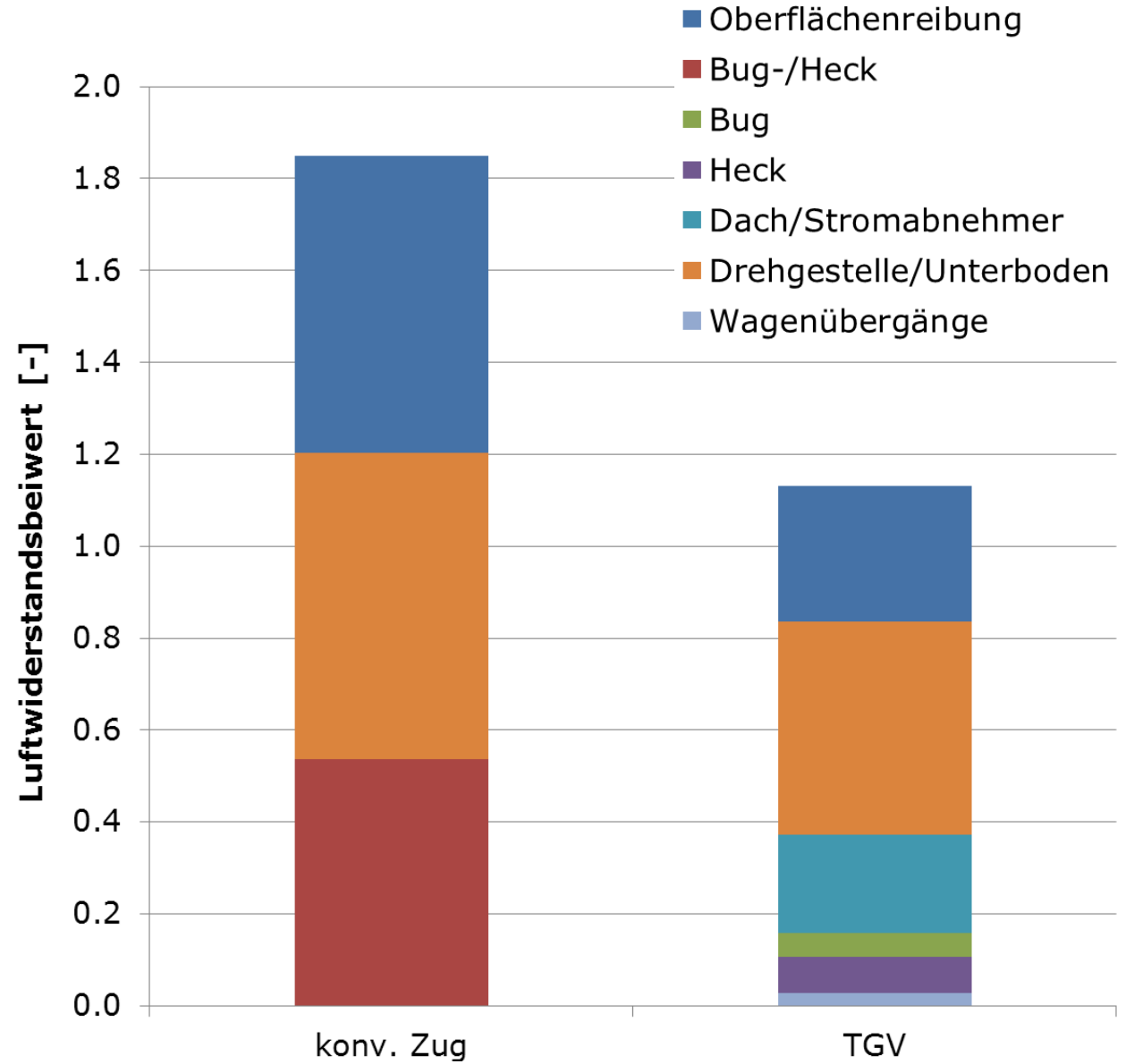
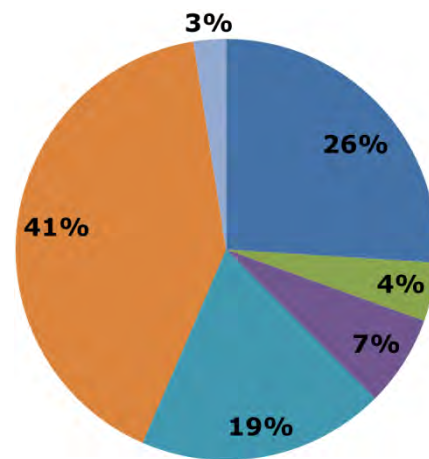
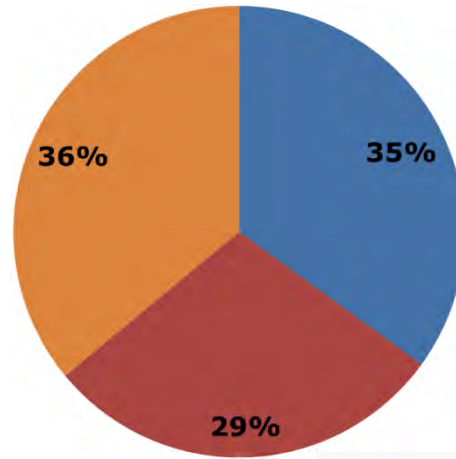


