

Dipl.-Ing. Tobias Bregulla
Professur für Elektrische Bahnen

Fahrdynamik Bahnfahrzeuge

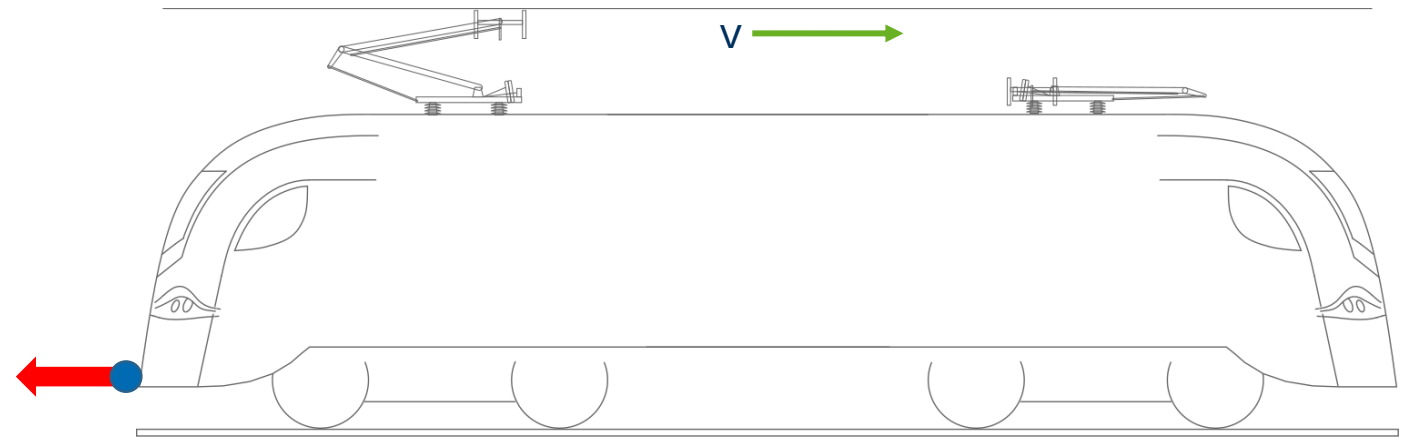
VL 05: Traktionsvermögen und Leistungsauslegung

Sommersemester 2023

Vorlesungsinhalte

Schwerpunkt Schienenverkehr

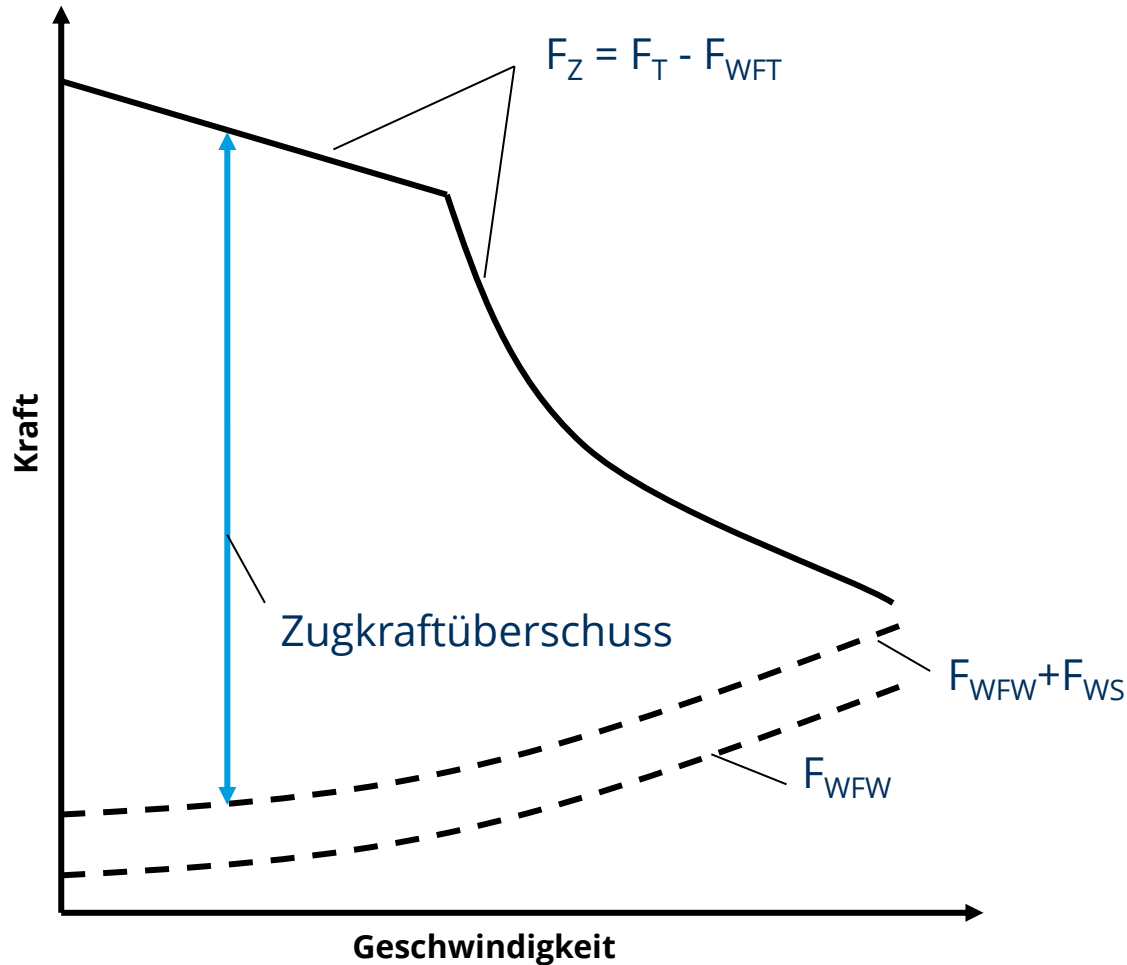
- Einführung
- Grundlagen
- Fahrwiderstandskräfte
- Antriebskräfte
- **Traktionsvermögen**
- Leistungs- und Energiebedarf
- Grundlagen der Fahrzeitberechnung



Beurteilung des Traktionsvermögens

Ausgangspunkt: Fahrdynamisches Grundgesetz

$$0 = -\ddot{x}\xi m + F_T - F_{WFT} - F_{WFW} - F_{WS} - F_B$$



Steigfähigkeit

$$i = \frac{F_Z(v) - F_{WFW}(v) - \xi_Z m_Z a}{m_Z g}$$

spezifischer Zugkraftüberschuss

$$f_a = \frac{F_Z(v) - F_{WFW}(v)}{m_Z} - ig$$

Beschleunigungsvermögen

$$a = \frac{F_Z(v) - F_{WFW}(v) - im_Z g}{\xi_Z m_Z}$$

Schleppvermögen

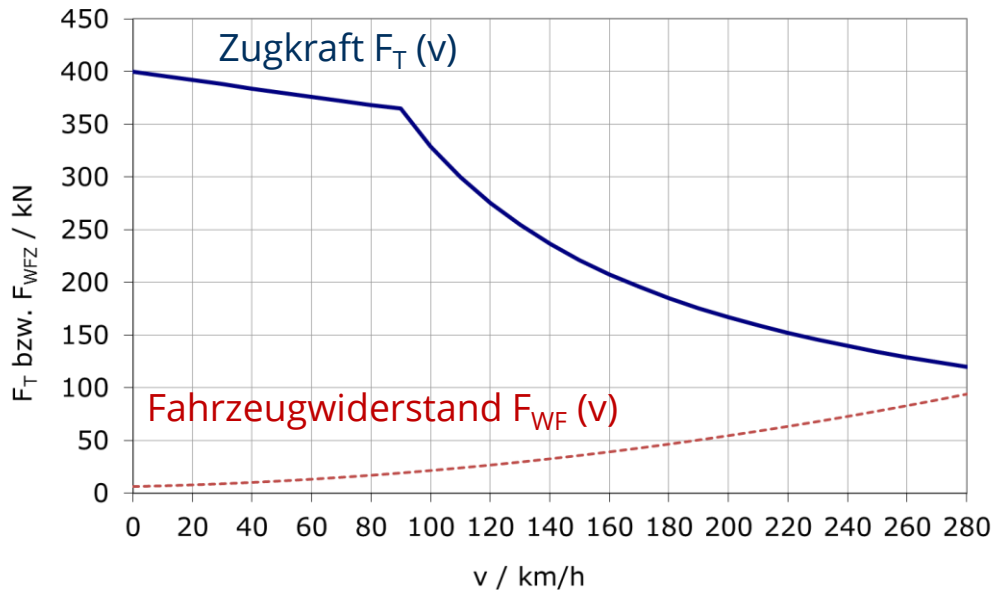
$$m_W = \frac{F_Z(v) - m_T(a\xi_Z + gi)}{a\xi_Z + g(f_{WFW} + i)}$$

