

Fakultät Verkehrswissenschaften
Professur für Elektrische Bahnen

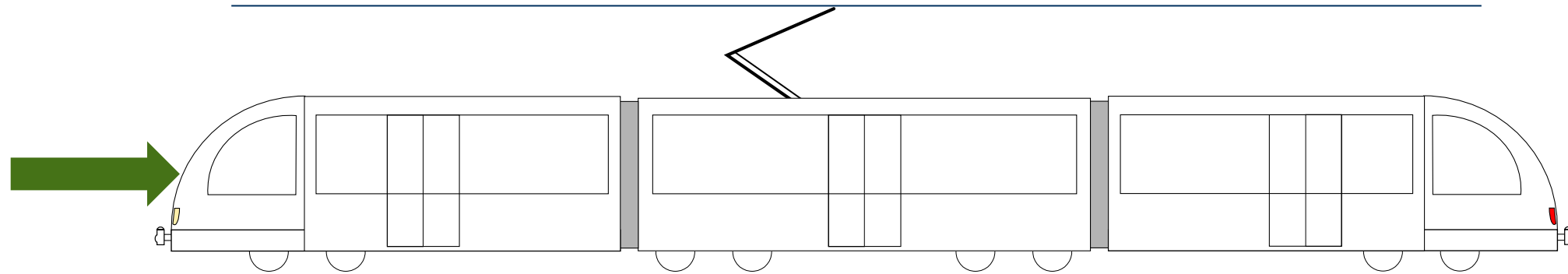
Fahrzeuge des Schienenpersonennahverkehrs

Fahrdynamik – Vorlesung 2

Dipl.-Ing. Tobias Bregulla
Wintersemester 2022/2023

Fahrdynamische Charakterisierung

Fahrwiderstand



Fahrwiderstand

Abbildung: M. Kache

Fahrzeugwiderstand von Straßenbahnen

Spezifische und geschwindigkeitsunabhängige Richtwerte nach Mäurich/Matthes/Stößel (1979)



Zweiachsiger
Triebwagen
 $f_{WFT} = 8 \text{ N/kN}$



zwei- und vierachsige
Beiwagen
 $f_{WFW} = 5 \text{ N/kN}$



Gelenkwagen Bauart
„Gotha“ $f_{WFT} = 7 \text{ N/kN}$



vierachsige Trieb- und
Kurzgelenkwagen
 $f_{WFT} = 10 \text{ N/kN}$

Fahrzeugwiderstand von Straßenbahnen

Spezifische Richtwerte nach Mäurich/Matthes/Stößel (1979)

- zweiachsiger Triebwagen: 8 N/kN
- zwei- und vierachsige Beiwagen: 5 N/kN
- Gelenkwagen Bauart „Gotha“: 7 N/kN
- vierachsige Triebwagen und Kurzgelenkwagen: 10 N/kN

Wende (1983):

- Triebwagen als 1. Wagen im Zug: $f_{WFT} = 0,0063 + 0,00363 \frac{v}{100} + 0,000185 \left(\frac{v}{10}\right)^2$
- Triebwagen als 2. Wagen im Zug: $f_{WFT} = 0,0063 + 0,00363 \frac{v}{100} + 0,00006 \left(\frac{v}{10}\right)^2$
- Beiwagen B4D: $f_{WFT} = 0,0050 + 0,00363 \frac{v}{100} + 0,00006 \left(\frac{v}{10}\right)^2$

Wende (2003):

- allgemeiner Ansatz für Fahrt auf Rillenschienen:

$$f_{WFZ} = \frac{0,006m_T g + 0,004m_W g}{(m_T + m_W)g} + \left(0,0015 + \frac{4,46 + 0,8n}{(m_T + m_W)g}\right) \cdot \left(\frac{v}{100}\right)^2$$

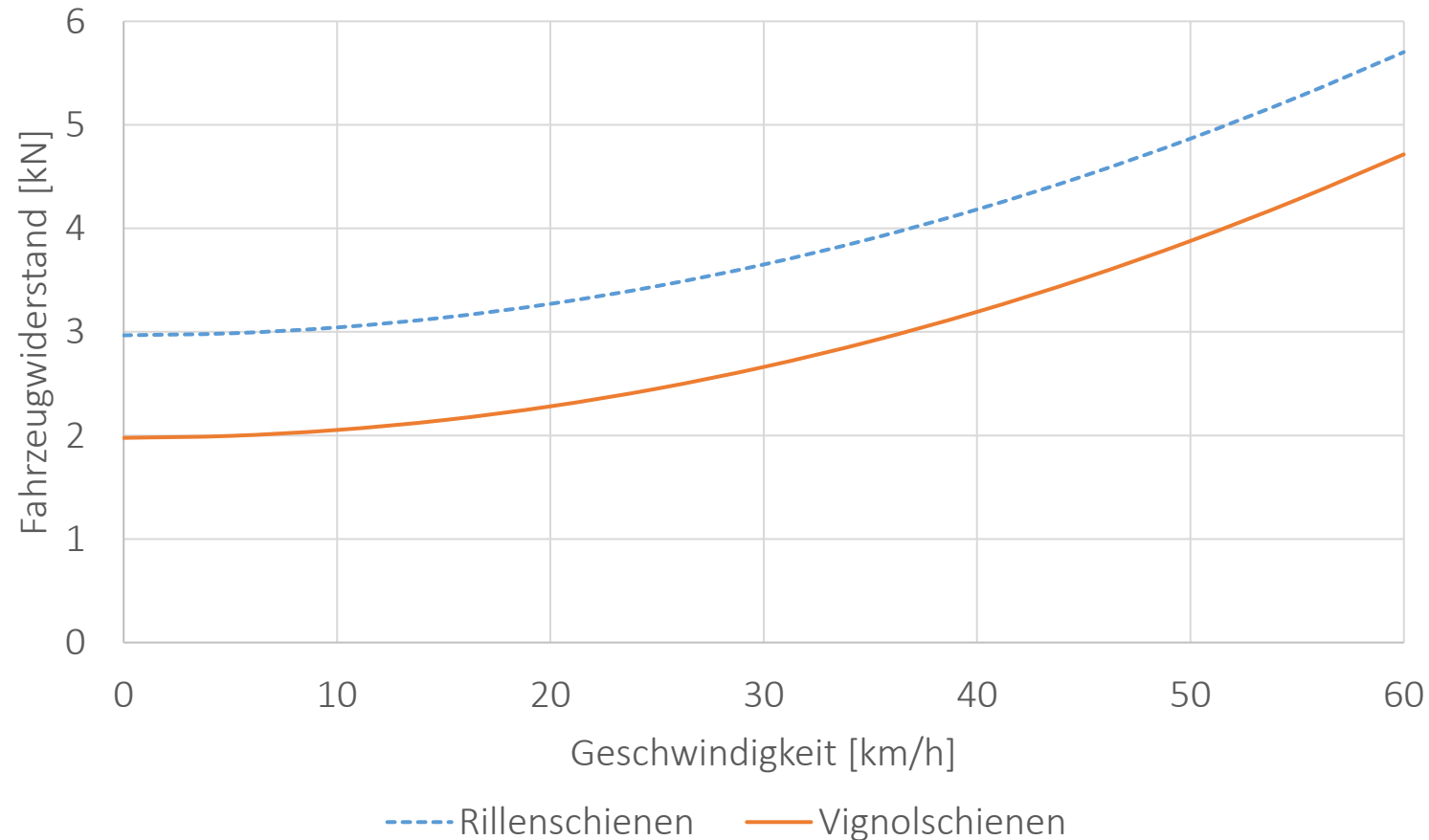
- allgemeiner Ansatz für Fahrt auf Vignolschienen:

