

Grundlagen der Schienenfahrzeugtechnik



02 Zugförderung

Dr.-Ing. Michael Karatas

Siemens Mobility GmbH
Krefeld-Uerdingen

michael.karatas@siemens.com



Gliederung



Zugförderung

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

Überblick



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

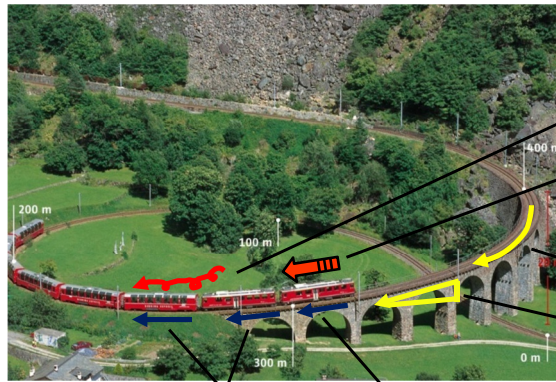
Gliederung



Zugförderung

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

2.1 Fahrwiderstände Allgemeines



Bildquelle:
contura.rhb.ch

Aerodyn.
Widerstand

Beschleunigungswiderstand

Krümmungswiderstand

Neigungswiderstand

Rollwiderstand
Wagen

Rollwiderstand
Lok

2.1 Fahrwiderstände Allgemeines

▪ Fahrwiderstände: $\sum w_i [N]$

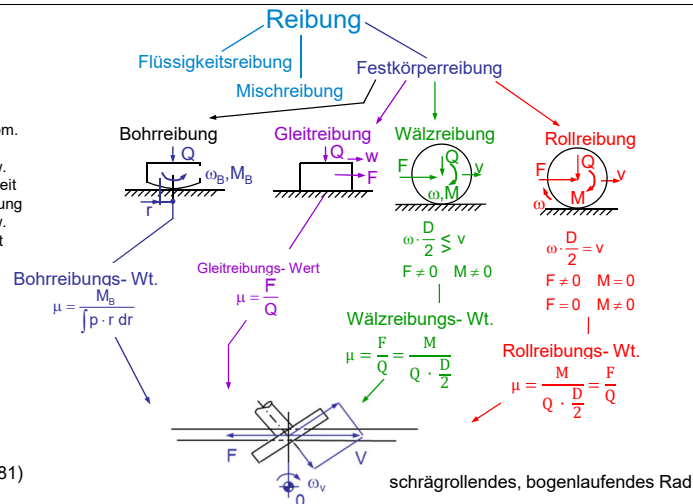
$$F_{Trieb} = W_L + W_s + W_K + W_a [N]$$

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

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

2.1 Fahrwiderstände Allgemeines

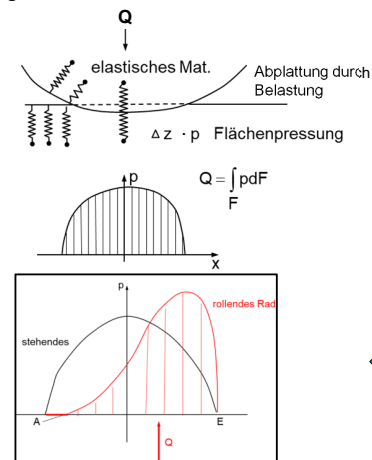
M_b = Bohrmoment
 R = Reibkraft
 D = Raddurchm.
 ω_b = Bohr-
Winkelgeschw.
 w = Reibgeschw.
 M = Rad - Drehmom.
 r = Reibarm
 ω_v = Winkelgeschw.
 v = Geschwindigkeit
 p = Flächenpressung
 ω = Winkelgeschw.
 Q = Aufstandskraft
 F = Radkraft



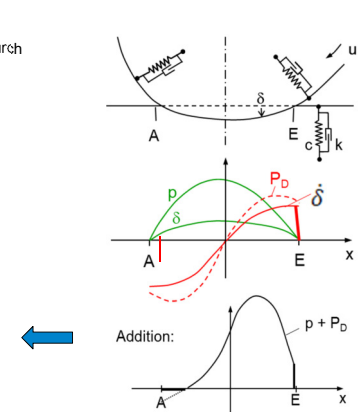
(s. auch DIN 50281)

2.1 Fahrwiderstände Rollwiderstand

▪ Tragen beim stehenden Rad



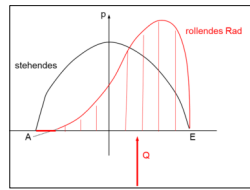
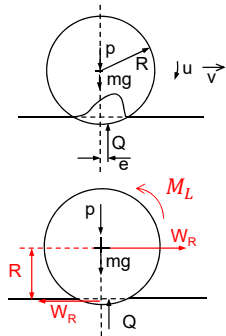
▪ Tragen beim rollenden Rad (gezogener rollender Wagen):



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	Schwunghaken 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

Wagenwiderstand

Wagenwiderstand W_W (allgemeine Gleichung):

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

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

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

→ analog: 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]
 $g = 9,81 [m/s^2]$

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

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

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

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

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

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

2.1 Fahrwiderstände

Laufwiderstand

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:

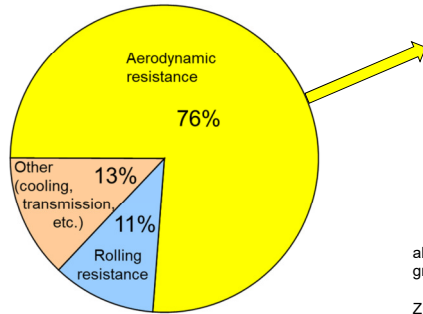
$$W_{L, spez.} = 11,4 + \left(0,025 + \frac{21,89}{G_L + G_W} \right) \cdot v + \frac{1}{G_L + G_W} (0,208 + 0,0525 \cdot n) \cdot T_f \cdot v^2 \left[\frac{N}{t} \right]$$

