

Fakultät Verkehrswissenschaften „FRIEDRICH LIST“  
Professur für Technik spurgeführter Fahrzeuge

# Fahrdynamik für Verkehrsingenieure

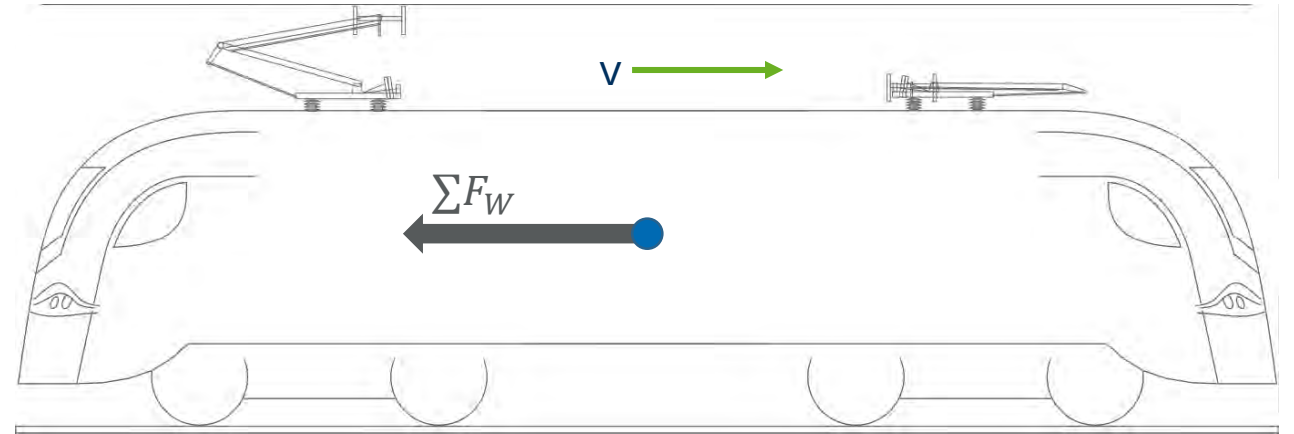
## Sommersemester 2019

Dr.-Ing. Martin Kache



# Vorlesungsinhalte (Schwerpunkt: Schienenverkehr)

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



# Fahrwiderstand – Größenordnung (Personenverkehr)

## Triebwagen



ca. 100 t

Fahrzeugwiderstand bei 100 km/h  
in der Ebene:

**6,4 kN**

Fahrzeugwiderstand je Passagier  
bei 67% Auslastung (90 Pers.):

**71 N/Pers.**

Massenspezifischer Fahrzeugwiderstand  
bei 67% Auslastung (90 Pers.):

**60 N/t**

## Reisebus



ca. 20 t

Fahrzeugwiderstand bei 100 km/h  
in der Ebene:

**3,7 kN**

Fahrzeugwiderstand je Passagier  
bei 67% Auslastung (40 Pers.):

**93 N/Pers.**

Massenspezifischer Fahrzeugwiderstand  
bei 67% Auslastung (40 Pers.):

**161 N/t**

# Fahrwiderstand – Größenordnung (Güterverkehr)

## Güterzug



$m_z = 1600 \text{ t}$

Nutzlast: 1224 t

Fahrzeugwiderstand bei 80 km/h  
in der Ebene:

**45,3 kN**

Fahrzeugwiderstand je Tonne:

**28 N/t**

Fahrzeugwiderstand je Tonne Nutzlast:

**37 N/t**

## Lkw



$m = 40 \text{ t}$

Nutzlast: 28 t

Fahrzeugwiderstand bei 80 km/h  
in der Ebene:

**5,7 kN**

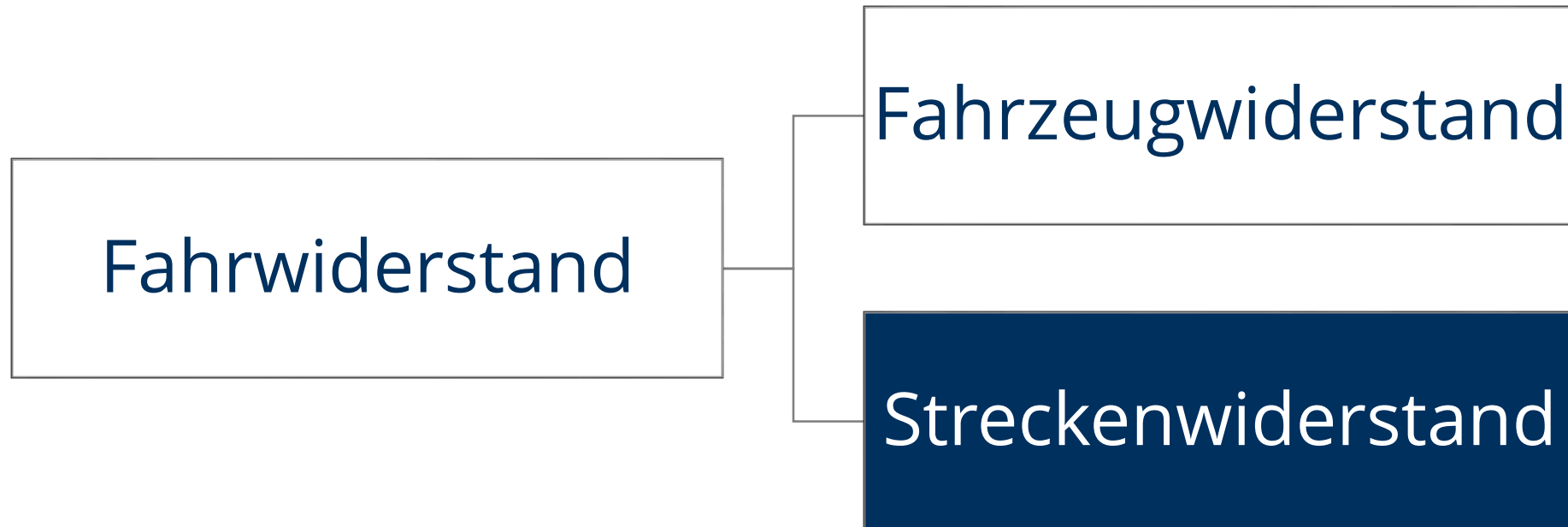
Fahrzeugwiderstand je Tonne:

**142 N/t**

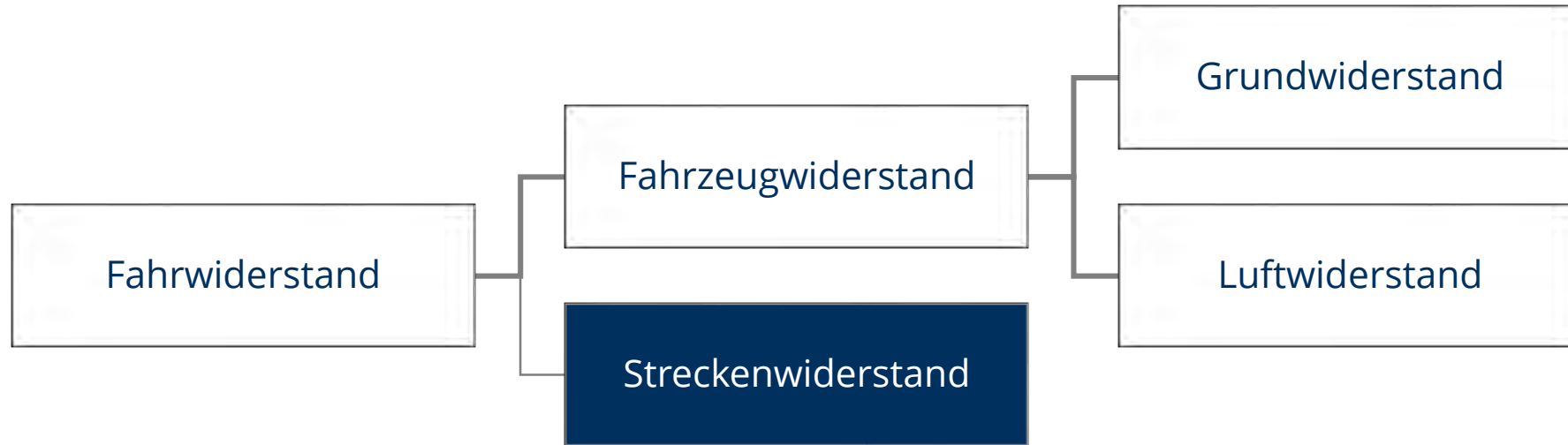
Fahrzeugwiderstand je Tonne Nutzlast:

**204 N/t**

# Fahrwiderstand - Widerstandshierarchie

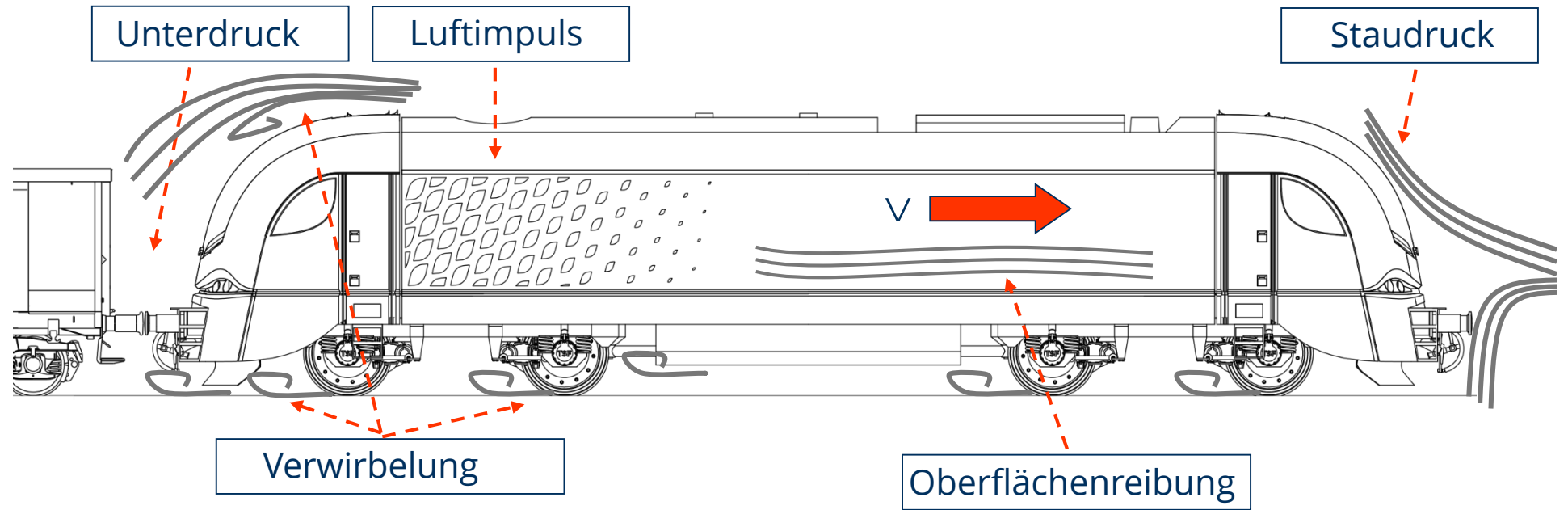


# Fahrwiderstand - Widerstandshierarchie

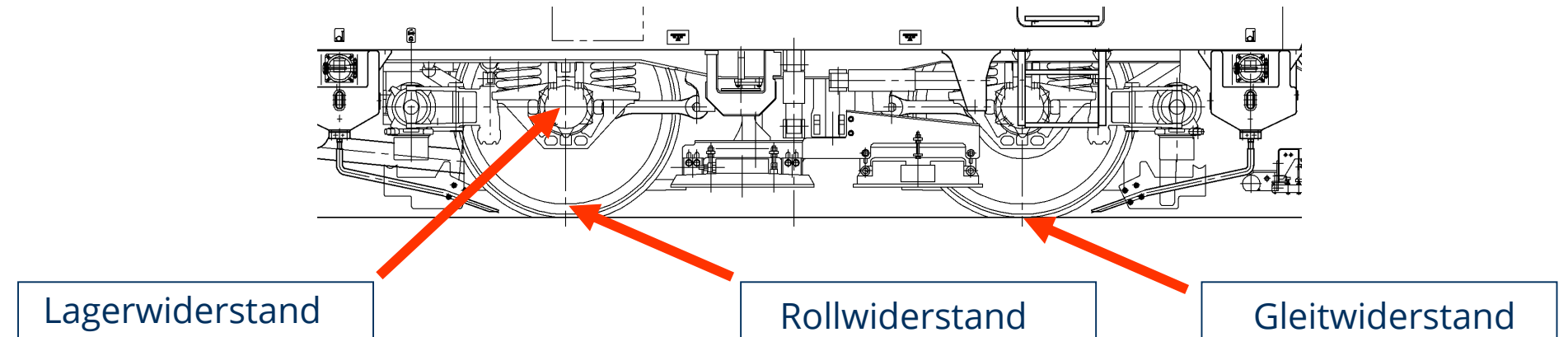


# Fahrzeugwiderstand - Entstehung

