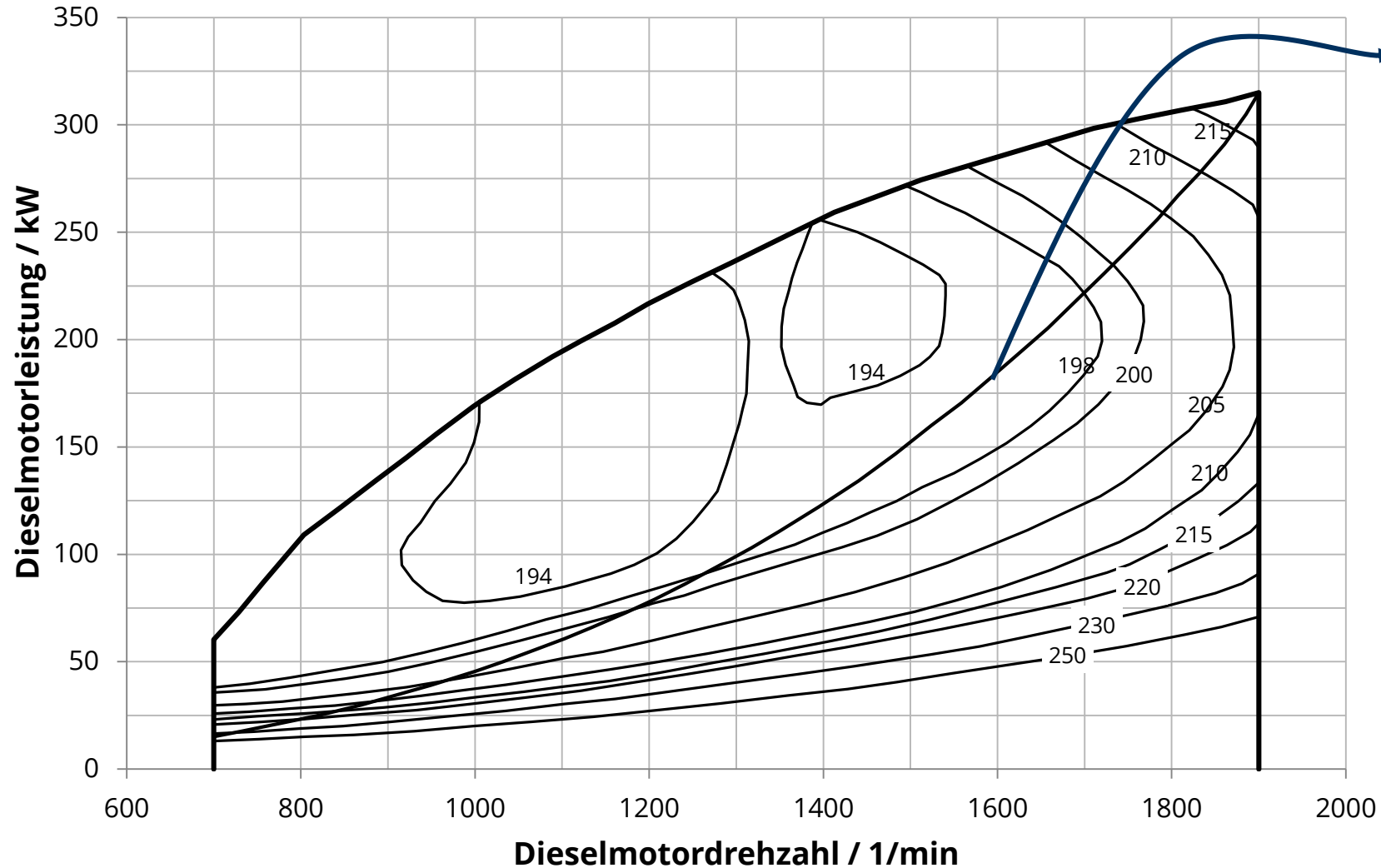
9. Leistungsübertragungsanlagen

9.0.2 Leistungsverhalten Dieselmotor (Wiederholung)



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.0.2 Leistungsverhalten Dieselmotor (Wiederholung)



- zeitbezogener Verbrauch
- spezifischer Verbrauch

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.0.3 Bauarten der Leistungsübertragung von Dieseltriebfahrzeugen

mechanisch



hydrodynamisch



hydromechanisch



elektrisch (AC-DC)



hydrostatisch



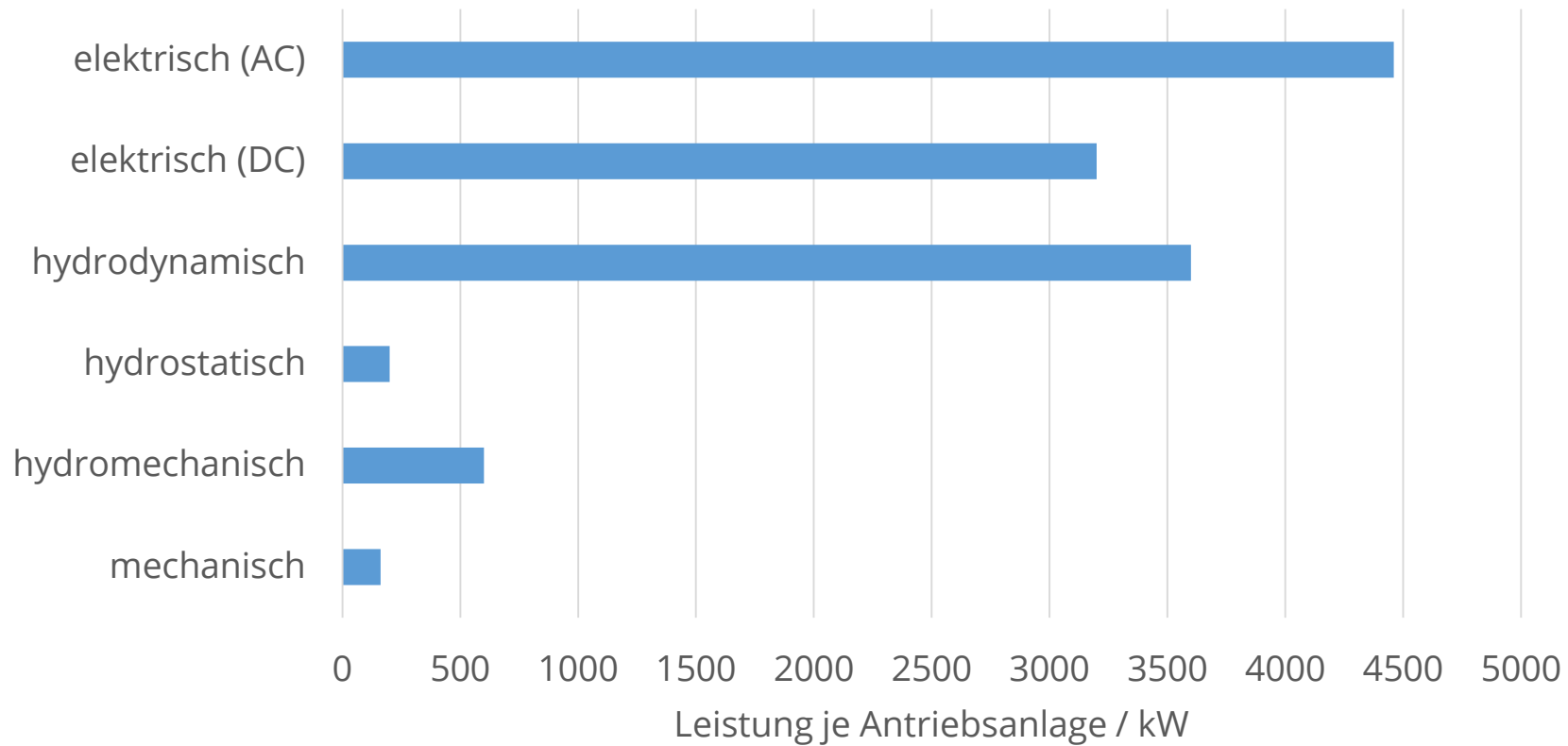
elektrisch (AC-AC)



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.0.3 Bauarten der Leistungsübertragung von Dieseltriebfahrzeugen

Leistungsgrenzen verschiedener Leistungsübertragungsarten
(Richtwerte)



Inhalte

Vorlesung Triebfahrzeugtechnik (Antriebskonfigurationen)

7. Leistungsauslegung von Triebfahrzeugen
8. Dieselmotor und andere Verbrennungskraftmaschinen
9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1 Mechanische Leistungsübertragung

10. Hilfs- und Nebenbetriebe
11. Leittechnik (Überblick)
12. Fallstudien unkonventionelle Triebfahrzeuge

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.1 Elemente mechanischer Leistungsübertragungsanlagen

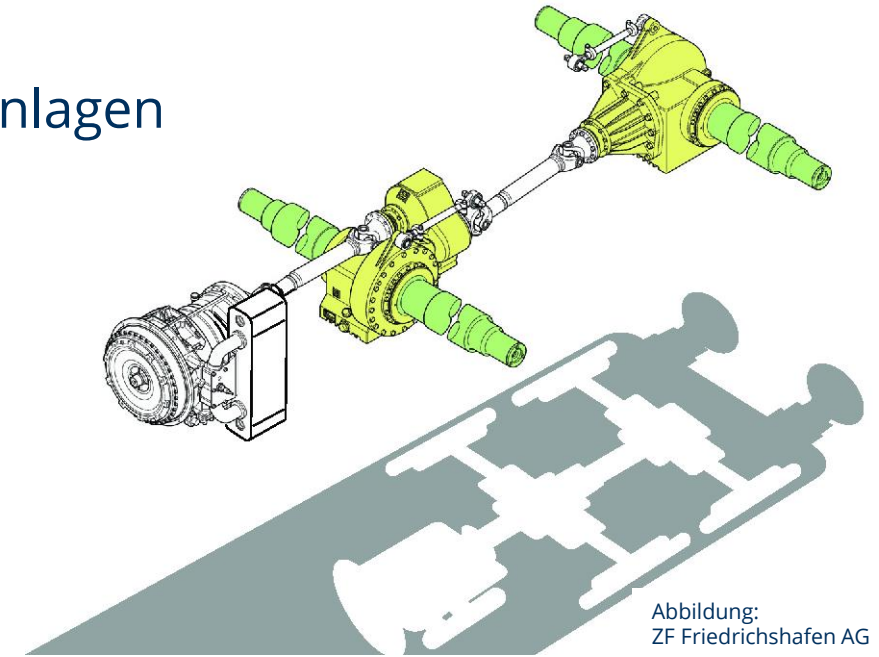


Abbildung:
ZF Friedrichshafen AG

(Schalt-)Kupplungen

(Last-)Schaltgetriebe

Blindwellen

Gelenkwellen

**mechanischer
Antriebstrang**

Kettenantriebe

Wendegetriebe

Radsatzgetriebe

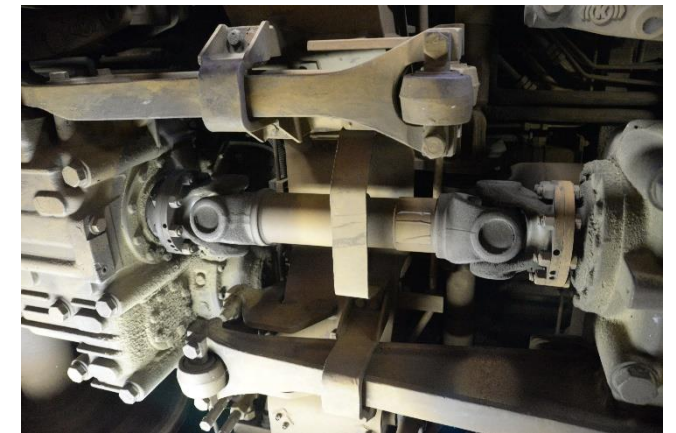
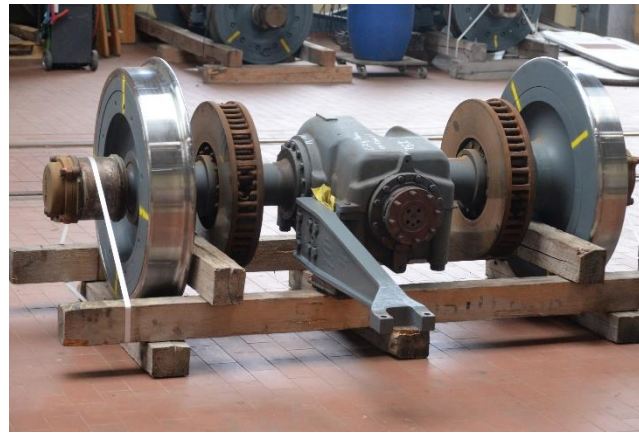
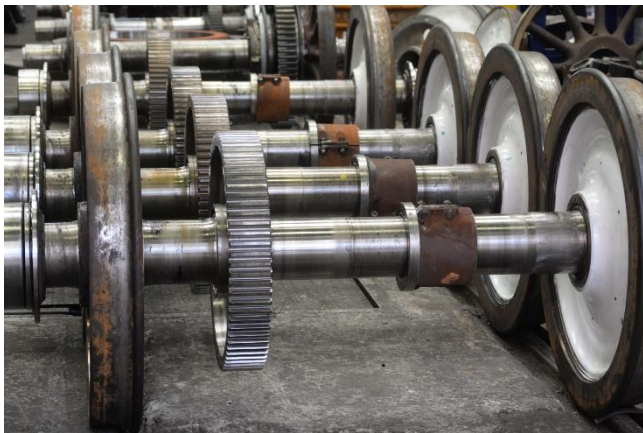
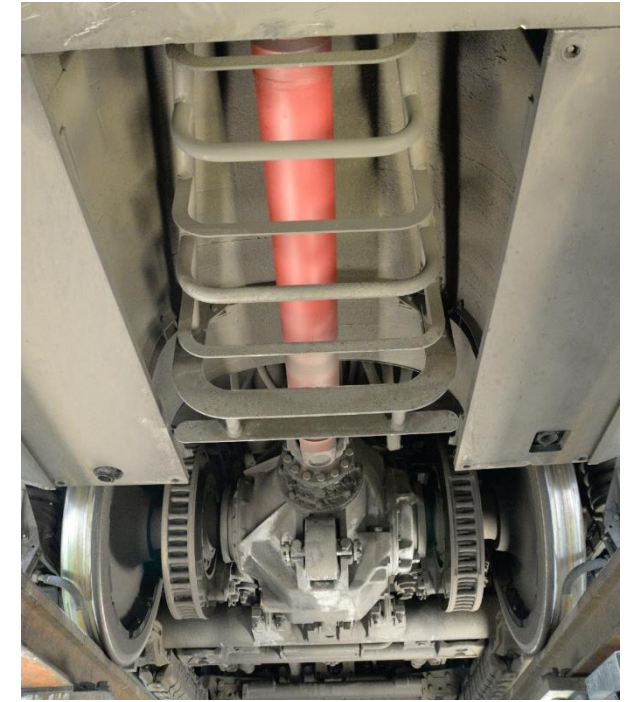
Treibstangen

Radsätze

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1 Mechanische Leistungsübertragung

Elemente mechanischer Leistungsübertragungseinrichtungen



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.2 Allgemeine Anforderungen an Schienenfahrzeugantriebe

- niedrige Masse
- geringer Bauraum
- hoher Übertragungswirkungsgrad
- kraftstoffsparend / energiesparend
- niedrige Geräuschentwicklung
- Gewährleistung einer Relativbewegung der Treibradsätze bezüglich des Fahrzeuges/Fahrwerkes
- „Bahnfestigkeit“ (Stöße, Beschleunigungen)
- thermisch und mechanisch robust
- hohe Verfügbarkeit
- Wartungsarmut
 - hohe Dichtheit (Ölverlust < 10%/100.000 km)
 - lange Revisionsintervalle (> 2 Mio. km)
- niedrige Anschaffungs- und Lebenszykluskosten
- Langlebigkeit (langfristige Ersatzteilversorgung)

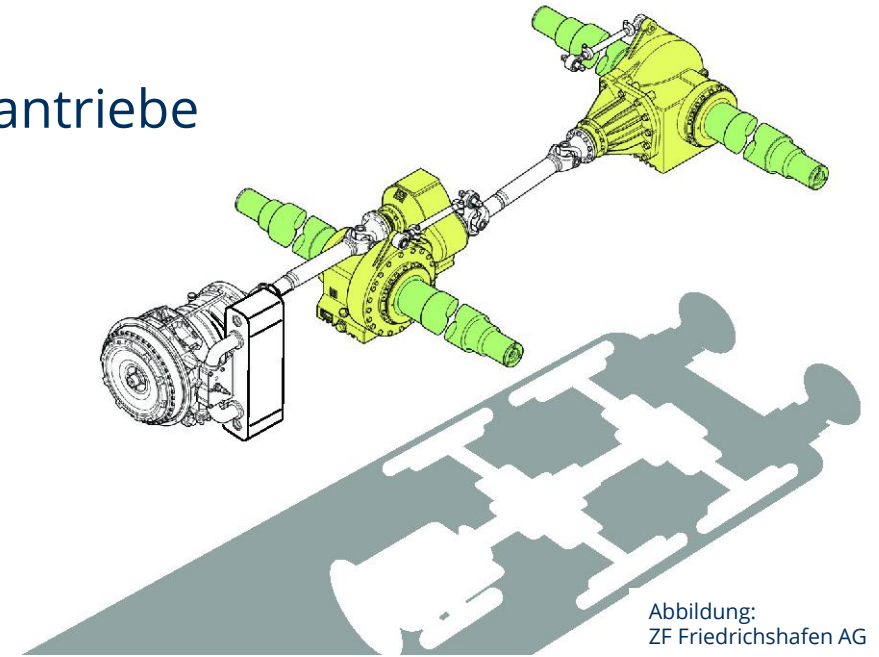


Abbildung:
ZF Friedrichshafen AG

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.3 Struktur Mechanischer Leistungsübertragungen