Luftwiderstand



Luftwiderstandskomponenten bei Zügen



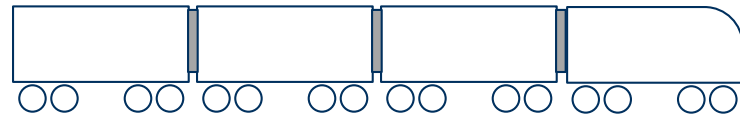
Einflussfaktoren Luftwiderstand von Zügen



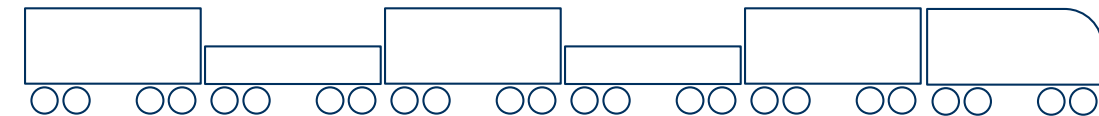
Formgebung Bug/Heck



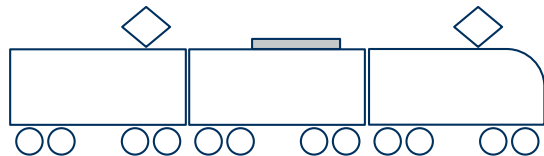
Zuglänge



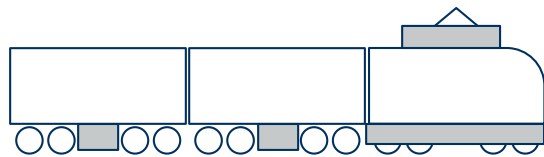
Wagenübergänge



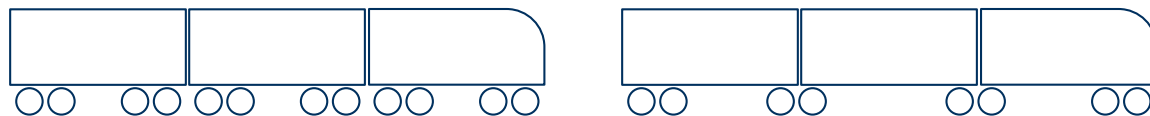
Querschnittswechsel



Dachausrüstung



Verkleidungen



Fahrwerksart

Luftwiderstand und HGV

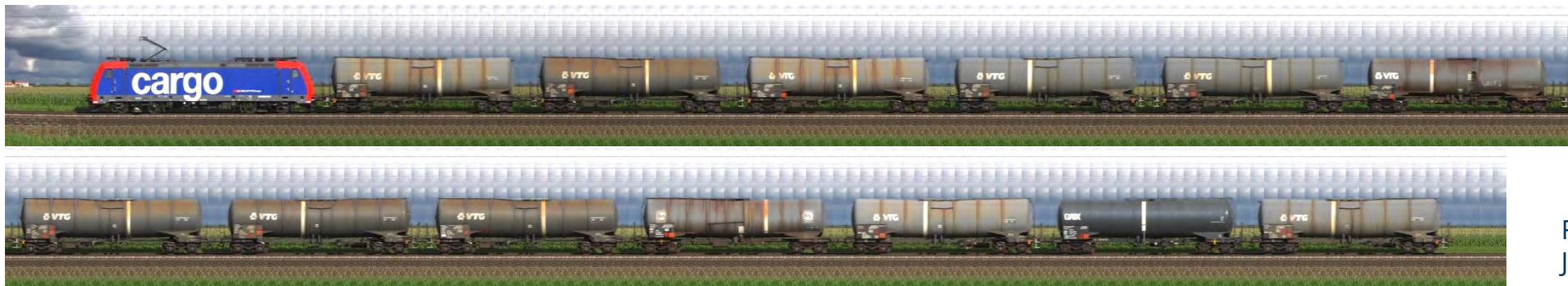


Luftwiderstand und (Güter-)Zugart

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): $c_w \approx 0,44...0,64$