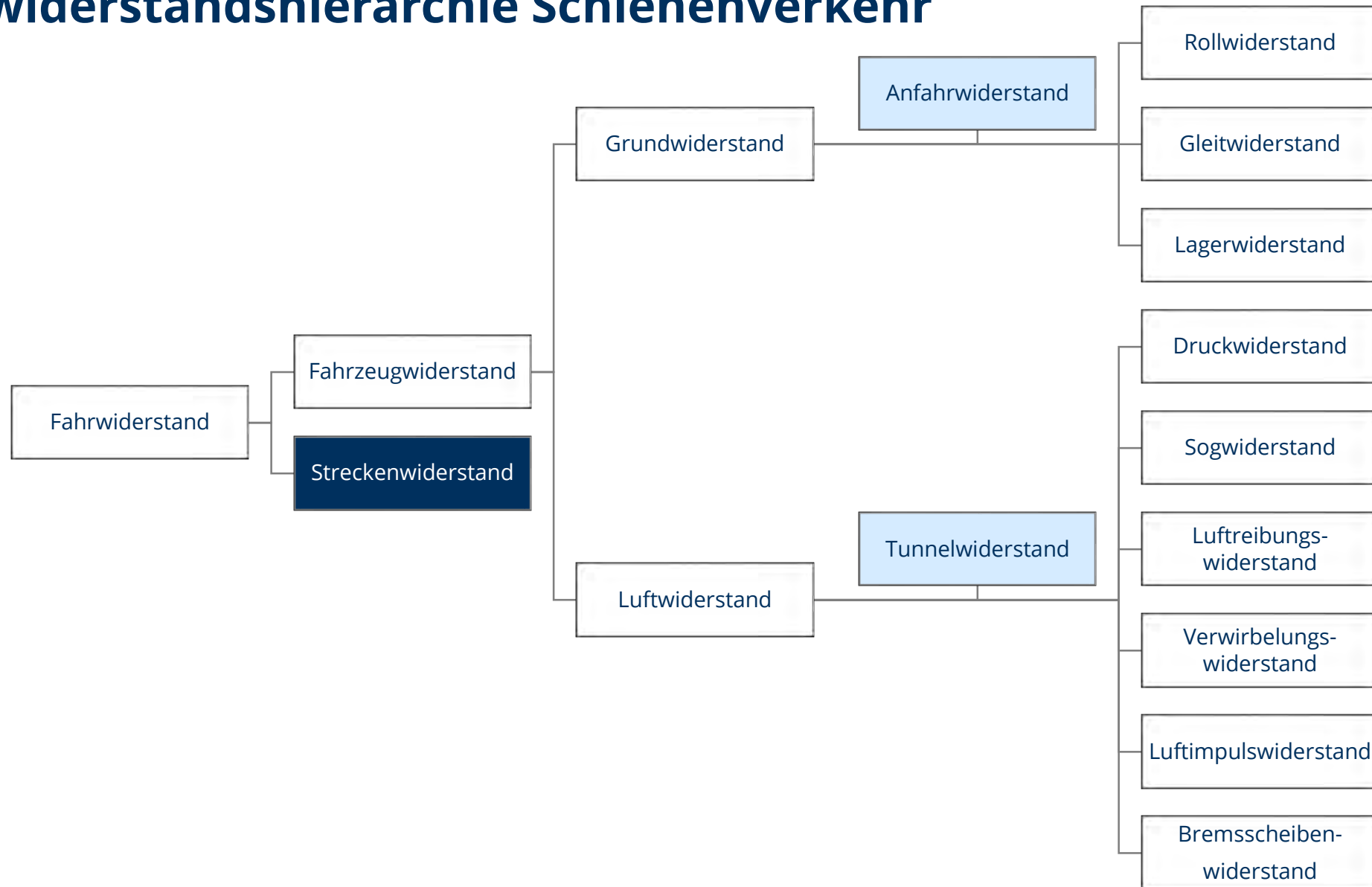
## Luftwiderstand



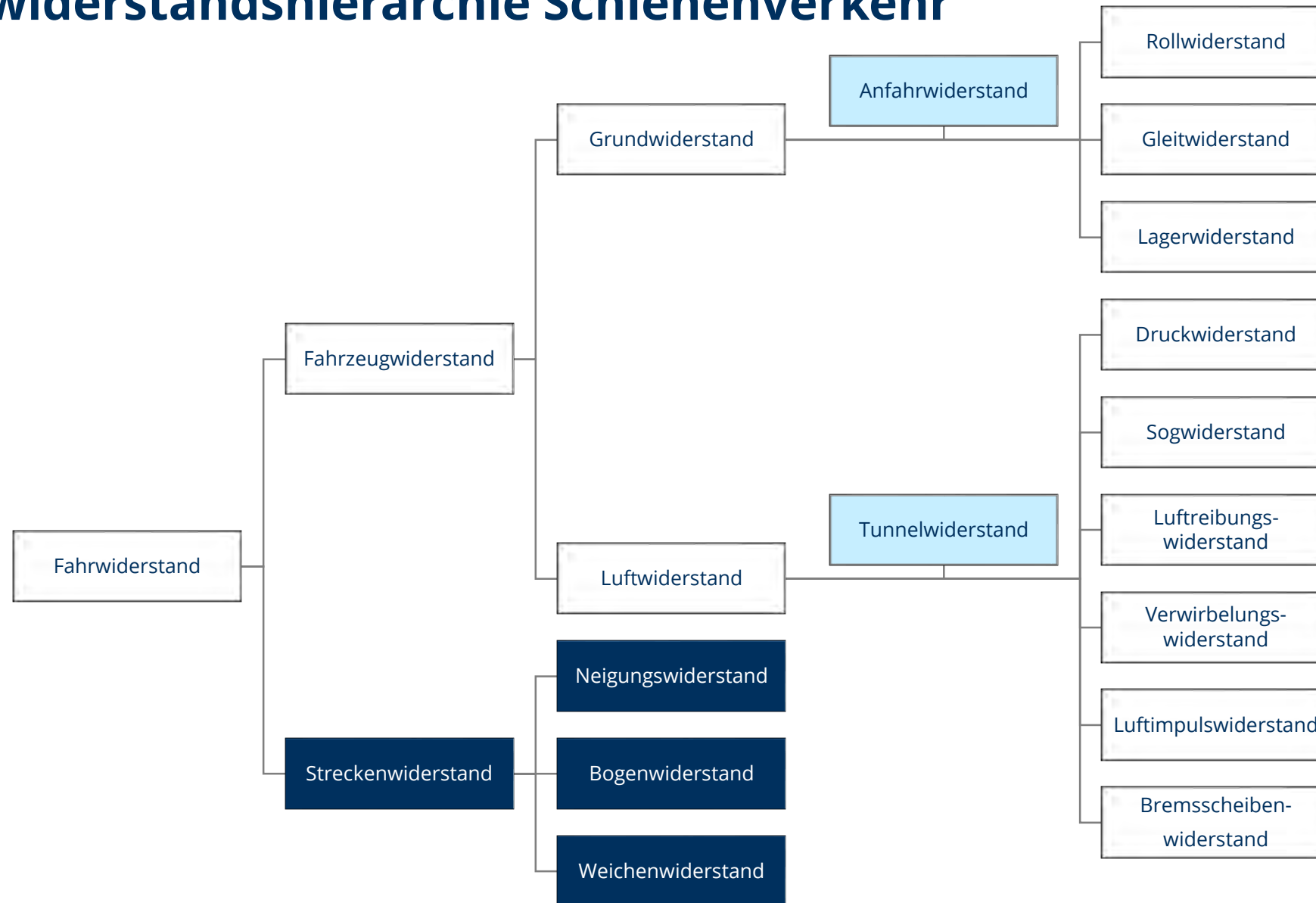
## Grundwiderstand



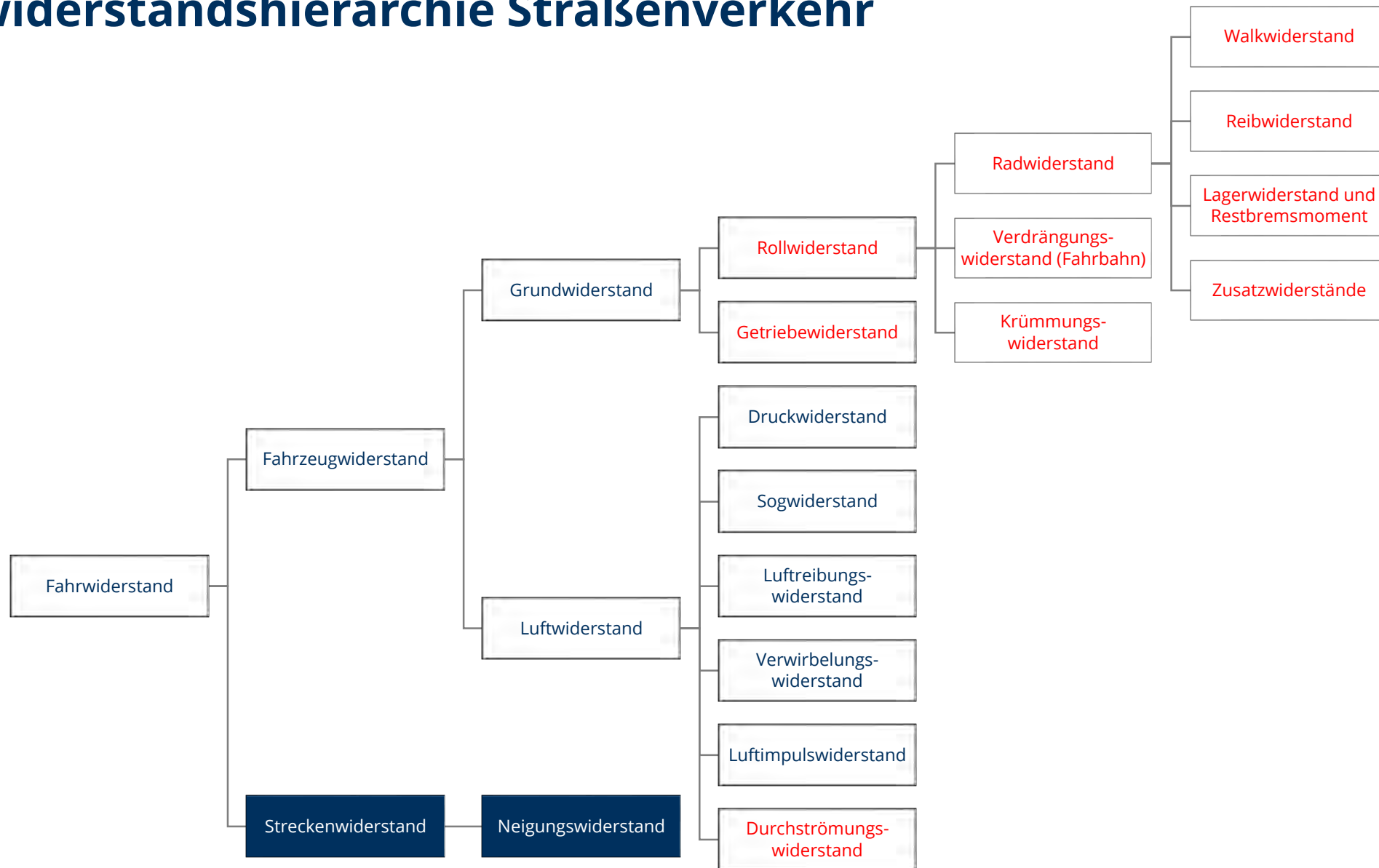
# Fahrzeugwiderstandshierarchie Schienenverkehr