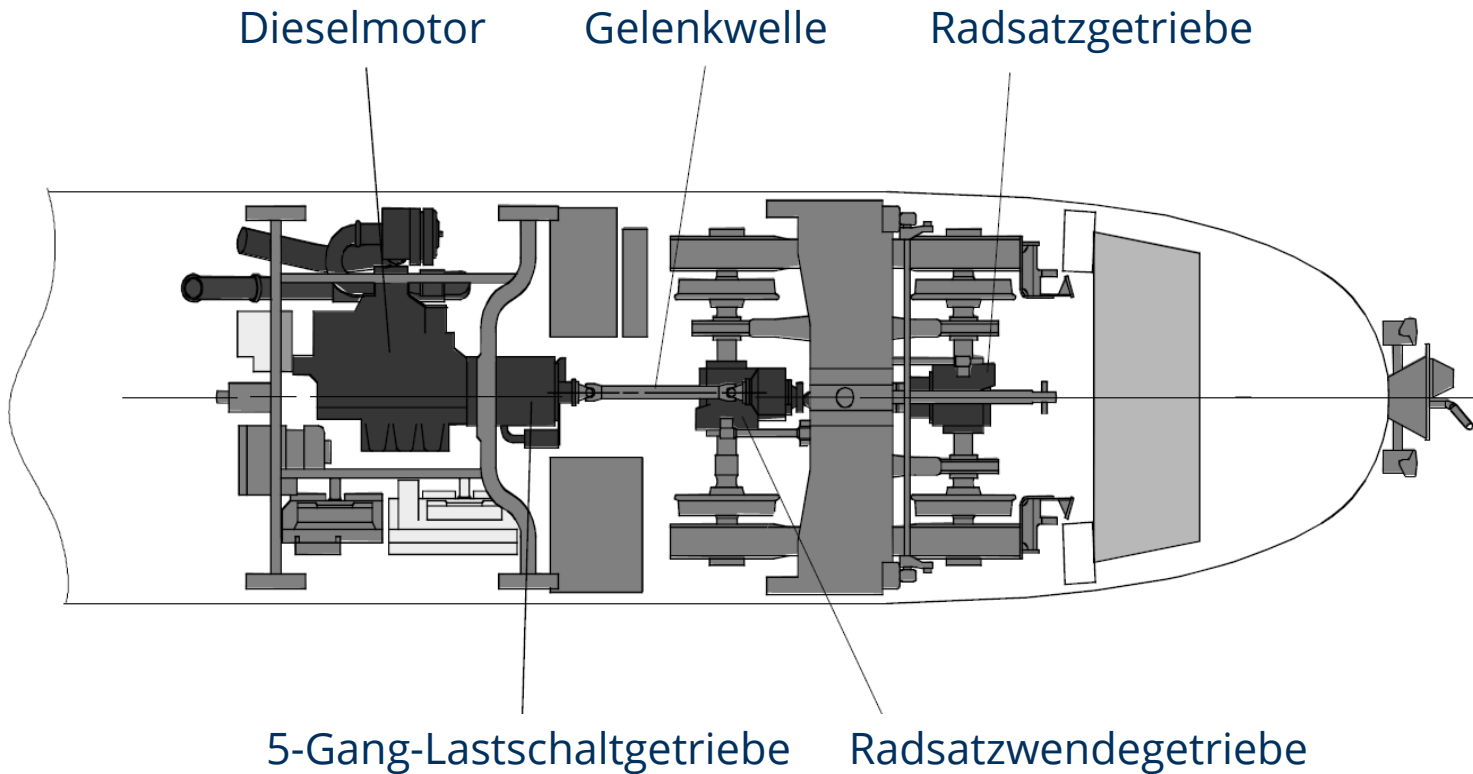
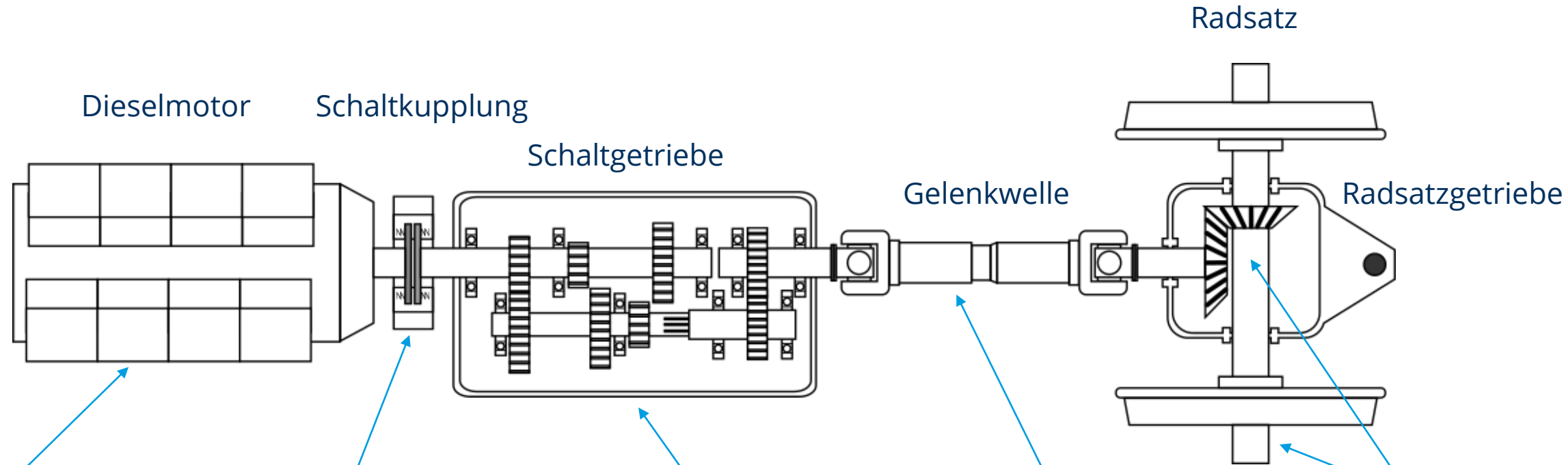


Abbildung: Deutsche Bahn / Siemens

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.3 Struktur Mechanischer Leistungsübertragungen



Energiewandlung /
Leistungsquelle

Trennung von An- und
Abtrieb /
Anfahrmöglichkeit

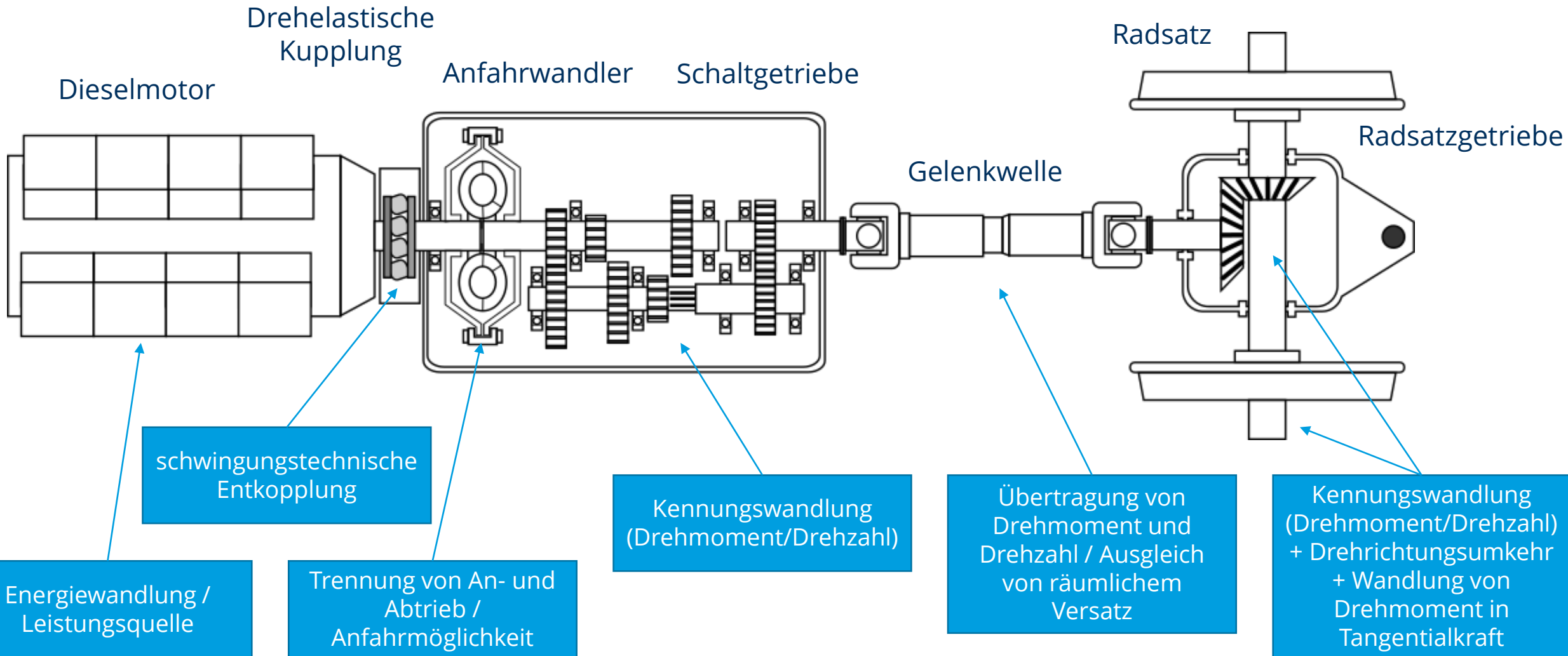
Kennungswandlung
(Drehmoment/Drehzahl)

Übertragung von
Drehmoment und
Drehzahl / Ausgleich
von räumlichem
Versatz

Kennungswandlung
(Drehmoment/Drehzahl)
+ Drehrichtungsumkehr
+ Wandlung von
Drehmoment in
Tangentialkraft

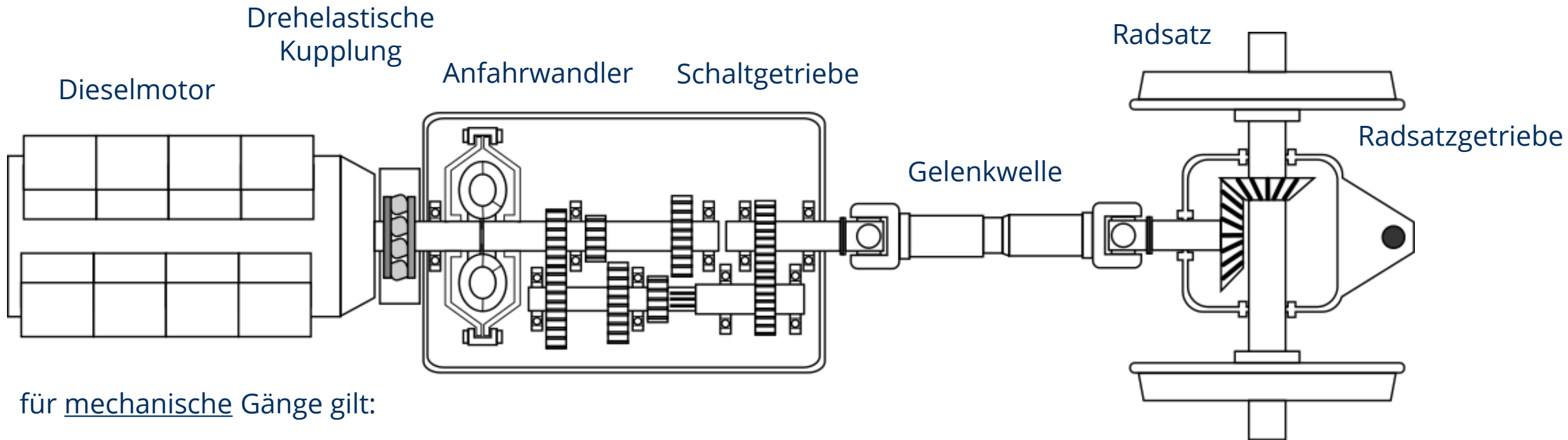
9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.3 Struktur Hydromechanischer Leistungsübertragungen



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.4 Hydromechanische Leistungsübertragung – Systemverhalten



für mechanische Gänge gilt:

$$M_{DM,T} = \frac{P_{DM,T}}{2\pi \cdot n_{DM}}$$

$$n_{DM} = \frac{P_{DM,T}}{2\pi \cdot M_{DM,T}}$$

$$n_{SG,ab} = \frac{n_{DM}}{i_{SG,j}}$$

$$M_{SG,ab} = M_{DM,T} \cdot i_{SG,j} \cdot \eta_{SG}$$

$$n_{GW,ab} = n_{GW,an} = n_{SG,ab}$$

$$M_{GW,ab} = M_{SG,ab} \cdot \eta_{GW}$$

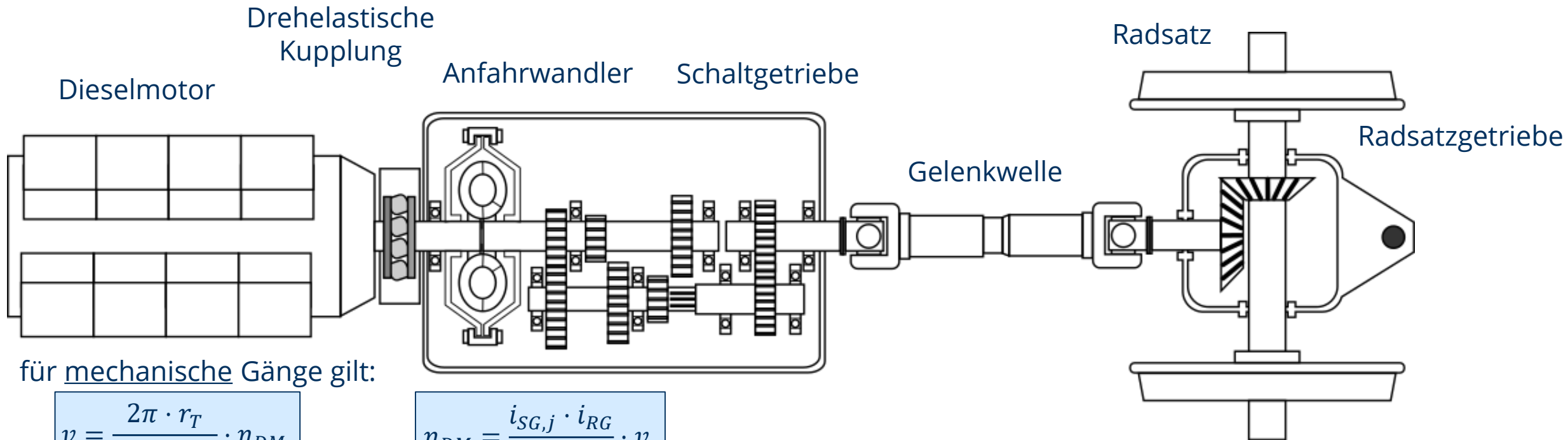
$$n_{RS} = \frac{n_{GW,ab}}{i_{RG}}$$

$$M_{RS} = M_{GW,ab} \cdot i_{RG} \cdot \eta_{RG}$$

$$v = 2\pi \cdot n_{RS} \cdot r_T \quad F_T = \frac{M_{RS}}{r_T}$$

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.4 Hydromechanische Leistungsübertragung – Systemverhalten



für mechanische Gänge gilt:

$$v = \frac{2\pi \cdot r_T}{i_{SG,j} \cdot i_{RG}} \cdot n_{DM}$$

v in m/s, r_T in m, n_{DM} in 1/s

$$n_{DM} = \frac{i_{SG,j} \cdot i_{RG}}{2\pi \cdot r_T} \cdot v$$

$$v = \frac{3\pi \cdot r_T}{25 \cdot i_{SG,j} \cdot i_{RG}} \cdot n_{DM}$$

v in km/h, r_T in m, n_{DM} in 1/min

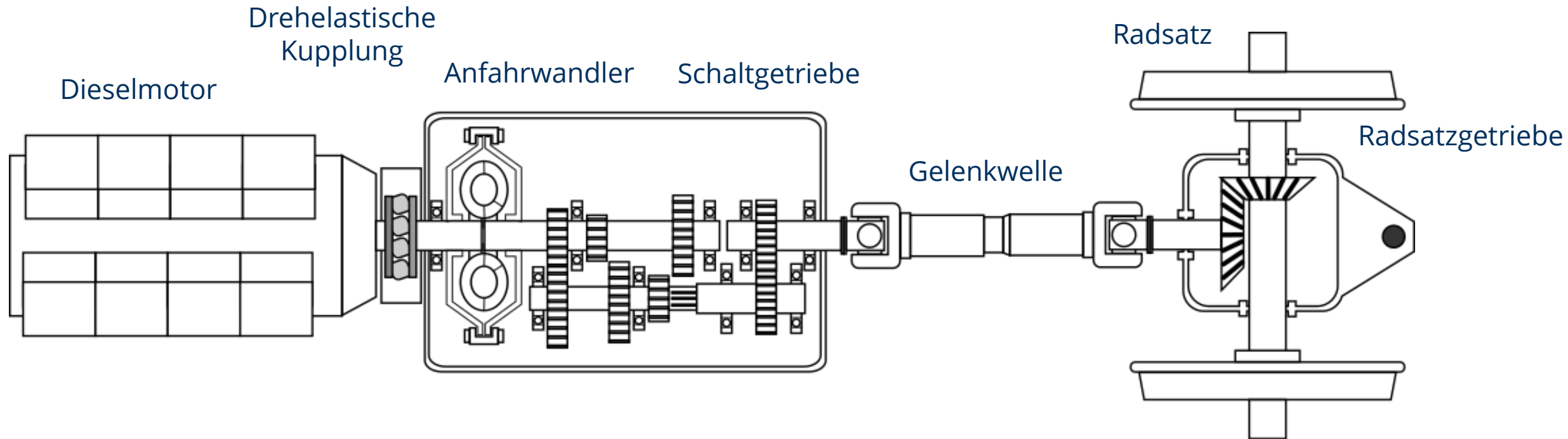
$$n_{DM} = \frac{25 \cdot i_{SG,j} \cdot i_{RG}}{3\pi \cdot r_T} \cdot v$$

$$F_T = \frac{1}{r_T} \cdot \eta_{SG} \eta_{RG} \cdot i_{SG} i_{RG} \cdot M_{DM} \cdot (1 - \psi)$$

$$M_{DM} = \frac{F_T \cdot r_T}{\eta_{SG} \eta_{RG} \cdot i_{SG} i_{RG} \cdot (1 - \psi)}$$

