

Dr.-Ing. Michael Karatas

Siemens Mobility GmbH
Krefeld-Uerdingen

michael.karatas@siemens.com



Gliederung

Zugförderung

- Fahrwiderstände
- Kraftschluss
- Kennlinien von Antriebsmaschinen
- Zugförderungsberechnung – Bsp. RRX

Überblick

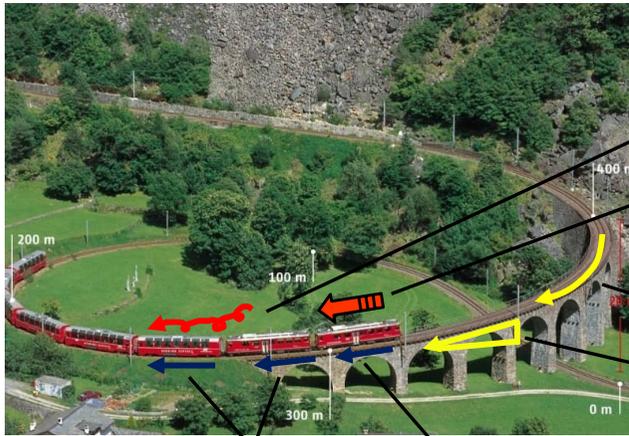
- I. Einführung
- II. Zugförderung**
- III. Wagenkasten
- IV. Fahrtechnik / Systemkinematik
- V. Komfort
- VI. Antrieb
- VII. Bremse

Gliederung

Zugförderung

- Fahrwiderstände
- Kraftschluss
- Kennlinien von Antriebsmaschinen
- Zugförderungsberechnung – Bsp. RRX

2.1 Fahrwiderstände Allgemeines



Aerodyn. Widerstand
Beschleunigungswiderstand
Krümmungswiderstand
Neigungswiderstand

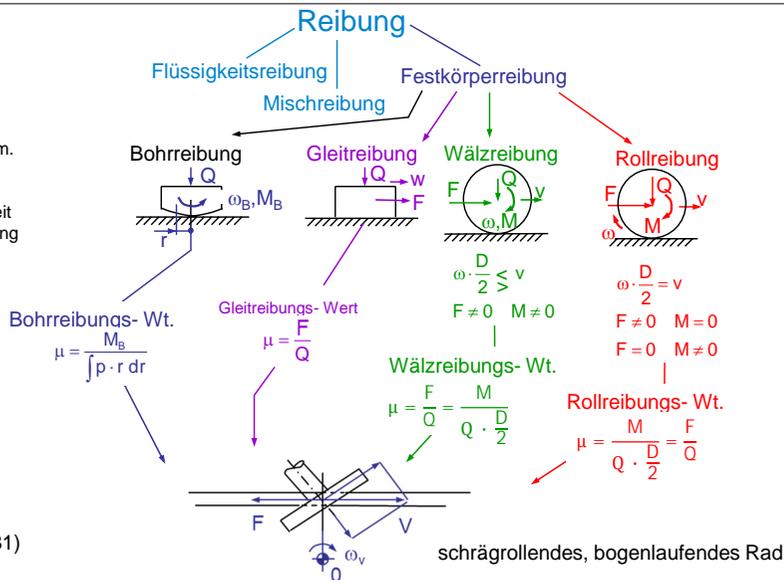
Rollwiderstand Wagen
Rollwiderstand Lok

Bildquelle: contura.rhb.ch



2.1 Fahrwiderstände Allgemeines

- M_B = Bohrmoment
- R = Reibkraft
- D = Raddurchm.
- ω_B = Bohr-Winkelgeschw.
- w = Reibgeschw.
- M = Rad - Drehmom.
- r = Reibarm
- ω_v = Winkelgeschw.
- v = Geschwindigkeit
- p = Flächenpressung
- ω = Winkelgeschw.
- Q = Aufstandskraft
- F = Radkraft



(s. auch DIN 50281)



2.1 Fahrwiderstände Allgemeines

Fahrwiderstände: $\sum W_i [N]$

$$F_{Trieb} = W_L + W_s + W_K + W_a [N]$$

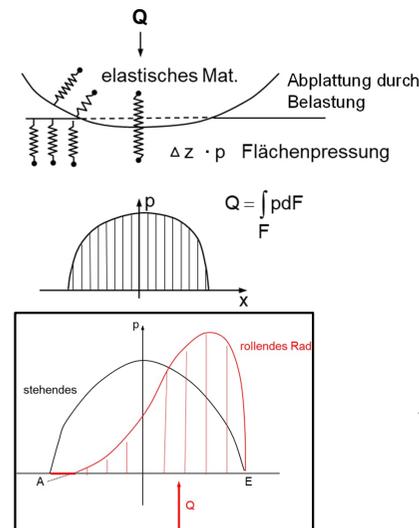
$$F_{Wagen} = W_W + W_s + W_K + W_a [N]$$

- Laufwiderstände aufgrund der Fahrzeugeigenschaften:
 - Triebfahrzeuge W_L
 - Wagen W_W
(Laufwiderstände der Fahrzeuge, inkl. aerodynamischer Widerstand und Impulswiderstand)
- Widerstände infolge des Fahrwegverlaufes:
 - Neigungswiderstand W_s
 - Bogenwiderstand W_K
- Widerstände infolge des Fahrtverlaufes:
 - (Anfahr- / Losbrechwiderstand W_A)
 - Beschleunigungswiderstand W_a

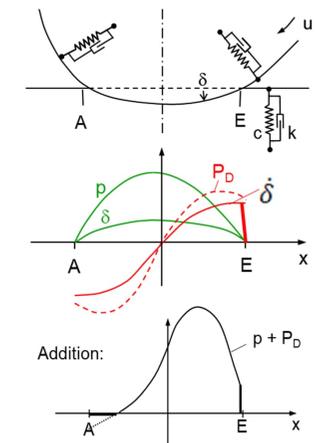


2.1 Fahrwiderstände Rollwiderstand

Tragen beim stehenden Rad

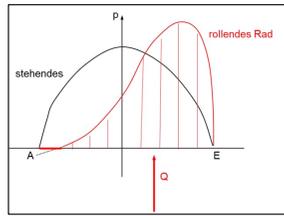
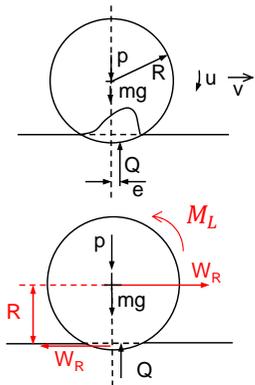


Tragen beim rollenden Rad (gezogener rollender Wagen):



2.1 Fahrwiderstände Rollwiderstand

- Rollwiderstand (inkl. Lagereibung)



$$\sum M = 0: Q \cdot e + M_L - W_R \cdot R = 0$$

$$\rightarrow W_R = \frac{Q \cdot e + M_L}{R}$$

Gezogenes Rad, Zugkraft für reines Rollen:

$$M_L = Q \cdot r_L \cdot \mu_L \rightarrow W_R = Q \cdot \frac{e + r_L \cdot \mu_L}{R} = Q \cdot f_r$$

r_L, μ_L aus Lagerreibung

f_r ist bei der Eisenbahn sehr gering !!
Systemvorteil !

	f_r	
Vollbahnfahrzeug	0,002	F_z rollt + Wälzlager
	0,005	Gleitlager
Straßenbahn	0,008	Schwungfahren am Beispiel Wildenrath
gummigef. Straßenb. - rad	0,015	(annähernd ebener Testring, aber mit erheblichem
Vollgummi auf Schienen	0,020	Bogenwiderstand):
Diagonalreifen auf Asphalt	0,010	Ausgangsgeschwindigkeit: 130 km/h
auf Steinpflaster	0,015	ICE 3, ca. 500 to: rollt antriebslos 5 Runden x 6 km aus =
Reifen auf schlechten		30 km !
Feldweg	0,16	(Ursache: Kombination aus großer Masse und geringem
auf losem Sand	0,30	Rollwiderstand)
		Zum Vergleich: Auto rollt ca. 500m bis 1000 m aus.



2.1 Fahrwiderstände Laufwiderstand Wagen

- Laufwiderstand Wagen W_W (allgemeine Gleichung):

Nach PAMPOUR (1849) für Beharrung im geraden waagerechten Gleis:

$$W_W = G_W g (a + b \cdot v + c \cdot v^2) \text{ [N]}$$

$$W_W = W_R + W_{Imp.}(v) + W_{Aer}(v^2)$$

→ analog: Triebfahrzeug W_L

Koeffizienten:
a = aus Rollwiderstand
b = aus Impuls widerstand, prop. v (wg. Dämpfung)
c = aus Luftwiderstand, prop. v^2
v = Geschwindigkeit [km/h]
 mit G_W = Wagenmasse [t]
 $g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

W_W = Laufwiderstand Wagen
 W_R = Rollwiderstand
 $W_{Imp.}$ = Impuls widerstand
 W_{Aer} = Aerodyn. Widerstand
 W_L = Laufwiderstand Triebfz.

