

3.1 Generellgleichungen

Zugsbewegung ist grundsätzlich ein Mobile mit Masse m mit einem einzigen Freiheitsgrad. Man kann es durch eine Newton- Skalggleichung beschreiben.

$$\sum_{i=1}^n F_i = m \cdot a \quad (3.1)$$

Man unterscheidet die Kräfte die im Zug erzeugt werden (aus den Motoren und aus den mechanischen Bremsen) und die Kräfte die beim Zug erfahren werden (eigenes Reibungskraft und lokalen Kräften: Neigung, zusätzlichen Kräften in Tunnel oder Kurven).

Die eigenen Reibungskräfte besitzen ein konstantes Teil, ein Teil proportional an der Geschwindigkeit und ein Teil proportional an dem Geschwindigkeitsquadrat.

$$F_f = A + Bv + Cv^2 \quad [\text{N}] \quad (3.5)$$

Man soll die numerische Werte prüfen: sind sie für Geschwindigkeit in [m/s] oder in [km/h]. Auf die Bilder 3.3 bis 3.5, sind die Kurven in relativen Werten zur Masse gegeben. Für Zügen mit einer Lokomotive soll man 2 verschiedenen Kurven lesen: eine für die Lokomotive – das Weg im Luft öffnet - und die anderer für dem Zug der folgt.

- 1 UIC-Personenwagen um 1960 (SNCF, SBB, DB, FS)
- 2 Corail-Personenwagen 1975 (SNCF), Eurofima- 1980 (DB, FS, ÖBB,...) oder EWIV 1985 (SBB)
- 3 Leichstahlwagen 1940 (SBB)
- 3 plus 20 [N/t]: BOB-Personenwagen auf einem Zahnstangenabschnitt

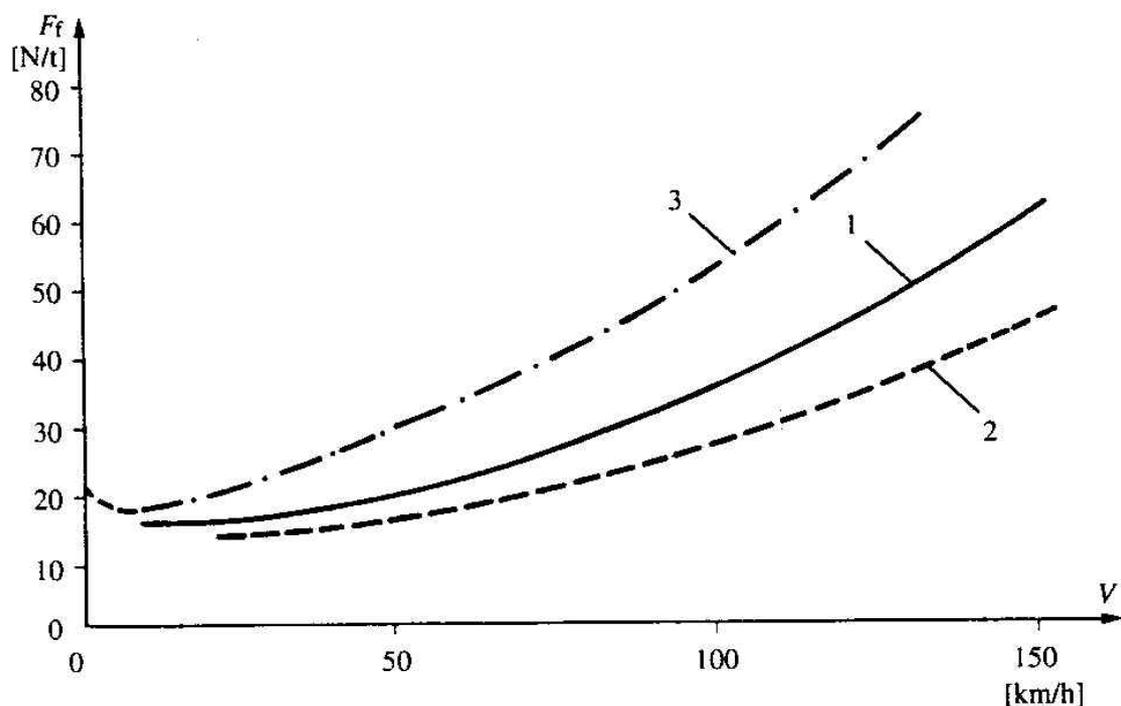


Fig. 3.4 Reibungskräfte für Personenzüge.

