

Abb. 3.7 Häufigkeitsverteilung von Steigungen auf diversen Straßen

3.2.3 Hangabtriebskräfte

Die an Steigungen bzw. Gefällstrecken wirkende Hangabtriebskraft F_H berechnet sich mit dem Steigungswinkel α (in $^\circ$) oder der Neigung N (in %, 100 % = 45°) wie folgt:

$$F_H = m_F \cdot g \cdot \sin(\alpha) = m_F \cdot g \cdot \sin(\arctan N) . \quad (3.4)$$

Bei der Verbrauchsermittlung – sei es auf dem Rollenprüfstand oder per Simulation im Rechner – werden Steigungen derzeit noch nicht berücksichtigt. Ausnahme sind einzelne Realzyklen wie z. B. der AMS-Zyklus (Straßen-Rundkurs im nördlichen Schwarzwald, vgl. Auto-Motor und Sport und Abschn. 3.5.7). Die speziell im bergigen Gelände (Alpenländer, aber auch hügelige Gegenden wie die Schwäbische Alb oder der Stadtverkehr Stuttgart, vgl. Abb. 3.7) im Fahrzeug gespeicherte Energie hat deutlichen Einfluss auf den Verbrauch und darf insbesondere bei hybriden oder elektrischen Antrieben, die potenzielle Energie zum Teil zurückgewinnen können, nicht vernachlässigt werden.

3.2.4 Beschleunigungskräfte

Auch durch Beschleunigung wird im Fahrzeug kinetische Energie gespeichert, und zwar sowohl in der translatorisch bewegten Gesamtmasse des Fahrzeuges, als auch zusätzlich in allen sich drehenden Massen des gesamten Triebstrangs (Räder, Wellen, Schwung- und Zahnräder, rotierende Teile im Motor, ...). Die Beschleunigungskraft F_B (in N) ergibt sich näherungsweise aus:

$$F_B = \left(m_F + \frac{J_R + i^2 \cdot J_M}{r_{\text{stat}} \cdot r_{\text{dyn}}} \right) \cdot \frac{dv}{dt} = m_{\text{res}} \cdot \frac{dv}{dt} . \quad (3.5)$$

Dabei bedeutet J das Trägheitsmoment (von Reifen, Motor) in $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$, i die Übersetzung und r der Reifenhalmes (statisch, dynamisch) in m. Die Massenträgheitsmomente der rotierenden

Teile sind deutlich spürbar: Je nach Gang (je kleiner, desto bedeutsamer) und Größe der rotierenden Massen (z. B. Motor- und Reifengröße) ist die Gesamtmasse m_{res} bis zu 30 % größer als die reine Fahrzeugmasse.

3.2.5 Gesamt-Fahrwiderstand

Der Gesamtwiderstand F_{Ges} in N ergibt sich aus der Addition der Einzelwiderstände:

$$F_{\text{Ges}} = F_{\text{R}} + F_{\text{W}} + F_{\text{H}} + F_{\text{B}} = \mu_{\text{R}} \cdot m_{\text{F}} \cdot g + c_{\text{W}} \cdot A_{\text{x}} \cdot \frac{\rho_{\text{L}}}{2} \cdot v^2 + m_{\text{F}} \cdot g \cdot \sin(\arctan N) + m_{\text{res}} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (3.6)$$

Der Gesamtleistungsbedarf in W berechnet sich durch Multiplikation mit der Fahrgeschwindigkeit:

$$P_{\text{Ges}} = F_{\text{Ges}} \cdot v = (F_{\text{R}} + F_{\text{W}} + F_{\text{H}} + F_{\text{B}}) \cdot v \quad (3.7)$$

3.2.6 Beispiel

Zur Veranschaulichung der in den vorigen Abschnitten beschriebenen Kräfte nun ein Beispiel eines realen Fahrzeuges mit folgenden Daten:

Für $dv/dt = 0$ ergibt sich über der Geschwindigkeit der Abb. 3.8 gezeigte Verlauf für Roll- und Luftwiderstand. Als Vergleich dienen noch die Kräfte bei konstanter Beschleunigung mit 1 m/s^2 (0 bis 100 km/h in $27,8 \text{ s}$) und an einer 5 %-igen Steigung. Aus den Kurven können z. B. folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

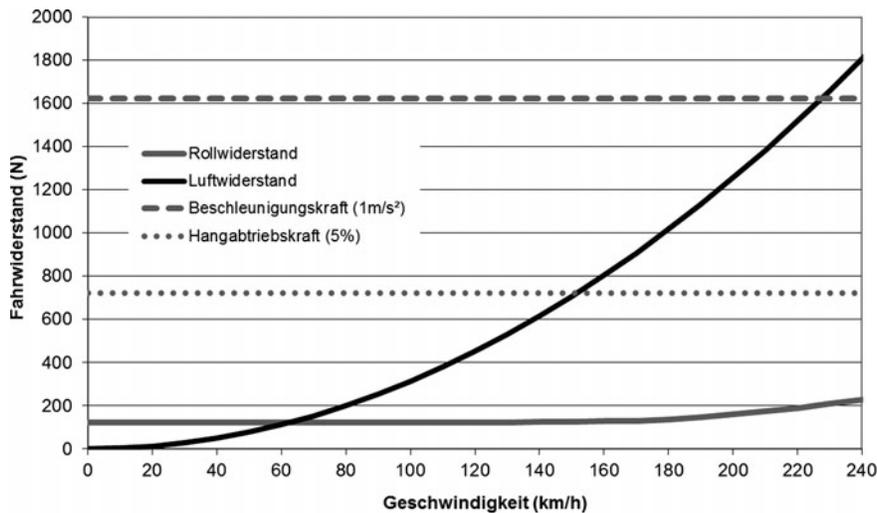


Abb. 3.8 Verlauf des Luft- und Rollwiderstands, sowie der Beschleunigungs- und Hangabtriebskraft über der Geschwindigkeit am Beispiel der B-Klasse von Mercedes-Benz