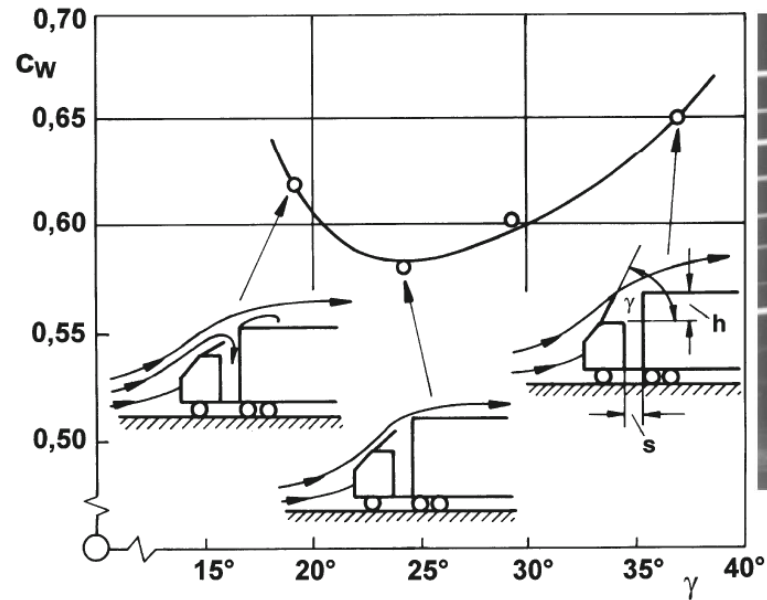


Lkw (Lastzug): $c_w \approx 0,58...0,88$



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

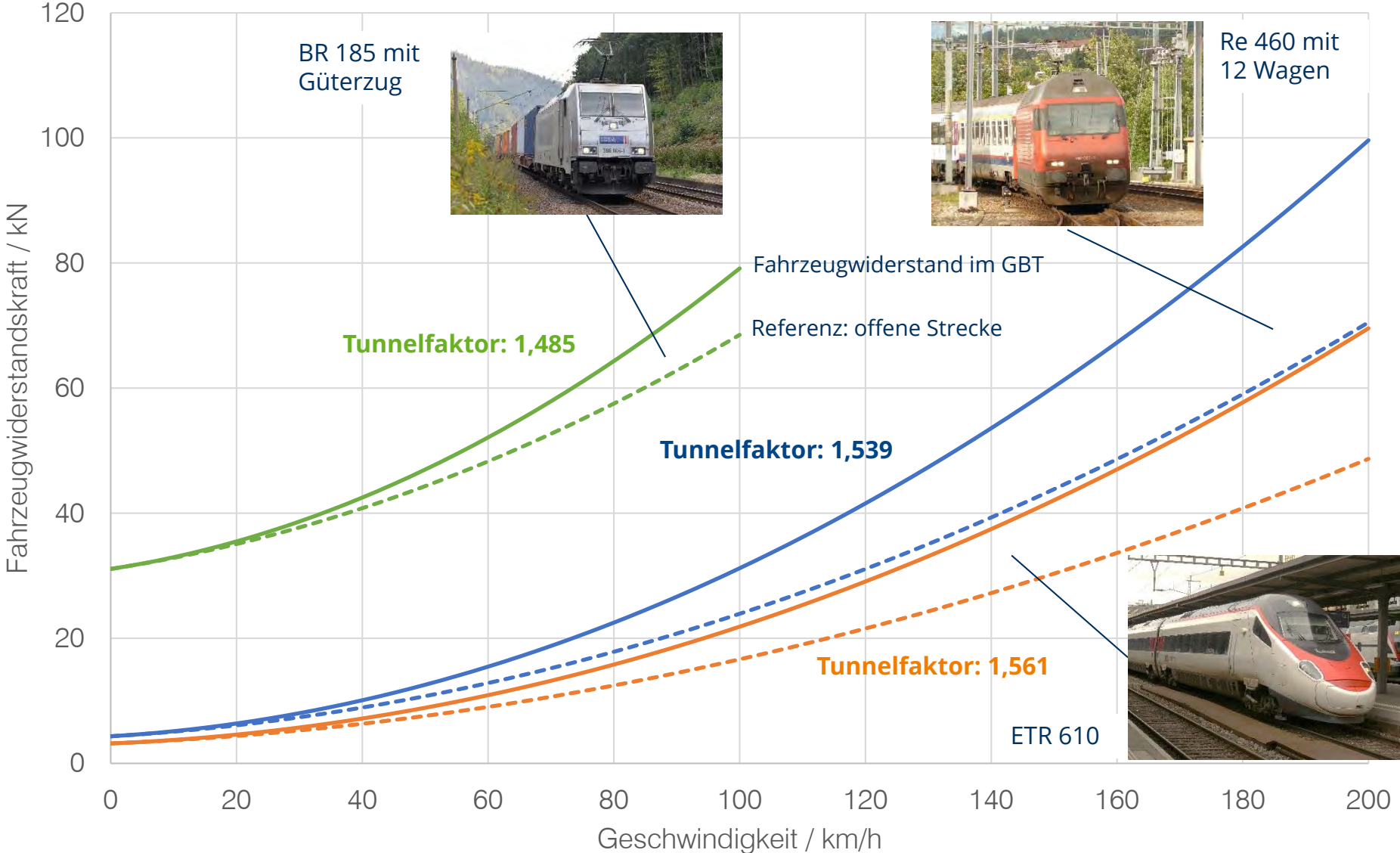
Luftwiderstand im Gotthard-Basistunnel (GBT)



Karte: wikipedia (User: Tschubby)



Gotthard-Basistunnel
 Bj. 1999-2016
 $A = 41,0 \text{ m}^2$
 $k_v = 0,24$
 $l_{Tu} = 57,1 \text{ km}$



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

Zusammenfassung

ANFAHRWIDERSTAND
erhöht im Moment des Anfahrens
(Elastizität des Zugverbandes beachten)

spezifischer Grundwiderstand
ca. 10 x kleiner als bei
Straßenfahrzeugen

Fahrzeugwiderstand

deutlich erhöht
in Tunneln



dominant bei hohen
Geschwindigkeiten

beeinflussbar
durch
Fahrzeugkonfiguration

Rollen, Gleiten, Lager

an das **rollende Rad** gebunden

Grundwiderstand

Luftwiderstand

resultiert aus der
Luftströmung um das Fahrzeug

Druck, Sog, **Wirbel**,
Oberflächenreibung,
Luftimpuls