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.4 Hydromechanische Leistungsübertragung – typische Drehzahlen



$$i_{SG} = 0,6...3,4$$

$$i_{RG} = 2,2...3,3$$

$$n_{DM} = 1100...2000 \text{ 1/min}$$

$$n_{an} = 1100...2000 \text{ 1/min}$$

$$n_{GW} = 0...3300 \text{ 1/min}$$

$$n_{an} = 0...3300 \text{ 1/min}$$

$$n_{ab} = 0...3300 \text{ 1/min}$$

$$n_{ab} = 0...1200 \text{ 1/min}$$

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.5 Radsatzwendegetriebe (ausgeführte Beispiele)



Siemens Desiro classic
BR 642

$$i_{RG} = 2,230$$



Stadler Regioshuttle
BR 651

$$i_{RG} = 3,30$$



Integral S5D95

$$i_{RG} = 2,714$$



Alstom LinT 54/81
BR 620/622

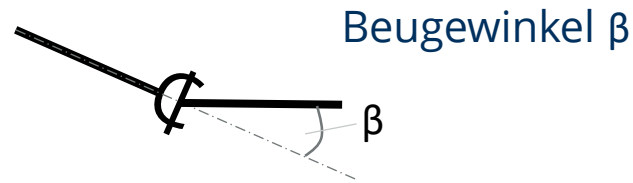
$$i_{RG} = 2,365$$

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.6 Gelenkwellen



Räumliche Anordnung beachten!



Beugewinkel in xy- und xz-Ebene zu resultierendem Beugewinkel zusammenfassen:

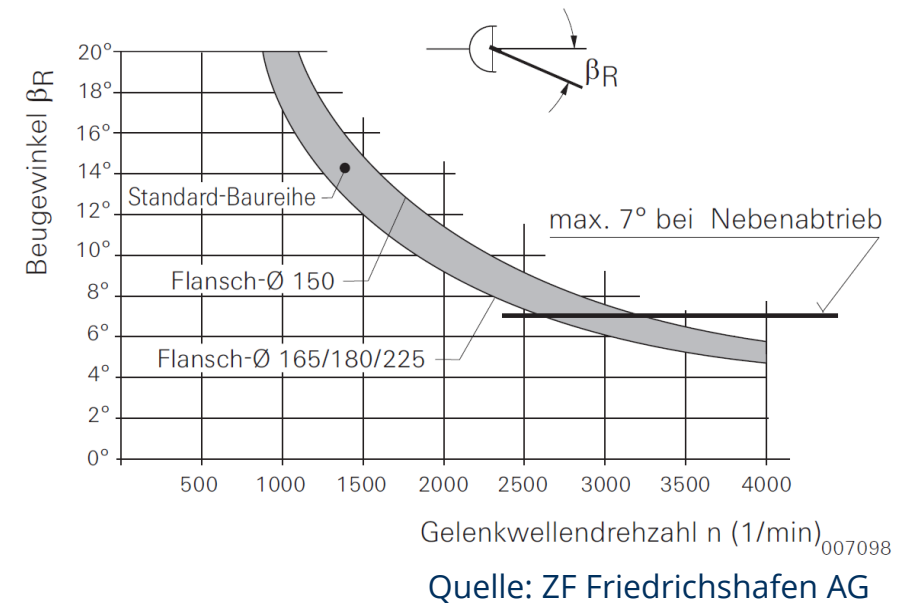
$$\tan \beta_R = \sqrt{\tan^2 \beta_{xy} + \tan^2 \beta_{xz}}$$

Verkettung von Gelenkwellen:

Ersatzbeugewinkel bestimmen

$$\beta_E = \sqrt{|\pm \beta_{R1}^2 \pm \beta_{R2}^2 \pm \dots \pm \beta_{Rn}^2|}$$

zulässige resultierende Beugewinkel:



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.6 Gelenkwellen



Quelle: ZF Friedrichshafen AG

Räumliche Anordnung beachten!

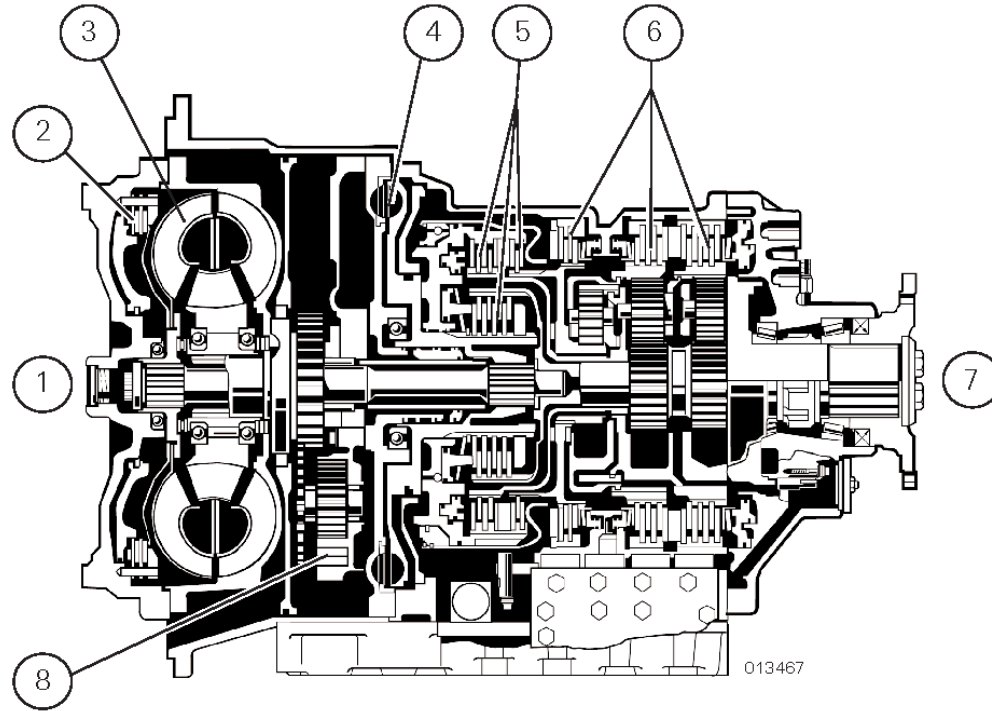
	Z-Anordnung	W-Anordnung	Winkelfehler $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$	Ersatzbeugewinkel $\beta_E = \sqrt{ \beta_1^2 + \beta_2^2 }$
Beispiel 1 (exakte Z- bzw. W- Anordnung)			0°	0°
Beispiel 2 (kleine Beugewinkel mit Winkel- fehler)			1°	3°
Beispiel 3 (große Beugewinkel mit Winkel- fehler)			1°	5,4° Grenzwert: $\beta_E < 3^\circ$

021848

9. Leistungsübertragungsanlagen

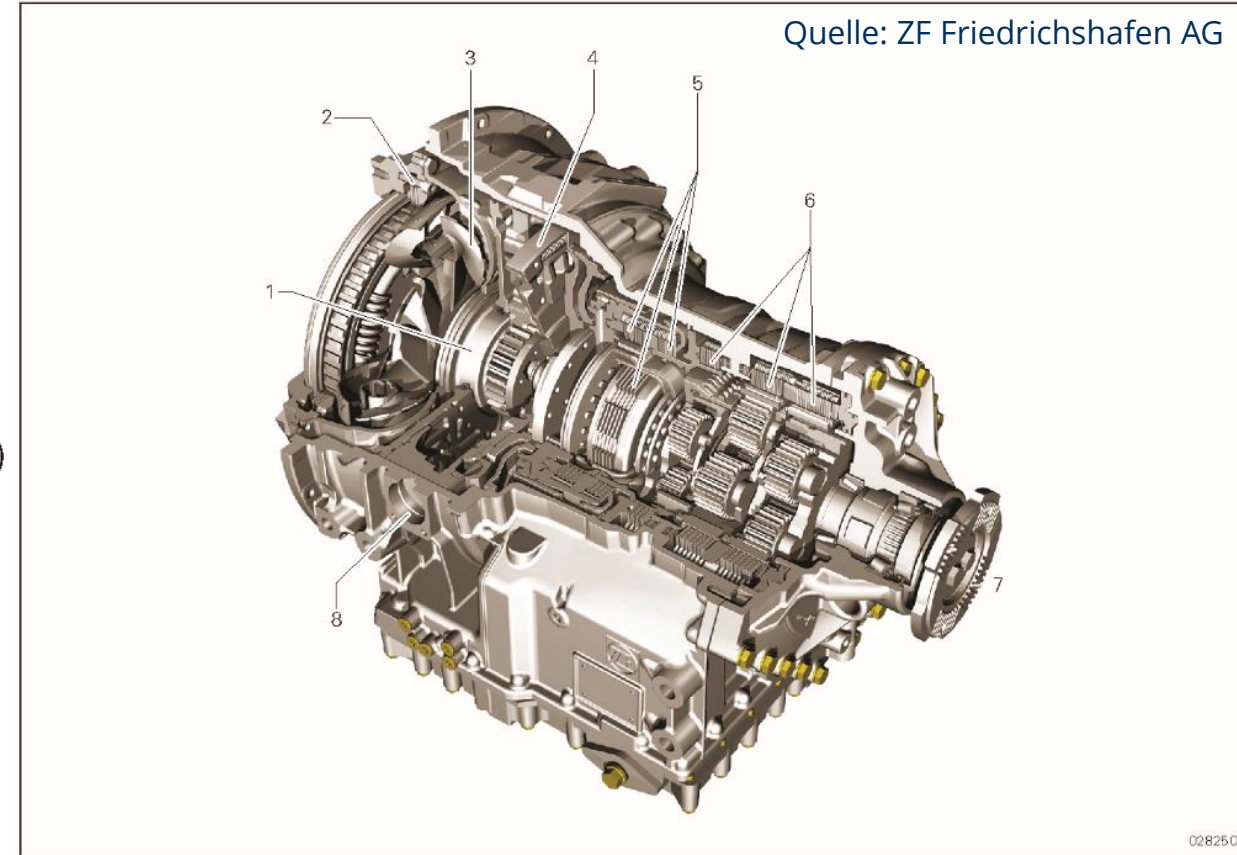
ZF-Automatgetriebe ZF-Ecomat

9.1.7 Hydromechanische Getriebe



- | | |
|--------------------------------------|------------------------|
| 1 Antrieb | 5 Kupplungen (A, B, C) |
| 2 Wandler-Überbrückungskupplung (ÜK) | 6 Bremsen (D, E, F) |
| 3 Drehmomentwandler | 7 Abtrieb |
| 4 Retarder | 8 Ölpumpe |

Quelle: ZF Friedrichshafen AG



Quelle: ZF Friedrichshafen AG

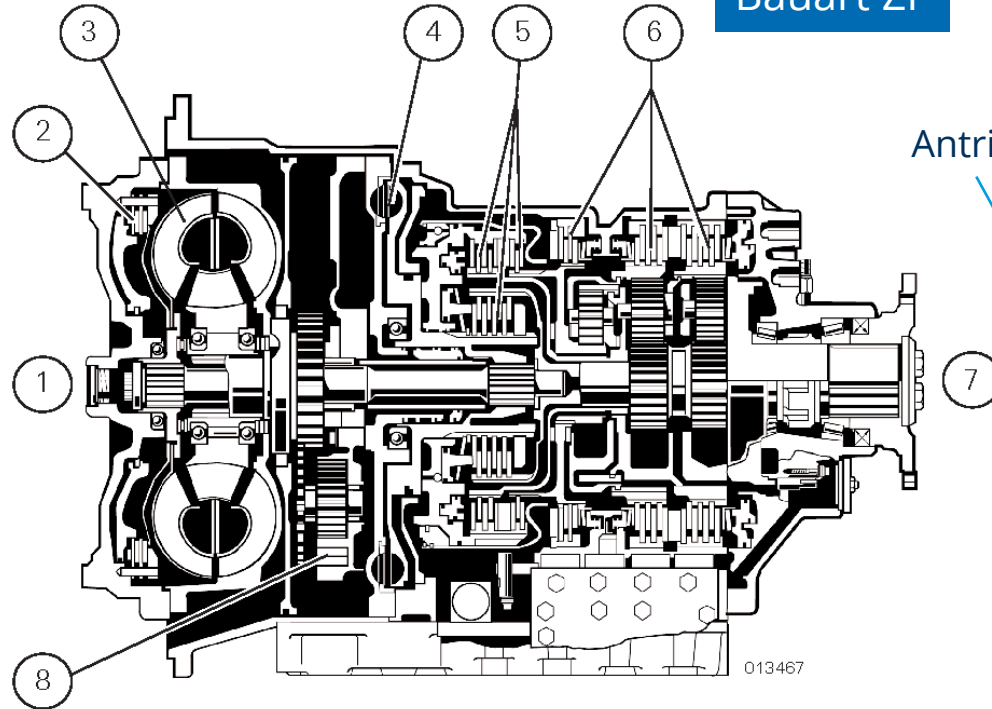
Zeichnungserklärung

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1 Antrieb | 5 Kupplungen (A, B, C) |
| 2 Torsionsdämpfer (TD) | 6 Bremsen (D, E, F) |
| 3 Wandler | 7 Abtrieb |
| 4 Retarder | 8 Ölpumpe |

9. Leistungsübertragungsanlagen

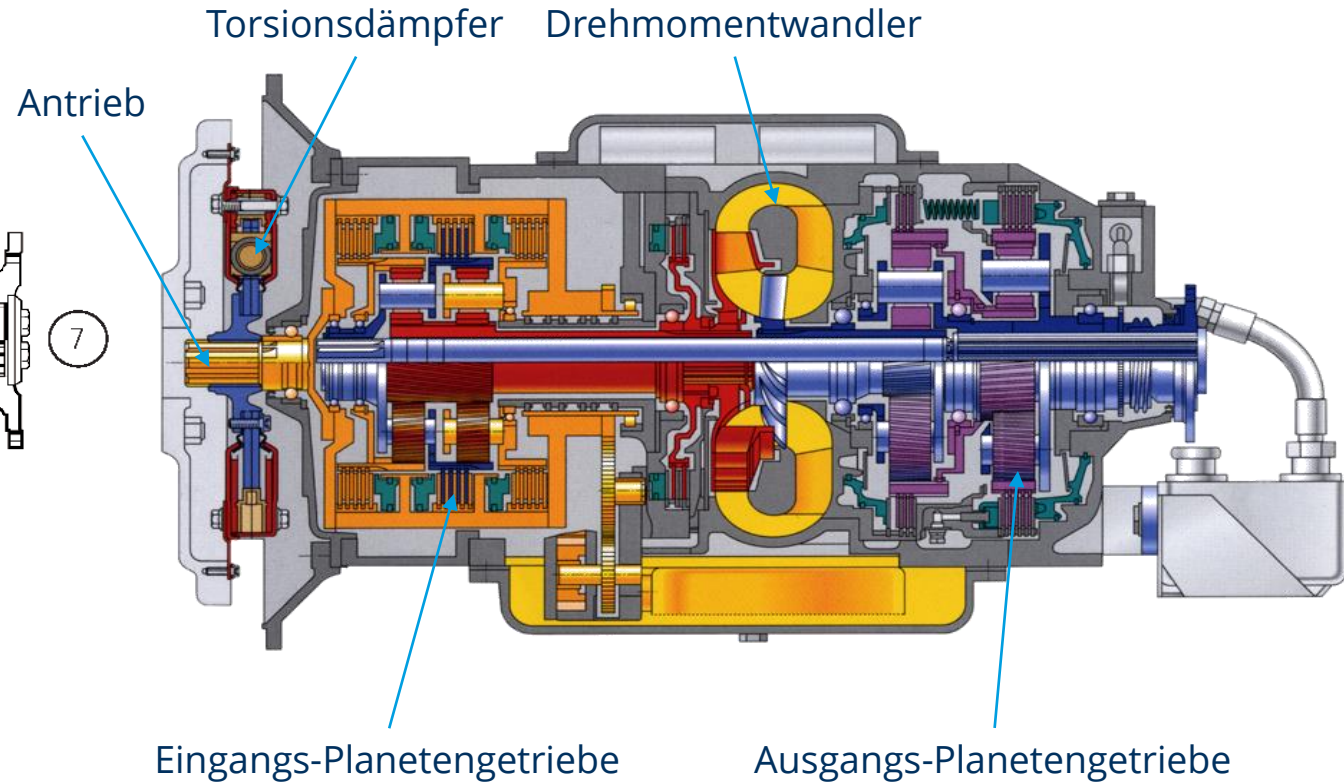
9.1.7 Hydromechanische Getriebe

Bauart ZF



- | | |
|--------------------------------------|------------------------|
| 1 Antrieb | 5 Kupplungen (A, B, C) |
| 2 Wandler-Überbrückungskupplung (ÜK) | 6 Bremsen (D, E, F) |
| 3 Drehmomentwandler | 7 Abtrieb |
| 4 Retarder | 8 Ölpumpe |