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]

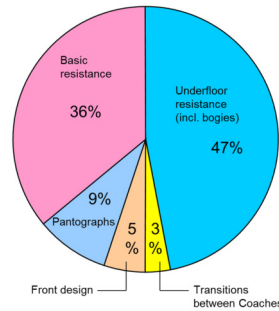
Anmerkung

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



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 Laufwiderstand

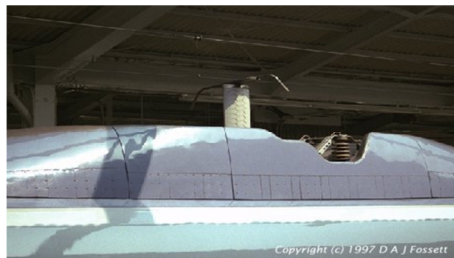
- Beispiele aerodynamischer Lösungen



Quelle: Internet

2.1 Fahrwiderstände Laufwiderstand

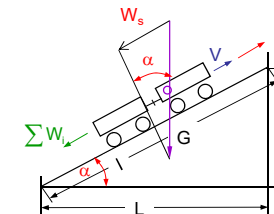
- Beispiele aerodynamischer Lösungen



Copyright (C) 1997 D A J Fossett

2.1 Fahrwiderstände Steigungswiderstand

- Widerstand infolge Fahrwegverlaufes - Neigungswiderstand



Neigungswiderstand $\rightarrow W_s$

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

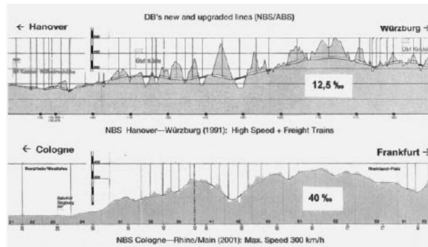
$$s = \frac{h}{L} \cdot 10^3 = \tan \alpha \cdot 10^3 = \frac{h \cdot 10^3}{1000} \text{ [‰/100] in Promille}$$

2.1 Fahrwiderstände Steigungswiderstand

Widerstand infolge Fahrwegverlaufes - Neigungswiderstand

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)

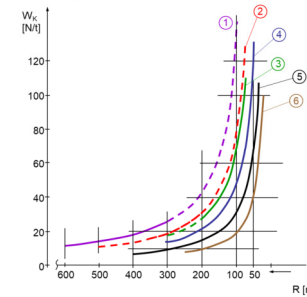


2.1 Fahrwiderstände Bogenwiderstand

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

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

Der Bogenwiderstand ist also im wesentlichen proportional Kehrwert des Radius R. K_1 und K_2 stellen aus Versuchen ermittelte Erfahrungswerte dar.



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

- ① $K_1 = 6380$ Normalspur
 $K_2 = 55$ Hauptbahnen $R < 300$ [m]
- ② $K_1 = 5200$ Normalspur
 $K_2 = 35$ $R \approx 300$ [m]
- ③ $K_1 = 4910$ Normalspur
 $K_2 = 30$ Nebenbahnen $R > 300$ [m]
- Schmalspurbahnen:
- ④ $K_1 = 3920$ Spurweite 1000 [mm]
 $K_2 = 20$
- ⑤ $K_1 = 2940$ Spurweite 750 [mm]
 $K_2 = 10$
- ⑥ $K_1 = 1960$ Spurweite 600 [mm]
 $K_2 = 5$

2.1 Fahrwiderstände Beschleunigungswiderstand

Widerstand infolge Fahrtverlaufes - Beschleunigungswiderstand

1. Anteil : Für translatorische Beschleunigung

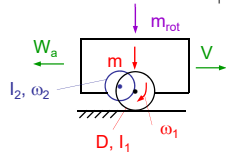
$$W_{\text{atr}} = m \cdot \frac{dv}{dt} = m \cdot a \quad [\text{N}]$$

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

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

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

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



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

2.1 Fahrwiderstände Beschleunigungswiderstand

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

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

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

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

Spezifischer Beschleunigungswiderstand:

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

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

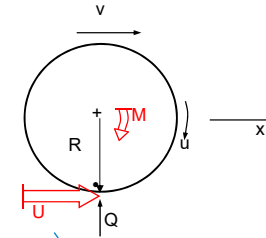
Gliederung

Zugförderung

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

2.2 Kraftschluss Ausnutzbarer Haftbeiwert

- Beim angetriebenen Rad wirkt ein zusätzliches Antriebsmoment !

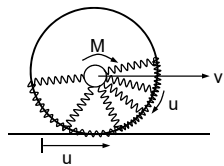


Umfangskraft U
 $M = U \cdot R$ (zusätzliches Moment)
 bei zusätzlichem Moment muss $u \neq v$ sein,
 sonst kann es keine Umfangskraft U geben!

