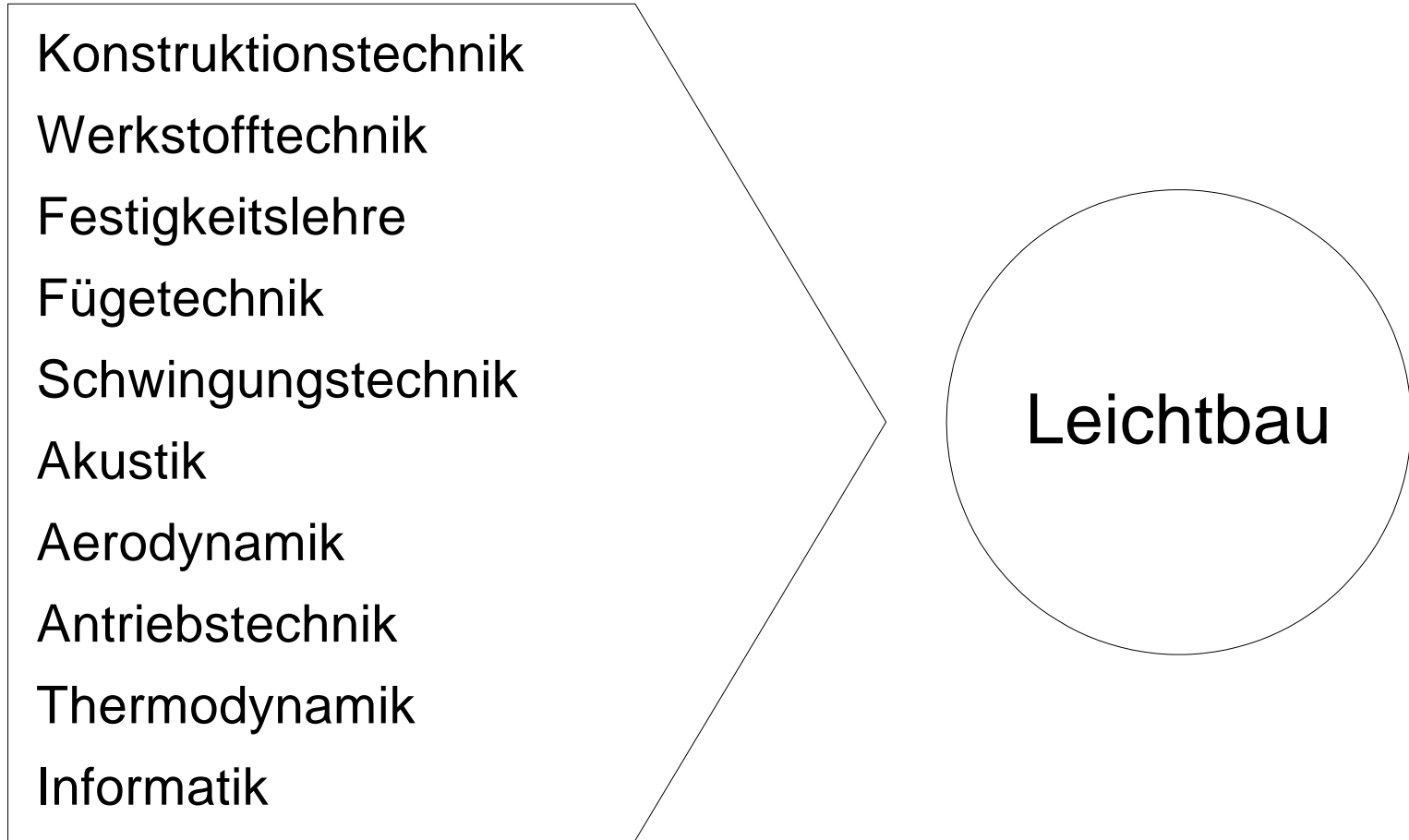


- 4.1. Definition und Ziele
- 4.2. Möglichkeiten des Leichtbaus
- 4.3. Leichtbaupotentiale im Schienenfahrzeugbau

Leichtbau von Eisenbahnfahrzeugen ist eine Bauweise, die unter Ausnutzung aller zur Verfügung stehenden Mittel auf dem Gebiet des Werkstoffeinsatzes, der Gestaltungsprinzipien, des Korrosionsschutzes und der ... Herstellungsverfahren ... bei der Gestaltung der einzelnen Bauteile, Baugruppen und des Gesamtaufbaus eine wirtschaftlich minimale Eigenmasse einsetzt, um die Transportaufgabe ohne Beeinträchtigung der Qualität und Sicherheit sowie mit möglichst geringen Beförderungsselbstkosten während der Gesamtlebensdauer zu erfüllen.

Die Wahl der Mittel hängt vom Einsatzzweck und verschiedenen Gegebenheiten der Bahnverwaltungen ab, z.B. Klima, Topographie, Transportaufkommen, Organisation der Instandhaltung.

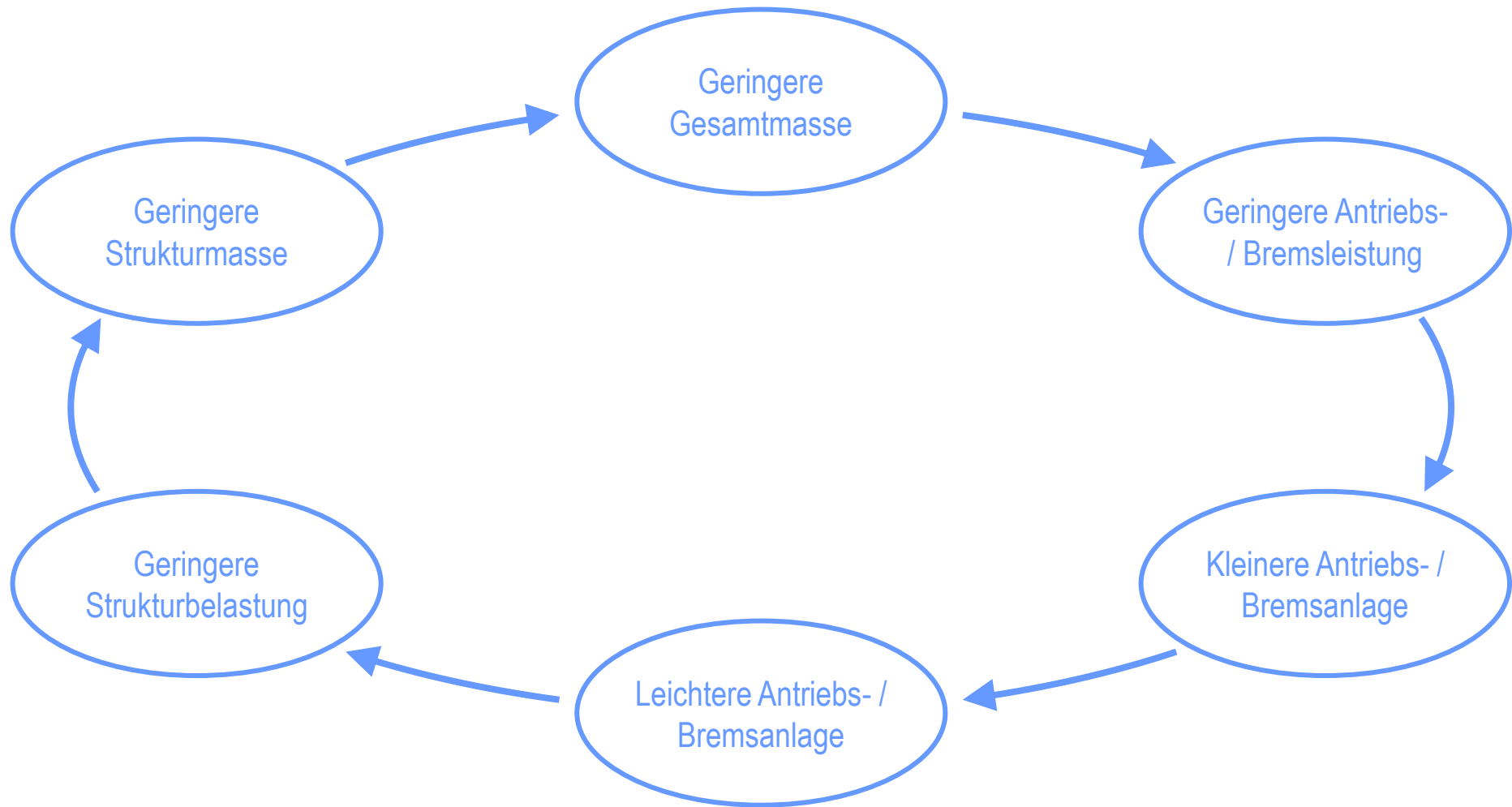
(Lexikon Eisenbahn)

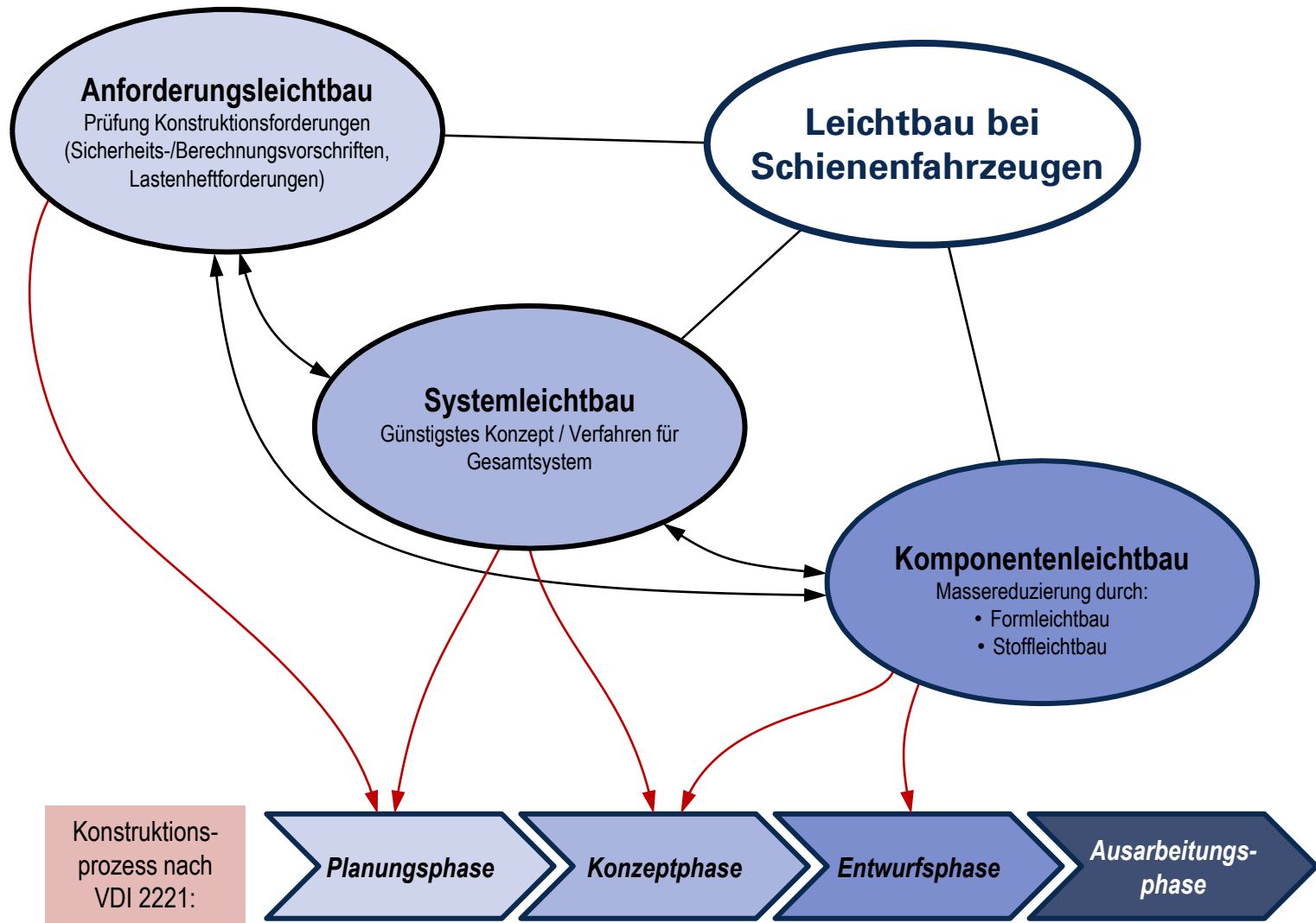


(Quelle: Fischer; Ehinger: Jahrbuch des Bahnwesens, 2000)



(Quelle: nach Sauer, ETR 44(1995)6)





(Quelle: nach Voß: ZEV+DET Glas. Ann. 119(1995)8; nach Schindler: ZEV+DET Glas. Ann. 130(2006)4)

Folie Optimierung Sitzplatzanzahl in Fernreisezugwagen

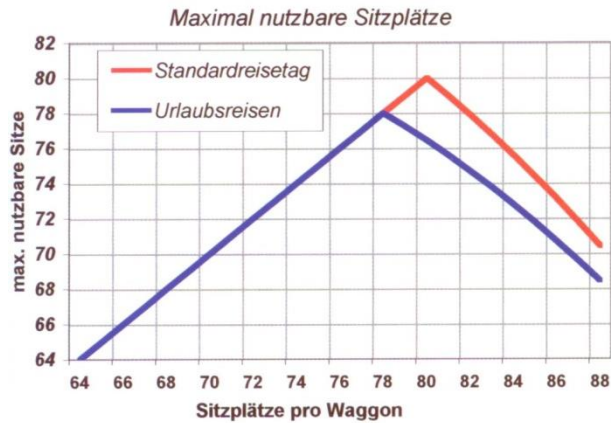


BILD 2: Maximal nutzbare Sitze, in Abhängigkeit der eingebauten am Beispiel eines fiktiv ausgewählten Großraumwaggons mit höchstens 88 einbaubaren Plätzen

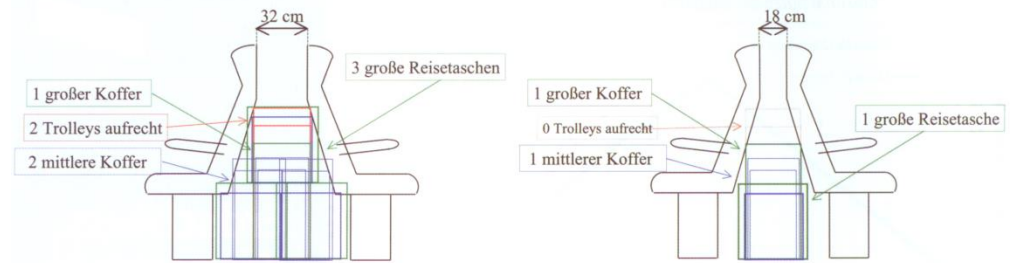
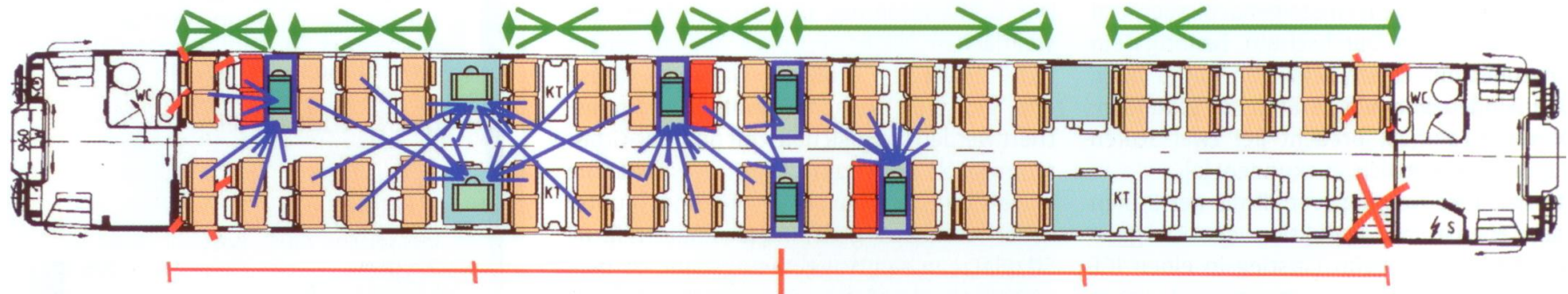