Aufgrund von Versuchen sind in dieser Form eine große Zahl mehr oder weniger voneinander abweichender Formeln angegeben worden, von denen einige nachfolgend beispielhaft angegeben sind (Quelle: Sachs, „Elektrische Triebfahrzeuge“):

v. BORRIES : $W_W = G_W \cdot g (1,5 + 0,012 \cdot v + 0,0003 \cdot v^2) \text{ [N]}$

LEITZMANN : $W_W = G_W \cdot g (1,2 + 0,0067 \cdot v + 0,000455 \cdot v^2) \text{ [N]}$

BARBIER : $W_W = G_W \cdot g (1,6 + 0,00456 \cdot v + 0,000456 \cdot v^2) \text{ [N]}$

CLARK hat als erster die Koeffizienten **a** und **b** in eine Konstante zusammengefasst und schreibt :

$$W_W = G_W \cdot g (2,4 + 0,0001 \cdot v^2) \text{ [N]}$$



2.1 Fahrwiderstände Rollwiderstand

2.1 Fahrwiderstände Laufwiderstand Beispiel ICE

Ein ähnlicher Aufbau der Gleichung wurde für den Laufwiderstand des ICE ermittelt (J.-L. Peters: Bestimmung des aerodynamischen Widerstandes ICE/V im Tunnel und auf freier Strecke durch Auslaufversuche, ETR 39 (1990))
Für den Serienzug:

$$W_{L, spez.} = 11,4 + \left(0,025 + \frac{21,89}{G_L + G_W} \right) \cdot v + \frac{1}{G_L + G_W} (0,208 + 0,0525 \cdot n) \cdot T_f \cdot v^2 \left[\frac{\text{N}}{\text{t}} \right]$$

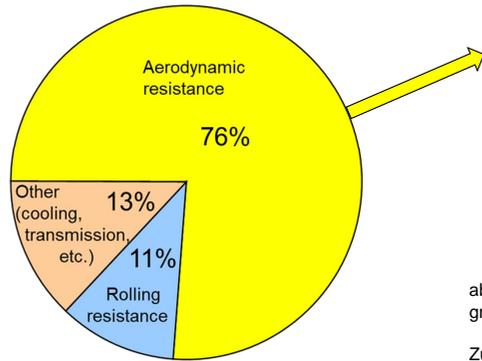
n = Zahl der Mittelwagen $12 \leq n \leq 14$
T_f = Tunnelfaktor : $T_f = 1,4$ im Tunnel; $T_f = 1,0$ im Freien
G_L = Masse der Triebköpfe [t]
G_W = Masse des Wagenzuges [t]
v in [Km/h]

Anmerkung

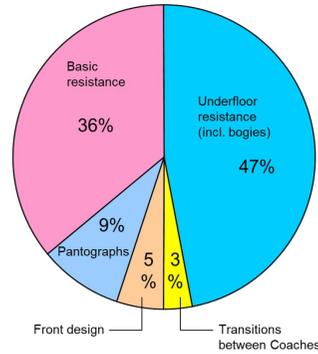
Der Tunnelfaktor wurde beim ICE 1 wichtig, da im Gegensatz zu konventionellen Strecken, bei denen ca. 0,5-1% Streckenlänge im Tunnel verläuft, die Neubaustrecke Hannover-Würzburg zu 37% im Tunnel verläuft.



2.1 Fahrwiderstände Laufwiderstand Beispiel ICE



ICE – Zusammensetzung der Widerstände bei 250 km/h



ab ca. 80 km/h ist der aerodynamische Widerstand der größte Einzelwiderstand.

Zur Info:
bei guter aerodynamischer Auslegung (c_w ca. 0,28) ist das bei PKW ähnlich.
PKW Oberklasse (ab ca. 70 km/h)
PKW Mittelklasse (ab ca. 65 km/h)
PKW Smart (ab ca. 55 km/h)



2.1 Fahrwiderstände Beispiele

- Beispiele aerodynamischer Lösungen



Quelle:
Internet



2.1 Fahrwiderstände Beispiel Pantograph

- Beispiel einer aerodynamischen Lösung

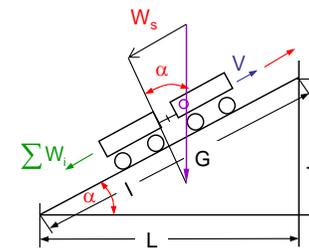


Copyright (c) 1997 D A J Fossett



2.1 Fahrwiderstände Steigungswiderstand

- Widerstand infolge Fahrwegverlaufes - Steigungswiderstand



Steigungswiderstand $\rightarrow W_s$

l = Streckenlänge [m]
 h = Höhendifferenz [m]
 L = waagerechte Länge [m]
 α = Neigungswinkel [°]
 G = Zuggewicht [N]
 F = Zugkraft am Treibradumfang [N]
 W = Zugwiderstand [N]
 s = Steigung
 t = (Fahr-)zeit [s]
 v = Fahrgeschwindigkeit des Zuges [m/s]

$$W_s = G \cdot \sin \alpha \approx G \cdot \tan \alpha = G \cdot h/L = G \cdot s$$

$h > 0 \rightarrow +s$ Steigung
 $h < 0 \rightarrow -s$ Gefälle
 $s = 1 \text{ ‰}$ bedeutet 1 m Anstieg auf 1000 m waag. Länge

$$s = \frac{h}{L} \cdot 10^3 = \tan \alpha \cdot 10^3 = \frac{h \cdot 10^3}{1000} \text{ [‰] in Promille}$$

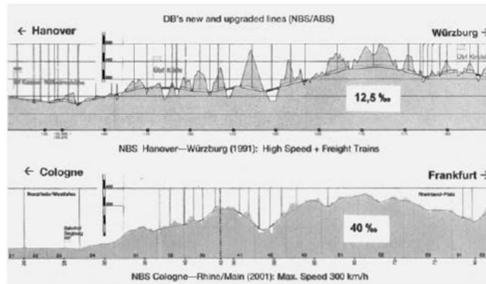


2.1 Fahrwiderstände Steigungswiderstand

Widerstand infolge Fahrwegverlaufes - Steigungswiderstand

Beispiele:

- HGV-Neubaustrecke Hannover-Würzburg für Mischverkehr: 12,5 ‰
- HGV-Neubaustrecke Köln – Frankfurt für artreinen HGV-Verkehr: 40 ‰ (!)
- (ab 25 ‰ spricht man von Steilstrecke)
- erste Steilrampe Erkrath – Hochdahl (1841 in Betrieb genommen, Seilzugbetrieb 2,5 km): 33,3 ‰
- Geislinger Steige, 1850: maximal 22,5 ‰
- Höllentalbahn, steilste eingleisige Hauptbahn in Deutschland: 57,14 ‰
- Berninabahn als richtige Gebirgsbahn: maximale Steigung 70 ‰
- als steilste Adhäsionsbahn gilt die Pöstlingbergbahn (in Linz) mit 105 ‰ (Wikipedia)



2.1 Fahrwiderstände Beschleunigungswiderstand

Widerstand infolge Fahrtverlaufes - Beschleunigungswiderstand

1. Anteil : Für translatorische Beschleunigung

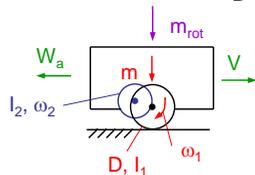
$$W_{atr} = m \cdot \frac{dv}{dt} = m \cdot a \quad [N]$$

2. Anteil : Für rotierende Beschleunigung der Radsatz- und Antriebsmassen

Es gilt: $\frac{m_{rot} \cdot v^2}{2} = \frac{I \cdot \omega^2}{2}$ mit $v = \frac{D}{2} \cdot \omega \quad [m/s]$

→ Ergibt sich: $m_{rot} = \frac{I \cdot 4}{D^2} \quad [kg]$ und $i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad [1]$ bezogen auf D

ist $W_{arot} = \sum_i \frac{I_i \cdot 4}{D^2} \cdot i_i^2 \cdot \frac{dv}{dt} = \sum_i \frac{I_i \cdot 4}{D^2} \cdot i_i^2 \cdot a \quad [N]$



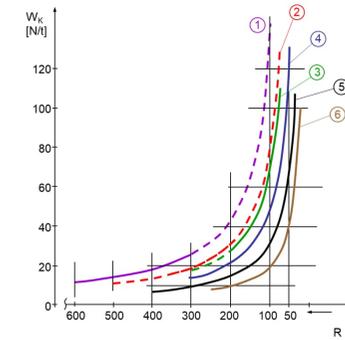
- m = Zugmasse [kg]
- I_i = Trägheitsmomente der rotierenden Massen [kgm²]
- D = (Treib-) Raddurchmesser [m]
- i_i = Übersetzungsverhältnis zu den rotierenden Massen [1]

2.1 Fahrwiderstände Bogenwiderstand

Sehr häufig wird für die Berechnung des Bogenwiderstandes die Formel von v. RÖCKL angewendet:

$$W_{K, spez} = \frac{K_1}{R - K_2} \quad [N/t] \quad \text{Z.f. Baukunde } 1880$$

Der Bogenwiderstand ist also im wesentlichen proportional Kehrwert des Radius R. K₁ und K₂ werden aus Versuchen ermittelte Erfahrungswerte dar.