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

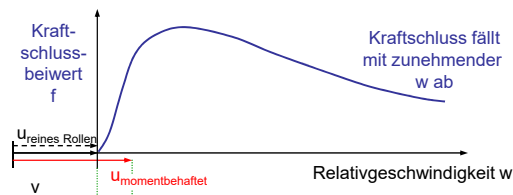
2.2 Kraftschluss Ausnutzbarer Haftbeiwert

- Modellvorstellung für das angetriebene Rad



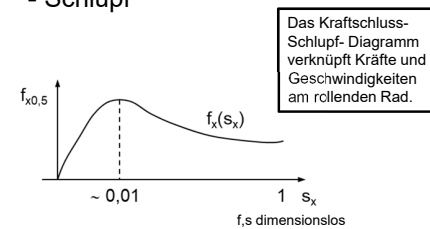
Man muss mehr verkürzte Federelemente durch die
 Berührungsfläche treiben, als für v erforderlich wäre.

- ⇒ Abstützung des Momentes an der Schiene
- ⇒ Umfangskraft
- ⇒ Schlupf



2.2 Kraftschluss Ausnutzbarer Haftbeiwert

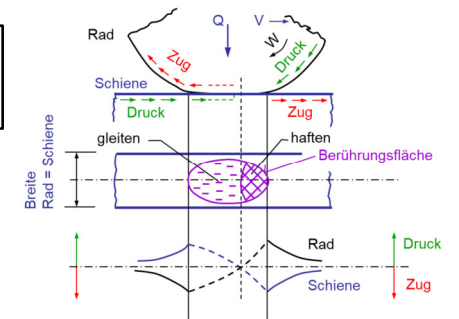
- Schlupf



⇒ 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 bezogen)

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

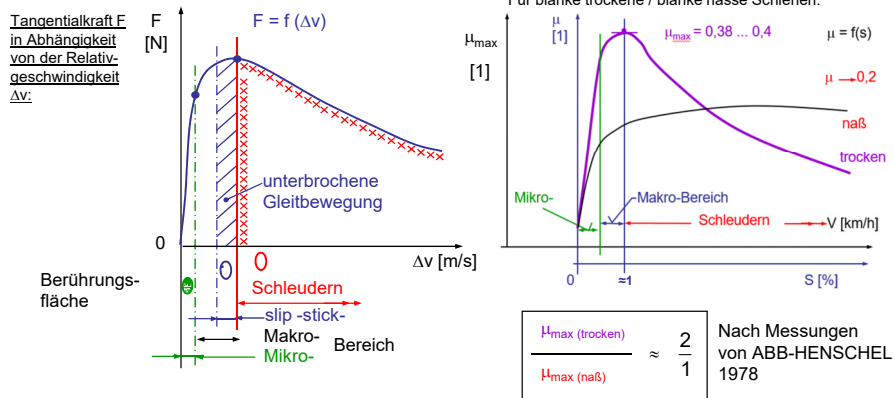


Der Vorgang ist physikalisch äußerst komplex und bestenfalls messtechnisch zugänglich. Es gibt viele Einflussfaktoren.

- 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:

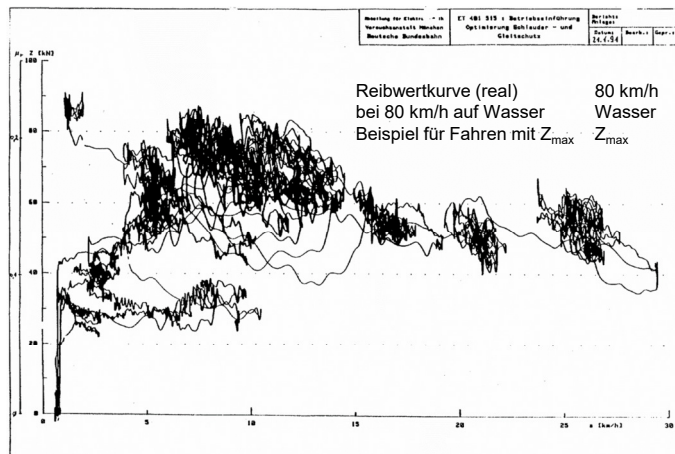
- Steigende Festigkeit des Schienen-/bzw. Radwerkstoffs
- Größere Raddurchmesser
- Höhere Anzahl Radsätze im Zugverband
- Einbringung spezieller Zwischenstoffe (Sandung)
- Optimaler Schlupf durch Gleitschutzeinrichtungen

Negativ:

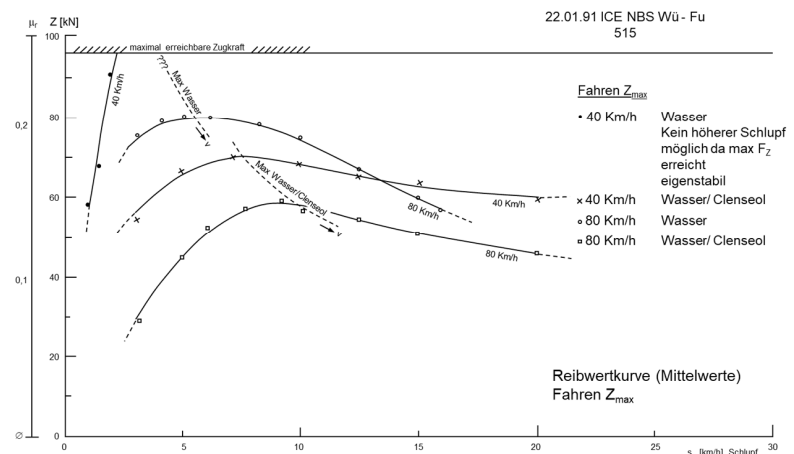
- Hohe Dynamik im Kontakt zwischen Rad und Schiene
- Zunehmende Fahrgeschwindigkeit
- Steigende Luftfeuchtigkeit
- Zwischenschichten wie Staub, Oxidschichten, Laub, Öl

