

Bilden Sie Arbeitsgruppen und entwickeln Sie zunächst Lösungsskizzen und -strategien.

# Bremswegberechnung - Übungsaufgabe

gemischter Güterzug mit 9 Wagengruppen:

$$f_{WFW} = 0,0011 + 0,0047 \cdot \left(\frac{v}{100}\right)^2$$

$$F_{WFT} = 1,17 + 1,804 \cdot \left(\frac{v}{100}\right)^2$$

$$P_{B,el} = P_T = 6,4 \text{ MW}$$

$$F_{B,el,max} = 150 \text{ kN}$$

$$F_{B,el}(v = 0) = 0 \text{ kN}$$

$$F_{B,el}(v = 5) = 150 \text{ kN}$$

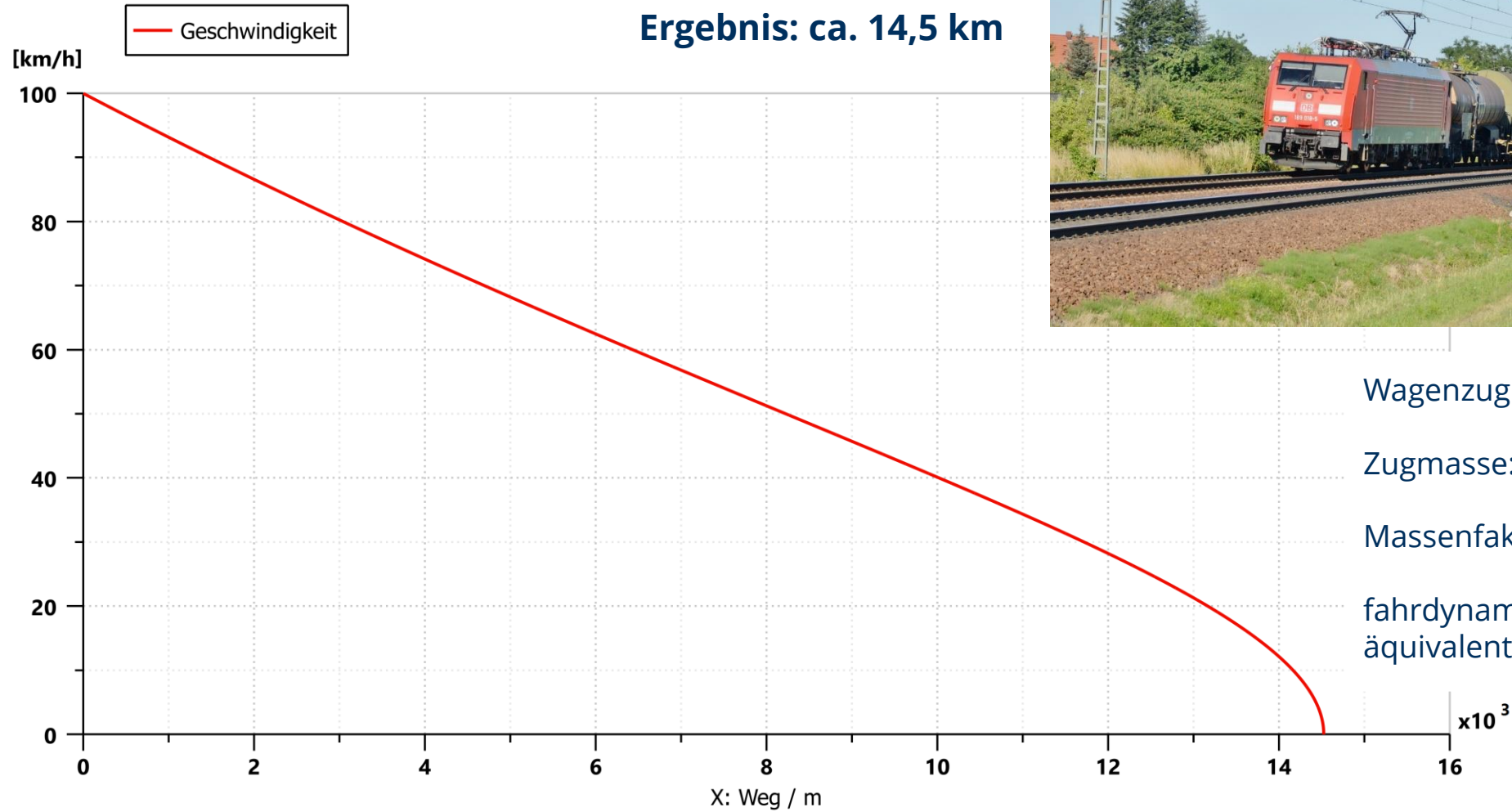


Zugteil	Anzahl Fahrzeuge	Masse / Fahrzeug	Massenfaktor
BR 189	1	87 t	1,100
Wagengruppe 1	5	45 t	1,031
Wagengruppe 2	8	80 t	1,028
Wagengruppe 3	1	15 t	1,060
Wagengruppe 4	1	16 t	1,058
Wagengruppe 5	4	90 t	1,033
Wagengruppe 6	3	86 t	1,035
Wagengruppe 7	1	84 t	1,029
Wagengruppe 8	4	40 t	1,040
Wagengruppe 9	2	16 t	1,058

1. Wie groß ist der Auslaufweg aus 100 km/h in der Ebene?
2. Ab welchem Gefälle muss pneumatisch zugebremst werden, um eine Geschwindigkeit von 80 km/h zu halten?
3. Wie lang ist der Bremsweg aus 100 km/h, wenn nur die elektrodynamische Bremse der Lokomotive zum Einsatz kommt?
4. Welche Bremskraft muss durch die mechanischen Radbremmen insgesamt erzeugt werden, wenn der Zug aus 100 km/h innerhalb von 900 m anhalten soll und die Bremsaufbauzeit 20 Sekunden beträgt?
5. Um welchen Betrag verändert sich der Bremsweg wenn die Bremsaufbauzeit um 10 Sekunden verlängert bzw. verkürzt wird?

# Bremswegberechnung - Übungsaufgabe

1. Wie groß ist der Auslaufweg aus 100 km/h in der Ebene?



Wagenzugmasse: 1790 t  
Zugmasse: 1877 t  
Massenfaktor: 1,036  
fahr-dynamisch äquivalente Zugmasse: 1944 t

# Bremswegberechnung - Übungsaufgabe

2. Ab welchem Gefälle muss pneumatisch zugebremst werden, um eine Geschwindigkeit von 80 km/h zu halten?

$$i = \frac{-F_{WFT}(80) - F_{WFW}(80) - F_{B,el}}{m_Z g}$$

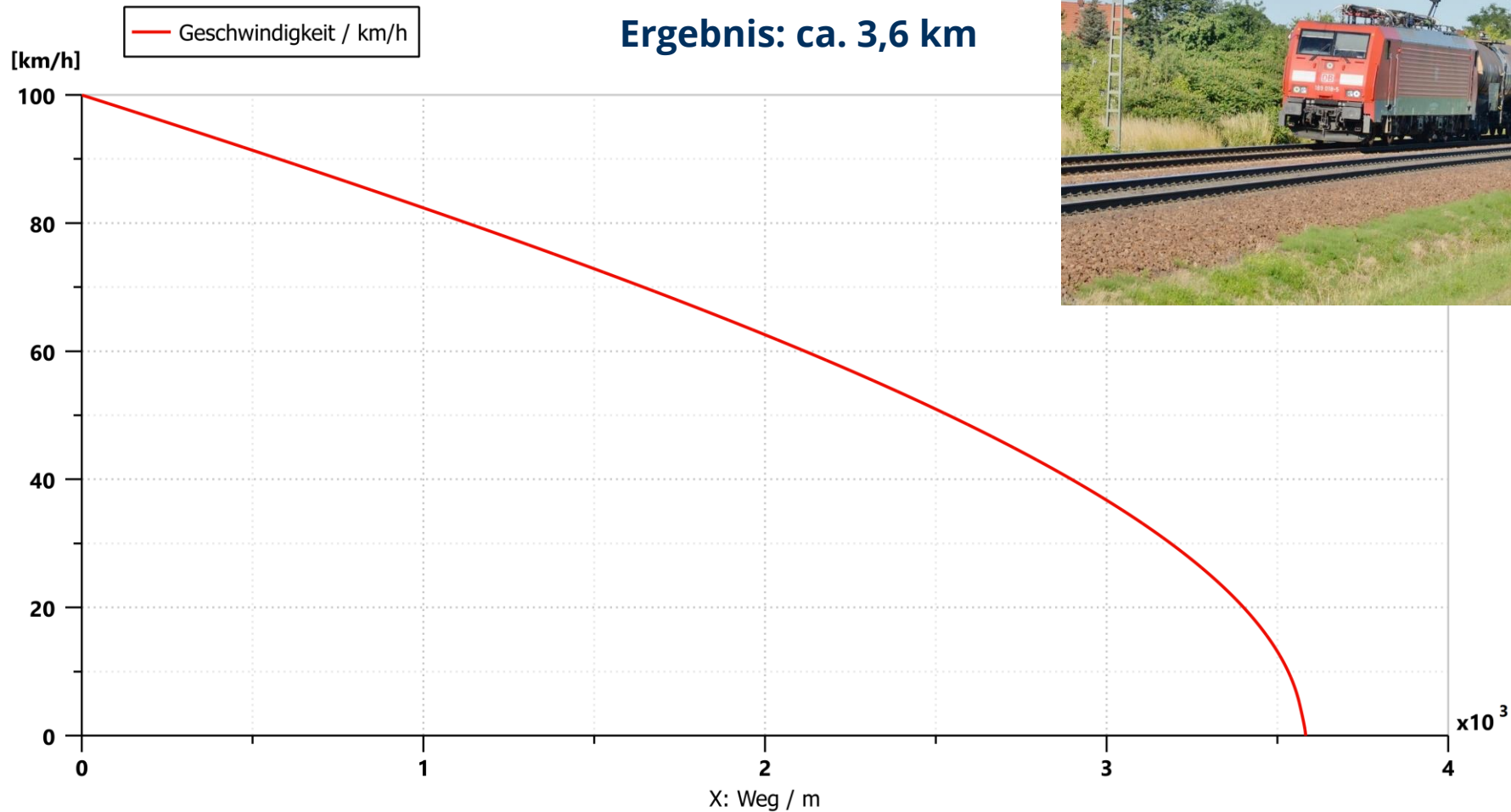
$$i = \frac{-2,32 \text{ kN} - 72,14 \text{ kN} - 150 \text{ kN}}{1877 \text{ t} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$i = -1,22 \%$$