Bauart Voith DIWA



Quelle: ZF Friedrichshafen AG

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.8 Grundlagen der mechanischen Leistungsübertragung

ausnutzbares Drehzahlgefälle:

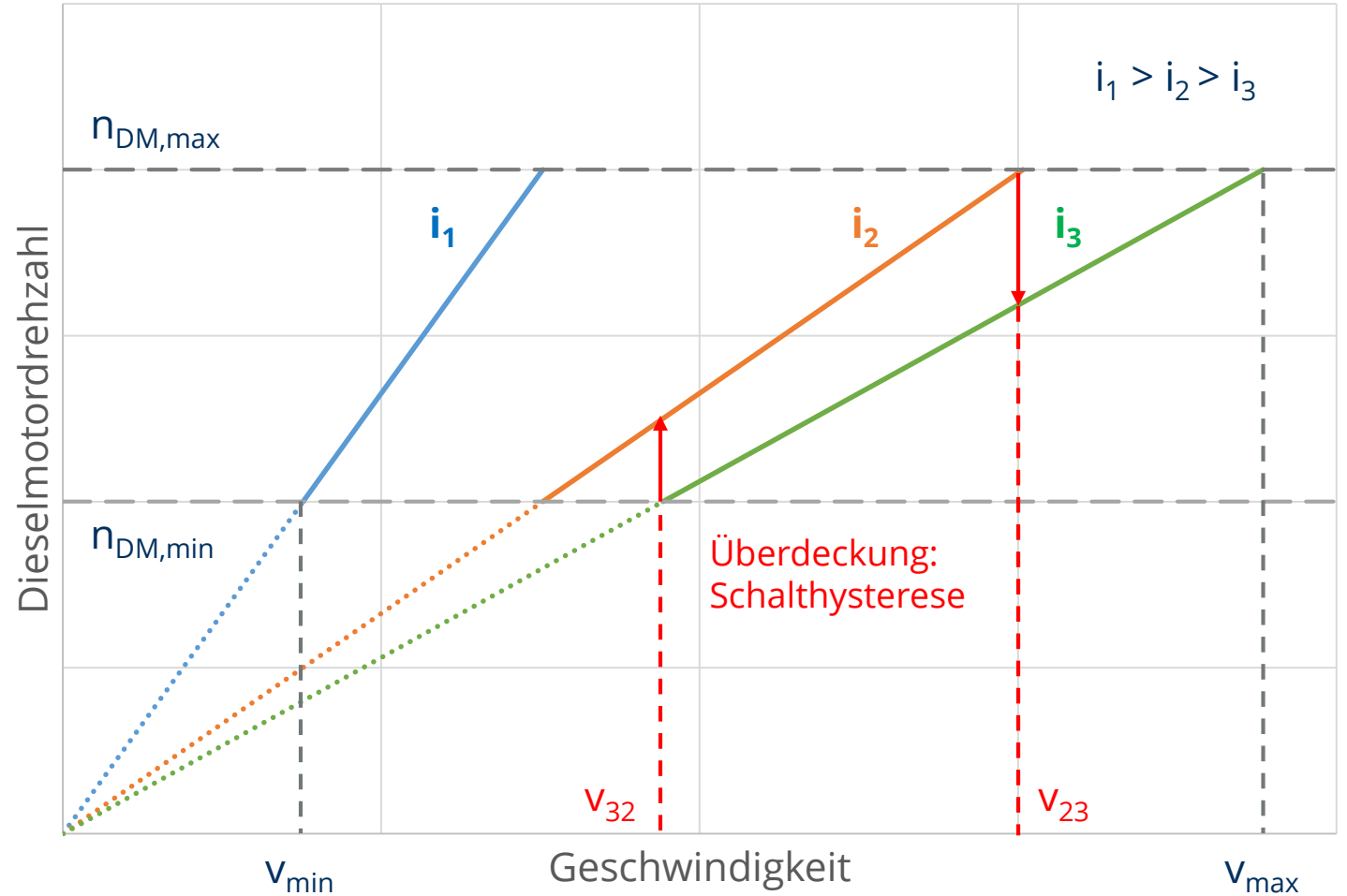
$$n_{DM,max} - n_{DM,min}$$

Getriebekonstante:

$$c_G = \left(\frac{r_T^* \cdot v_{min}}{r_T \cdot v_{max}} \right)^{\frac{1}{z_G}}$$

mit:

- z_G Anzahl der Gangstufen
- r_T Treibradradius (neu)
- r_T^* Treibradradius (verschlissen)
- v_{min} Mindestgeschwindigkeit
- v_{max} Höchstgeschwindigkeit



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.8 Grundlagen der mech. Leistungsübertragung

Wahl des Übersetzungsverhältnisses im höchsten Gang:

- abhängig von vorgesehener Höchstgeschwindigkeit
- Höchstgeschwindigkeit = betriebliche $v_{max} + 10\%$
- Abnutzung der Radreifen beachten!

Beispiel:

v_{max}	120 km/h
$n_{DM,max}$	2000 1/min
r_T (neu)	0,415 m
r_T (abgefahren)	0,385 m

$$i_{ges,erf} = \frac{3\pi r_T}{25 v_{max}} n_{DM,max} = \frac{3\pi \cdot 0,385}{25 \cdot 132} \cdot 2000 = 2,199$$

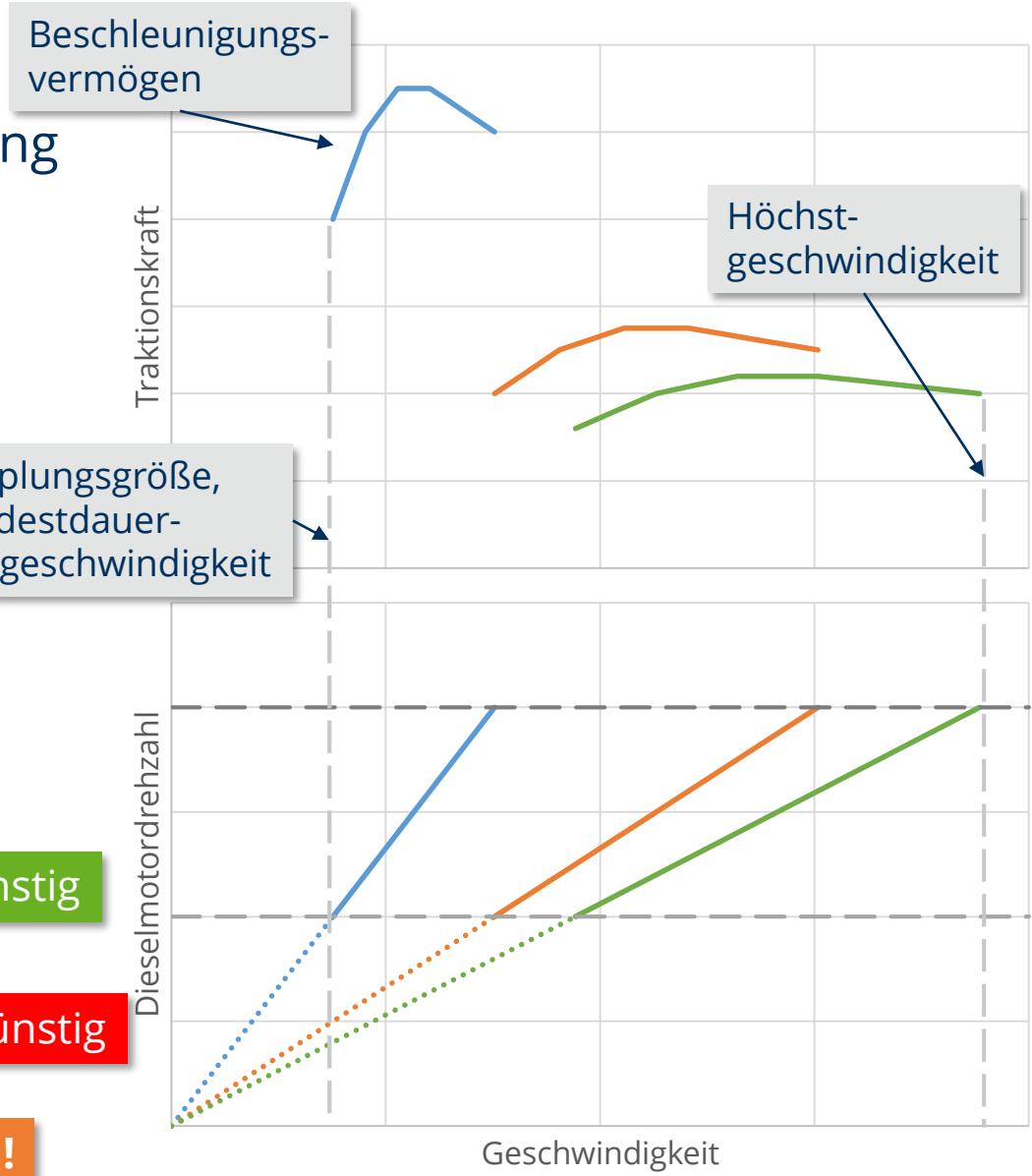
günstig

$$i_{ges,erf} = \frac{3\pi r_T}{25 v_{max}} n_{DM,max} = \frac{3\pi \cdot 0,415}{25 \cdot 132} \cdot 2000 = 2,370$$

ungünstig

$$v_{max}(i = 2,37, r_T = 0,385) = \frac{3\pi \cdot 0,385}{25 \cdot 2,37} \cdot 2000 = 122,5 \text{ km/h}$$

!



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.8 Grundlagen der mechanischen Leistungsübertragung

Überlegungen zur Mindestgeschwindigkeit

1. schlupffreie Kupplung / Anfahrvorgang abgeschlossen
2. mindestens während des Kupplungsvorganges zu übertragene Energie: $\frac{1}{2}\xi m v_{min}^2$
3. Beachtung „typischer“ Eisenbahngeschwindigkeiten (25 km/h (PZB), 40 km/h)
4. Beschränkung der Anfahrzeit auf erforderliches Minimum
5. Beachtung der max. übertragbaren Drehmomente und Kräfte! ($v_{min} \Rightarrow 0, M_{max} \Rightarrow \infty$)

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.8 Grundlagen der mechanischen Leistungsübertragung

Getriebespreizung:

$$\varphi_s = \frac{i_{max}}{i_{min}}$$

ZF Ecomat:	3,52
ZF EcoLife:	5,47

Stufensprung:

$$\varphi_j = \frac{i_j}{i_{j+1}}$$

ZF EcoLife:	$\varphi_1 = \frac{3,364}{1,909} = 1,762$
	$\varphi_2 = \frac{1,909}{1,421} = 1,343$
	$\varphi_3 = \frac{1,421}{1,000} = 1,421$
	$\varphi_4 = \frac{1,000}{0,720} = 1,389$
	$\varphi_5 = \frac{0,720}{0,615} = 1,171$

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.8 Grundlagen der mechanischen Leistungsübertragung

Auslegung nach **geometrischer Reihe** : $\varphi_j = const.$

„konstante Stufensprünge“

$$i_j = \frac{i_{min}}{c_G^{z_G - j}}$$

Auslegung mit **konstanter Progression**:

Progressionsfaktor $\longrightarrow \psi = \frac{\varphi_j}{\varphi_{j+1}} = const.$

$$\varphi_j = \frac{z_G^{-1} \varphi_s}{\sqrt{\psi^{0,5 \cdot [j(j-1) - (z_G - j)(z_G - j - 1)]}}}$$

„konstantes Verhältnis benachbarter Stufensprünge“

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.9 Mechanische Leistungsübertragung (Auslegung)

Auslegung nach geometrischer Reihe : $\varphi_j = \mathbf{const.}$ „konstante Stufensprünge“

$$i_j = \frac{i_n}{c_G^{n-j}}$$

Beispiel Auslegung nach geometrischer Reihe:

$n_{DM,min}$	= 1000 1/min
$n_{DM,max}$	= 2000 1/min
r_T^*	= 0,40 m
r_T	= 0,37 m
v_{min}	= 15 km/h
v_{max}	= 120 km/h (+10%)
i_{RG}	= 3,2
Anzahl Gänge	= 6

$$c_G = \left(\frac{r_T^* \cdot v_{min}}{r_T \cdot v_{max}} \right)^{\frac{1}{Z_G}} = \left(\frac{0,37 \cdot 15}{0,40 \cdot 120} \right)^{\frac{1}{6}} = 0,697978$$

$$i_6 = \frac{3\pi r_T}{25 \cdot i_{RG} \cdot v_{max}} n_{DM,max} = \frac{3\pi \cdot 0,37}{25 \cdot 3,2 \cdot 132} \cdot 2000 = \mathbf{0,660}$$

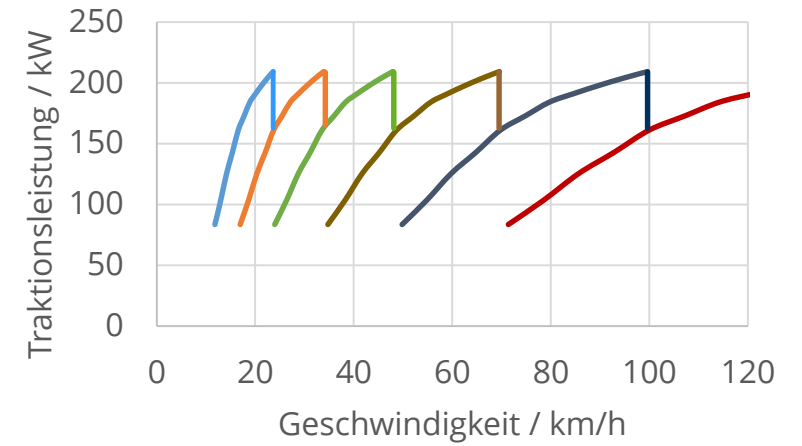
$$i_5 = \frac{i_6}{c_G^{6-5}} = \frac{0,66}{0,697978} = \mathbf{0,946} \quad i_4 = \frac{i_6}{c_G^{6-4}} = \frac{0,66}{0,697978^2} = \mathbf{1,355}$$

$$i_3 = \frac{i_6}{c_G^{6-3}} = \frac{0,66}{0,697978^3} = \mathbf{1,966} \quad i_2 = \frac{i_6}{c_G^{6-2}} = \frac{0,66}{0,697978^4} = \mathbf{2,781}$$