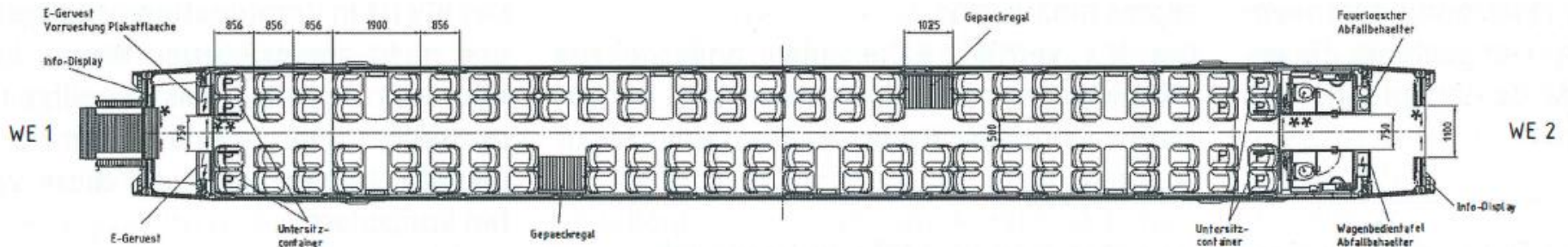
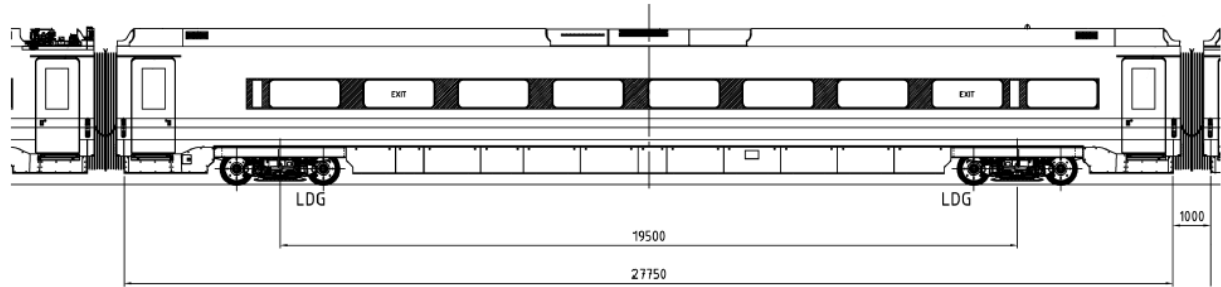
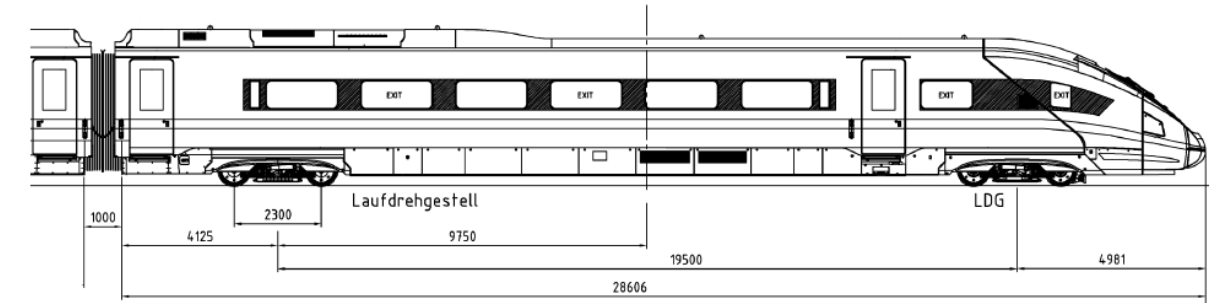
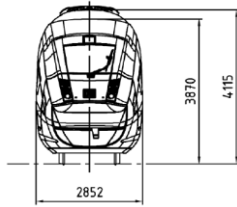
BILD 3: Effizienter (links) und ineffizienter (rechts) Sitzabstand hinsichtlich der Gepäckunterbringung

BILD 5: Mögliche Sitzaufteilung: Gepäckcracks in den Viertelpunkten, zusätzliche vis-a-vis Sitzgruppen mit Ablageflächen zwischen den Rückenlehnen (grüne Pfeile: Orientierung der Sitze, blaue Pfeile: Bsp. für Sichtkontakt)



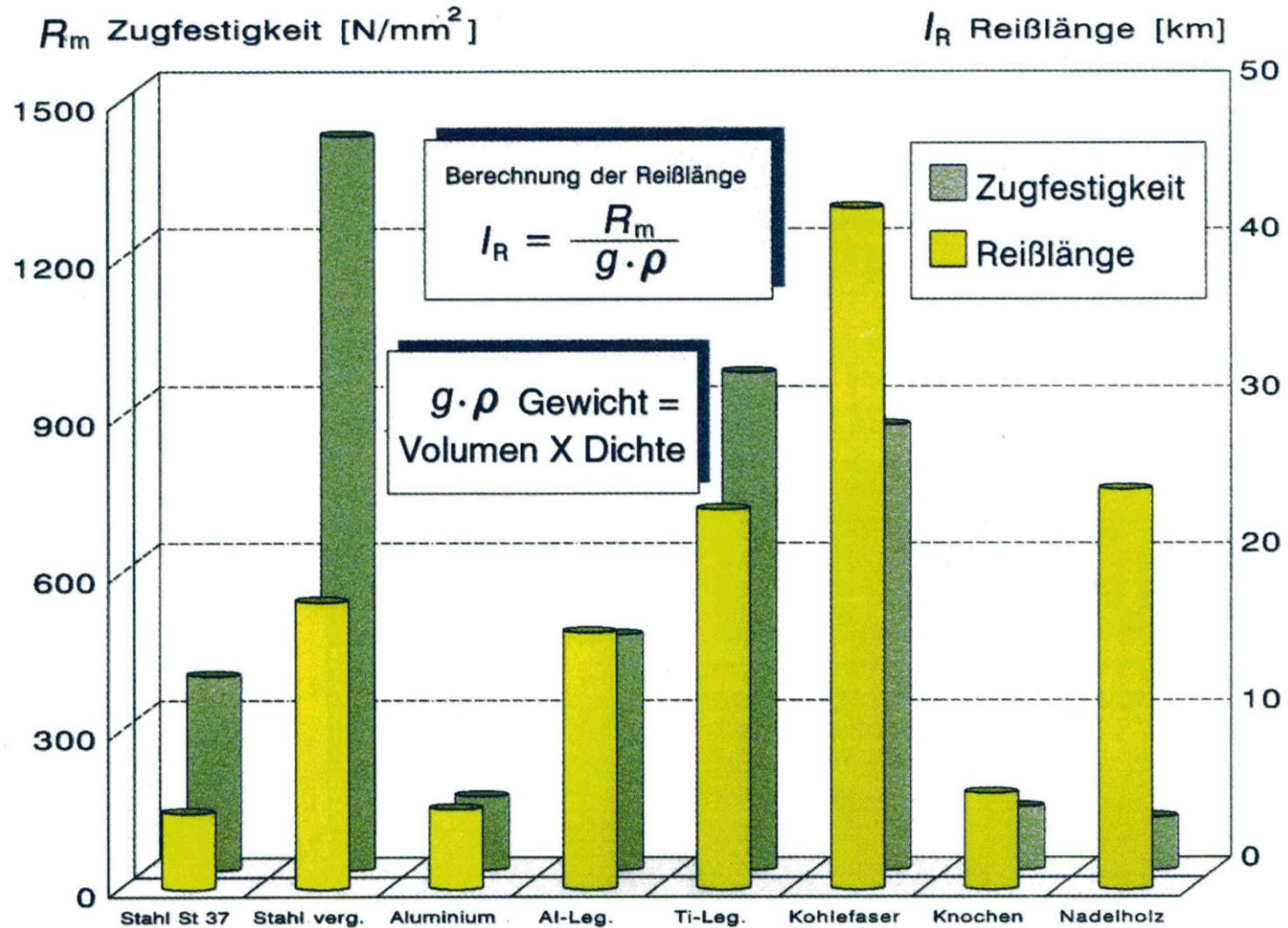
(Quelle: Rüger, ETR (2007)4)

Folie Konzept ICx (ICE 4 DB AG)



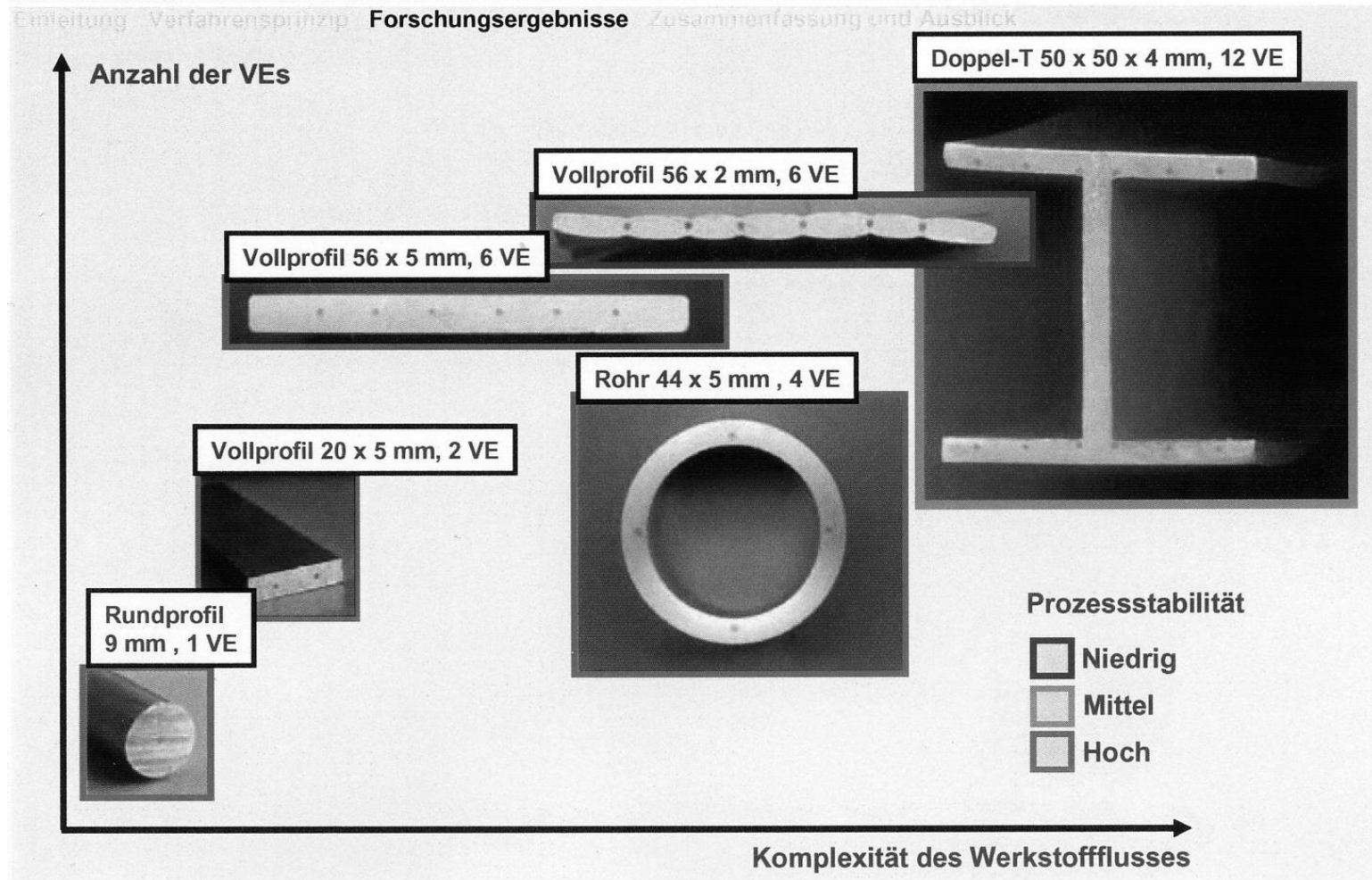
(Quelle: Diplomarbeit S. Adloff, TUD 2014; Höbel, u.a.: Der ICx - Eine neue Ära im Fernverkehr der Deutschen Bahn, ETR (2011)9)

Folie Leichtbaupotentiale von Werkstoffen



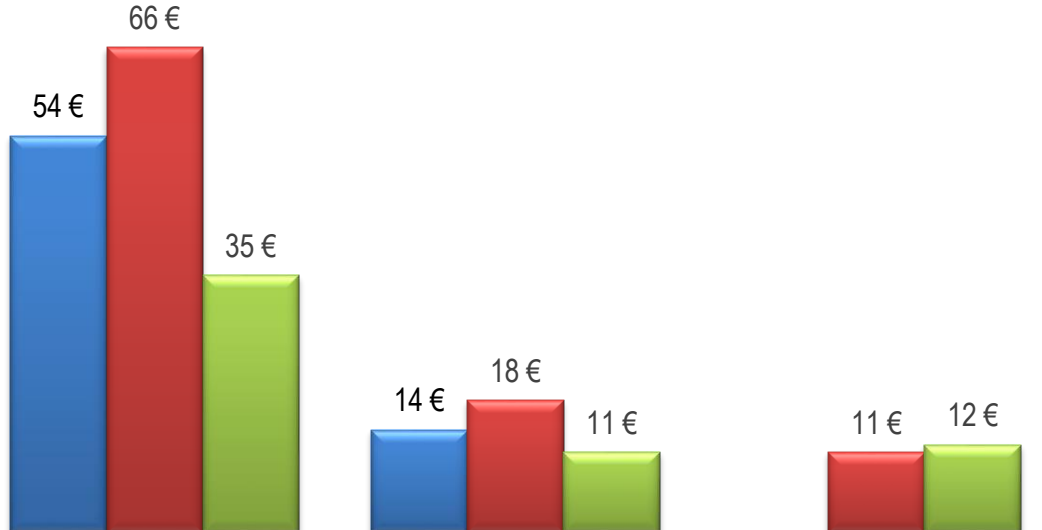
(Quelle: Altenburg ZEV+DET Glas. Ann. 123(1999)11/12)