# Fahrzeugwiderstandshierarchie Schienenverkehr



# Fahrzeugwiderstandshierarchie Straßenverkehr



# Fahrzeugwiderstand – Einfluss Fahrweg

Asphalt



$$f_{WR} = 0,010$$

Beton



$$f_{WR} = 0,011...0,014$$

Kopfsteinpflaster



$$f_{WR} = 0,015...0,030$$

Erde



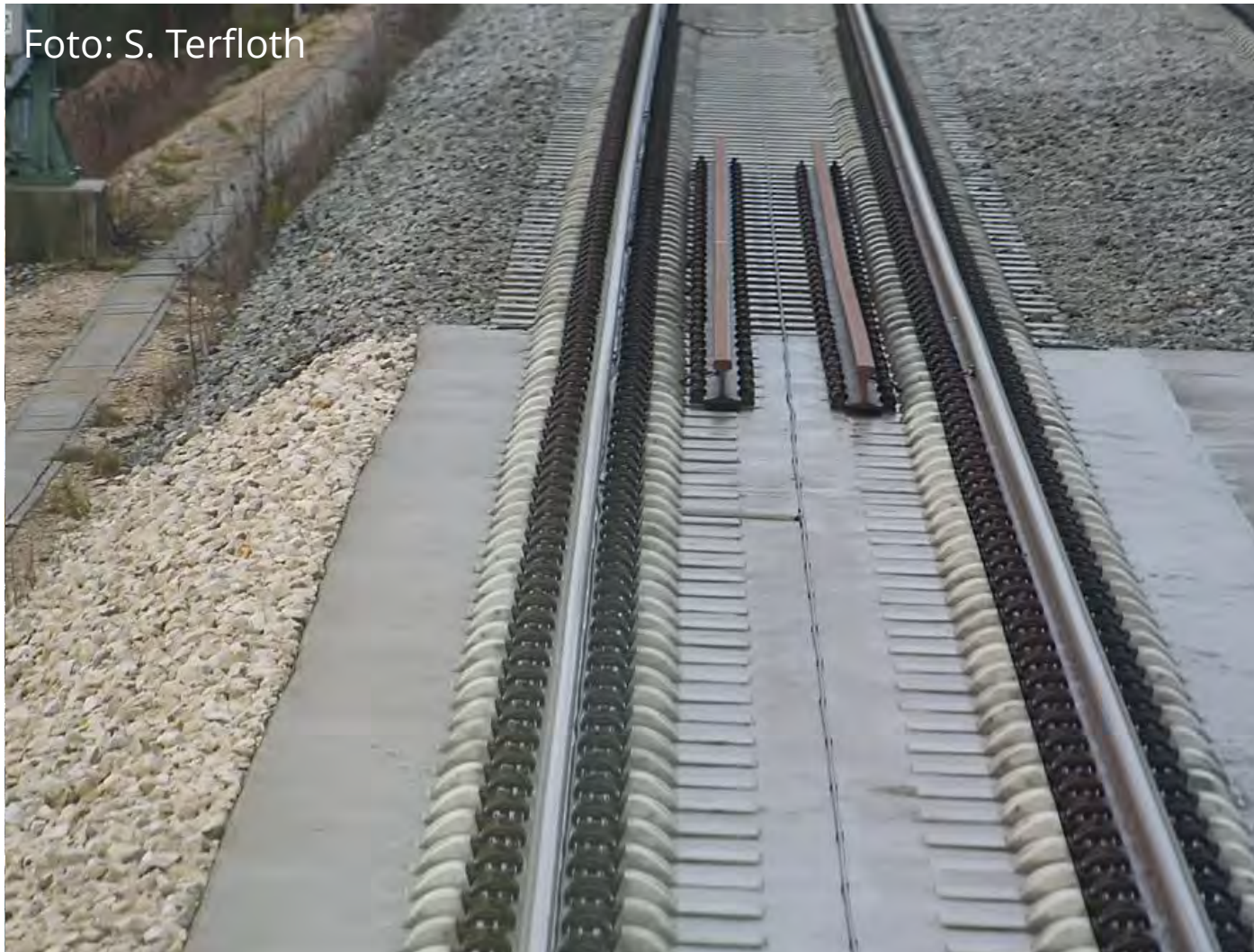
$$f_{WR} = 0,045...0,100$$

Schlamm



$$f_{WR} = 0,35$$

# Fahrzeugwiderstand – Einfluss Fahrweg



- Gleislage
- Verbindung der Schienen
- Untergrund

# Rollwiderstand - Schienenfahrzeuge vs. Straßenfahrzeuge

## Reisezugwagen



## Reisebus



**Daumenregel:**  
Der spezifische Grundwiderstand von Straßenfahrzeugen ist im Allgemeinen um den **Faktor 10** größer als der von Schienenfahrzeugen.

