

Fakultät Verkehrswissenschaften „FRIEDRICH LIST“  
Professur für Technik spurgeführter Fahrzeuge

# Fahrdynamik für Verkehrsingenieure

## Sommersemester 2019

Dr.-Ing. Martin Kache



**Dr.-Ing. Martin Kache**

E-Mail: martin.kache@tu-dresden.de

Tel: 463 365 88

POT 055



# Organisatorisches: Teil 1 - Semesterablauf

KW	Datum		Gr 01	Gr 02	Gr 03	Gr 04
14	Dienstag, 2. April 2019	4. DS				
	Dienstag, 2. April 2019	5. DS				
	<b>Donnerstag, 4. April 2019</b>	<b>2. DS</b>	<b>VL 1</b>			
	Freitag, 5. April 2019	1. DS				
15	Donnerstag, 11. April 2019	3. DS				Ü1
	Freitag, 12. April 2019	2. DS		Ü1		
16	Dienstag, 16. April 2019	4. DS	Ü1			
	Dienstag, 16. April 2019	5. DS			Ü1	
	<b>Donnerstag, 18. April 2019</b>	<b>3. DS</b>	<b>VL 2</b>			
	Freitag, 19. April 2019	1. DS				
17	Donnerstag, 25. April 2019	2. DS	<b>VL 3</b>			
	Freitag, 26. April 2019	2. DS		Ü2		
18	Dienstag, 30. April 2019	4. DS	Ü2			
	Dienstag, 30. April 2019	5. DS			Ü2	
	Donnerstag, 2. Mai 2019	3. DS				Ü2
	Freitag, 3. Mai 2019	1. DS				
19	<b>Donnerstag, 9. Mai 2019</b>	<b>2. DS</b>	<b>VL 4</b>			
	Freitag, 10. Mai 2019	2. DS		Ü3		
20	Dienstag, 14. Mai 2019	4. DS	Ü3			
	Dienstag, 14. Mai 2019	5. DS			Ü3	
	Donnerstag, 16. Mai 2019	3. DS				Ü3
	Freitag, 17. Mai 2019	1. DS				
21	<b>Donnerstag, 23. Mai 2019</b>	<b>2. DS</b>	<b>VL 5</b>			
	Freitag, 24. Mai 2019	2. DS		Ü4		Ü4

KW	Datum		Gr 01	Gr 02	Gr 03	Gr 04
22	Dienstag, 28. Mai 2019	4. DS	Ü4			
	Dienstag, 28. Mai 2019	5. DS			Ü4	
	Donnerstag, 30. Mai 2019	3. DS	<b>Himmelfahrt</b>			
	Freitag, 31. Mai 2019	1. DS				
23	<b>Donnerstag, 6. Juni 2019</b>	<b>2. DS</b>	<b>VL 6</b>			
	Freitag, 7. Juni 2019	2. DS		Ü5		
24	Dienstag, 11. Juni 2019	4. DS	<b>Pfingsten</b>			
	Dienstag, 11. Juni 2019	5. DS				
	Donnerstag, 13. Juni 2019	2. DS				
	Freitag, 14. Juni 2019	1. DS				
25	<b>Donnerstag, 20. Juni 2019</b>	<b>2. DS</b>	<b>VL 7</b>			
	Freitag, 21. Juni 2019	2. DS		Ü6		
26	Dienstag, 25. Juni 2019	4. DS	Ü5			
	Dienstag, 25. Juni 2019	5. DS			Ü5	
	<b>Donnerstag, 27. Juni 2019</b>	<b>3. DS</b>				Ü5
	Freitag, 28. Juni 2019	1. DS				
27	<b>Donnerstag, 4. Juli 2019</b>	<b>2. DS</b>	<b>VL 8</b>			
	Freitag, 5. Juli 2019	2. DS		Ü7		
28	Dienstag, 9. Juli 2019	4. DS	Ü6			
	Dienstag, 9. Juli 2019	5. DS			Ü6	
	Donnerstag, 11. Juli 2019	3. DS				Ü6
	Freitag, 12. Juli 2019	1. DS				
29			<b>Klausur</b>			

**VL 1 – 6:** Schwerpunkt Schienenverkehr (Dr. Kache)  
**VL 7 – 8:** Schwerpunkt Straßenverkehr (Dr. Tüschen)

**Ü1-Ü6:** Schwerpunkt Schienenverkehr (Dr. Kache)

# Organisatorisches: Teil 2 – OPAL-Kurs zur Lehrveranstaltung

Kursname:  
„Fahrodynamik für Verkehrsingenieure“

## Inhalt (u.a.):

- Termine
- Selbsttests zur Stoff-Wiederholung
- Materialien zur Vorlesung
- Zusatzmaterialien
- Prüfungsvorbereitung

The screenshot shows the OPAL course interface. The browser address bar displays the URL: <https://bildungsportal.sachsen.de/opal/auth/RepositoryEntry/6541967362/CourseNode/87219161266304/?par=courseEditor>. The course title 'Fahrodynamik für Verkehrsingenieure' is visible in the navigation bar. A sidebar on the left contains a menu with items: Startseite, Vorlesungs- und Übungstermine, Wdh. Kinematik/Kinetik, Ergänzung/Vertiefung, Lernziele & Selbsttests, Evaluation der VL (Teil: Dr. Kache), virturo, Materialien zur Vorlesung, Prüfungsvorbereitung, Literatur zur Vorlesung, historische Lehrfilme, and Linkliste (Videos). The main content area features a section titled 'Vorlesungs- und Übungstermine' with a table of lecture dates and times. Below the table is a 'Klausur' section with four images: a truck, a train, a car splashing through water, and a high-speed train.

**Vorlesungs- und Übungstermine**


Unsere Vorlesung findet in einem zweiwöchigen Rhythmus donnerstags in der 3. DS statt. Die Vorlesungstermine können der folgenden Tabelle entnommen werden:

(Woche) Datum	Veranstaltung	Zeit/Ort	Bemerkungen
(KW 15) 12.04.2018	1. Vorlesung	2. DS / POT 81 H	Betreuung: Dr. Kache
(KW 16) 19.04.2018	2. Vorlesung	2. DS / POT 81 H	Betreuung: Dr. Kache (statt LV Prof. Krimmling)
(KW 17) 26.04.2018	3. Vorlesung	2. DS / POT 81 H	Betreuung: Dr. Kache
(KW 20) 17.05.2018	4. Vorlesung	3. DS / POT 81 H	Betreuung: Dr. Kache
(KW 23) 07.06.2018	5. Vorlesung	2. DS / POT 81 H	Betreuung: Dr. Kache
(KW 24) 14.06.2018	Lernerfolgskontrolle/ Klausurtraining	3. DS / POT 81 H	fakultativ, Betreuung: Dr. Kache
(KW 25) 21.06.2018	6. Vorlesung	2. DS / POT 81 H	Betreuung: Dr. Kache
(KW 27) 05.07.2018	7. Vorlesung	2. DS / POT 81 H	Betreuung: Prof. Prokop (Herr Tüschen)
(KW 29) 19.07.2018	8. Vorlesung	2. DS / POT 81 H	Betreuung: Prof. Prokop (Herr Tüschen)

**Klausur**

Dieses Semester werden wieder **Gruppenübungen** statt einer Zentralübung angeboten. Die Betreuung der Übungen erfolgt hauptsächlich durch Tutoren. Die Übungstermine können Sie Semesters können sich ggf. Terminänderungen ergeben. Alle Lehrenden und Tutoren sind natürlich bemüht, Sie rechtzeitig in den Vorlesungen und Übungen oder an dieser Stelle zu da

# Organisatorisches: Teil 3 – Materialien

 TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN  
Institut für Bahnfahrzeuge und Bahntechnik, Professur für Technik spurgeführter Fahrzeuge

**ÜBUNGSAUFGABEN ZUR VORLESUNG  
„FAHRDYNAMIK“ FÜR  
VERKEHRSSINGENIEURE**

Dr.-Ing. M. Kache


6. April 2017

 TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN  
Institut für Bahnfahrzeuge und Bahntechnik, Professur für Technik spurgeführter Fahrzeuge

**MUSTERLÖSUNGEN ZU DEN  
ÜBUNGSAUFGABEN FAHRDYNAMIK  
FÜR VERKEHRSSINGENIEURE**

Dr.-Ing. M. Kache

14. April 2016

 TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN  
Institut für Bahnfahrzeuge und Bahntechnik Professur für Technik spurgeführter Fahrzeuge

**FORMELSAMMLUNG ZUR  
VORLESUNG „FAHRDYNAMIK FÜR  
VERKEHRSSINGENIEURE“ VERSION  
3.1**

Dr.-Ing. Martin Kache

6. April 2017

 TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

 TSF

Fakultät Verkehrswissenschaften „FRIEDRICH LIST“  
Professur für Technik spurgeführter Fahrzeuge