Beschleunigungsvermögen

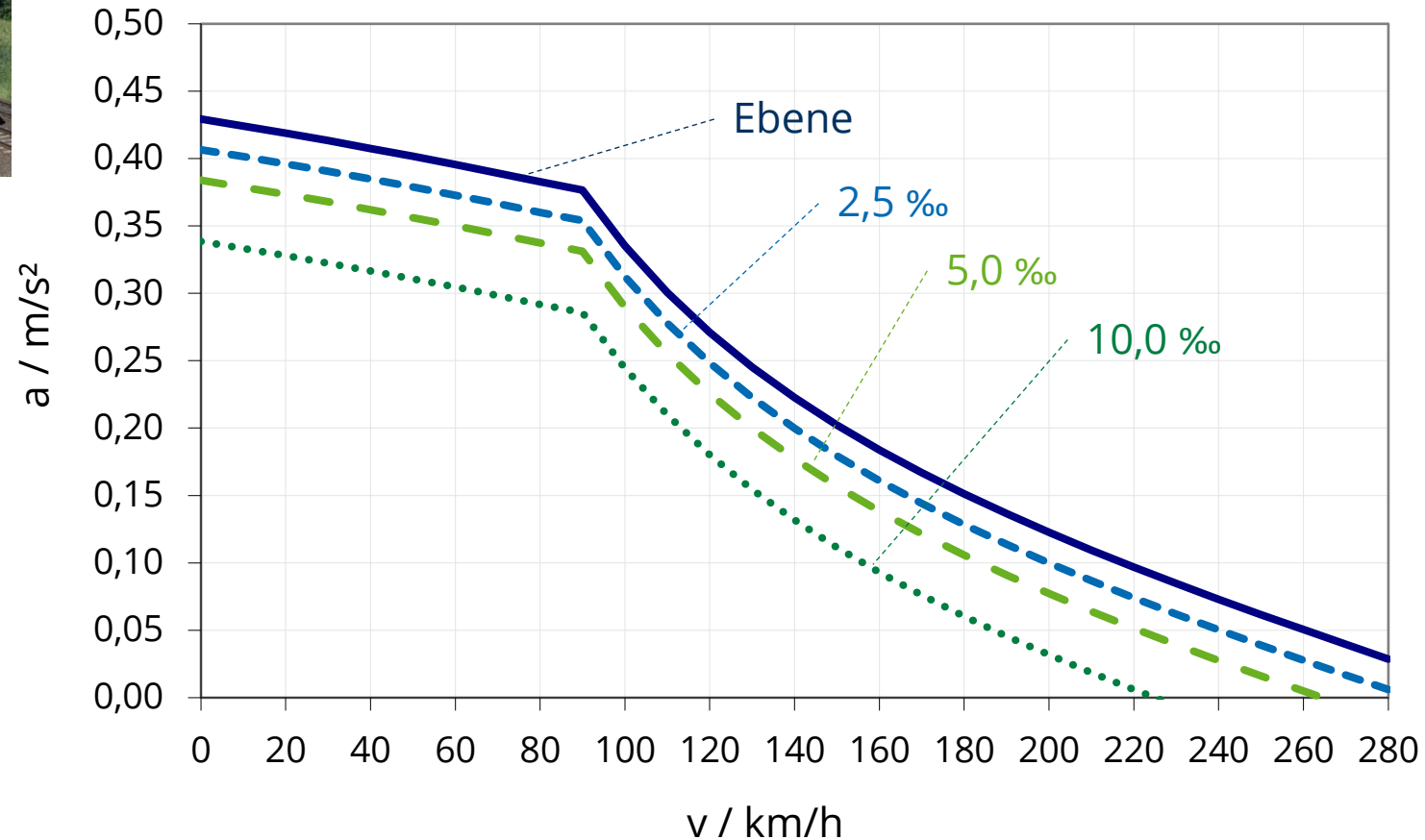
Beispiel ICE 1



$$a = \frac{F_T(v) - F_{WF}(v) - im_z g}{\xi_Z m_Z}$$



Zugmasse: 850 t
 Massenfaktor: 1,08

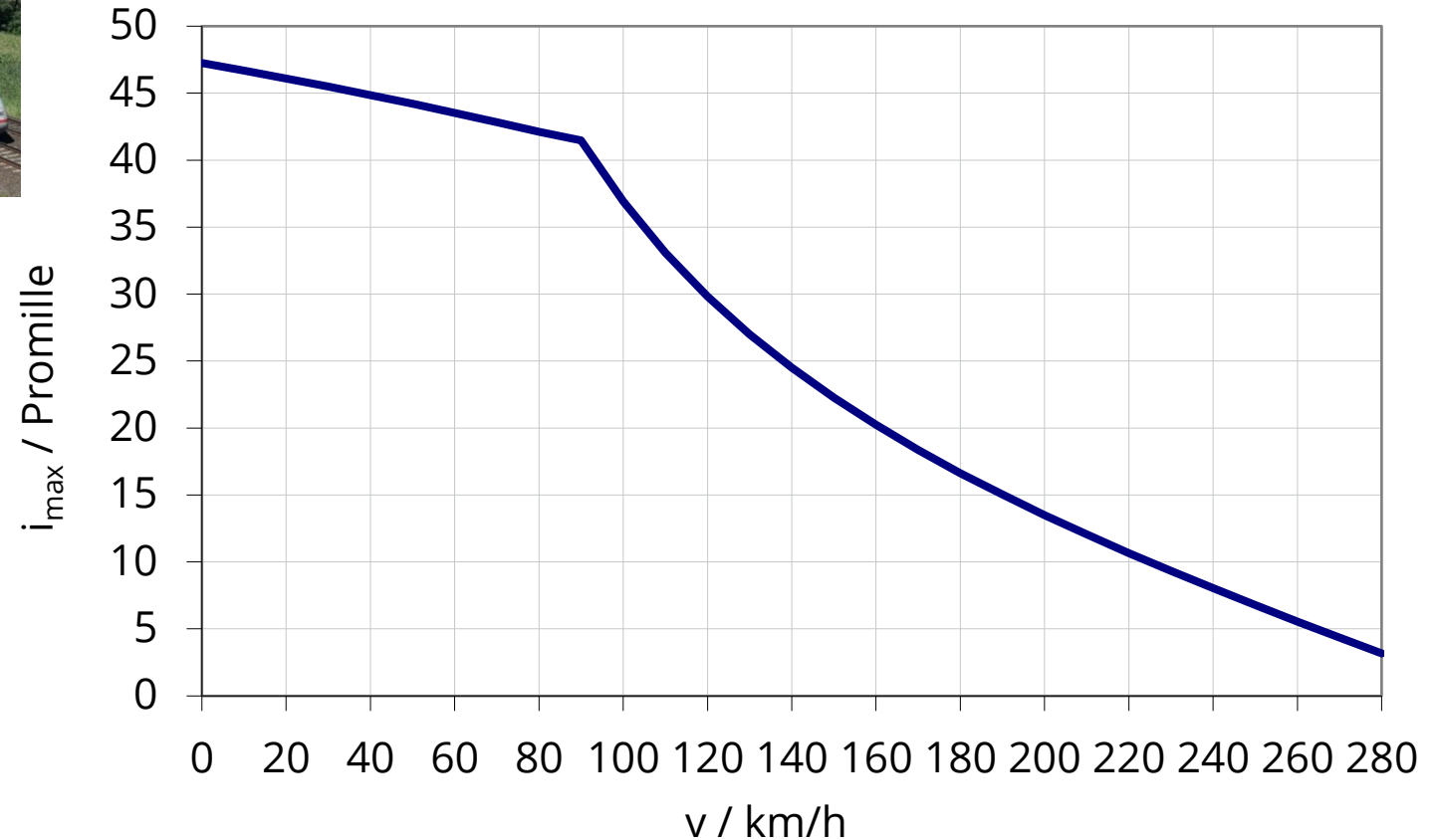
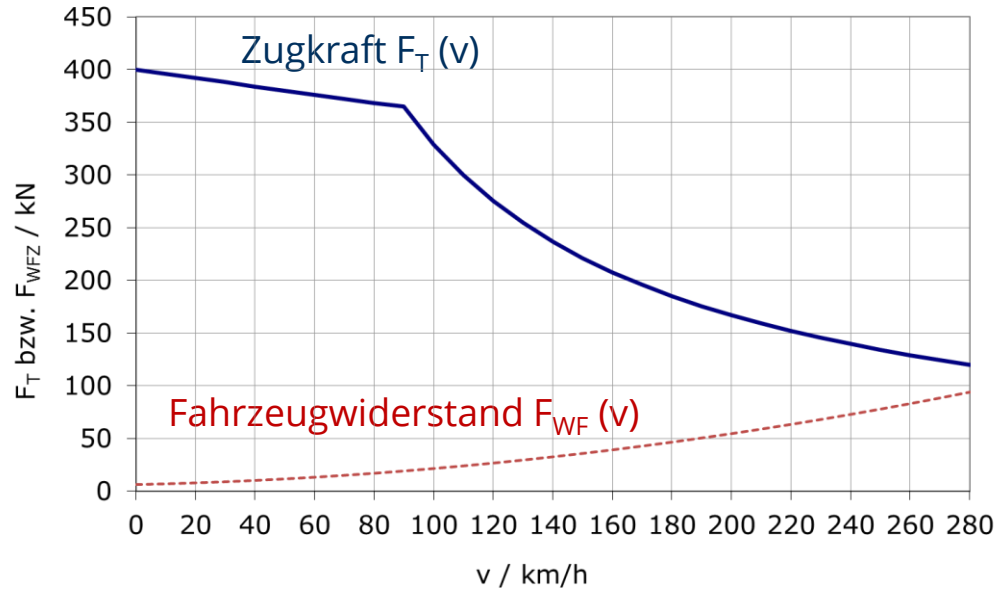


Steigvermögen (in Beharrung)

Beispiel ICE 1



$$i = \frac{F_T(v) - F_{WFT}(v)}{m_Z g}$$

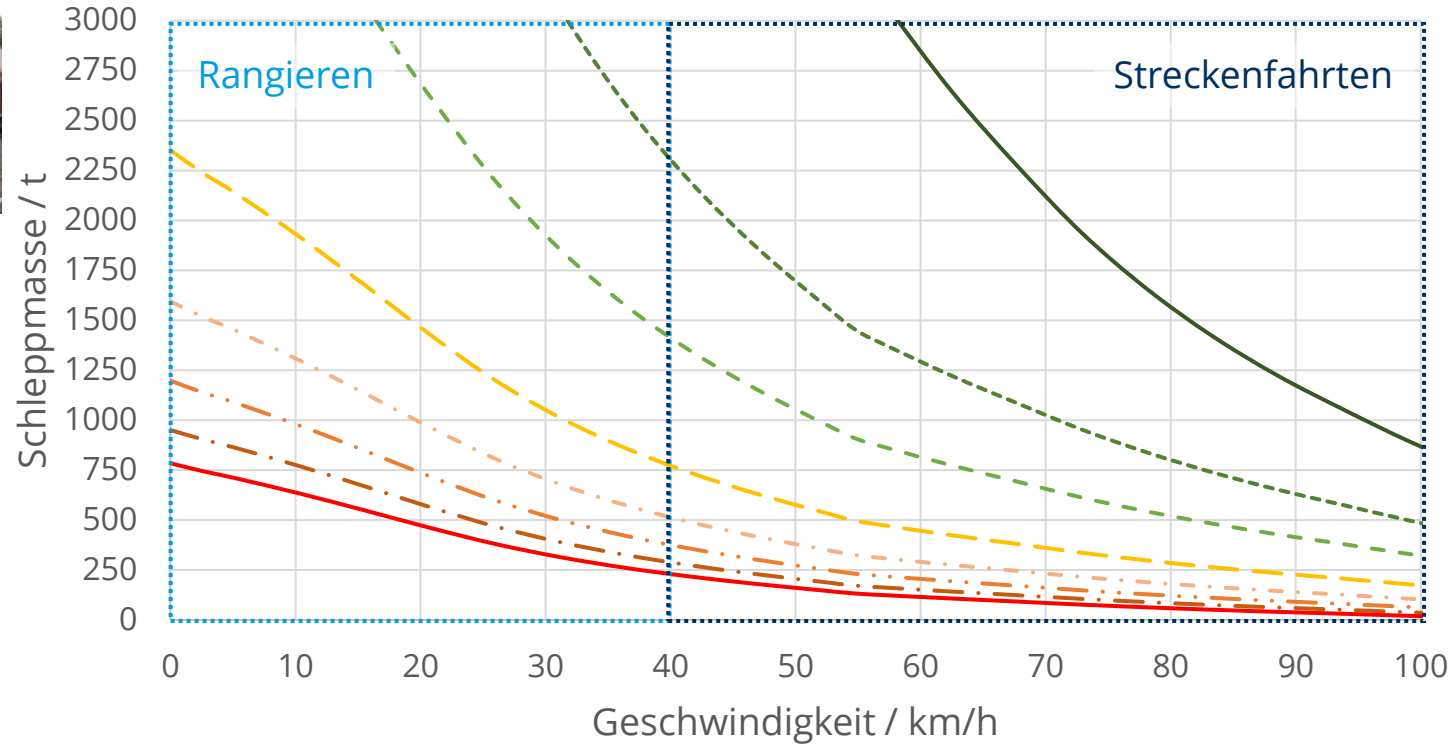
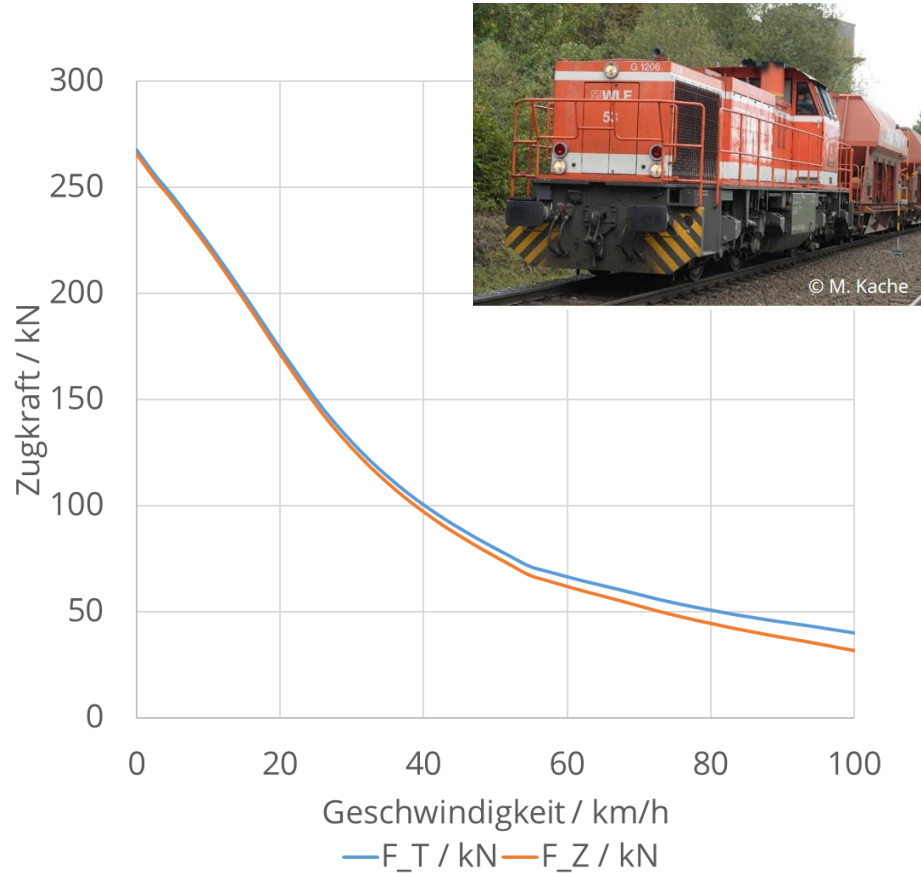