Untersuchte Querschnitte



Über LCC amortisierte Leichtbaukosten je Kilogramm eingesparter Masse

■ Suburban ■ Regional ■ Intercity



Vom Kunden akzeptierte Leichtbaukosten

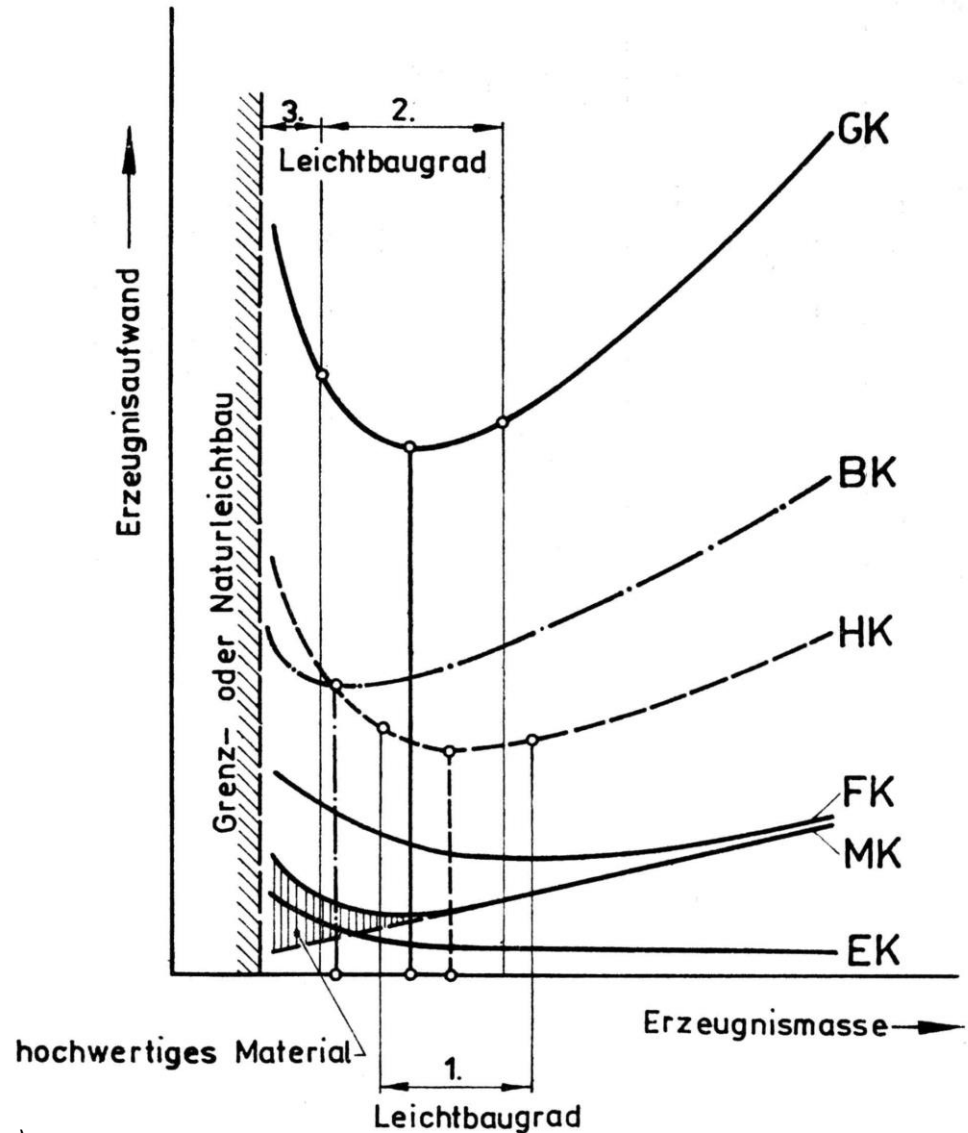
	€/ kg eingesparte Masse
Automobil	5 ...
Zug	50 ...
Flugzeug	500 ...
Raumfahrt	5.000 ...

(Quelle: nach DLR: Einsatz von CFK-Leichtbau-Faserverbund-Technologien im Schienenfahrzeugbau, 2016; M. Kache)

Folie Leichtbaugrad

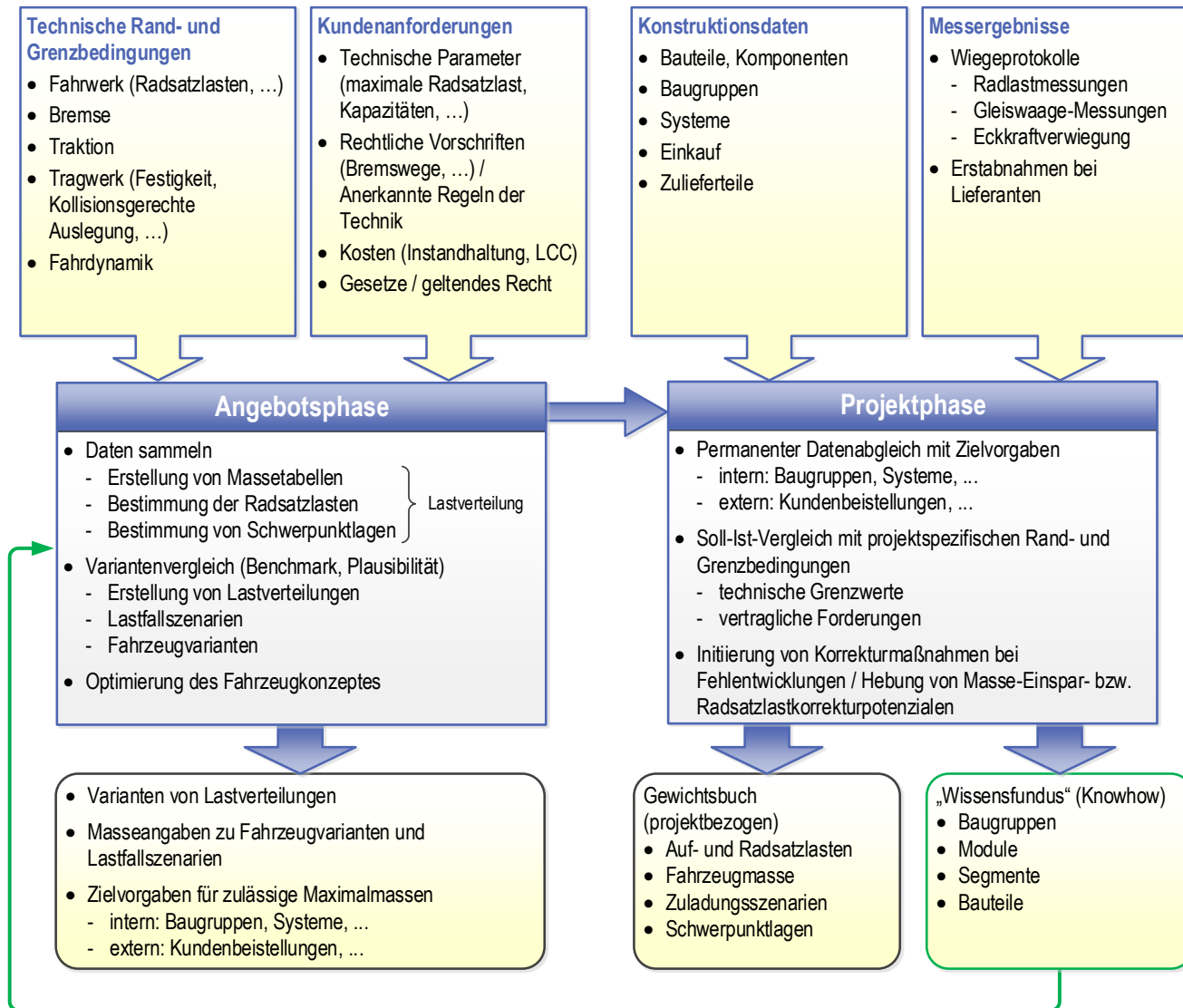
Leichtbaugrade und Kostenanteile in Abhängigkeit von Erzeugnismasse

- GK – Gesamtkosten = Lebenszykluskosten
- BK – Betriebskosten
- HK – Herstellungskosten
- FK – Fertigungskosten
- MK – Materialkosten
- EK – Entwicklungskosten



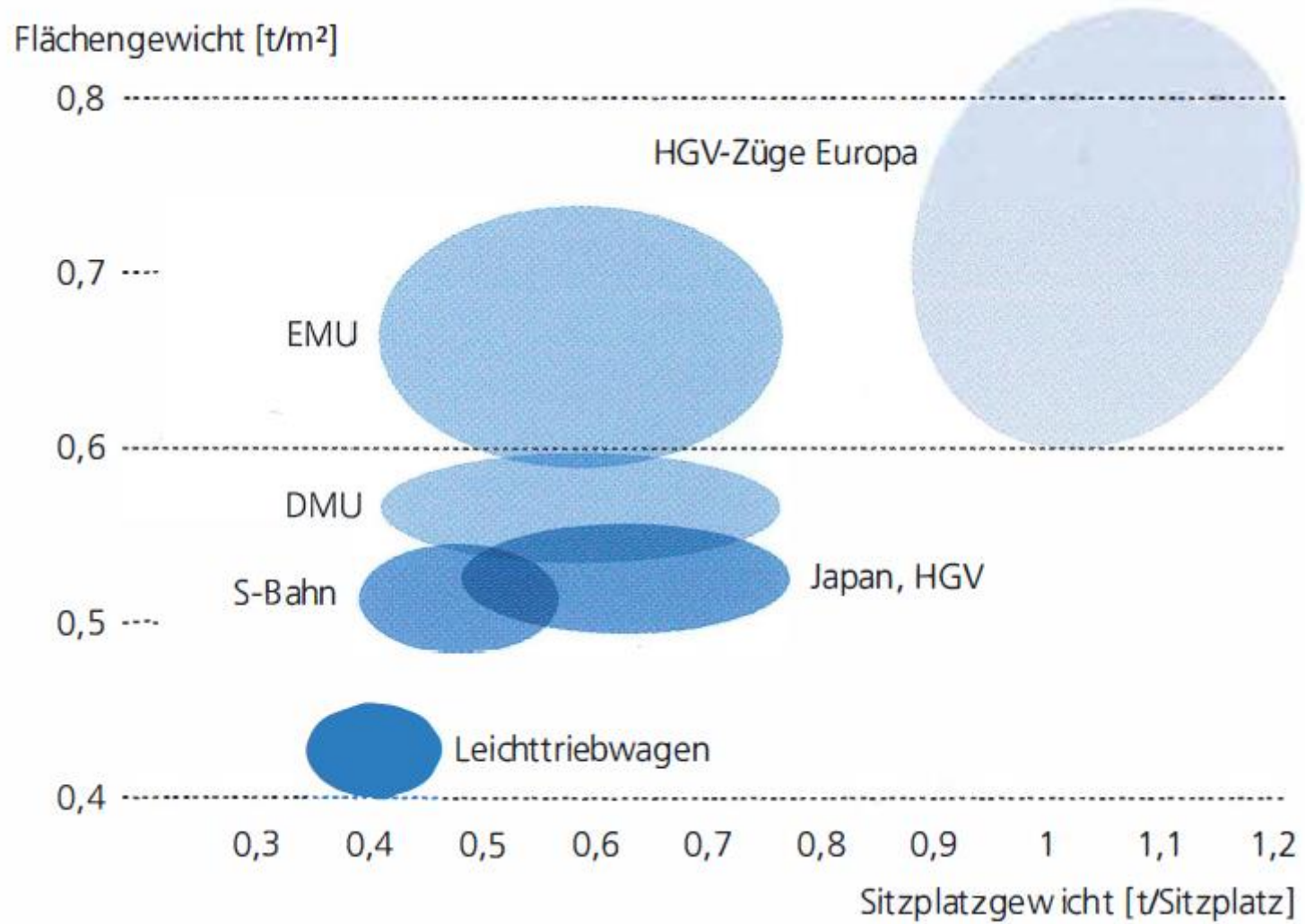
(Quelle: Wächter: Konstruktionslehre für Maschinenbauingenieure)

Folie Kernaufgaben Gewichtsmanagement



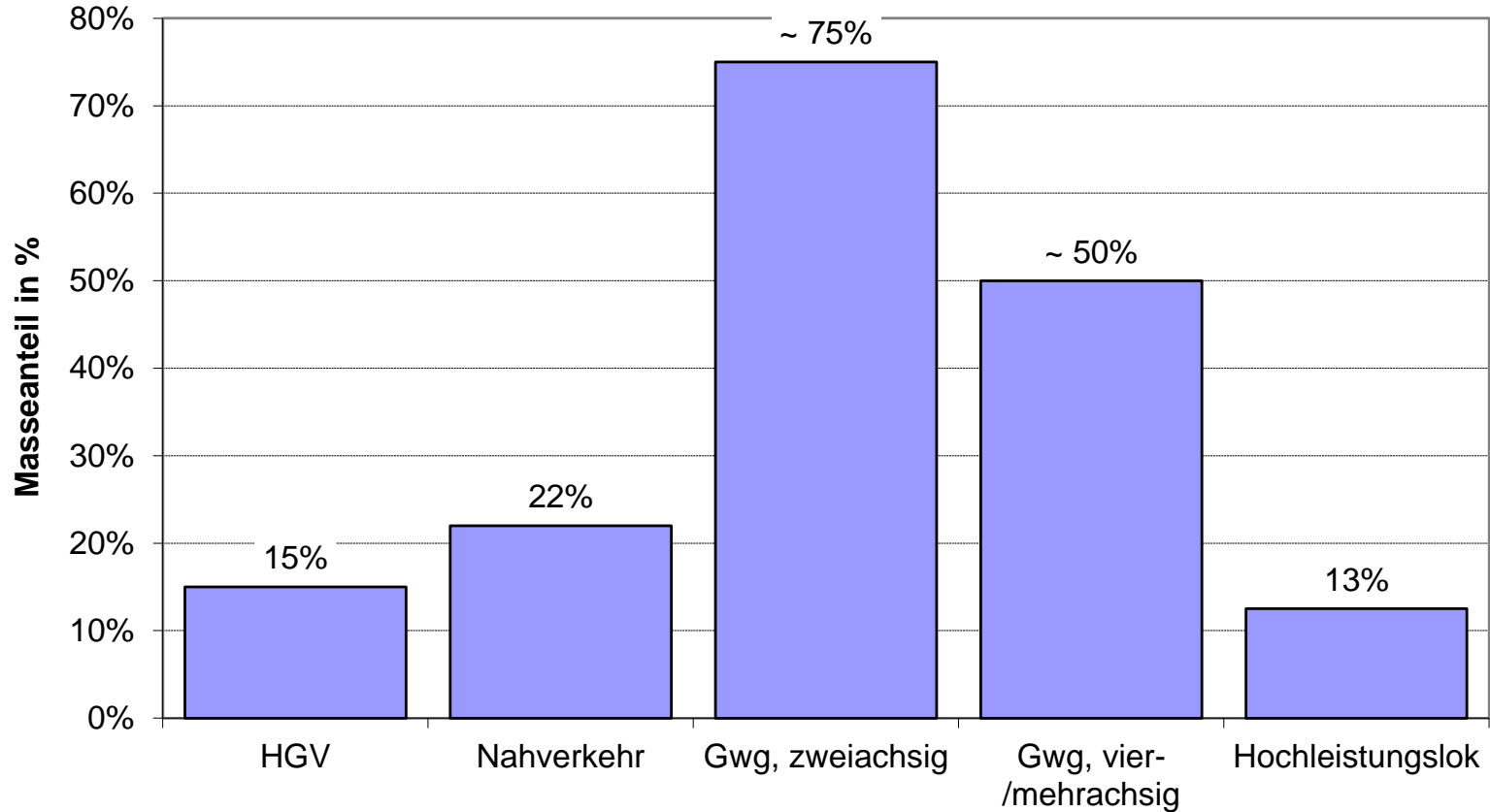
(Quelle: T. Breuer)