**Fahrdynamik für Verkehrsingenieure**  
Sommersemester 2019

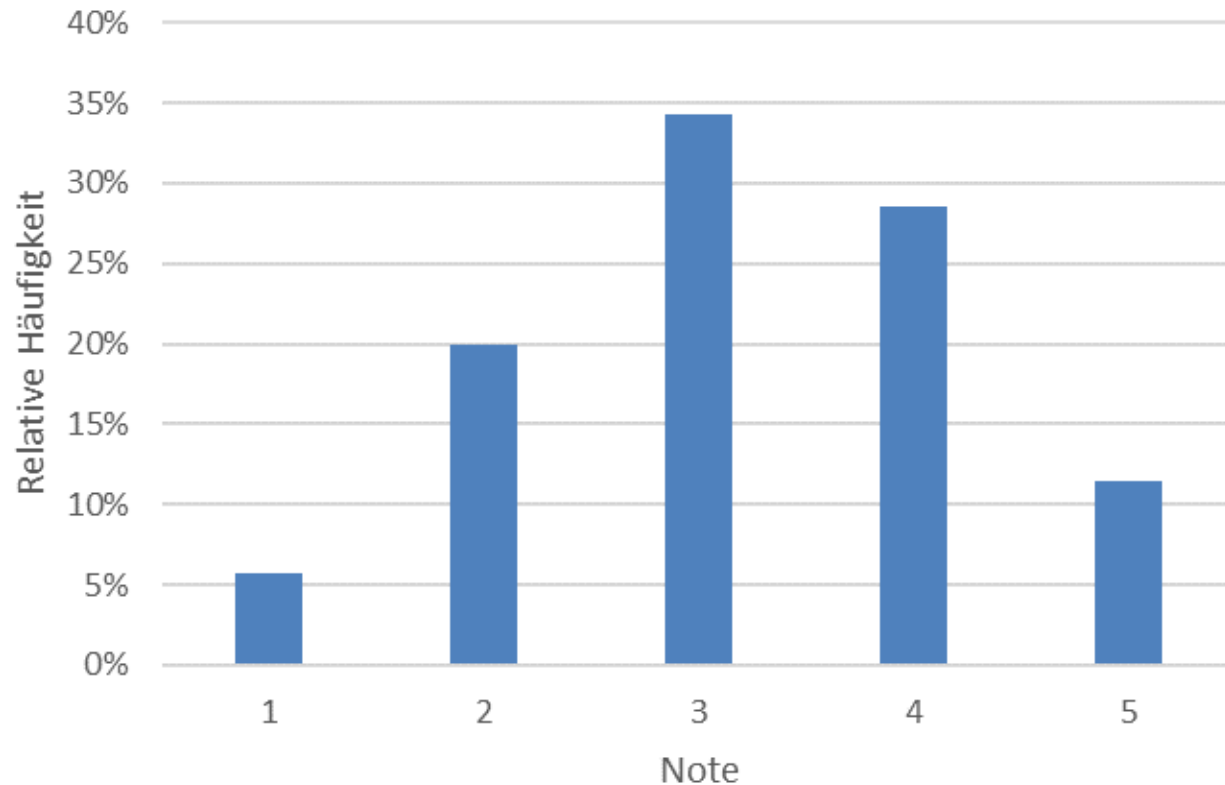
Dr.-Ing. Martin Kache



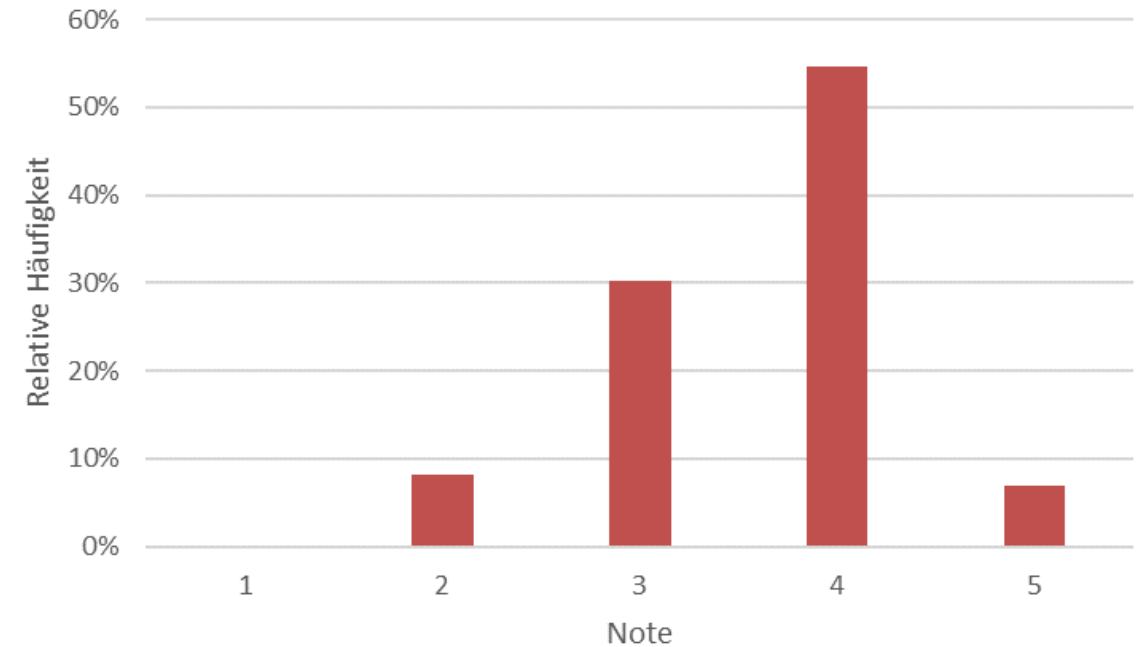
# Organisatorisches: Teil 4 – Klausur

1. Fragenteil (Schwerpunkt: Schienenverkehr) – ca. 46%
2. Rechenaufgaben (Schwerpunkt: Schienenverkehr) – ca. 27%
3. Fragenteil (Schwerpunkt: Straßenverkehr) – ca. 27%

## Klausurergebnisse 2018:



## Klausurergebnisse 2017:



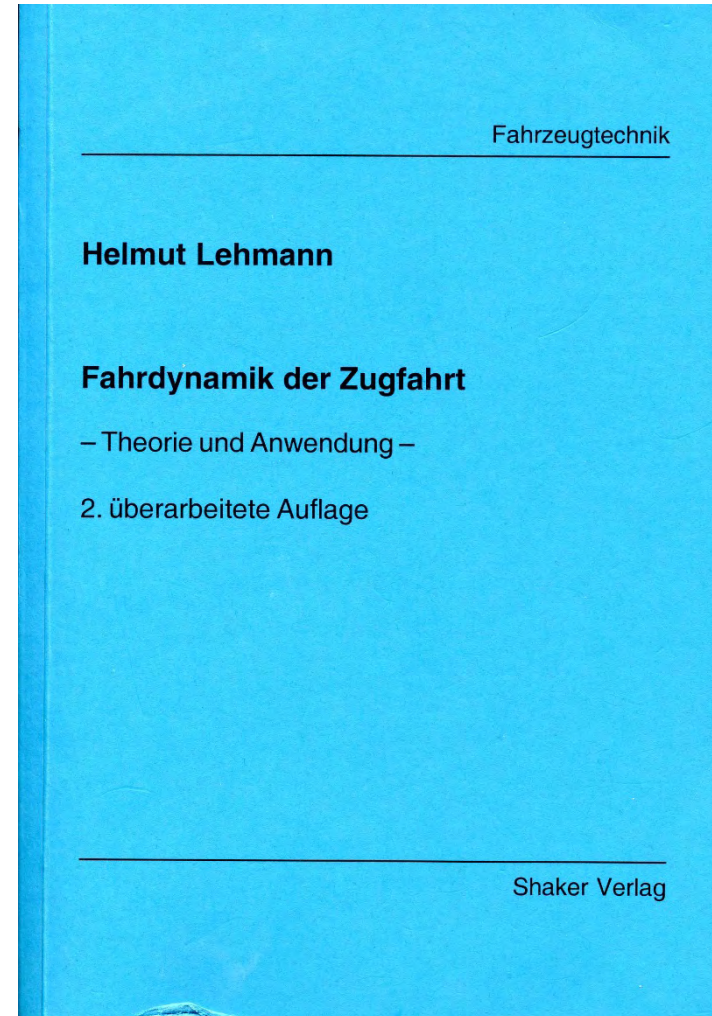
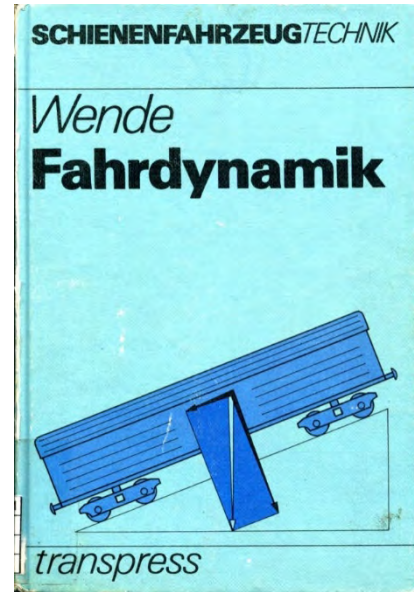
### zugelassene Hilfsmittel:

- **Formelsammlung**
  - zulässig: punktuelle Ergänzungen in deutscher Sprache
  - NICHT zulässig: Textpassagen und Zeichnungen aller Art
- **Taschenrechner** (nicht programmierbar)