$$f_{WFZ} = \frac{0,004m_T g + 0,0025m_W g}{(m_T + m_W)g} + \left(0,0015 + \frac{4,46 + 0,8n}{(m_T + m_W)g}\right) \cdot \left(\frac{v}{100}\right)^2$$

m_T – Masse Triebwagen, m_W – Masse Beiwagen, n – Anzahl der Fahrzeuge

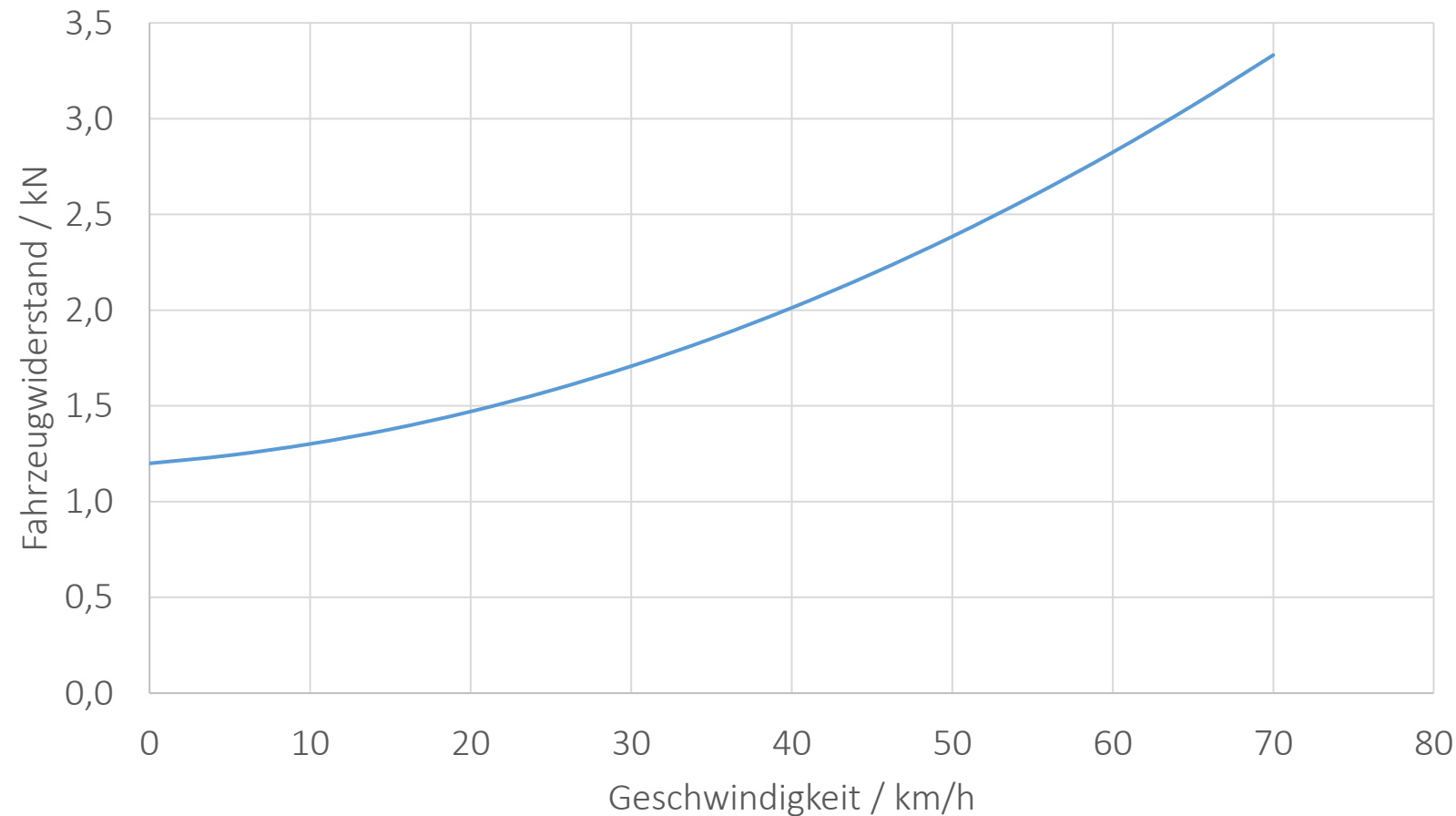
Fahrzeugwiderstand von Straßenbahnen

Gleichung nach Wende S. 156 (2003):



Fahrzeugwiderstand von Straßenbahnen

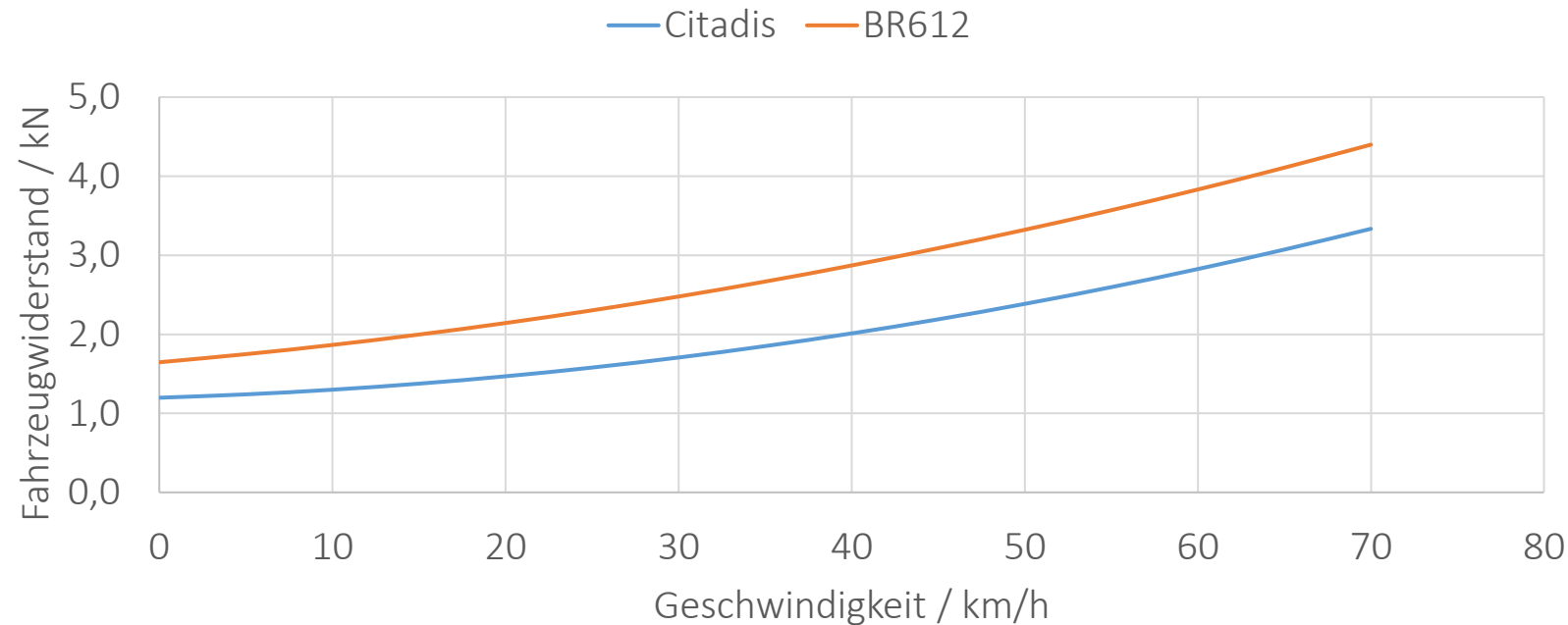
Gleichung für ALSTOM Citadis 302 (2016)*:



*zitiert nach: Fontanel, Éric und Christeller, Reinhard (Hrsg.): *MATÉRIEL ROULANT DANS LE SYSTÈME FERROVIAIRE TOME 3*, 1. Auflage, Verlag La Vie du Rail

Fahrzeugwiderstand von Straßenbahnen

Vergleich Citadis 302 (Straßenbahn) BR 612 (Vollbahn)

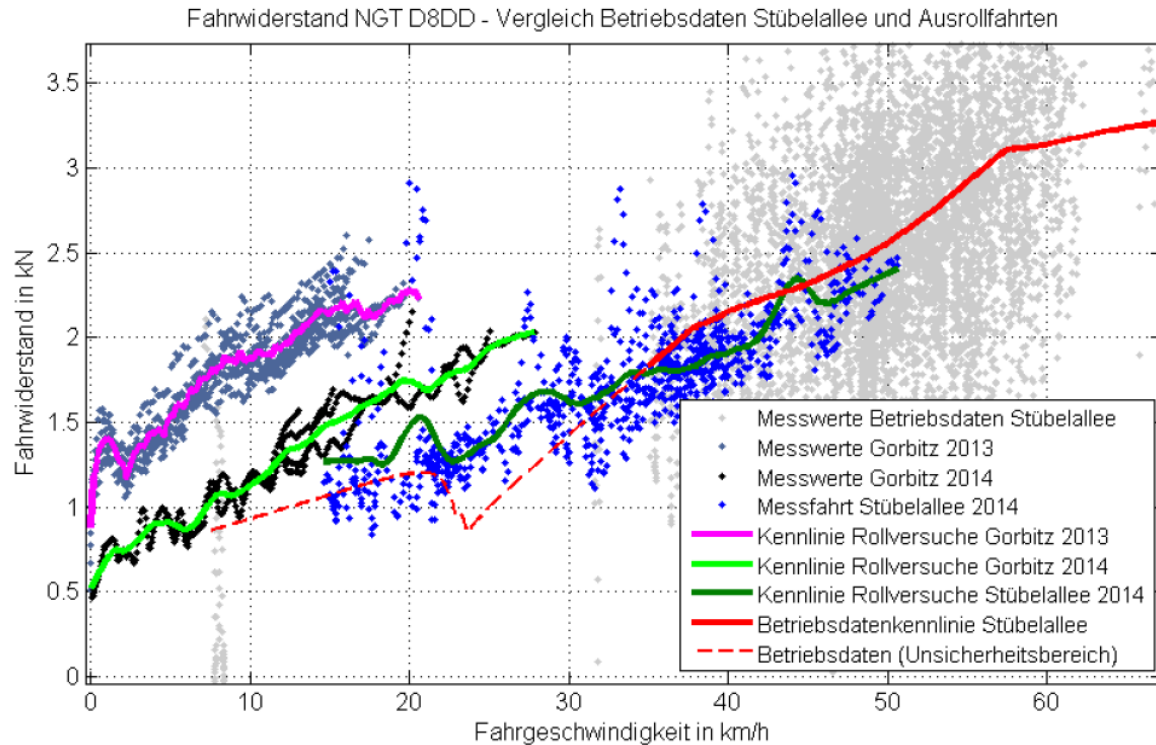


BR 612: 116 t/52 m Länge
Citadis 302: ~40 t/ 32 m Länge

*zitiert nach: Fontanel, Éric und Christeller, Reinhard (Hrsg.): *MATÉRIEL ROULANT DANS LE SYSTÈME FERROVIAIRE TOME 3*, 1. Auflage, Verlag La Vie du Rail

Fahrzeugwiderstand von Straßenbahnen

Untersuchungen von Dürrschmidt und Schultze*:

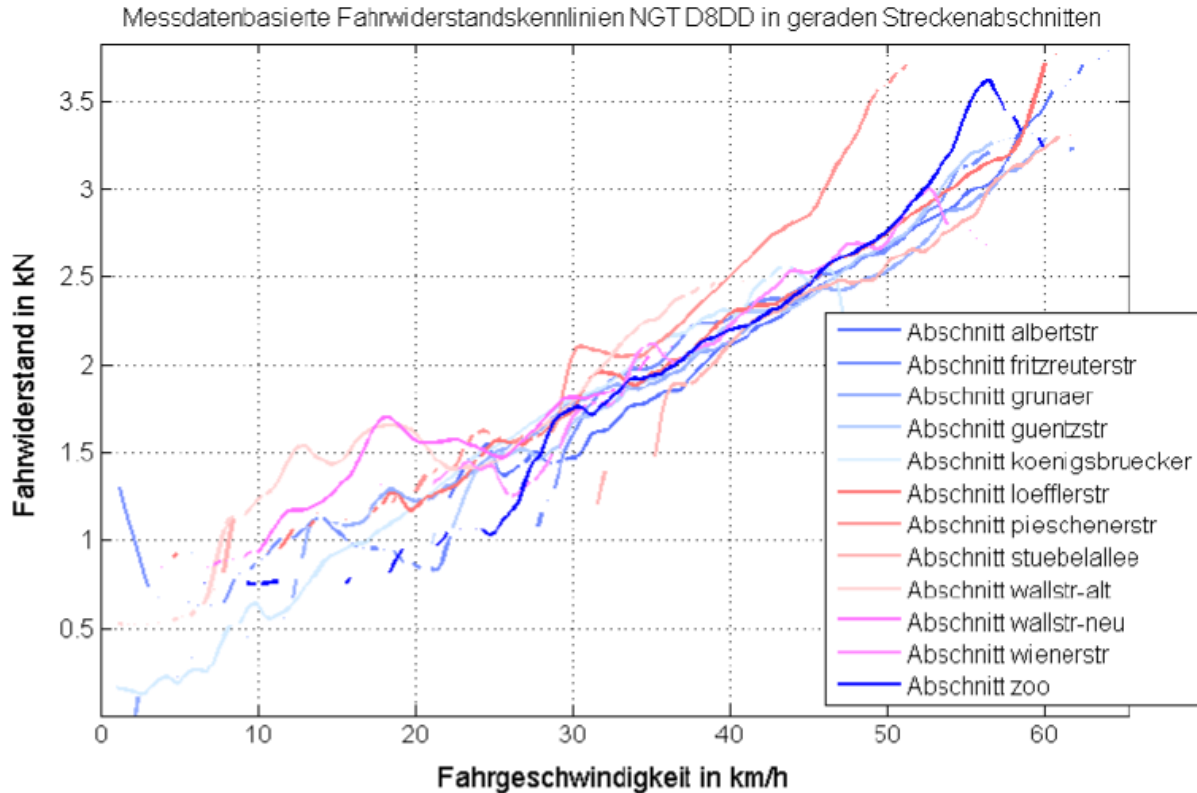


*zitiert nach:

Dürrschmidt, G.; Schultze, S. und Beitelschmidt M.: „Neue Ansätze zur Bestimmung von Fahrwiderstandskräften bei Straßenbahnen“, 14. Internationale Schienenfahrzeugtagung Dresden, 2015

Fahrzeugwiderstand von Straßenbahnen

Untersuchungen von Dürrschmidt und Schultze*:



*zitiert nach:

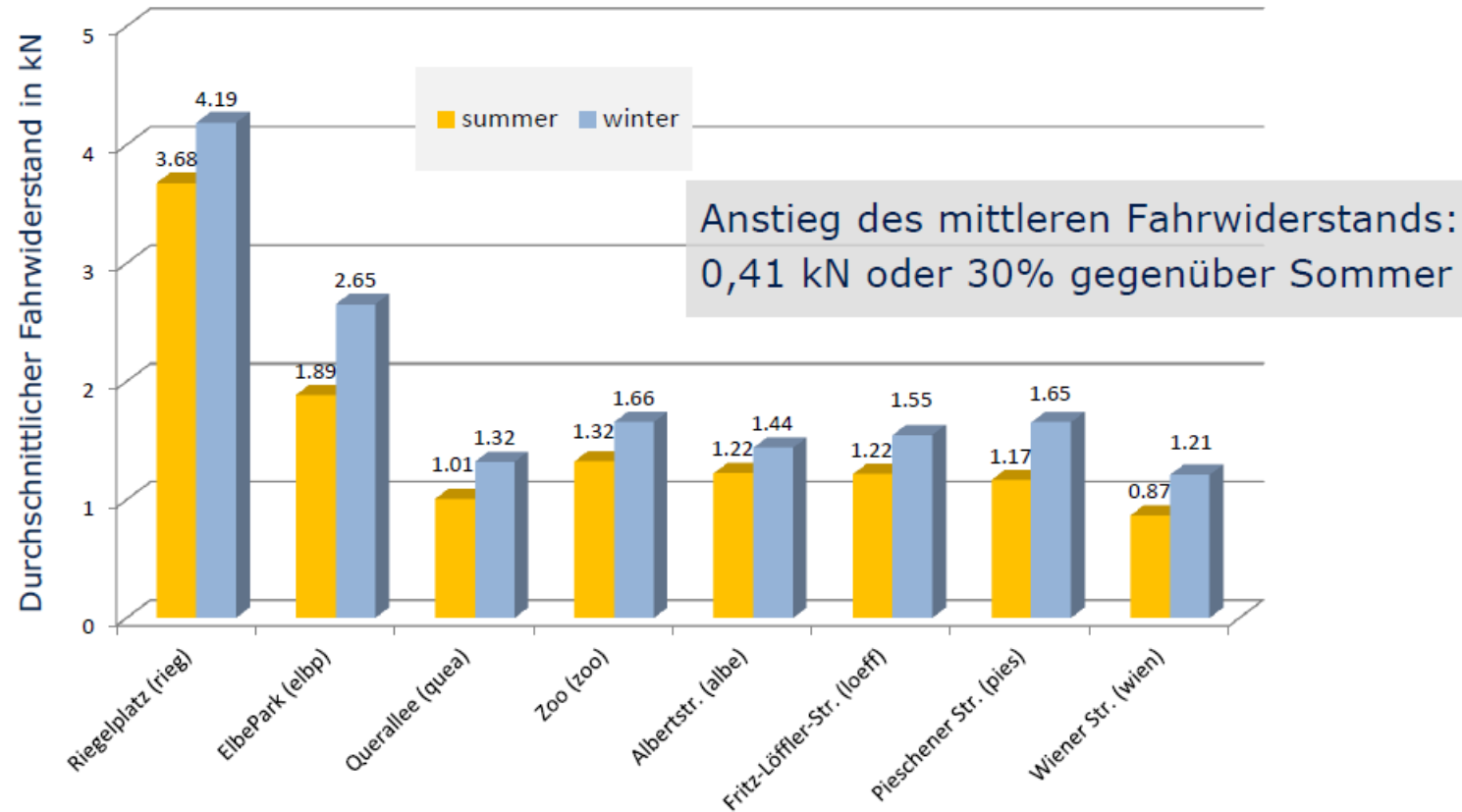
Dürrschmidt, G.; Schultze, S. und Beitelschmidt M.: „Neue Ansätze zur Bestimmung von Fahrwiderstandskräften bei Straßenbahnen“, 14. Internationale Schienenfahrzeugtagung Dresden, 2015

Fahrzeugwiderstand von Straßenbahnen

Untersuchungen von Dürrschmidt und Schultze*:

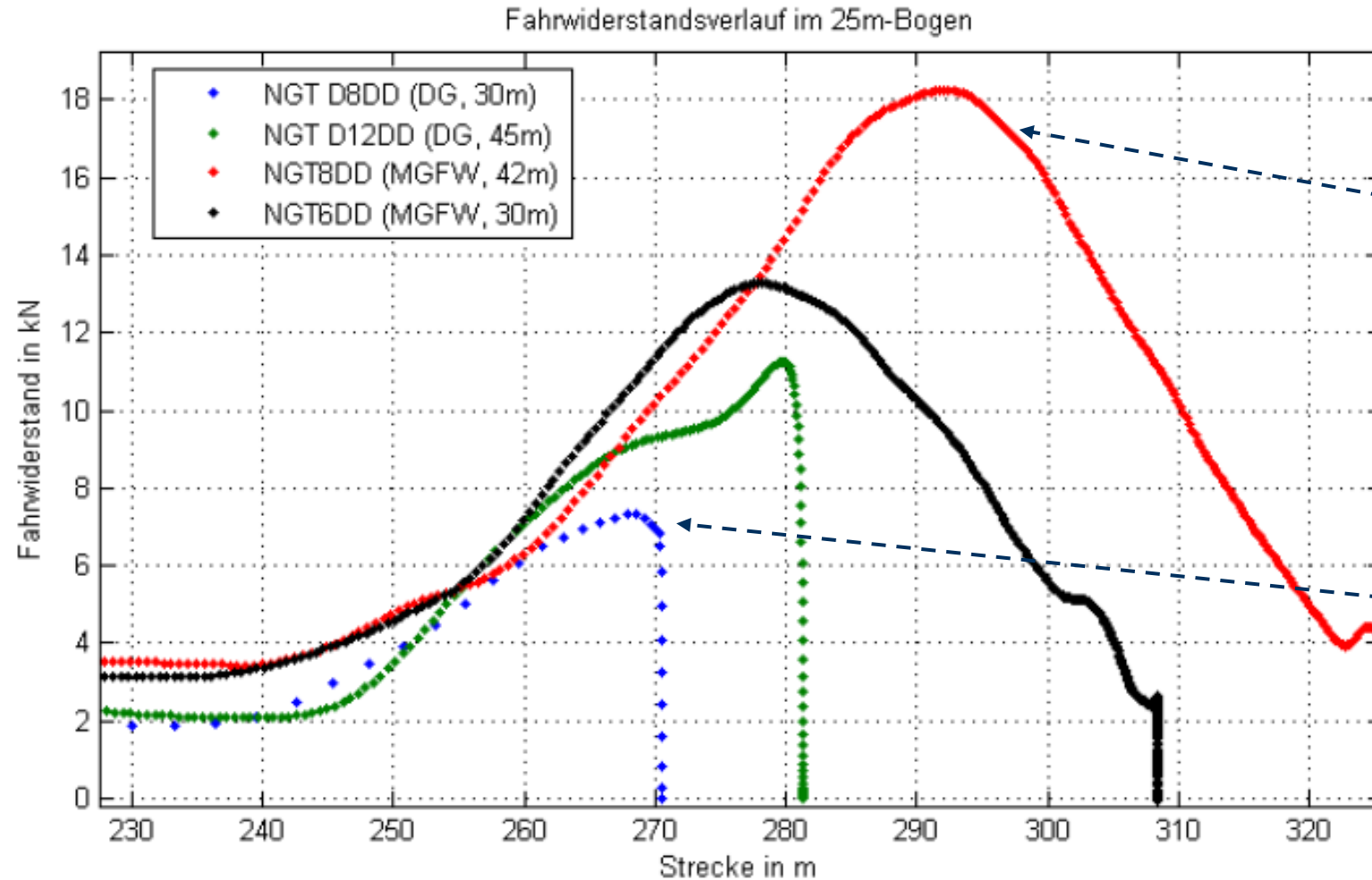
Einfluss Außentemperatur auf den Fahrwiderstand

Vergleich Sommer / Winter (8 Bereiche, 2 Jahre, 8825 Fahrten)



Fahrzeugwiderstand von Straßenbahnen

Untersuchungen von Dürrschmidt und Schultze (S. 164)*:



Fahrdynamische Charakterisierung

Fahrzeugenergieversorgung



750 V DC + Batterie



750 V DC + Deselelektrischer Modus

Energiebedarf und Rückspeisepotential



600/750 V DC



750 V DC + 15 kV 16,7 Hz



750 V DC + 25 kV 50 Hz

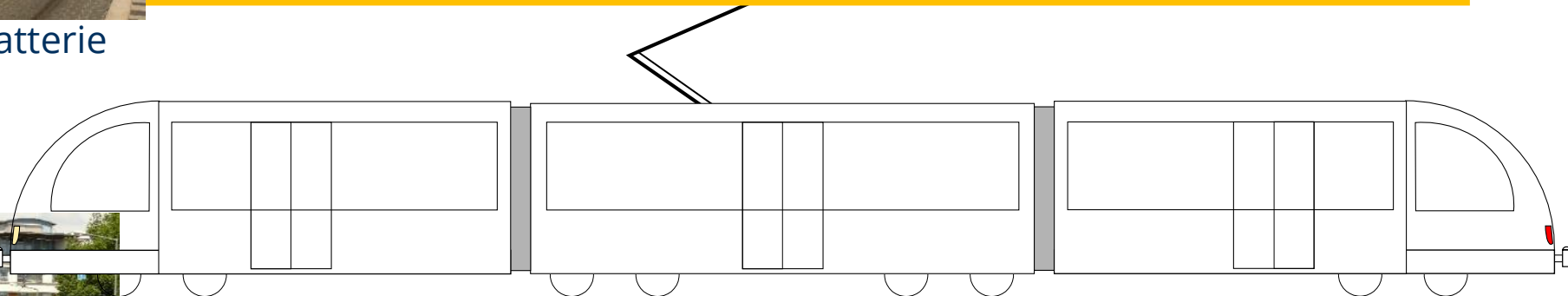


Abbildung: M. Kache
Fotos & Abbildungen: M. Kache

Inhalte

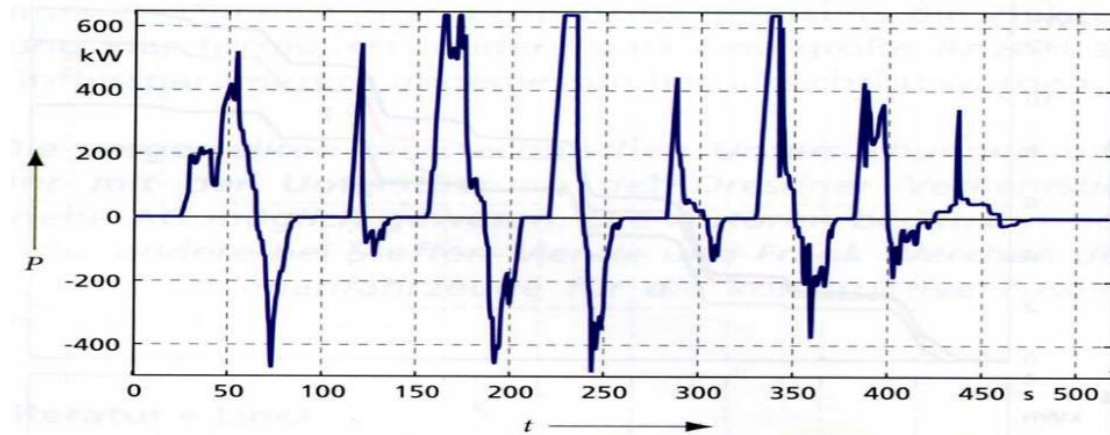
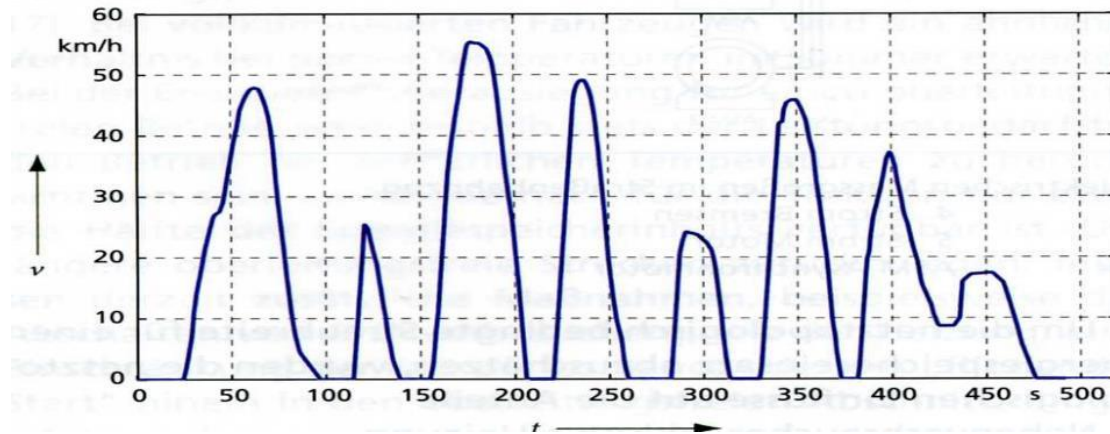
Vorlesung Fahrzeuge des SPNV (Fahrtdynamik)