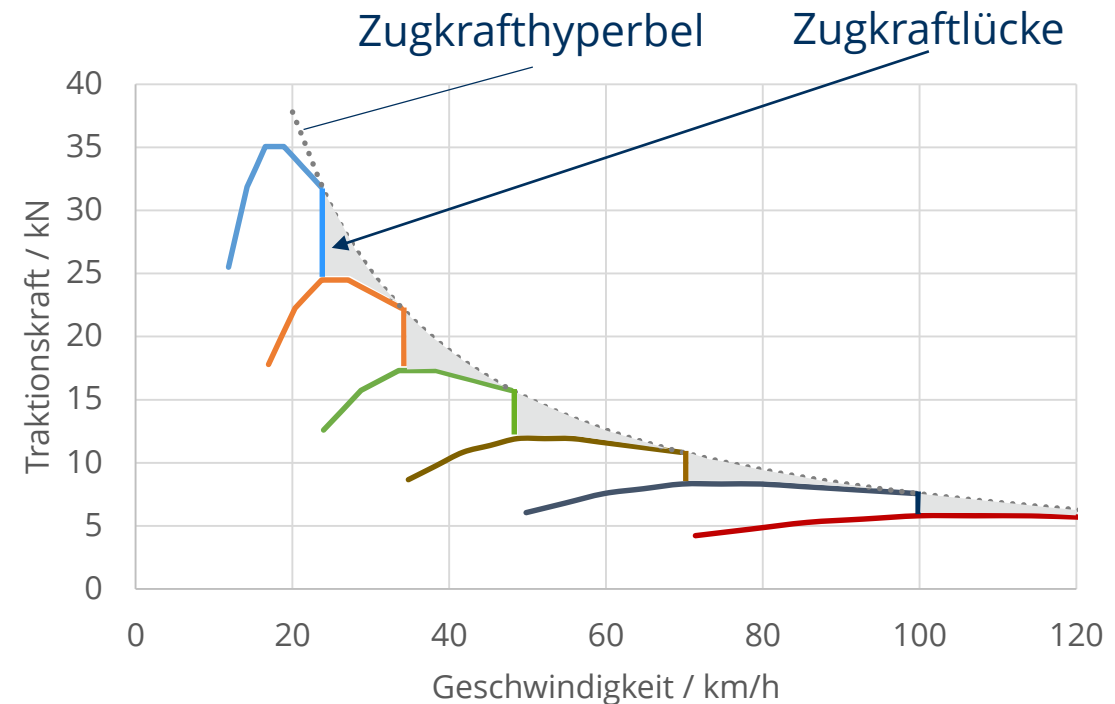
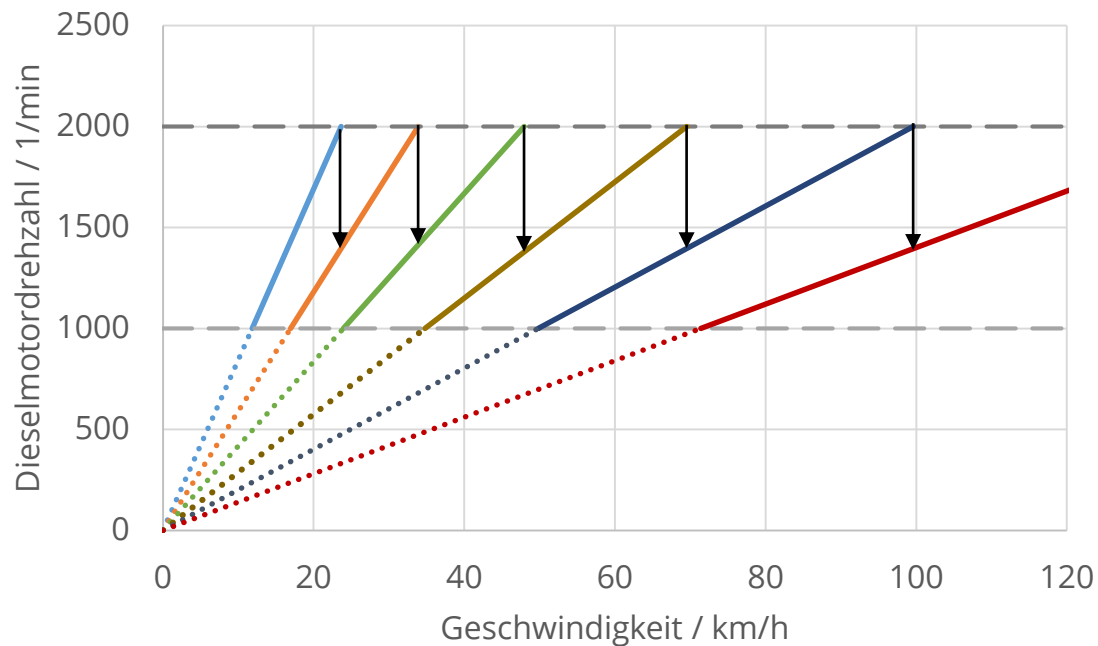
$$i_1 = \frac{i_6}{c_G^{6-1}} = \frac{0,66}{0,697978^5} = \mathbf{3,984}$$

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.9 Mechanische Leistungsübertragung (Auslegung)



Beispiel Auslegung nach geometrischer Reihe:



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.9 Mechanische Leistungsübertragung (Auslegung)

Auslegung mit konstanter Progression:

$$\varphi_j = \frac{z_G^{-1} \varphi_s}{\sqrt{\psi^{0,5} \cdot [j(j-1) - (z_G-j)(z_G-j-1)]}}$$

Beispiel Auslegung mit konstanter Progression:

$n_{DM,min}$	= 1000 1/min
$n_{DM,max}$	= 2000 1/min
r_T	= 0,40 m
r_T^*	= 0,37 m
v_{min}	= 15 km/h
v_{max}	= 120 km/h (+10%)
i_{RG}	= 3,2
z_G (Anz. Gänge)	= 6
i_6	= 0,66

$$\psi = 1,1$$

$$\varphi_s = \frac{3,984}{0,66} = 6,03636$$

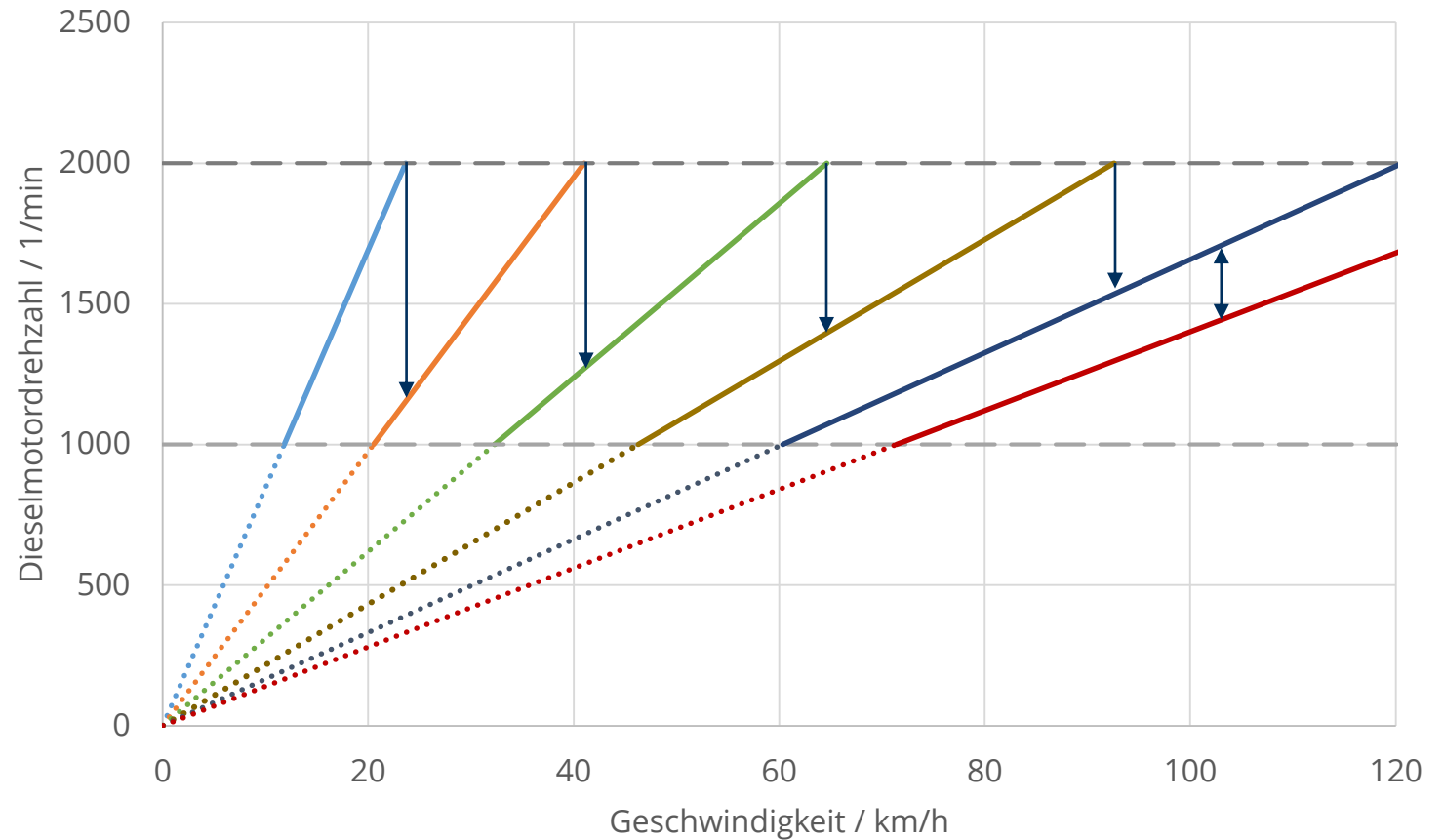
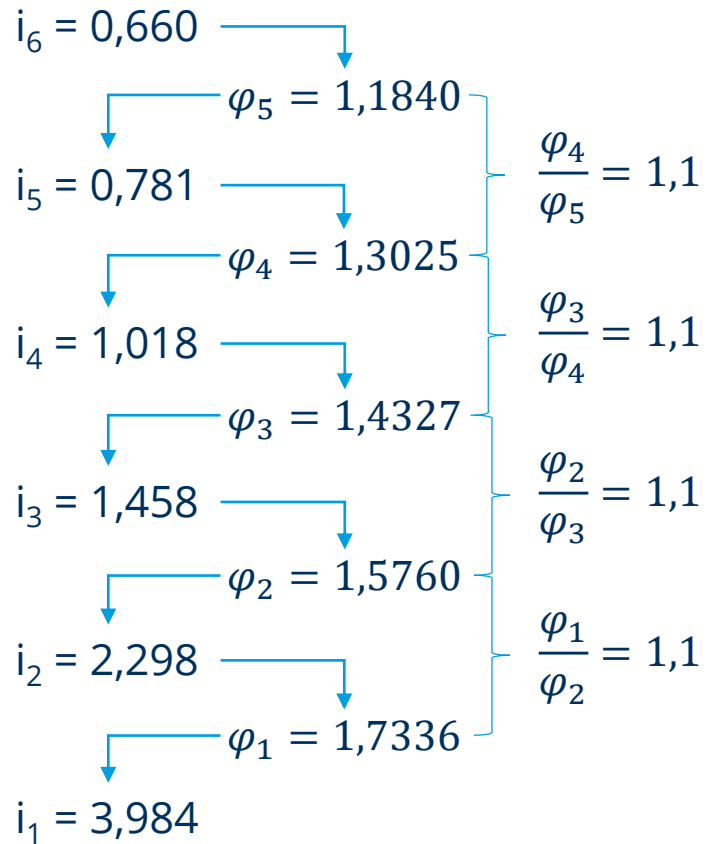
$$\varphi_j = \frac{z_G^{-1} \varphi_s}{\sqrt{\psi^{0,5} \cdot [j(j-1) - (z_G-j)(z_G-j-1)]}} = \sqrt[5]{\frac{6,03636}{1,1^{0,5} \cdot [j(j-1) - (6-j)(5-j)]}}$$
$$\varphi_1 = \sqrt[5]{\frac{6,03636}{1,1^{0,5} \cdot [1(1-1) - (6-1)(5-1)]}} = \sqrt[5]{\frac{6,03636}{1,1^{-10}}} = 1,7336$$
$$\varphi_2 = \sqrt[5]{\frac{6,03636}{1,1^{-5}}} = 1,5760 \quad \varphi_3 = \sqrt[5]{\frac{6,03636}{1,1^0}} = 1,4327$$
$$\varphi_4 = \sqrt[5]{\frac{6,03636}{1,1^5}} = 1,3025 \quad \varphi_5 = \sqrt[5]{\frac{6,03636}{1,1^{10}}} = 1,1840$$

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.9 Mechanische Leistungsübertragung (Auslegung)

Beispiel Auslegung mit konstanter Progression:

$$i_j = \varphi_j \cdot i_{j+1}$$

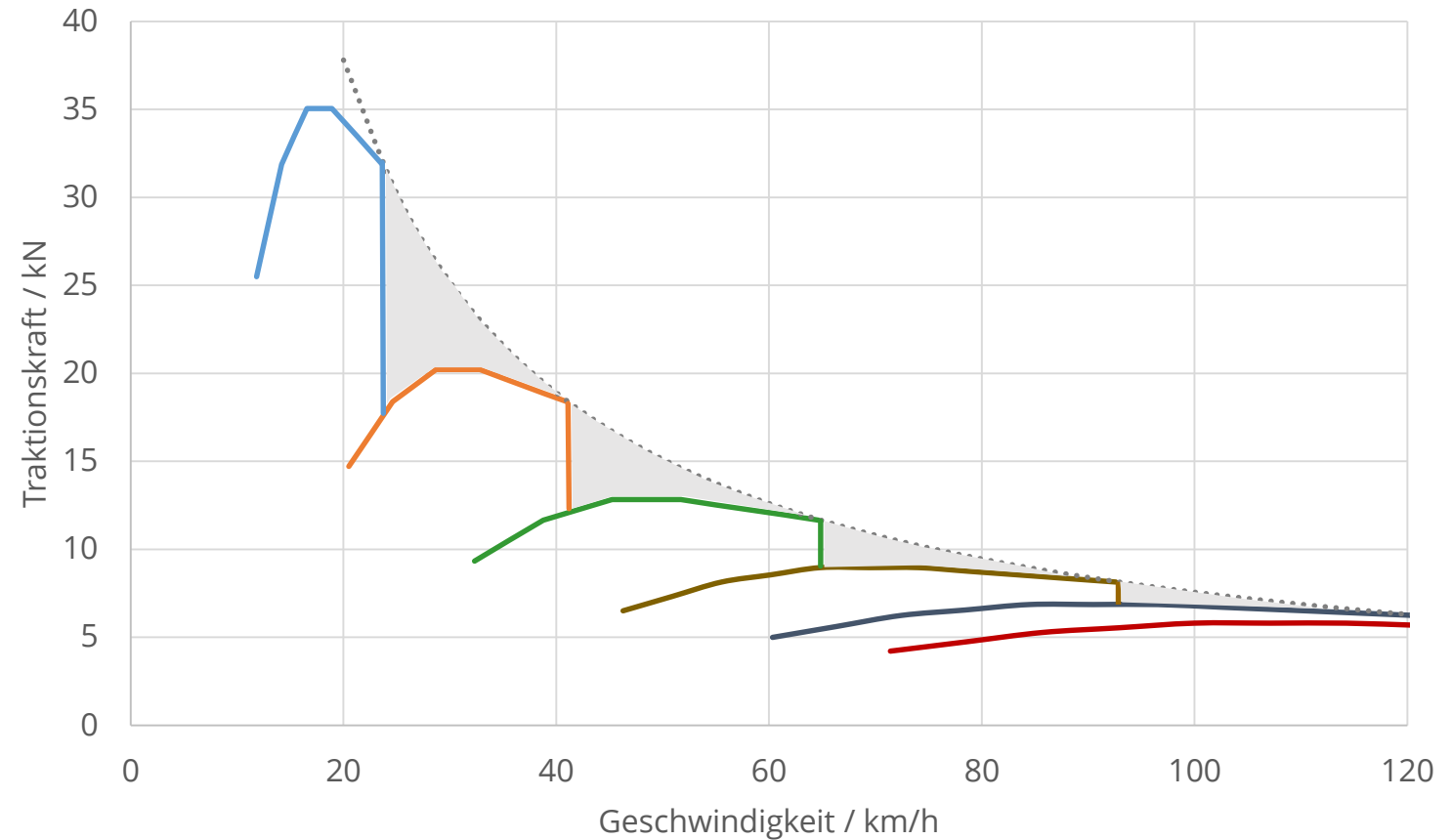
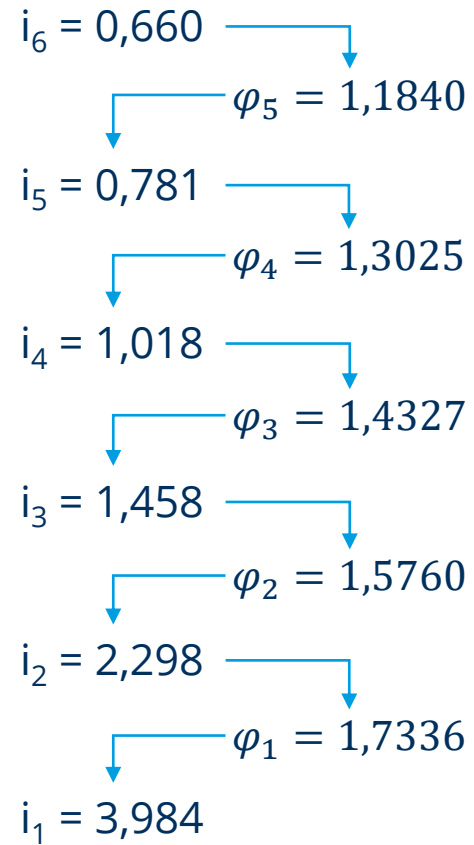


9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.9 Mechanische Leistungsübertragung (Auslegung)