Nach v. RÖCKL (s. Seite: Spezifischer Fahrwiderstand im Bogen I)

- ① K₁ = 6380 Normalspur
K₂ = 55 Hauptbahnen R < 300 [m]
- ② K₁ = 5200 Normalspur
K₂ = 35 R ≈ 300 [m]
- ③ K₁ = 4910 Normalspur
K₂ = 30 Nebenbahnen R > 300 [m]
- Schmalspurbahnen:
- ④ K₁ = 3920 Spurweite 1000 [mm]
K₂ = 20
- ⑤ K₁ = 2940 Spurweite 750 [mm]
K₂ = 10
- ⑥ K₁ = 1960 Spurweite 600 [mm]
K₂ = 5

2.1 Fahrwiderstände Beschleunigungswiderstand

Gesamter Beschleunigungswiderstand: $W_a = W_{atr} + W_{arot} \quad [N]$

$$W_a = m \cdot 10^3 \cdot a \left(1 + \frac{1}{m \cdot 10^3} \cdot \sum_i \frac{I_i \cdot 4}{D^2} \cdot i_i^2 \right) \quad [N] \quad (m \text{ in } [t] = 1000 \text{ kg})$$

mit $\xi = 1 + \frac{1}{m \cdot 10^3} \cdot \sum_i \frac{I_i \cdot 4}{D^2} \cdot i_i^2 \quad [1]$

wird $W_a = m \cdot 10^3 \cdot a \cdot \xi \quad [N]$

Spezifischer Beschleunigungswiderstand:

$$W_{a, spez} = \frac{W_a}{m} = 10^3 \cdot a \cdot \xi \quad [N/t]$$

ξ = Faktor zur Berücksichtigung der rotierenden Massen

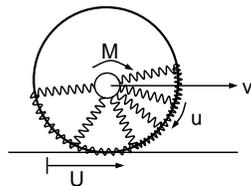
1,03 ... 1,10	Wagen (ohne Antrieb)	1,08 ... 1,12	DH- Lok, E- Triebwagen
1,06	vollst. Züge (Triebfahrzeug + Wagen)	1,15 ... 1,30	DE- Lok, E- Lok
		1,30 ... 2,50	Zahnradbahn-E-Triebwagen

Zugförderung

- Fahrwiderstände
- Kraftschluss
- Kennlinien von Antriebsmaschinen
- Zugförderungsberechnung – Bsp. RRX

2.2 Kraftschluss Ausnutzbarer Haftbeiwert

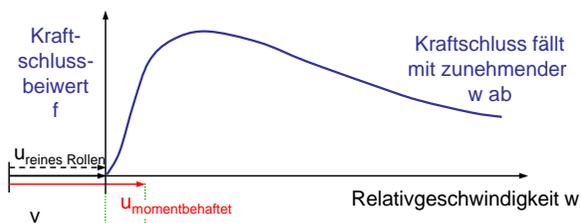
- Modellvorstellung für das angetriebene Rad



Man muss mehr verkürzte Federelemente durch die Berührungsfläche treiben, als für v erforderlich wäre.

- ⇒ Abstützung des Momentes an der Schiene
- ⇒ Umfangskraft U
- ⇒ Schlupf ($u > v$)

$u - v = w$; Relativgeschwindigkeit zwischen Rad und Schiene

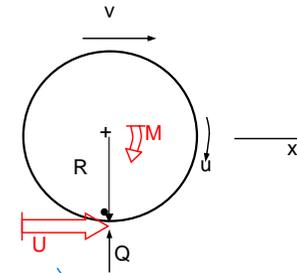


Kraftschlussbeiwert f

Kraftschluss fällt mit zunehmender w ab

2.2 Kraftschluss Ausnutzbarer Haftbeiwert

- Beim angetriebenen Rad wirkt ein zusätzliches Antriebsmoment !

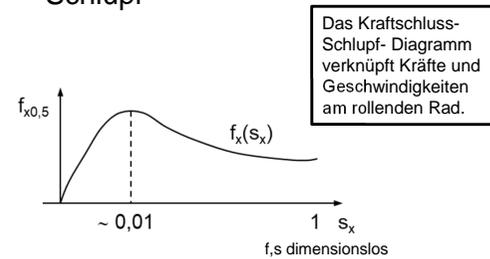


Umfangskraft U
 $M = U \cdot R$ (zusätzliches Moment)
 bei zusätzlichem Moment muss $u \neq v$ sein, sonst kann es keine Umfangskraft U geben!

Für reines Rollen gilt $u = v$
 Also keine Umfangskraft möglich, da sich im Berührungspunkt Rad und Schiene gleich schnell bewegen.

2.2 Kraftschluss Ausnutzbarer Haftbeiwert

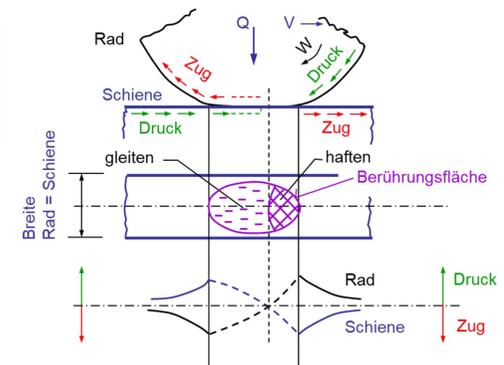
- Schlupf



⇒ Das Maximum liegt bei ungefähr 1%
 Das Rad dreht sich 1% schneller als die Fahrzeuggeschwindigkeit
 $s_x = 1$ bedeutet: $w = u \Rightarrow v = 0$
 stehendes Fahrzeug drehendes Rad } **Schleudern**

$U/Q = f$ Kraftschlussbeiwert (U auf Radlast Q bezogen)

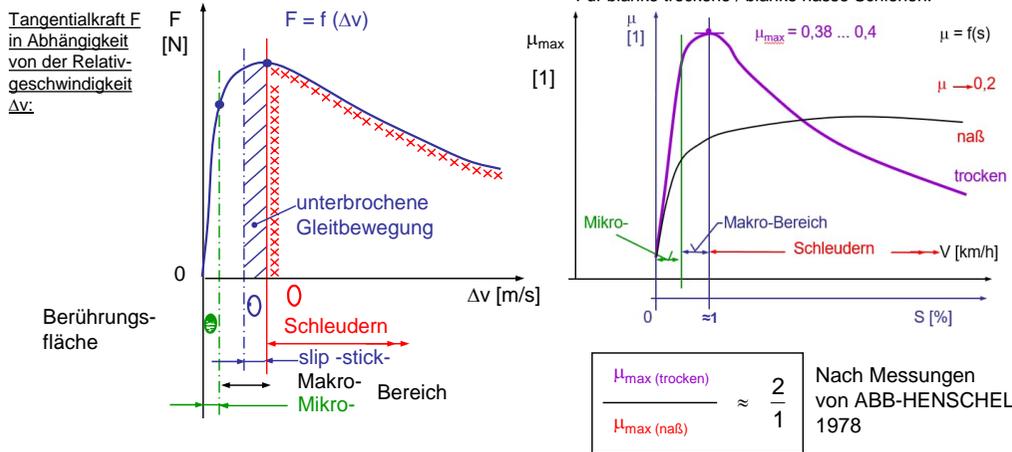
$w/u = s$ Schlupf (Relativgeschwindigkeit auf u bezogen)



Der Vorgang ist physikalisch äußerst komplex und bestenfalls messtechnisch zugänglich. Es gibt viele Einflussfaktoren.
 - Nässe der Schiene
 - Temperatur
 - Blätterbelag der Schiene
 siehe folgende Messungen

2.2 Kraftschluss Ausnutzbarer Haftbeiwert

Erklärung der Reibung zwischen Rad und Schiene



Quelle: Lit: Kalker J.J. On the Rolling Contact of two Elastic Bodies in the Presence of Dry- Friction, Diss. TH DELFT, 1967

2.2 Kraftschluss Ausnutzbarer Haftbeiwert

Reibwert - Einflussparameter

Parameter, die den maximal ausnutzbaren Kraftschluss beeinflussen:

Positiv:

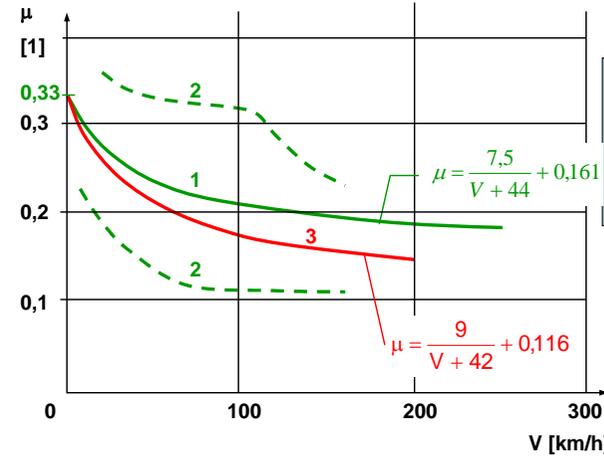
- Steigende Festigkeit des Schienen-/bzw. Radwerkstoffs
- Größere Raddurchmesser
- Höhere Anzahl Radsätze im Zugverband
- Einbringung spezieller Zwischenstoffe (Sandung)
- Optimaler Schlupf durch Gleitschutzeinrichtungen

Negativ:

- Hohe Dynamik im Kontakt zwischen Rad und Schiene
- Zunehmende Fahrgeschwindigkeit
- Steigende Luftfeuchtigkeit
- Zwischenschichten wie Staub, Oxidschichten, Laub, Öl

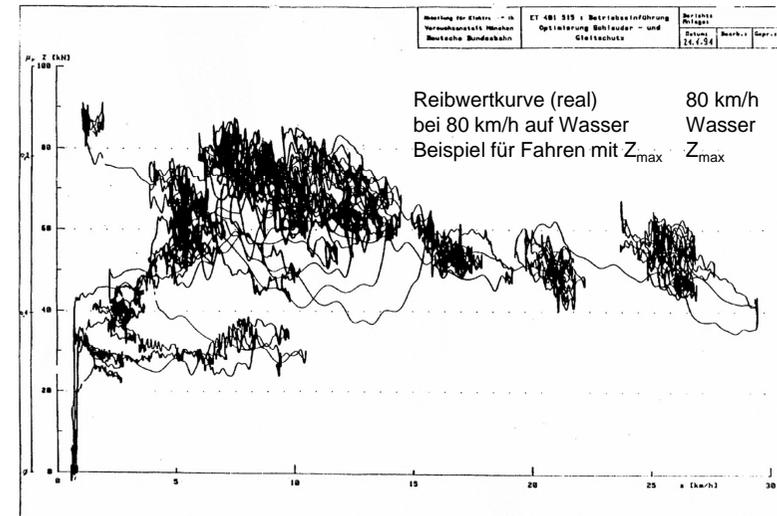
Quelle: ZEVrail 137 (2013)Tagungsband SFT Graz2013, Seite 50 ff

2.2 Kraftschluss Ausnutzbarer Haftbeiwert

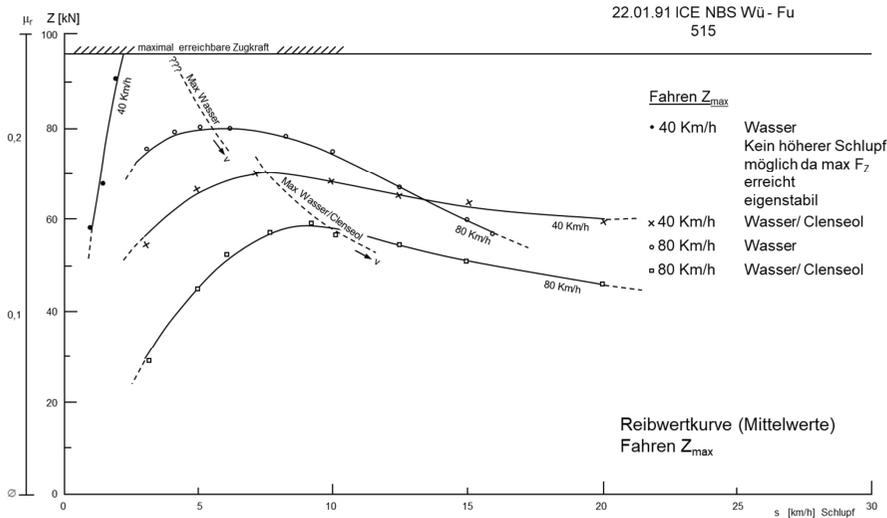


Quelle: SACHS, K.: „Elektrische Triebfahrzeuge“, Springer Wien / New York, 1973

2.2 Kraftschluss Gemessene Kraftschlusskennlinie

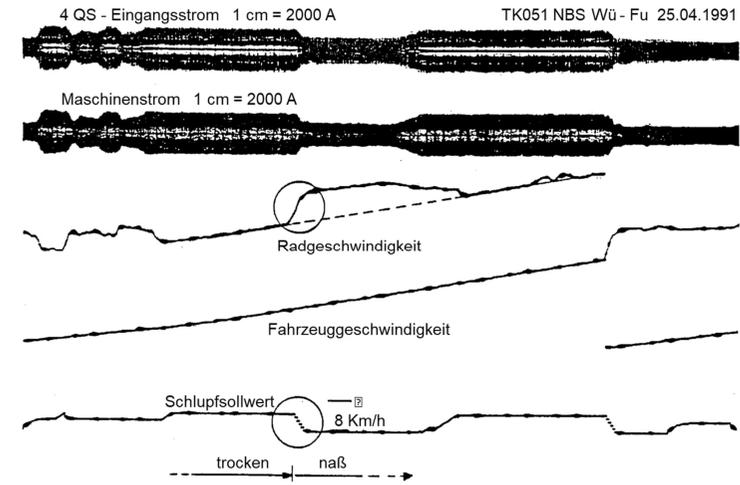


2.2 Kraftschluss Gemessene Kraftschlusskennlinie



2.2 Kraftschluss Gemessene Kraftschlusskennlinie

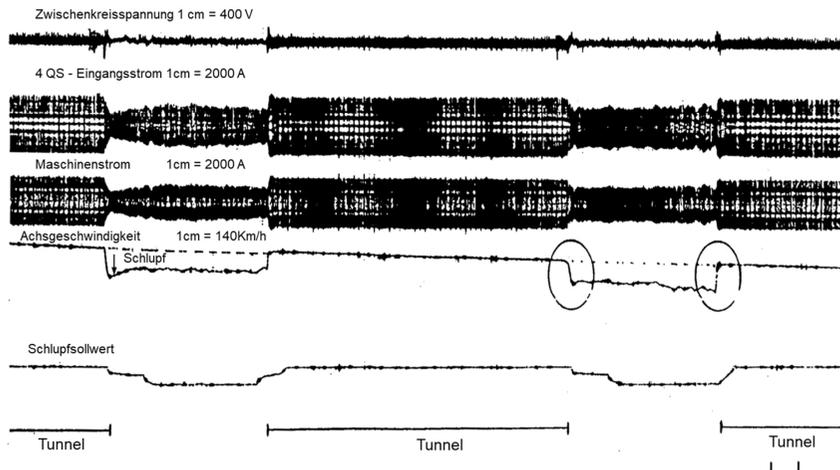
- Schlupfsollwertführung bei Übergang trocken → nass



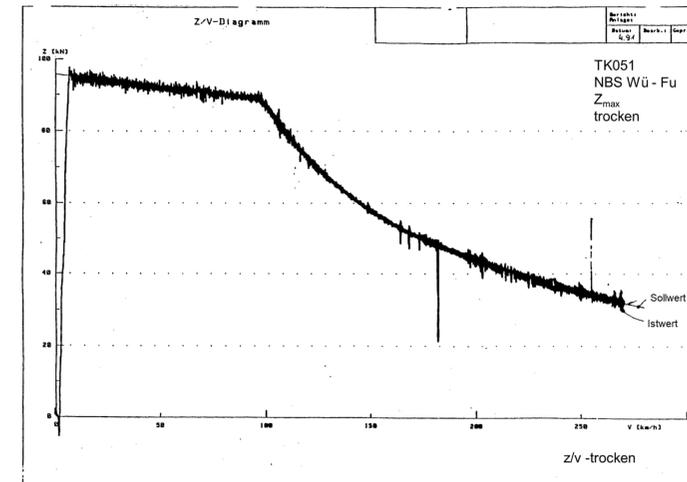
2.2 Kraftschluss Gemessene Kraftschlusskennlinie

- Reale Tunnelfahrt bei Regen

TK051 NBS Wü - Fu
Regen Z_{max}



2.2 Kraftschluss Gemessene Kraftschlusskennlinie



Zugförderung

- Fahrwiderstände
- Kraftschluss
- Kennlinien von Antriebsmaschinen
- Zugförderungsrechnung – Bsp. RRX

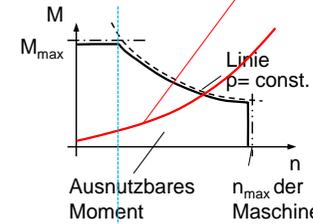


2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

- Arbeits- / oder Lieferkennfeld ist das Gegenstück zum Bedarfskennfeld.

