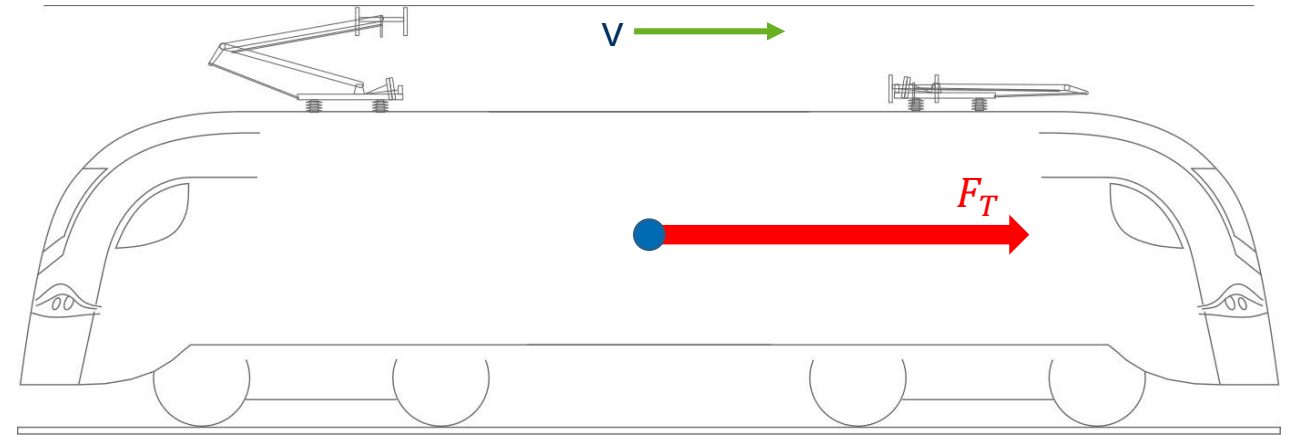


Vorlesungsinhalte (Schwerpunkt: Schienenverkehr)

- Einführung
- Grundlagen
- Fahrwiderstandskräfte
- Antriebskräfte
- Traktionsvermögen
- **Leistungs- und Energiebedarf**
- Grundlagen der Fahrzeitberechnung



Praktisches Beispiel: Fahrzeugausschreibung

ABSCHNITT II: AUFTRAGSGEGENSTAND

II.1) **BESCHREIBUNG**

II.1.1) **Bezeichnung des Auftrags durch den Auftraggeber:**

Herstellung, Zulassung und Lieferung von Streckendiesellokomotiven.

...

II.1.5) **Kurze Beschreibung des Auftrags oder Beschaffungsvorhabens:**

...

Die Lokomotiven müssen folgende Grundanforderungen erfüllen:

- Realisierung des folgenden Zugförderprogramms: 5 Doppelstockwagen (DoSto) mit je 55 t und ein Steuerwagen mit 60 t und V_{\max} 140 km/h in der Ebene mit einem Zugkraftüberschuss von 3N/kN und einer zentralen Energieversorgung (ZEV) von mindestens 300 kVA,
- Streckenklasse C2,
- Antrieb: Dieselmotor mit Abgasnorm Stage IIIB, gegebenenfalls auch Teillieferungen mit Stage IIIA,
- Anfahrzugkraft: mindestens 235 kN. Die Lokomotive muss auch auf 270 kN ausgelegt werden können,
- V_{\max} 140 km/h /Option 160 km/h,

...

Praktisches Beispiel: Fahrzeugausschreibung

It. Ausschreibung: 140 (160) km/h
 It. Ausschreibung: 5x55t + 60t = 335t
 It. Ausschreibung: 0 Promille (Ebene)
 It. Ausschreibung: 3 N/kN
 It. Ausschreibung: Streckenklasse C2 = 20t/Radsatz

$$P_{DM,T} = \frac{v}{3,6} \left[\frac{F_{WFT} + f_{WFW} \cdot g \cdot m_W + (f_{WS} + f_a) \cdot g \cdot (m_T + m_W)}{\eta_{Lü} \cdot (1 - \psi)} \right]$$

Schätzung der fehlenden Parameter (Orientierung an Bestandsfahrzeugen):

$$F_{WFT, BR\ 218} = 2,85 + 3,48 \cdot \left(\frac{v + 15}{100} \right)^2$$

$$F_{WFT, BR\ 228} = 1,47 + 2,65 \cdot \left(\frac{v + 20}{100} \right)^2$$

$$F_{WFT, ER\ 20} = 0,965 + 1,472 \cdot \frac{v}{100} + 3,34 \cdot \left(\frac{v}{100} \right)^2$$



$$f_{WFW} = 0,0015 + 0,0028 \cdot \left(\frac{v}{100} \right)^2$$

Gl. nach Strahl, Reisezüge allg.

$$f_{WFW} = 0,0016 + 0,0032 \cdot \left(\frac{v}{100} \right)^2$$

Gl. DR, Dosto-Züge

$$f_{WFW} = 0,0010 + 0,0006 \cdot \frac{v}{100} + 0,0014 \cdot \left(\frac{v}{100} \right)^2$$

Messungen Metronom (Diss. R. Schimke)

Praktisches Beispiel: Fahrzeugausschreibung

$$P_{DM,T} = \frac{140}{3,6} \left[\frac{F_{WFT} + f_{WFW} \cdot g \cdot 335t + 0,003 \cdot g \cdot (80t + 335t)}{\eta_{Lü} \cdot (1 - \psi)} \right]$$