# Bremswegberechnung - Übungsaufgabe

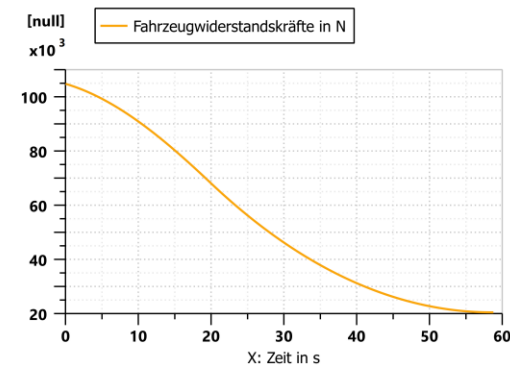
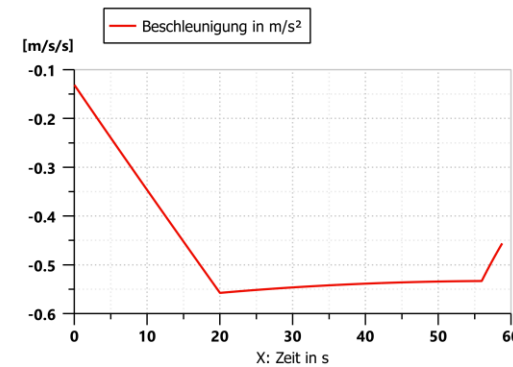
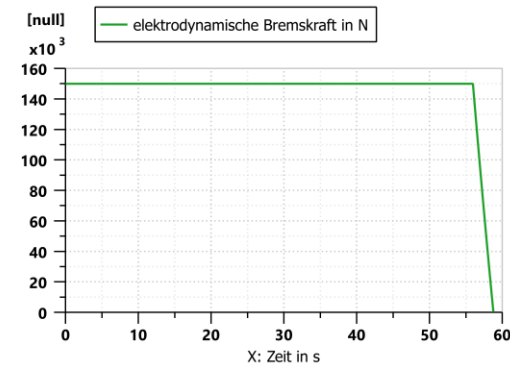
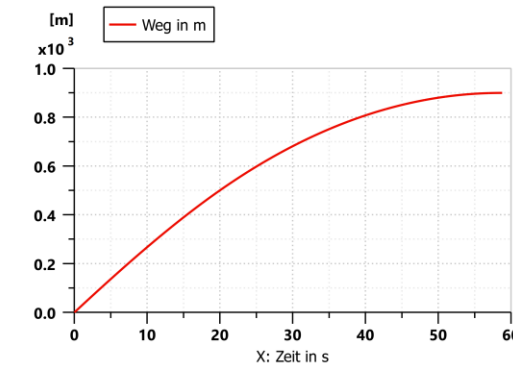
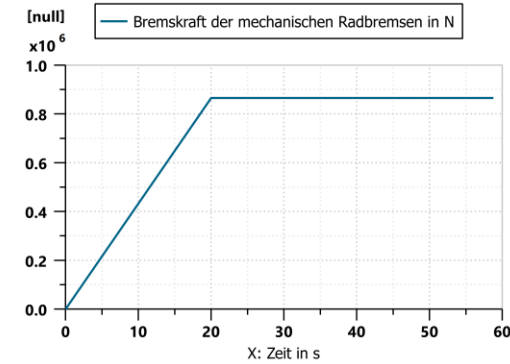
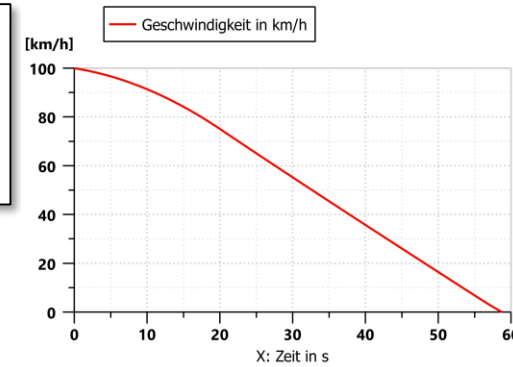
3. Wie lang ist der Bremsweg aus 100 km/h, wenn nur die elektrodynamische Bremse der Lokomotive zum Einsatz kommt?



# Bremswegberechnung - Übungsaufgabe

4. Welche Bremskraft muss durch die mechanischen Radbremsen insgesamt erzeugt werden, wenn der Zug aus 100 km/h innerhalb von 900 m anhalten soll und die Bremsaufbauzeit 20 Sekunden beträgt?

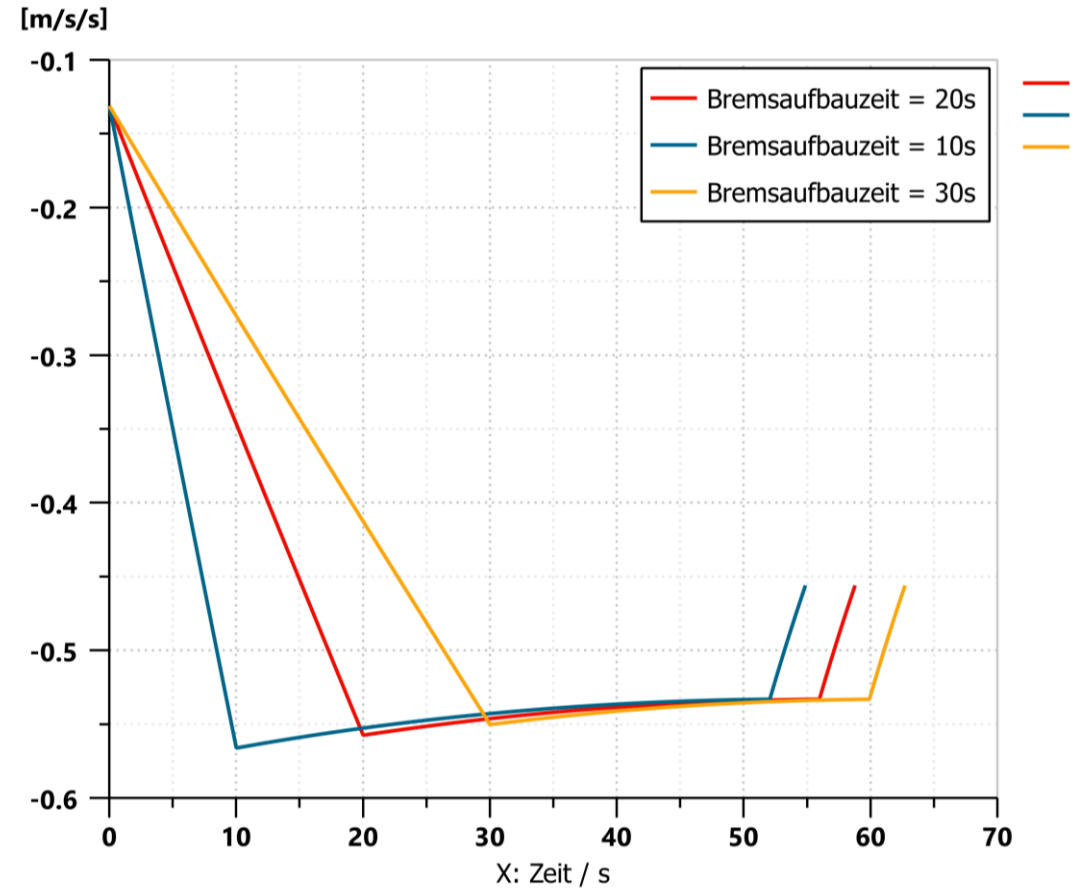
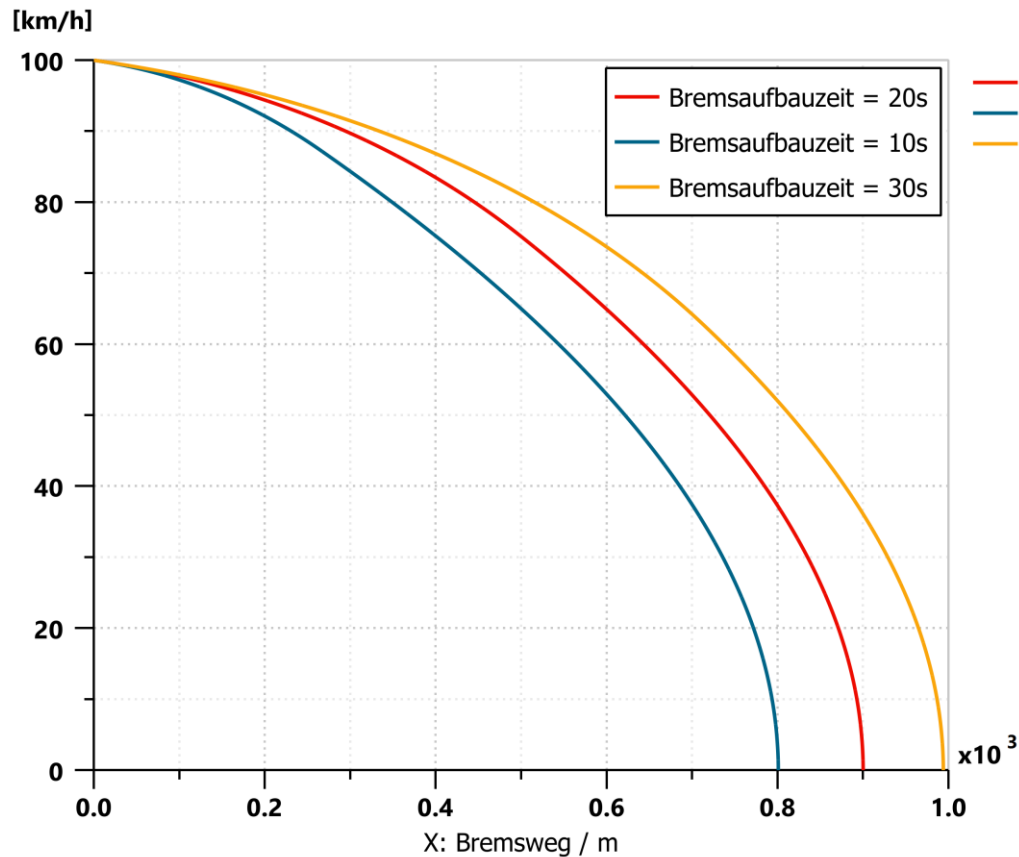
**Ergebnis: ca. 866...883 kN (je nach Ansatz)**