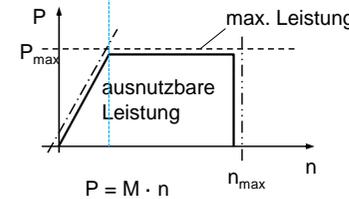
Sieht prinzipiell so aus:

ⓐ Ideal wäre eine solche Arbeitskennlinie, um die Widerstände beim Fahren zu überwinden.

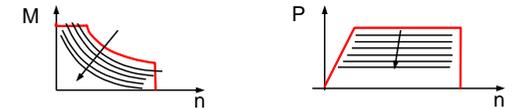


M_{max} wird durch die Maschine bestimmt:

- Verbrennungsmaschinen: Max. Drücke
- Max. ertragbare Kräfte
- E-Maschinen : Begrenzte Ströme
- Widerstände (Erhöhung durch bessere Kühlung)



Da Liefer- und Bedarfskennfeld so differieren, braucht man eine Steuerung/Regelung. z.B. durch Leistungsreduzierung

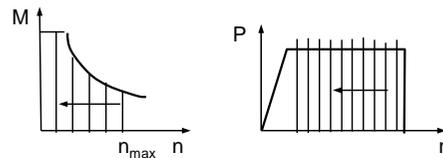


Die Vollastkennlinie wird durch Regelung zum Kennfeld

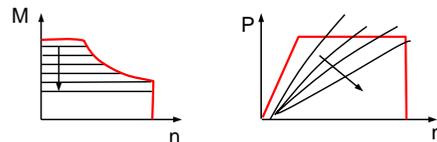
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

Linienkennfelder

- a) Dampfmaschine, durch Kesselleistung Momentenbegrenzung (Kesseldruck) Drehzahlregelung (Fliehkraft!)



- b) Druckbegrenzung -> Füllungsregelung



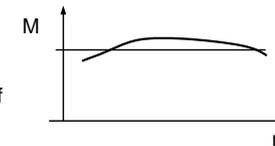
Damit kann man die Fahrgeschwindigkeit gut einstellen.



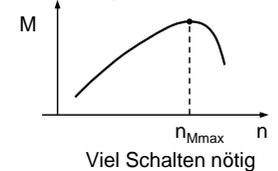
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

Linienkennfelder

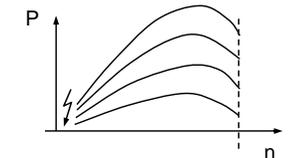
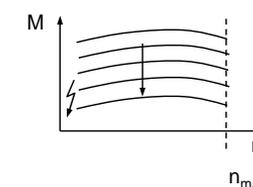
- Verbrennungsmotor (Diesel) Sehr flacher Drehmomentverlauf



Zum Vergleich: Otto Motor



Regelung: Füllungsregelung



Künstliche Drehzahlbegrenzung bei Einspritzpumpe

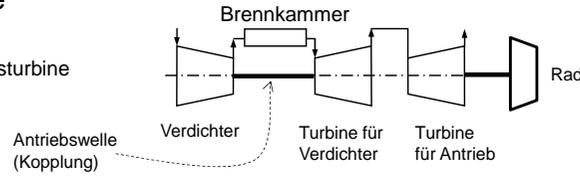
⚡ Verbrennungsmotoren brauchen Mindestdrehzahlen, um nicht auszugehen. => Anlasser, Fremdstarten, Kupplung



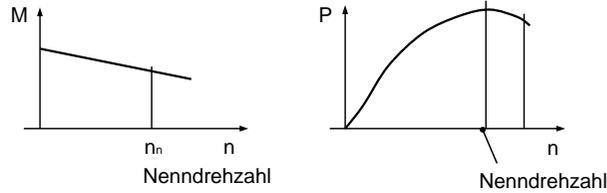
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

▪ Gasturbine

2-Wellen - Gasturbine



großes Anfahrmoment !!

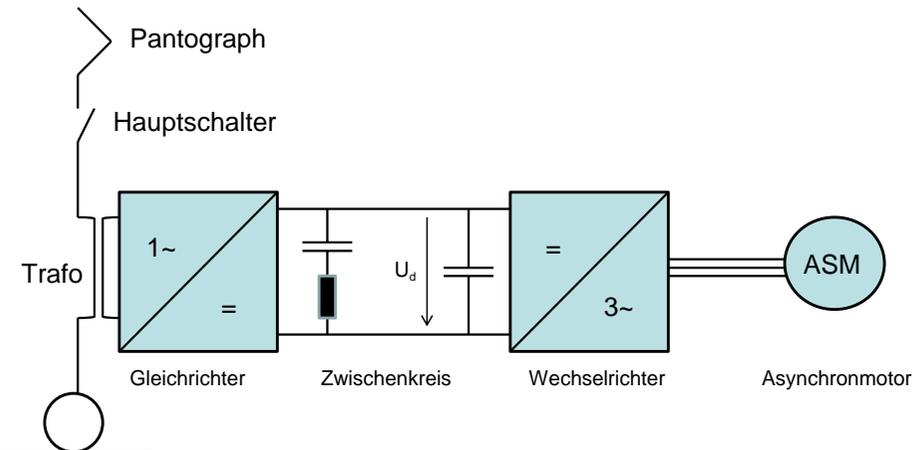


25% Drehzahlüberlastung möglich

Regelung durch Einspritzung der Kraftstoffmenge (Füllungsregelung)

2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

▪ Drehstrom- Asynchron – Motor: Prinzipschaltbild



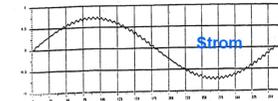
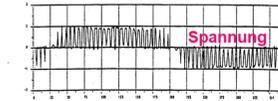
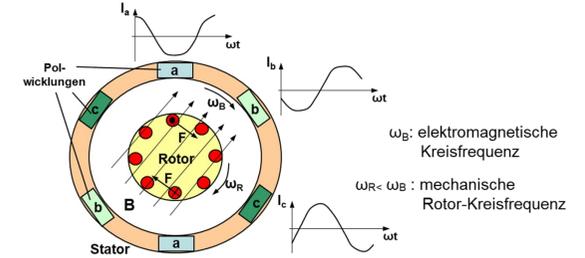
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

▪ Lieferkennfelder

Drehstrom - Asynchron – Motor:



3 um $2\pi/3$ versetzt umlaufende Drehfelder im Stator erzeugen ein drehendes Magnetfeld B. Dies induziert bei Drehzahl**differenz** in den Rotorleitern Ströme und diese wieder elektromagnetische Kräfte F. Der Rotor wird mitgezogen.
Großer Vorteil – Kein Kollektor!!!
Das Prinzip ist seit langem bekannt, konnte aber erst mit Verfügbarkeit der Leistungselektronik realisiert/geregt werden.

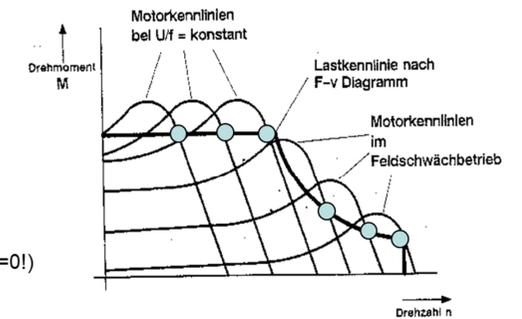
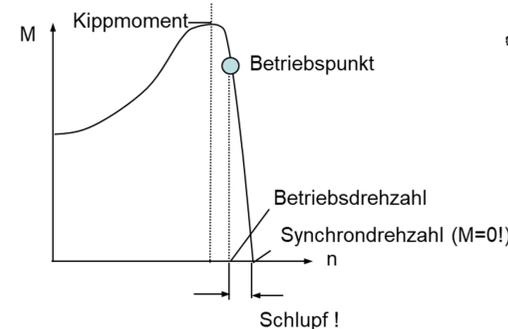


IGBT -Modul

2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

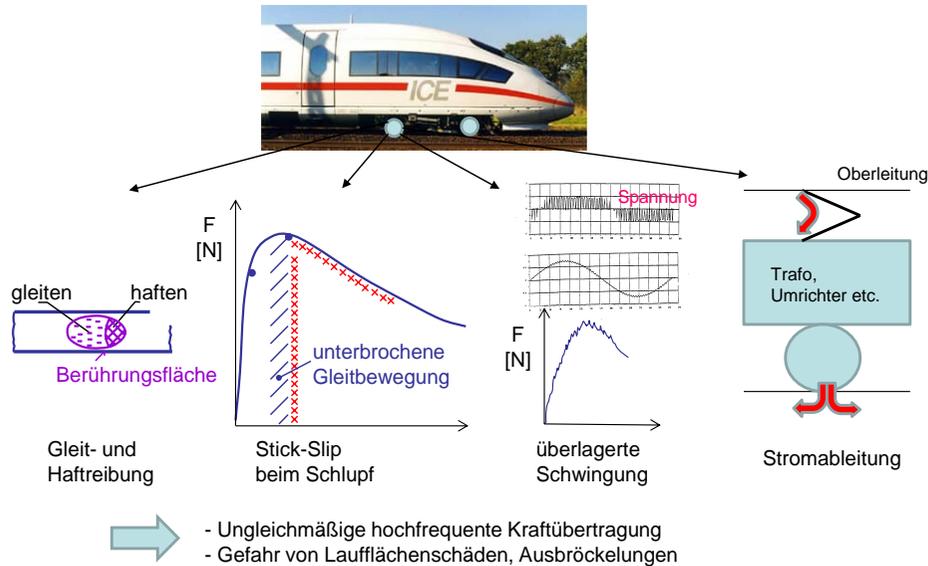
▪ Drehstrom- Asynchron – Motor

Grundsätzliche Kennlinie:

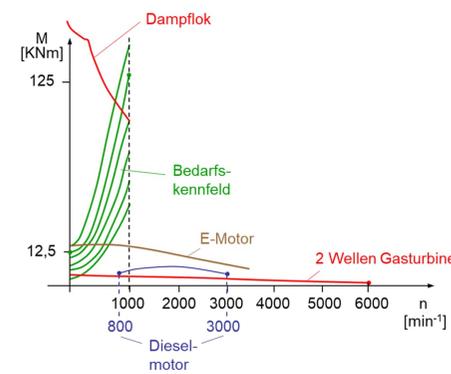


Regelung durch Leistungselektronik

2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen



2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen M-n-Diagramm



Beispiel: Güterzug

$G = 1000 \text{ t}$
 $Z_{v=0} = G \cdot 0,0025 = 25,00 \text{ KN}$
 Lok-Rad $\varnothing = 1 \text{ m}$
 $M_0 = Z_{v=0} \cdot 0,5 \text{ m} = 12,5 \text{ KNm}$
 $v = 180 \text{ km/h} = 50 \text{ m/sec}$
 $17 \text{ U/sec} = 1000 \text{ U/min}$
 $G_{\text{lok}} = 80 \text{ t}$
 $\mu = 0,33 \Rightarrow Z_{\text{lok}} = 250 \text{ KN}$
 $M_1 = Z_{\text{lok}} \cdot 0,5 \text{ m} = 125 \text{ KNm}$

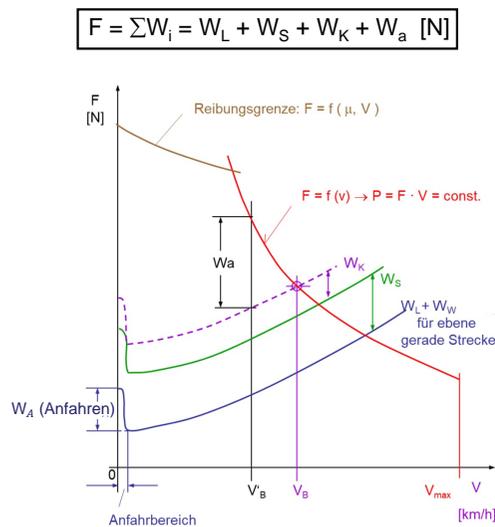
ALSO: KENNUNGSWANDLUNG NÖTIG.

Anpassung des Lieferkennfeldes an das Bedarfskennfeld

Die Kennungswandlung reduziert die Drehzahlen und erhöht die Momente. Sie wird durch Getriebe (mechanisch und/oder hydrodynamisch) und Regelungen realisiert. (siehe Kap. Antriebe)

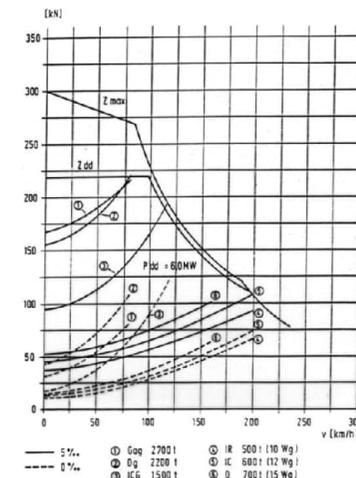
Die überraschende Erkenntnis:
 ⇒ Die einzige Antriebsmaschine, die zum Direktantrieb von Schienenfahrzeugen geeignet ist, ist die Dampflok !

2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen z-v-Diagramm



2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen z-v-Diagramm

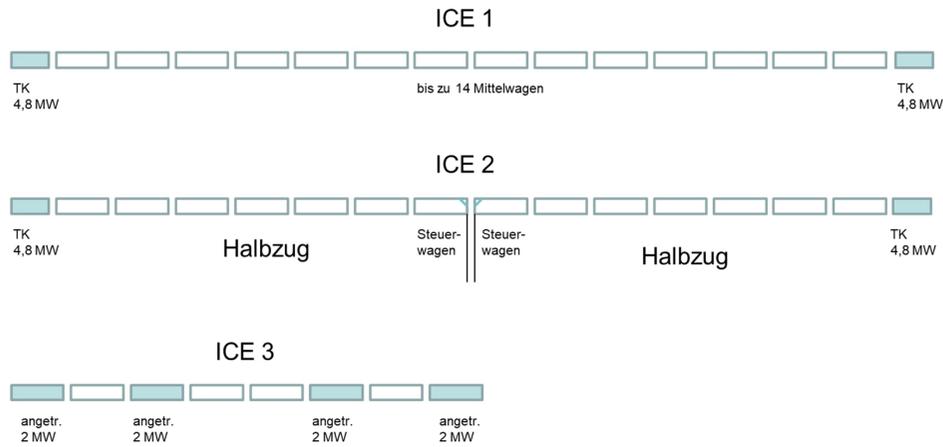
▪ Elektrische Lokomotive Baureihe 121 der DB (projektiert)



$P_{dd} = 6,0 \text{ [MW]}$

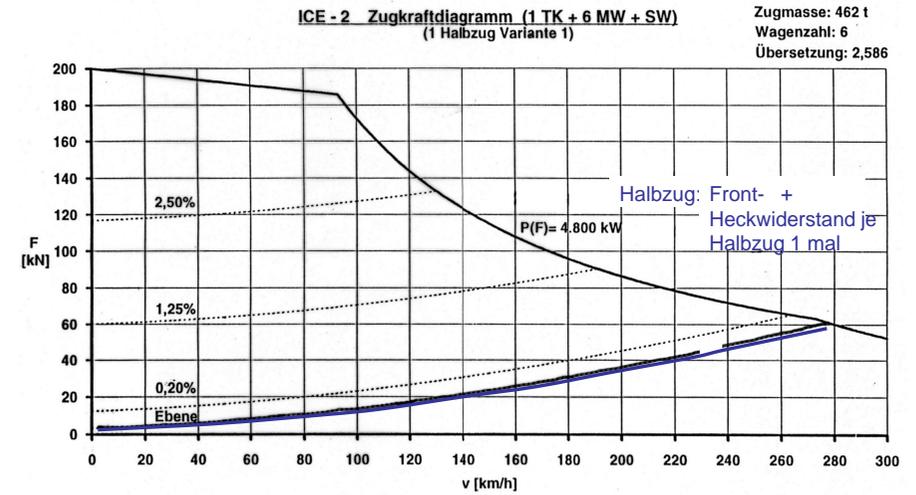
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen

Traktionsverteilung



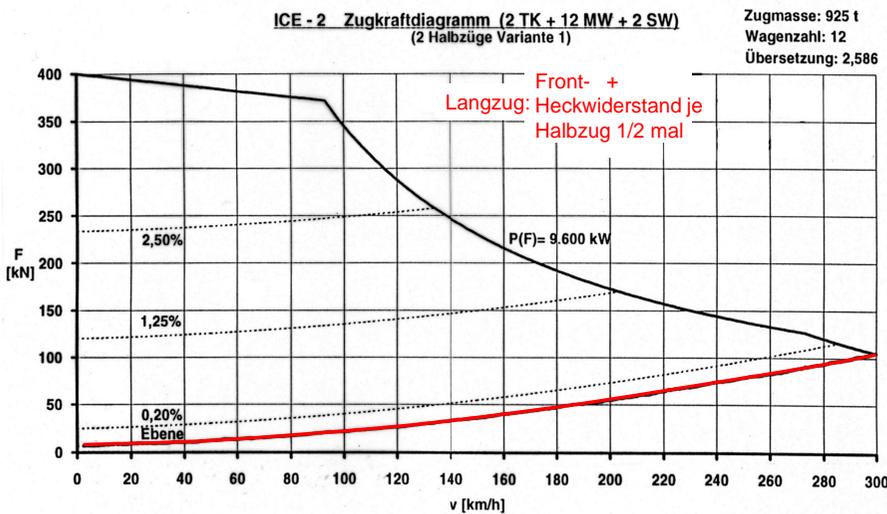
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen

z-v-Diagramm



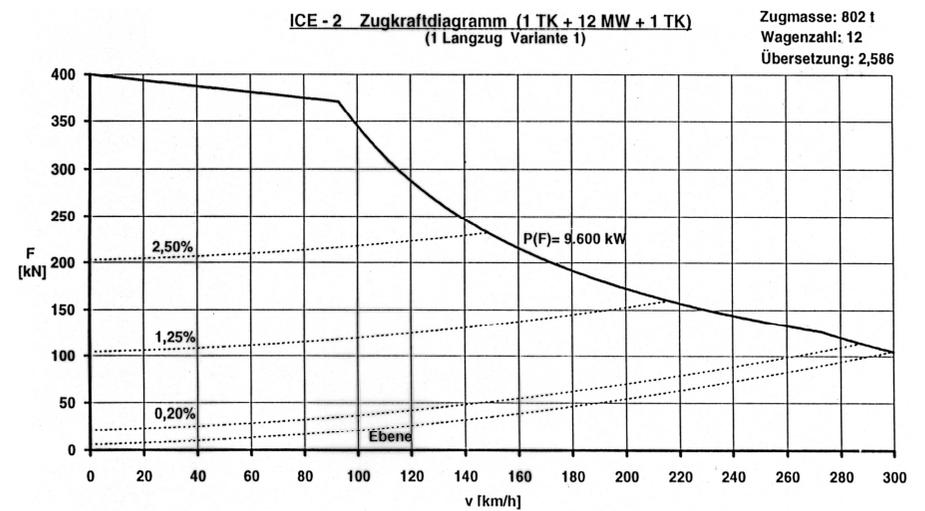
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen

z-v-Diagramm

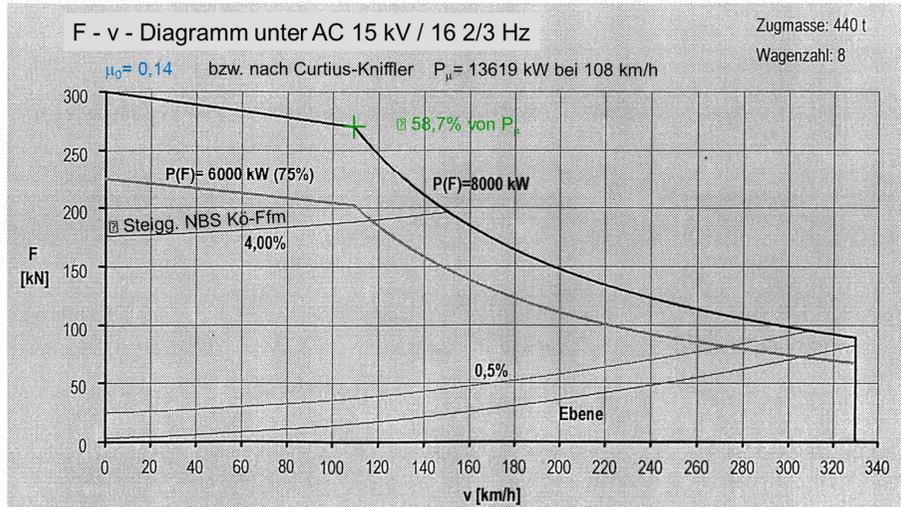


2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen

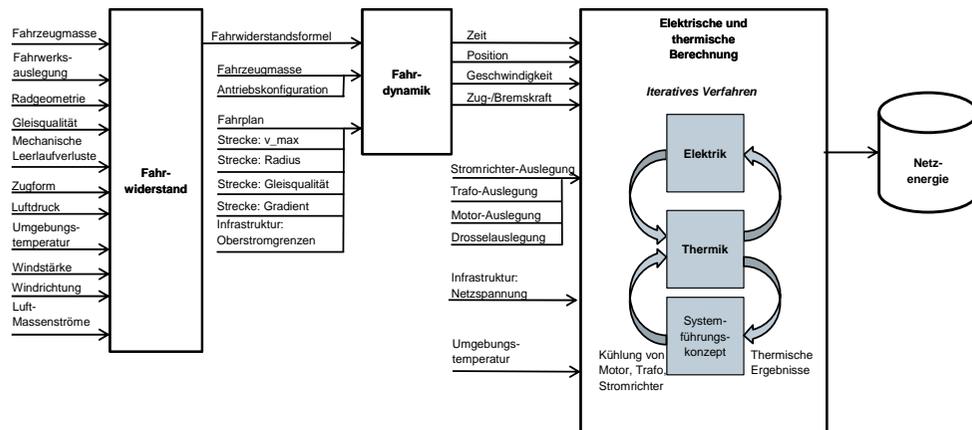
z-v-Diagramm



2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen z-v-Diagramm



2.4 Zugförderungsberechnung – RRX Überblick - Prinzip der Berechnungsschritte

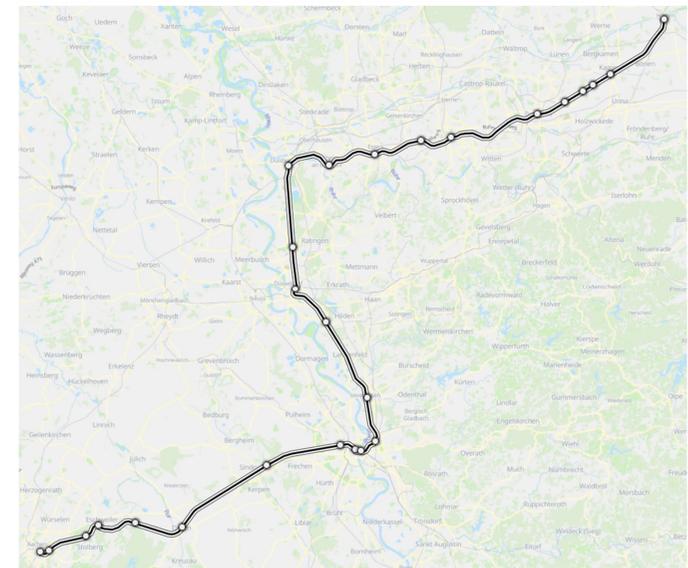


Gliederung

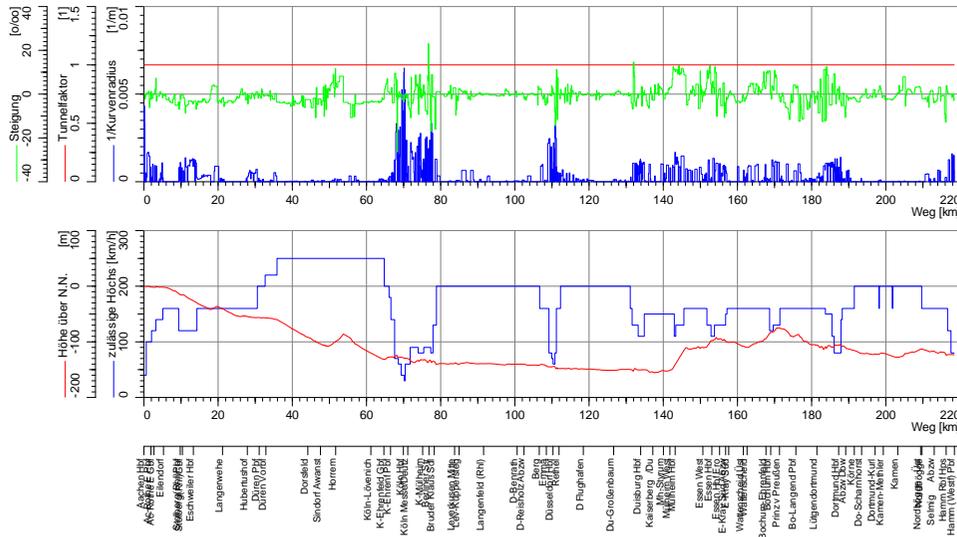
Zugförderung

- Fahrwiderstände
- Kraftschluss
- Kennlinien von Antriebsmaschinen
- Zugförderungsberechnung – Bsp. RRX

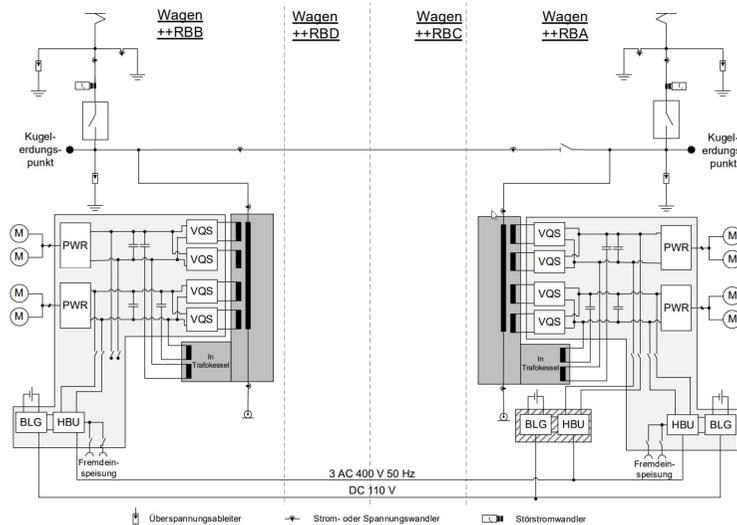
2.4 Zugförderungsberechnung – RRX Topographie RRX RE1: Aachen-Hamm