- 1 Lokomotive Ae 6/6 (CFF): CoCo, 120 t
- 2 Lokomotive 9001 (SNCF): BB, 80t
- 3 Lokomotive 6001 (SNCF): CC, 120 t
- 4 Lokomotives Am 4/6 (CFF) : 1BoBo1, 93 t, Re 460 (CFF) : BoBo, 84 t (—)
- 5 Lokomotive 2D2 (PO)
- 6 Lokomotive BBB (FS)
- 7 Lokomotive Re 4/4 II (CFF) : BoBo, 80 t
- 8 Lokomotive Re 6/6 (CFF) : BoBoBo, 120 t
- 9 Triebwagen BOB, Zahnstange
- 10 Triebwagen BOB, Adhäsion
- 11 Gelenktriebwagen TSOL oder Stadtbahn B

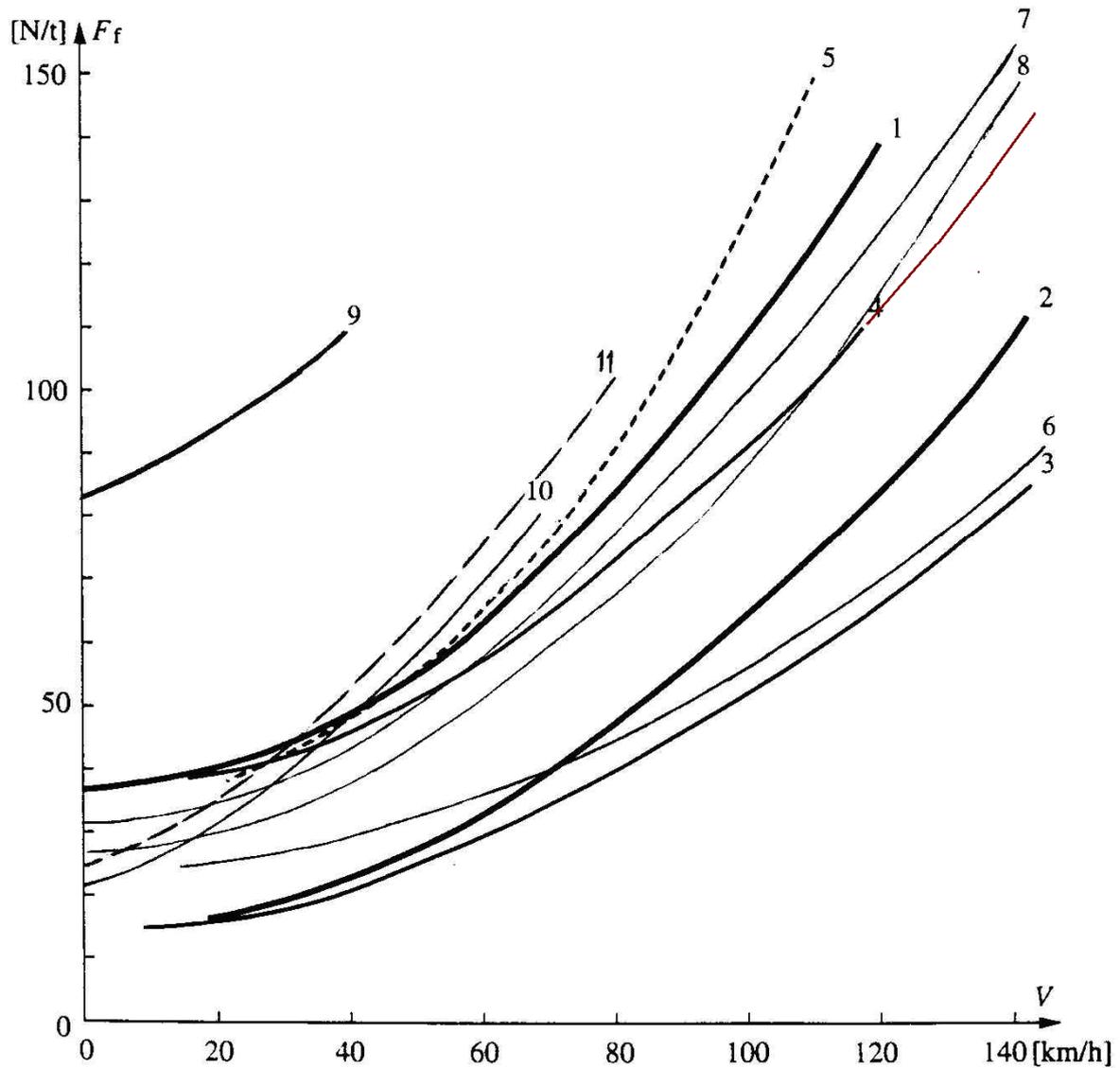


Fig. 3.3 Reibungskräfte für Triebfahrzeuge.

Die Güterzüge haben verschiedene Kurven. Die Güterwagen besitzen nicht glatten Wände und die Formen ändern von einem Wagen zu dem nächsten: die aerodynamischen Reibungskräfte sind also grösser.

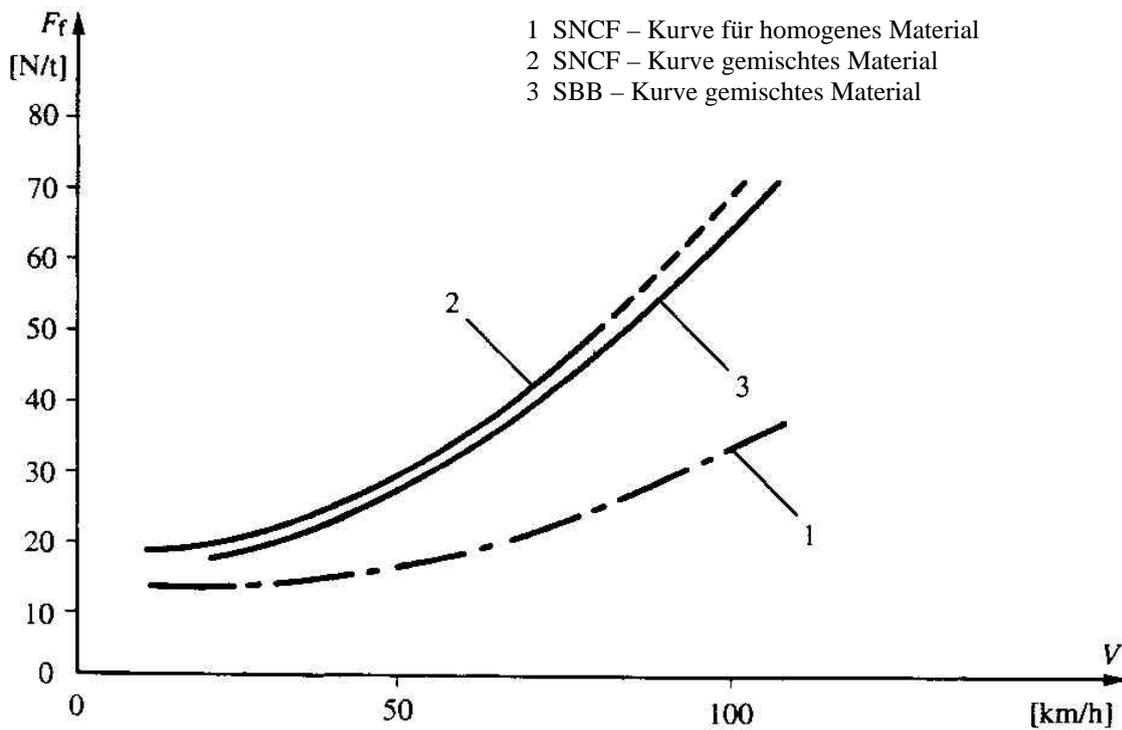


Fig. 3.5 Reibungskräfte für Güterzüge.