Zugmasse: 850 t
 Massenfaktor: 1,08

Schleppvermögen (in Beharrung)

Beispiel: G 1206 + Güterganzzug

$$m_W = \frac{F_Z(v) - m_T g i}{g(f_{WFW}(v) + i)}$$



spezifischer Wagenzugwiderstand: $f_{WFW} = 0,0011 + 0,0020 \left(\frac{v + 15}{100} \right)^2$

Triebfahrzeugmasse: 88 t

- m_W (0 Promille)
- - - m_W (2.5 Promille)
- - - m_W (5 Promille)
- - - m_W (10 Promille)
- · - m_W (15 Promille)
- · - m_W (20 Promille)
- · - m_W (25 Promille)
- m_W (30 Promille)

Lokomotiv-Kenndiagramm

Ausgangspunkt: Fahrdynamische Grundgleichung:

$$F_T - F_{WFT} - F_{WFW} - F_{WS} = 0$$

$$F_Z - f_{WFW} \cdot m_W \cdot g = f_{WS} \cdot (m_T + m_W) \cdot g$$

linke Seite der Gleichung: Zugkraftüberschuss

rechte Seite der Gleichung: Neigungswiderstand

Interpretation als **lineare Funktion über m_W**

Interpretation als **lineare Funktion über m_W**

mit Steigung $-g \cdot f_{WFW}(v)$ und

mit Steigung $g \cdot f_{WS}(i)$ und

Schnittpunkt $F_Z(v)$ mit y-Achse

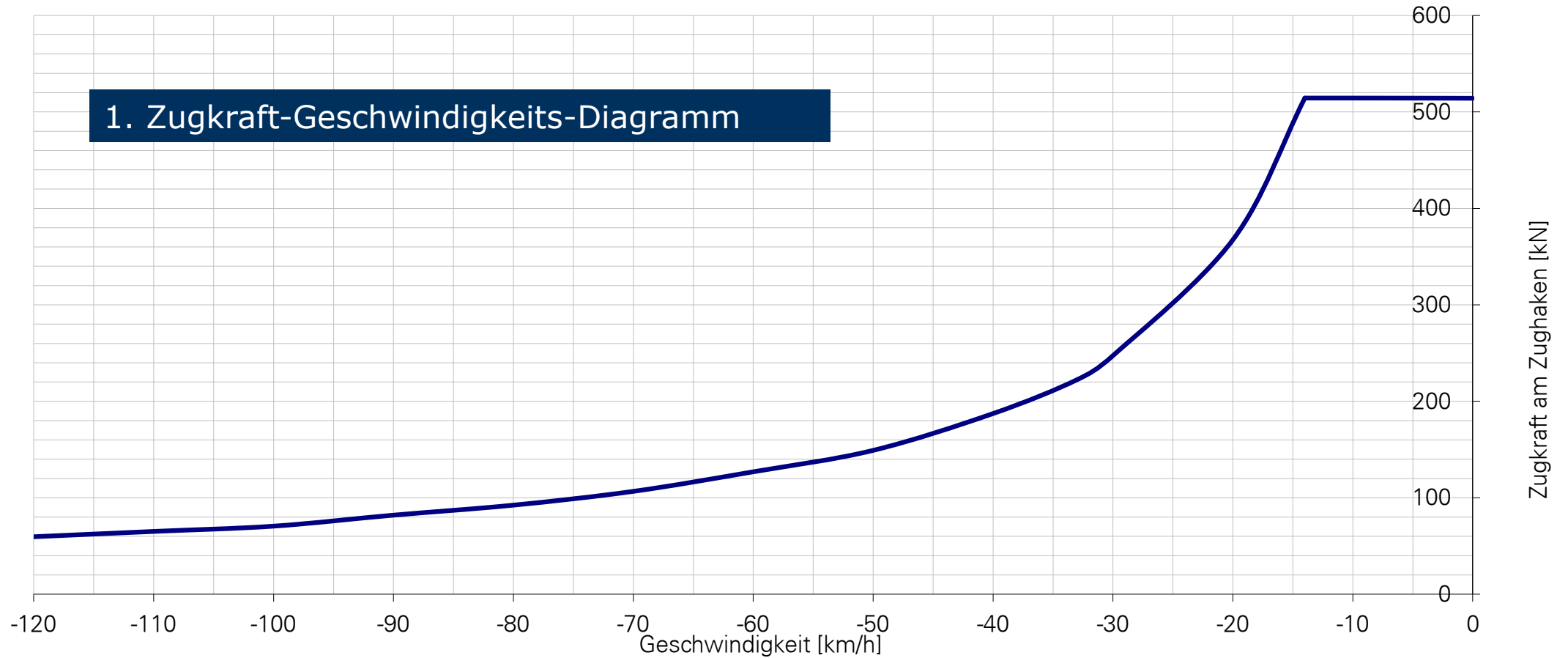
Schnittpunkt $f_{WS} m_T g$ mit y-Achse

In Abhängigkeit der Parameter f_{WFW} , v und i ergeben sich Geraden-Scharen, an deren Schnittpunkten jeweils ein Beharrungszustand auftritt (Grundgleichung ist erfüllt).