# Organisatorisches: Teil 5 – Literaturempfehlungen (Fahrodynamik des Schienenverkehrs)



**34,95 €**



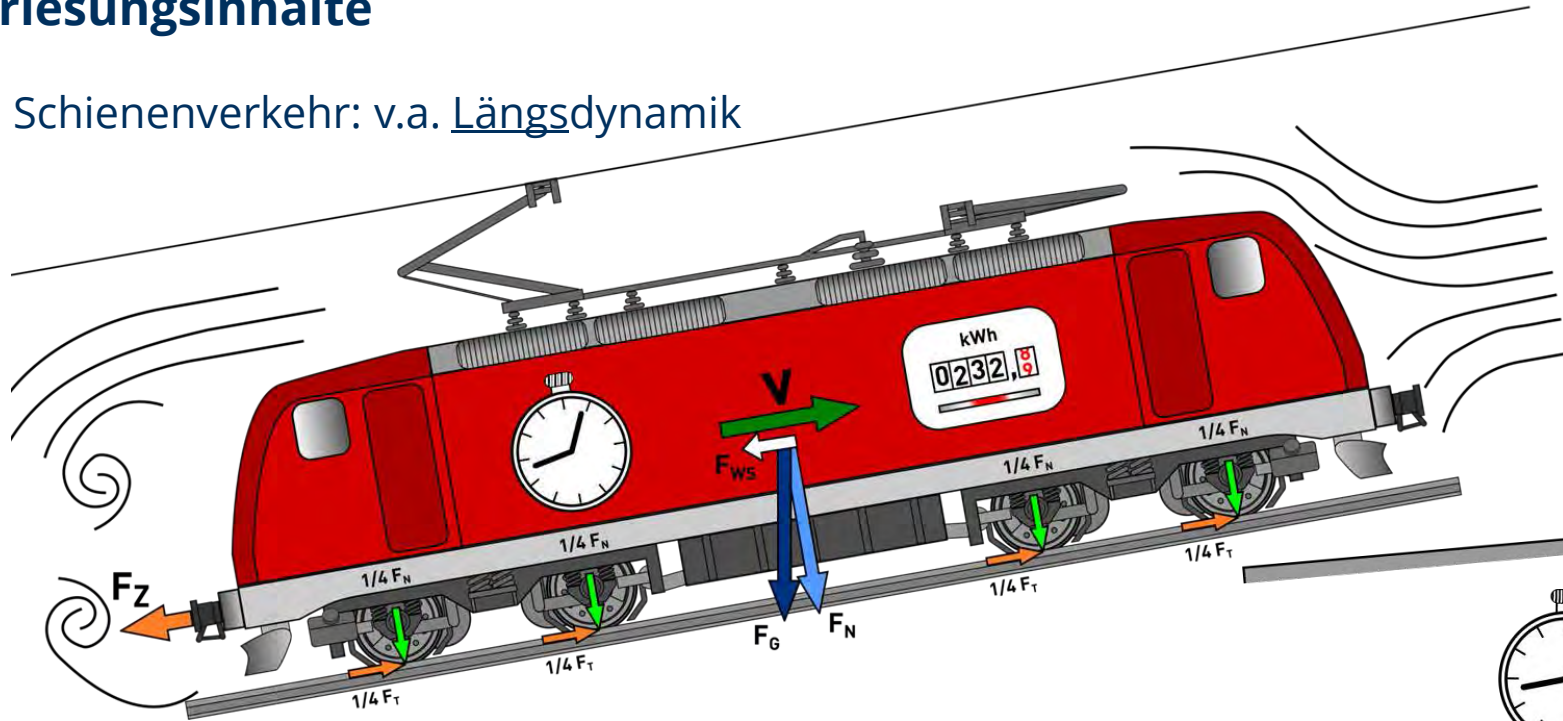
**49,80 €**

# Organisatorisches: Teil 5 – Literaturempfehlungen (Fahrodynamik des Straßenverkehrs)

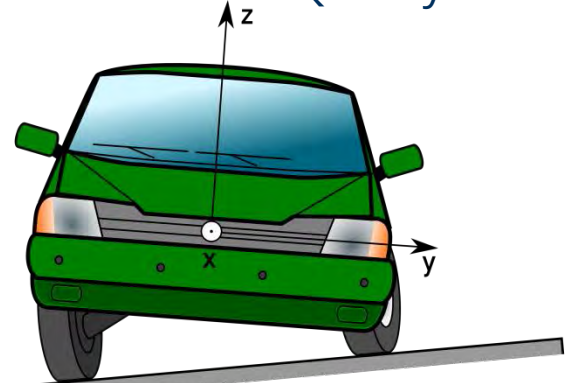


# Vorlesungsinhalte

Schienerverkehr: v.a. Längsdynamik

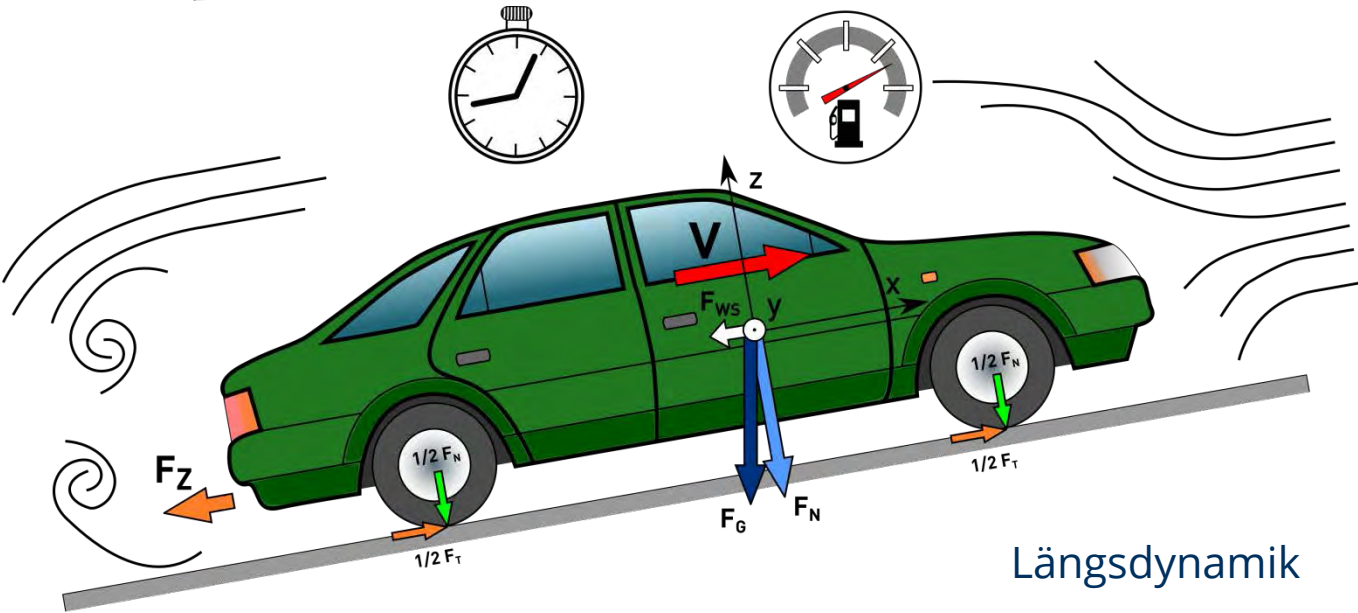
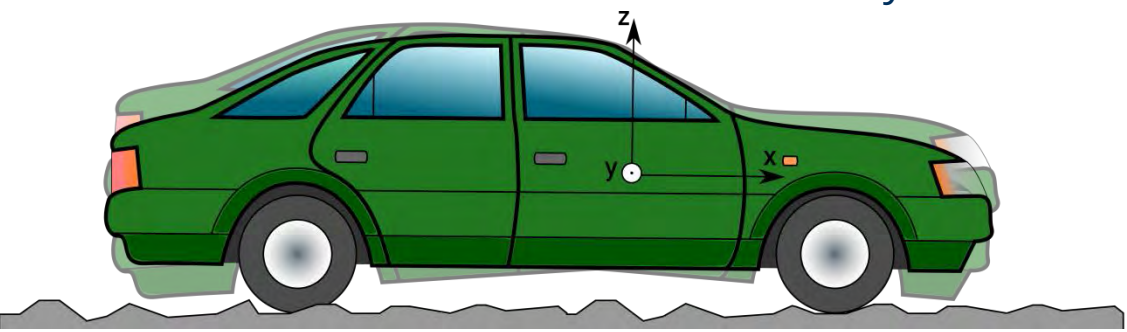


Querdynamik



© Karim Benabdellah, Martin Kache

Vertikaldynamik



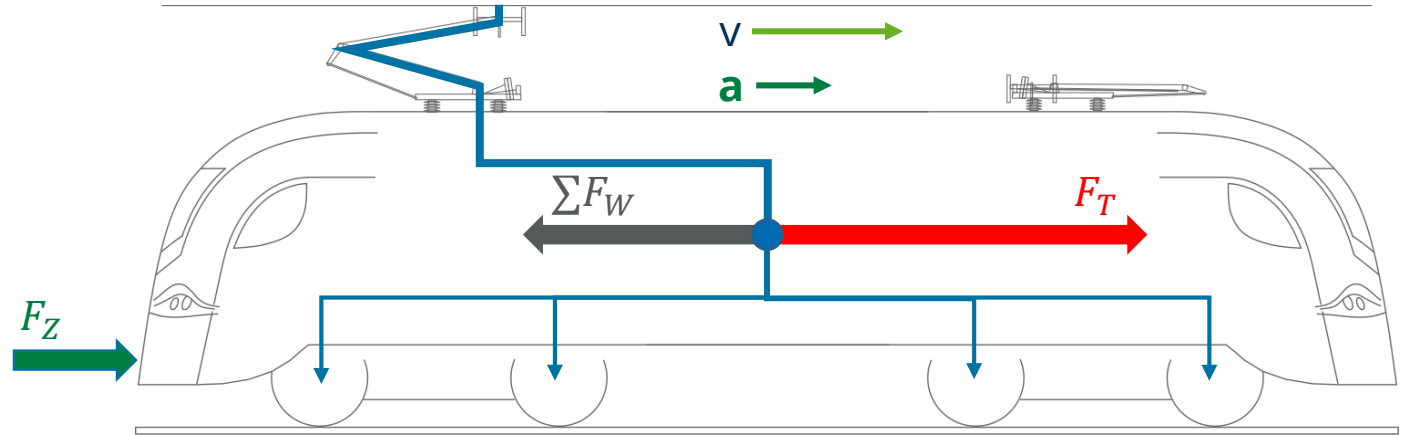
Längsdynamik

# Vorlesungsinhalte – Grundfragen der Fahrdynamik



# Vorlesungsinhalte (Schwerpunkt: Schienenverkehr)

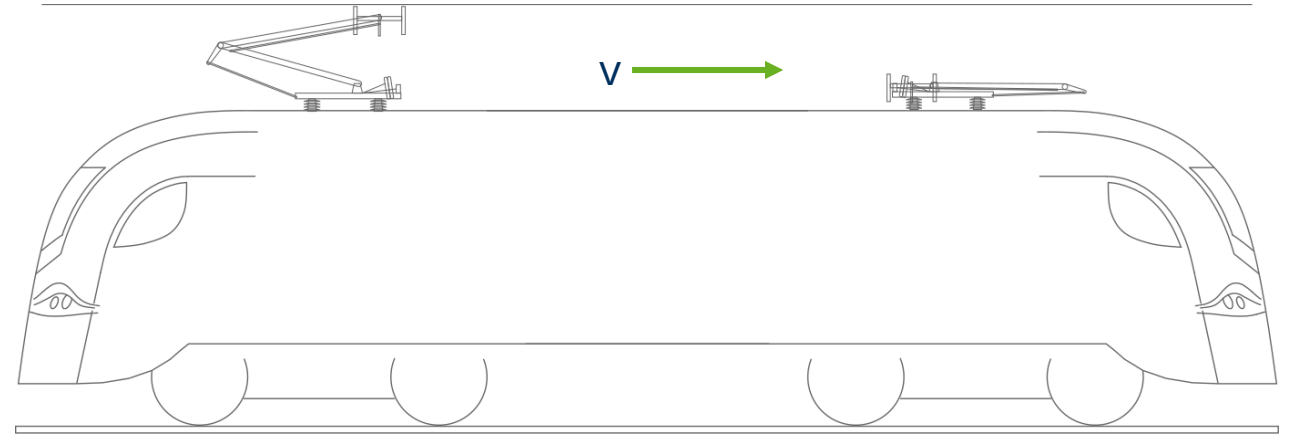
- Einführung
- Grundlagen
- Fahrwiderstandskräfte  $F_Z$
- Antriebskräfte
- Traktionsvermögen
- Leistungs- und Energiebedarf
- Grundlagen der Fahrzeitberechnung