# Bremswegberechnung - Übungsaufgabe



5. Um welchen Betrag verändert sich der Bremsweg wenn die Bremsaufbauzeit um 10 Sekunden verlängert bzw. verkürzt wird?

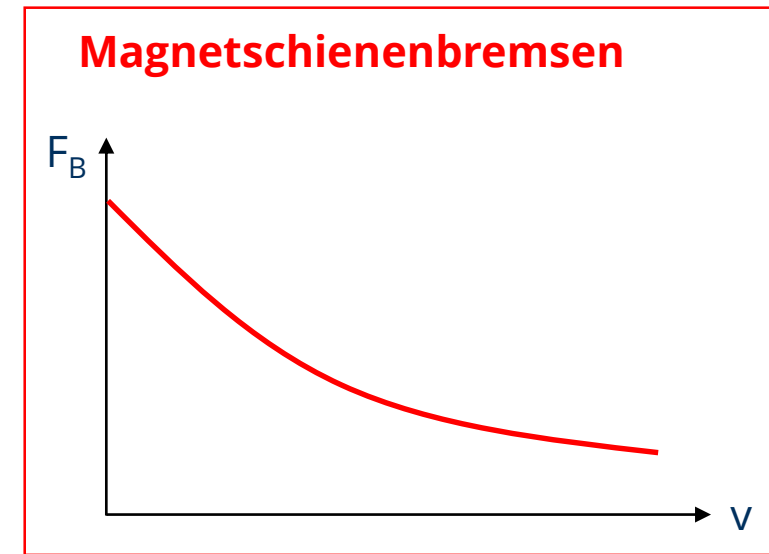
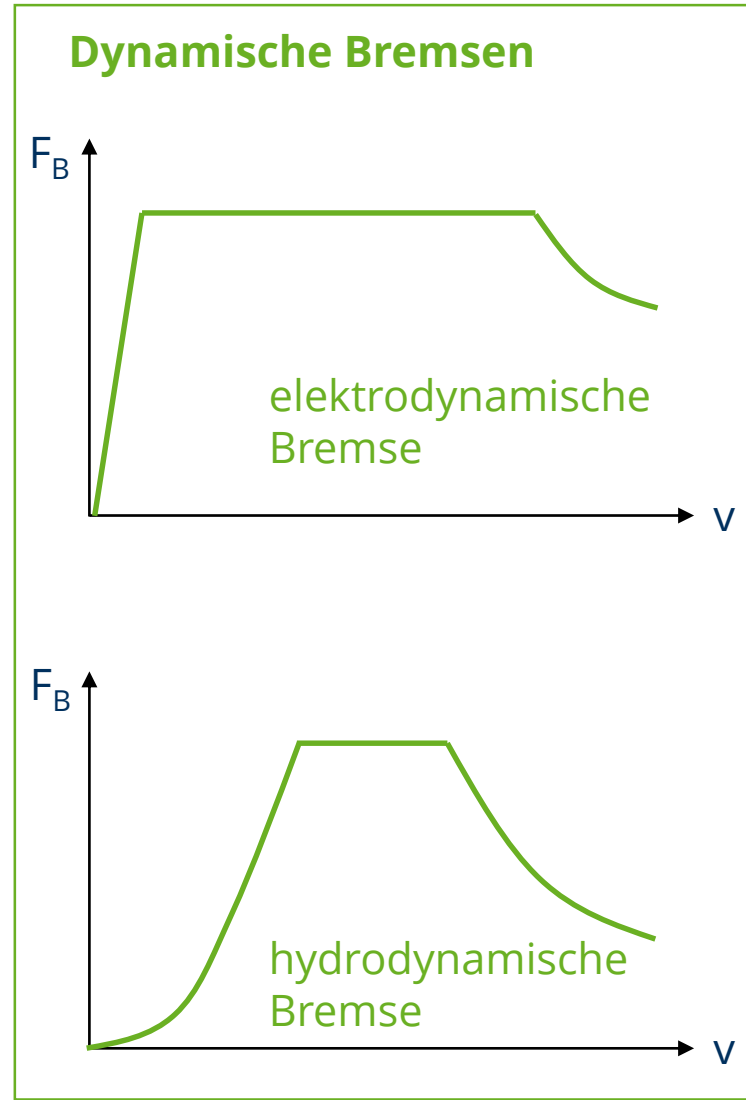
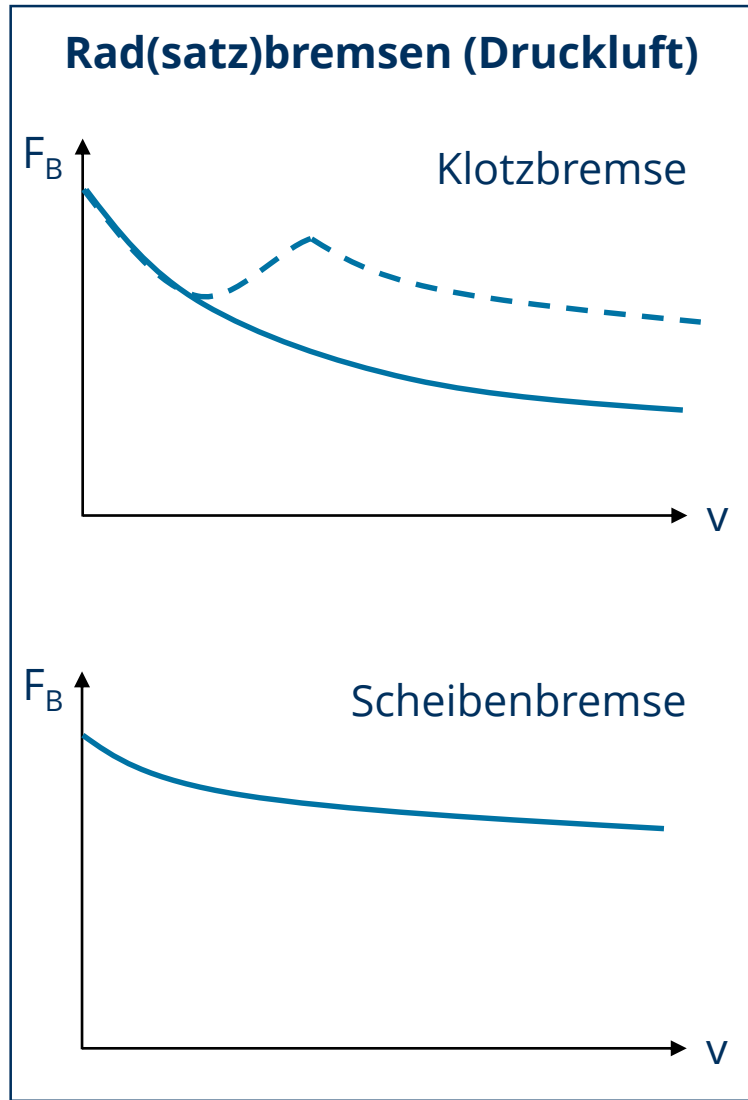




## Kombinierter Einsatz von Bremssystemen



# Bremskraftkennlinien (qualitativ)

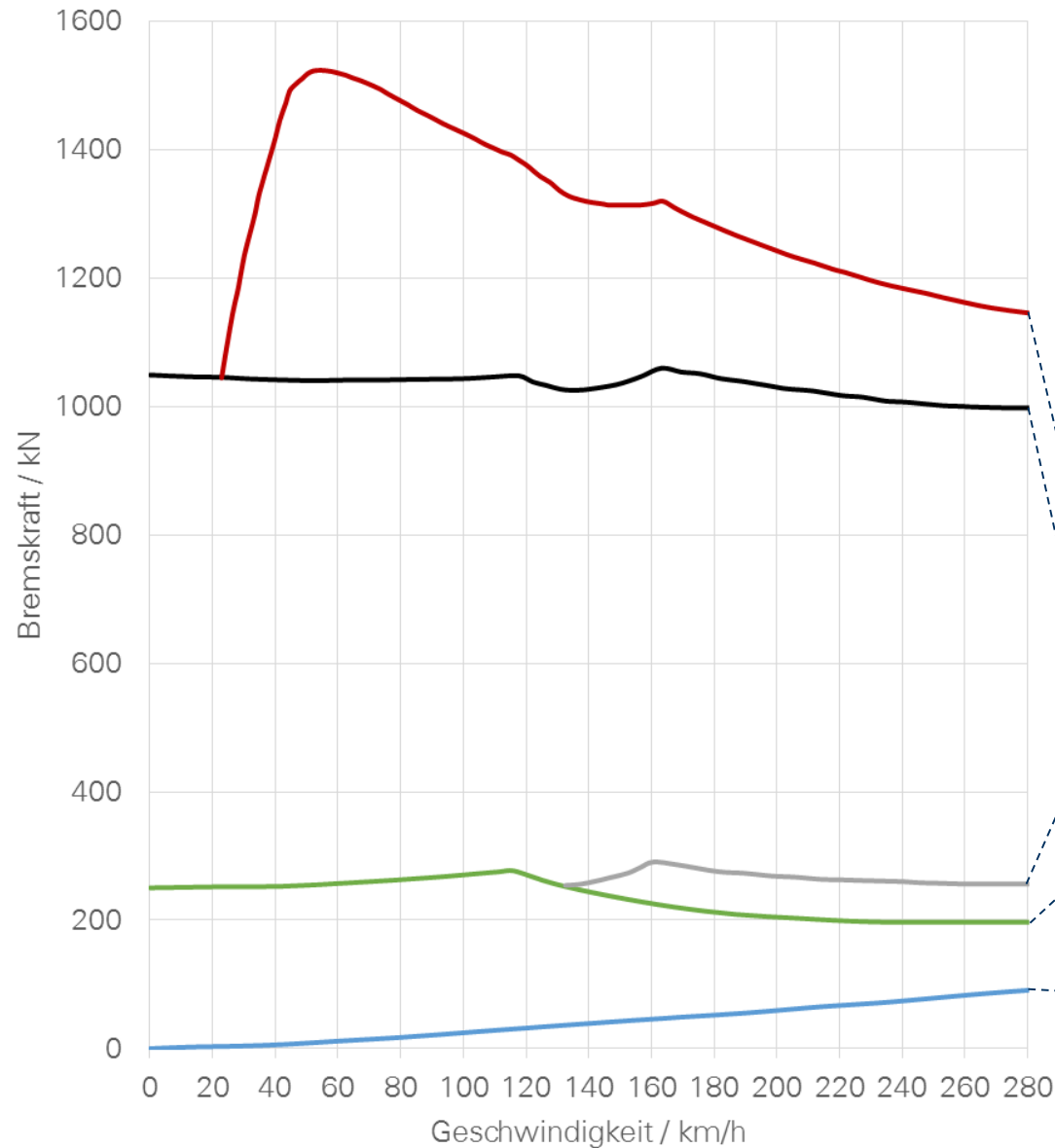


# Bremsblending im Hochgeschwindigkeitsverkehr

- Bsp. ICE 1

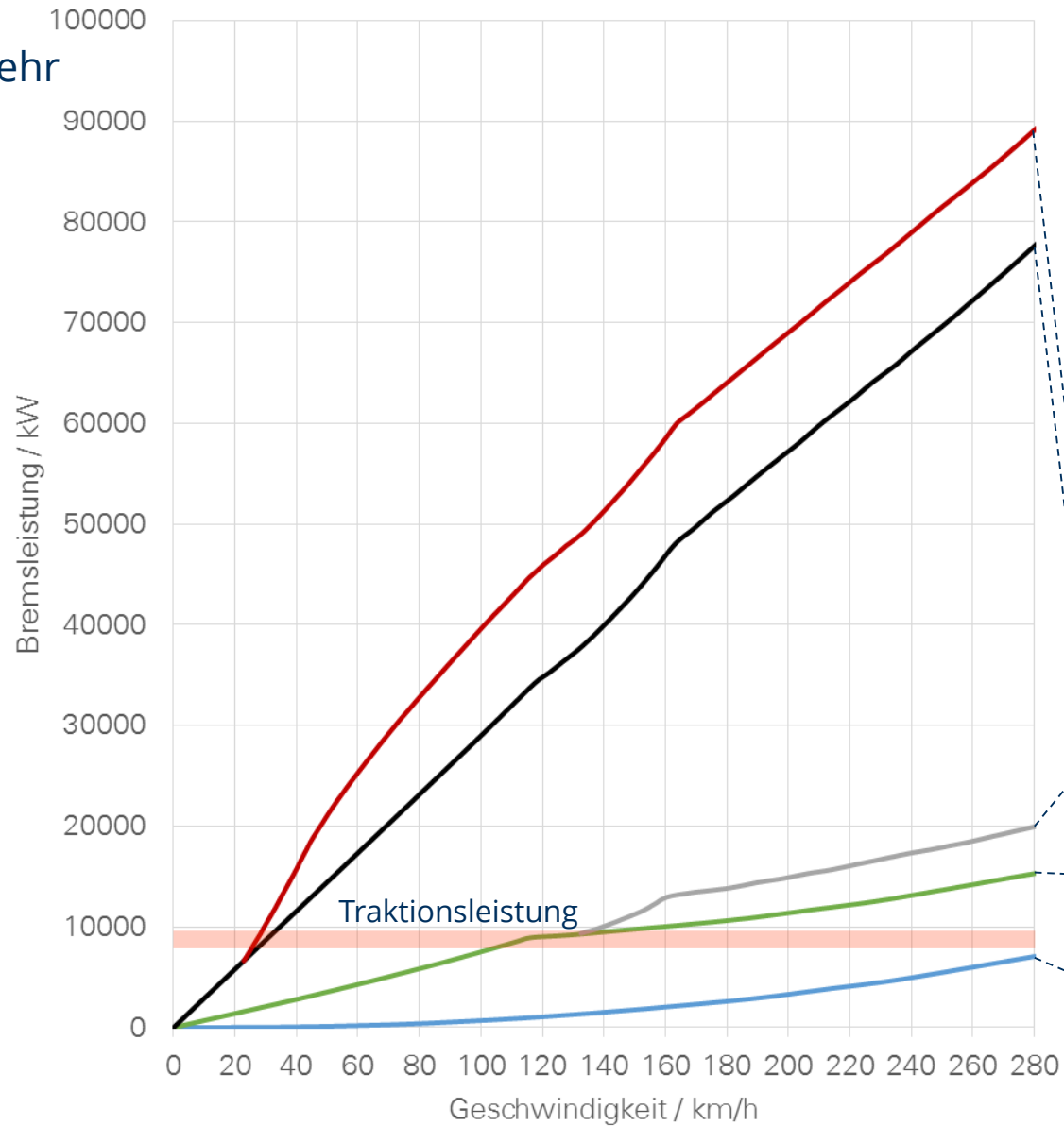


BR 401 (ICE 1)



