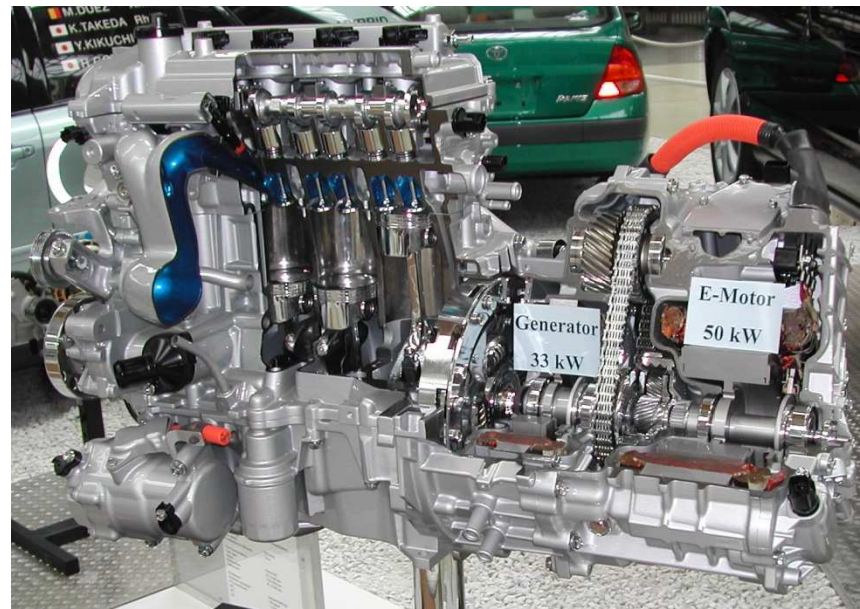


# Kraftfahrzeugantriebe

## 2 Energiebedarf eines Kraftfahrzeugs

---

Dr.-Ing. Klaus Herzog



# 2.1 Energiebedarf eines Kraftfahrzeugs

(siehe auch Vorlesung Kfz-Technik)

---

- Leistungsbedarf in der Ebene
- Leistungsbedarf am Berg
- Leistungsbedarf beim Beschleunigen
- Reduzierte Fahrzeugmasse
- Allgemeine Fahrleistungsgleichung
- Fahrzyklen
- Übungsaufgaben

# Rollwiderstand und Rollwiderstandsleistung

---

$$\text{Rollwiderstand } F_R = f_R \cdot m_F \cdot g$$

$F_R$  = Rollwiderstand

$f_R$  = Rollwiderstandsbeiwert

$m_F$  = Fahrzeugmasse

$$\text{Rollwiderstandsleistung } P_R = f_R \cdot m_F \cdot g \cdot v_F$$

$v_F$  = Fahrzeuggeschwindigkeit

# Rollwiderstandsbeiwerte für unterschiedliche Fahrbahnen

Fahrbahn	Rollwiderstandsbeiwert $f_R$
neuer, fester Asphalt; Beton; Kleinpflaster; Kopfsteinpflaster	0,005 – 0,015
gewalzter, fester Schotter; ausgefahrener, welliger Asphalt	0,02 – 0,03
geteerter, ausgefahrener, welliger Schotter	0,03 – 0,04
sehr gute Erdwege	0,04 – 0,05
Erdwege	0,05 – 0,15
Sand	0,15 – 0,35

# Luftwiderstand und Luftwiderstandsleistung

---

$$\text{Luftwiderstand } F_L = c_w \cdot A \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_F^2$$

$c_w$  = Luftwiderstandsbeiwert

$A$  = projizierte Fahrzeugquerschnitts-  
fläche

$\rho_L$  = Dichte der Luft

$$\text{Luftwiderstandsleistung } P_L = c_w \cdot A \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_F^3$$

# Luftwiderstandsbeiwerte im Vergleich

---

Objekt	$C_w$ -Wert
Kugel	0,45
Halbkugel	0,34
Tragflügel eines Flugzeugs	0,08
VW-Käfer	0,48
VW-Golf	0,33
Audi A2	0,25
Formel 1 Fahrzeug	ca. 1,2