Folie Flächen-/Sitzplatzmassen verschiedener Schienenfahrzeuge



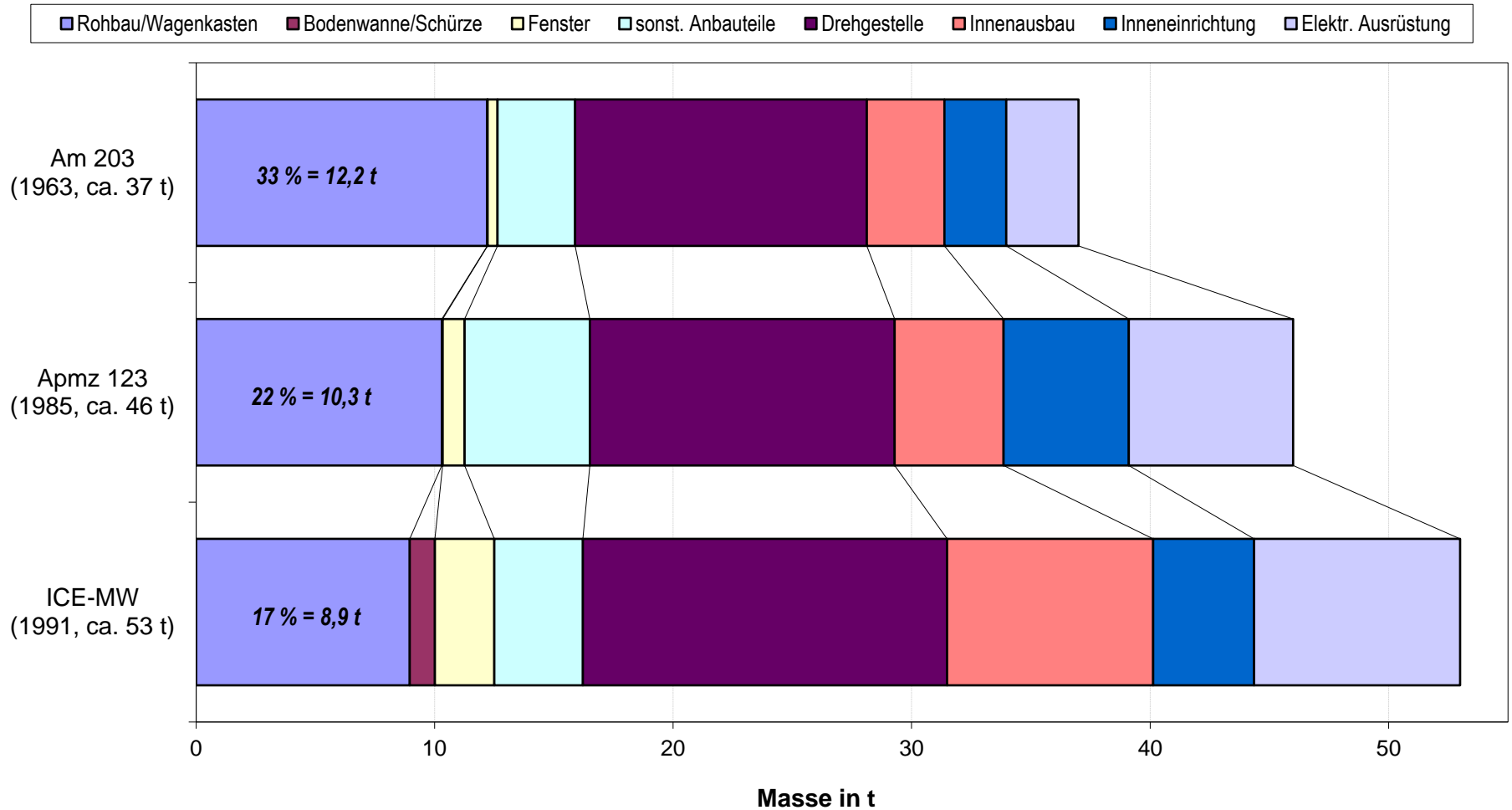
(Quelle: Nickel: Einsatz von CFK-Leichtbau-Faserverbund-Technologien im Schienenfahrzeugbau, DLR 2016)

Anteil der Rohbaumasse an Gesamteigenmasse



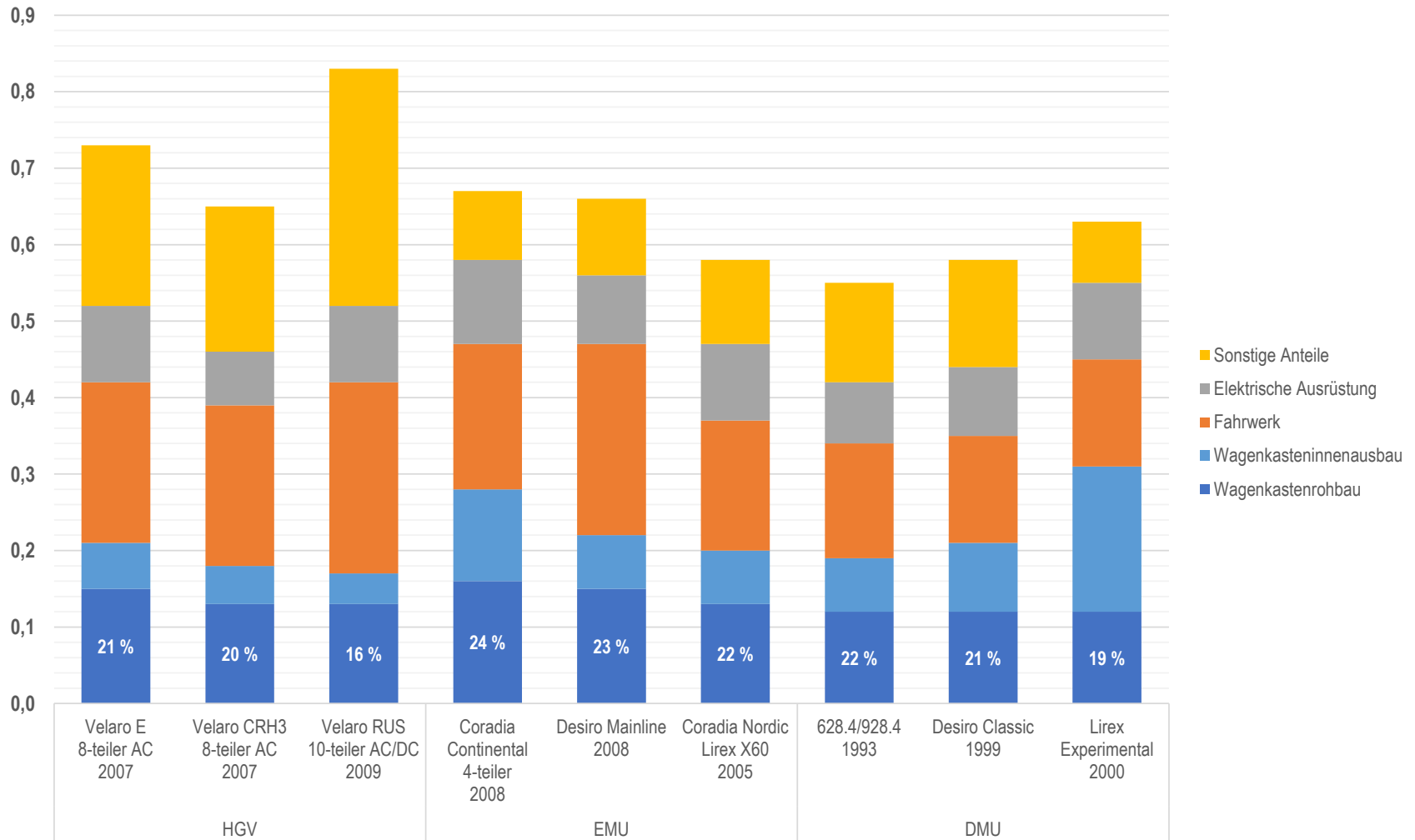
(Quelle: Fischer; Ehinger: Jahrbuch des Bahnwesens, 2000)

Masseanteile der Hauptkomponenten von Reisezugwagen unterschiedlicher Generationen



(Quelle: Fischer; Ehinger: Jahrbuch des Bahnwesens, 2000)

Absolute Flächenmassenverteilung bei Vollbahnfahrzeugen in t/m²



(Quelle: nach Nickel: Einsatz von CFK-Leichtbau-Faserverbund-Technologien im Schienenfahrzeugbau, DLR 2016)

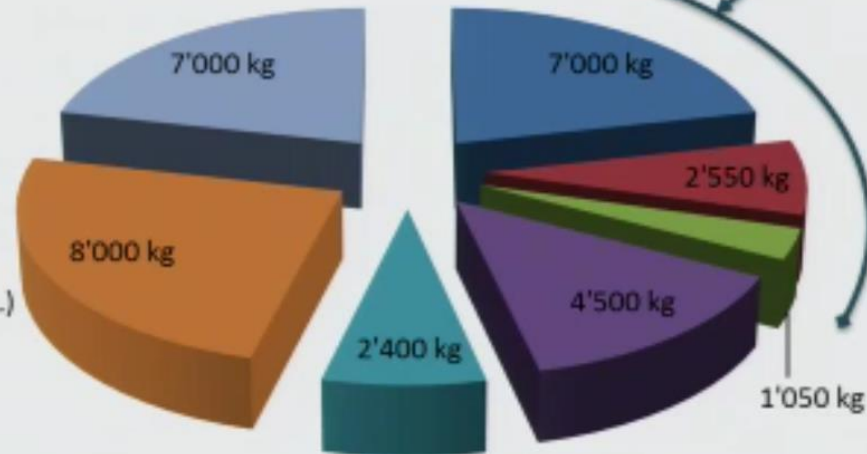
Trends Fahrzeuge (Leichtbau) Systemoptimierung

Massenaufteilung (typisches Zahlenbeispiele für eine zweiteilige Straßenbahn)

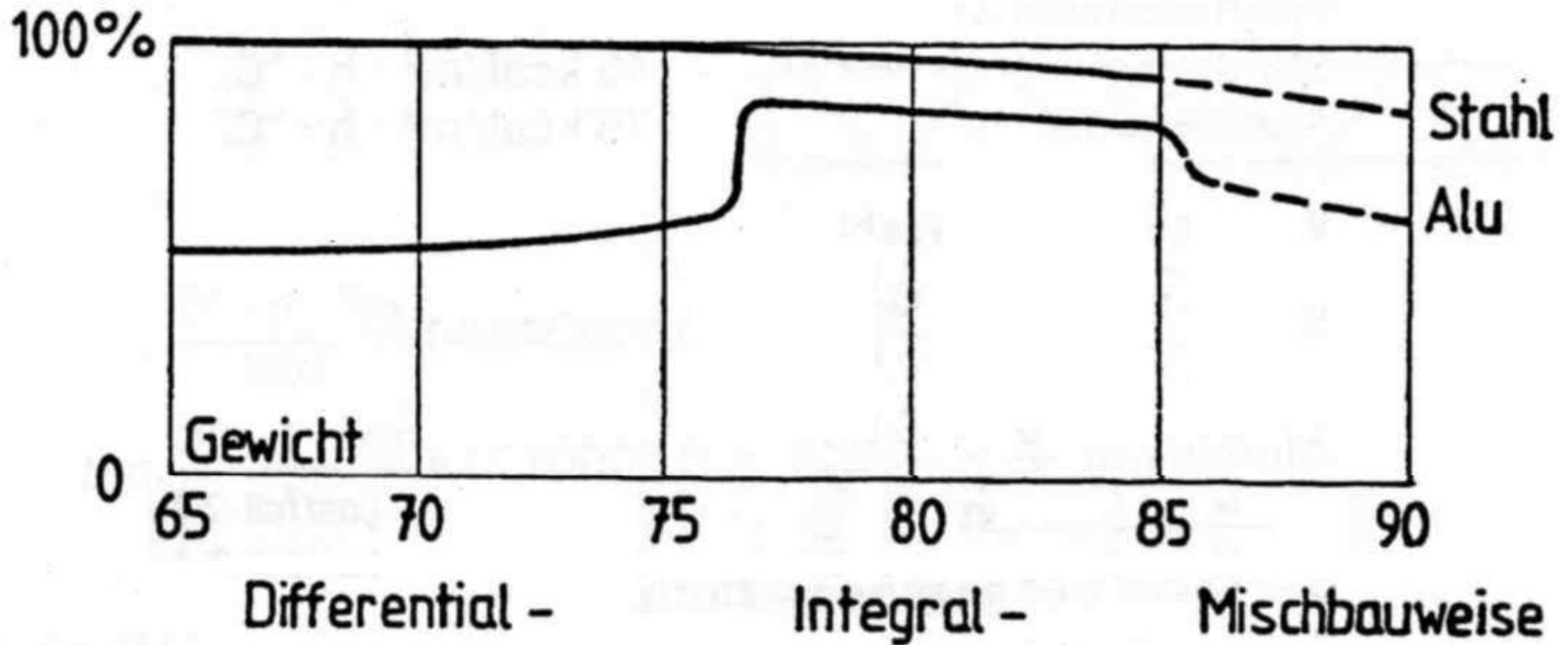
- Wagenkastenrohbau (2 Stück je 3500 kg)
- Drehgestellrahmen (3 Stück je 850 kg)
- Wiegenträger (3 Stück je 350 kg)
- Radsätze (6 Stück je 750 kg)
- Drehgestellausrüstung (Federung, Bremsanlage, ...)
- Wagenkastenausbau (Innenverkleidung, Sitze, Fenster, Türen,...)
- E-Ausrüstung (inkl. Klimaanlage & Antrieb)



20 % Einsparung durch Leichtbau bei den tragenden Strukturen ergibt 2120 kg

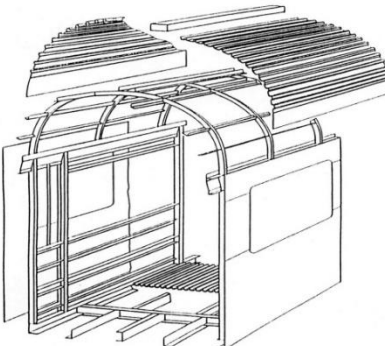
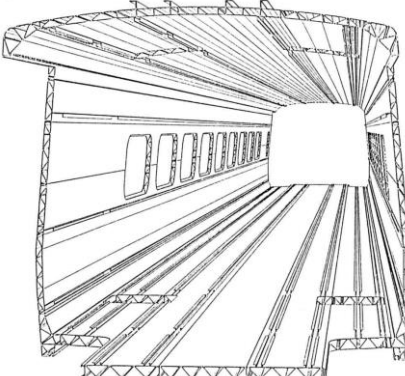
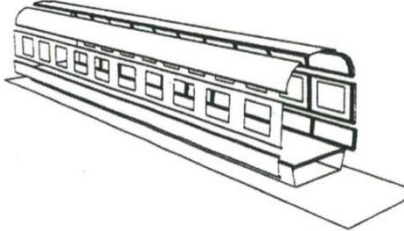
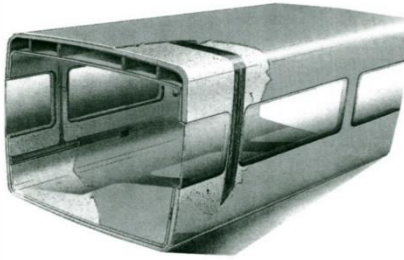