Quelle: ZE/rail 137 (2013) Tagungsband SFT Graz2013, Seite 50 ff

2.2 Kraftschluss Gemessene Kraftschlusskennlinie



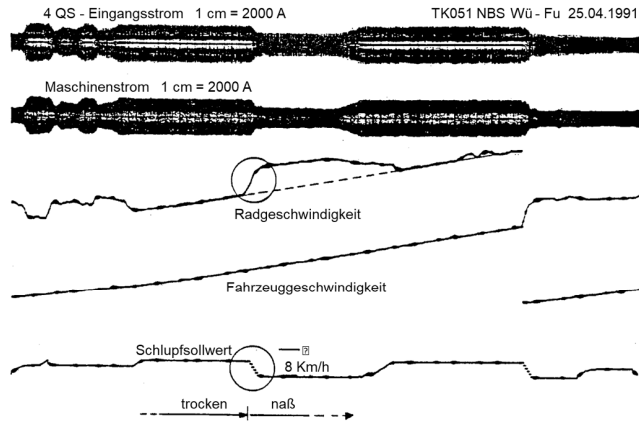
2.2 Kraftschluss Gemessene Kraftschlusskennlinie



2.2 Kraftschluss

Gemessene Kraftschlusskennlinie

- Schlupfsollwertführung bei Übergang trocken → naß

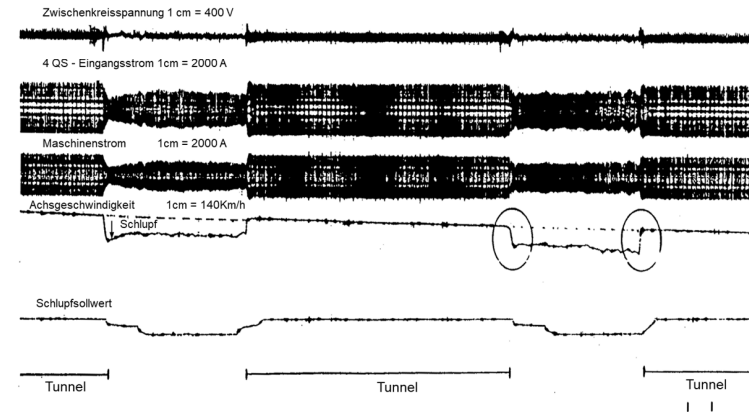


2.2 Kraftschluss

Gemessene Kraftschlusskennlinie

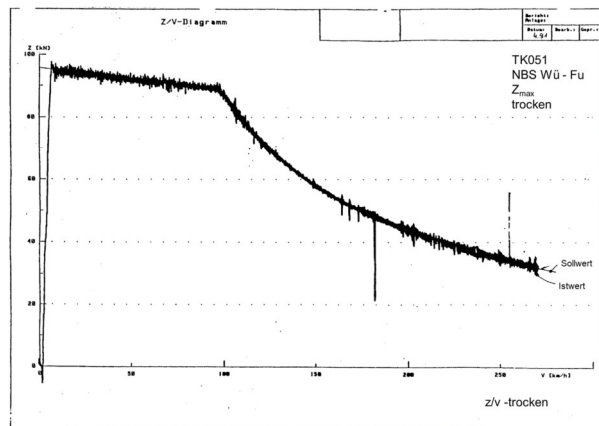
- Reale Tunnelfahrt bei Regen

TK051 NBS Wu - Fu
Regen Z_{max}



2.2 Kraftschluss

Gemessene Kraftschlusskennlinie



Gliederung

Zugförderung

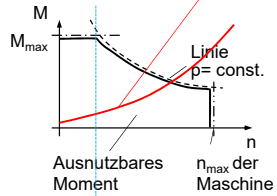
- Fahrwiderstände
- Kraftschluss
- Kennlinien von Antriebsmaschinen
- Zugförderungsrechnung – Bsp. RegioSprinter

2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

Arbeits- / oder Lieferkennfeld ist das Gegenstück zum Bedarfskennfeld.

Sieht prinzipiell so aus:

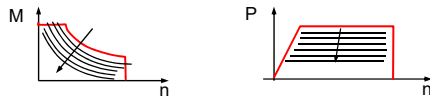
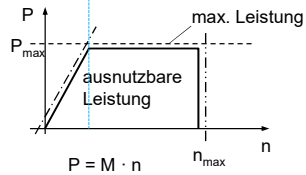
⊗ Ideal wäre eine solche Arbeitskennlinie, um die Widerstände beim Fahren zu überwinden.



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

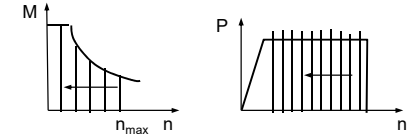


Die Vollastkennlinie wird durch Regelung zum Kennfeld

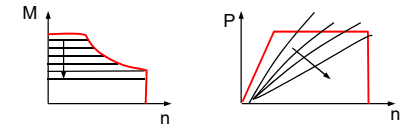
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

Linienkennfelder

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



b) Druckbegrenzung -> Füllungsregelung

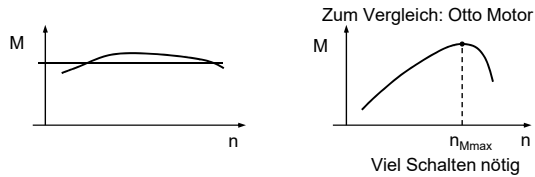


Damit kann man die Fahrgeschwindigkeit gut einstellen.