Auf einer Neigung erhält man die Fahrwiderstand beim Produkt des Zugsgewichts mit der Gleisneigung i , in pro-Tausend auf den Tabellen. Hier ist Sinus bei Tangente annähert, was bis circa 120 ‰ akzeptabel ist.

$$F_d = m g i 10^{-3} \quad [\text{kN}] \tag{3.12}$$

Wenn die Masse in Kilogramm bemessen wird erhält man eine Kraft in [N].

In die Kurven erhält man eine zusätzliche Kraft F_c , an jenen Punkten wo der Kurvenradius eng ist.

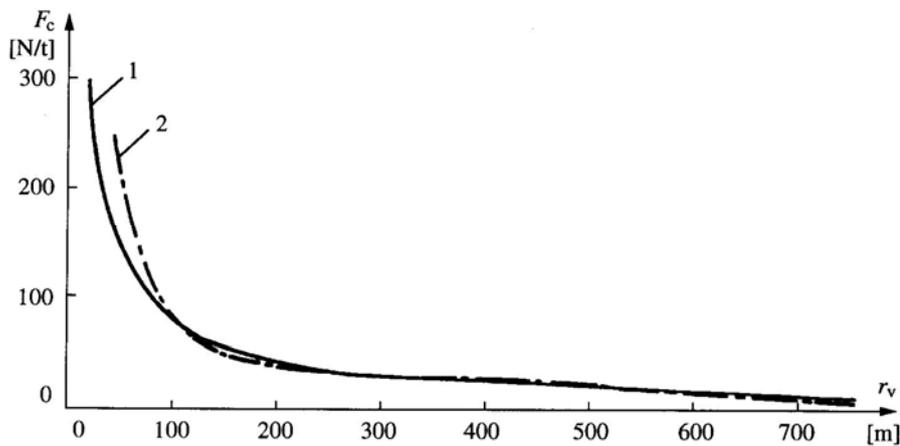


Fig. 3.10 Fahrwiderstand wegen Kurven: Normalspur.

Für die zusätzliche Kraft in einem Tunnel F_g , nimmt man « Cv^2 » der Gleichung (3.5) für einen Doppelspurtunnel und zweimal dieses Wert für einen Einzelspurtunnel. Dieser Wert übernimmt den Kolbeneffekt im Tunnelrohr. Das aerodynamische Teil der Reibungskraft ist so verdoppelt oder verdreifacht.

Für die Zugsbeschleunigung (3.1) soll man nicht nur die gewogene Masse benützen, aber auch die Schwungräder – Räder, Zahnräder, Motorenrotor – halten. Man hat ein Faktor ξ zu hinzufügen.

$$m^* = \xi m \tag{3.22b}$$

Fahrzeugen		ξ
Vollzug	Adhäsion	1,06 à 1,10
Wagen		1,02 à 1,04
Leere Wagen		1,05 à 1,12
Triebwagen		1,08 à 1,14
Lokomotiven		1,15 à 1,30
Wagen	Zahnstange	1,05 à 1,10
Triebwagen		1,30 à 2,50
Lokomotiven		1,50 à 3,50

Fig. 3.13 Faktor der rotierenden Massen.