- + Bremskraft der Magnetschienebremse  $F_{B,Mg}$
- + Scheibenbremskraft des Zuges  $F_{B,P}$
- + Scheibenbremskraft der Triebköpfe  $F_{B,PTK}$
- + elektrodynamische Bremskraft  $F_{B,ED}$
- Fahrzeugwiderstandskraft  $F_{WFT}$

# Bremsblending im Hochgeschwindigkeitsverkehr - Bsp. ICE 1



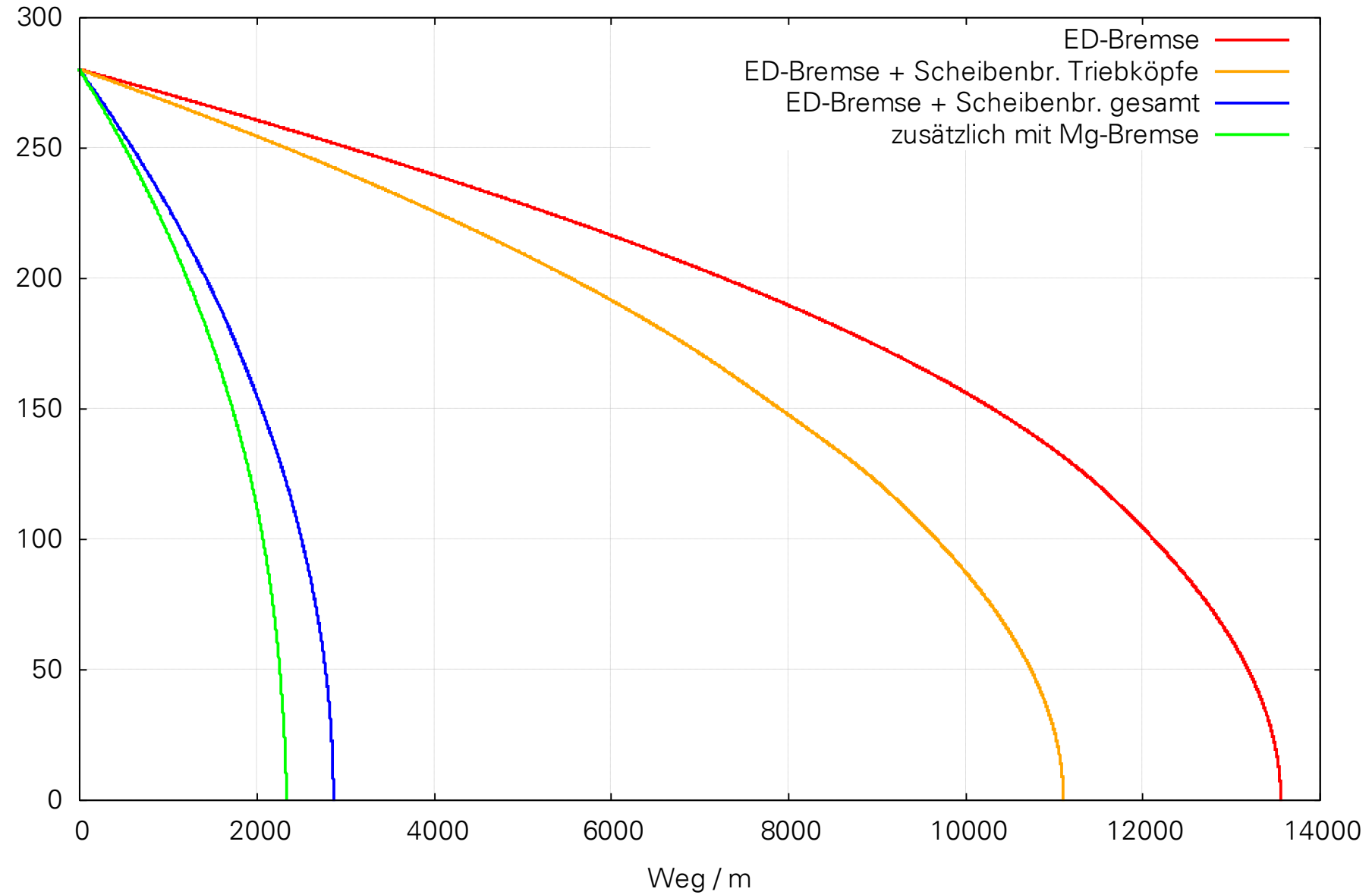
BR 401 (ICE 1)

- + Bremsleistung der Magnetschienensbremse  $P_{B,Mg}$
- + Scheibenbremsleistung des Zuges  $P_{B,P}$
- + Scheibenbremsleistung der Triebköpfe  $P_{B,PTK}$
- + elektrodynamische Bremsleistung  $P_{B,ED}$
- Fahrzeugwiderstandsleistung  $P_{WFT}$

# Bremswege\* ICE 1



BR 401 (ICE 1)



\* Es handelt sich um fahrdynamische Simulationsergebnisse zur Veranschaulichung. Reale Messungen können andere Ergebnisse liefern.