$$t = \int_{v_1}^{v_2} \frac{v}{a(v)} dv + \frac{s_3 - s_2}{v_2} + \dots$$

# Vorlesungsinhalte (Schwerpunkt: Schienenverkehr)

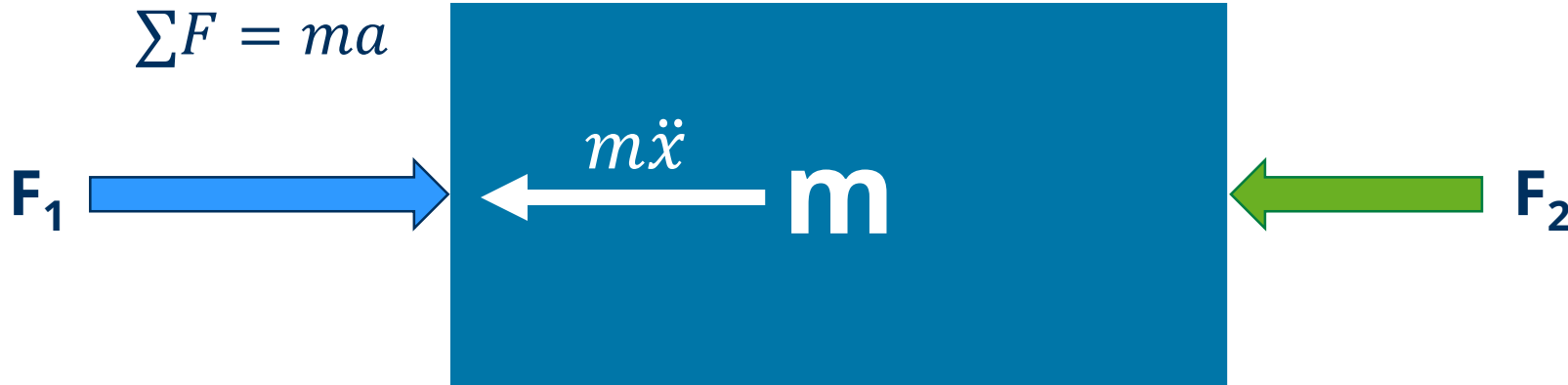
- Einführung
- **Grundlagen**
- Fahrwiderstandskräfte
- Antriebskräfte
- Traktionsvermögen
- Leistungs- und Energiebedarf
- Grundlagen der Fahrzeitberechnung



# Wiederholung Technische Mechanik

$$\sum F - m \cdot \ddot{x} = 0 \quad \longrightarrow v$$

$$\sum F = ma$$



## Kinematische Grundgrößen

Ruck:  $u = \dot{a} = \ddot{v} = \dddot{x}$

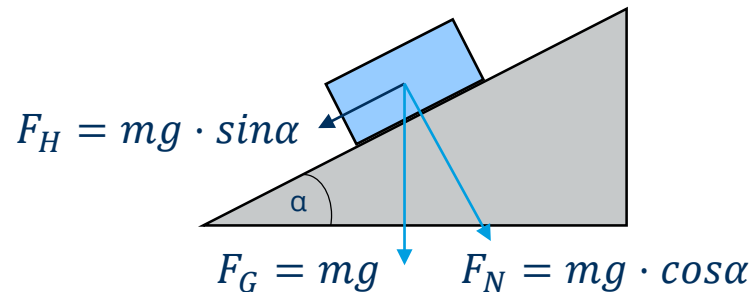
Beschleunigung:  $a = \dot{v} = \ddot{x}$

Geschwindigkeit:  $v = \dot{x}$

$$a = f(t)$$

$$v = v_0 + \int a(t) dt$$

$$s = s_0 + \int v(t) dt$$



$$a = f(v)$$

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

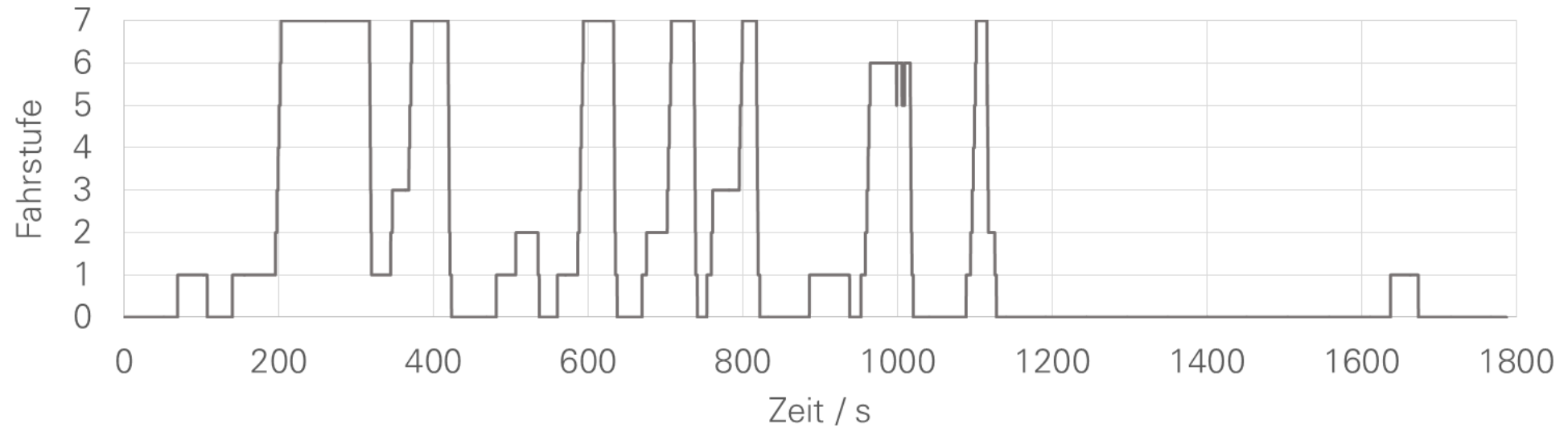
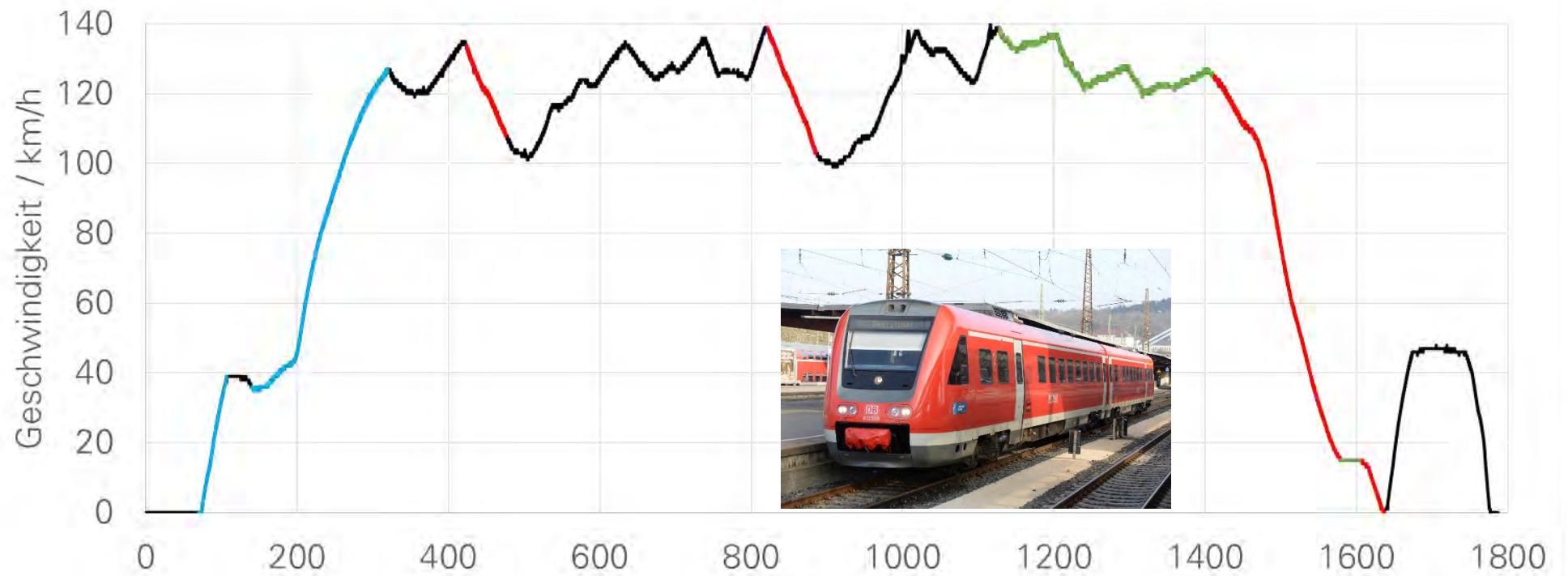
$$s = \int \frac{v}{a(v)} dv$$