Annahme: 0,85 \nearrow $\eta_{Lü} \cdot (1 - \psi)$ \nwarrow Annahme: 0,08

Schätzung der fehlenden Parameter (Orientierung an Bestandsfahrzeugen):

$$F_{WFT, BR 218} = 2,85 + 3,48 \cdot \left(\frac{140 + 15}{100} \right)^2 = 11,2 \text{ kN}$$



$$f_{WFW} = 0,0015 + 0,0028 \cdot \left(\frac{140}{100} \right)^2 = 0,0070$$

Gl. nach Strahl, Reisezüge allg.

$$F_{WFT, BR 228} = 1,47 + 2,65 \cdot \left(\frac{140 + 20}{100} \right)^2 = 8,3 \text{ kN}$$



$$f_{WFW} = 0,0016 + 0,0032 \cdot \left(\frac{140}{100} \right)^2 = 0,0079$$

Gl. DR, Dosto-Züge

$$F_{WFT, ER 20} = 0,965 + 1,472 \cdot \frac{140}{100} + 3,34 \cdot \left(\frac{140}{100} \right)^2 = 9,6 \text{ kN}$$



$$f_{WFW} = 0,0010 + 0,0006 \cdot \frac{140}{100} + 0,0014 \cdot \left(\frac{140}{100} \right)^2$$

Messungen Metronom (Diss. R. Schimke)

$$f_{WFW} = 0,0046$$

Praktisches Beispiel: Fahrzeugausschreibung

$$P_{DM,T} = \frac{140}{3,6} \left[\frac{9,6 \text{ kN} + 0,0046 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 335 \text{ t} + 0,003 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (80 \text{ t} + 335 \text{ t})}{0,85 \cdot (1 - 0,08)} \right]$$

$$P_{DM,T} = \frac{140}{3,6} \left[\frac{9,6 \text{ kN} + 15,11 \text{ kN} + 12,21 \text{ kN}}{0,782} \right]$$