Gesamtgewicht 32'500 kg

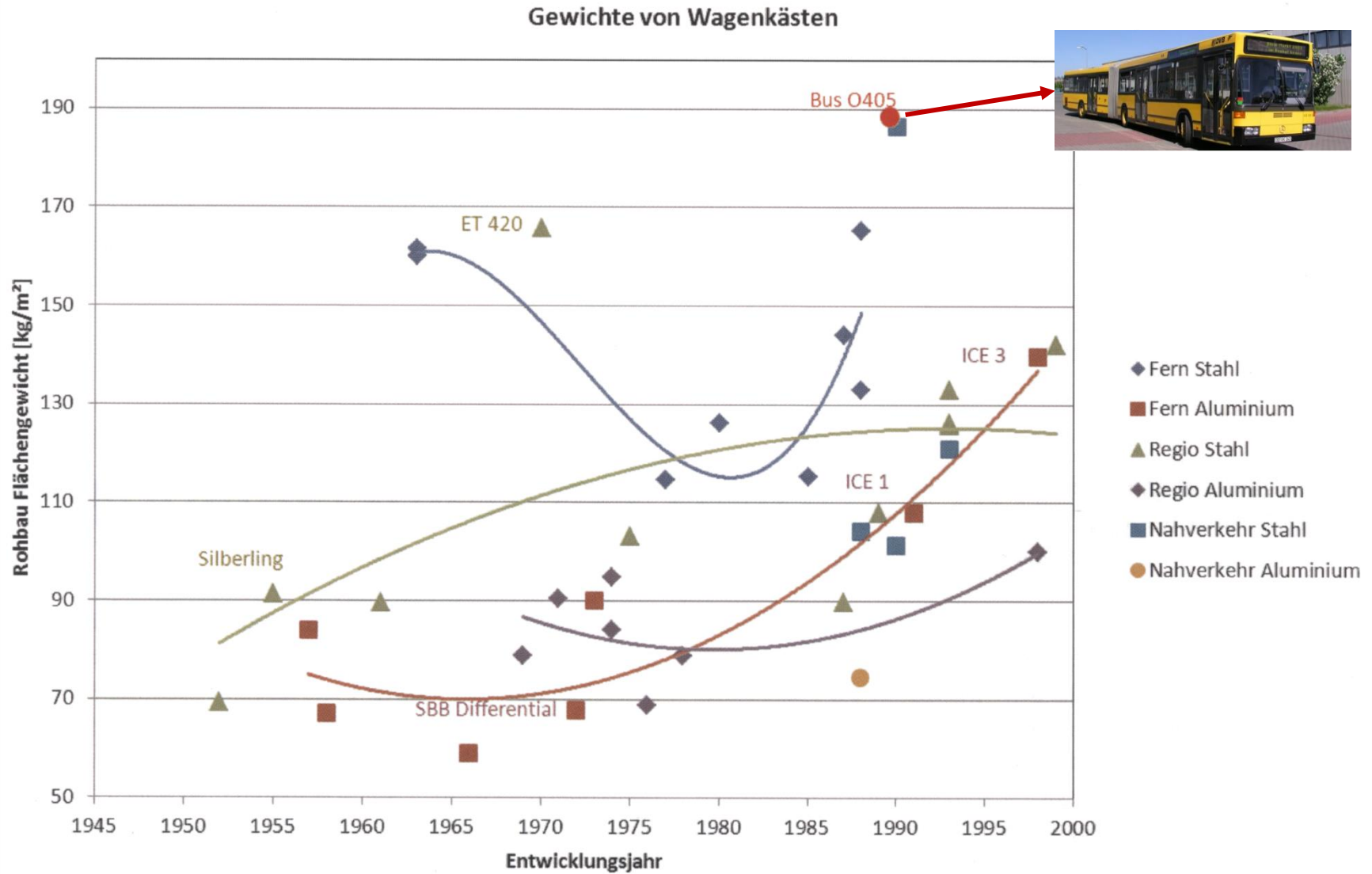


(Quelle: Hassel: ZEV-Glas. Ann. 111(1987)3; Buch Aluminium-Fahrzeuge)

Folie Vergleich der Bauweisen

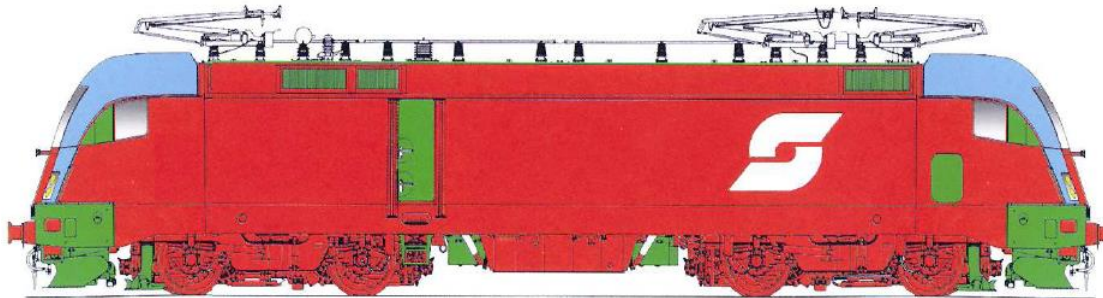
Geschweißte Differentialbauweise (Stahl, Aluminium)	Geschweißte Integralbauweise (Aluminium)	Mischbauweisen (Hybridbauweisen)	
		Modulare Hybridbauweise (Verschiedene Materialien)	Wickeltechnologie (Sandwichbw) (Faserverstärkte Kunststoffe)
 <p data-bbox="77 856 463 899"><i>Hochflexibel ↔ Hoher Aufwand</i></p>	 <p data-bbox="521 856 927 899"><i>Sehr rationell ↔ Geringe Flexibilität</i></p>	 <p data-bbox="1043 856 1352 942"><i>Sehr rationell ↔ Hoher Entwicklungsaufwand</i></p>	 <p data-bbox="1449 856 1854 942"><i>Sehr leicht ↔ Geringe Flexibilität, hoher Aufwand</i></p>
<p data-bbox="135 963 405 999">Optimaler Leichtbau</p> <p data-bbox="38 1013 483 1242">→ Trägergerippe und Blechverschalung entsprechend der konstruktiven Anforderungen (Kraftfluss); sehr flexibel bezüglich Formgebung, Werkstoffen, Fügetechnik</p>	<p data-bbox="560 963 888 999">Kein optimaler Leichtbau</p> <p data-bbox="502 1013 946 1199">→ Kombination Träger und Blech im Strangpressprofil mit technologisch bedingten Einschränkungen: Mindestwanddicke, Profilformen</p>	<p data-bbox="1023 963 1352 999">Kein optimaler Leichtbau</p> <p data-bbox="966 1013 1410 1128">→ Funktionale Aufteilung in Groß-Module mit technologischen und konzeptionellen Fügestellen</p>	<p data-bbox="1487 963 1816 999">Optimaler FVW-Leichtbau</p> <p data-bbox="1429 1013 1874 1128">→ Optimale Kombination von Tragstruktur, Isolierung und Verschalung</p>

Folie Entwicklung Wagenkastengewichte

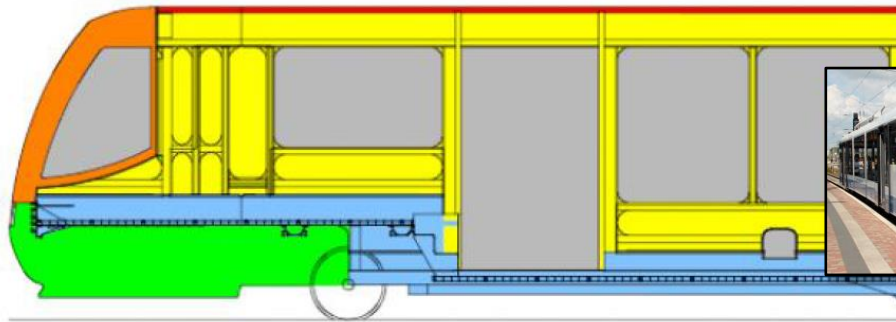
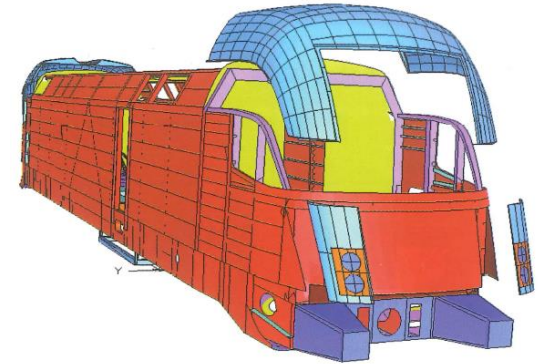


(Quelle: DMG-Studie „Leichtbau von Schienenfahrzeugen ...“, 2011)

Folie Multi-Material-Design

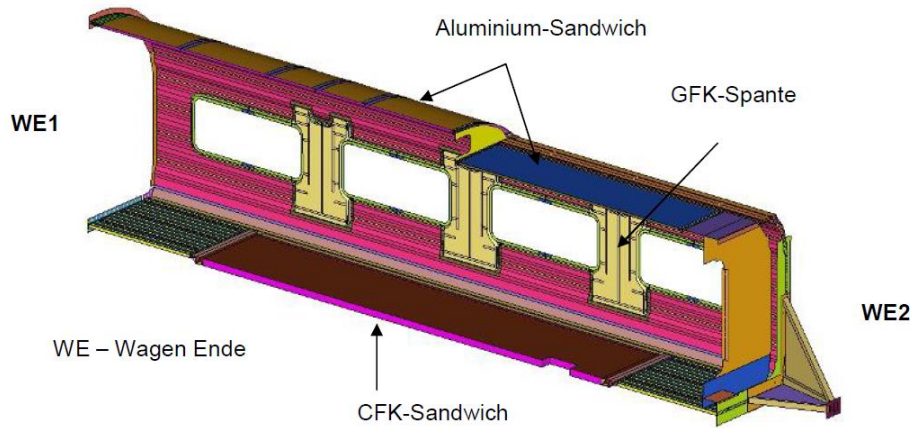


■ Stahl ■ Aluminium ■ GFK

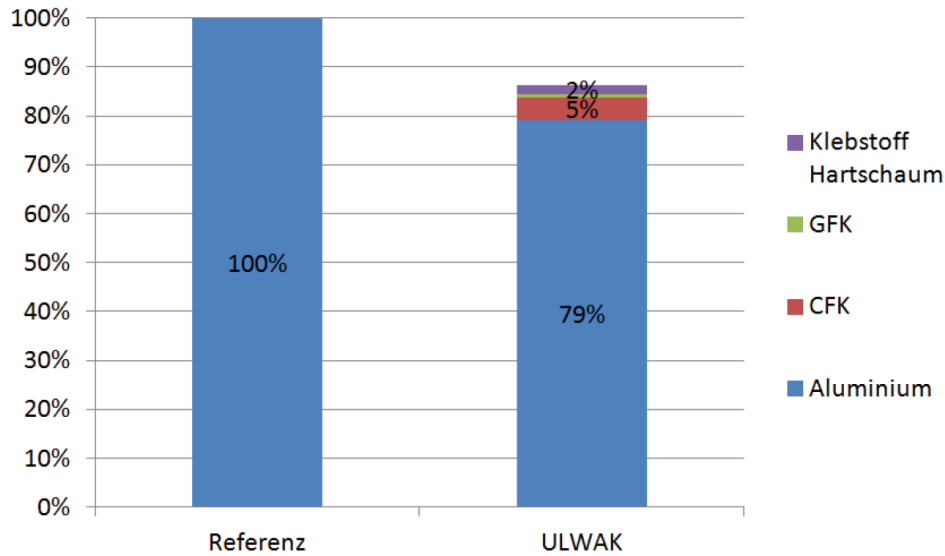


■ Aluminium-Untergestell, geschweißt ■ GFK-Sandwichkopf, geklebt
■ Aluminium-Wände, geschraubt ■ GFK-Sandwichschürzen, geschraubt
■ Aluminium-Sandwichdach, geklebt

(Quelle: Benes, u.a.: *Europalokomotive TAURUS ...*, eb 1999-04, *Schlussbericht BMBF-Verbundprojekt ULWAK:...*, 2014)

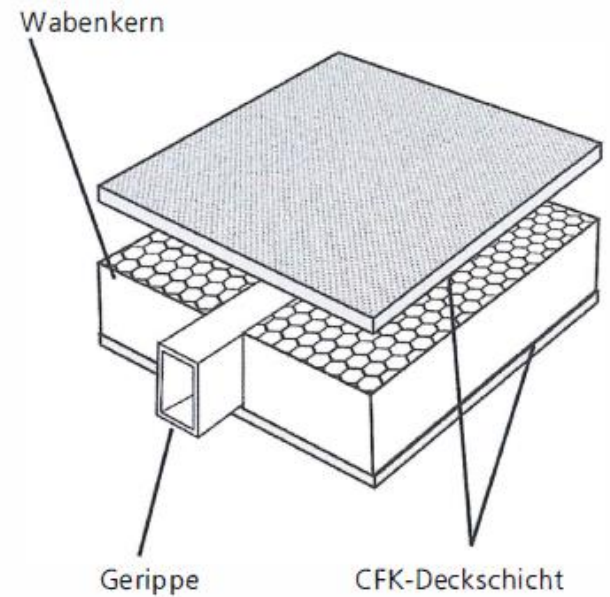
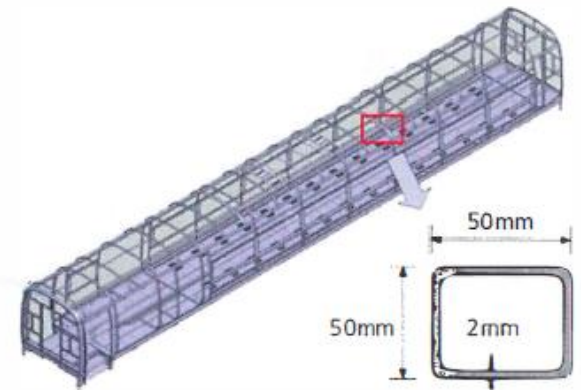
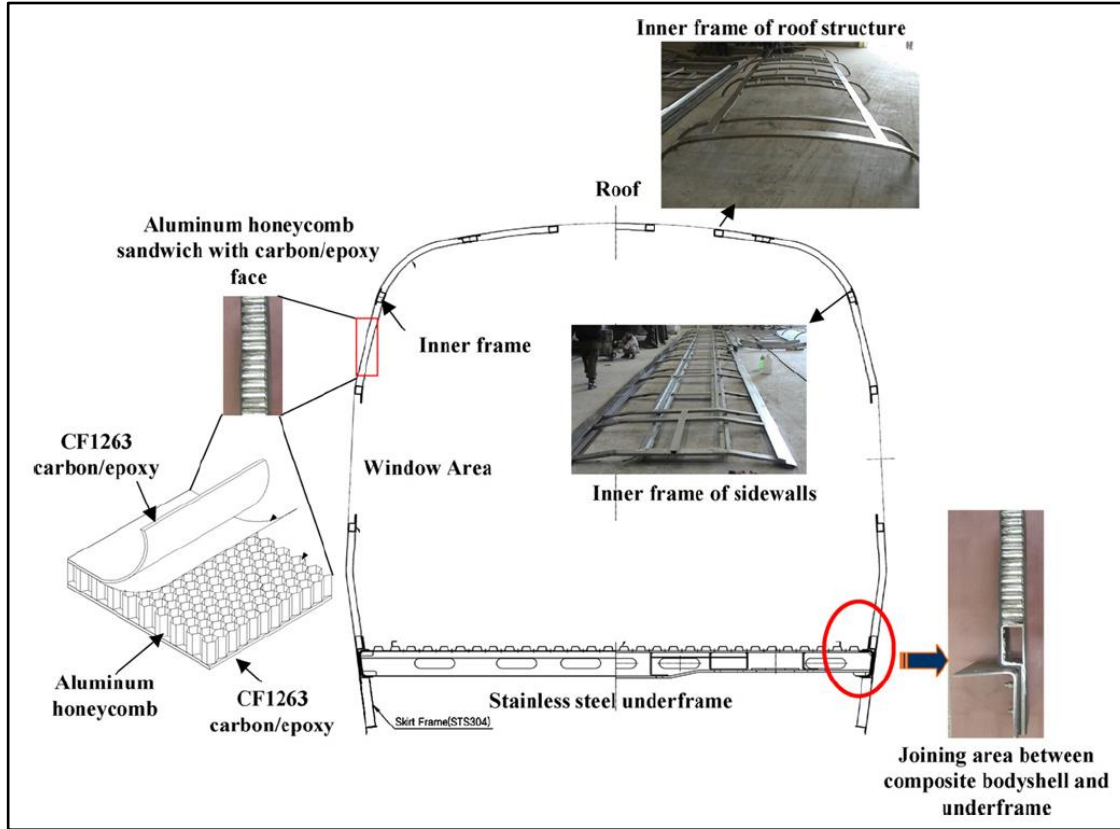