# Fahrwiderstand und Fahrwiderstandsleistung in der Ebene

---

Fahrwiderstand in der Ebene

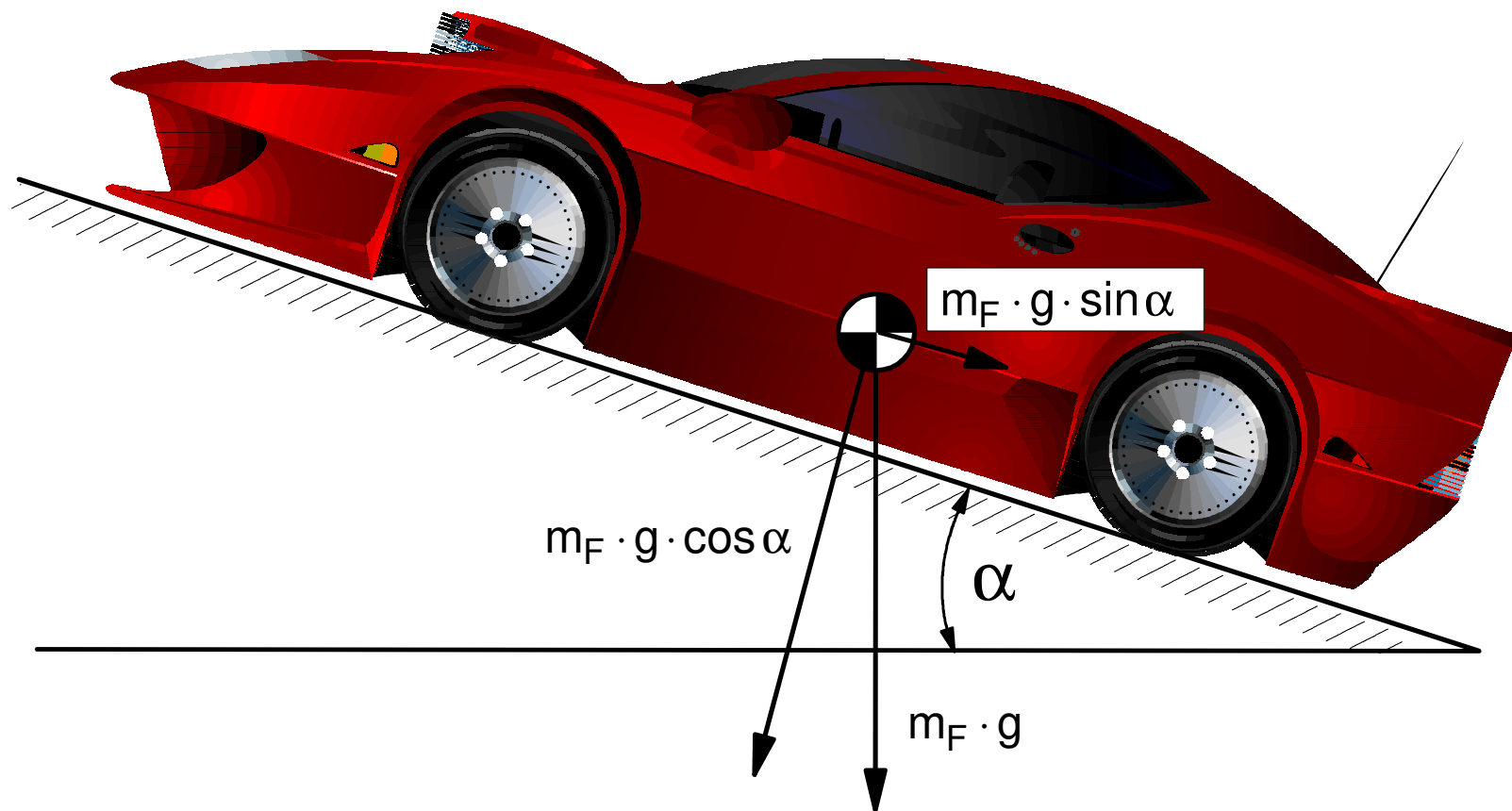
$$F_W = f_R \cdot m_F \cdot g + c_w \cdot A \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_F^2$$

Fahrwiderstandsleistung in der Ebene

$$P_W = f_R \cdot m_F \cdot g \cdot v_F + c_w \cdot A \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_F^3$$