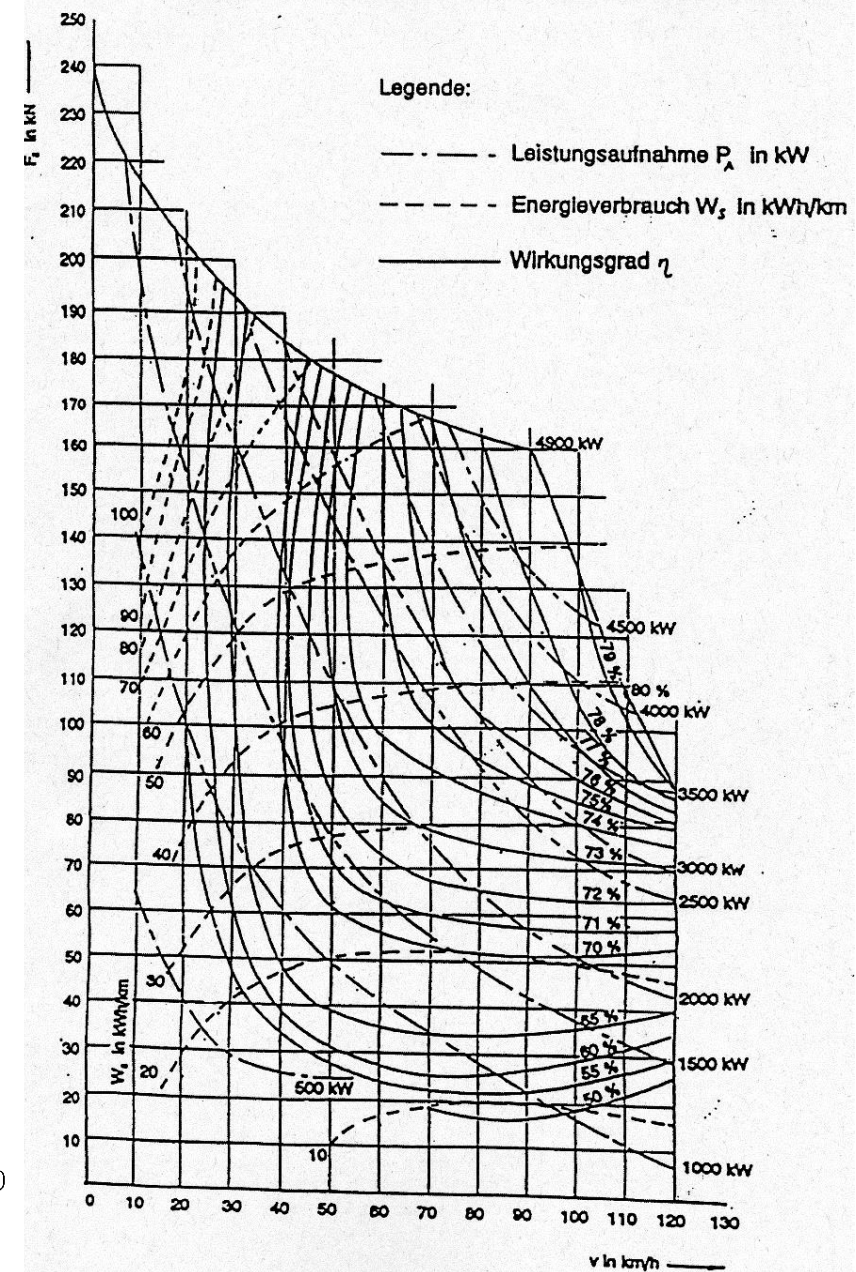
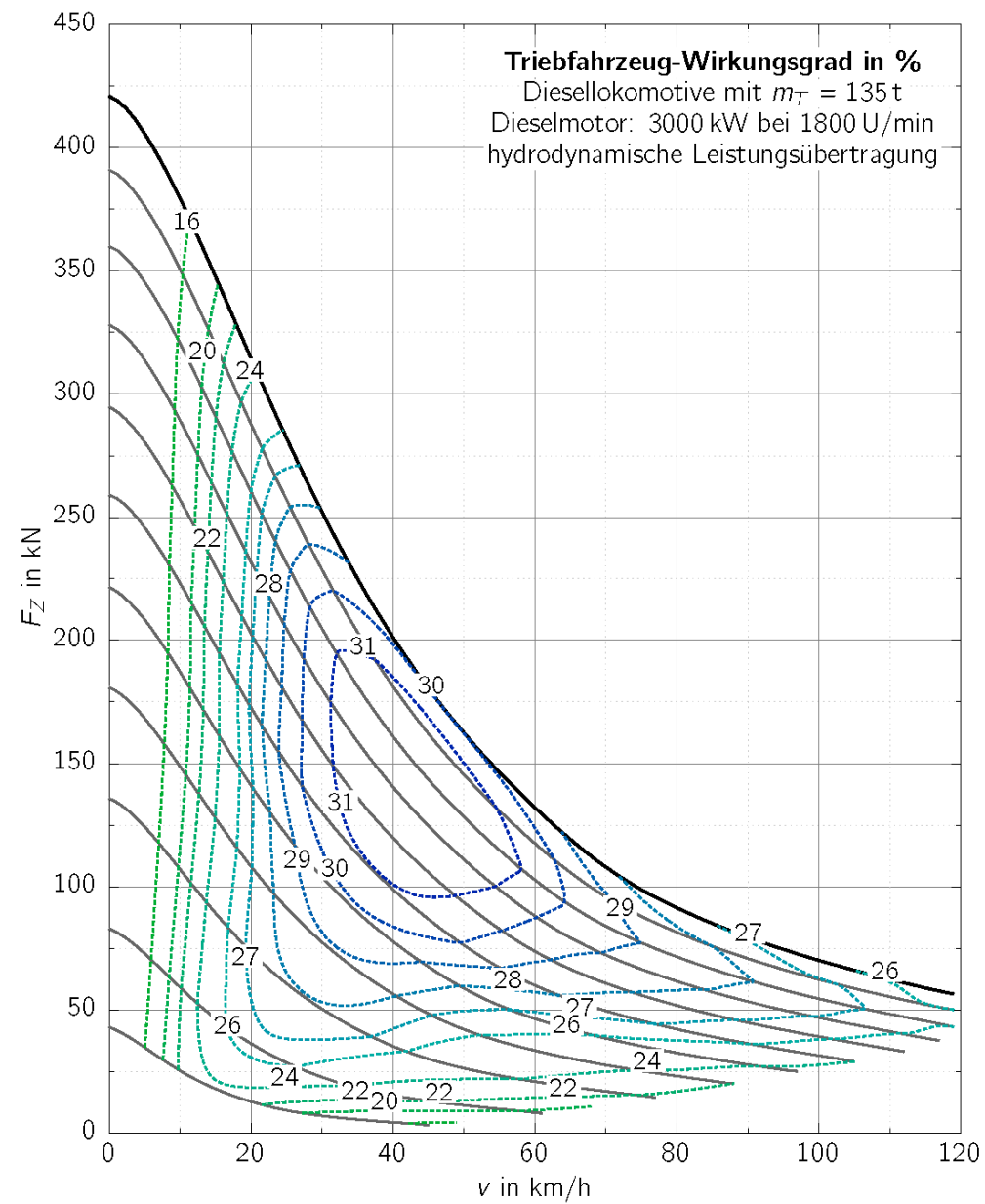
$$P_{DM,T} = 38,8889 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \left[\frac{9,6 \text{ kN} + 15,11 \text{ kN} + 12,21 \text{ kN}}{0,782} \right]$$