1. Charakterisierung der schienengebundenen Transportsysteme im (städtischen) Nahverkehr
2. Vorschriften und Regelungen zu Fahrdynamischen Aspekten
3. Fahrdynamische Charakterisierung von Fahrzeugen des SPNV
4. Betrachtungen zu Energie und Fahrzeit
5. Leistungsauslegung von Fahrzeuge des SPNV



Fotos & Abbildungen: M. Kache

Messung realer Fahrspiele Dresden



Fahrzeug:
Bombardier
NGT D12DD
der DVB AG

Strecke:
Innenstadt,
2350m,
5 Halte

Durchführung:
Fraunhofer Institut (IVI)
DVB AG

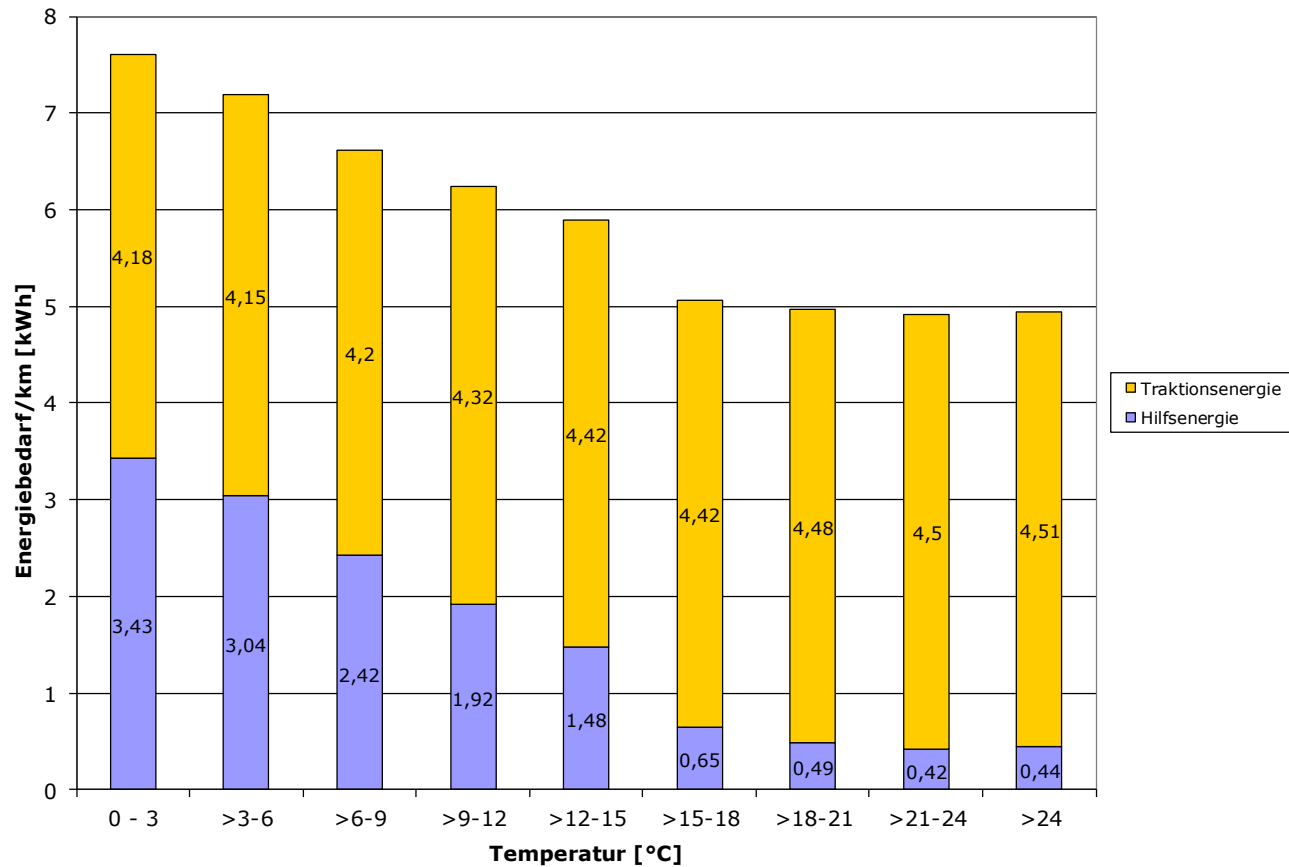


Foto: M. Kache

Quelle: Klausner/Lehnert
in eb 5/2008

Messung realer Fahrspiele Dresden

Energiebedarf eines nicht klimatisierten Straßenbahnzuges in
Abhängigkeit der Außentemperatur



Fahrzeug:
Bombardier
NGT D12DD
der DVB AG

Strecke:
Innenstadt,
2350m,
5 Halte

Durchführung:
Fraunhofer Institut (IVI)
DVB AG



Foto: M. Kache

Quelle: Klausner/Lehnert
in eb 5/2008

Messung realer Fahrspiele Leipzig

- Linie 3 der LVB mit NGT 6 Doppeltraktion
- Messzeitraum: November 2013
- „milde“ Außentemperaturen