# Steigungswiderstand

---





# Fahrwiderstand und Fahrwiderstandsleistung bei Bergfahrt

---

Fahrwiderstand bei Bergfahrt

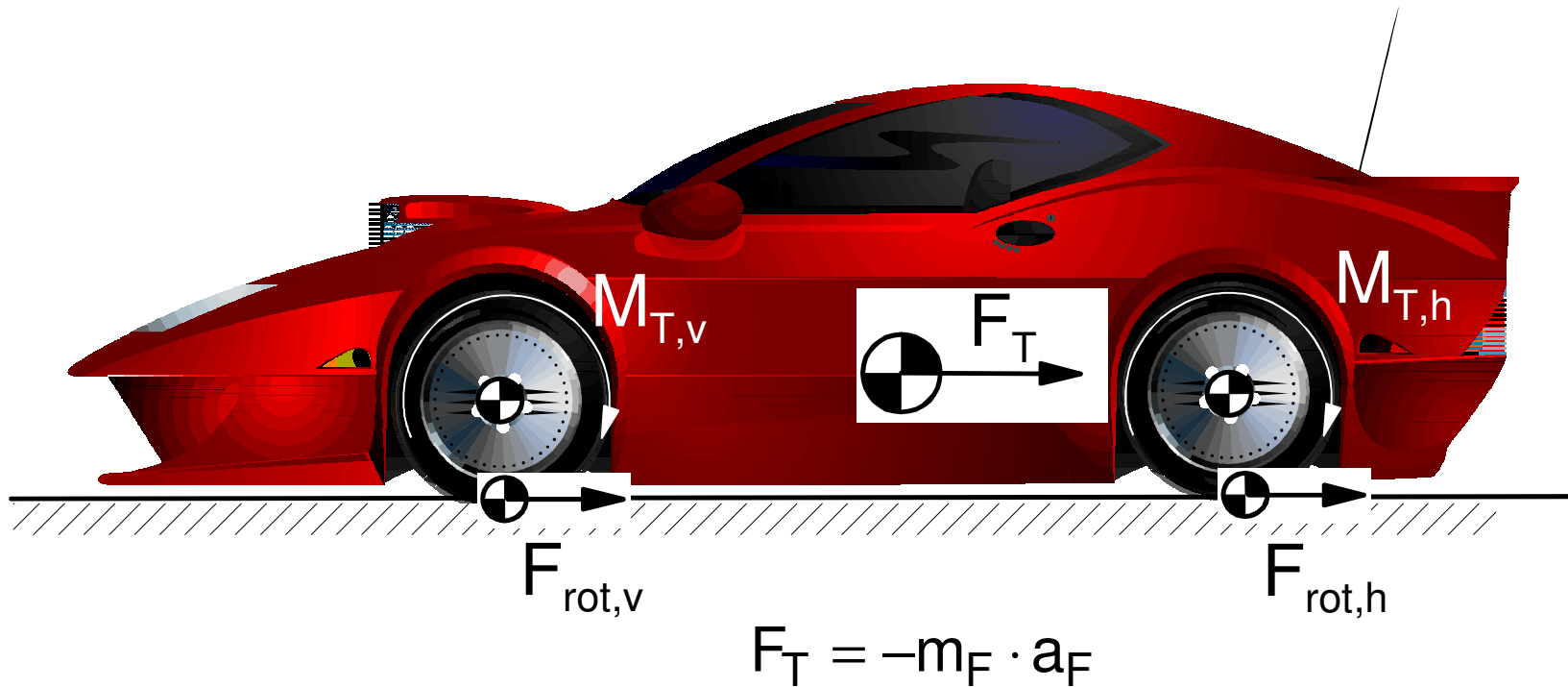
$$F_W = f_R \cdot m_F \cdot g \cdot \cos(\alpha) + m_F \cdot g \cdot \sin(\alpha) + c_w \cdot A \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_F^2$$

Fahrwiderstandsleistung bei Bergfahrt

$$P_W = (f_R \cdot m_F \cdot g \cdot \cos(\alpha) + m_F \cdot g \cdot \sin(\alpha)) \cdot v_F + c_w \cdot A \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_F^3$$

# Beschleunigungswiderstände

---



$$M_{T,v} = -J_v \cdot \ddot{\phi}$$

$$M_{T,h} = -J_h \cdot \ddot{\phi}$$

# Massenträgheitskräfte resultierend aus rotierenden Massen

---

aus rotierenden Massen resultierende  
Trägheitskraft

$$F_{\text{rot}} = \frac{-M_T}{r_{\text{dyn}}} = \frac{J_{\text{red}} \cdot \ddot{\phi}}{r_{\text{dyn}}}$$

$r_{\text{dyn}}$  = dynamischer Rollradius

$v_F$  = Fahrzeuggeschwindigkeit

$\ddot{\phi}$  = Winkelbeschleunigung

# Reduziertes Massenträgheitsmoment

---

$$J_{\text{red}} = J_{\text{R}} + i_{\text{sek}}^2 \cdot J_{\text{Antr}} + i_{\text{sek}}^2 \cdot i_{\text{g}}^2 \cdot (J_{\text{mot}} + J_{\text{K}} + J_{\text{g}})$$

$J_{\text{R}}$  = Massenträgheitsmoment aller Räder

$i_{\text{sek}}$  = Sekundärübersetzung

$J_{\text{Antr}}$  = Massenträgheitsmoment des Achsantriebs

$i_{\text{g}}$  = Gangübersetzung

$J_{\text{mot}}$  = Massenträgheitsmoment des Motors

$J_{\text{K}}$  = Massenträgheitsmoment der Kupplung

$J_{\text{g}}$  = Massenträgheitsmoment des Getriebes für den entsprechenden Gang