Vergleich des Gewichtes und Materialanteile



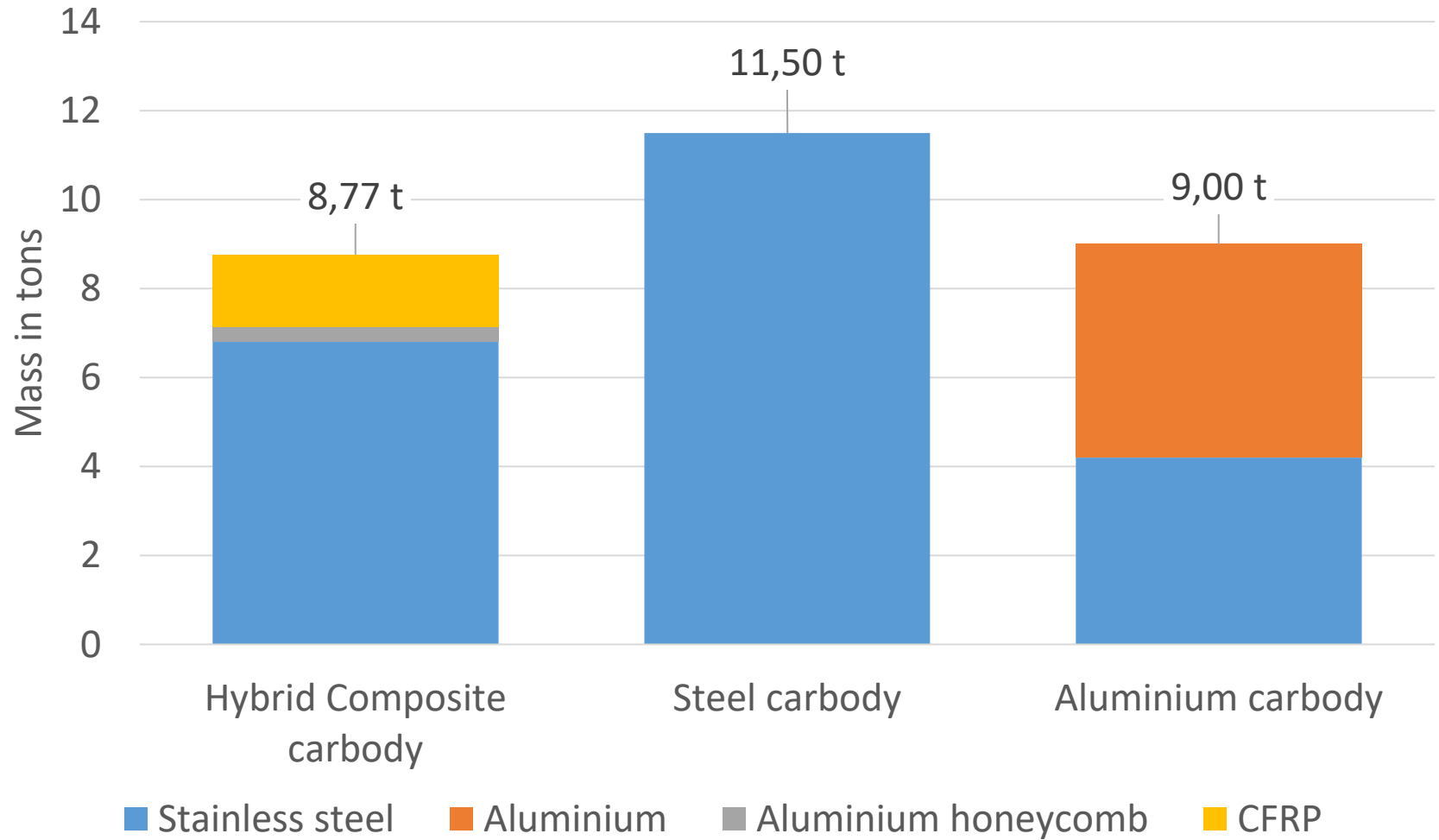
(Quelle: Schlussbericht BMBF-Verbundprojekt ULWAK: Teilvorhaben Erarbeitung Gesamtkonzept ..., 2014)

Folie Korean Tilting Train TTX

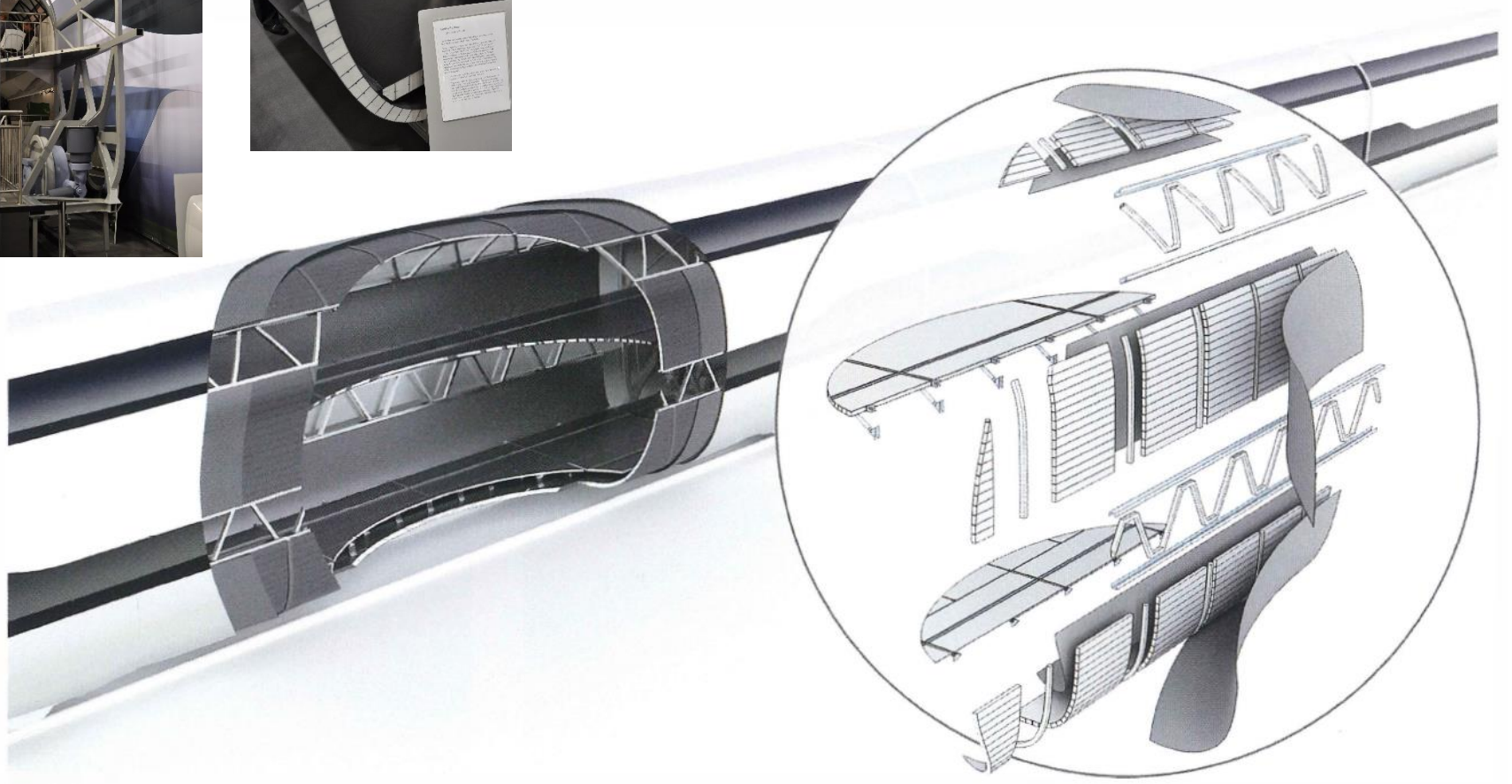
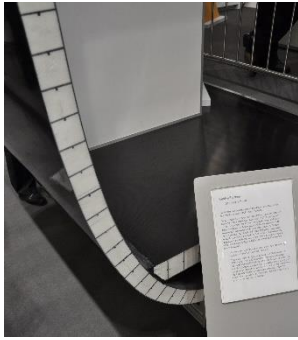


(Quelle: nach DLR: Einsatz von CFK-Leichtbau-Faserverbund-Technologien ..., 2016;
Kung, Lee, Shin: Manufacturing and structural safety evaluation of a composite train carbody, wikipedia)

Korean Tilting Train TTX carbody scenarios

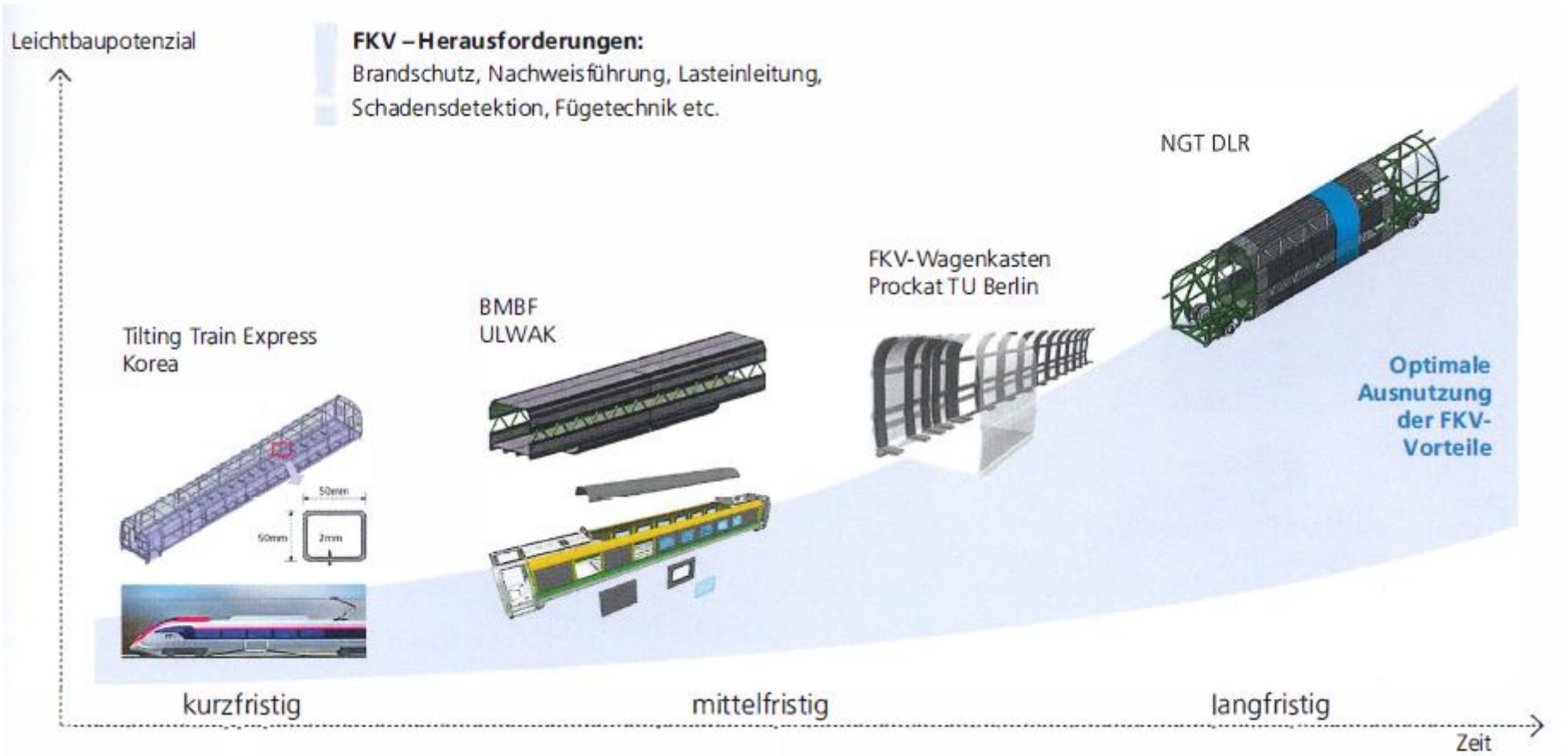


(Quelle: nach Blanc: Towards the Eco-design of a tilting train in Korea ..., SMIA 2005)



(Quelle: DLR: Einsatz von CFK-Leichtbau-Faserverbund-Technologien ..., 2016)

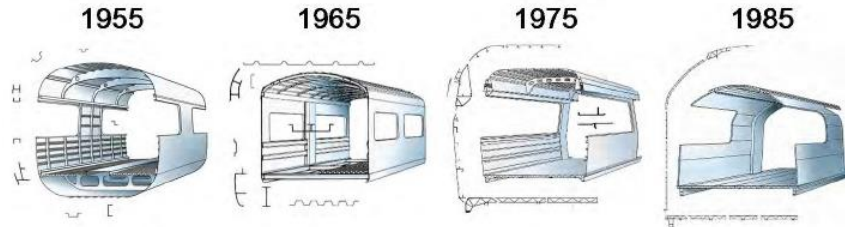
Folie Leichtbaupotentiale Multimaterial-WK-Bauweisen



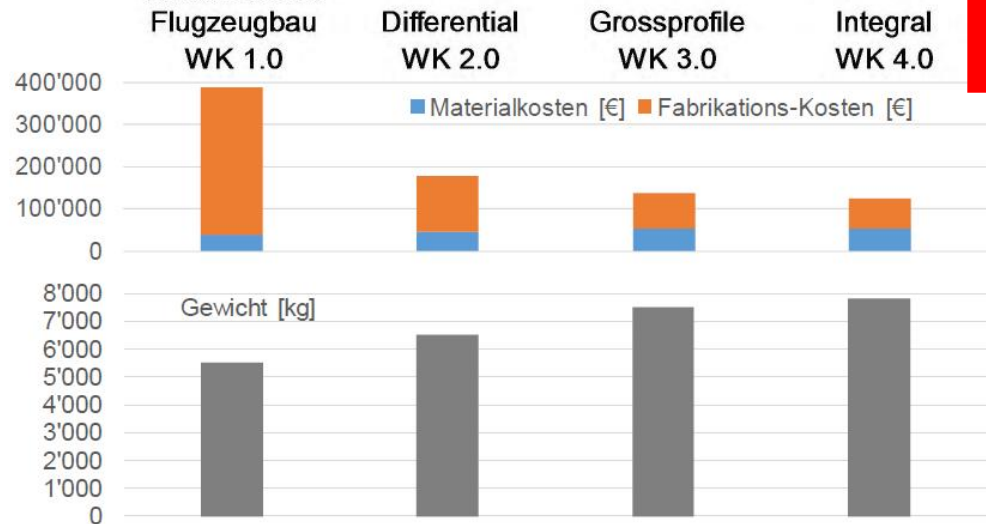
(Quelle: DLR: Einsatz von CFK-Leichtbau-Faserverbund-Technologien ..., 2016)