# Energie, Arbeit, Leistung – weitere Rechenbeispiele: siehe Umdruck

Zug 1



Zug 2



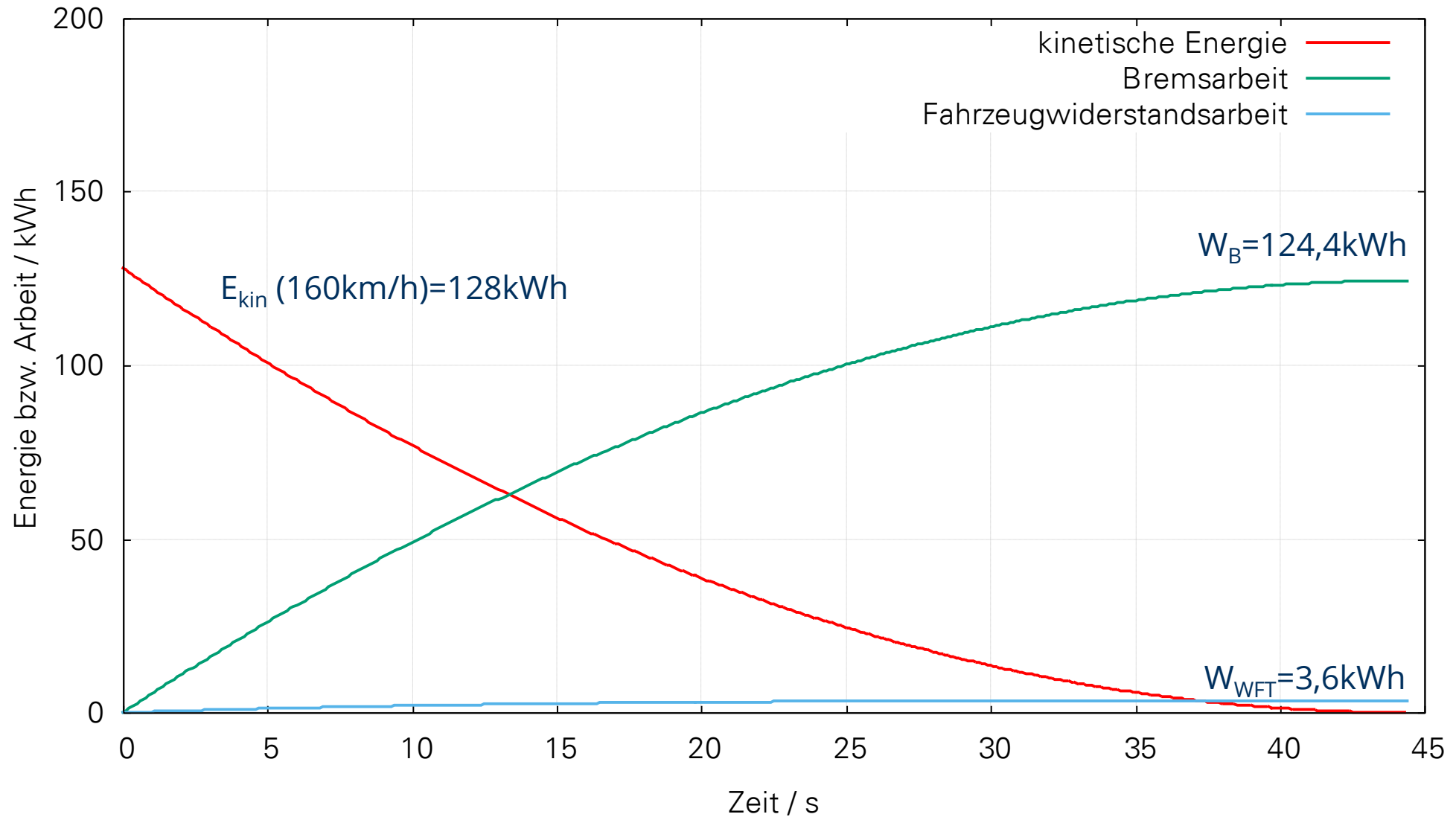
Zug 3



Zug 4



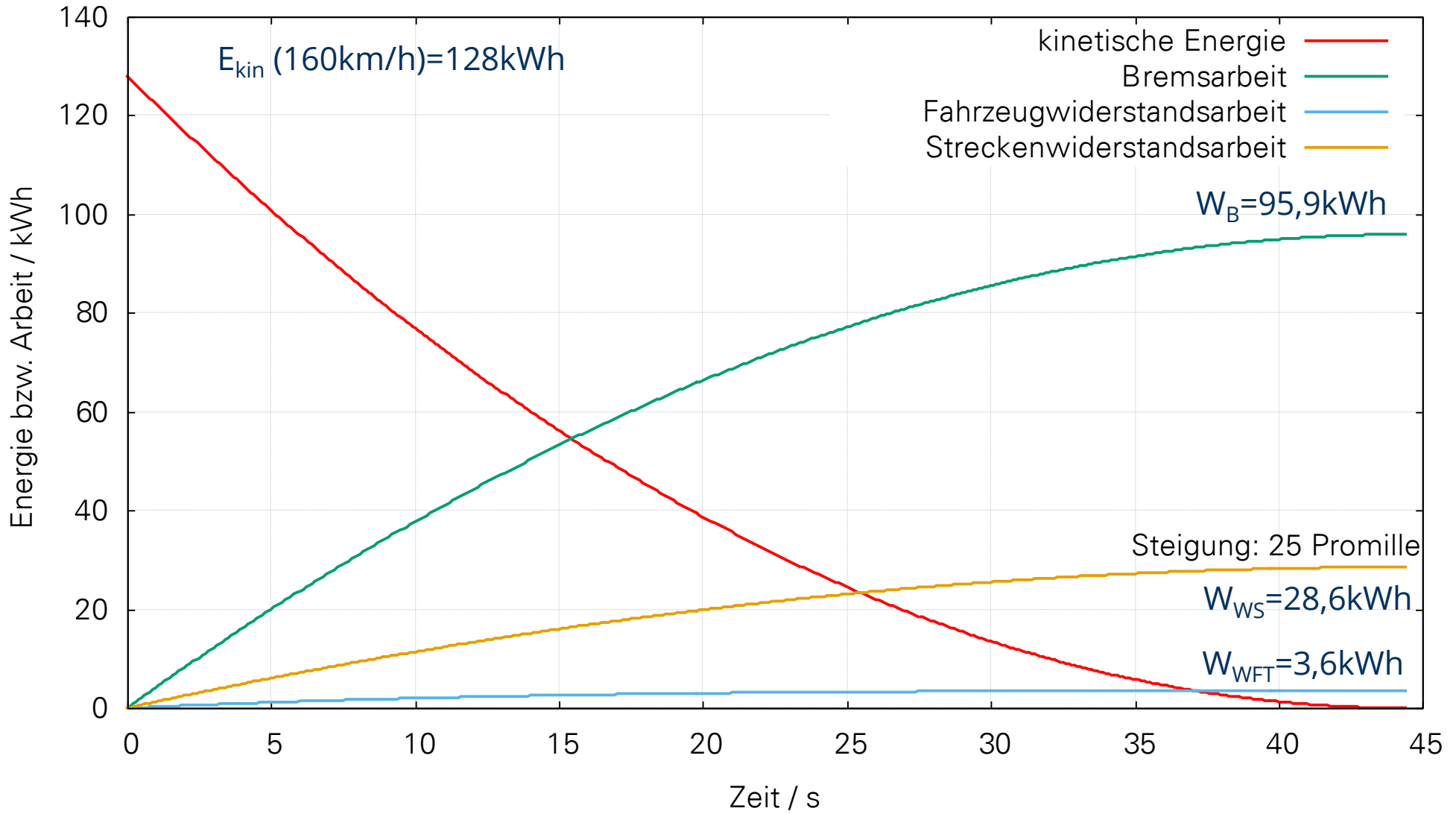
# Energie und Bremsarbeit in der Ebene, Bsp.1



Werte gelten überschläglich für TGV Duplex:

$m = 424\text{t}$ , Massenfaktor: 1,1,  $v_0=160\text{ km/h}$ , mittlere Bremsverzögerung:  $1,0\text{ m/s}^2$

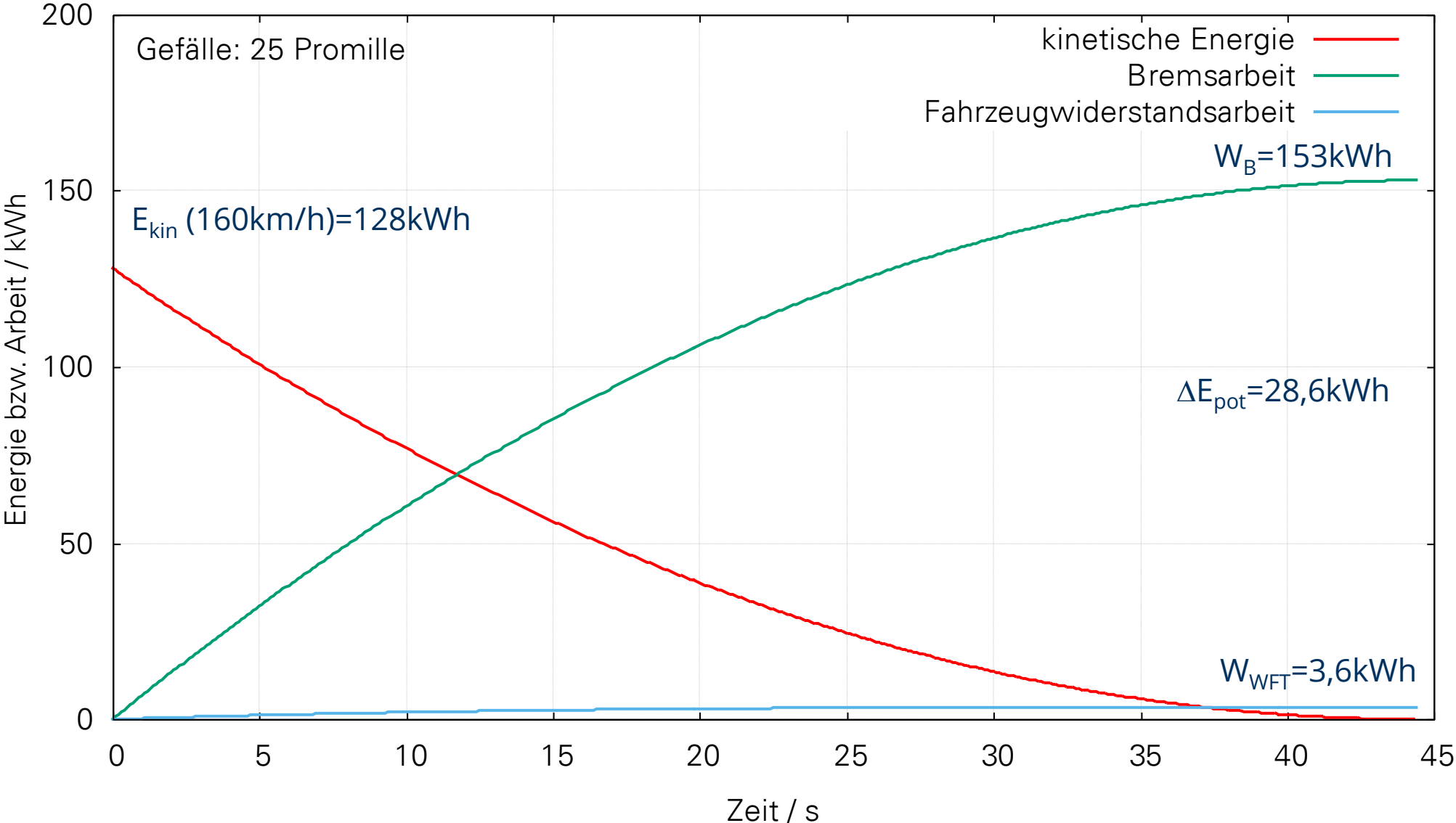
# Energie und Bremsarbeit in der Steigung, Bsp.1



Werte gelten überschläglich für TGV Duplex:

$m = 424\text{t}$ , Massenfaktor: 1,1,  $v_0=160 \text{ km/h}$ , mittlere Bremsverzögerung:  $1,0 \text{ m/s}^2$

# Energie und Bremsarbeit im Gefälle, Bsp.1



Werte gelten überschläglich für TGV Duplex:

$m = 424\text{t}$ , Massenfaktor: 1,1,  $v_0=160 \text{ km/h}$ , mittlere Bremsverzögerung:  $1,0 \text{ m/s}^2$

# Energie, Arbeit, Leistung – Rechenbeispiel Güterzug



Zugmasse: 1844 t  
Massenfaktor: 1,03  
 $v_{\max}$ : 100 km/h

$$F_{WFZ} = 22,5 + 0,8 \frac{v}{100} + 40,8 \left( \frac{v}{100} \right)^2$$

Grundverzögerung bei 100 km/h?

$$b_G = \frac{F_{WFZ}}{\xi_Z m_Z} = \frac{22,5 + 0,8 + 40,8}{1844 \cdot 1,03} = \frac{64,1 \text{ kN}}{1899 \text{ t}} = 0,0338 \text{ m/s}^2$$

Kinetische Energie bei  $v_{\max}$  ?

$$E_{kin}(v_{\max}) = \frac{1}{2} \xi_Z m_Z v_{\max}^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,03 \cdot 1844 \cdot 27,7778^2 = 732765 \text{ kJ} = 203,5 \text{ kWh}$$

Bremsarbeit aus  $v=80$  km/h ?

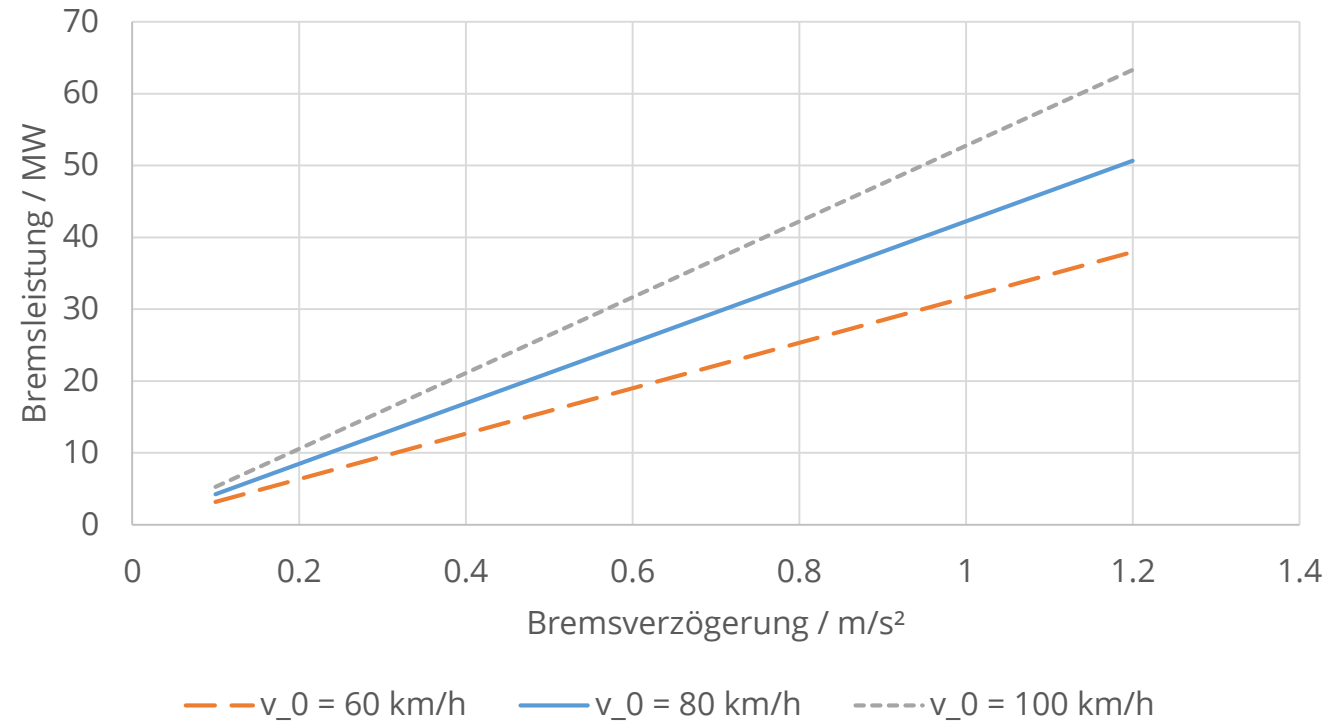
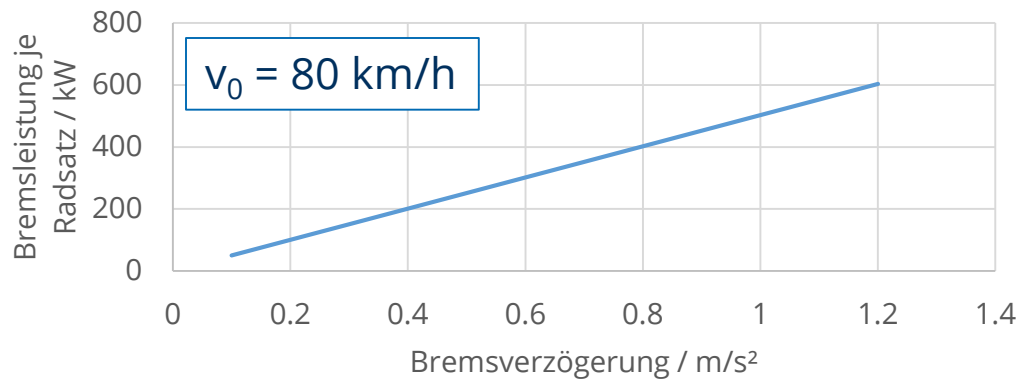
$$W_B \approx E_{kin}(80 \text{ km/h}) = \frac{1}{2} \cdot 1,03 \cdot 1844 \cdot 22,2222^2 = 468967 \text{ kJ} = 130,3 \text{ kWh}$$