# Reduzierte Fahrzeugmasse und Massenfaktor

---

reduzierte Fahrzeugmasse

$$m_{F,\text{red}} = m_F + \frac{J_{\text{red}}}{r_{\text{dyn}}^2}$$

gangabhängiger Massenfaktor

$$e_i = \frac{m_{F,\text{red},i}}{m_F} = 1 + \frac{J_{\text{red},i}}{m_F \cdot r_{\text{dyn}}^2}$$

# Massenfaktoren

---

	1.Gang	2.Gang	3.Gang	4.Gang	5.Gang
Kleinwagen (Beispiel)	1,32	1,15	1,10	1,07	1,06
Omnibus (Beispiel)	1,61	1,18	1,08	1,06	1,03

# Übungsaufgabe

---

Berechnen Sie für ein Fahrzeug mit den nachfolgenden Daten für jeden Gang die reduzierte Fahrzeugmasse und den Massenfaktor. Die Massenträgheitsmomente von Getriebe, Antriebswellen und Kupplung können vernachlässigt werden.

Fahrzeugmasse	$m_F = 1200 \text{ kg}$
Massenträgheitsmoment pro Rad	$J_r = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Massenträgheitsmoment Kurbeltrieb	$J_{\text{mot}} = 0,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Dynamischer Rollradius	$r_{\text{dyn}} = 0,315 \text{ m}$
Achsübersetzung	$i_{\text{sek}} = 3,60$
Übersetzungen 1. bis 6. Gang	2,90; 2,33; 1,83; 1,50; 1,27; 1,14

# Allgemeine Fahrwiderstandsgleichung

---

$$\begin{aligned} F_W &= (e_i \cdot m_F + m_{zu}) \cdot a_F \\ &+ f_R \cdot (m_F + m_{zu}) \cdot g \cdot \cos(\alpha) \\ &+ (m_F + m_{zu}) \cdot g \cdot \sin(\alpha) \\ &+ c_w \cdot A \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot (v_F - v_w)^2 \end{aligned}$$