2.4 Zugförderungsrechnung – RRX Topographie RRX RE1: Aachen-Hamm



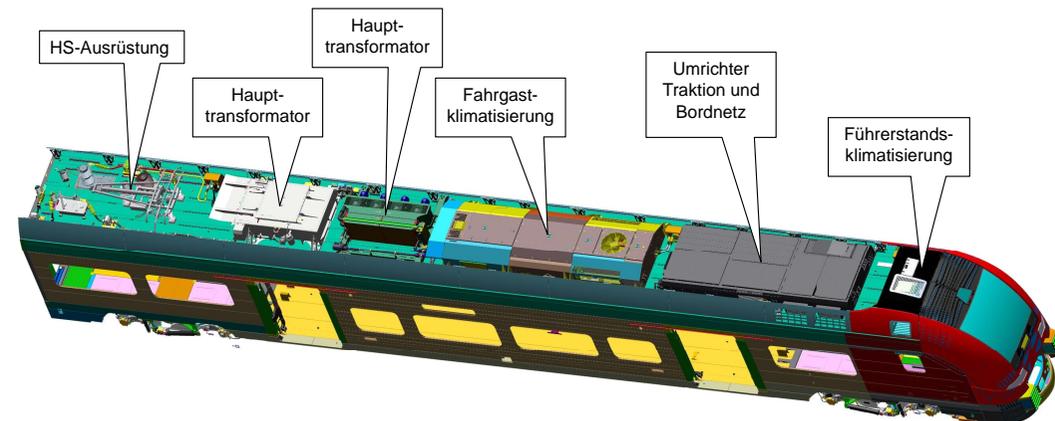
2.4 Zugförderungsrechnung – RRX RRX Traktionsanlage



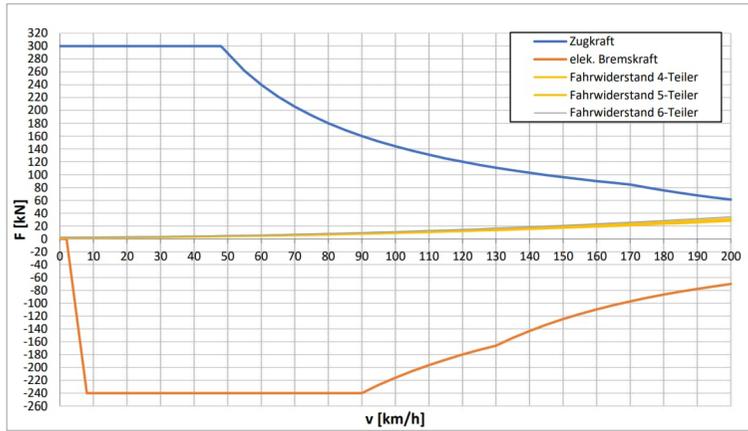
2.4 Zugförderungsrechnung – RRX Aufbereitung von Fahrzeugdaten

Eingaben	Funktion
- Fahrzeuggewicht	- Erfassung der Fahrzeugdaten zur Ermittlung von speziellen Kennwerten (Anfahrzugkraft, spez. Zugkraftüberschuß bei Höchstgeschwindigkeit, etc.) und Verläufen fahrdynamischer Größen des Fahrzeugs
- Reibungsgewicht	
- Motordaten	
- Getriebedaten	
- Auslegungsgeschwindigkeit	
- Wirkungsgradverläufe	
- Fahrzeugwiderstandsverläufe	
- Reibverläufe	
- Radreifendurchmesser	
- Zul. Beschleunigung	
- Max. Bremsverzögerung	
- etc.	

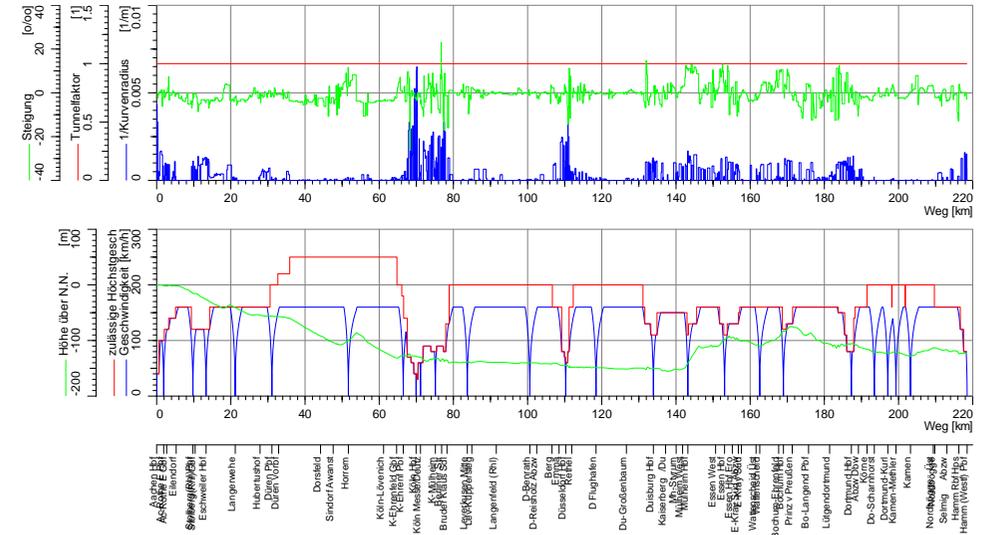
2.4 Zugförderungsrechnung – RRX RRX Dachgeräte



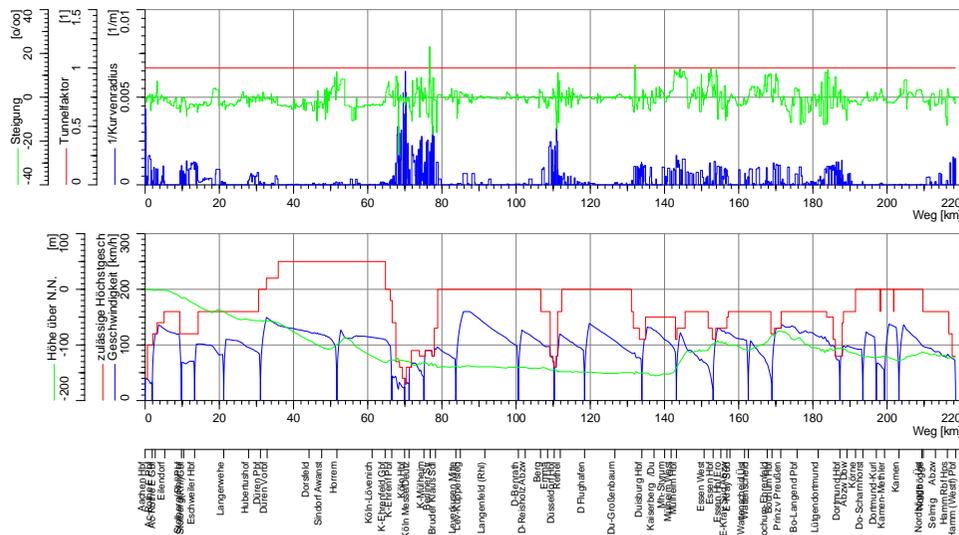
2.4 Zugförderungsrechnung – RRX Zugkraft - Geschwindigkeit - Diagramm



2.4 Zugförderungsrechnung – RRX RRX RE1: Spitzfahrt Aachen-Hamm



2.4 Zugförderungsrechnung – RRX RRX RE1: Fahrplanfahrt Aachen-Hamm



2.4 Zugförderungsrechnung – RRX Fahrdynamik RRX Lastkollektiv für Getriebe

Lastkollektiv RRX		
Zeitanteil [%]	Drehmoment [Nm]	Drehzahl [1/min]
27	20	2900
22	20	3700
8	20	4100
3	300	3200
2	300	3700
7	250	4100
2	4230	200
2	4230	640
3	4230	1070
3	3540	1500
3	2750	1900
4	2250	2340
4	1900	2700
4	1650	3200
3	1400	3700
3	1280	4100

Lastkollektiv des Getriebes für Fahrt auf der Strecke Aachen - Hamm, angegeben sind Zeitanteile in Prozent der Gesamtfahrzeit.

Zusammenfassung

Zugförderung

- Fahrwiderstände
- Kraftschluss
- Kennlinien von Antriebsmaschinen
- Zugförderungsberechnung – Bsp. RRX

Überblick

- I. Einführung
- II. Zugförderung
- III. Wagenkasten
- IV. Fahrtechnik / Systemkinematik
- V. Komfort
- VI. Antrieb
- VII. Bremse

Grundlagen der Schienenfahrzeugtechnik



Quelle: Siemens