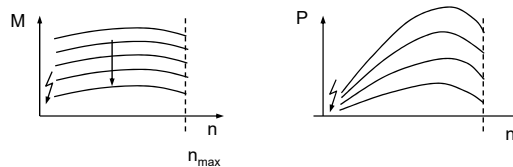
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

Linienkennfelder

Verbrennungsmotor (Diesel)
Sehr flacher Drehmomentverlauf



Regelung: Füllungsregelung



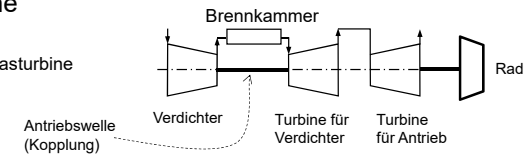
Künstliche Drehzahlbegrenzung bei Einspritzpumpe

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

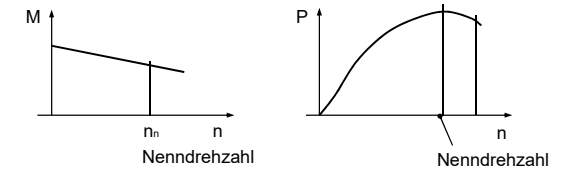
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

Gasturbine

2-Wellen - Gasturbine



großes Anfahrmoment !!



25% Drehzahlüberlastung möglich

Regelung durch Einspritzung der Kraftstoffmenge (Füllungsregelung)

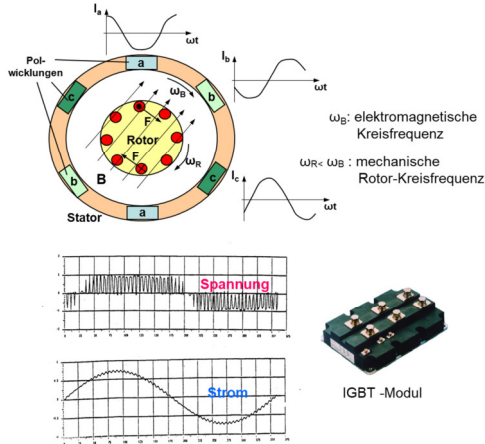
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

▪ Lieferkennfelder

Drehstrom - Asynchron – Motor:

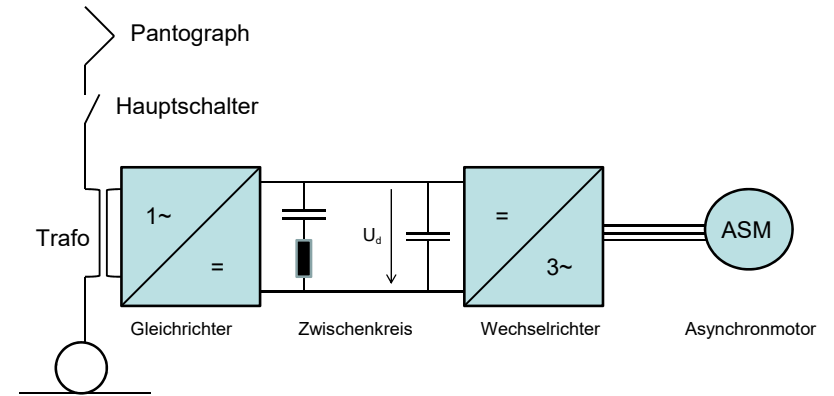


3 um $2\pi/3$ versetzt umlaufende Drehfelder im Stator erzeugen ein drehendes Magnetfeld B. Dies induziert bei Drehzahl**differenz** in den Rotorleitern Ströme und diese wieder elektromagnetische Kräfte F. Der Rotor wird mitgezogen.
Großer Vorteil – Kein Kollektor!!!
 Das Prinzip ist seit langem bekannt,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



2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

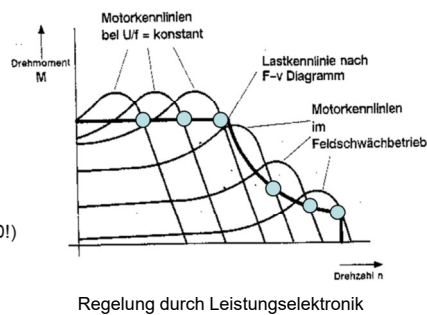
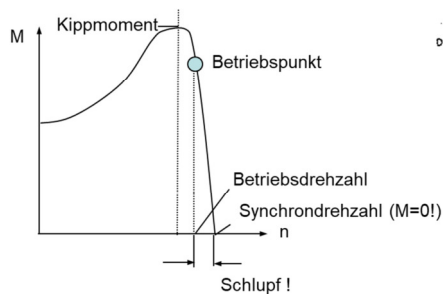
▪ Drehstrom- Asynchron – Motor: Prinzipschaltbild



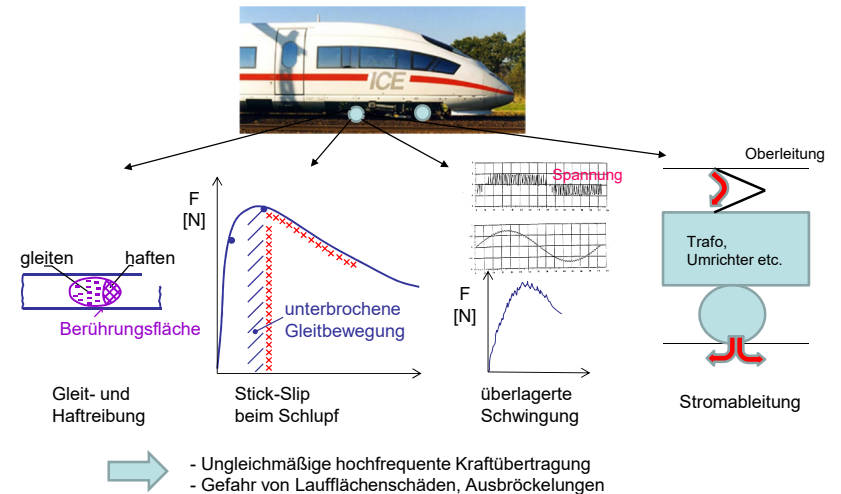
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen

▪ Drehstrom- Asynchron – Motor

Grundsätzliche Kennlinie:

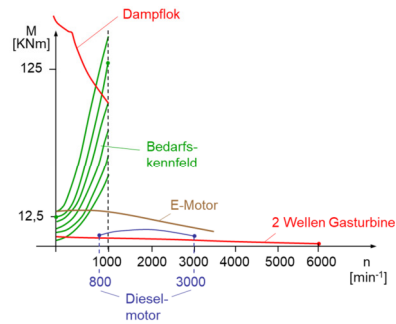


2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Grundlagen



- Ungleichmäßige hochfrequente Kraftübertragung
 - Gefahr von Lauffläschenschäden, Ausbröckelungen

2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen z-v-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: KENNUNGSWANGLUNG NÖTIG.

Anpassung des Lieferkennfeldes an das Bedarfskennfeld

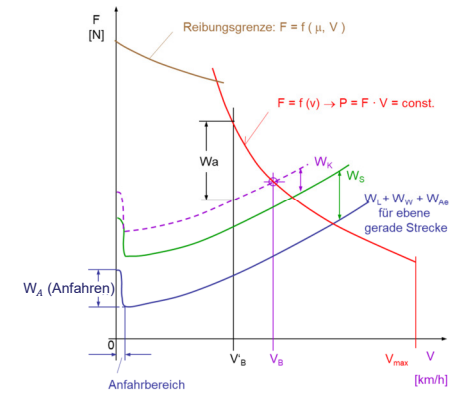
Die Kennungswandlung reduziert die Drehzahlen und erhöht die Momente. Sie wird durch Getriebe (mechanisch und/oder hydrodynamisch) und Regelungen realisiert. (siehe Kap. Antriebe)

Die überraschende Erkenntnis:

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

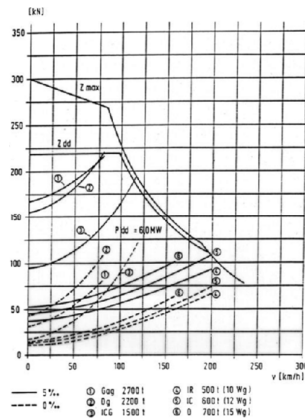
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen z-v-Diagramm

$$F = \sum W_i = W_L + W_S + W_K + W_a \text{ [N]}$$



2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen z-v-Diagramm

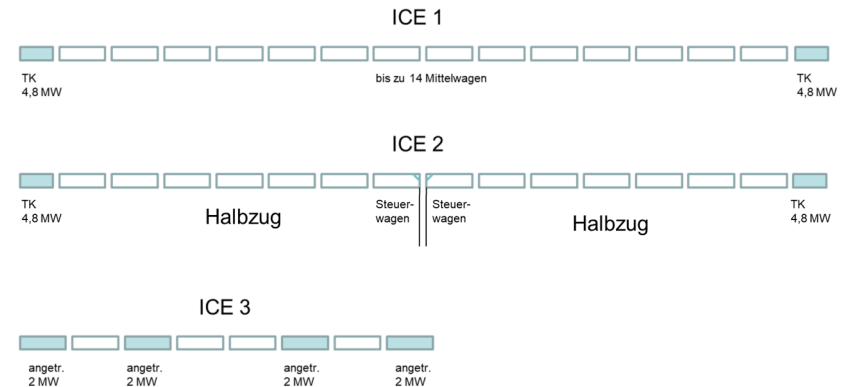
▪ Elektrische Lokomotive Baureihe 121 der DB (projektiert)



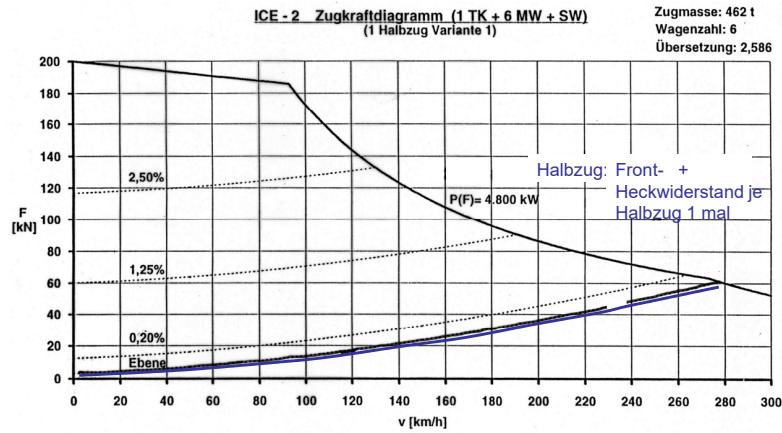
$P_{dd} = 6,0 \text{ [MW]}$

Bild 3: z-v-Diagramm
 Quelle: ETR, Heft 9/1990, Hestra-Verlag

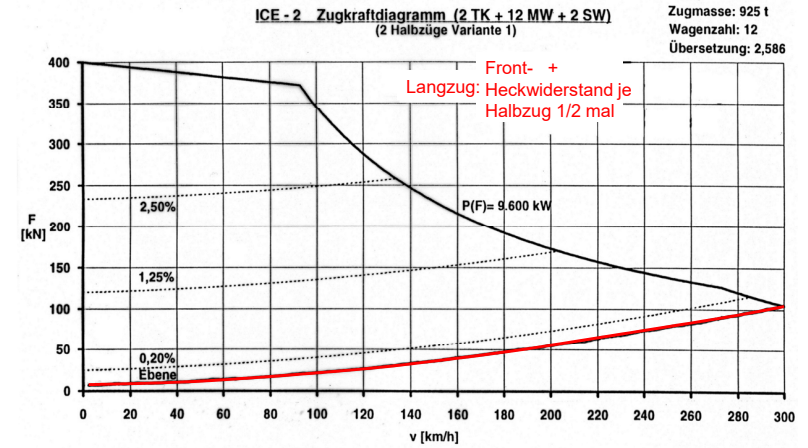
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Traktionsverteilung