In ein Diagramm getragen ergibt sich: **Lokomotiv-Kenndiagramm**

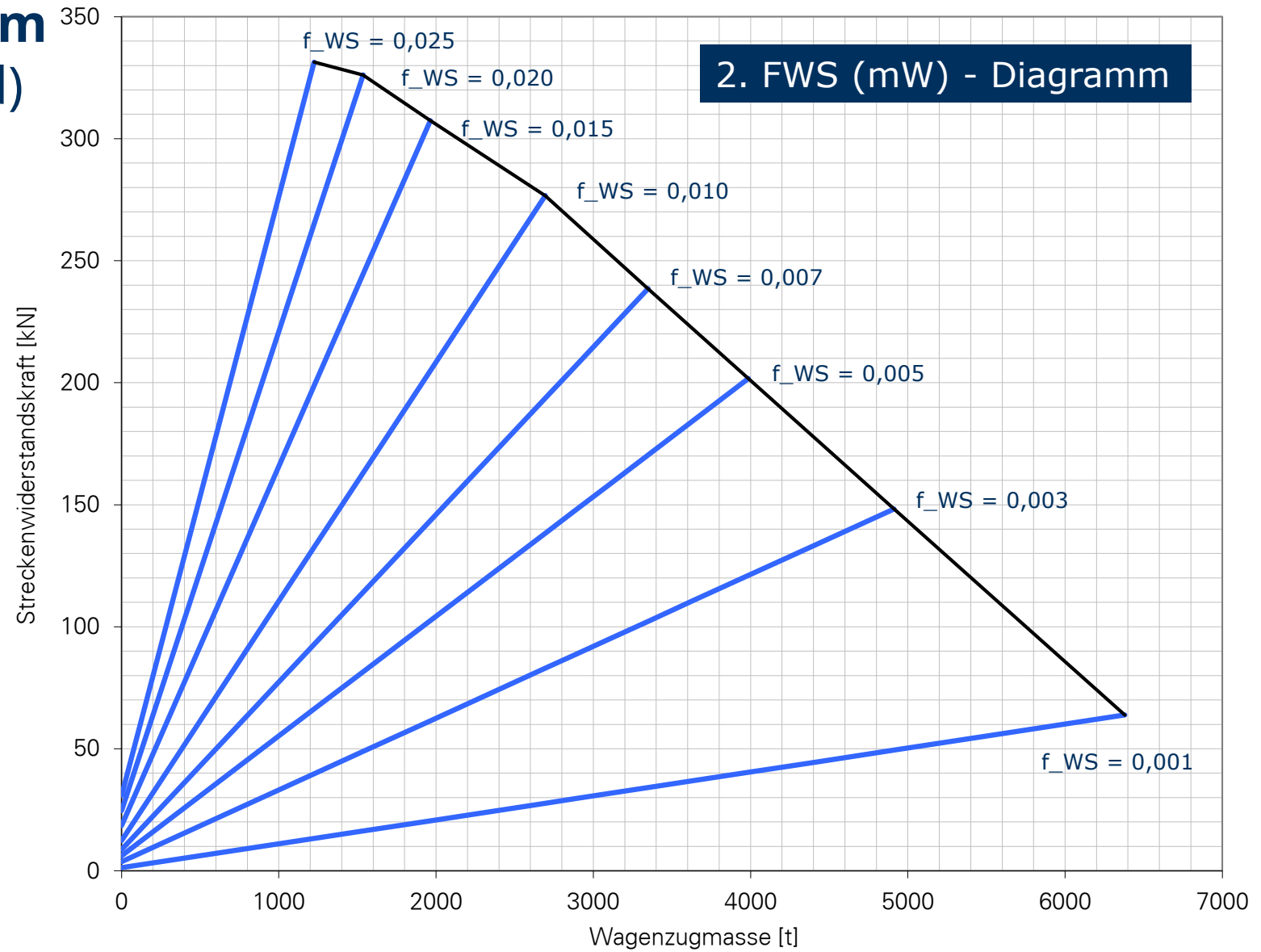
Lokomotiv-Kenndiagramm

Teil 1



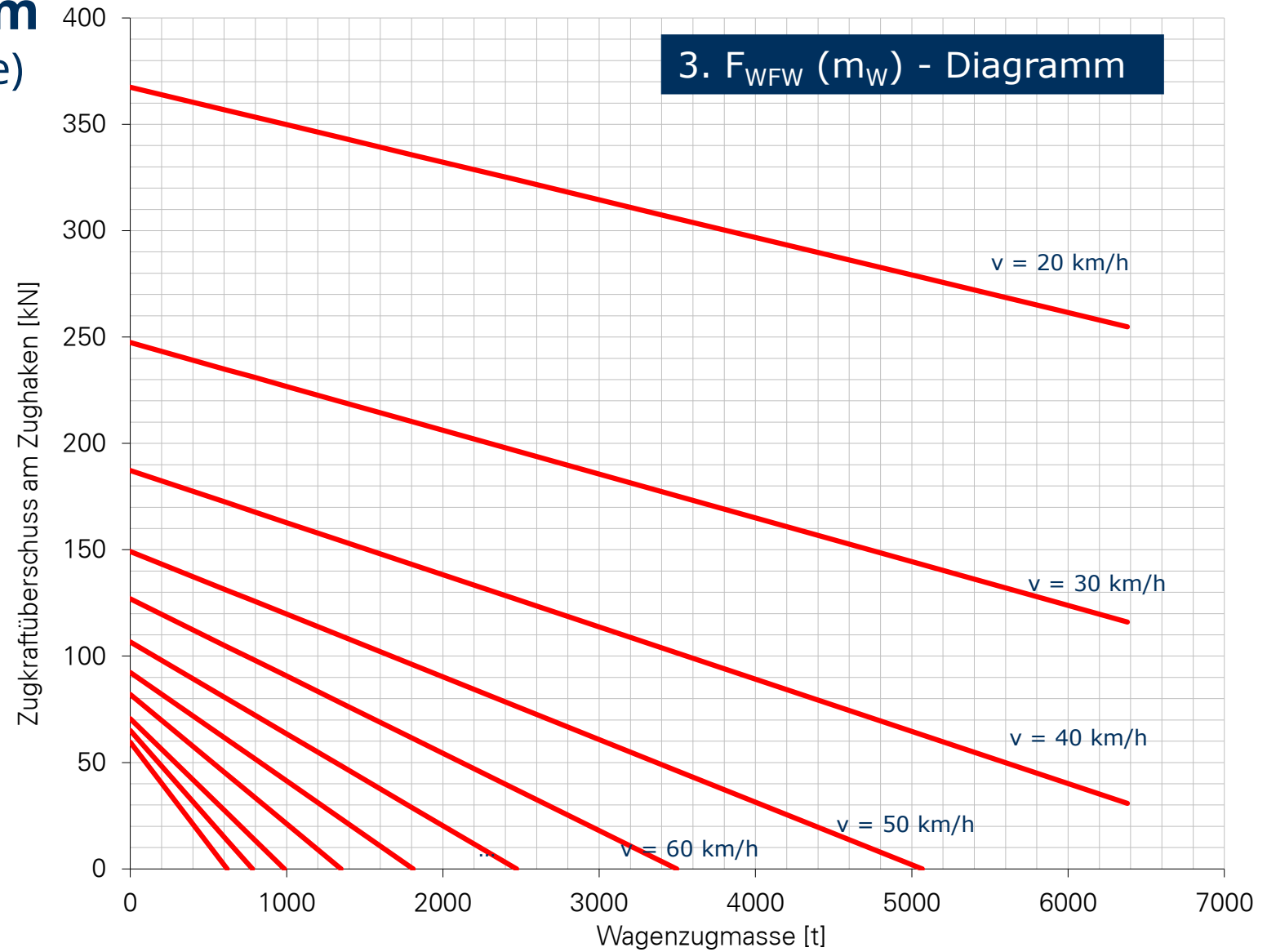
Lokomotiv-Kenndiagramm

Teil 2 (Neigungswiderstand)



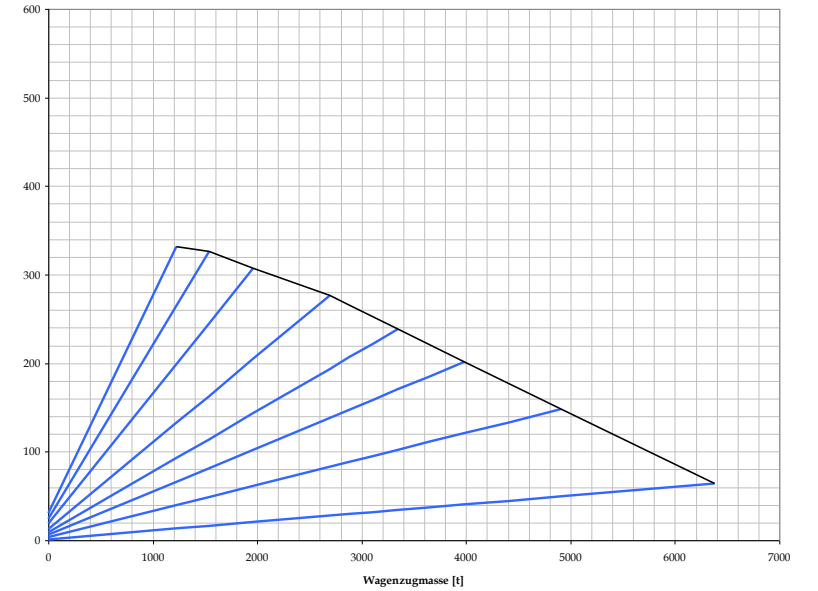
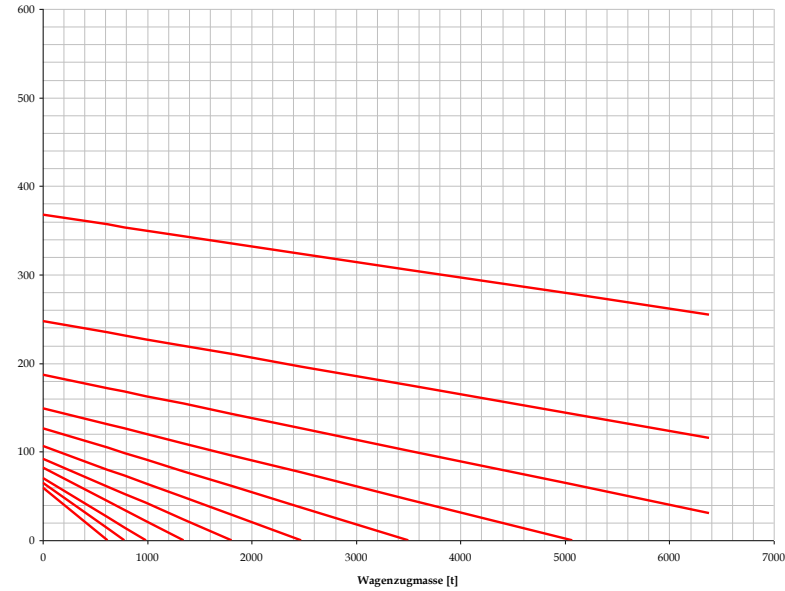
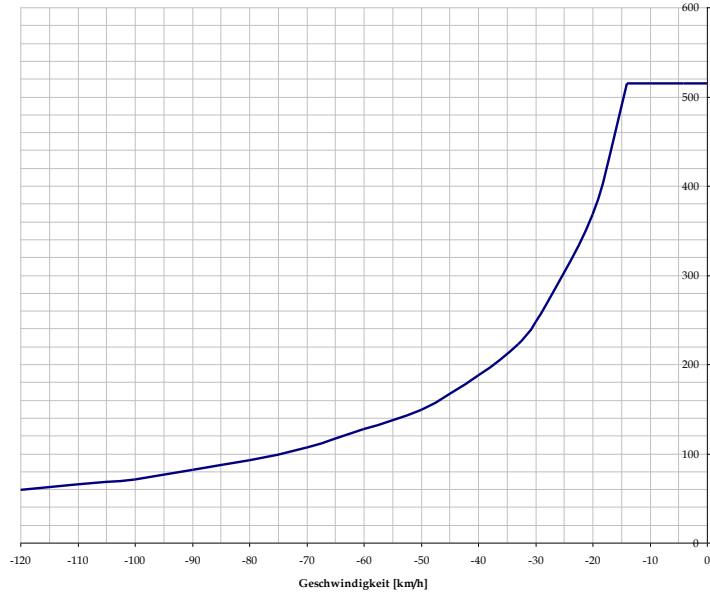
Lokomotiv-Kenndiagramm

Teil 3 (Zugkraftüberschuss Ebene)



Lokomotiv-Kenndiagramm

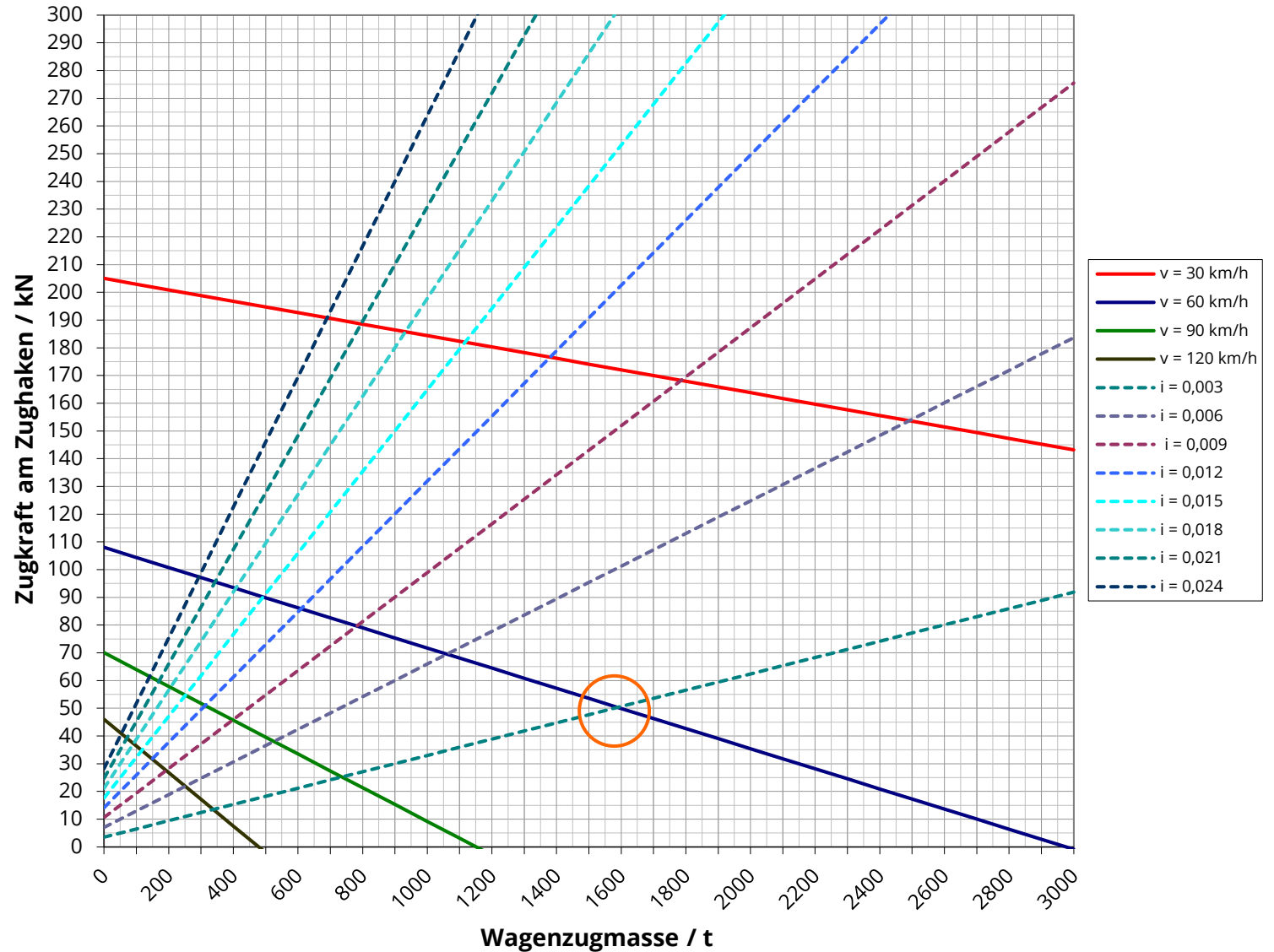
Teil 4



Lokomotiv-Kenndiagramm

Teil 5

v	i	m _W
60km/h	3‰	1600t
60km/h	15‰	500t
90km/h	15‰	250t
30km/h	15‰	1100t
120km/h	3‰	325t



Lokomotiv-Kennendiagramm

Beispiel



30 km/h @ 10 ‰

- knapp 450 t Wagenzugmasse
- Gilt nur in der Beharrung!