Entwicklung der Alu-Wagenkästen

Beispiel-Werte für Wagen 24 m



Quelle: Alusuisse / Alcan

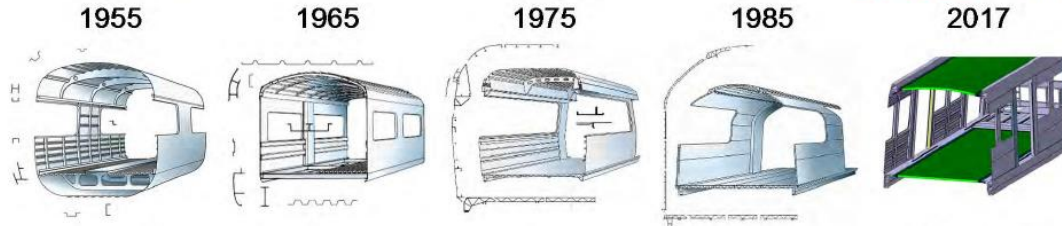


**Leichtbau mit Sandwichpaneelen
→ WK 4.1**

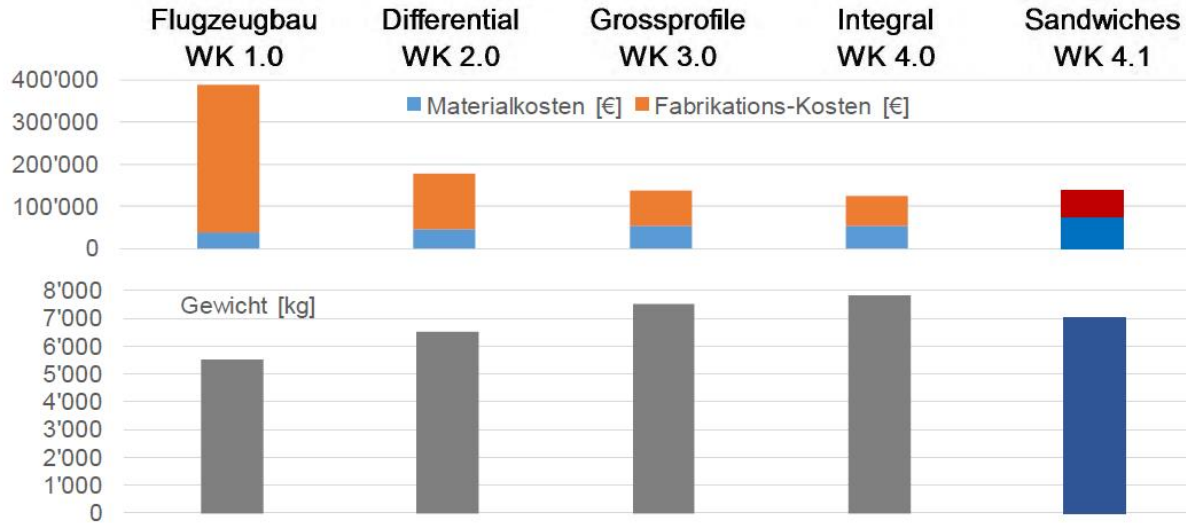
(Quelle: S. Leutenegger, u.a.: Der Aluminium-Wagenkasten 4.1: Leichtbau durch integrierte FSW-Sandwiches; RadSchiene 2017)

Entwicklung der Alu-Wagenkästen

Beispiel-Werte für Wagen 24 m

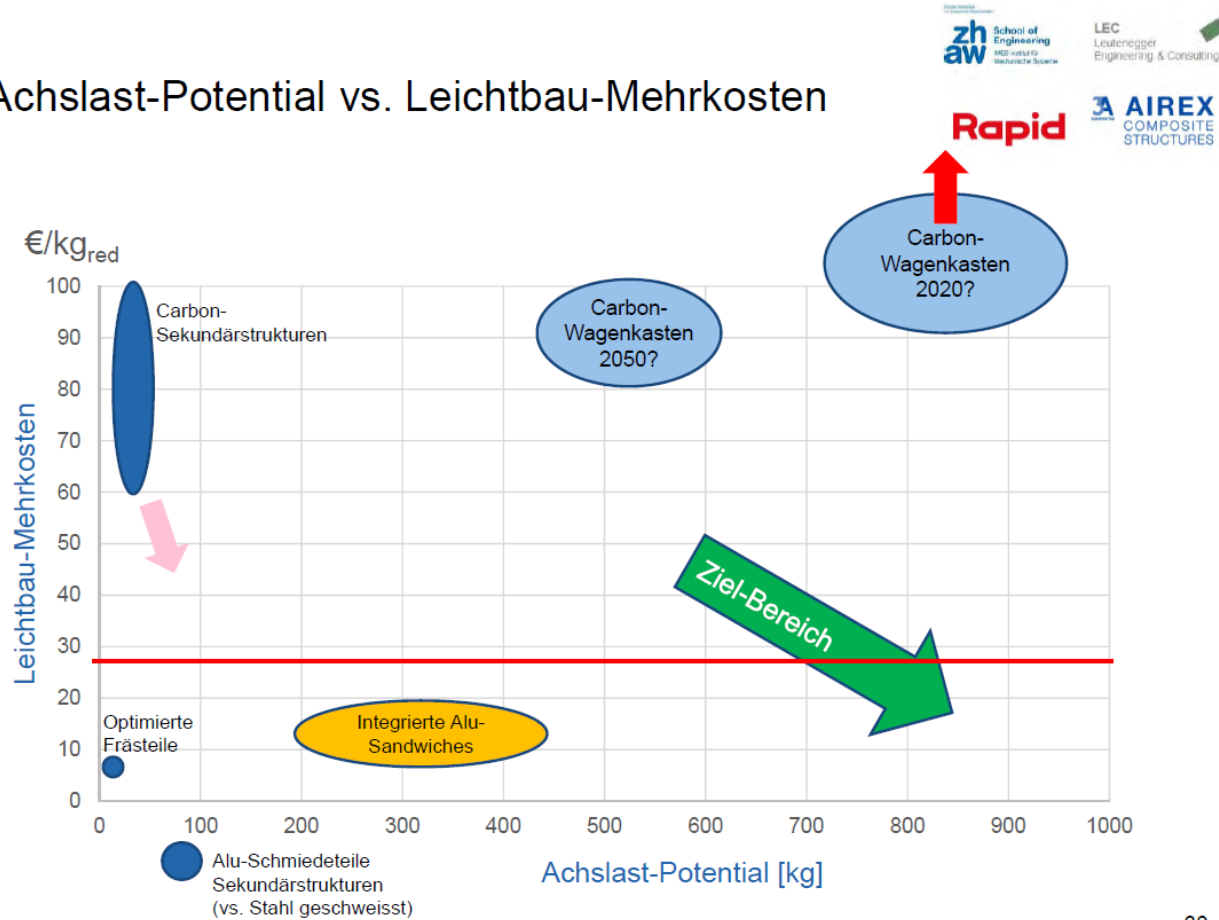


Quelle: Alusuisse / Alcan



(Quelle: S. Leutenegger, u.a.: Der Aluminium-Wagenkasten 4.1: Leichtbau durch integrierte FSW-Sandwiches; RadSchiene 2017)

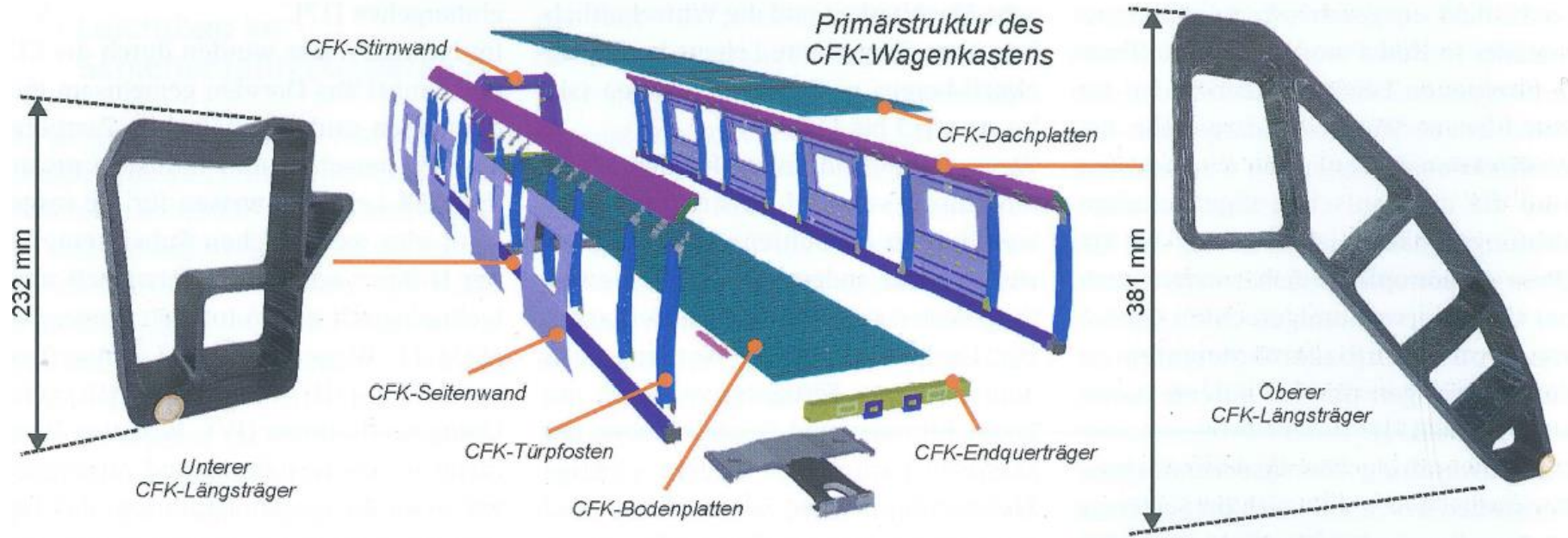
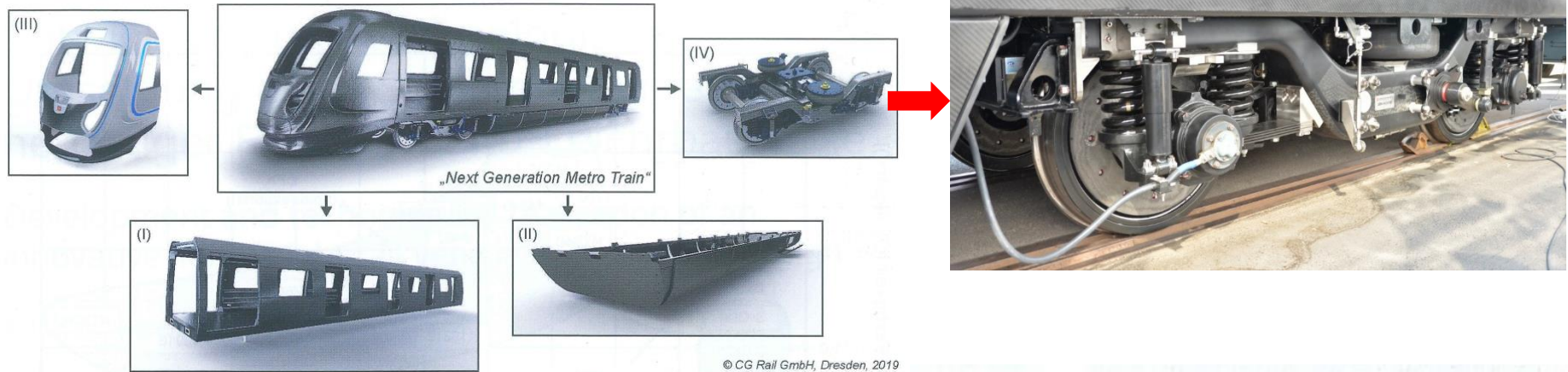
Achslast-Potential vs. Leichtbau-Mehrkosten



36

(Quelle: S. Leutenegger, u.a.: Der Aluminium-Wagenkasten 4.1: Leichtbau durch integrierte FSW-Sandwiches; RadSchiene 2017)

Folie Wagenkasten in CFK-intensiver Leichtbauweise



(Quelle: Ulbricht: Entwicklung und technologische Umsetzung eines Schienenfahrzeugs in neuartiger Faserverbund-Leichtbauweise, ZEVrail 2019-6/7)

Folie „MoWag – Modularer Wagenkasten für Schienenfahrzeuge“

Dach

Seitenwand

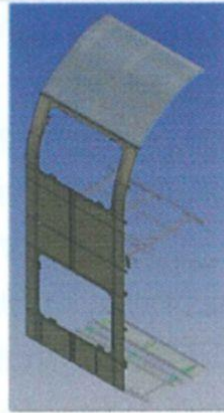
Fußboden oben

Fußboden unten

Konv. WK Alu



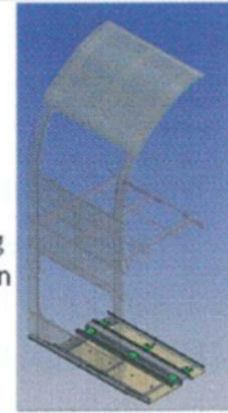
52kg



107kg



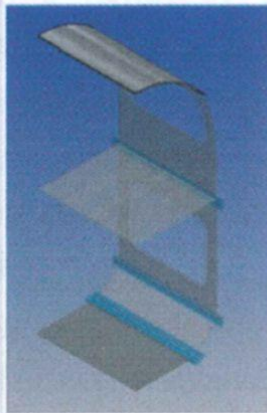
46kg
+ca.26kg
Fußboden



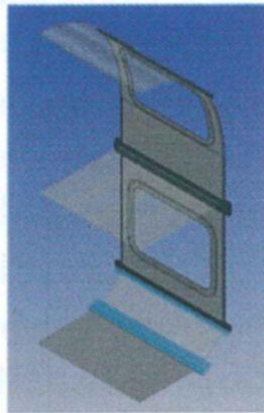
89kg
+ca.26kg
Fußboden

Innov. WK

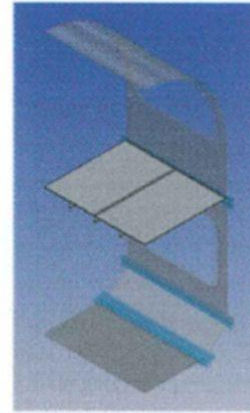
Dach & Wand: AAS
Fußboden: Perpural®



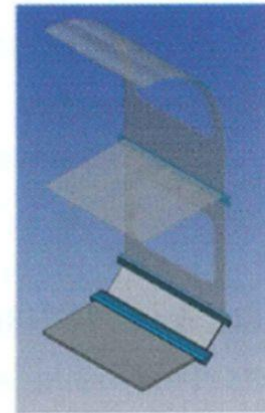
49kg
94%



97kg
91%



40kg
56%


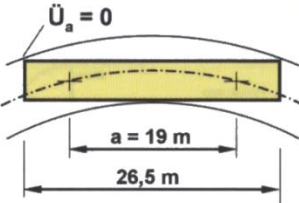
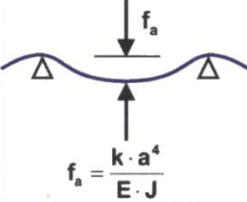

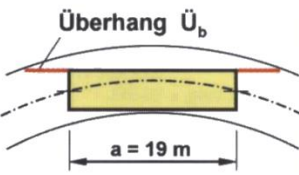
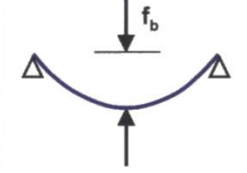
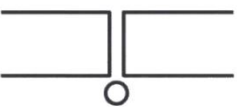
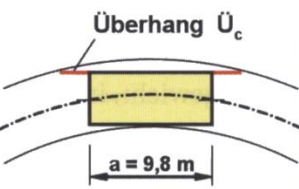
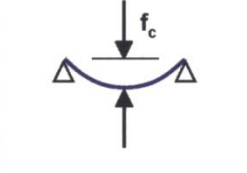