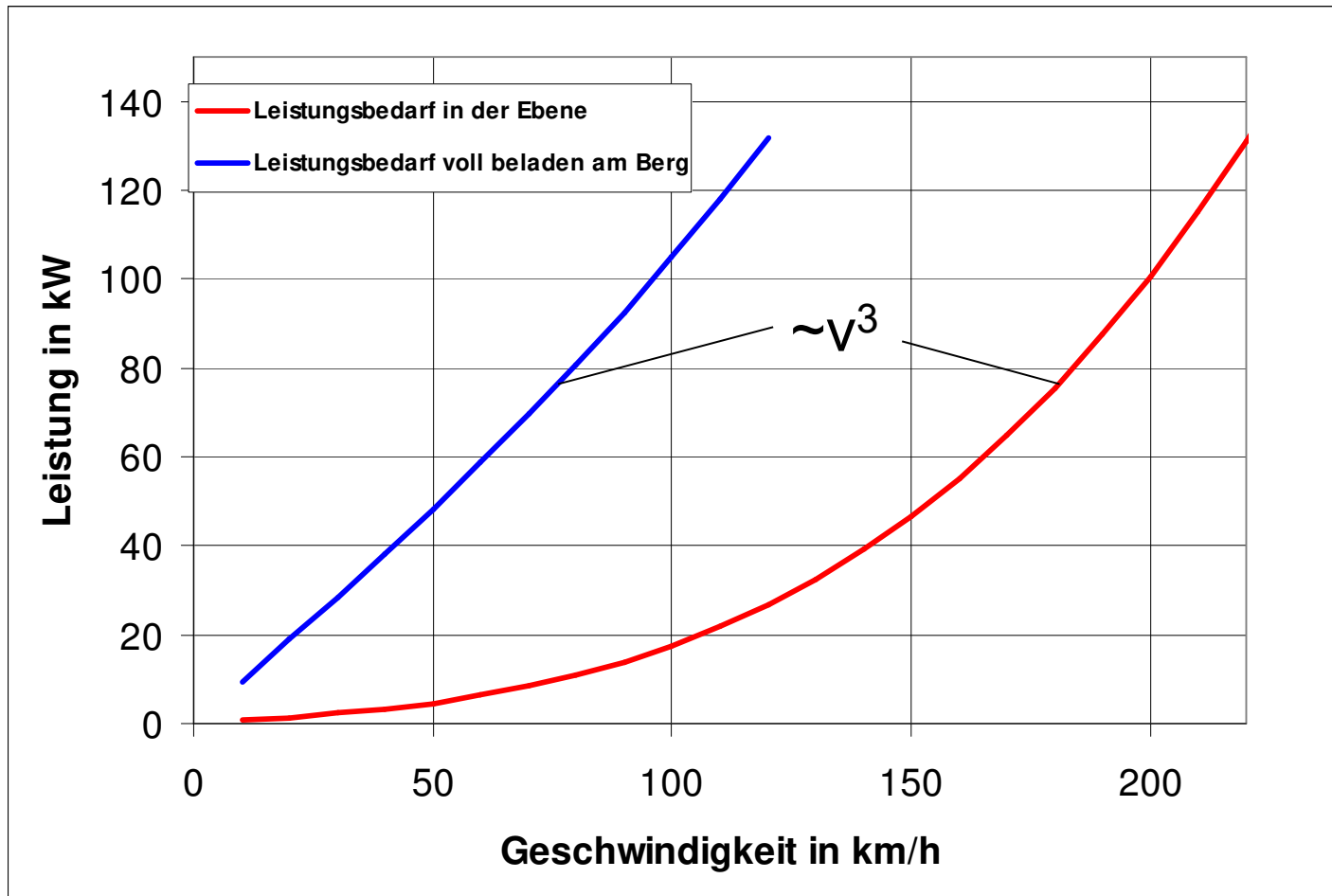
$m_{zu}$  = Zuladungsmasse

$a_F$  = Fahrzeugbeschleunigung

$v_w$  = Windgeschwindigkeit



# Leistungsbedarf eines Mittelklassefahrzeugs



# Übungsaufgabe

---

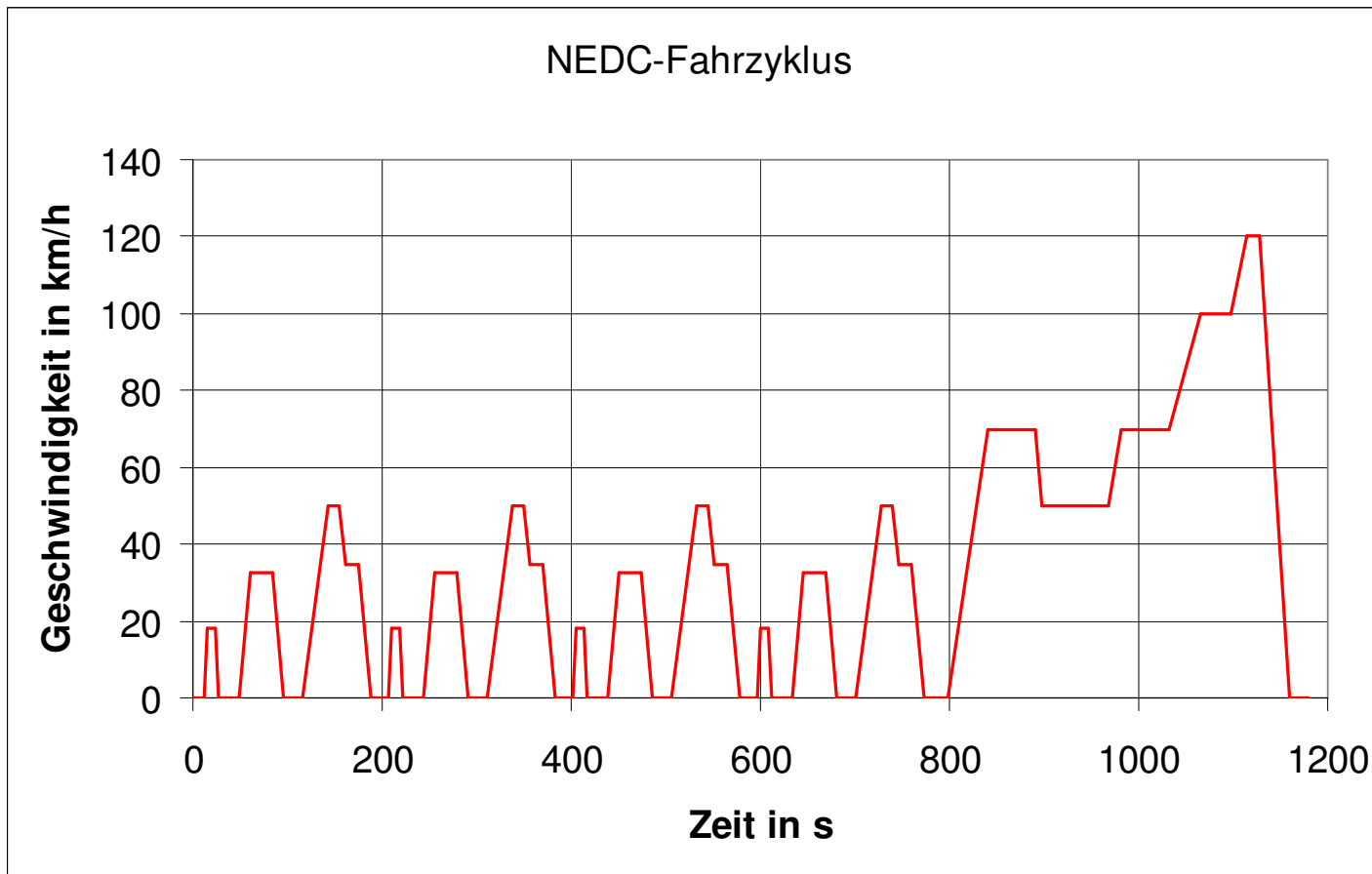
Berechnen Sie für ein Fahrzeug mit den folgenden Daten den Rollwiderstand und den Luftwiderstand in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. Stellen Sie den Luftwiderstand in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit grafisch dar. Bei welcher Geschwindigkeit sind Luft- und Rollwiderstand gleich groß?