Fahrzeugmasse: ca. 40-45 t

Fahrzeugmasse: ca. 18 t

absolute Rollwiderstandskraft: 0,27...1,33 kN

absolute Rollwiderstandskraft: ca. 1,20...1,80 kN

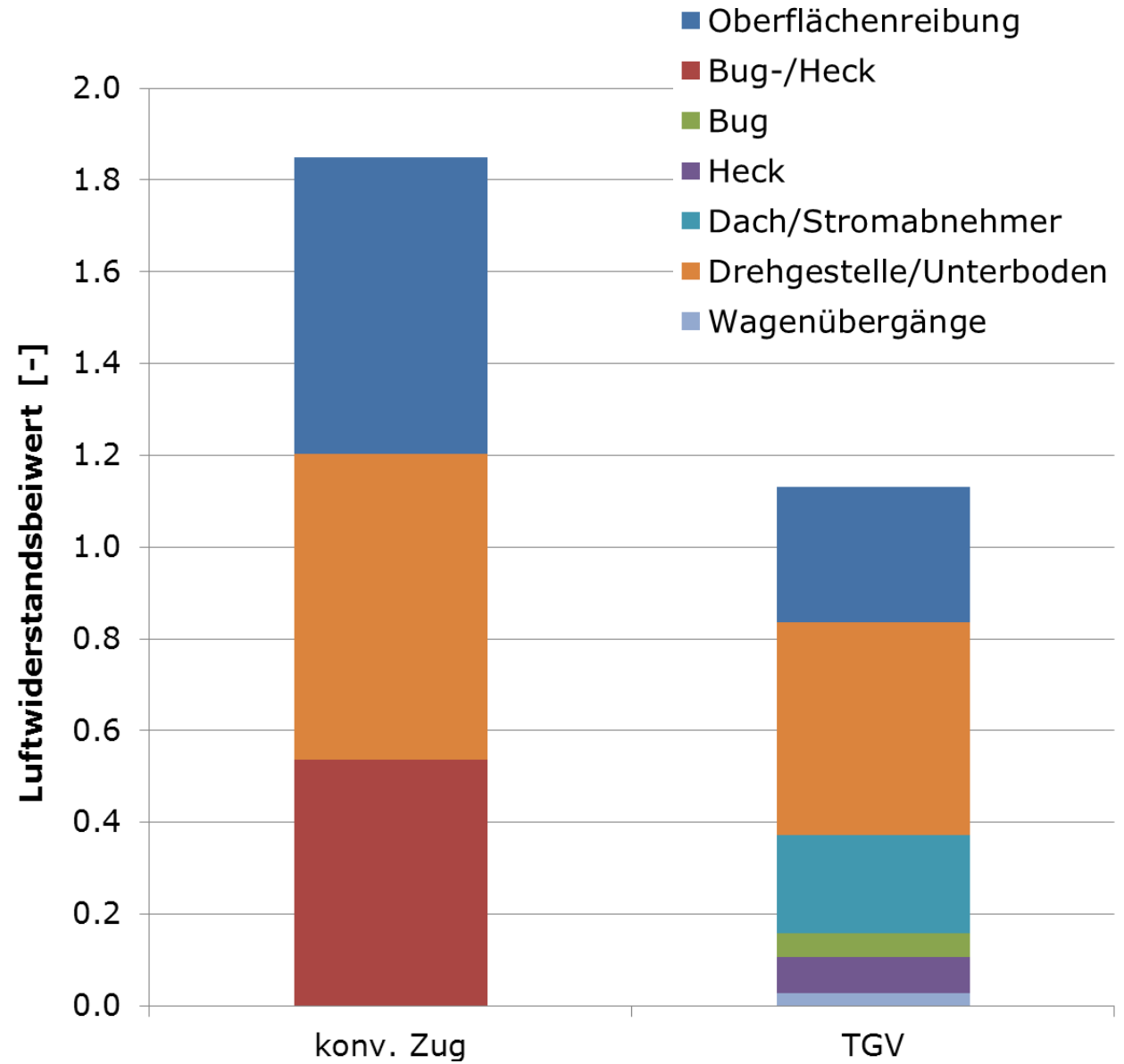
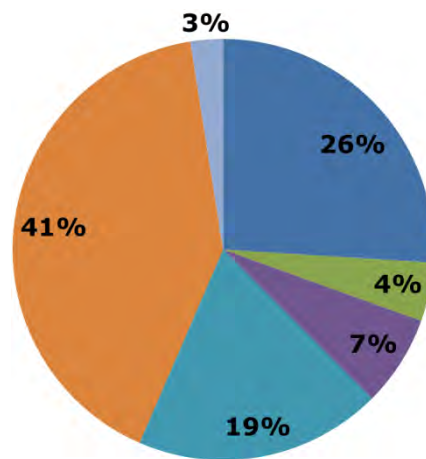
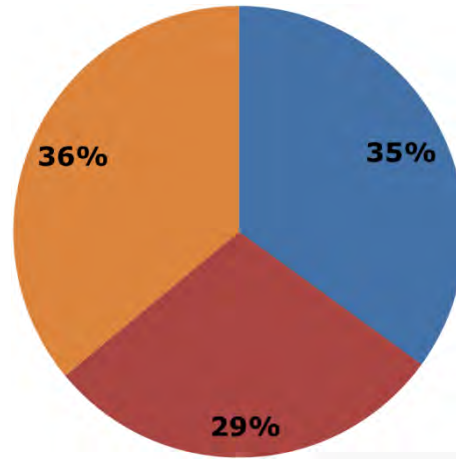
spezifischer Rollwiderstand: 0,0006...0,0033

spezifischer Rollwiderstand: 0,0700...0,0100

(Quelle: Messungen DB)