$$a = f(s)$$

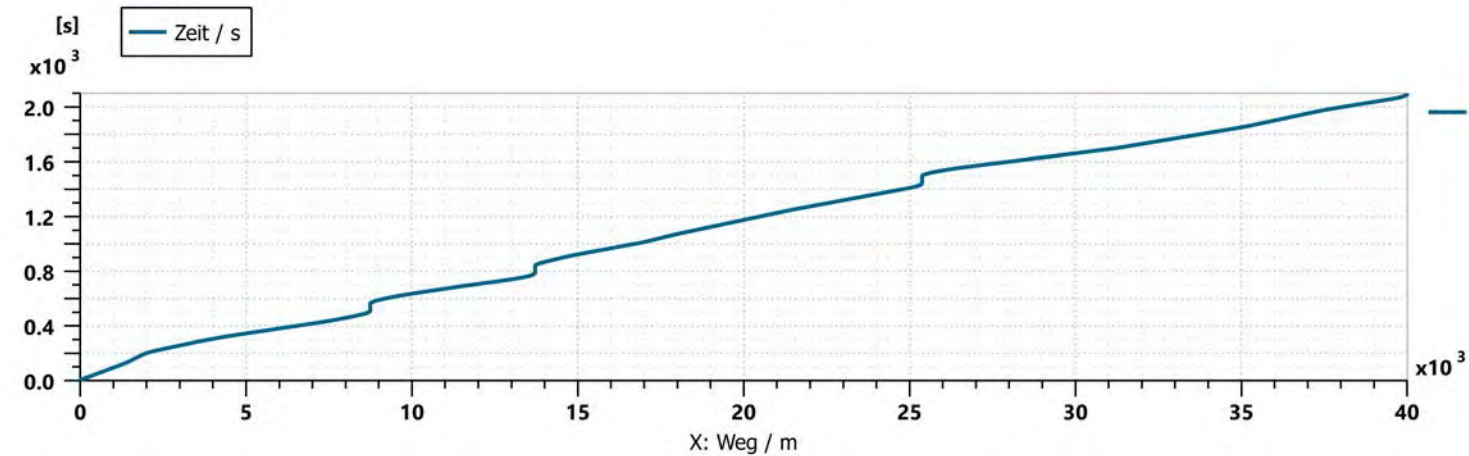
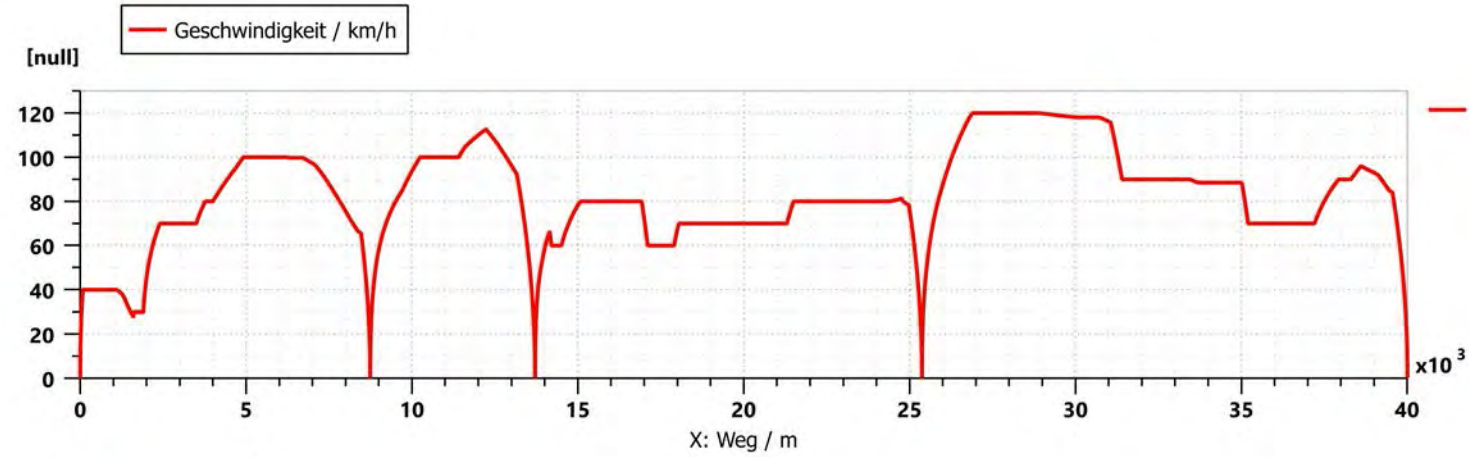
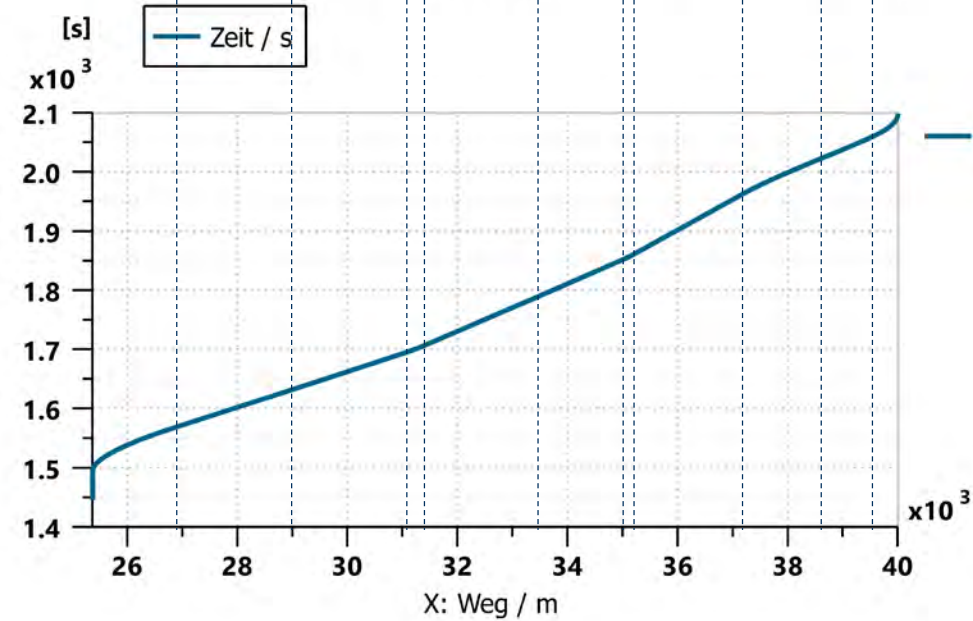
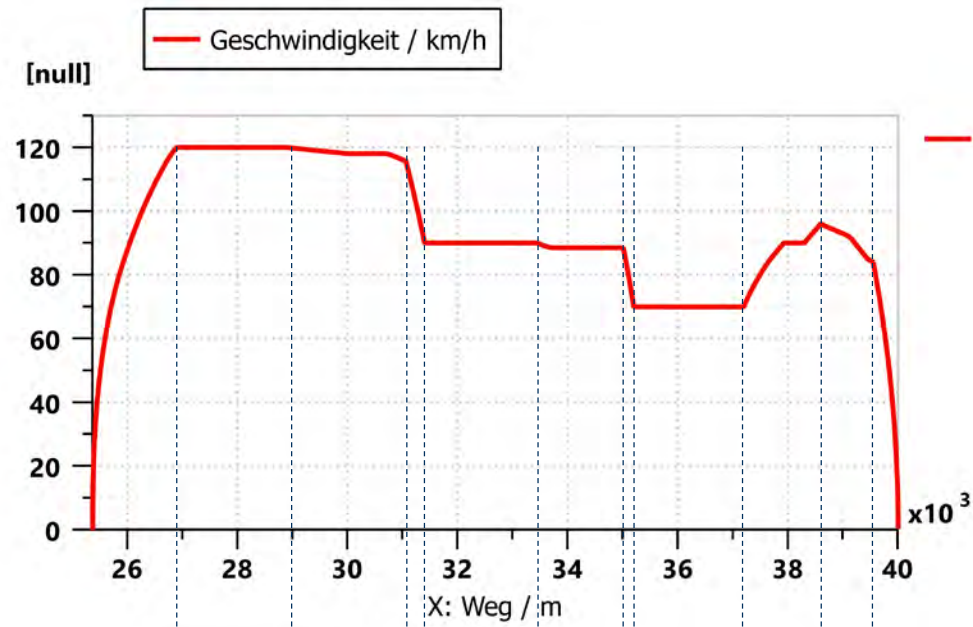
$$t = \int \frac{1}{v(x)} dx$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2 \int a(x) dx}$$