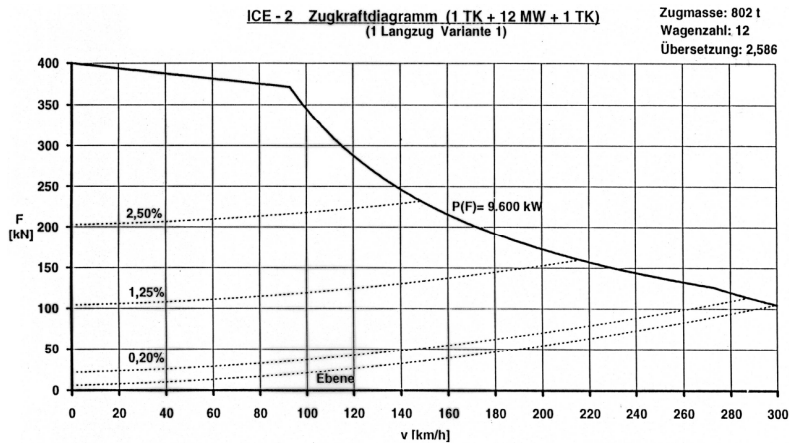
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen z-v-Diagramm



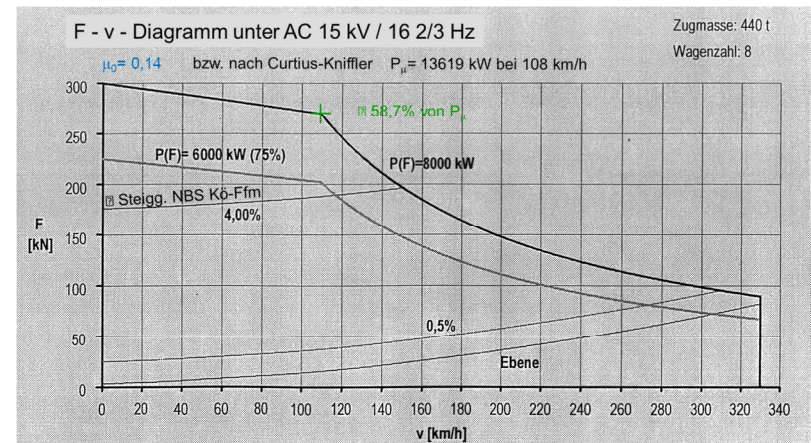
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen z-v-Diagramm



2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen z-v-Diagramm



2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen z-v-Diagramm

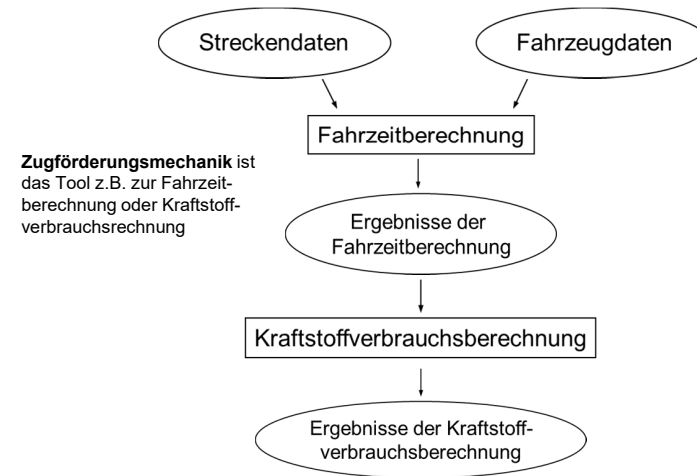


Gliederung

Zugförderung

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

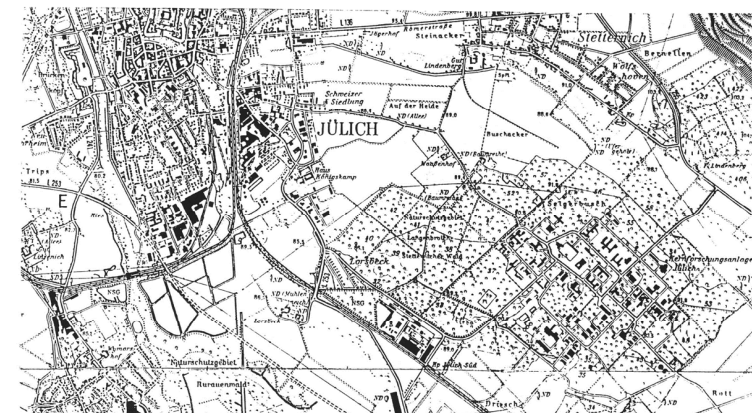
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Zugförderungsberechnung