$$P_{DM,T} = 1836 \text{ kW}$$

$$P_{DM} = P_{DM,T} + P_{ZSS} = 1836 \text{ kW} + 300 \text{ kW}$$

$$P_{DM} = 2136 \text{ kW}$$

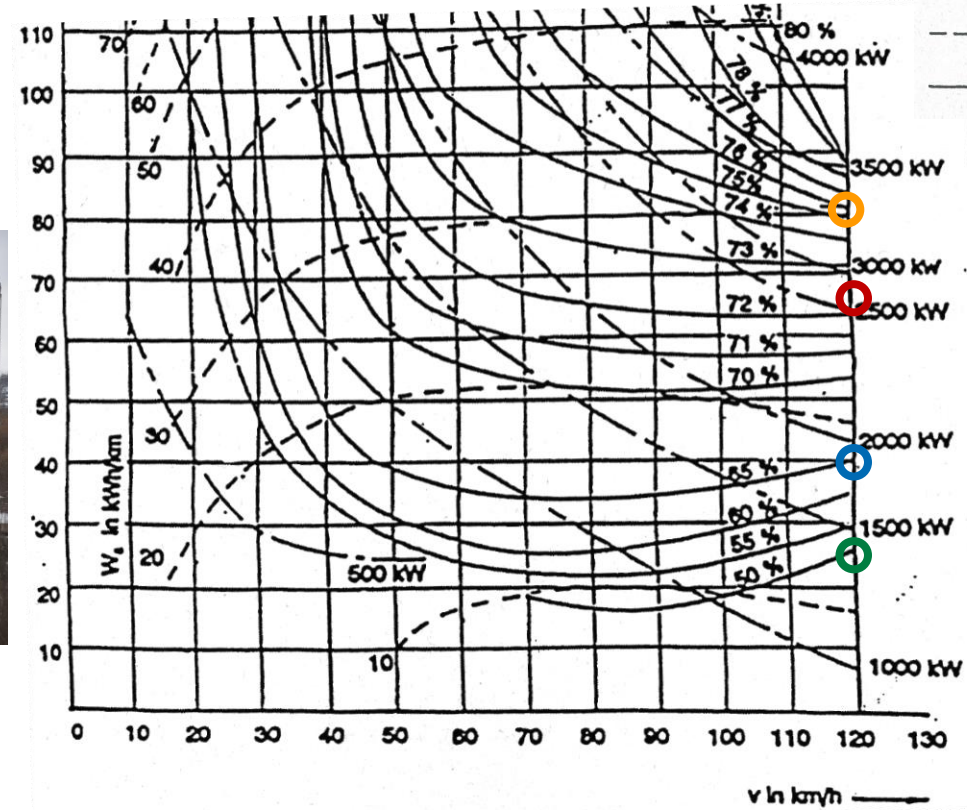
Kennlinienfelder



Kennlinienfeld

Beispiel :

BR 143 + Regionalzug
in variabler Steigung mit
 $v = 120 \text{ km/h}$



Legende:
 - - - - - Leistungsaufnahme P_A in kW
 - - - - - Energieverbrauch W_s in kWh/km
 ————— Wirkungsgrad η

$i = 5 \text{ ‰} : F_{Z,erf} = 26,1 \text{ kN}$

$i = 10 \text{ ‰} : F_{Z,erf} = 39,9 \text{ kN}$

$i = 15 \text{ ‰} : F_{Z,erf} = 67,7 \text{ kN}$

$i = 25 \text{ ‰} : F_{Z,erf} = 81,5 \text{ kN}$



$W_s = 14,5 \text{ kWh/km}$ (Zughaken: 7,3 kWh/km)



$W_s = 17,1 \text{ kWh/km}$ (Zughaken: 11,1 kWh/km)



$W_s = 26,0 \text{ kWh/km}$ (Zughaken: 18,8 kWh/km)



$W_s = 29,7 \text{ kWh/km}$ (Zughaken: 22,6 kWh/km)

Triebfahrzeug-Leistungs- und Verbrauchs-Tafel eines Diesel-Tfz

Beispiel
Dieselkraftstoff Verbrauchs-Kennlinienfeld

Vorgehensweise:

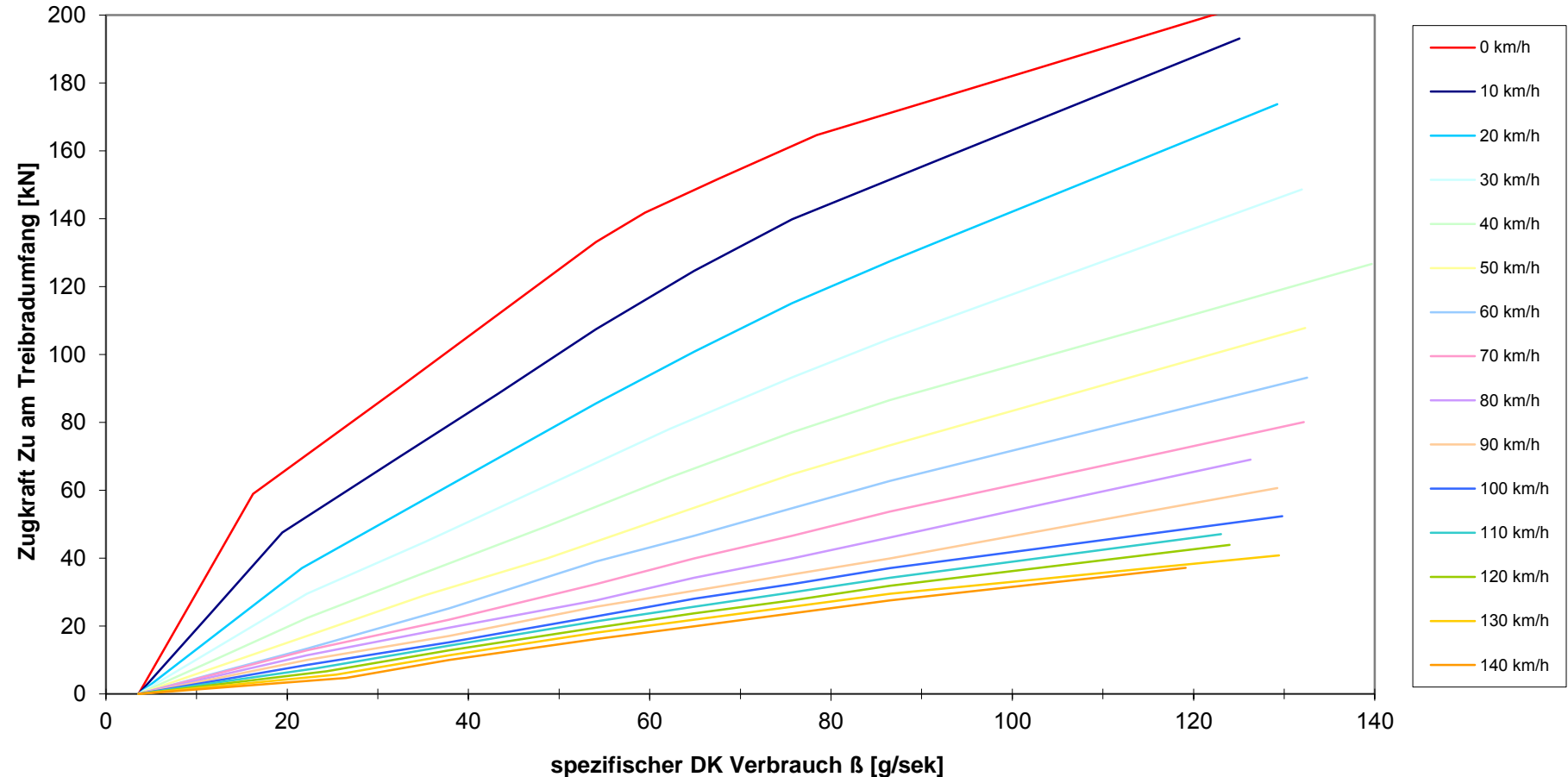
gegeben:

v , $F_{WF}(v)$, F_{WS}

Bilanzierung der Kräfte,

Ermittlung der erforderlichen Zugkraft an den Treibrädern

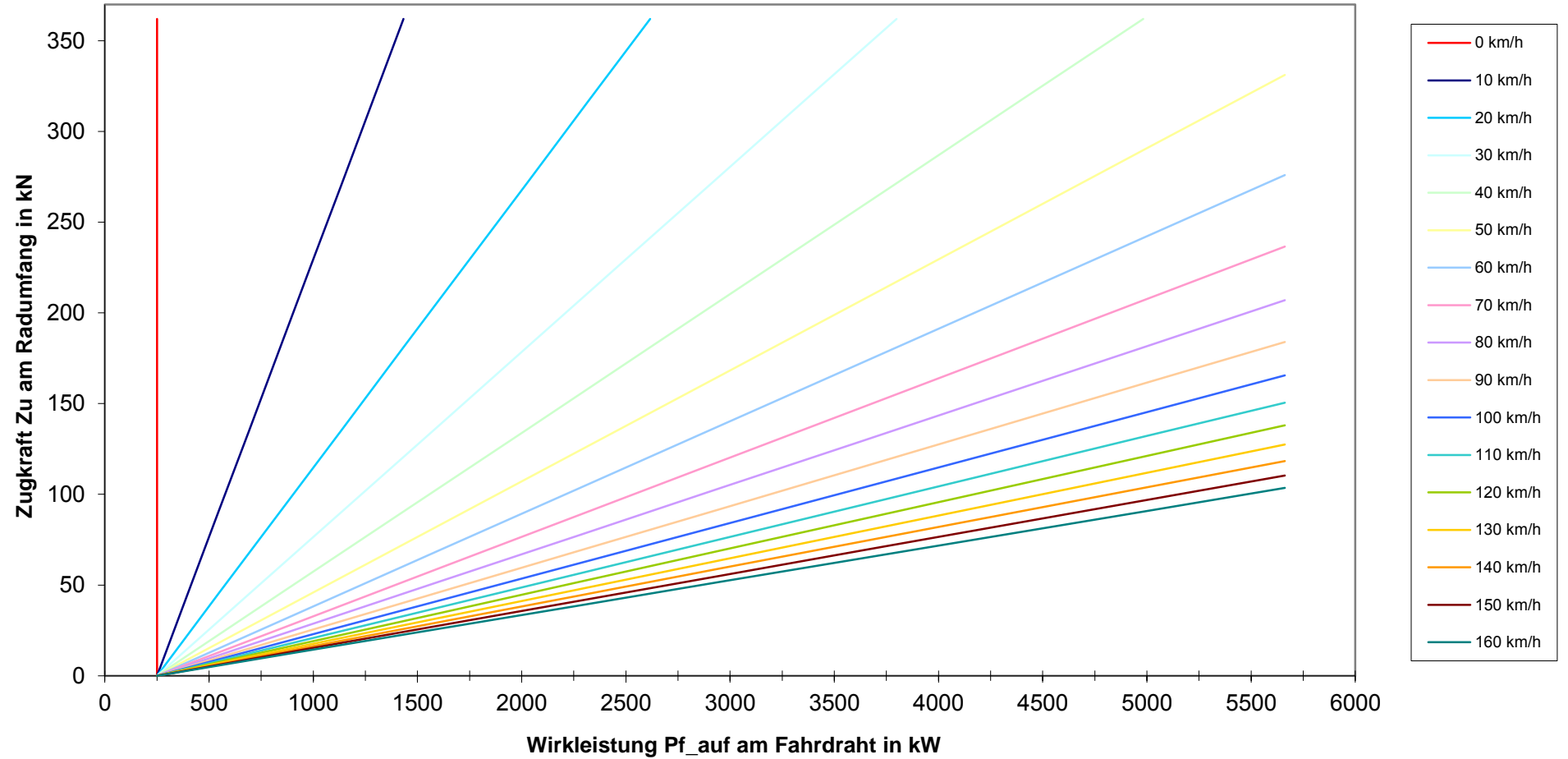
Diagramm: F_T waagerechte Linie bis zu richtiger v -Linie, Lot fällen, spez. Verbrauch ablesen



Quelle: DB Netz

TLV-Tafel (fiktives elektrisches Tfz)