# Energie, Arbeit, Leistung - Rechenbeispiel Güterzug



Zugmasse: 1844 t  
 Massenfaktor: 1,03  
 $v_{\max}$ : 100 km/h

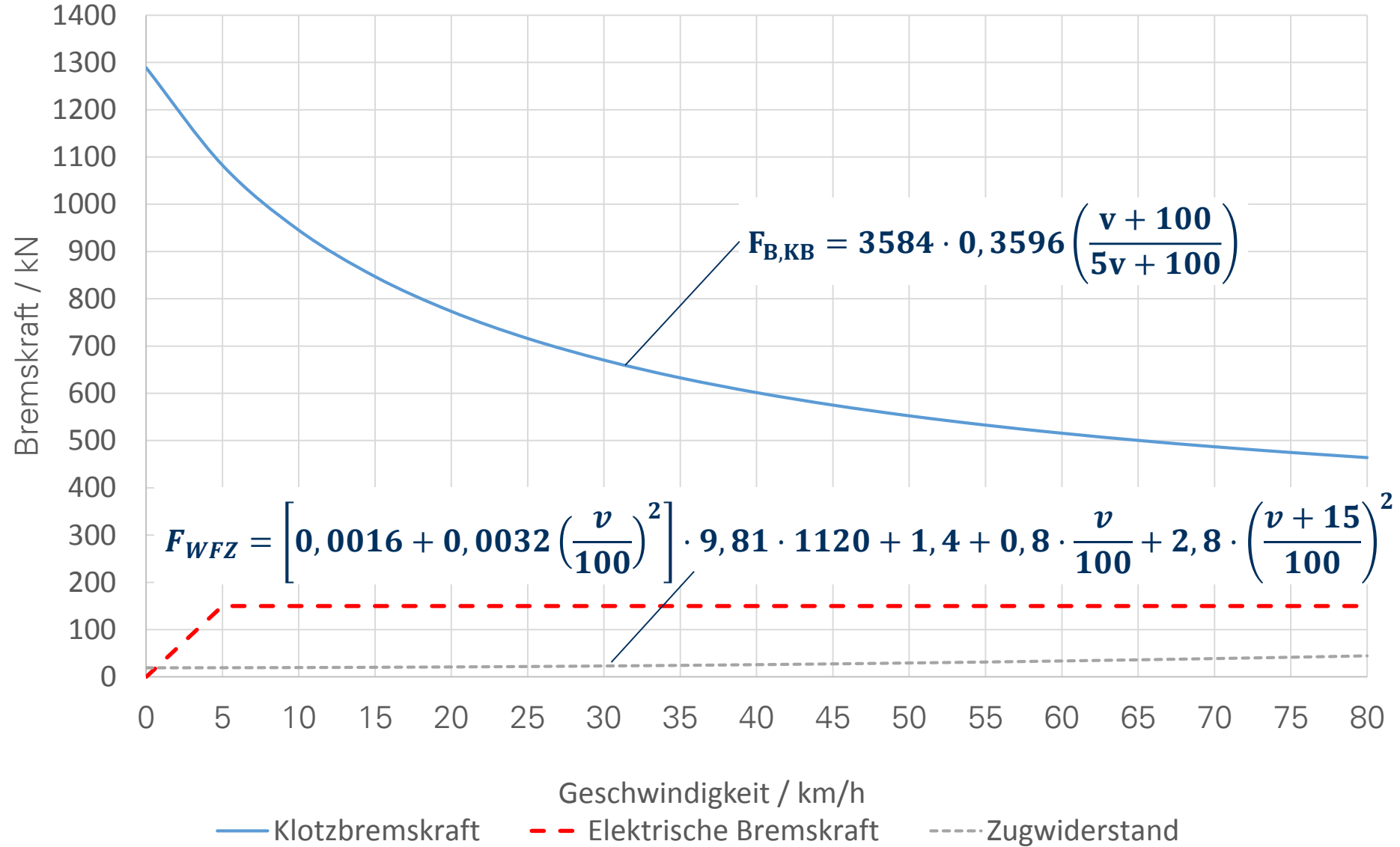
$$F_{WFZ} = 22,5 + 0,8 \frac{v}{100} + 40,8 \left( \frac{v}{100} \right)^2$$



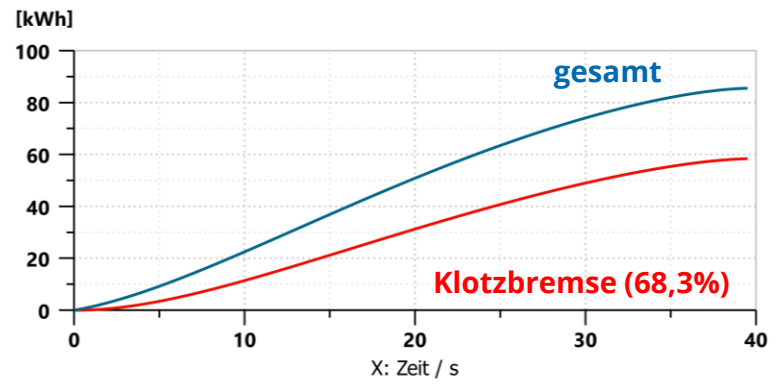
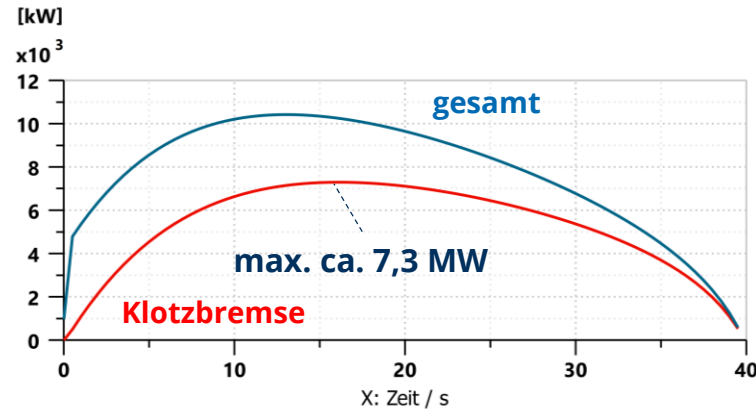
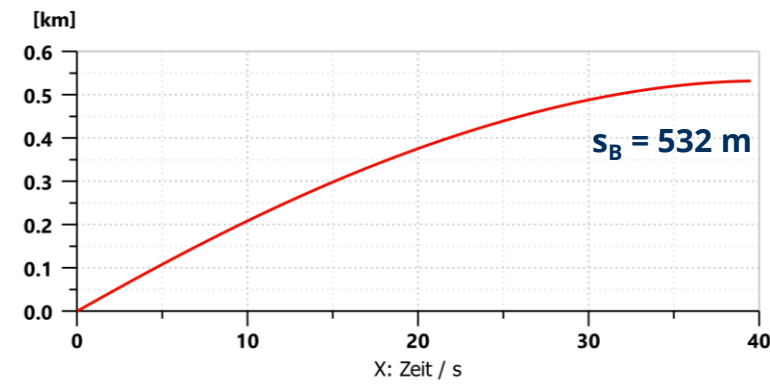
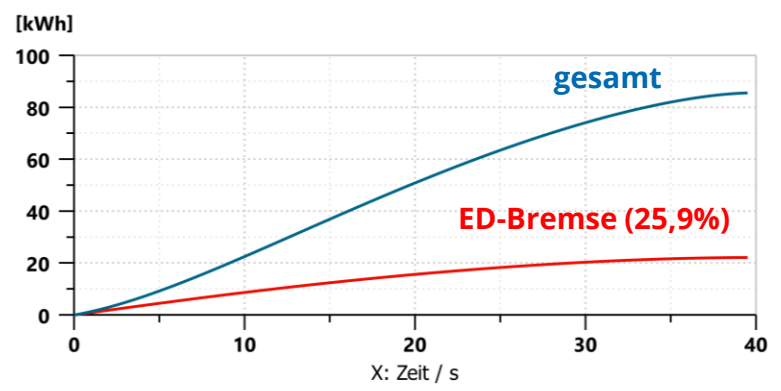
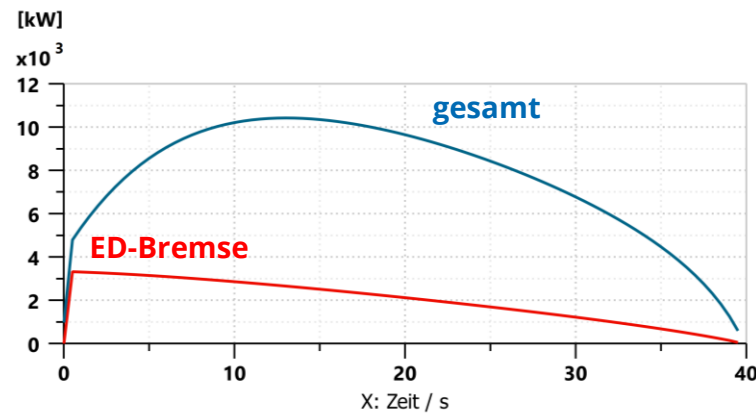
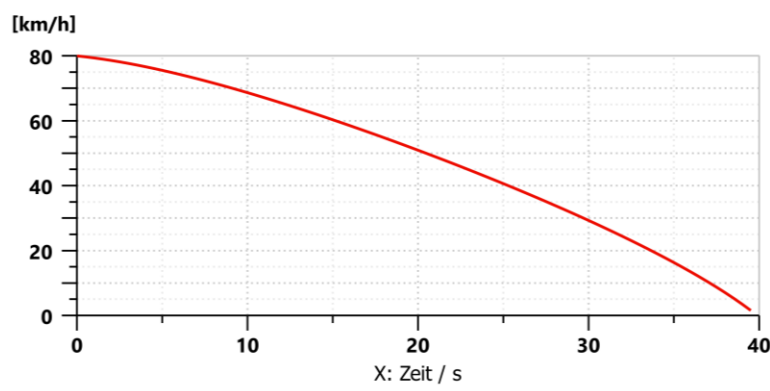
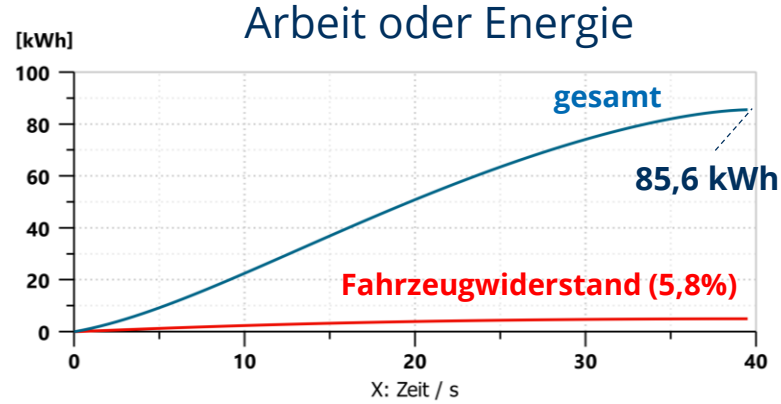
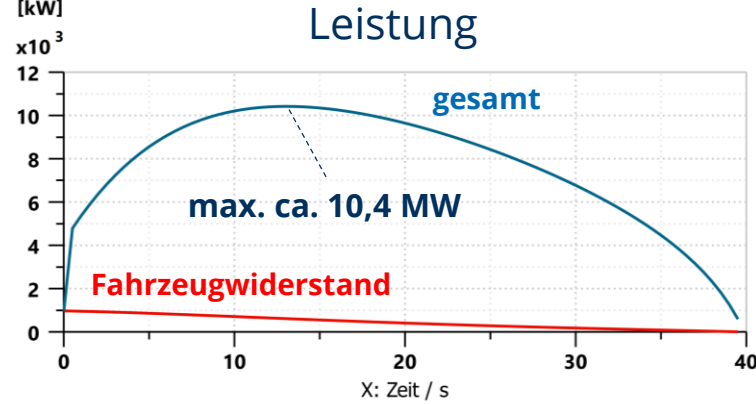
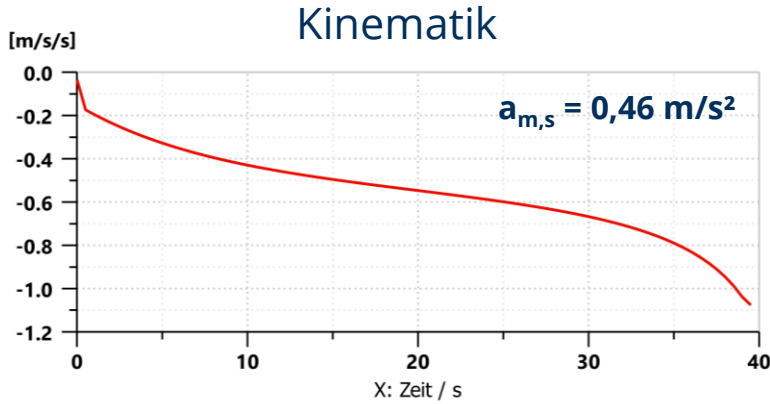
# Beispiel: Güterzug