Beispiel Auslegung mit konstanter Progression:

$$i_j = \varphi_j \cdot i_{j+1}$$

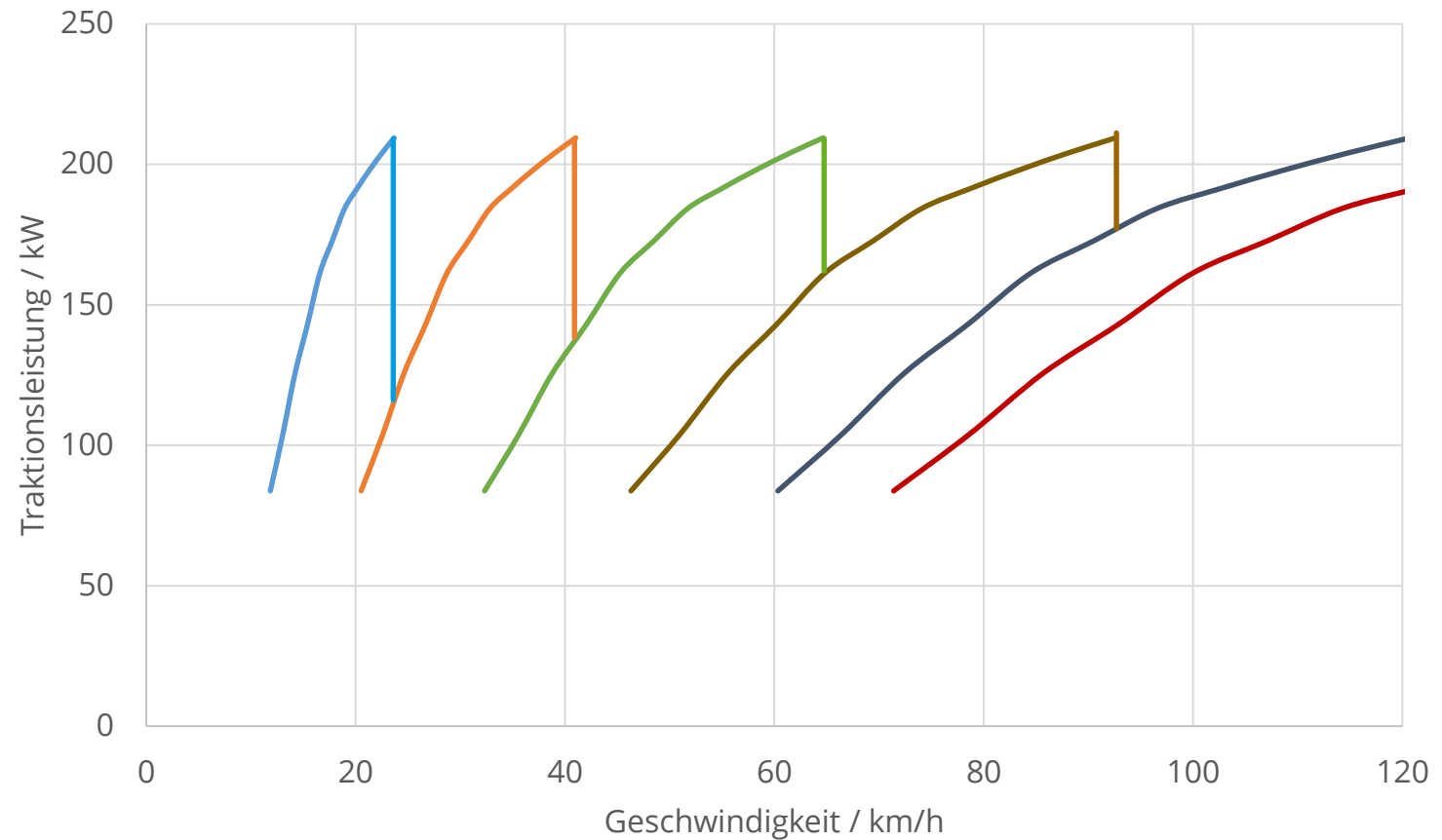
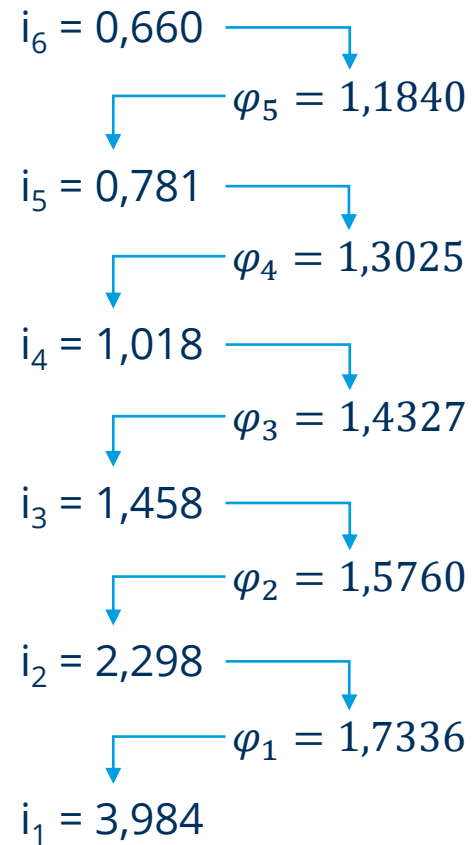


9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.9 Mechanische Leistungsübertragung (Auslegung)

Beispiel Auslegung mit konstanter Progression:

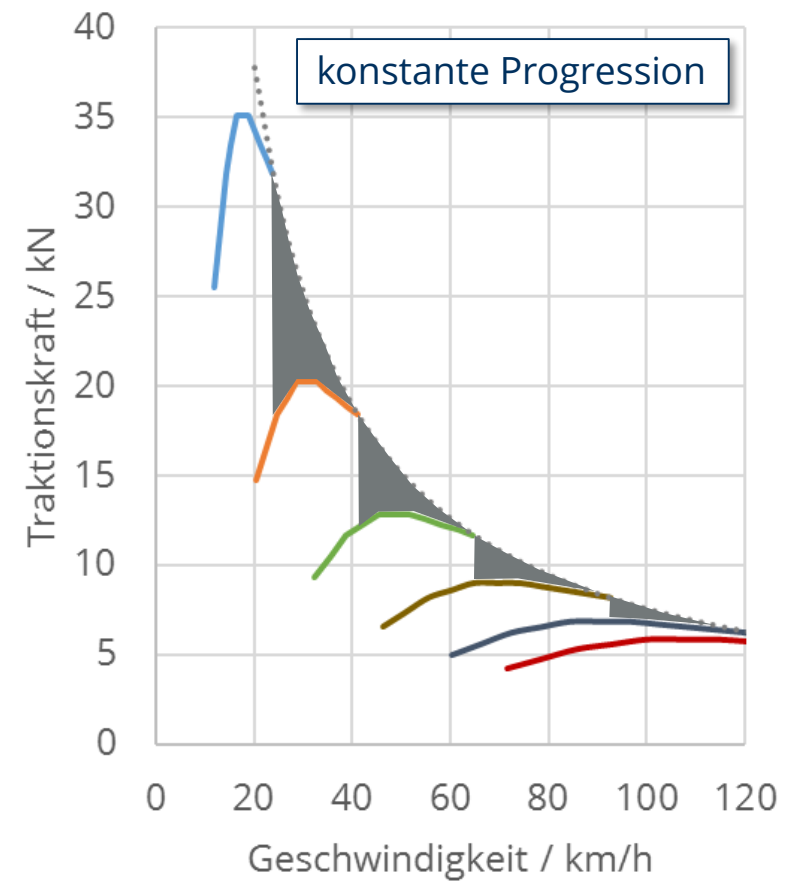
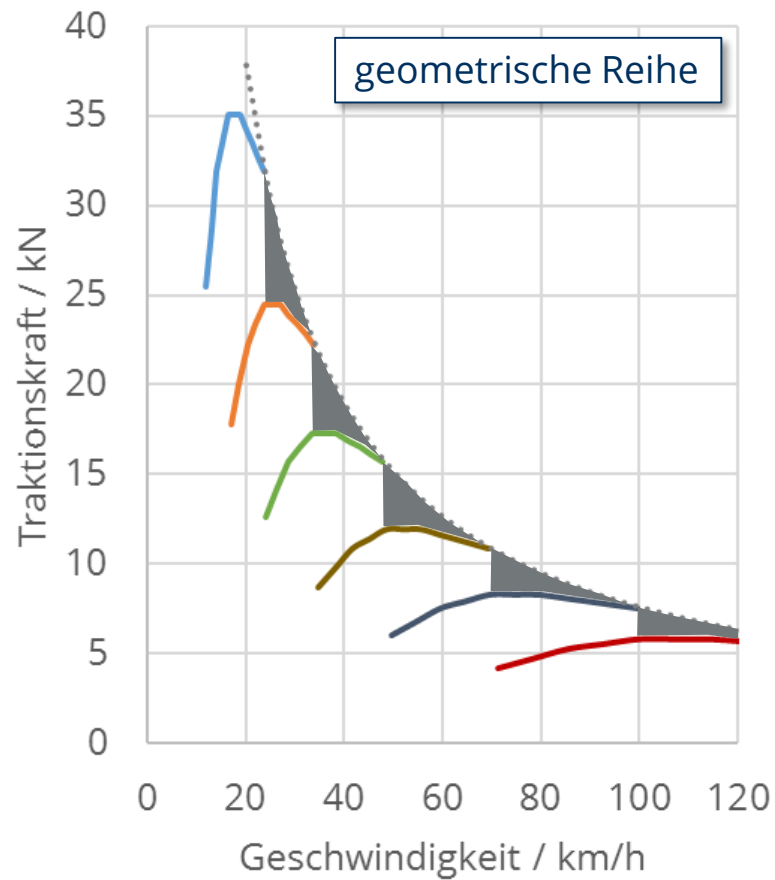
$$i_j = \varphi_j \cdot i_{j+1}$$



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.9 Mechanische Leistungsübertragung (Auslegung)

Vergleich der Auslegungsstrategien



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.10 Beispiele ausgeführter (hydro-)mechanischer Getriebe

Bezeichnung	1. Gang	2. Gang	3. Gang	4. Gang	5. Gang	6. Gang
ZF-EcoLife Rail	3,364	1,909	1,421	1,000	0,720	0,615
ZF-Ecomat Rail	2,810	1,840	1,360	1,00	0,800	-

Welche Spreizung weisen die Getriebe auf?

EcoLife: 5,47

Ecomat: 3,51

Liegt eine geometrische Getriebeauslegung vor?

nein

nein

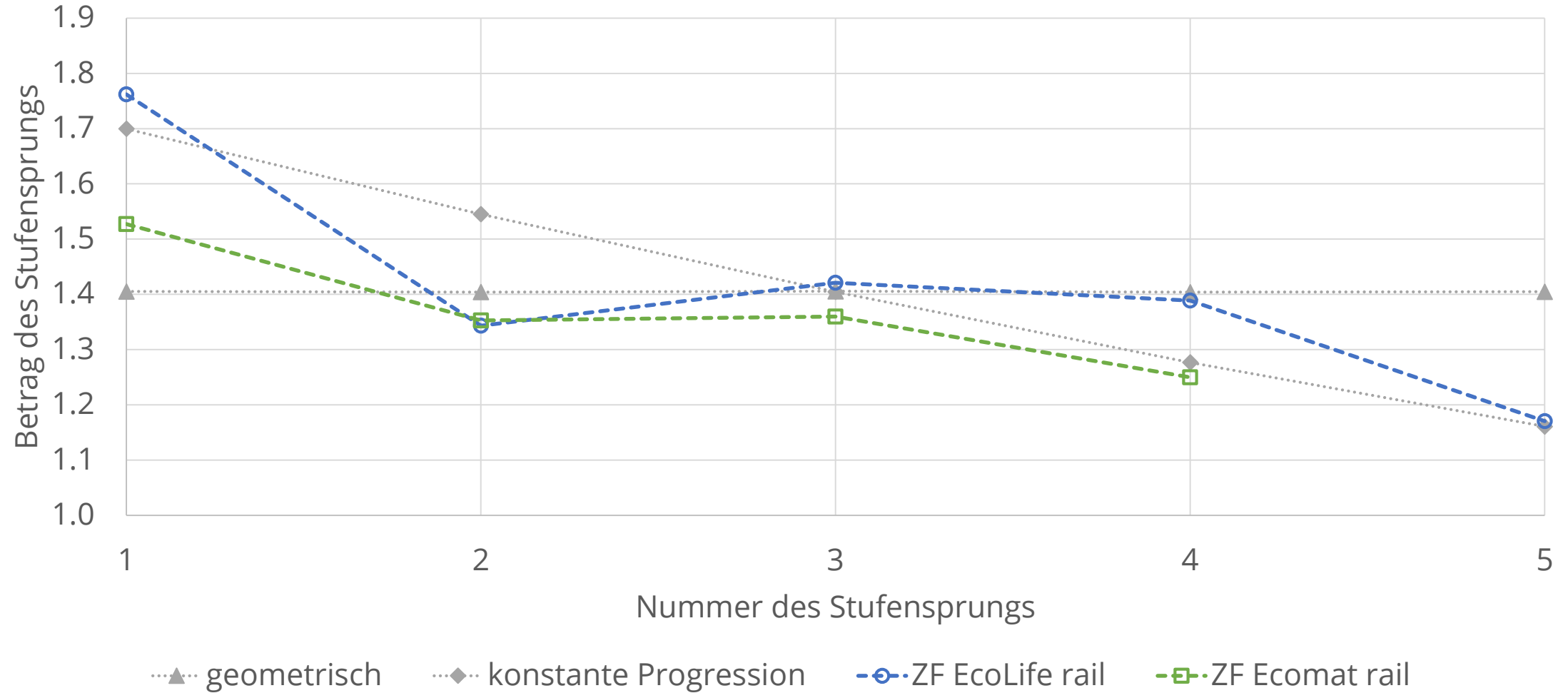
Falls nein: Liegt eine Auslegung mit konstanter Progression vor?

nein

nein

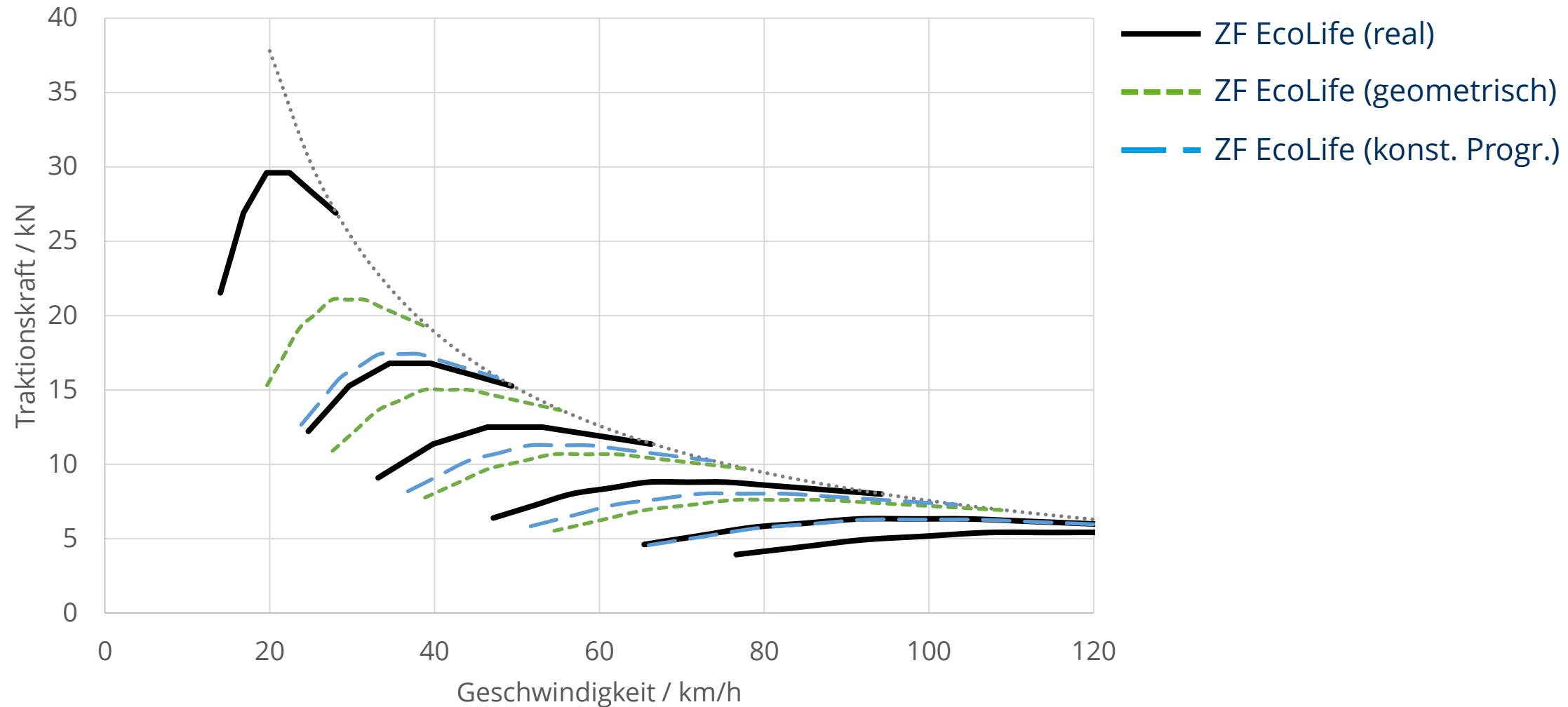
9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.10 Beispiele ausgeführter (hydro-)mechanischer Getriebe