**spez. Grundwiderstand Straße/Schiene: Faktor 2...17**

# Luftwiderstandskomponenten bei Zügen



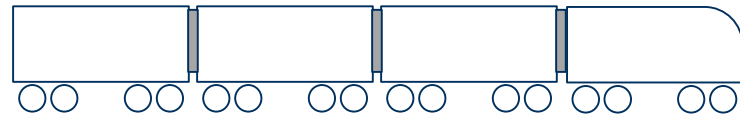
# Einflussfaktoren Luftwiderstand von Zügen



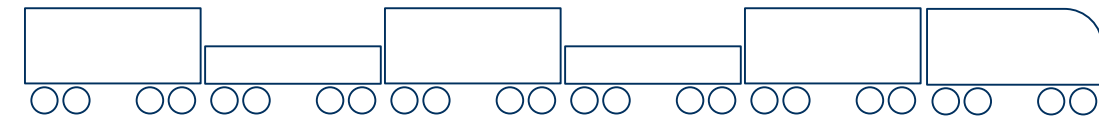
Formgebung Bug/Heck



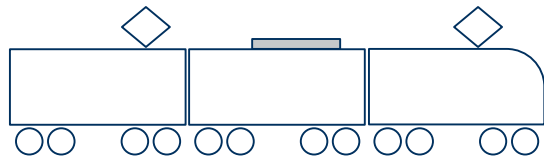
Zuglänge



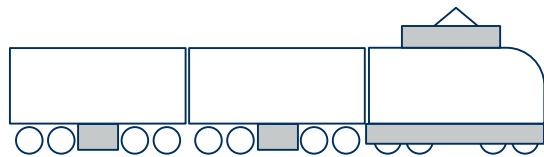
Wagenübergänge



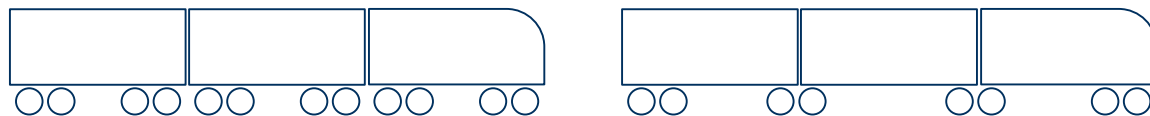
Querschnittswechsel



Dachausrüstung



Verkleidungen



Fahrwerksart

# Luftwiderstand und HGV

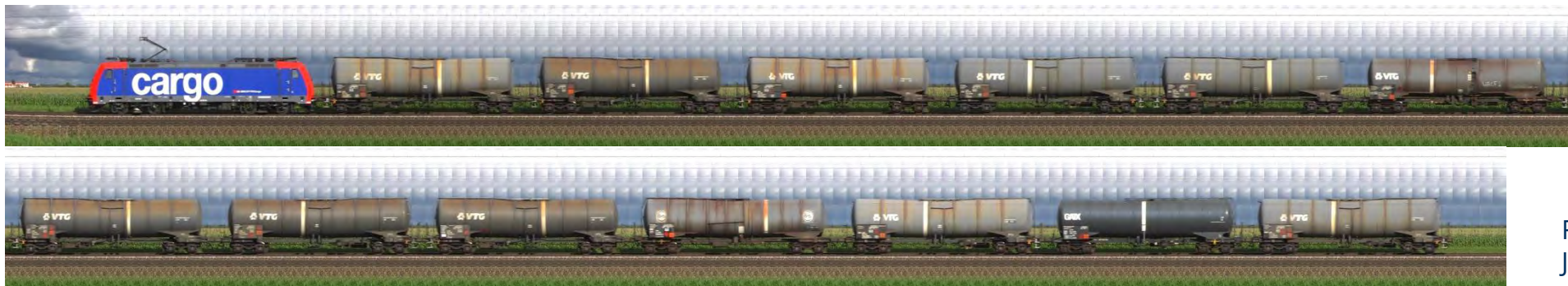


# Luftwiderstand und (Güter-)Zugart

Bsp. 1: Containerzug mit unvollkommener Beladung



Bsp. 2: Güterganzzug mit Kesselwagen



Fotos:  
Johannes Stier

# $c_w$ - Werte ausgewählter Fahrzeugarten



Pkw:  $c_w \approx 0,24...0,41$



Busse:  $c_w \approx 0,35...0,60$