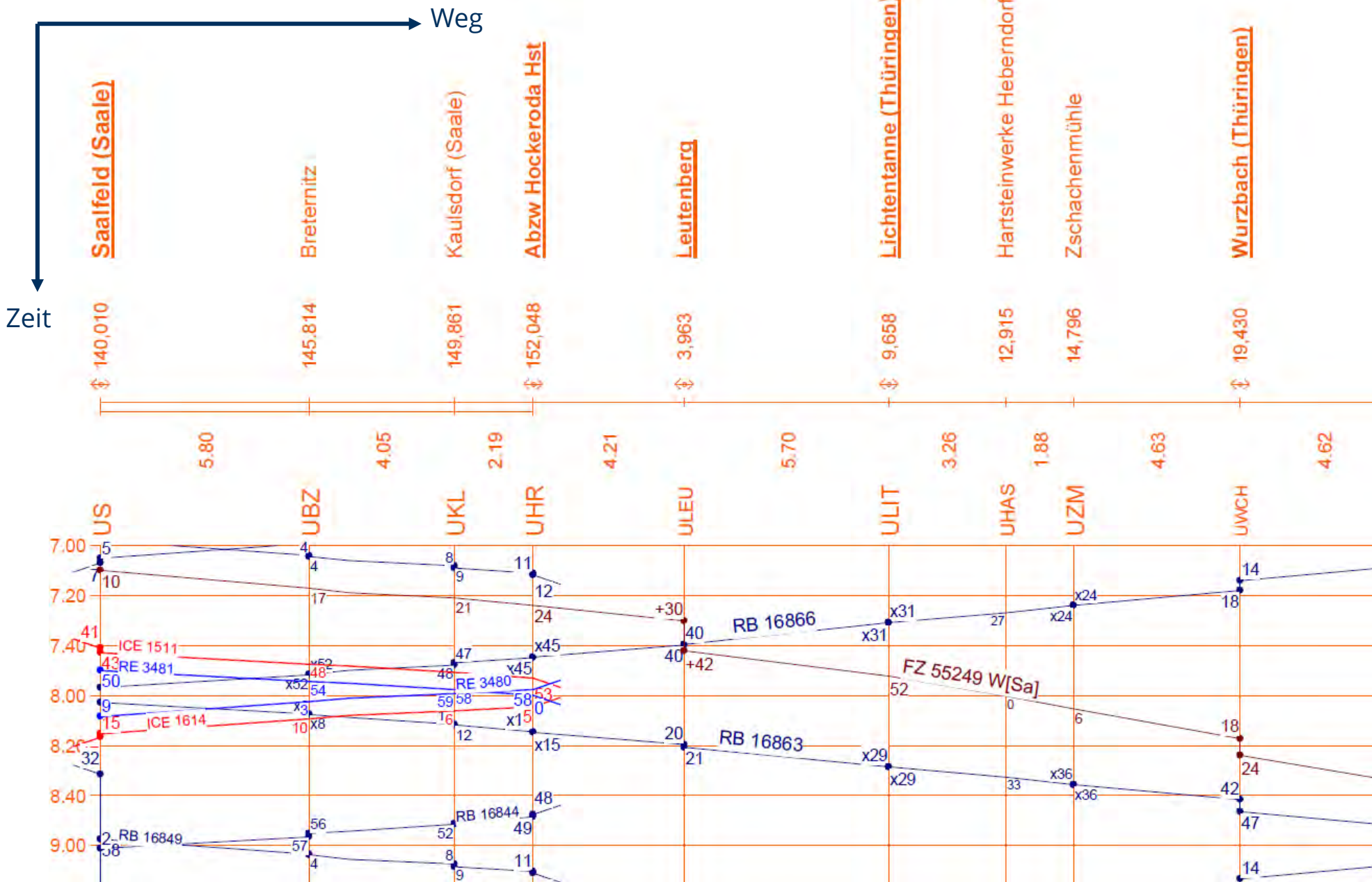
## Bsp. reales Fahrspiel



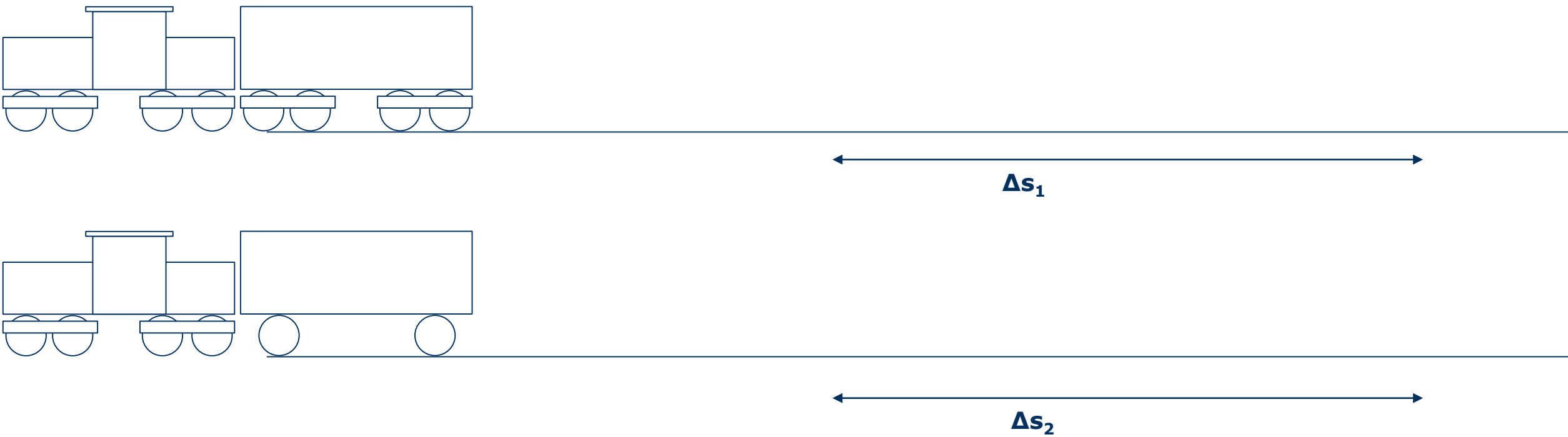
## Alternative Darstellung: Weg/Zeit-Diagramm (Anwendung: Bildfahrplan)



# Beispiel Bildfahrplan



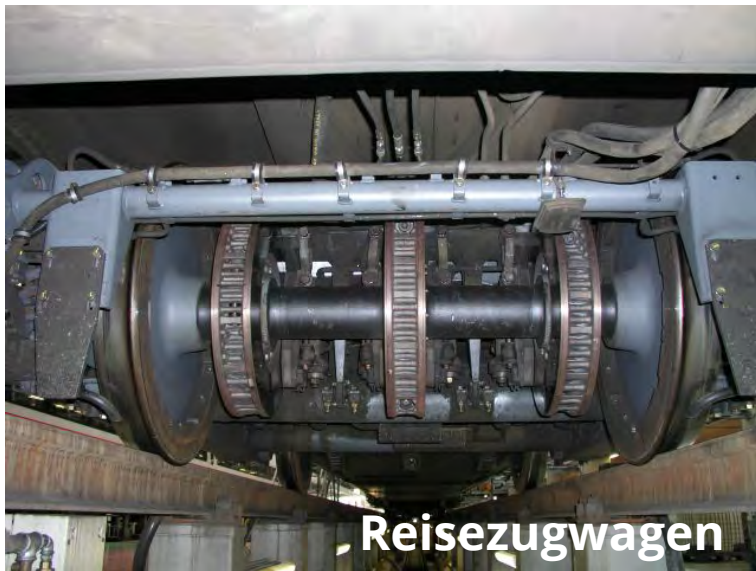
# Gedankenexperiment - Abstoßversuch



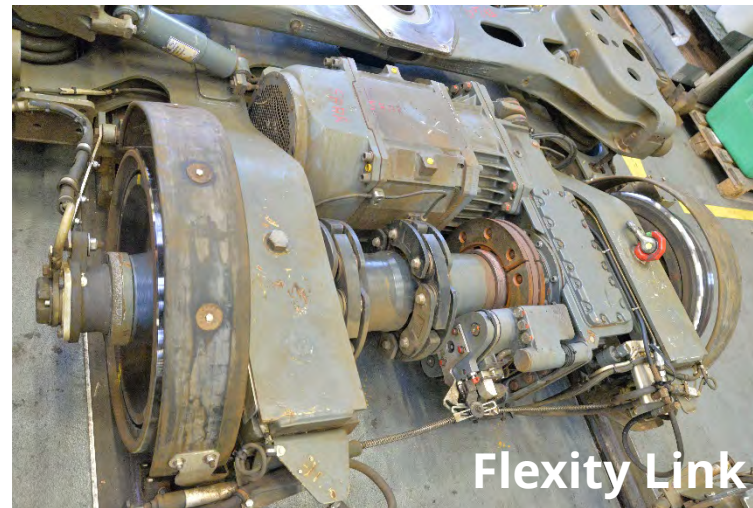
Wagenmassen:	$m_1 = m_2$
Wagenquerschnitte:	$A_1 = A_2$
Geschwindigkeit:	$v_{01} = v_{02}$ (im Moment des Abstoßens)
Fahrwiderstand:	konstant und gleich für beide Wagen