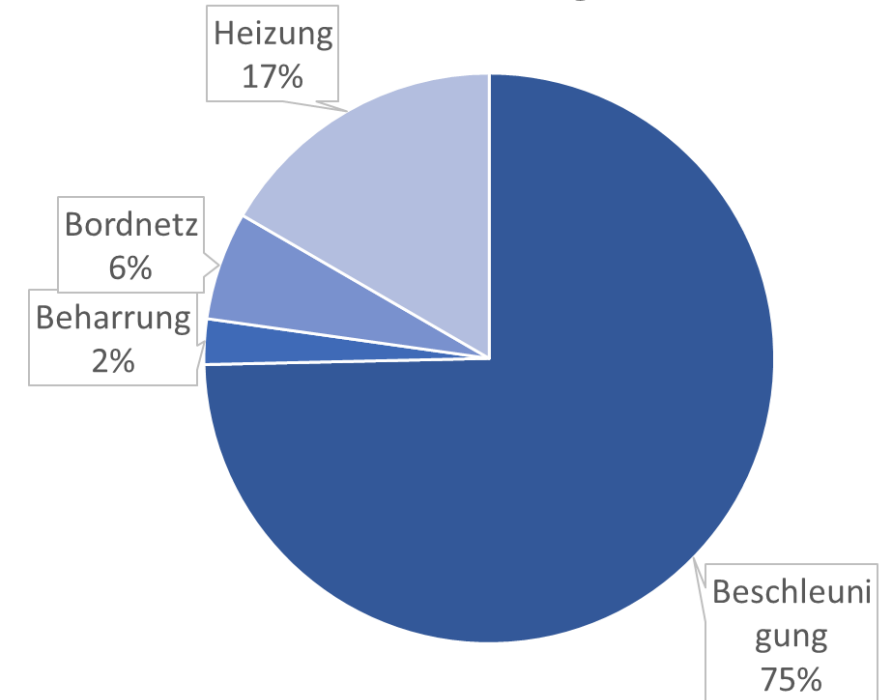
NGT 6
(LeoLiner)
der LVB



Fahrtrichtung 1:

- Energieaufnahme f. Beschleunigung: 3,77 kWh/km (74,6%)
- Energieaufnahme f. Beharrung: 0,13 kWh/km (2,6%)
- Energieaufnahme f. Bordnetz: 0,31 kWh/km (6,1%)
- Energieaufnahme f. Heizung: 0,84 kWh/km (16,7%)
- **Energieaufnahme gesamt: 5,05 kWh/km**
- Bremsarbeitsrekuperation: 1,38 kWh/km
- Energieumsatz Bremswiderstand: 0,62 kWh/km
- **Energieaufnahme Netto: 3,67 kWh/km**

Fahrtrichtung 1



Quelle: Giebel/Keucher/Schütze: „Straßenbahn-Energiemonitoring“, in: Der Nahverkehr 9/2014, S. 50 ff.

Fahrdynamische Modellrechnung

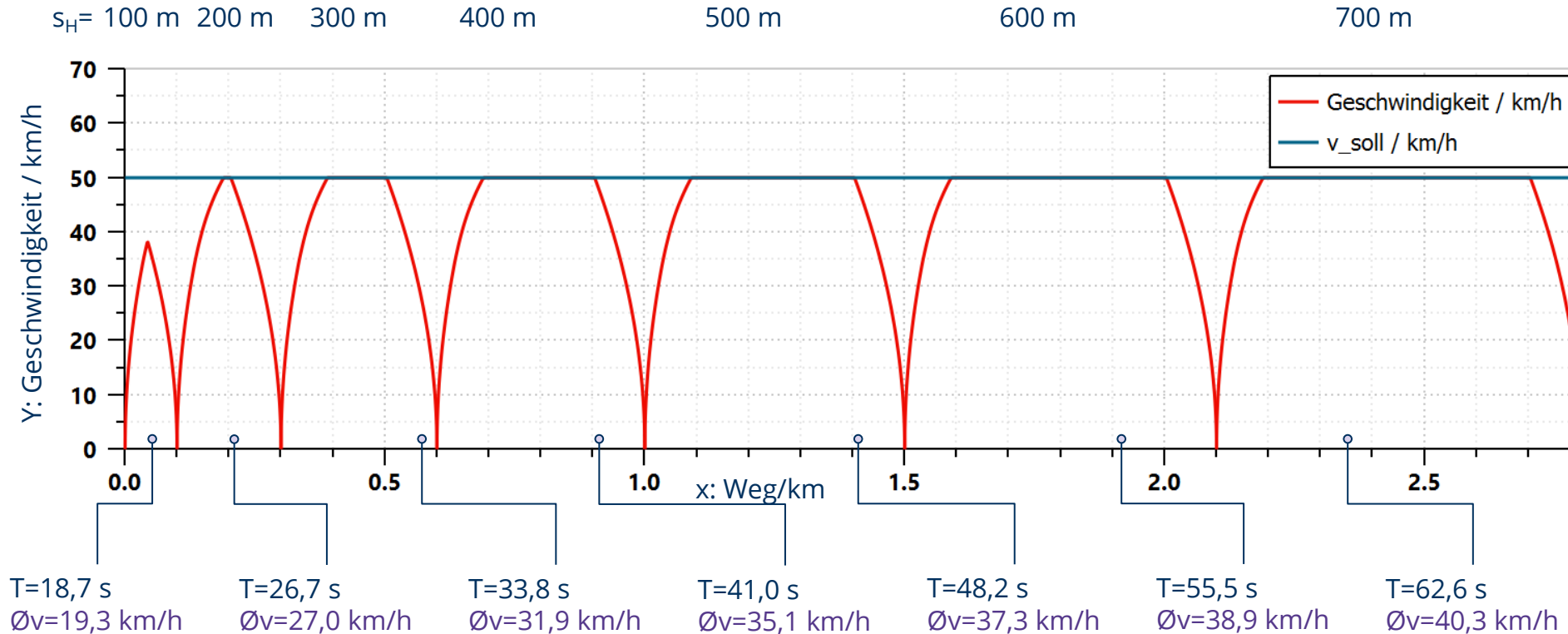
Straßenbahn/Stadtbahn



Fahrspiel Straßenbahn

Randbedingungen:

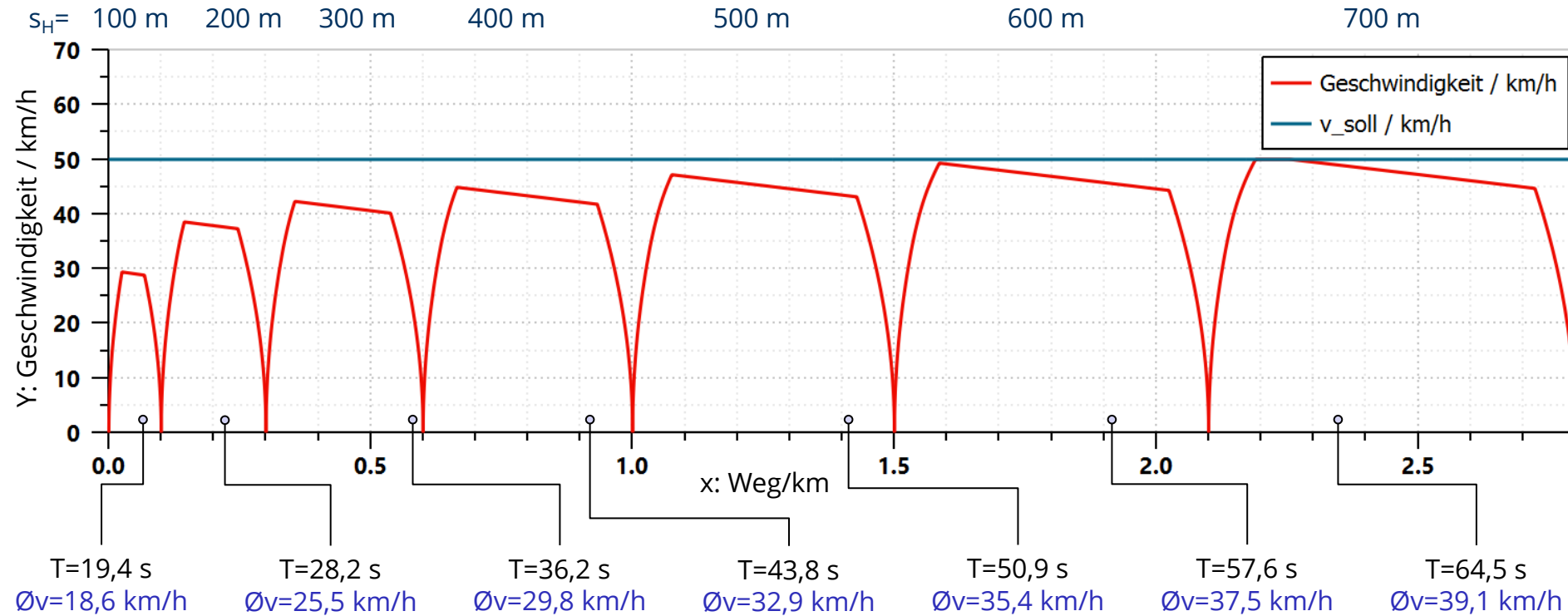
- max. Anfahrbeschleunigung: $1,3 \text{ m/s}^2$
- mittlere Bremsverzögerung: $1,0 \text{ m/s}^2$
- ebenes, gerades Gleis



Fahrspiel Straßenbahn

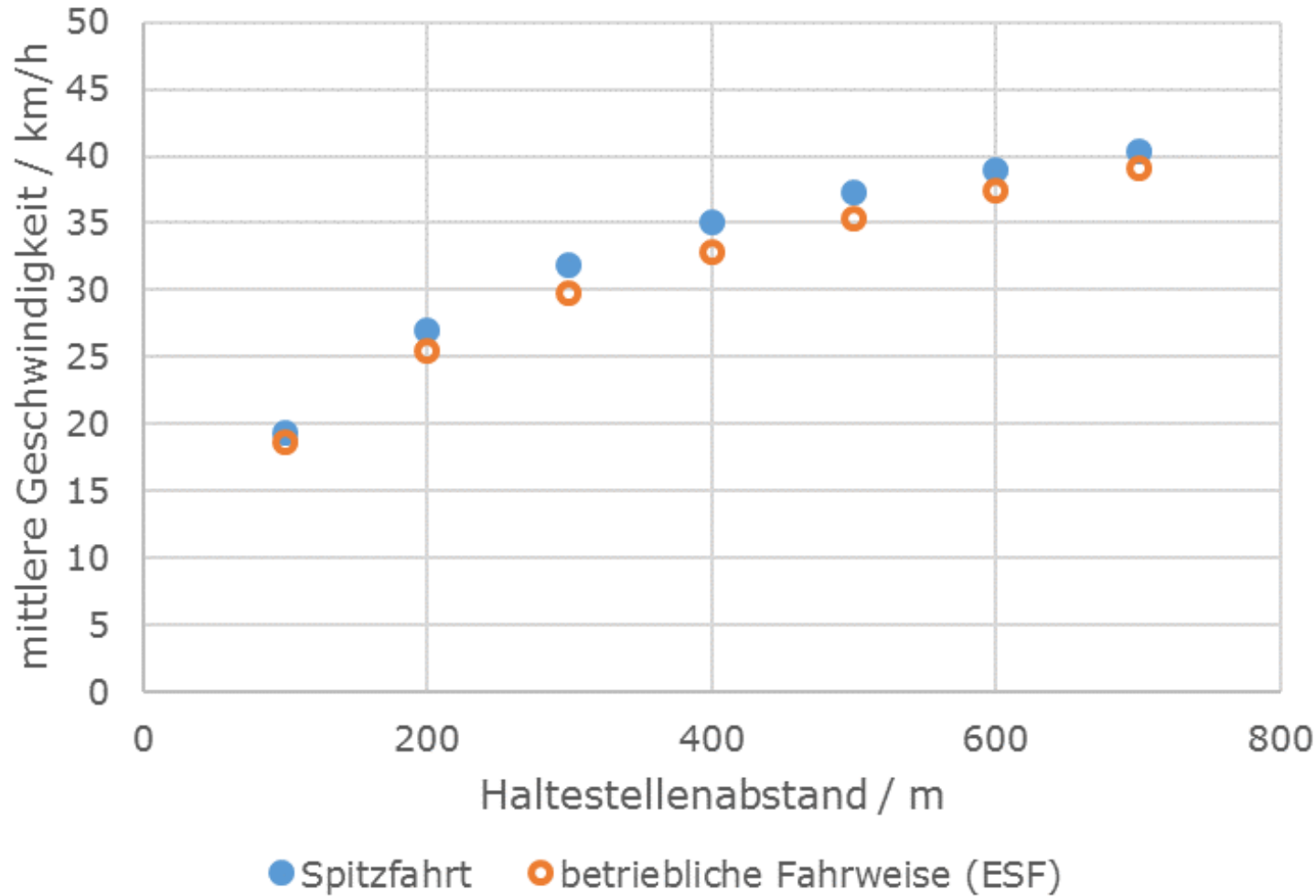
Randbedingungen:

- max. Anfahrbeschleunigung: 1,3 m/s²
- mittlere Bremsverzögerung: 1,0 m/s²
- ebenes, gerades Gleis
- ausgenutzte Fahrzeitreserve: 3...7%



Fahrspiel Straßenbahn

Mittlere Geschwindigkeit



Randbedingungen:

- max. Anfahrbeschleunigung: $1,3 \text{ m/s}^2$
- mittlere Bremsverzögerung: $1,0 \text{ m/s}^2$
- ebenes, gerades Gleis
- ausgenutzte Fahrzeitreserve: 3...7%

Einflussfaktoren

Spezifischer Energiebedarf

- Fahrweise
- Energieeffizienz von Antrieb und Hilfsbetrieben
- Energiebedarf für Komfort- und Hilfseinrichtungen
- Fahrzeugmasse
- Fahrwiderstand (Fahrzeug + Strecke)
- Haltestellenabstände
- Anzahl von Verkehrshalten und v-Beschränkungen
- Möglichkeit und Effizienz von Energierückspeisung oder Energiespeicherung

Reduktionsmaßnahmen

Energiebedarf

- Energiesparende Fahrweise anwenden (Auslauf nutzen)
- Vorrangschaltung bei Straßenkreuzungen (Reduzierung der Anfahrten)
- Ermöglichung von Energierückspeisung oder -speicherung
- kurze Haltestellenabstände vermeiden
- Einrichtung der Funktion „Halt auf Verlangen“ (Reduzierung der Anfahrten)

Leistungsauslegung

Einflussfaktoren