2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Zugförderungsberechnung

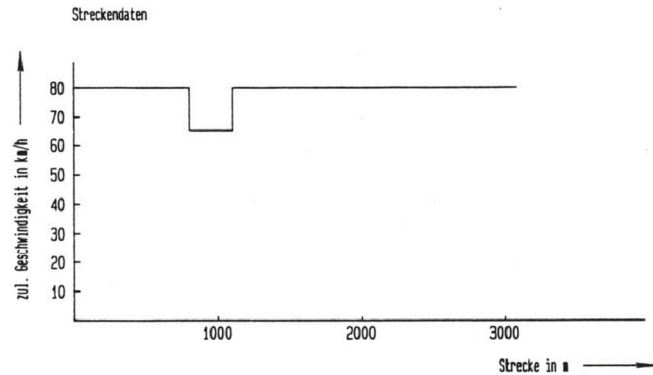
- Eingaben**
- Zul. Geschwindigkeiten
 - Steigungen
 - Radian
 - Ausgangshöhenlage
- Funktion**
- Erfassung der Streckendaten in Abschnitte konstanter Eigenschaften
 - Umkehrung einer Strecke
- Ausgaben**
- Graphische Darstellung der Eingabegrößen über der Streckenlänge
 - Einteilung der Strecke durch eine Klassifizierung nach Geschwindigkeit, Steigung, Höhenlage und Radius
 - Blockzeit
 - Liste der Streckendaten

2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Zugförderungsberechnung



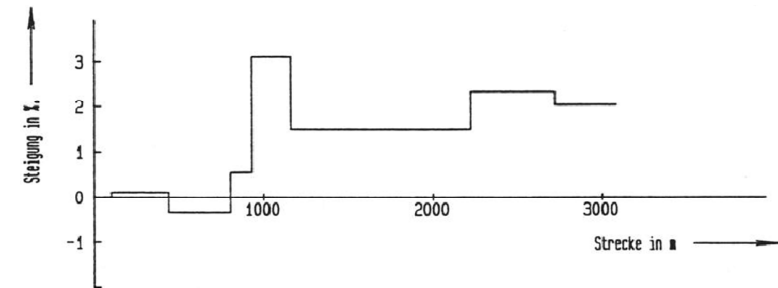
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Zugförderungsrechnung

Strecke von Jülich nach Jülich Süd



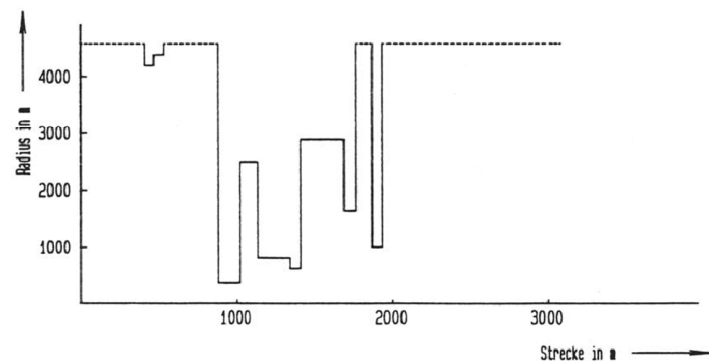
2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Zugförderungsrechnung

Strecke von Jülich nach Jülich Süd



2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Zugförderungsrechnung

Strecke von Jülich nach Jülich Süd



2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Zugförderungsrechnung

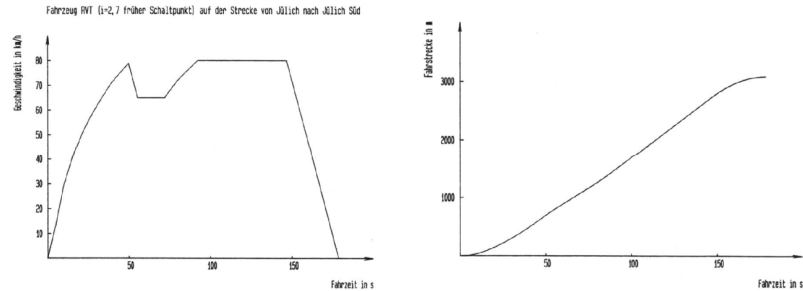
Eingabedaten

- Fahrzeuggewicht
- Reibungsgewicht
- Motordaten
- Getriebedaten
- Auslegungsgeschwindigkeit
- Wirkungsgradverläufe
- Fahrzeugwiderstandsverläufe
- Reibverläufe
- Radreifendurchmesser
- Zul. Beschleunigung
- Max. Bremsverzögerung
- Etc.

Funktion

- Erfassung der Fahrzeugdaten zur Ermittlung von speziellen Kennwerten (Anfahrzugkraft, spez. Zugkraftüberschuss bei Höchstgeschwindigkeit, etc.) und Verläufen fahrdynamischer Größen des Fahrzeugs

2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Zugförderungsberechnung



2.3 Kennlinien von Antriebsmaschinen Zugförderungsberechnung

Ausgabedaten

- Liste von Verläufen fahrdynamischer Größen über der Geschwindigkeit
- Endgeschwindigkeiten auf bestimmten Steigungen
- Anfangsbeschleunigung in der Ebene und erforderlicher Mindesttreibwert
- Restbeschleunigung in der Ebene bei Höchstgeschwindigkeit und weiteren bestimmten Geschwindigkeiten
- Graph. Ausgabe von Zugkraft, Fahrwiderstand in verschiedenen Steigungen, spez. Zugkraftüberschuss, Beschleunigung und Leistung über der Fahrgeschwindigkeit
- Graph. Ausgabe von Fahrgeschwindigkeit über den spez. Streckenwiderstand

Zusammenfassung

Zugförderung

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

Überblick

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



Quelle: Siemens