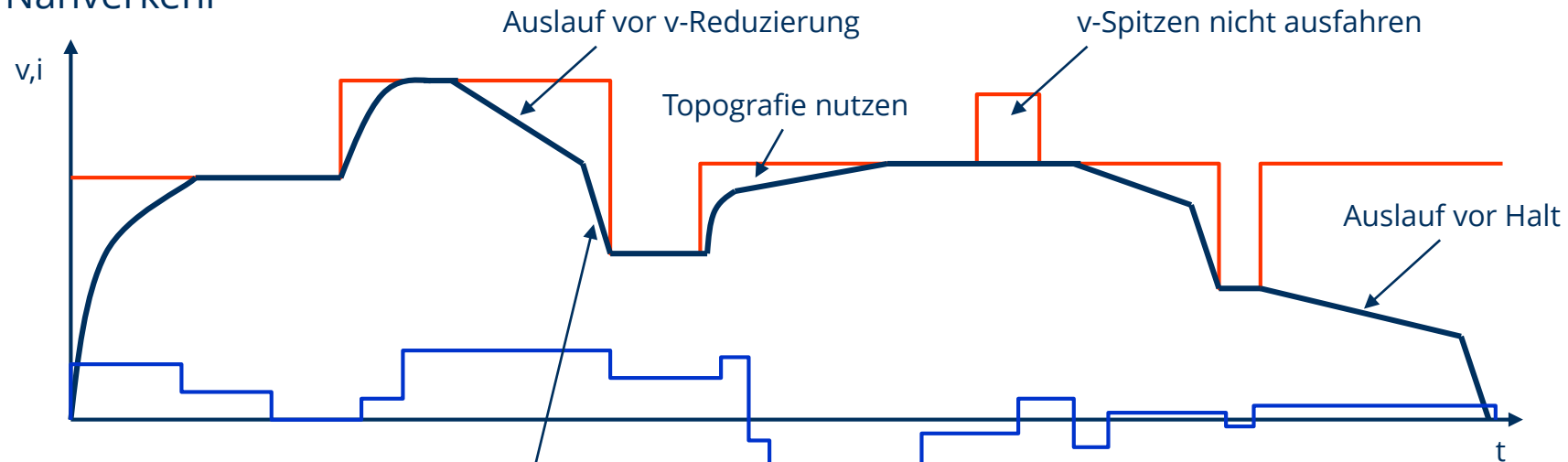
fiktive TLV BR 4xx 4,6 MW
- Bezug -
Wirkleistung am Fahrdrabt