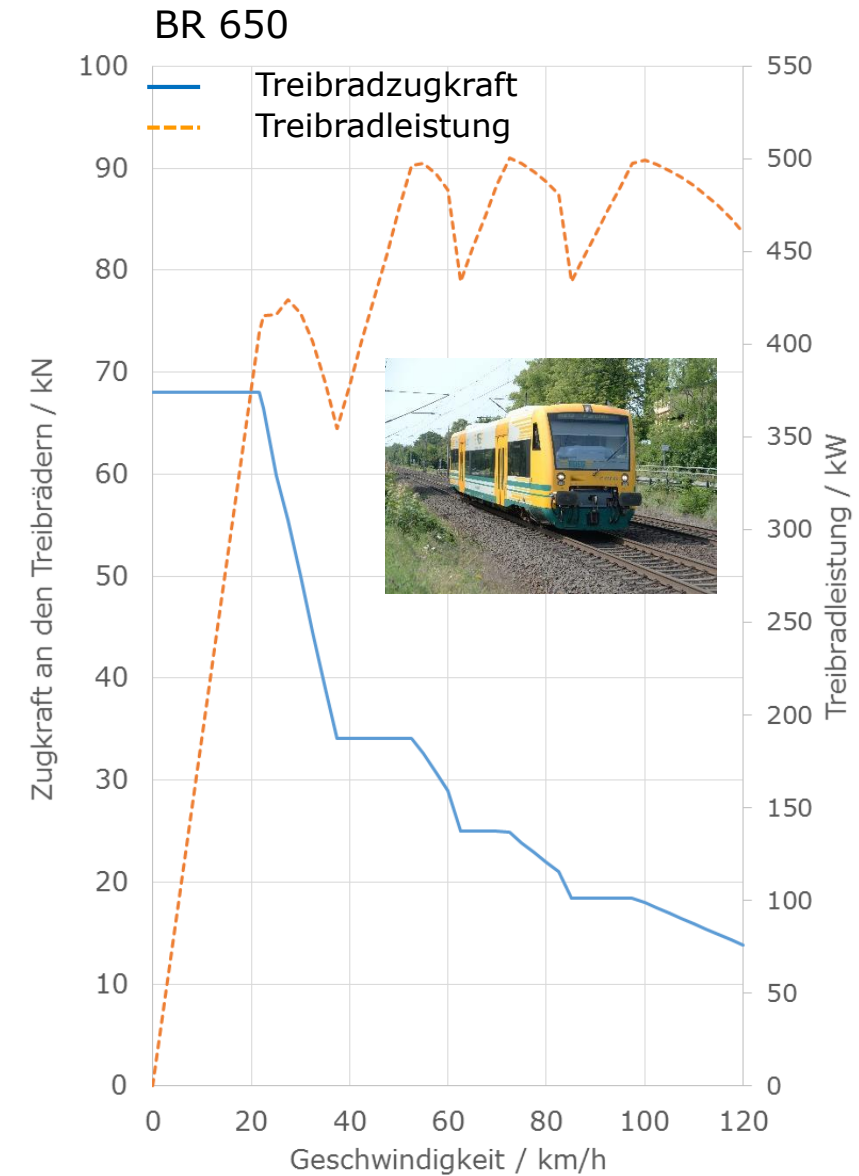
9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.10 Beispiele ausgeführter (hydro-)mechanischer Getriebe



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.11 Beispiele ausgeführter Fahrzeuge mit hydromechanischer Leistungsübertragung



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.11 Beispiele ausgeführter Fahrzeuge mit hydromechanischer Leistungsübertragung

ALSTOM Coradia Lint 54

MTU 6H1800R85L

390 kW @ 1800 1/min

2150 Nm @ 1300 1/min

600...2000 1/min

ZF 5HP902

1. Gang: $i = 2,81$

2. Gang: $i = 1,84$

3. Gang: $i = 1,36$

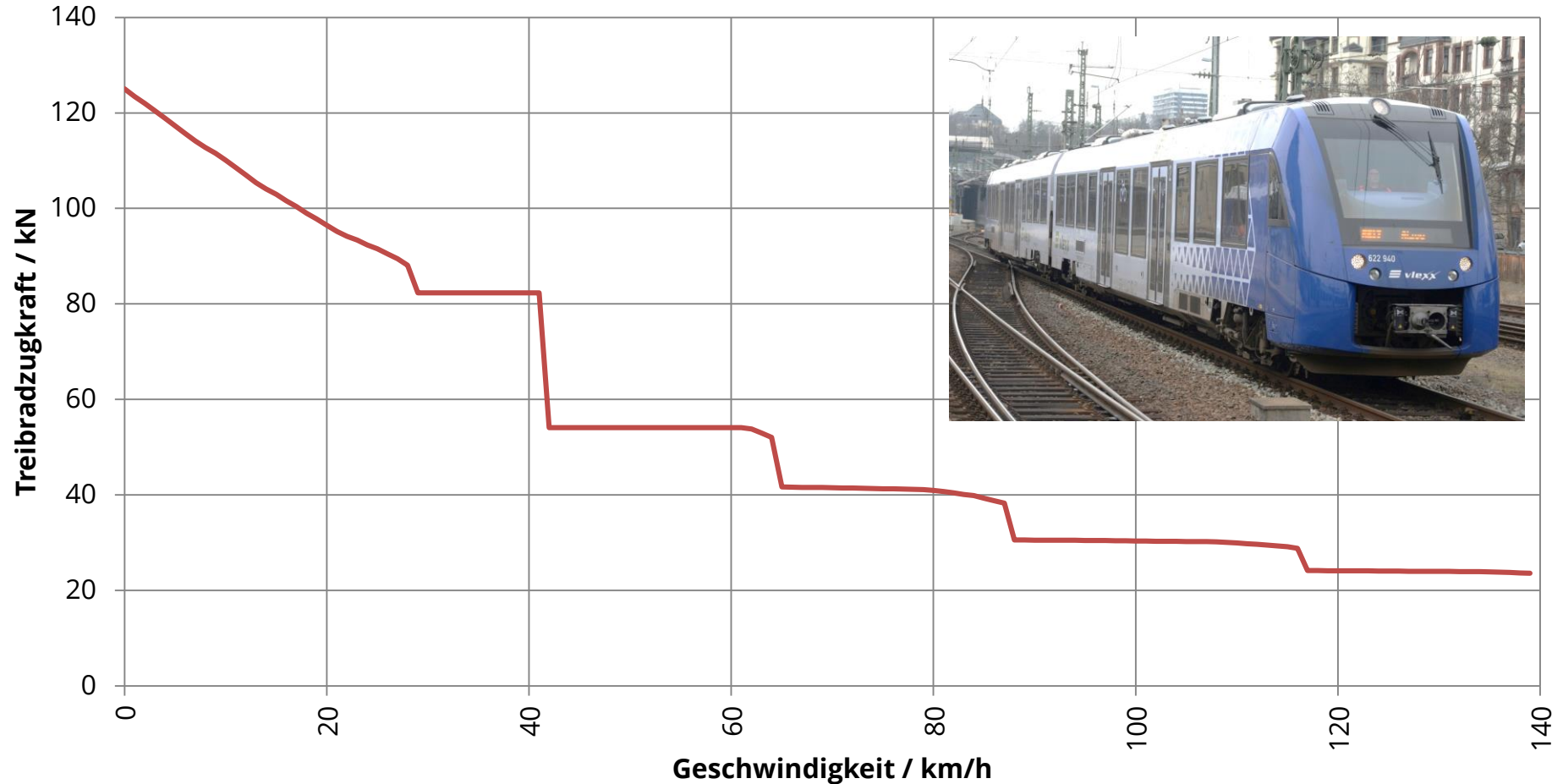
4. Gang: $i = 1,00$

5. Gang: $i = 0,80$

$\eta_{\text{mech}} = 0,89 \dots 0,95$

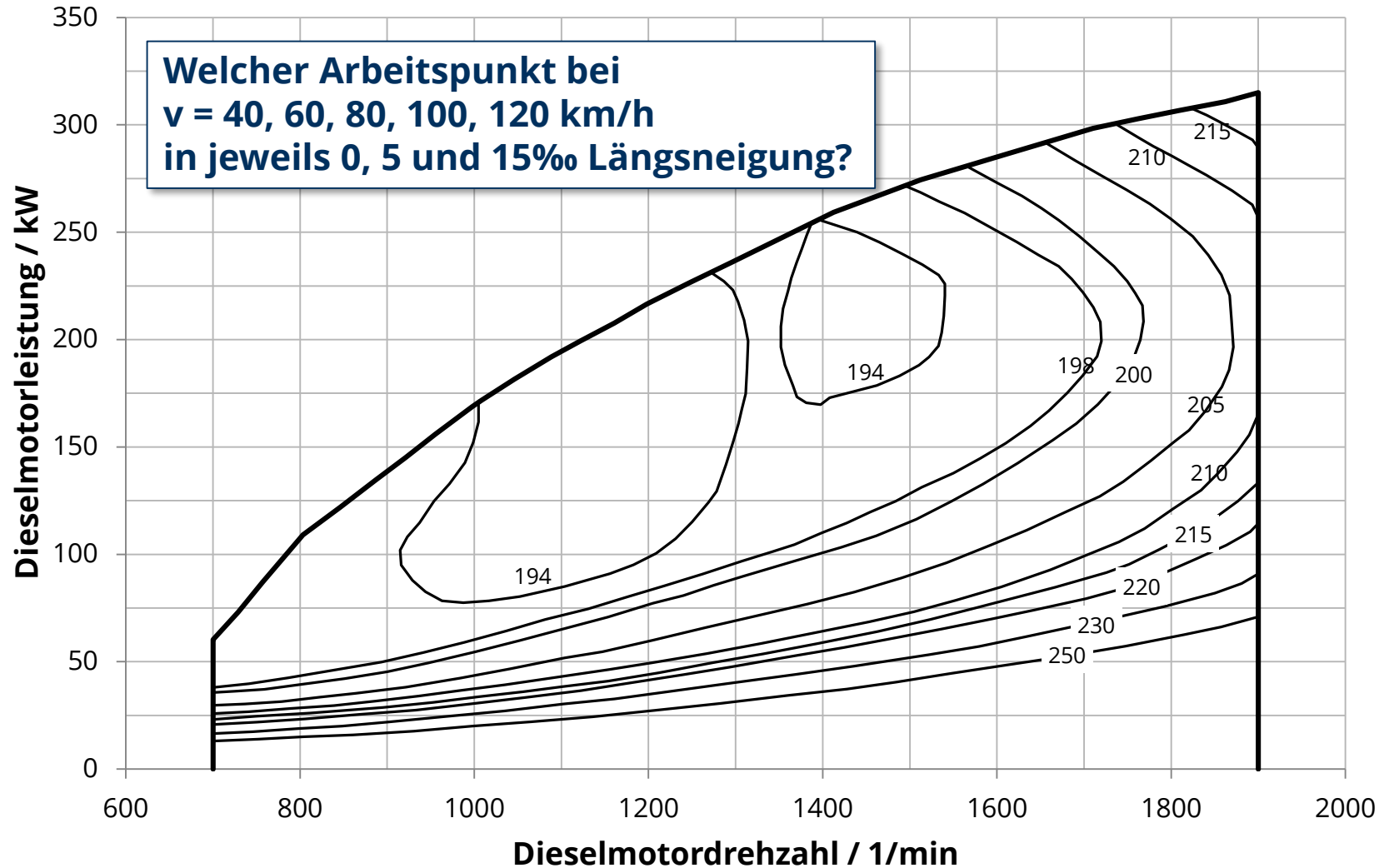
oberer Wert: Volllast

unterer Wert: Teillast



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.12 Zusammenspiel von Dieselmotor und Mechanischer Leistungsübertragung



Beispieltriebwagen

2 Antriebsanlagen

Masse = 80 t

Radsatzradius = 0,37 m

Übersetzung Radsatzgetriebe = 2,23

Übersetzung 1. Gang = 2,81

Übersetzung 2. Gang = 1,84

Übersetzung 3. Gang = 1,36

Übersetzung 4. Gang = 1,00

Übersetzung 5. Gang = 0,81

Gesamtwirkungsgrad: 0,89

Hilfsleistungsfaktor = 0,06

Komfortleistungsbedarf = 25 kW (Fzg.)

Fahrzeugwiderstandsgleichung:

$$F_{WFT} = 0,79 + 0,79 \cdot \frac{v}{100} + 2,9 \cdot \left(\frac{v}{100}\right)^2$$

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.12 Zusammenspiel von Dieselmotor und Mechanischer Leistungsübertragung

Schritt 1 – Bestimmung der erforderlichen Treibradzugkraft

v / km/h	i / Promille	F _{WFT} / kN	F _{WS} / kN	F _{T,erf} / kN
40	0	2,0	0,0	2,0
40	5	2,0	3,9	5,9
40	15	2,0	11,8	13,8
60	0	2,9	0,0	2,9
60	5	2,9	3,9	6,8
60	15	2,9	11,8	14,7
80	0	4,0	0,0	4,0
80	5	4,0	3,9	8,0
80	15	4,0	11,8	15,8
100	0	5,4	0,0	5,4
100	5	5,4	3,9	9,3
100	15	5,4	11,8	17,2
120	0	7,0	0,0	7,0
120	5	7,0	3,9	10,9
120	15	7,0	11,8	18,8

$$F_{T,erf} = F_{WFT} + F_{WS}$$

$$F_{T,erf} = 0,79 + 0,79 \frac{v}{100} + 2,9 \left(\frac{v + 15}{100} \right)^2 + mgi$$

v in km/h
m in t
i in ‰
F_T in kN

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.12 Zusammenspiel von Dieselmotor und Mechanischer Leistungsübertragung

Schritt 2 – Bestimmung des erforderlichen Dieselmotor-Drehmomentes

v / km/h	i / Promille	F _{WFT} / kN	F _{WS} / kN	F _{T,erf} / kN	M _{DM} / Nm
40	0	2,0	0,0	2,0	70
40	5	2,0	3,9	5,9	208
40	15	2,0	11,8	13,8	485
60	0	2,9	0,0	2,9	156
60	5	2,9	3,9	6,8	368
60	15	2,9	11,8	14,7	790
80	0	4,0	0,0	4,0	295
80	5	4,0	3,9	8,0	581
80	15	4,0	11,8	15,8	1153
100	0	5,4	0,0	5,4	537
100	5	5,4	3,9	9,3	926
100	15	5,4	11,8	17,2	1704
120	0	7,0	0,0	7,0	871
120	5	7,0	3,9	10,9	1357
120	15	7,0	11,8	18,8	2330

$$M_{DM,erf} = \frac{F_{T,erf} \cdot r_T}{\eta_{ges} \cdot i_{SG} \cdot i_{RG} \cdot (1 - \Psi)}$$

Zuordnung v und i_{SG} :

- v = 40 km/h i_{SG,1} = 2,81
- v = 60 km/h i_{SG,2} = 1,84
- v = 80 km/h i_{SG,3} = 1,36
- v = 100 km/h i_{SG,4} = 1,00
- v = 120 km/h i_{SG,5} = 0,80

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.12 Zusammenspiel von Dieselmotor und Mechanischer Leistungsübertragung

Schritt 3 – Bestimmung der zugeordneten Dieselmotor-Drehzahl

v / km/h	i / Promille	F _{WFT} / kN	F _{WS} / kN	F _{T,erf} / kN	M _{DM} / Nm	n _{DM} / 1/min
40	0	2,0	0,0	2,0	70	1797
40	5	2,0	3,9	5,9	208	1797
40	15	2,0	11,8	13,8	485	1797
60	0	2,9	0,0	2,9	156	1765
60	5	2,9	3,9	6,8	368	1765
60	15	2,9	11,8	14,7	790	1765
80	0	4,0	0,0	4,0	295	1739
80	5	4,0	3,9	8,0	581	1739
80	15	4,0	11,8	15,8	1153	1739
100	0	5,4	0,0	5,4	537	1599
100	5	5,4	3,9	9,3	926	1599
100	15	5,4	11,8	17,2	1704	1599
120	0	7,0	0,0	7,0	871	1535
120	5	7,0	3,9	10,9	1357	1535
120	15	7,0	11,8	18,8	2330	1535

$$n_{DM} = \frac{25 \cdot i_{SG} \cdot i_{RG} \cdot v}{3\pi \cdot r_T}$$

Zuordnung v und i_{SG} :

v = 40 km/h	i _{SG,1} = 2,81
v = 60 km/h	i _{SG,2} = 1,84
v = 80 km/h	i _{SG,3} = 1,36
v = 100 km/h	i _{SG,4} = 1,00
v = 120 km/h	i _{SG,5} = 0,80

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.12 Zusammenspiel von Dieselmotor und Mechanischer Leistungsübertragung