$m_W$  : 1120 t  
 Anzahl Wagen: 13  
 Anzahl Radsätze: 52

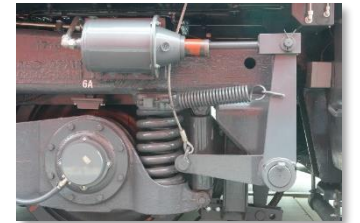
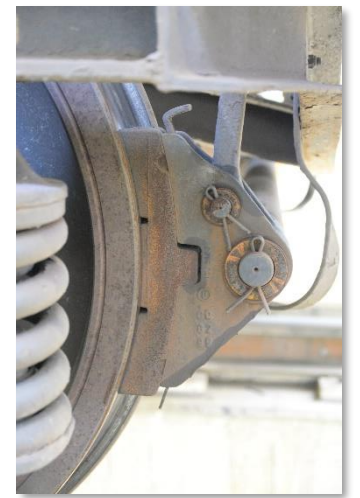


# Beispiel: Güterzug

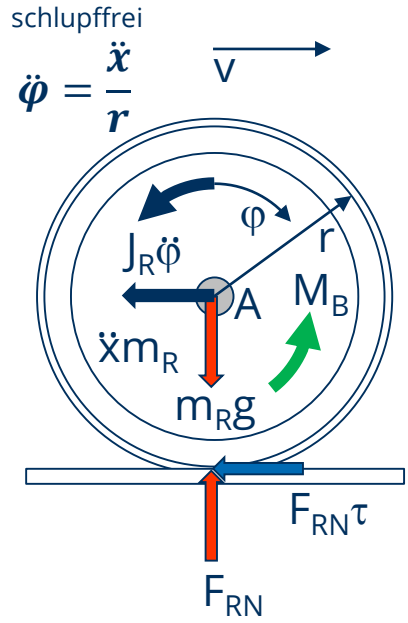


# Vorlesungsinhalte

- Einführung
- Grundlagen der Schienenfahrzeugbremstechnik
- Einteilung und Klassifizierung von Eisenbahnbremsen
- Fahrdynamik der Bremsung
- **Bremsmechanik (Klotzbremsen)**
- Bremspneumatik
- Bremsauslegung
- Bremsanschriften und Bremsbewertung
- Anforderungen und Vorschriftenwerke
- Praktikum Bremsdemonstrationsstand



# Kräfte- und Momentenbilanz am Rad



$$\rightarrow -\ddot{x}m_R - F_{RN}\tau = 0$$

daher:  $F_{RN}\tau = -\ddot{x}m_R$

$$\uparrow F_{RN} - m_R g = 0$$

daher:  $F_{RN} = m_R g$

$$\circlearrowleft J \frac{\ddot{\varphi}}{r} + M_B - F_{RN}\tau r = 0$$

$$J \frac{\ddot{x}}{r} = -M_B + F_{RN}\tau r$$

$$J \frac{\ddot{x}}{r} = -M_B - \ddot{x}m_R r$$

$$J \frac{\ddot{x}}{r} + \ddot{x}m_R r = -M_B$$

$$\ddot{x}m_R r \left( \frac{J}{m_R r^2} + 1 \right) = -M_B$$

$\xi$

$$\ddot{x}m_R r \xi = -M_B$$

Für Klotzbremse gilt:  $M_B = \sum F_K \cdot \mu \cdot r$

$$\ddot{x} = \frac{-\sum F_K \cdot \mu}{\xi m_R}$$

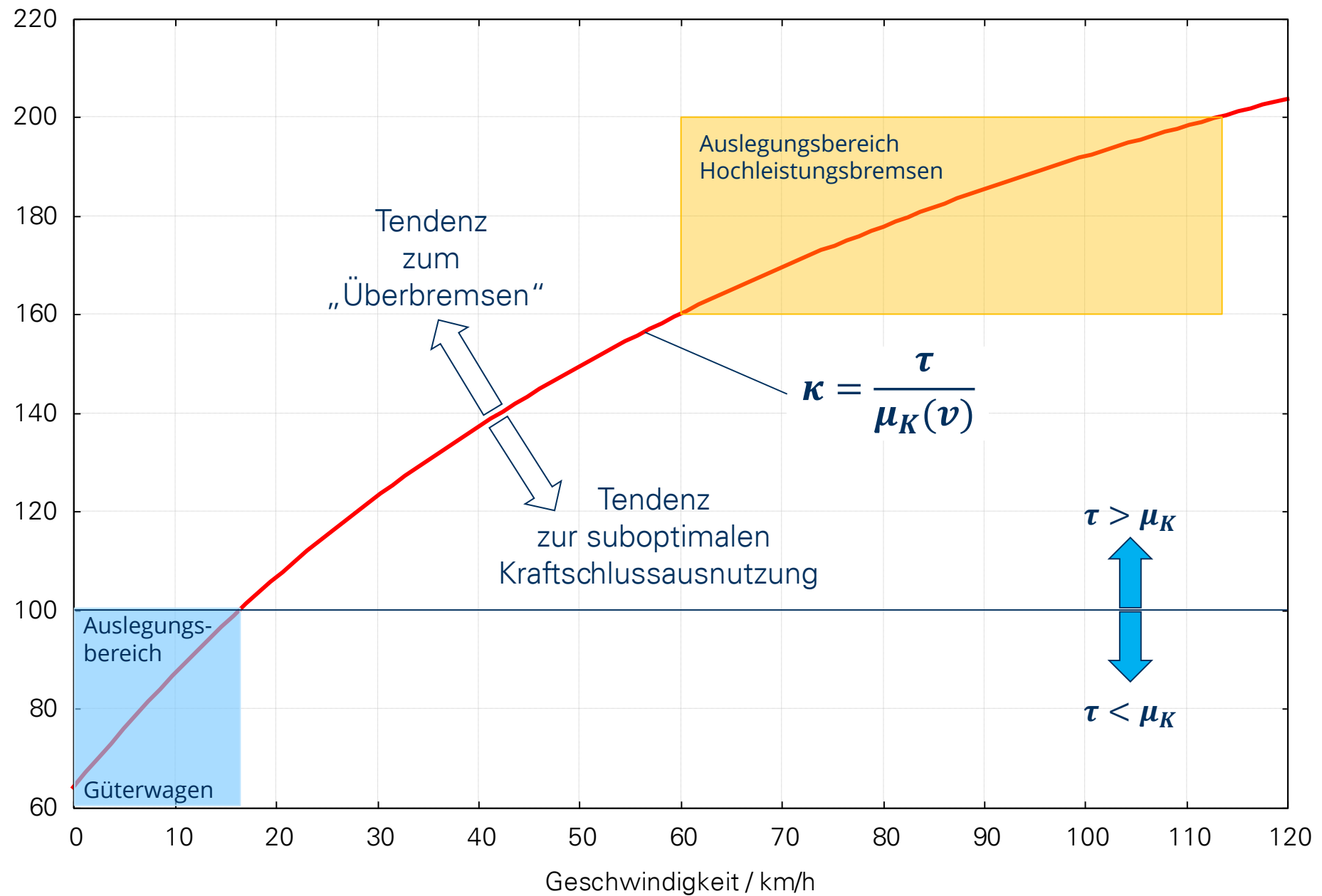
$$-g\tau = \frac{-\sum F_K \cdot \mu}{\xi m_R}$$