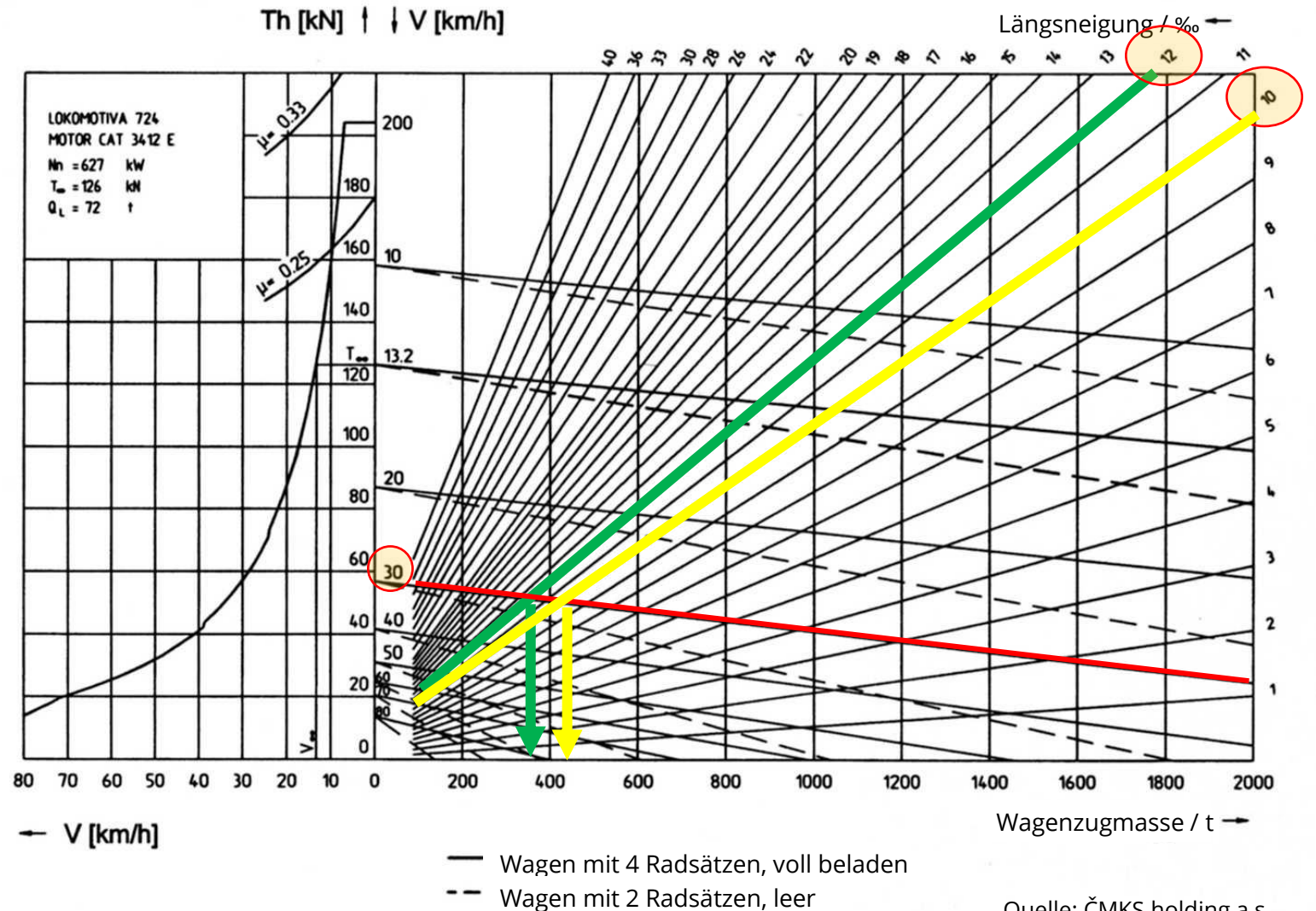
Das Fahrzeug weist eine geringe Leistung auf und ist für den Rangierbetrieb ausgelegt.

30 km/h @ 10 ‰ + $f_a = 2 \text{ N/kN}$

2 N/kN entsprechen

2 ‰ Neigung

- Knapp 100 t weniger Wagenzugmasse!



Schleppplastentafel (veraltet)

Beispiel: BR 155



<i>Leistungstafel</i>																									
<i>kml/h</i>		50	60	70	80	90	100	110	120	50	60	70	80	90	100	110	120	50	60	70	80	90	100	110	120
	<i>Anfahr- höchst- lastentl</i>	<i>Wagenmasse in t</i>																							
<i>Steigung</i>		<i>D-Züge</i>								<i>Personenzüge</i>								<i>Güterzüge</i>							
1‰ 1:1000	3000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2845	2180	1645	1405
3‰ 1: 333	3000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2150	2480	2220	1755	1350	1175
4‰ 1: 250	2875	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2650	2425	2270	2010	1595	1235	1085
5‰ 1: 200	2520	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2340	2165	2005	1825	1460	1135	1005
6‰ 1: 166	2240	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2100	1955	1810	1670	1345	1050	935
8‰ 1: 125	1825	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	945	—	1730	1630	1525	1425	1160	915	820
10‰ 1: 100	1535	—	—	—	—	—	—	1000	940	—	—	—	—	—	—	900	825	—	1465	1390	1315	1240	1015	805	725
15‰ 1: 67	1085	—	—	—	—	—	880	725	680	—	—	—	—	990	825	670	620	—	1050	1010	970	925	765	610	560
20‰ 1: 50	830	—	830	825	815	800	680	555	520	—	825	810	790	770	645	520	485	—	805	780	760	730	605	485	445
25‰ 1: 40	660	—	660	660	650	640	545	440	415	—	660	650	635	620	520	420	395	—	645	630	615	595	495	395	365

Grenzlasten



Welche Wagenzugmasse kann von welchem Triebfahrzeug auf welchem Laufweg maximal befördert werden?

Grenzlasten

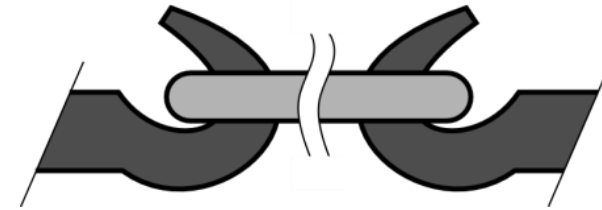
Beispiel missglückte Wiederanfahrt



Grenzlastarten

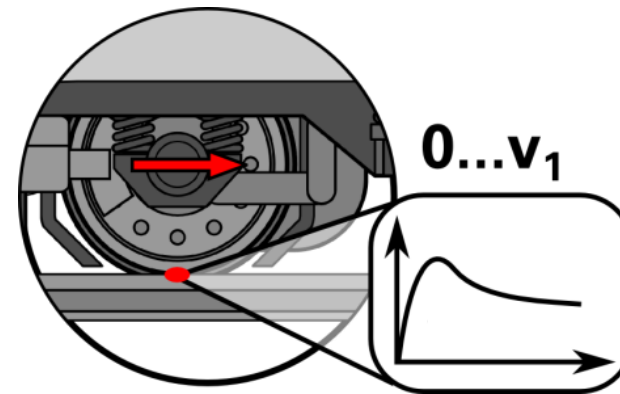
Zughakengrenzlast

Festigkeit der Zugeinrichtung
(Kupplungen)



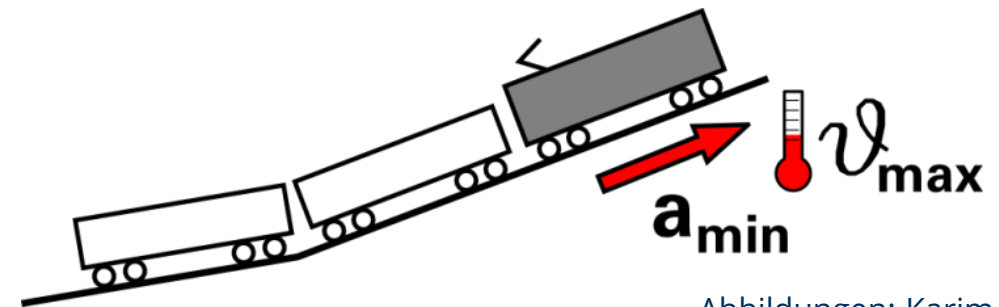
Anfahrrenzlast

Anfahrzugkräfte (Kraftschluss!)
Anfahrwiderstände



Anhängegrenzlast

Mindestgeschwindigkeit
Mindestbeschleunigung
thermische Grenzen



⇒ DB Ril 491.0201

Abbildungen: Karim Benabdellah

Anhängegrenzlast - Randbedingungen

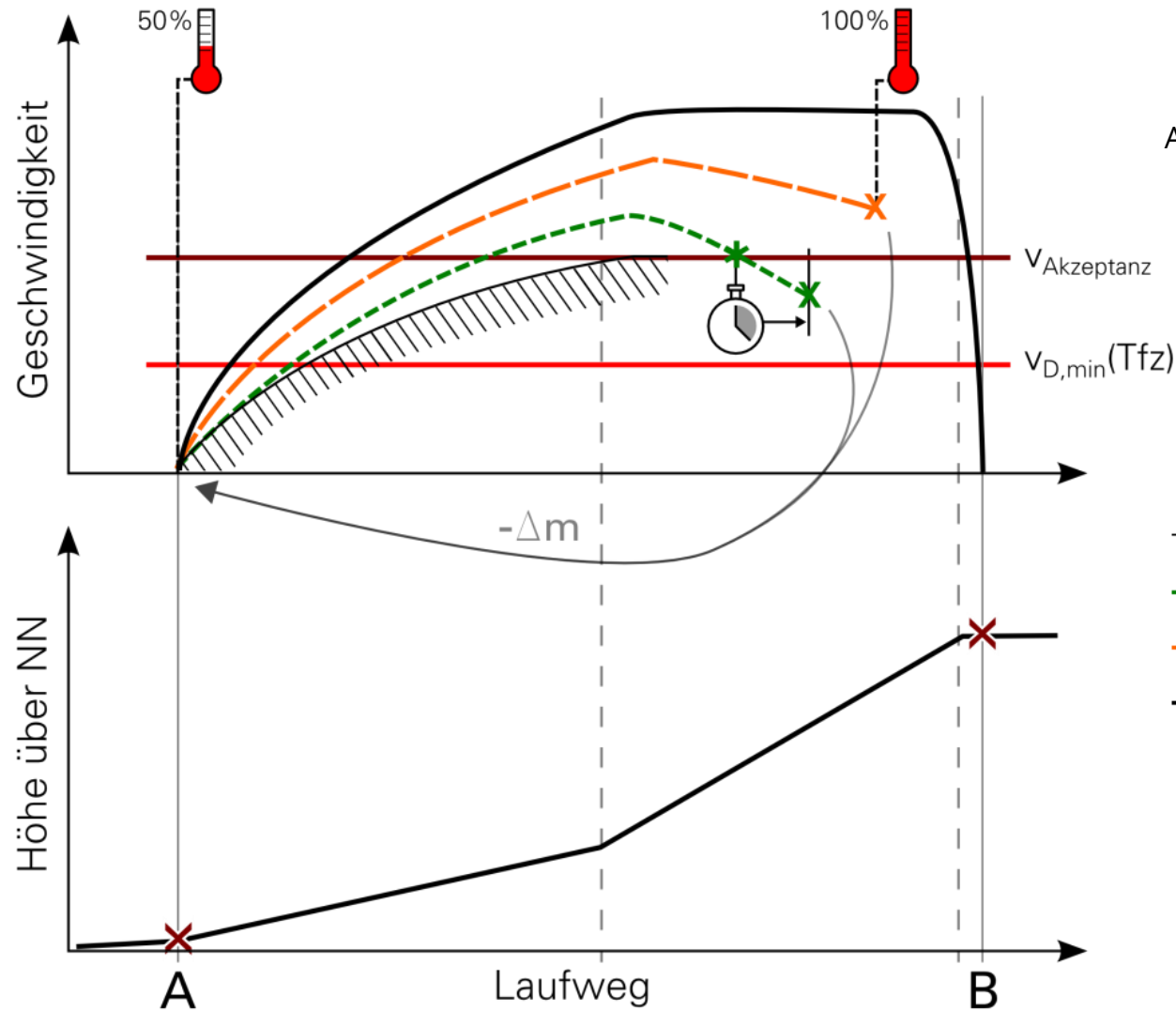


Abbildung: Karim Benabdellah

- TTTTT Grenzkurve a_{\min} , Durchschnitt
- $v_1(s)$ mit Grenzlast m_a
- $v_2(s)$ mit Grenzlast $m_{a,1}$
- $v_3(s)$ mit Grenzlast $m_{a,2}$
- × Betriebsstelle
- 🌡️ parallele Erwärmungsrechnung nach Newton
- * Beginn Zählzeit Abbruchkriterium
- X Bedingtes Abbruchkriterium erfüllt