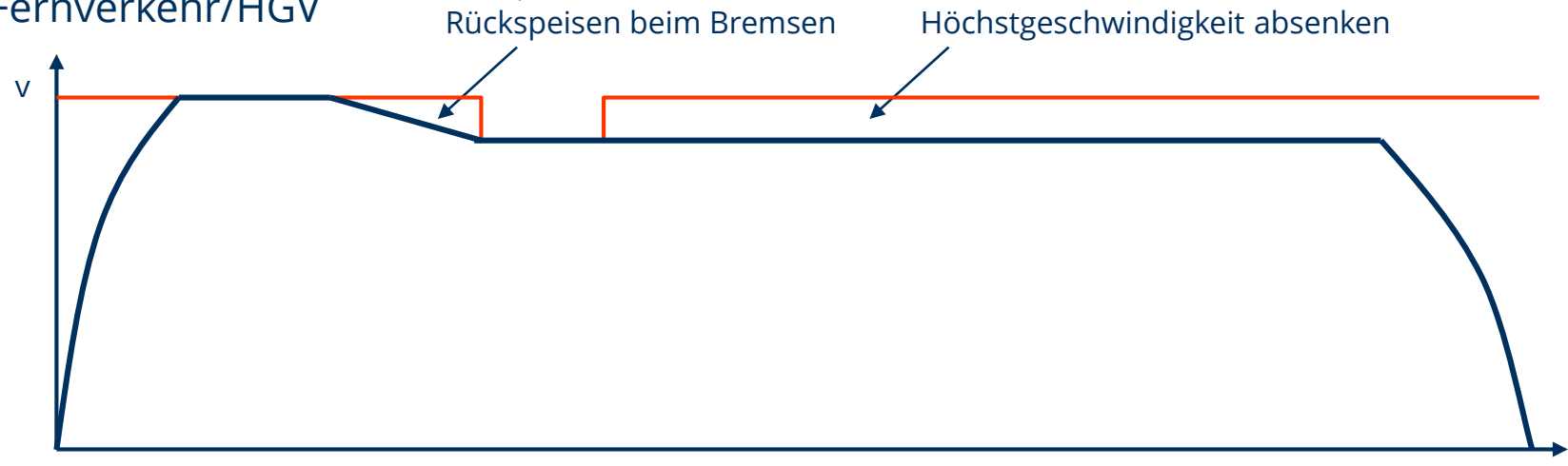
Quelle: DB Netz

Energiesparendes Fahren – betriebliche Eingriffsmöglichkeiten

Nahverkehr

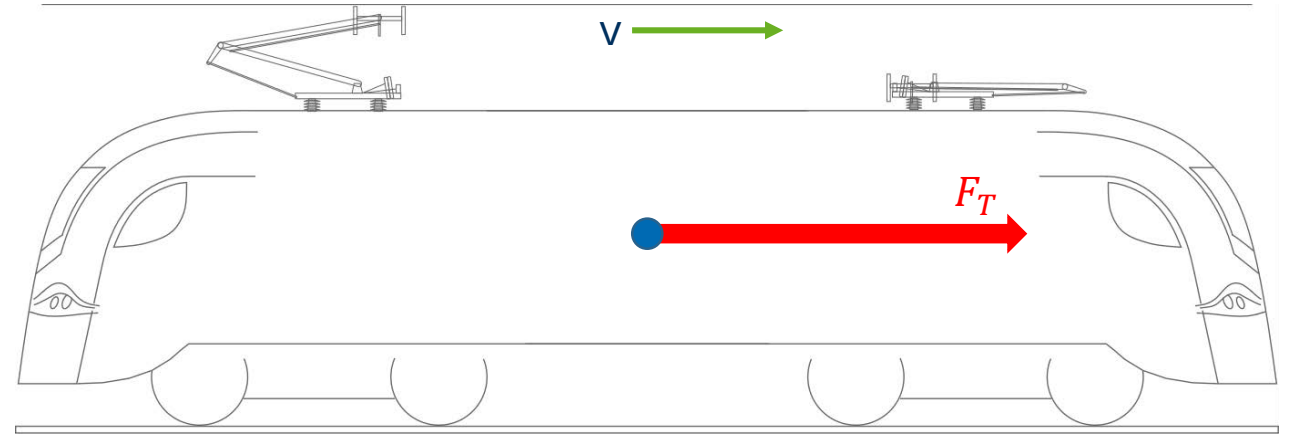


Fernverkehr/HGV



Vorlesungsinhalte (Schwerpunkt: Schienenverkehr)

- Einführung
- Grundlagen
- Fahrwiderstandskräfte
- Antriebskräfte
- Traktionsvermögen
- Leistungs- und Energiebedarf
- **Grundlagen der Fahrzeitberechnung**



Fahrzeitermittlung

Grundproblem:

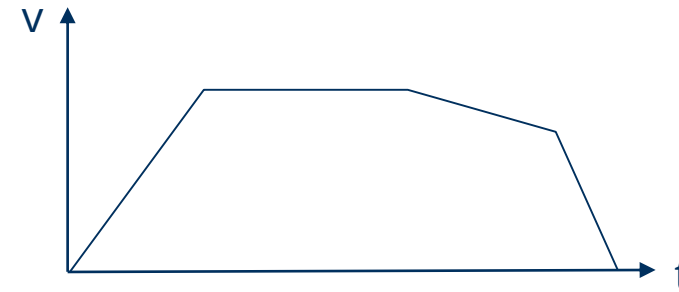
Integration der Bewegungsgleichung:

$$a = f(v)$$

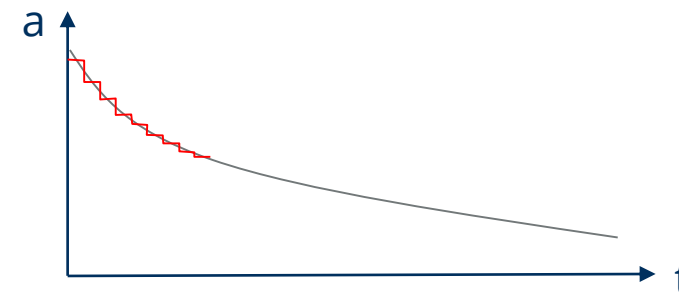
$$t = \int \frac{1}{a(v)} dv$$

$$s = \int \frac{v}{a(v)} dv$$

Lösungsansatz 1: Linearisierung



Lösungsansatz 2: Diskretisierung

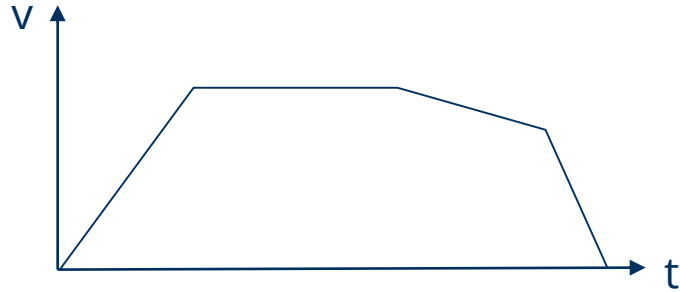


Lösungsansatz 3: Integrationsverfahren



Fahrzeitermittlung mittels Linearisierung

Lösungsansatz 1: Linearisierung



Grundidee: Rechnen mit konstanten, mittleren Beschleunigungen/Verzögerungen

Vorteile

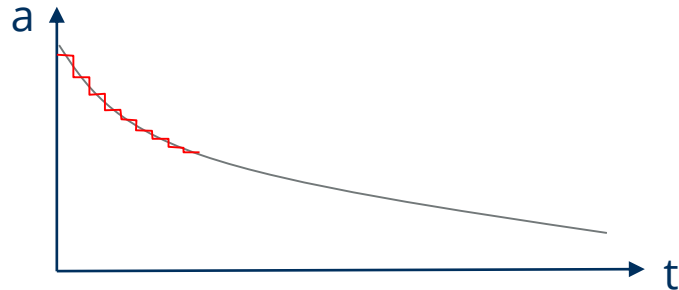
- + Reduktion auf einfache mathematische Zusammenhänge
- + „Handrechnung“ möglich

Nachteile

- ungenaue Ergebnisse
- schwierige Ermittlung sinnvoller „mittlerer“ Beschleunigungen
- keine detaillierte Darstellung des Fahrtverlaufes

Fahrzeitermittlung mittels Diskretisierung

Lösungsansatz 2: Diskretisierung



„Schrittverfahren“:

- **Zeitschritt**verfahren
- **Wegschritt**verfahren
- **Geschwindigkeitsschritt**verfahren