Fahrzeugmasse	$m_F = 1500 \text{ kg}$
Rollwiderstandsbeiwert	$f_R = 0,015$
Luftwiderstandsbeiwert	$c_w = 0,38$
Projizierte Fahrzeugfläche	$A = 2,25 \text{ m}^2$
Dichte der Luft	$\rho_L = 1,2 \text{ kg/m}^3$

---

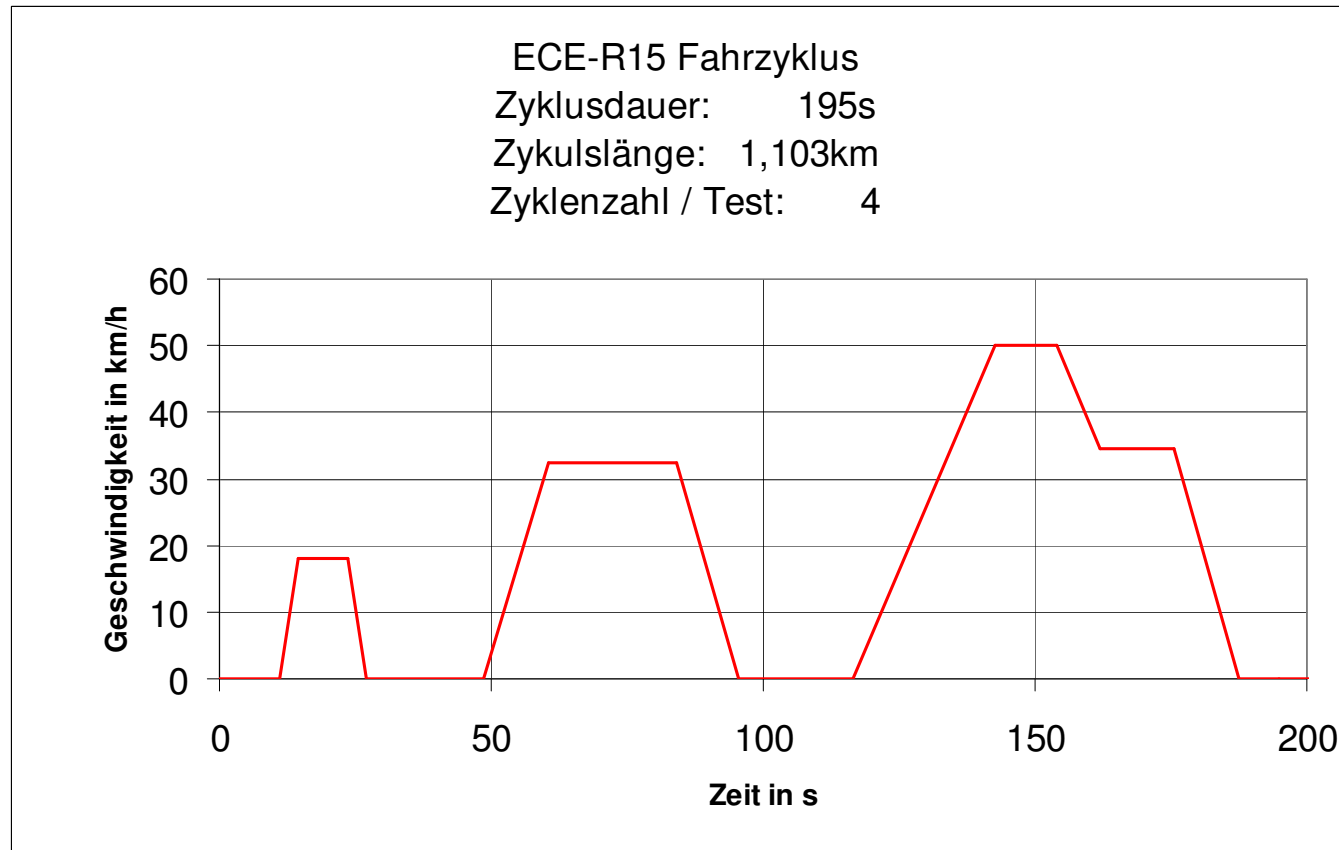
# New European Drive Cycle

---

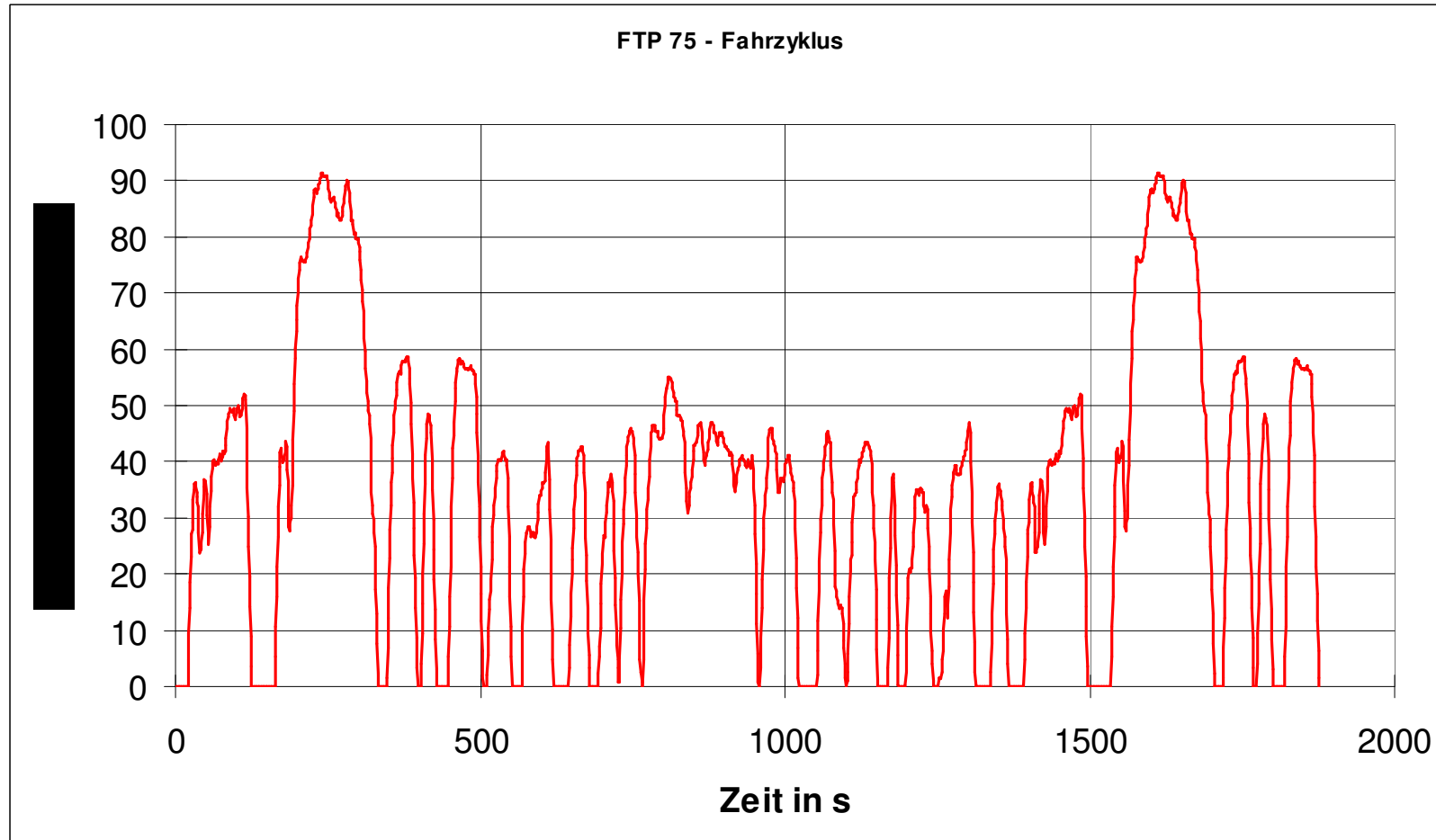


# Bis 1996 verwendeter Fahrzyklus

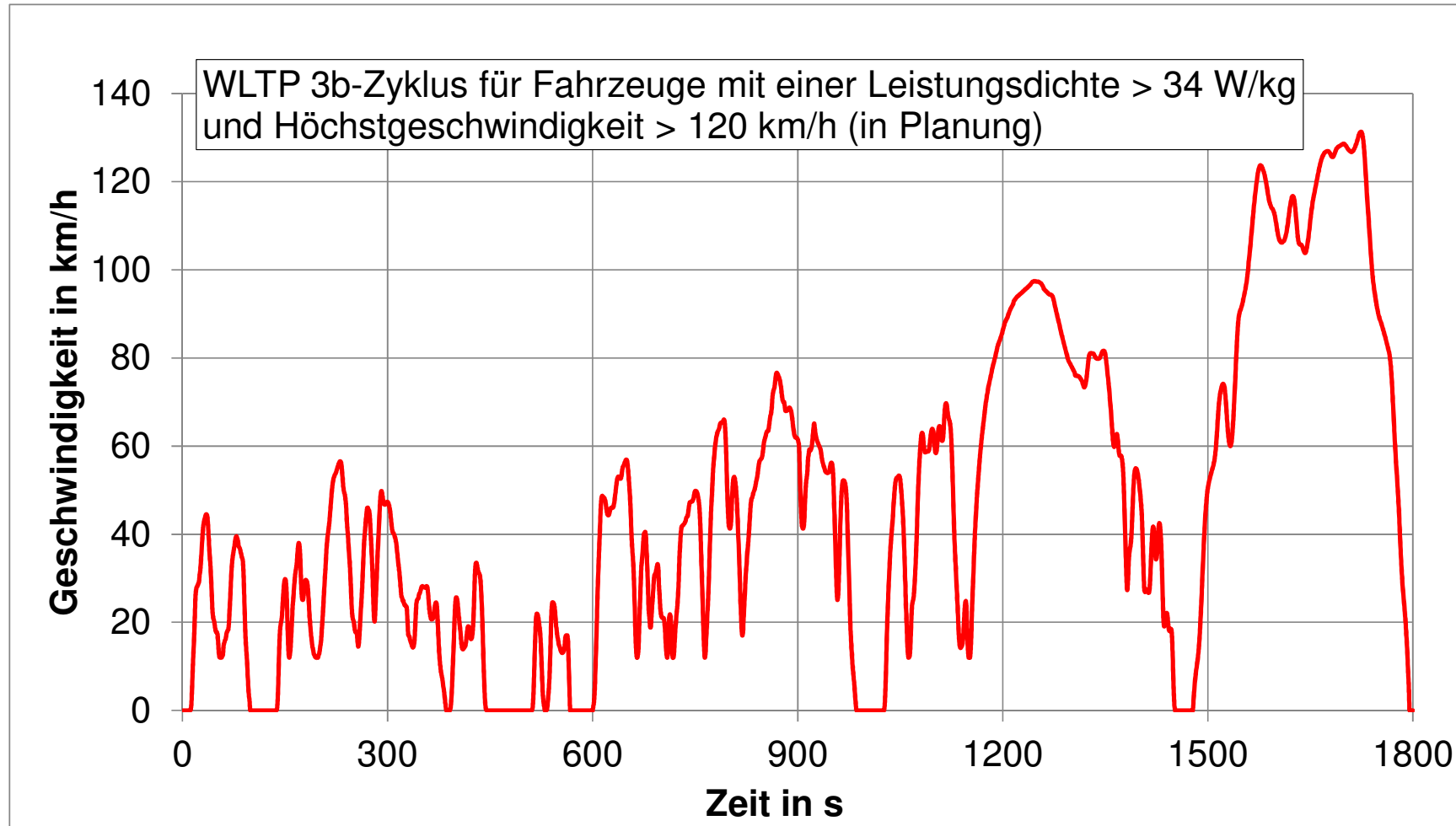
---



# Amerikanischer Fahrzyklus FTP 75



# Worldwide Harmonized Light Duty Test Procedure – WLTP



# Übungsaufgabe

---

Berechnen Sie für ein Fahrzeug mit den folgenden Daten den Fahrwiderstand und den Leistungsbedarf im ECE-Zyklus. Stellen Sie die Ergebnisse grafisch dar. Wie hoch ist der Energiebedarf für diesen Zyklus? Massenträgheiten im Antriebsstrang können vernachlässigt werden.

Fahrzeugmasse	$m_F = 1500 \text{ kg}$
Rollwiderstandsbeiwert	$f_R = 0,015$
Luftwiderstandsbeiwert	$c_w = 0,38$
Projizierte Fahrzeugfläche	$A = 2,25 \text{ m}^2$
Dichte der Luft	$\rho_L = 1,2 \text{ kg/m}^3$

---