Die Zugkraft $Z = F_{in}$ ist aus dem Drehmoment M_m an der Motorwelle, aus dem Übertragungsfaktor k_G aus dem Radradius r_e und aus Wirkungsgrad η_G der Getriebe berechnet (Kap. 5).

$$Z = \eta_G \frac{M_m}{k_G r_e} 10^{-3} \text{ [kN]} \tag{3.17}$$

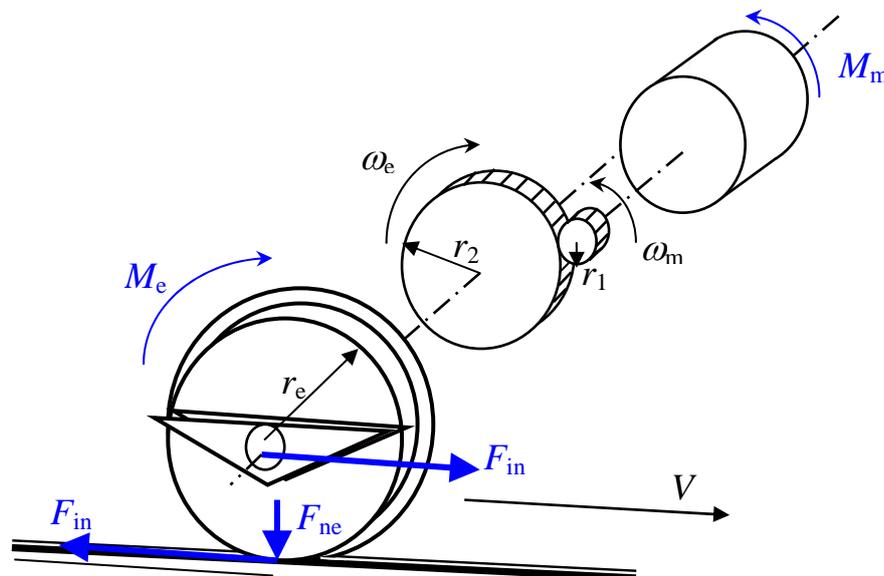


Fig. 3.12 & 3.14 Von einer Drehbewegung zu einer lineare Bewegung, Adhäsion.

Wegen der Adhäsionsbedingungen zwischen einem Stahlrad und einer Stahlschiene darf man weder Zugkraft noch Bremskraft über einer Grenzwert übertragen. Dieser Grenzwert ist aus dem Adhäsionsfaktor μ_r und der Adhäsionsgewicht F_{ne} abhängig. Für eine

vierachsige Lokomotive kann man in eine erste Annäherung das Adhäsionsgewicht auf einer Triebachse als ein Viertel des Totalgewichts halten. Dieser Wert ist leider nicht Konstant, er wird beim Dynamik der Kaste und den Drehgestellen bestimmt. Der Adhäsionsfaktor ist aus der Zugsgeschwindigkeit und der Gleitgeschwindigkeit abhängig, gemäss empirischen Gesetze die auf die Bilder 3.15 und 3.17 beschreibt werden.

$$Z < \mu_r F_{ne} \quad [\text{kN}] \tag{3.24b}$$

Wenn die Bedingung (3.24b) nicht behalten wird, kann man ein Schlupf an diesem Achse beobachten. Der Schlupf wird grösser wenn der Drehmoment nicht schnell bei dem Fahrpersonal oder bei einem Schleuderschutz reduziert wird.

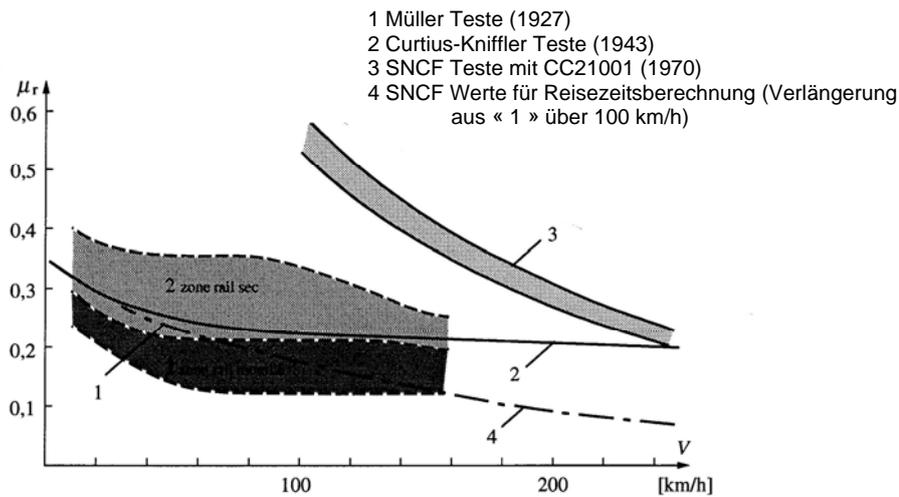


Fig. 3.15 Adhäsionsfaktor aus der Geschwindigkeit.