Schritt 4 – Bestimmung der erforderlichen Dieselmotorleistung

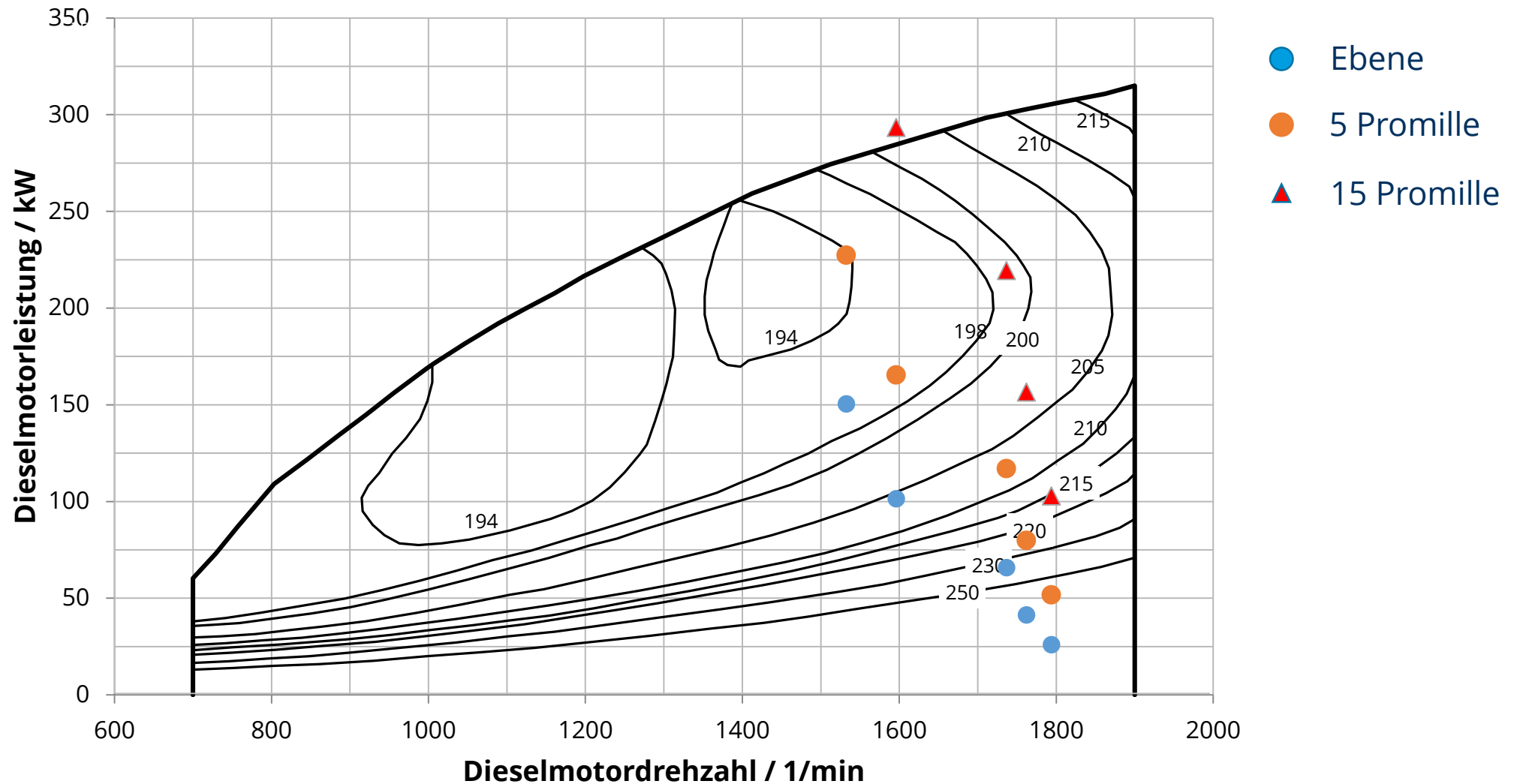
v / km/h	i / Promille	F _{WFT} / kN	F _{WS} / kN	F _{T,erf} / kN	M _{DM} / Nm	n _{DM} / 1/min	P _{DM,erf} / kW
40	0	2,0	0,0	2,0	70	1797	25,7
40	5	2,0	3,9	5,9	208	1797	51,7
40	15	2,0	11,8	13,8	485	1797	103,8
60	0	2,9	0,0	2,9	156	1765	41,3
60	5	2,9	3,9	6,8	368	1765	80,4
60	15	2,9	11,8	14,7	790	1765	158,6
80	0	4,0	0,0	4,0	295	1739	66,1
80	5	4,0	3,9	8,0	581	1739	118,3
80	15	4,0	11,8	15,8	1153	1739	222,5
100	0	5,4	0,0	5,4	537	1599	102,4
100	5	5,4	3,9	9,3	926	1599	167,5
100	15	5,4	11,8	17,2	1704	1599	297,8
120	0	7,0	0,0	7,0	871	1535	152,4
120	5	7,0	3,9	10,9	1357	1535	230,6
120	15	7,0	11,8	18,8	2330	1535	386,9

$$P_{DM,erf} = M_{DM} \cdot 2\pi n_{DM} + 0,5 \cdot P_{komf}$$

$$P_{DM,erf} = M_{DM} \cdot 2\pi n_{DM} + 12,5 \text{ kW}$$

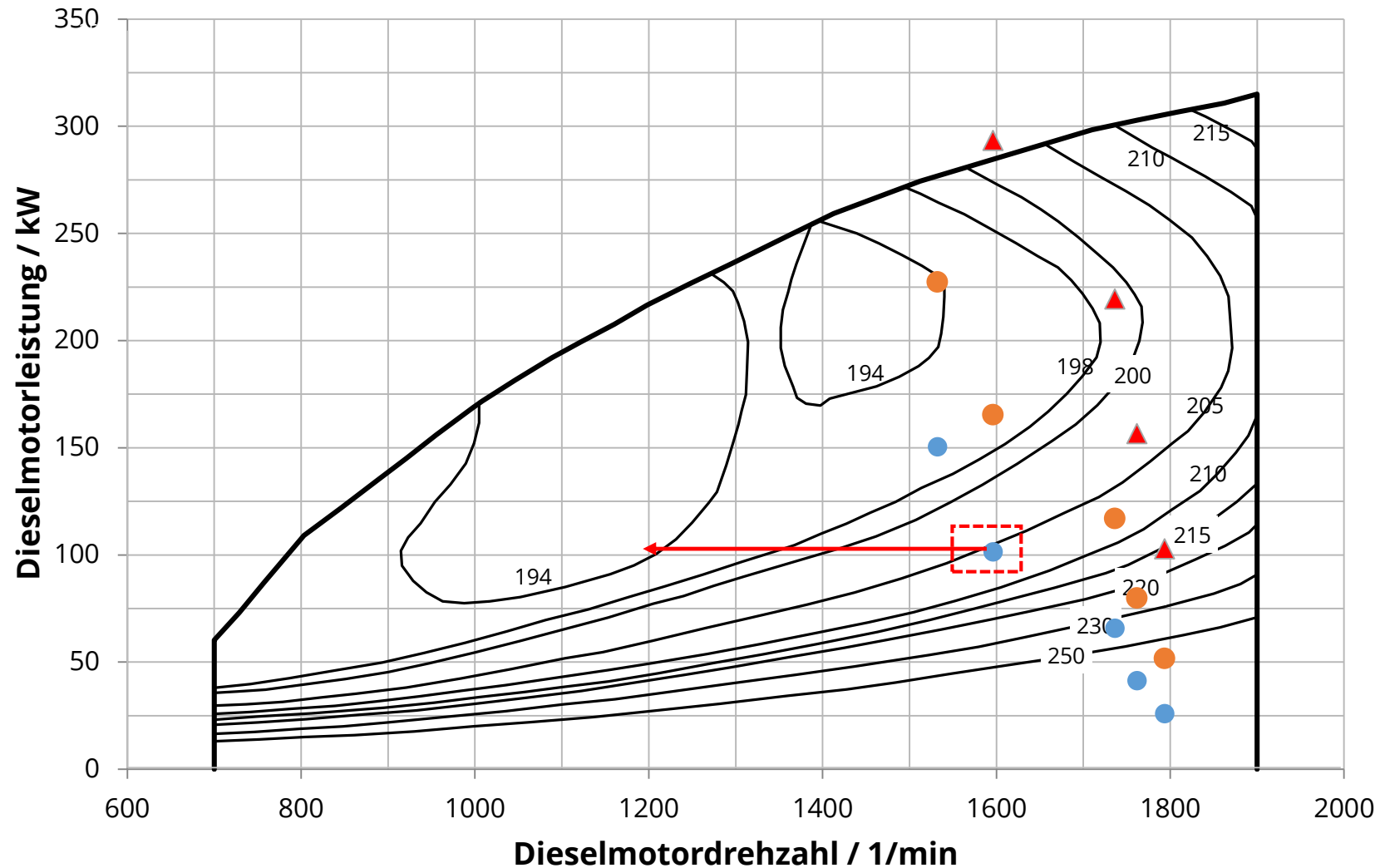
9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.12 Zusammenspiel von Dieselmotor und Mechanischer Leistungsübertragung



9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.12 Zusammenspiel von Dieselmotor und Mechanischer Leistungsübertragung



100 km/h in der Ebene:

$$b_{DK} \approx 205 \text{ g/kWh}$$

$$P_{DM} \approx 102 \text{ kW}$$

$$b_{DK,t} \approx 2 \cdot 20,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 41,82 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$b_{DK,s} \approx 0,418 \text{ kg/km}$$

theoretisch optimaler
Betriebspunkt
(Anpassung der Übersetzung):

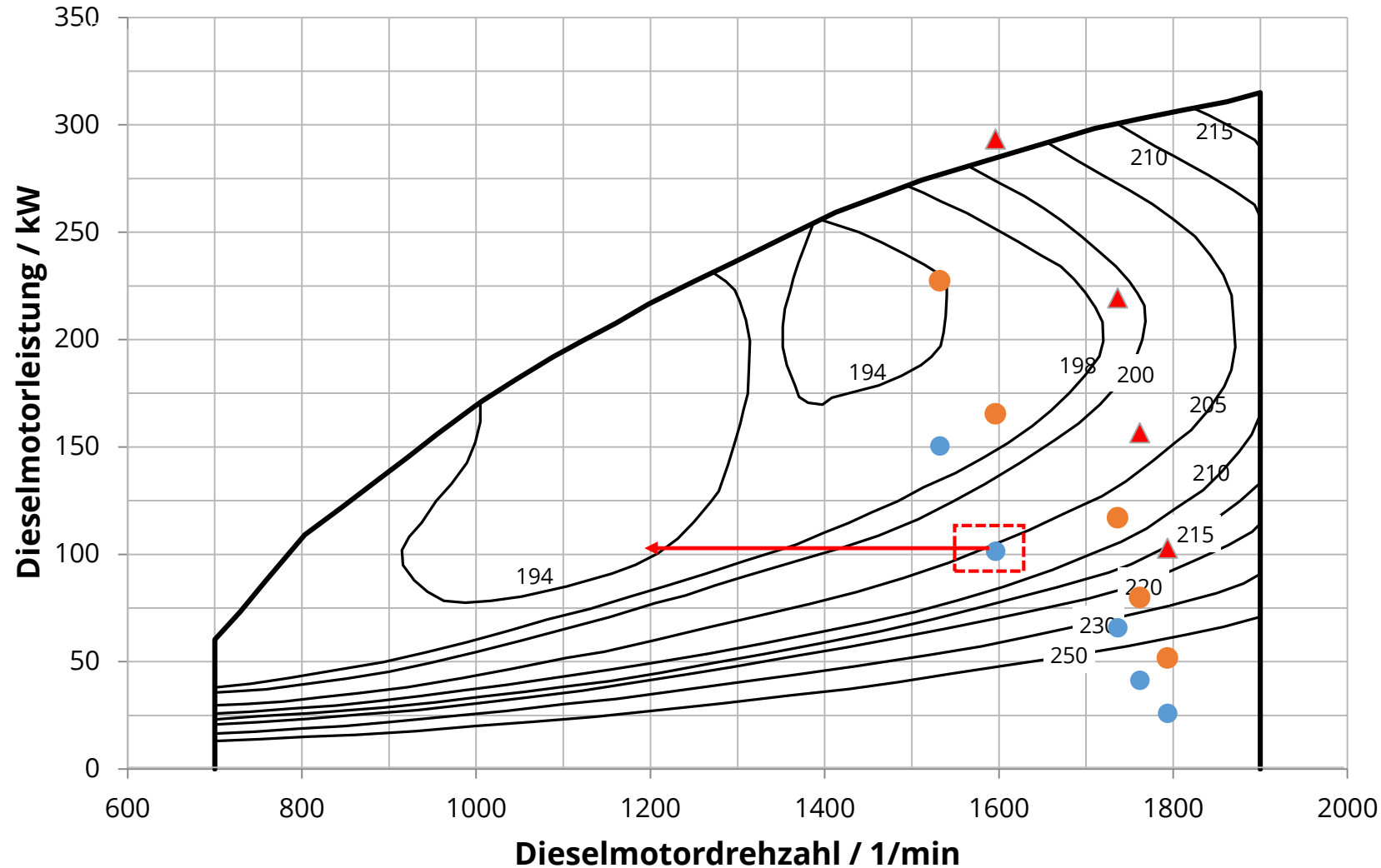
$$b_{DK,opt} \approx 194 \text{ g/kWh}$$

$$b_{DK,s,opt} \approx 0,396 \text{ kg/km}$$

Einsparung: ca. 5,3%

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.12 Zusammenspiel von Dieselmotor und Mechanischer Leistungsübertragung



Fahrzustand: 100 km/h @ i=0%
 $F_{T,erf} = 5400 \text{ N}$

bestehendes Getriebe:

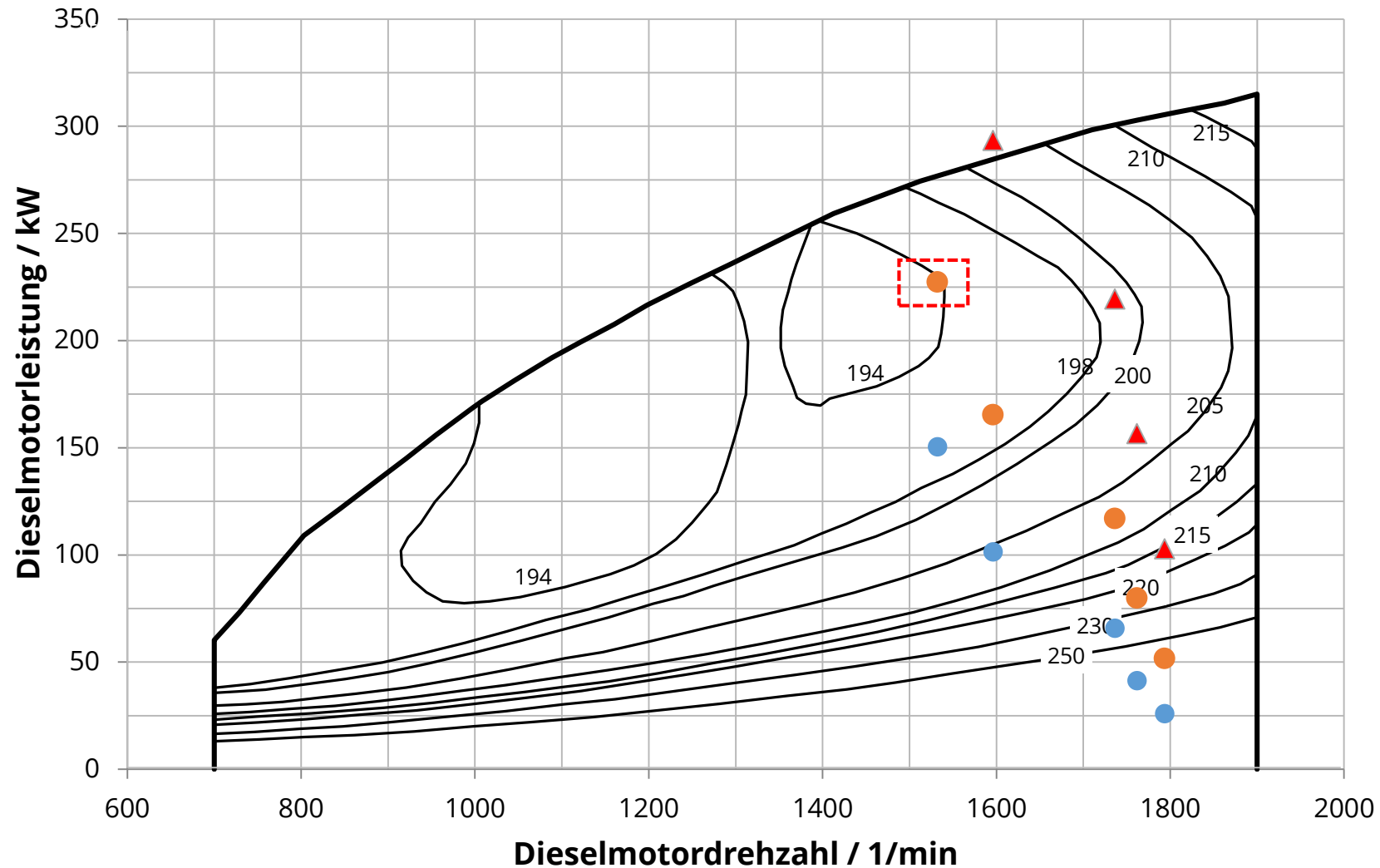
$i_{SG,4} = 1,00$
 $n_{DM}(100\text{km/h}) = 1599 \text{ U/min}$
 $M_{DM,erf} = 537 \text{ Nm}$
 $P_{DM,erf} = 102 \text{ kW}$

optimiertes Getriebe:

$i_{SG,opt} = 0,7506$
 $n_{DM}(100 \text{ km/h}) = 1200 \text{ U/min}$
 $M_{DM,erf} = 713 \text{ Nm}$
 $P_{DM,erf} = 102 \text{ kW}$

9. Leistungsübertragungsanlagen

9.1.12 Zusammenspiel von Dieselmotor und Mechanischer Leistungsübertragung



120 km/h in 5 Promille:

$$b_{DK} \approx 194 \text{ g/kWh}$$

$$P_{DM} \approx 231 \text{ kW}$$

$$b_{DK,t} \approx 2 \cdot 44,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 89,62 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$b_{DK,s} \approx 0,749 \text{ kg/km}$$