Grenzlasttabellen

Übersicht der Grenzlasten bis 90 km/h - Brennkrafttriebfahrzeuge -

Strecke: 6212/2 Blatt: 1/2 Dresden-Neustadt Pbf - Görlitz

Streckenabschnitt Betriebsstelle, Signal	Fußnote	Zughaken- grenzlast SK [t]	maximale Druckkraft [kN]	Last bei max Druckkraft [t]	Grenzlast in [t] bei Bespannung mit einem Tfz der Triebfahrzeugbaureihe:												
					202	204	211 LG	211 SG	212 LG	212 SG	216 LG	216 SG	218 LG	218 SG	219	229	232
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Dre-Neustadt Dre-Klotzsche		1505	120	370	400	500	460	300	590	380	690	400	740	480	650	650	825
Dre-Klotzsche Arnsdorf (b Dre)		2940	120	735	920	1150	1050	600	1150	700	1400	600	1450	800	1350	1350	1650
Arnsdorf (b Dre) Bischofswerda		3785	120	1095	920	1150	1050	600	1150	700	1400	600	1450	800	1350	1350	1650
Bischofswerda Bautzen		5065	120	1350	1800	2000	2000	600	2000	700	2000	600	2000	800	2000	2000	2650
Bautzen Görlitz		2645	120	655	920	1150	1050	600	1150	700	1400	600	1400	800	1350	1350	1650



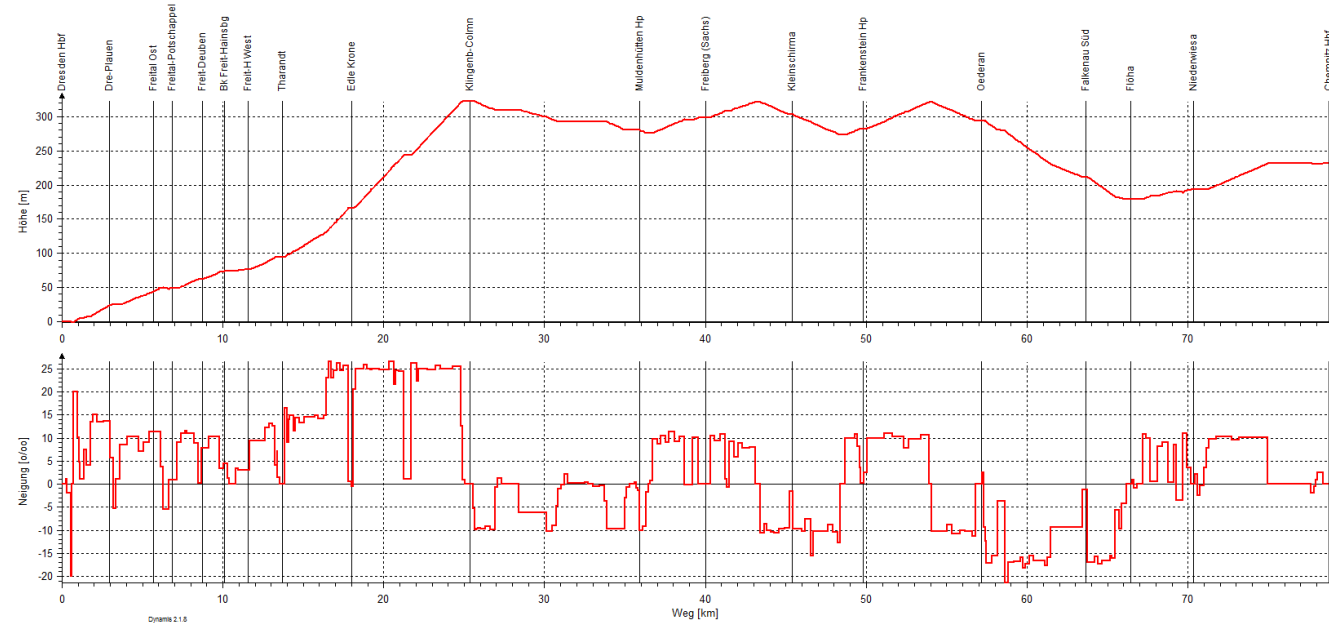
Grenzlasttabellen (Beispiel)

Güterzug mit BR 145 von Dresden nach Chemnitz Schätzung Grenzlast?



BR 145

Masse: 80 t
Leistung: 4200 kW
 v_{\max} : 140 km/h
 $F_{T,\max}$: 300 kN



Quelle: DB Netze

Übersicht der Grenzlasten bis 90 km/h

Strecke: 6258/1 Blatt: 1/4 Dresden Hbf - Abzw Werdau Bgdr Nm Spitze km 136,239 (- Neumark)

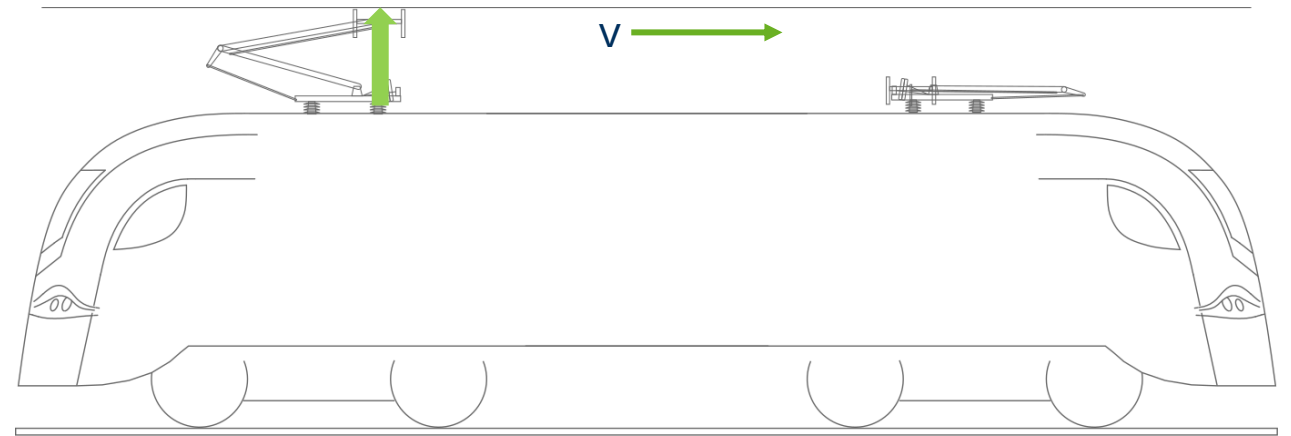
Anhang 3

Streckenabschnitt Betriebsstelle, Signal	Fußnote	Zughaken- SK [t]	maximale Druckkraft [kN]	Last bei max Druckkraft [t]	Grenzlast in [t] bei Bespannung mit einem Tfz der Triebfahrzeugbaureihe:																		
					101	103	110 111	112	120	139 140	140+ 232	141	143	143+ 232	145 152	150	150+ 232	151	151+ 232	155	155+ 232	156	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Dresden Hbf Freit-Potschapp	1)	2115	120	580	1500	1000	1050	800	1450	1050		830	900		1500	1550		1450		1300		1300	
Freit-Potschapp Tharandt		2340	120	610	1740	1000	1200	930	1690	1200		970	1030		1740	1800		1700		1500		1500	
Tharandt Klingenb-Colmn	2)	1045	120	290	825	505	435	415	800	555	950	420	490	900	825	1100	800	1100	800	1100	800	1100	800

Vorlesungsinhalte

Schwerpunkt Schienenverkehr

- Einführung
- Grundlagen
- Fahrwiderstandskräfte
- Antriebskräfte
- Traktionsvermögen
- **Leistungs- und Energiebedarf**
- Grundlagen der Fahrzeitberechnung

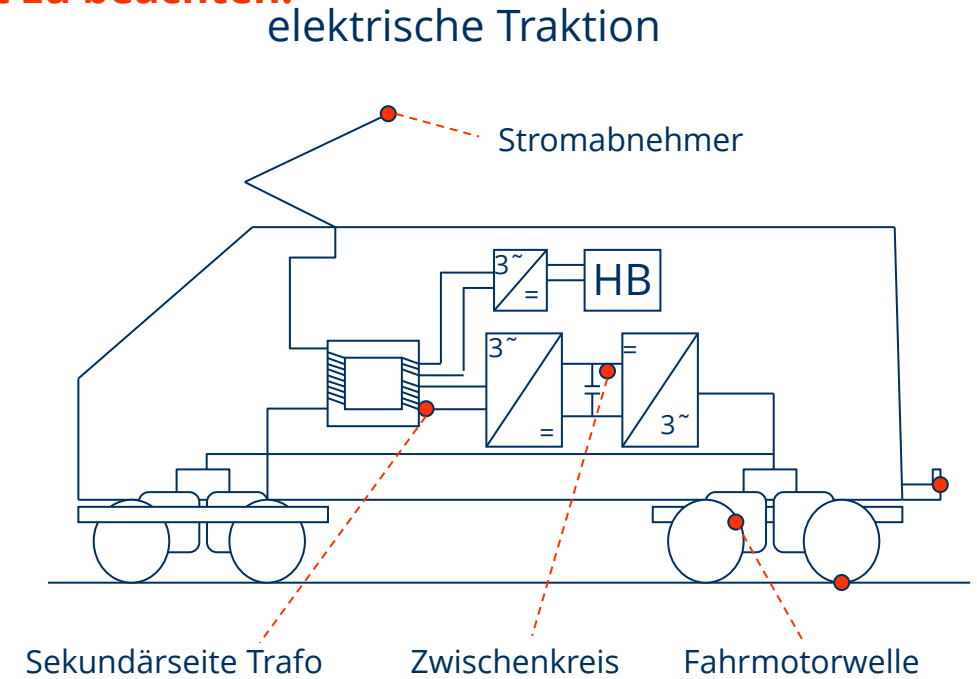
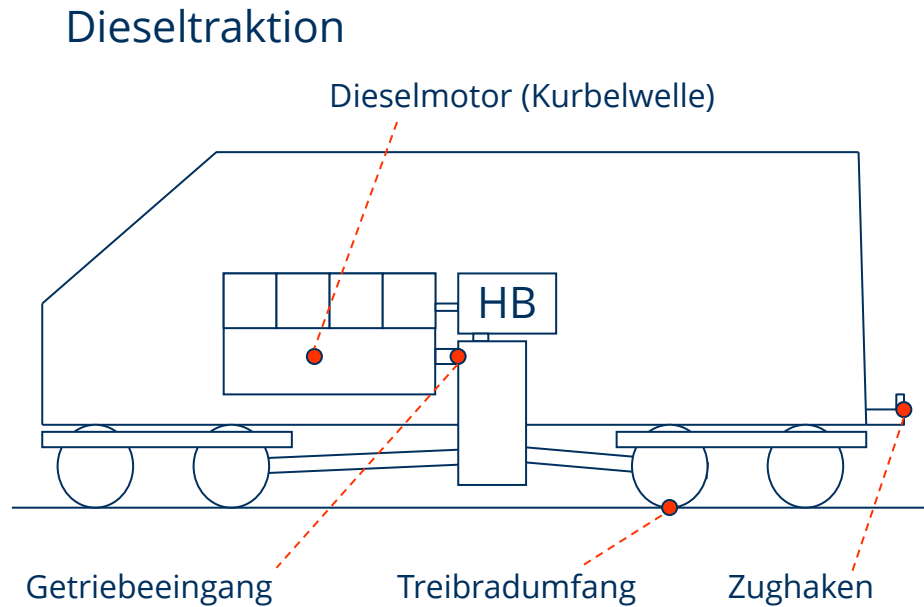


Leistungsbedarf

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!