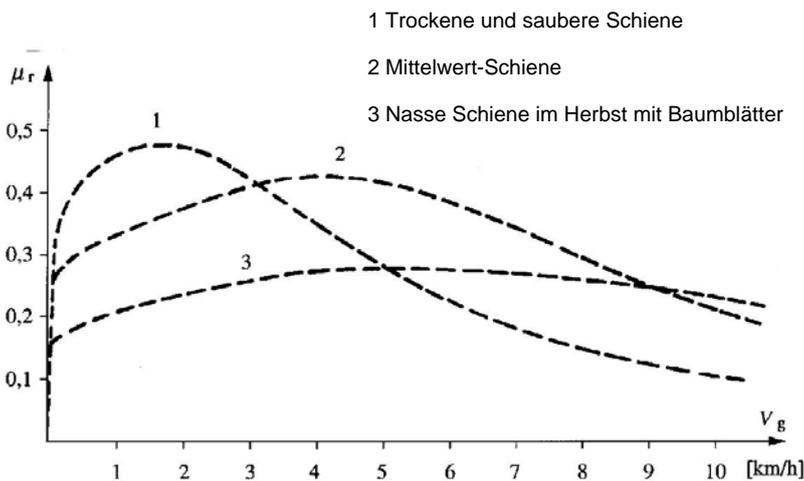


Fig. 3.17 Adhäsionsfaktor aus der Gleitgeschwindigkeit.

Der Adhäsionsfaktor eines Reifen auf einem Fahrbahn– Ubahn oder Obus – ist fast Doppel als ein Stahlrad auf einer Stahlschiene, zwischen 0,55 und 0,62 abhängig von der Art der Beschichtung.

Bei einer Anfahrt ist die nötige Zugkraft am grössten.

$$Z = m * a + F_d + F_f \quad (3.1b)$$

Die SNCF für die Anfahrzugkraft eine empirische Formel mit einer korrigierte Steigung i_{corr} .

$$Z = m g i_{\text{corr}} 10^{-3} \quad [\text{kN}] \quad (3.12b)$$

Für Güterzügen hofft man an einer Beschleunigung $0,03 \text{ [m/s}^2\text{]}$:

$$\begin{aligned} i_{\text{corr}} &= 1,225 (i + 2,2) && \text{wenn } i \geq 7 [\text{‰}] \\ i_{\text{corr}} &= 4,35 + i && \text{wenn } i < 7 [\text{‰}] \end{aligned} \quad (3.14b)$$

Die Zugkraft am Zughacken ist die Zugkraft am Rad wo man die nötige Kraft für die Triebfahrzeugbewegung subtrahiert.

$$F_{\text{att}} = Z - (m_{\text{loc}} * a + F_{d_loc} + F_{f_loc}) \quad (3.44)$$

Der « UIC »-Kupplung ist für eine Bruch-Zugkraft an minimal 850 kN gebaut. Die Eisenbahnbetriebe zwingen dazu eine Sicherheitsmarge, die eine Betriebsgrenze gibt (SNCF: 360 kN, SBB: 650 kN). Es gibt verstärkten Schraubenkupplungen mit der gleichen Geometrie wie Standardkupplung (Bruch-Zugkraft an 1350kN). Mit einer automatischen Kupplung liegt die Grenze an circa 1500 kN.

Bei einer Anfahrt sollen die Grenzen für Adhäsion oder Kupplung sorgfältig beobachtet werden.