**Welcher Wagen rollt weiter?      Wagen1 / Wagen2 / keiner von beiden**

# Laufradsätze



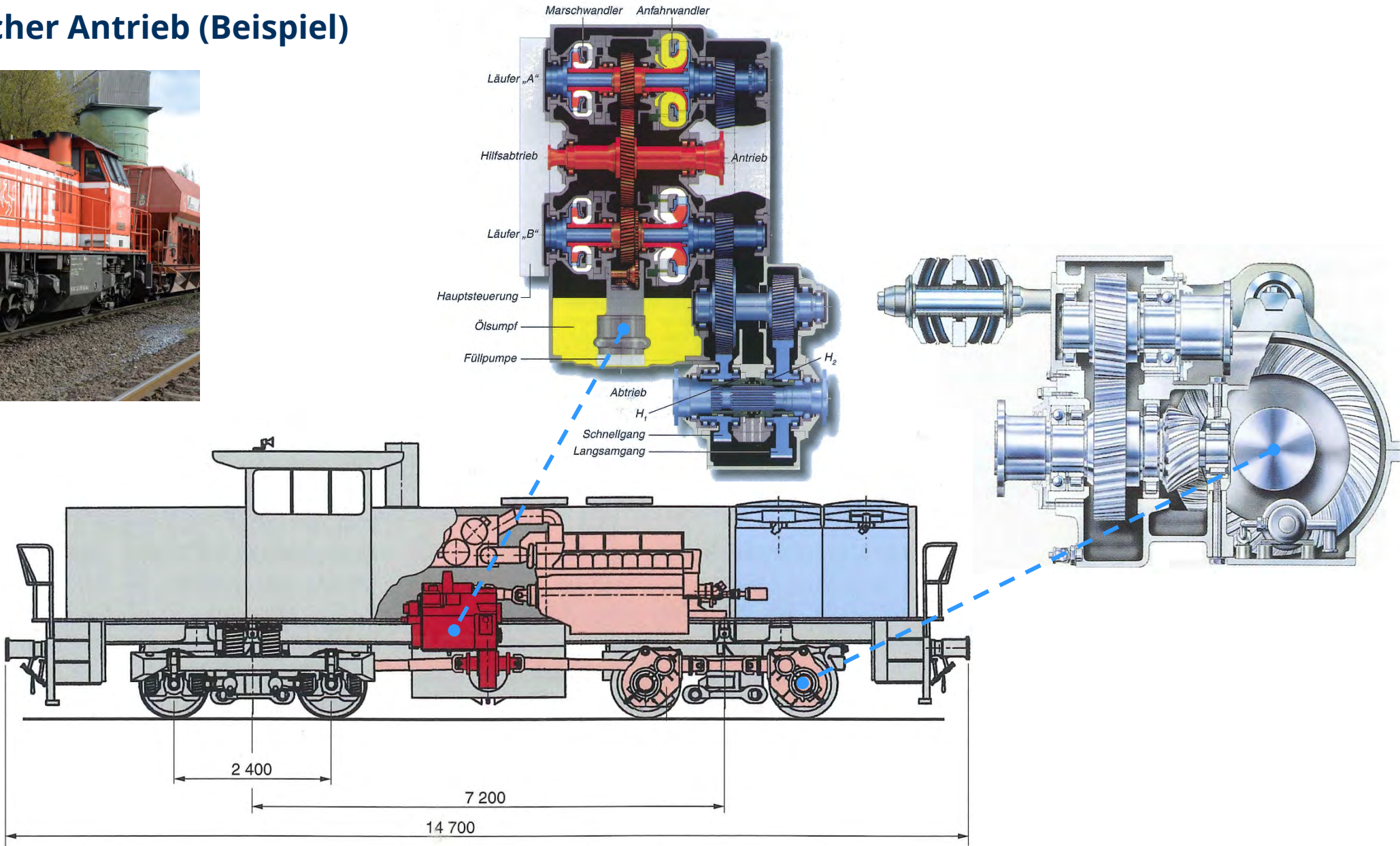
# Treibradsätze



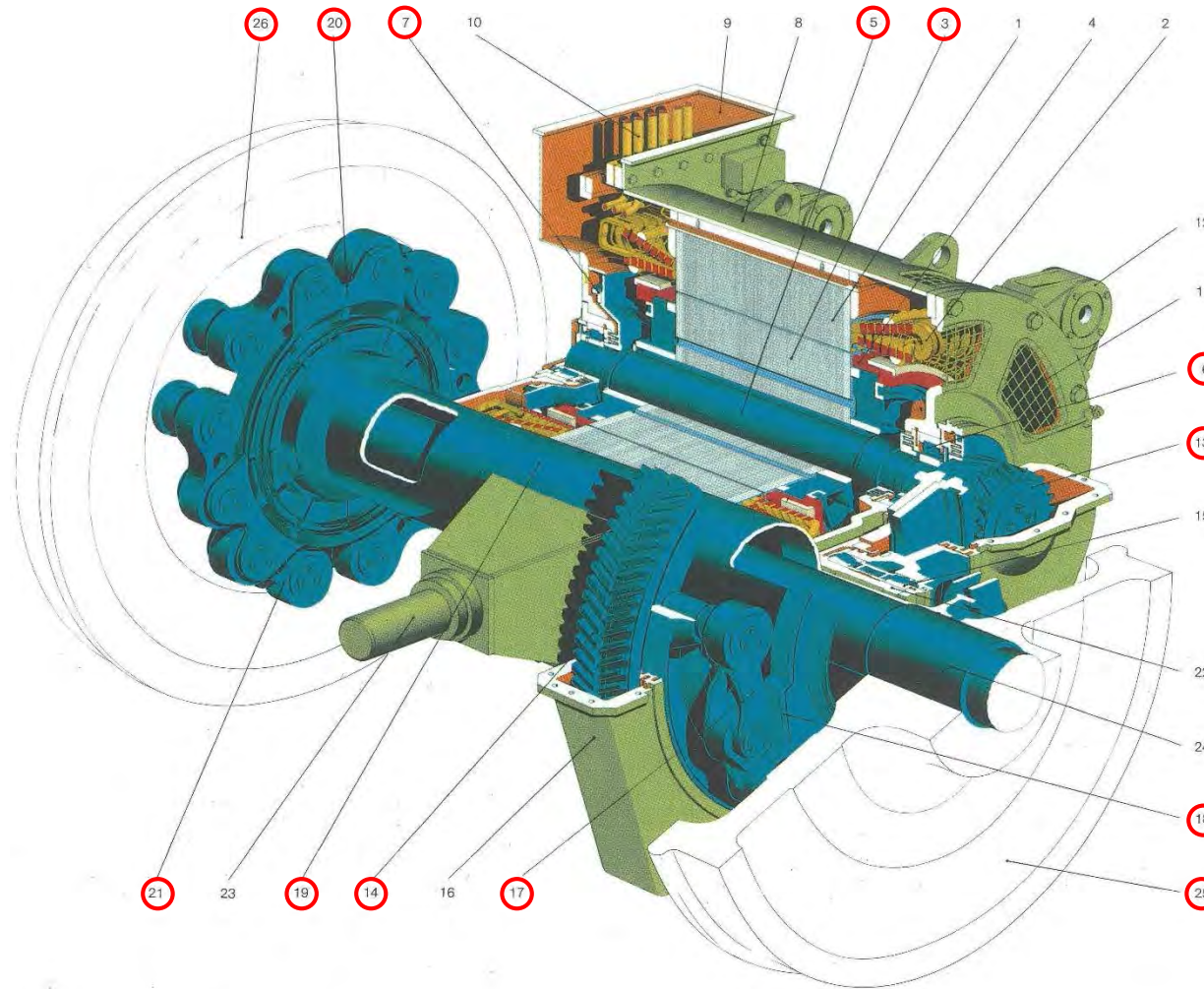
# Schema hydraulischer Antrieb (Beispiel)



Vossloh G 1206



# Elektrischer Antrieb - Beispiel BR 120



## Fahrmotor

- |                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| 1 Ständerblechpaket   | 7 Impulszahnscheibe       |
| 2 Ständerwicklung     | 8 Gehäuse                 |
| 3 Läuferblechpaket    | 9 Lufteintrittsöffnung    |
| 4 Kurzschlußwicklung  | 10 Anschlußkabel          |
| 5 Welle               | 11 Luftaustrittsöffnungen |
| 6 Zylinderrollenlager | 12 Befestigungsaugen      |

## Getriebe

- |                    |
|--------------------|
| 13 Ritzel          |
| 14 Großrad         |
| 15 Großradlager    |
| 16 Radschutzkasten |

## Gummigelenk-Kardantrieb

- |                        |
|------------------------|
| 17 Gelenkhebelkupplung |
| 18 Hohlwellenstern     |
| 19 Hohlwelle           |
| 20 Gabelstern          |
| 21 Gelenkhebelkupplung |
| 22 Hohlwellengehäuse   |
| 23 Tragarm             |

## Radsatz

- |                                   |
|-----------------------------------|
| 24 Radsatzwelle                   |
| 25 Scheibenrad                    |
| 26 Scheibenrad mit Antriebsbolzen |



BR 120 der DB AG

○ Rotierende Komponenten

Quelle: Brown Boverie & Cie  
(aus: Mehltrittner „Elektrische Triebfahrzeuge“,  
Motorbuchverlag, 1986)

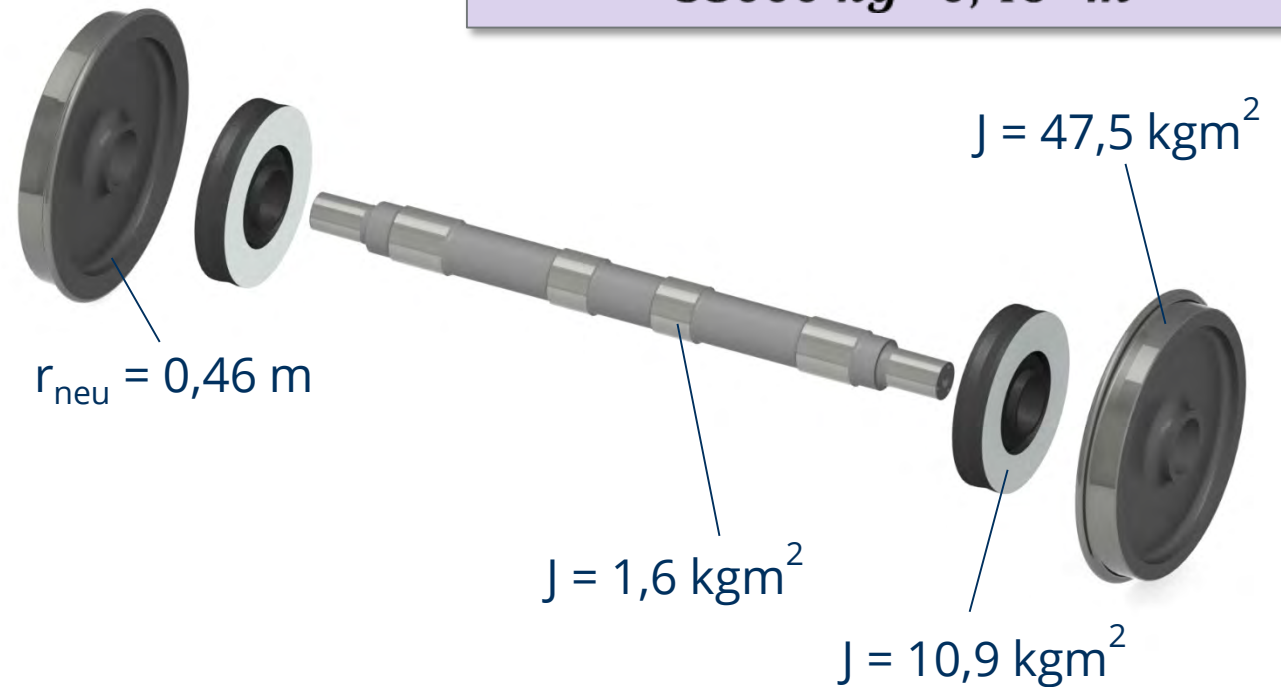
## Beispiel Reisezugwagen



$$m = 35 \text{ t} = 35.000 \text{ kg}$$

4 Radsätze mit je 2 Wellenbremsscheiben

$$\xi = 1 + \frac{4 \cdot 118,4 \text{ kgm}^2}{35000 \text{ kg} \cdot 0,46^2 \text{ m}^2} = 1,06$$



$$J_{\text{ges}} = 1,6 \text{ kgm}^2 + 10,9 \text{ kgm}^2 \cdot 2 + 47,5 \text{ kgm}^2 \cdot 2 = \mathbf{118,4 \text{ kgm}^2}$$