Beispiele „Zugförderprogramm“



BR 120

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

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

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

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

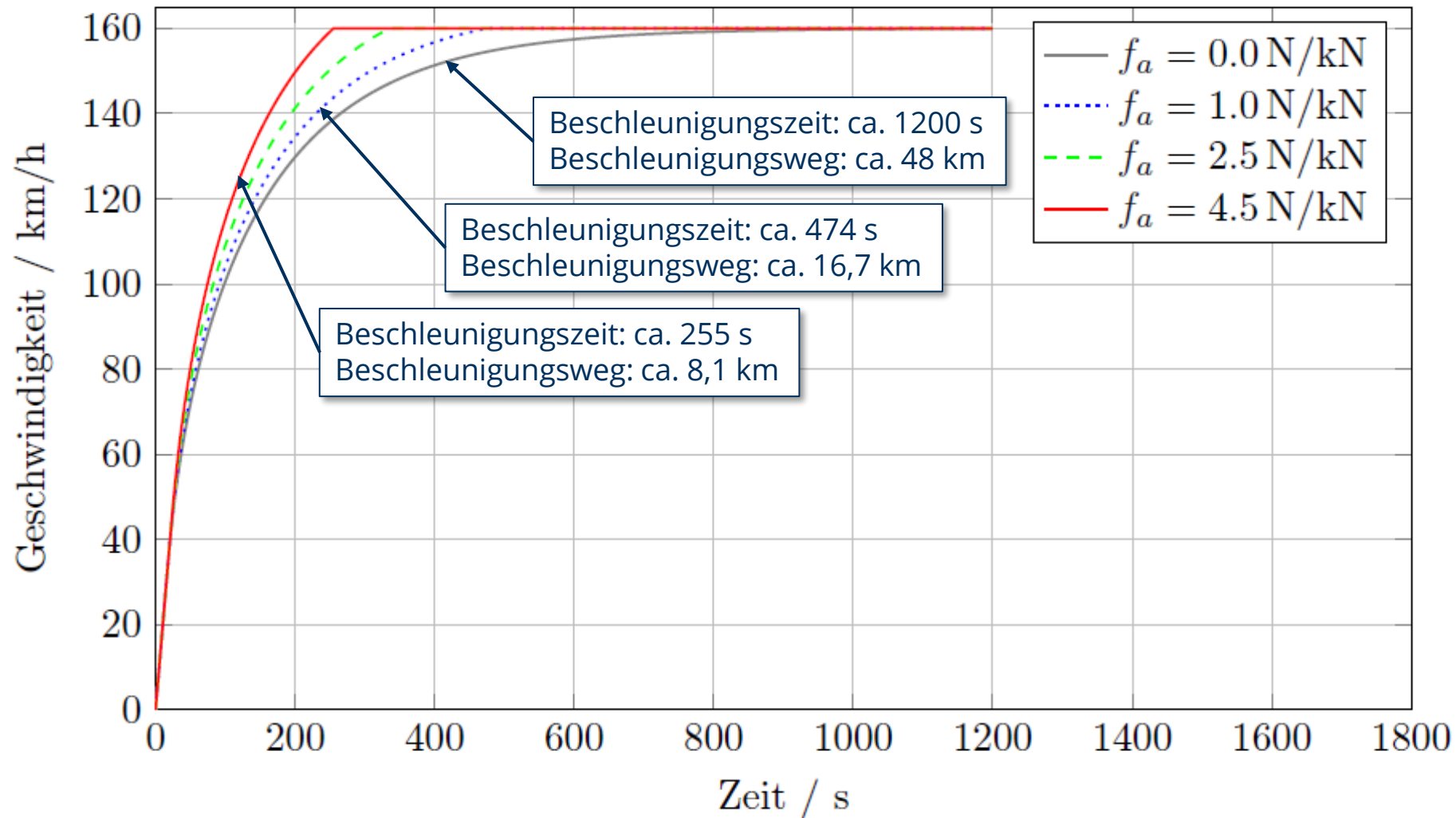


Siemens Vectron

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 $\eta_{Lü}$, Hilfsleistungsbedarf, Komfortleistung):

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

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

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)

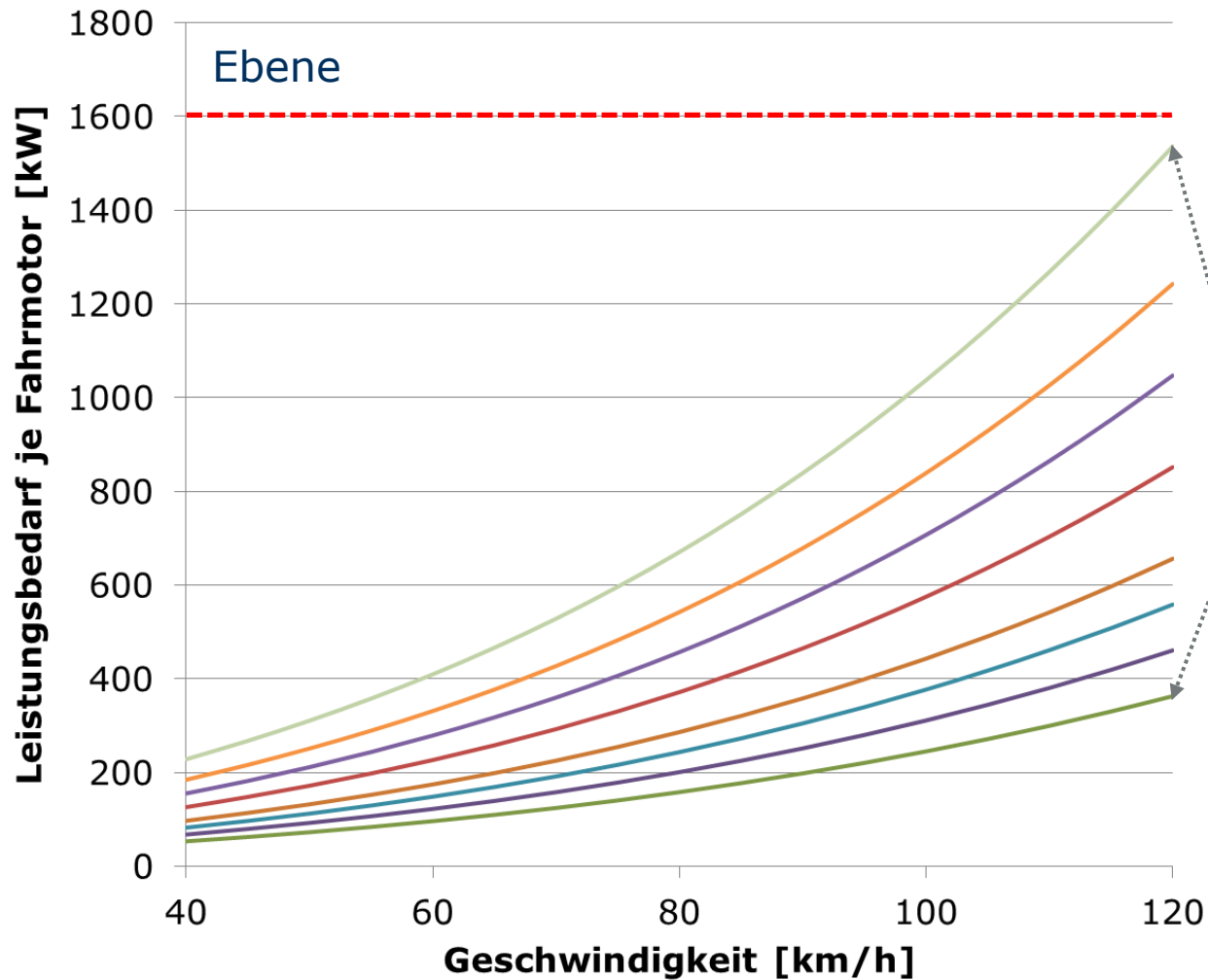
$$P_{FM} = \frac{P_T}{z_{FM} \cdot \eta_{RS}} = \frac{v}{3,6} \left[\frac{F_{WFT} + f_{WFW} m_W g + (f_{WS} + f_A) \cdot g \cdot (m_T + m_W)}{z_{FM} \cdot \eta_{RS}} \right]$$

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

η_{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:

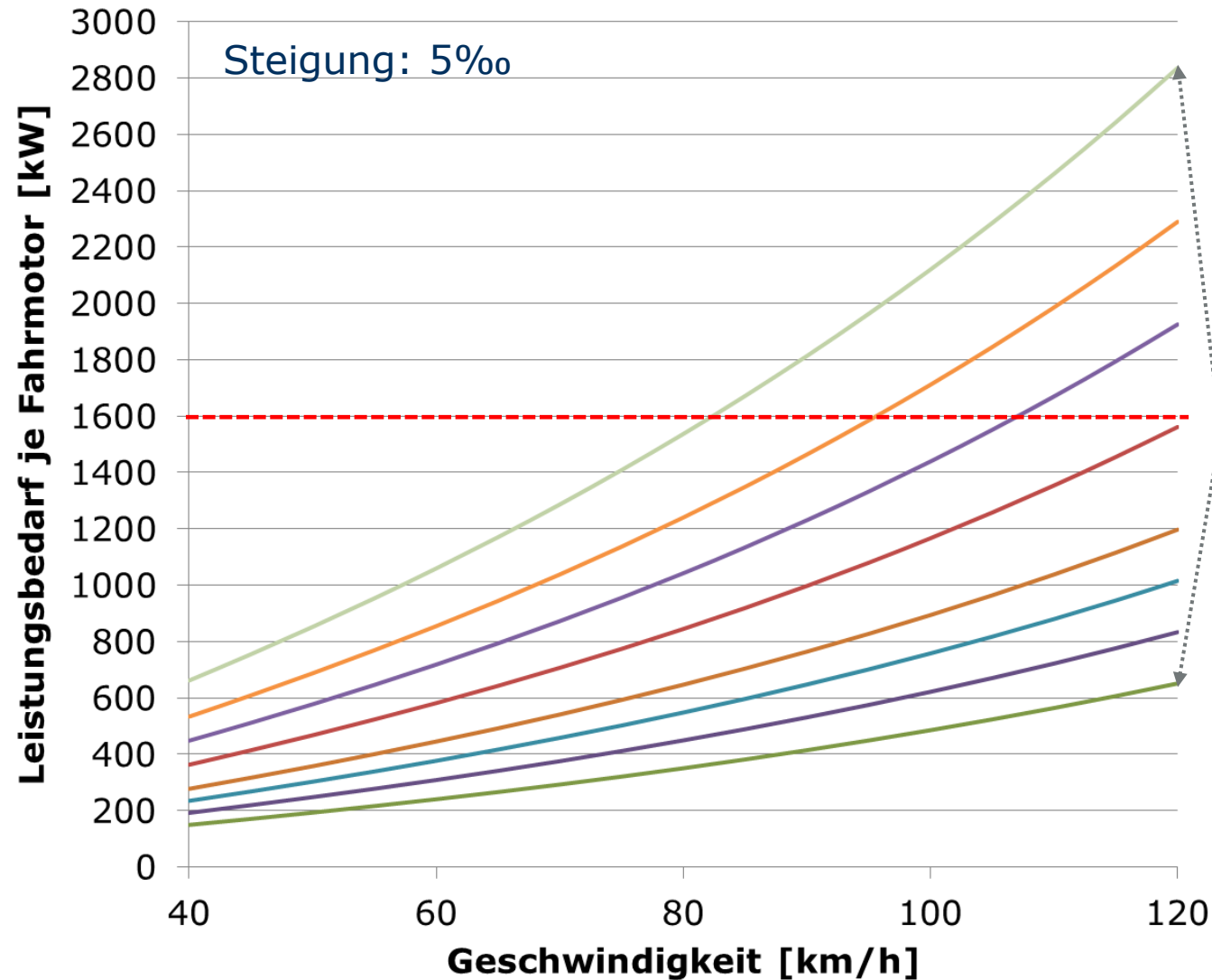


BR 145: 4 x 1050 kW



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

Lt. Ausschreibung: 140 (160) km/h
 Lt. Ausschreibung: 5x55t + 60t = 335t
 Lt. Ausschreibung: 0 Promille (Ebene)
 Lt. Ausschreibung: 3 N/kN
 Lt. 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.

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

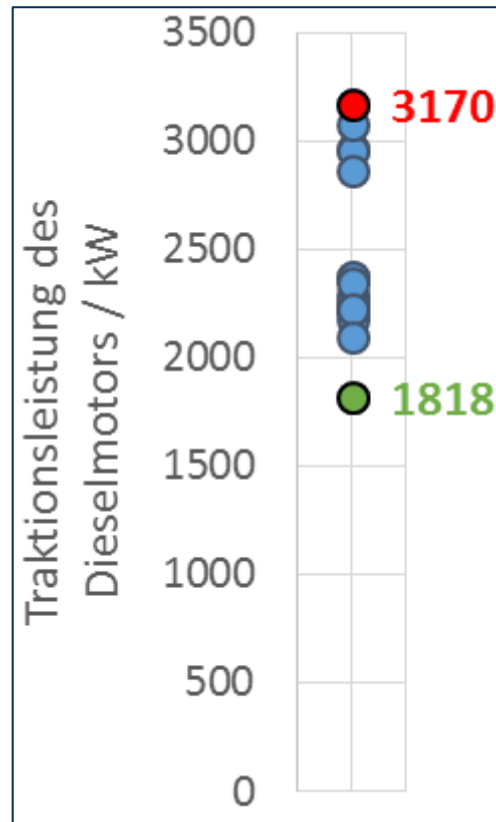
Gl. DR, Dosto-Züge

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

Messungen Metronom (Diss. R. Schimke)

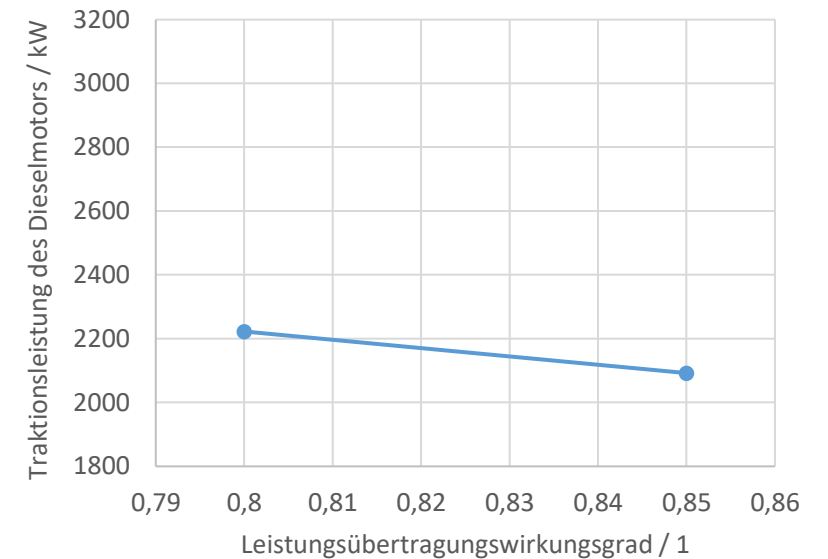
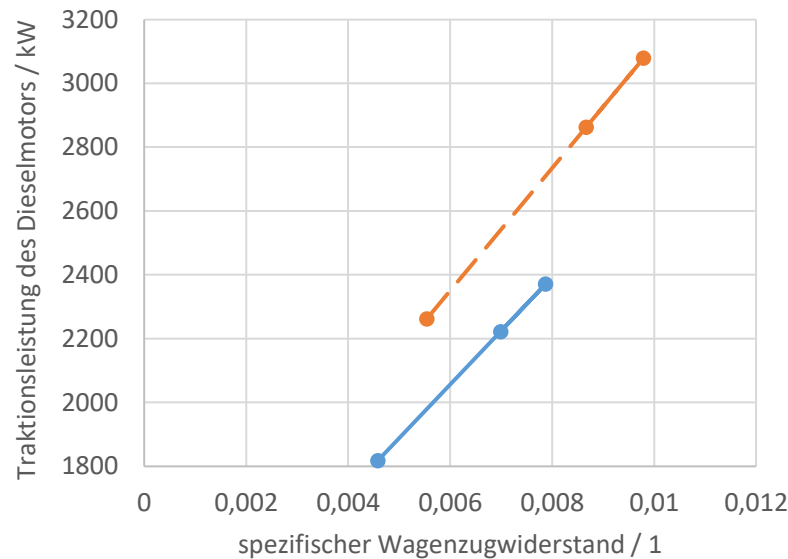
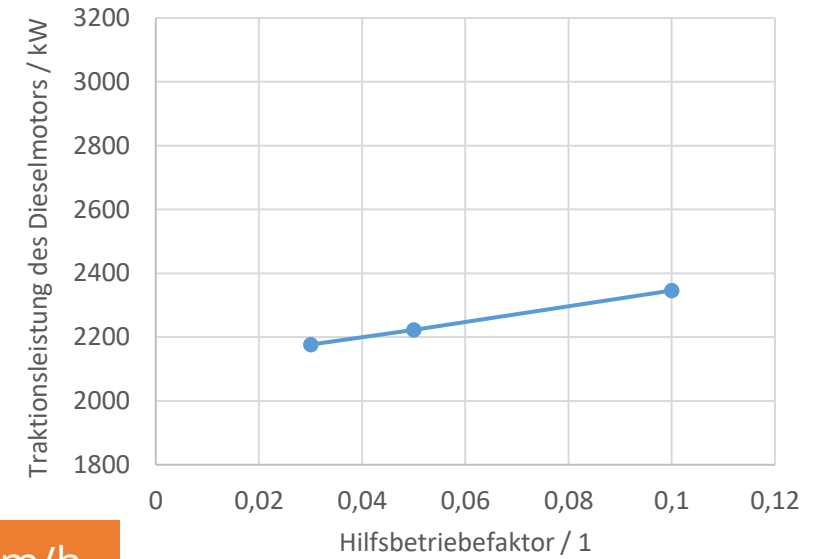
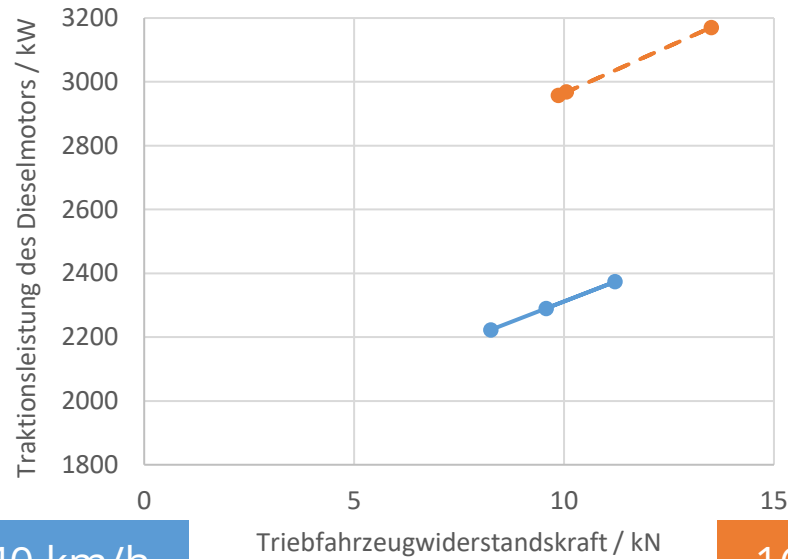
Beispiel: Fahrzeugaus- schreibung

Sensitivitätsbetrachtung



140 km/h

160 km/h



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 Ψ
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

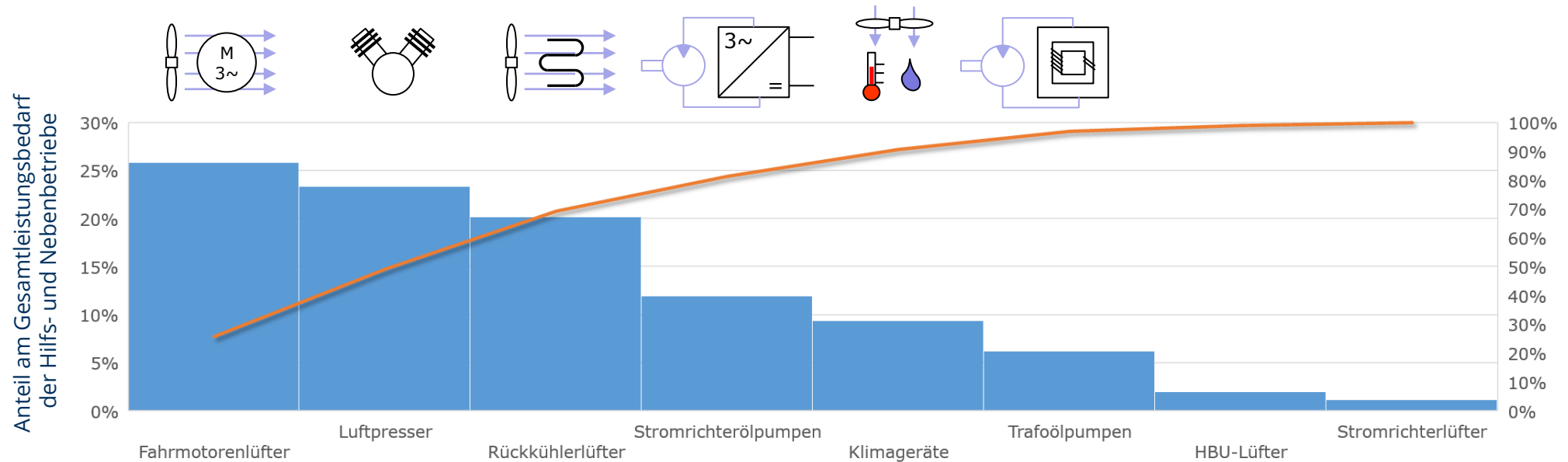
ICE-T: 4 x 250 kVA



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