Grundidee:

Annahme **konstanter** Beschleunigung für **kleine** (Zeit-/Weg-/Geschwindigkeits-) **Intervalle**

Vorteile

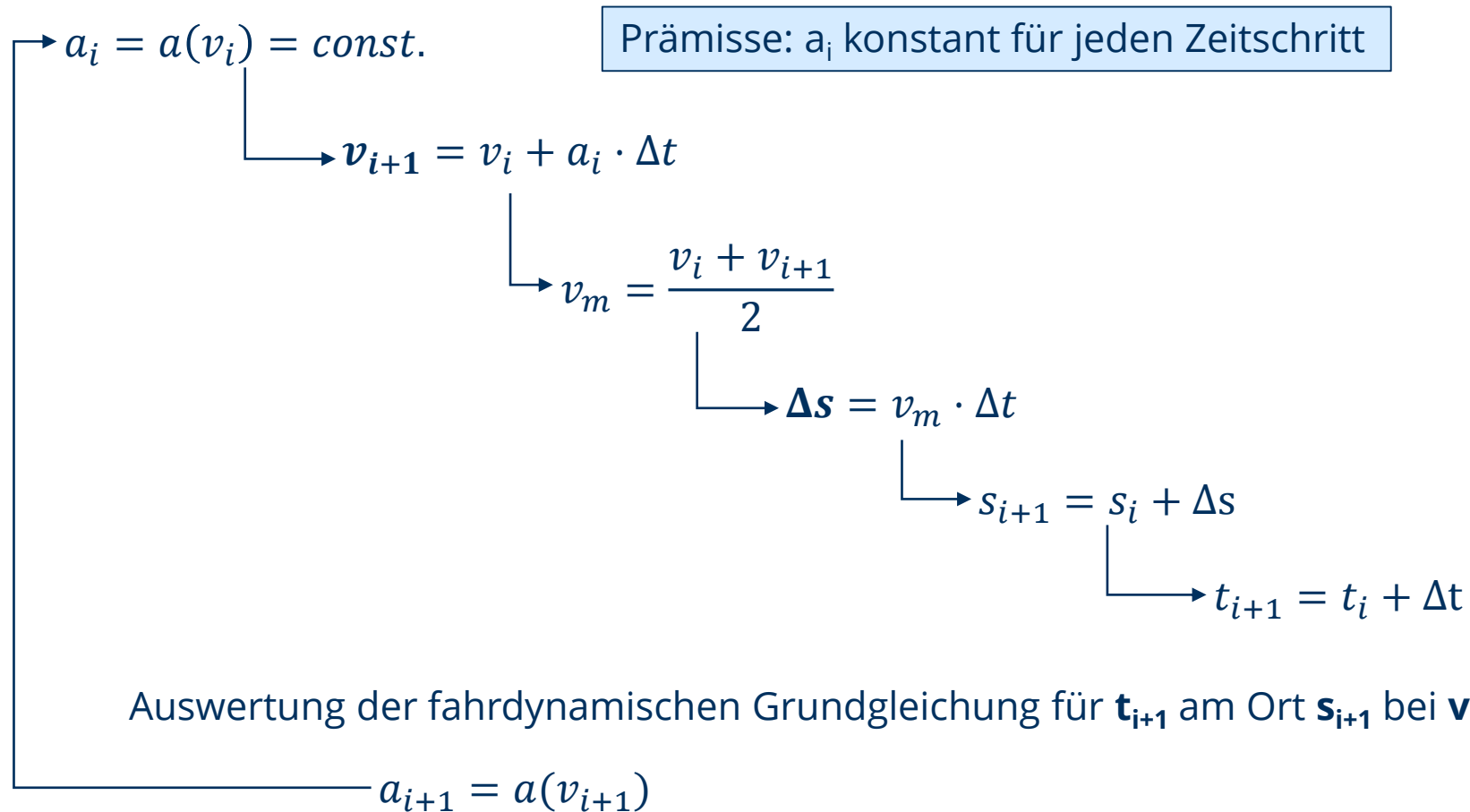
- + Reduktion auf einfache mathematische Zusammenhänge
- + Berechnung mit MS-Excel möglich
- + hinreichend genau bei sinnvoll gewählten Intervallen
- + detaillierte Darstellung des Fahrtverlaufes möglich

Nachteile

- hoher Rechenaufwand und große Datenmengen (insbes. Zeitschrittverfahren)
- nicht für alle Bewegungsabschnitte geeignet (Geschwindigkeitsschrittverfahren)
- z.T. Iterationsschritte nötig (abhängig von Genauigkeitsanforderungen)

Zeitschrittverfahren

Fahrzeug erfährt hat zum Zeitpunkt t_i die Beschleunigung $a_i(v_i)$ – Auswertung fahrdyn. Grundgl.:



Fahrzeitermittlung mittels Integrationsverfahren

Lösungsansatz 3: Integrationsverfahren



- Nutzung von Integraltabellen
- Nutzung numerischer Integratoren

Grundidee:

Auffinden geeigneter Näherungsfunktionen für $a(v)$ und anschließende Integration

Vorteile

- + sehr hohe Genauigkeit möglich
- + detaillierte Darstellung des Fahrtverlaufes möglich (nicht bei allen Verfahren)

Nachteile

- Nutzung spezieller Software nötig
- hoher Aufwand im Falle einer „Handrechnung“
- z.T. hoher Aufwand zur Vorbereitung der Rechnung (Implementierung von Algorithmen)