Vernachlässigung des Massenfaktors

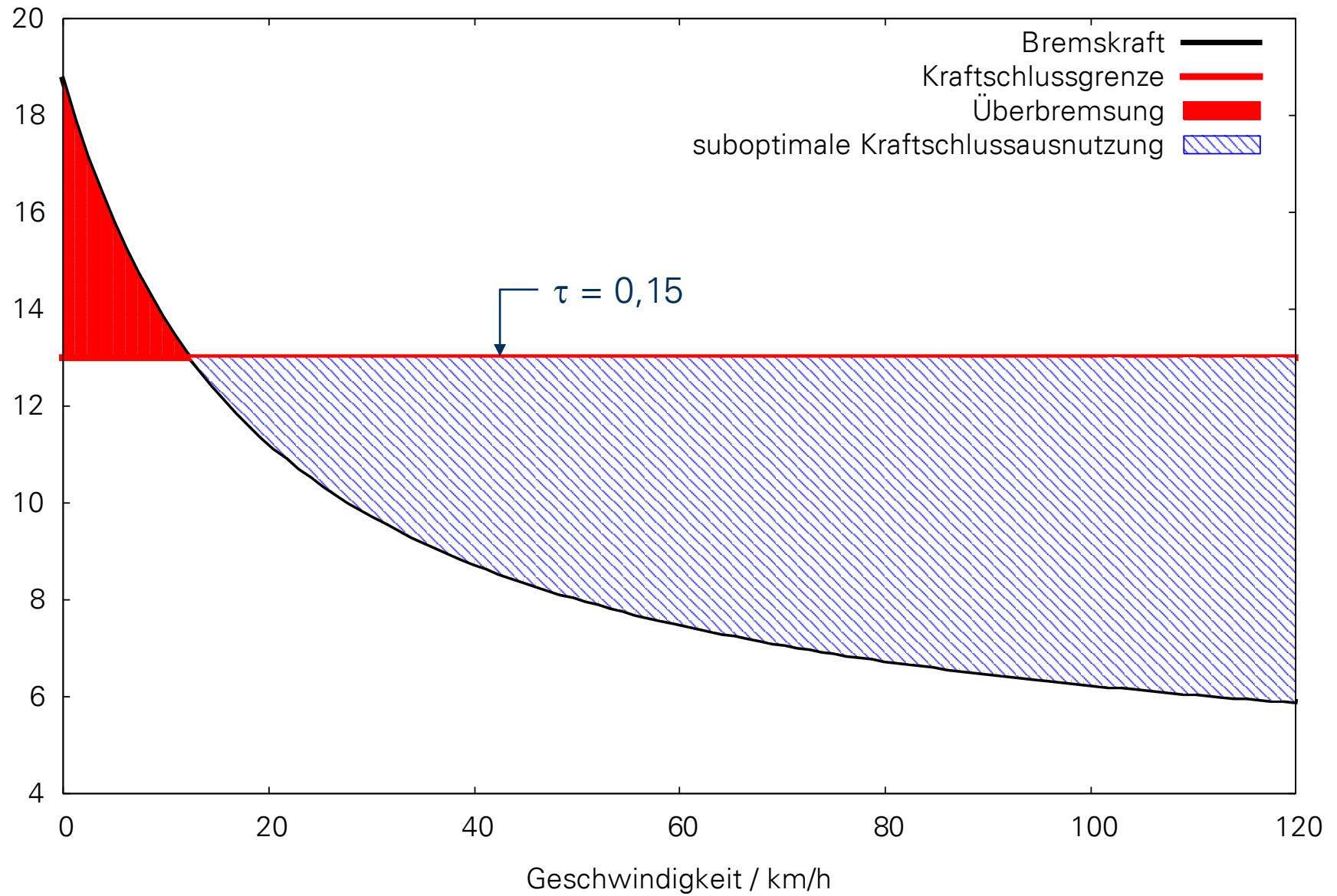
**Abbremsung**

$$\frac{\tau}{\mu} = \frac{\sum F_K}{m_R g} = \kappa$$

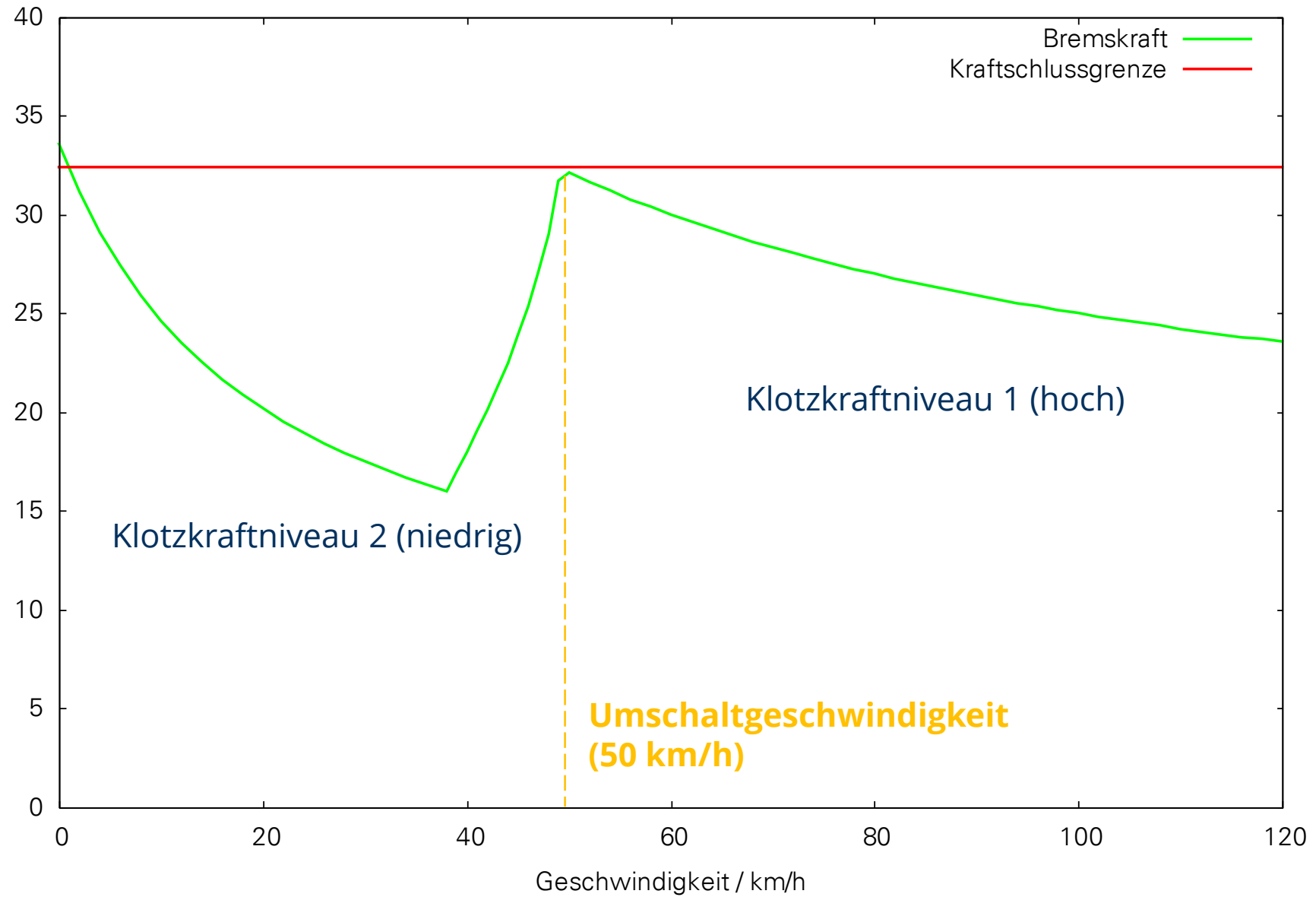
# Abbremsung



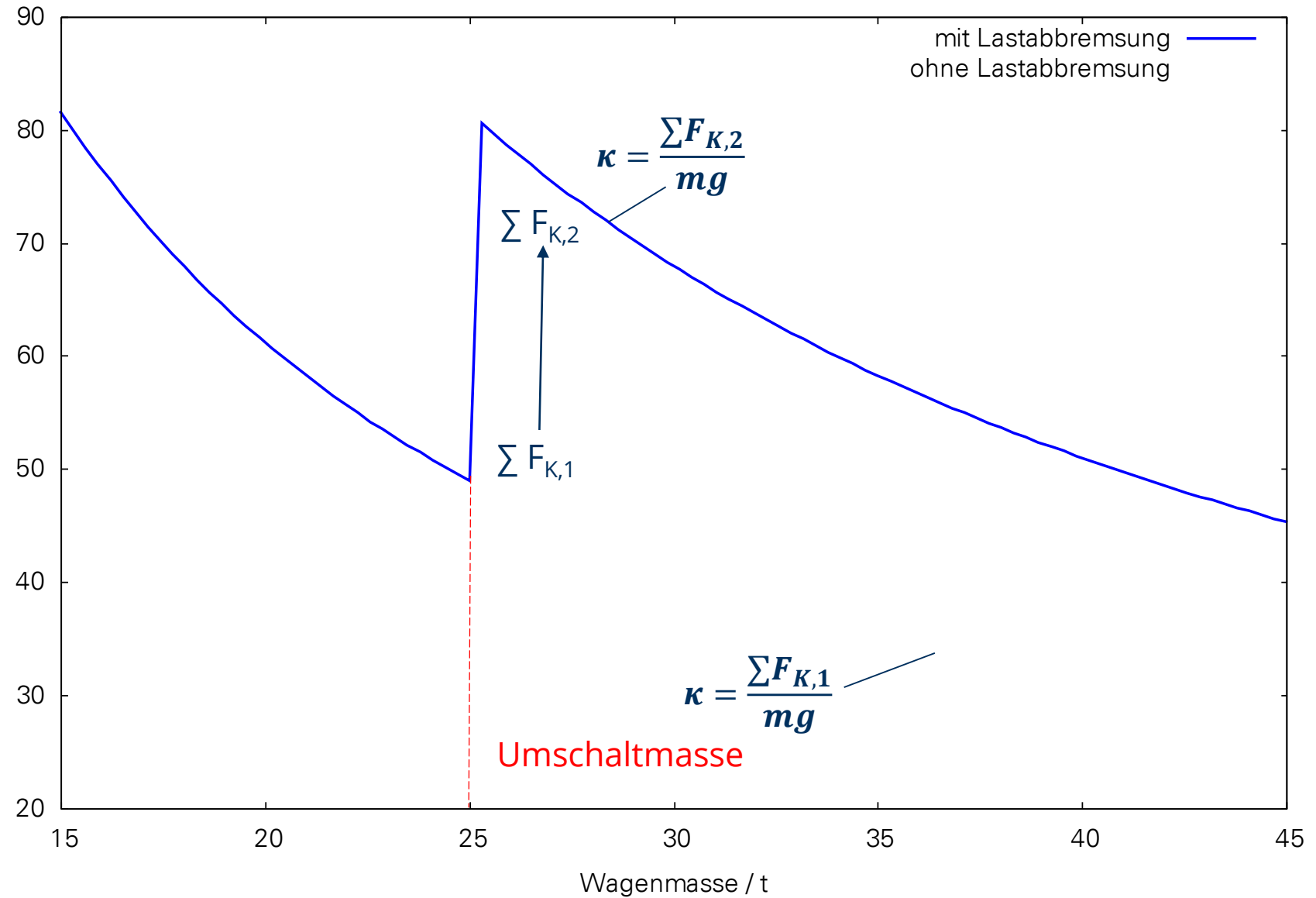
# Kraftschlussausnutzung (Klotzbremse)



# Hochleistungsbremse (Umschaltung des Klotzkraftniveaus in Abhängigkeit der Geschwindigkeit)



# Mechanische Lastabbremmung (zweistufig)



# Übung - Bremsmechanik eines zweiachsigen Güterwagens



siehe Umdrucksammlung

## Güterwagen mit 2 Radsätzen

**Leermasse:** 12 t  
**max. Radsatzfahrmasse:** 20 t

1. Abbremsung bei  $v = 10 \text{ km/h}$ ?
2. Summe Klotzkräfte leerer Wagen?
3. Geschwindigkeitsabhängigkeit der Kraftschlussausnutzung?
4. Abbremsung als Funktion der Wagenmasse?
5. Anpassung Abbremsung an Wagenmasse?
6. Maximale Klotzkraft für konstante Abbremsung?
7. Flächenpressung der Sohlen?