# Fahrdynamischer Massenfaktor – Beispiele



E-Lok  
(Drehstrom)

$\xi = 1,10 \dots 1,12$



Dieselelektrische  
Lokomotiven:

$\xi = 1,08 \dots 1,20$



Straßenbahn:

$\xi = 1,09 \dots 1,12$



E-Lok:  
(Altbau)

$\xi = 1,15 \dots 1,20$



Dieselhydraulische  
Lok:

$\xi = 1,04 \dots 1,07$



S-Bahn:

$\xi = 1,06 \dots 1,08$



ICE:

$\xi = 1,04 \dots 1,20$



Dieseltriebwagen:

$\xi = 1,04 \dots 1,06$

# Fahrdynamischer Massenfaktor – Beispiele



Reisezugwagen:

$$\xi = 1,06 \dots 1,09$$



Reisezug:

$$\xi = 1,07 \dots 1,1$$



Güterwagen

leer:  
 $\xi = 1,08 \dots 1,10$

beladen:  
 $\xi = 1,03 \dots 1,04$



Güterzug mit  
leeren Wagen:

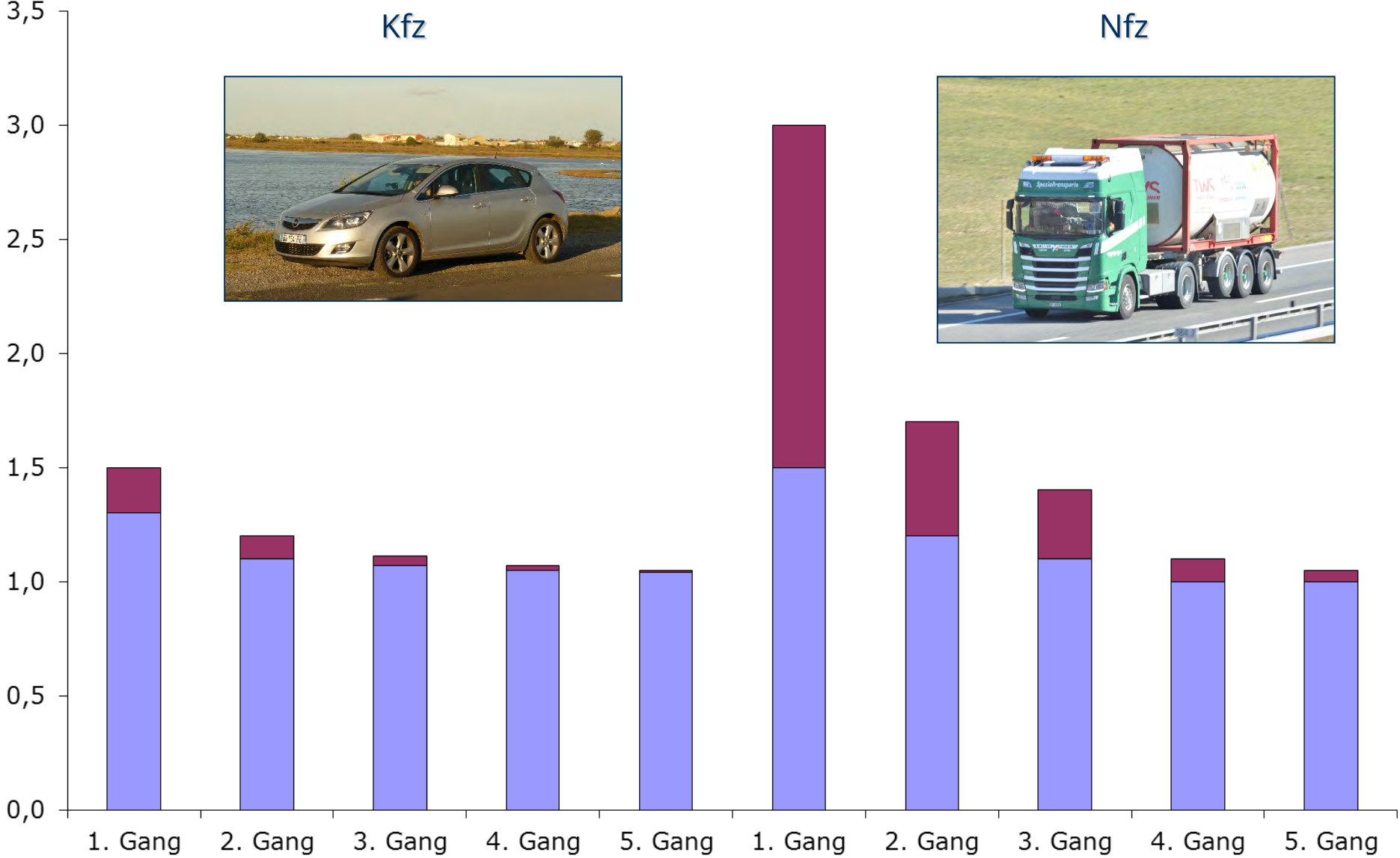
$$\xi = 1,1 \dots 1,15$$



Güterzug mit  
beladenen Wagen:

$$\xi = 1,02 \dots 1,06$$

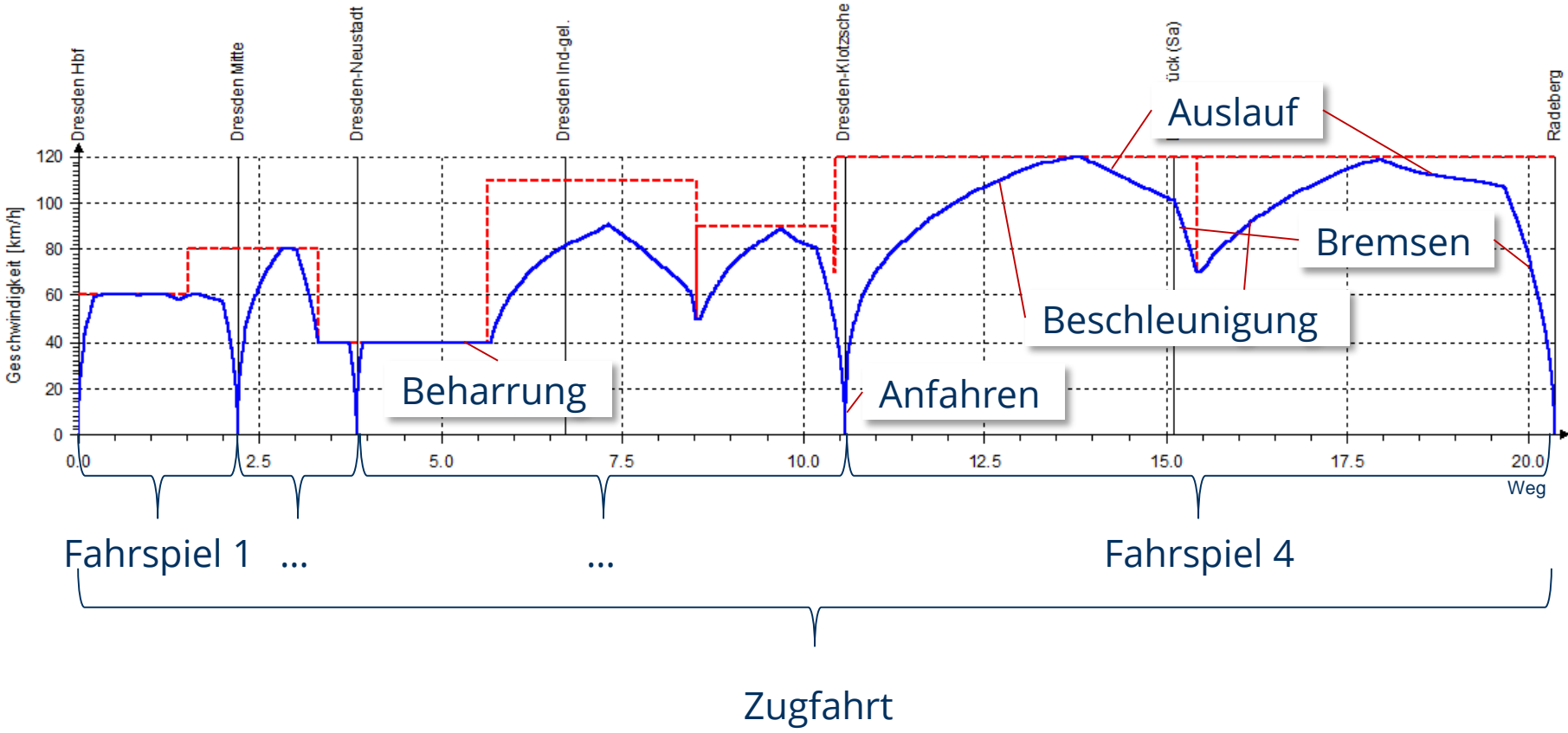
# Massenfaktoren von Straßenfahrzeugen



# Zusammenfassung



# Wiederholung: Fahrspiel



$$v = \int \ddot{x} dt + v_0 \quad \ddot{x} = \frac{F_T - F_{WFT} - F_{WS} - F_B}{\xi m}$$