ICE:  $c_w = 1,55$   
ICE-Triebkopf:  $c_w = 0,21$



Ellok:  $c_w = 0,64$   
Ellok vor Zug:  $c_w = 0,53$



Lkw (einzeln):  $c_w \approx 0,44...0,64$

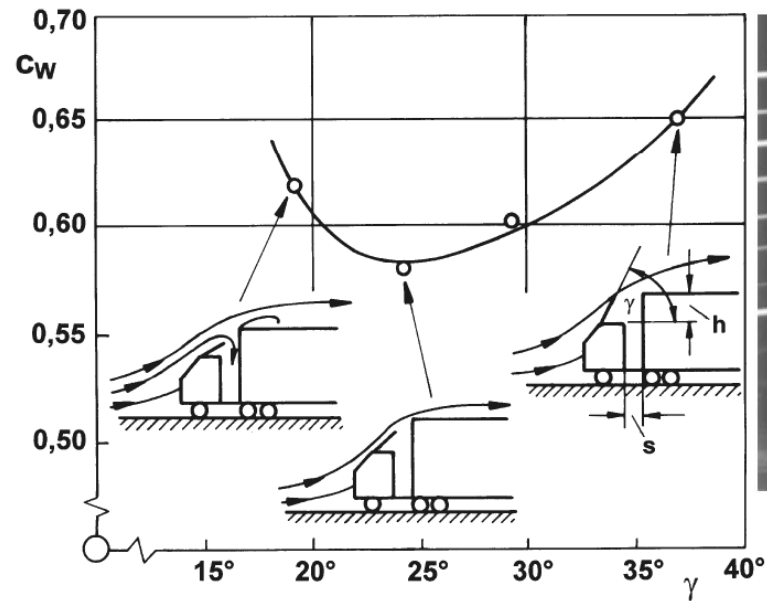


Lkw (Lastzug):  $c_w \approx 0,58...0,88$



Lkw (Sattelzug):  $c_w \approx 0,49...0,77$

# Aerodynamische Optimierung von Nutzfahrzeugen



Quelle: W.-H. Hucho „Aerodynamik der stumpfen Körper“ Vieweg+Teubner, Wiesbaden 2011

# Tunnelwiderstand



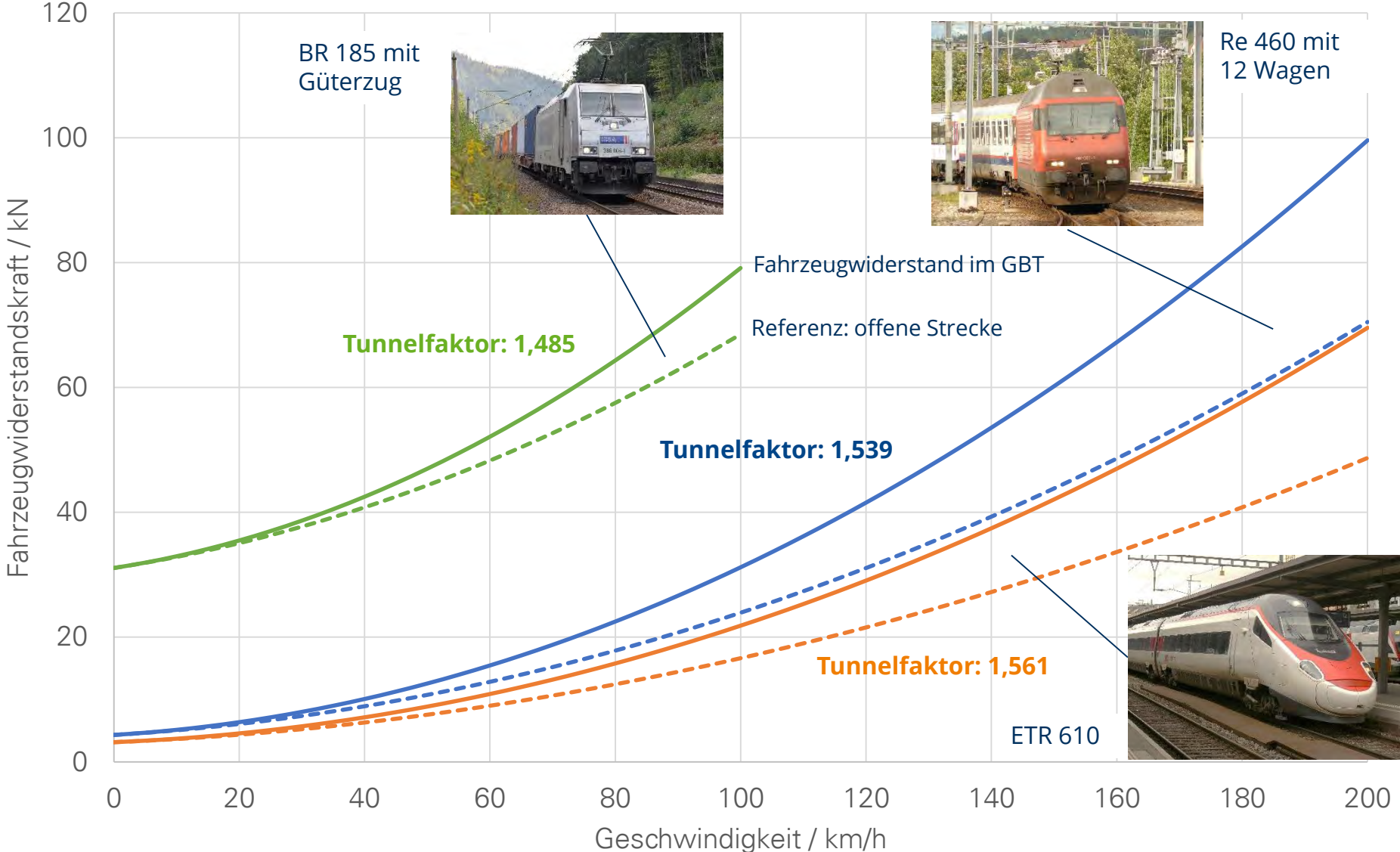
## Ursachen:

- Behinderung der Luftströmung
- Luftreibung im Luftspalt zu Tunnelwänden

## Einflüsse:

- Tunnelquerschnitt
- Tunnellänge
- Rauheit der Tunnelwände

# Luftwiderstand im Gotthard-Basistunnel (GBT)



Datenbasis: Schranil/Lavanchy: „Fahr-dynamische Messfahrten im Gotthard-Basistunnel“, eb 114 (2016), Heft 7, S. 388ff.