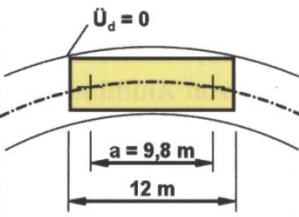
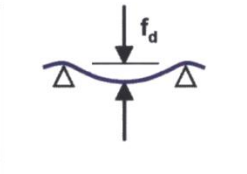


81kg
70%

4: Massebilanz bei konventioneller (oben) und bei innovativer modularer Bauweise (unten)

(Quelle: Noteboom; u.a.: Modularer Wagenkasten für Schienenfahrzeuge – Entwicklung neuartiger Multi-Material-Bauweisen, ETR 2022-1/2)

Folie Leichtbaupotential Hauptabmessungen

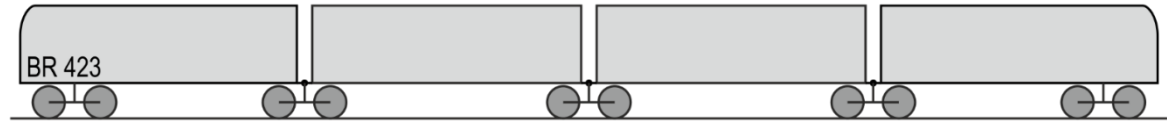
Fahrzeugkonzept	Lichtraumprofil	Durchbiegung	Bemerkung
<p>a) Standard</p> 	<p>$\ddot{U}_a = 0$</p> 	 $f_a = \frac{k \cdot a^4}{E \cdot J}$	<p>Standard Drehgestellwagen</p> <p>26,5 m Länge 19 m Drehgestellabstand</p>
<p>b) Jakobsfahrwerk</p> 	<p>Überhang \ddot{U}_b</p> 		<ul style="list-style-type: none"> + weniger Drehgestelle - Verlust der Überhänge - größere Durchbiegung (Gegenmoment der Überhänge fehlt) <p>$f_b > f_a$</p>
<p>c) - Einachswehrwerk - gekürzte Zelle</p> 	<p>Überhang \ddot{U}_c</p> 		<ul style="list-style-type: none"> + Leichtes Einachswehrwerk + $f_b \gg f_c > f_a$ - Überhang $\ddot{U}_b > \ddot{U}_c > \ddot{U}_a$ - mehr Gelenke
<p>d) - Einachswehrwerke - kurze Zelle mit Überhang</p> 	<p>$\ddot{U}_d = 0$</p> 		<ul style="list-style-type: none"> + leichte Einachswehrwerke (aber mehr als bei Lösung c) + keine Überhangverluste + kleinste Durchbiegung <p>$f_d < f_c < f_a < f_b$</p> <p>➔ Leichtbau Wagenkasten</p>

(Quelle: DMG-Studie „Leichtbau von Schienenfahrzeugen ...“, 2011)

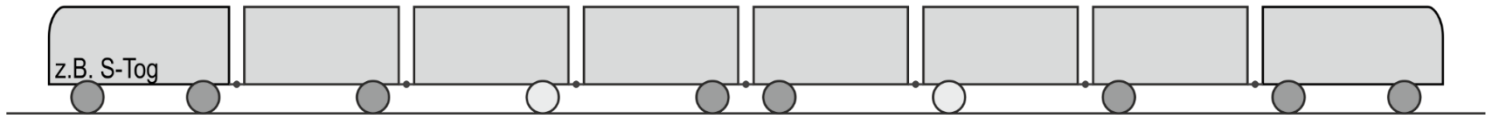
Folie Leichtbaupotential Gelenkzugkonzepte



Masse-
einsparung
23 %

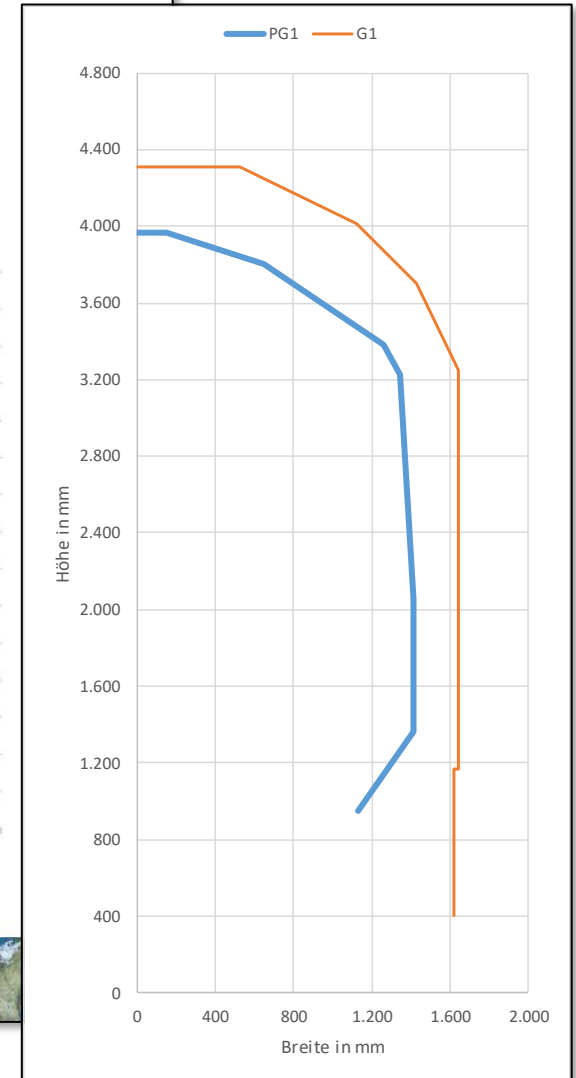
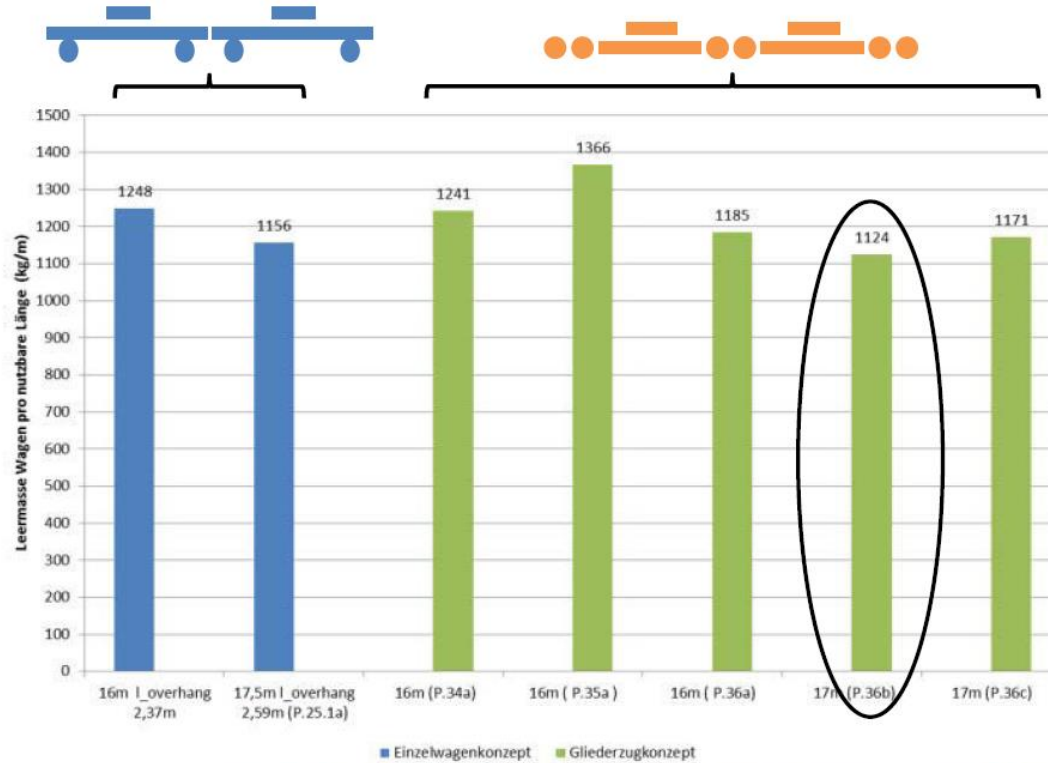


Masse-
einsparung
10 - 20 %



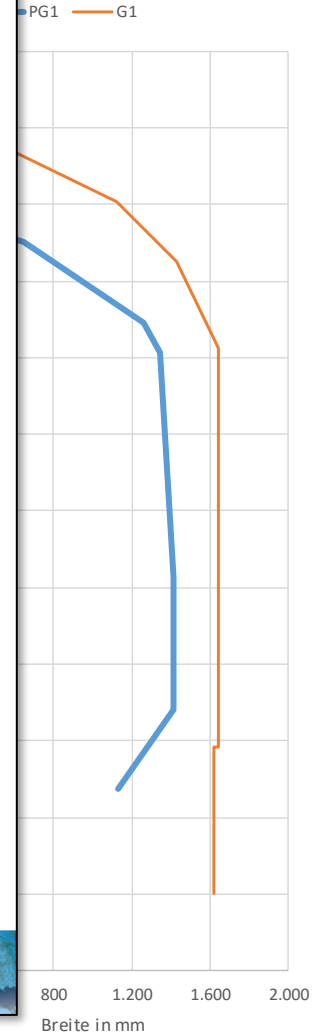
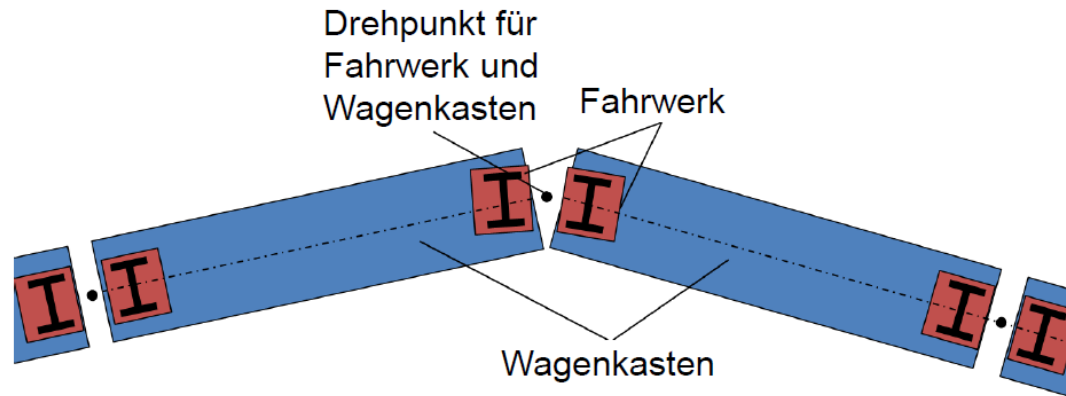
(Quelle: Schindler, ZEV+DET Glas. Ann. 130(2006)4; M. Kache; commons.wikimedia.org)

Massevergleich generischer Zugkonzepte



(Quelle: Malzacher, u.a. AeroLiner3000 – Doppelstöckiger Hochgeschwindigkeitszug in Leichtbauweise, Rad-Schiene-Tagung 2017)

Leichtbauoptimiertes Zugkonzept

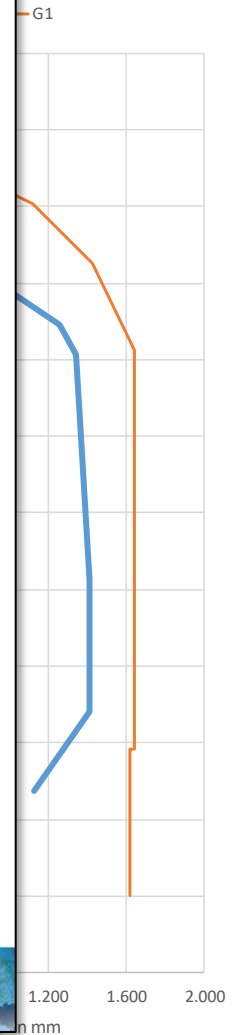
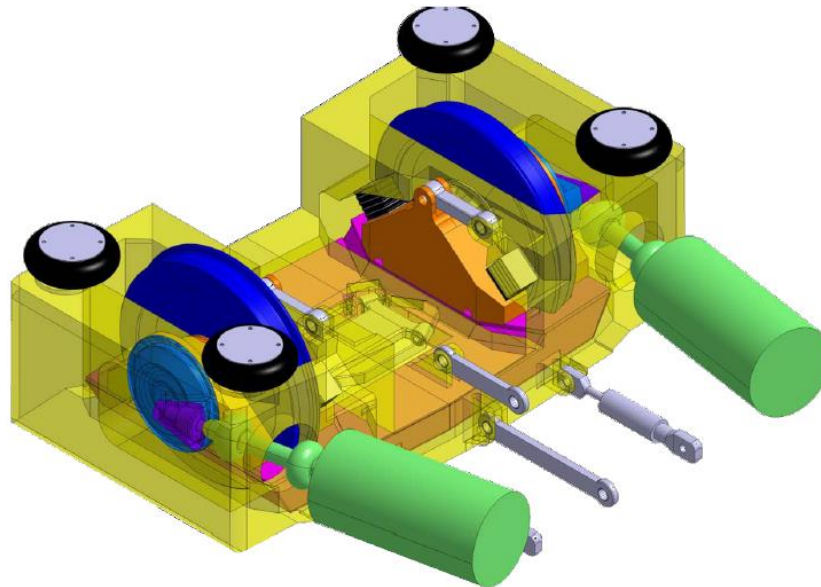


(Quelle: Malzacher, u.a. AeroLiner3000 – Doppelstöckiger Hochgeschwindigkeitszug in Leichtbauweise, Rad-Schiene-Tagung 2017)

Verfügbares Volumen für Fahrwerkstruktur

Strukturvolumen wird bestimmt durch:

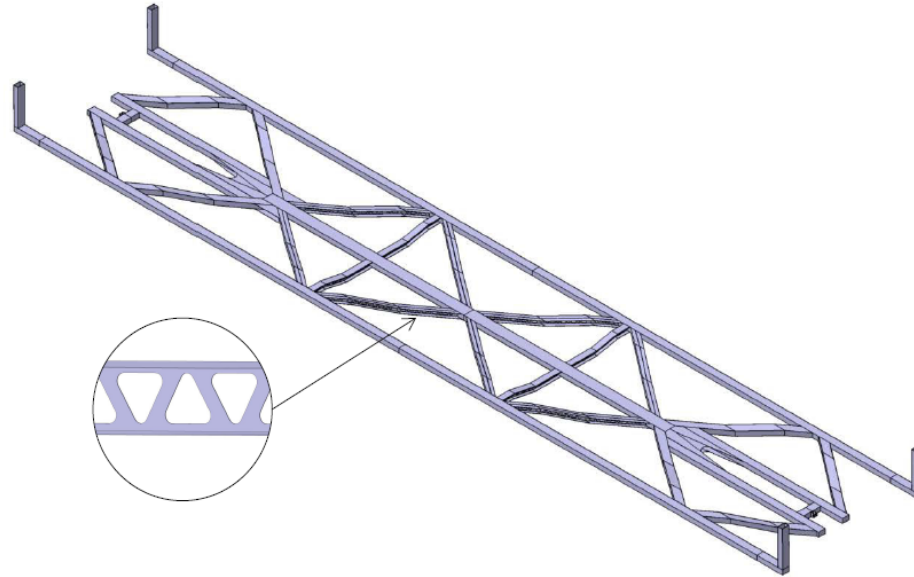
- Notwendige Komponenten
- Wagenkastenstruktur
- Radverschleiß
- Bezugslinie (PG1)
- Lenkbewegung
- Federwege
- Wankbewegung
- Querspiel



(Quelle: Malzacher, u.a. AeroLiner3000 – Doppelstöckiger Hochgeschwindigkeitszug in Leichtbauweise, Rad-Schiene-Tagung 2017)

Unterwagen

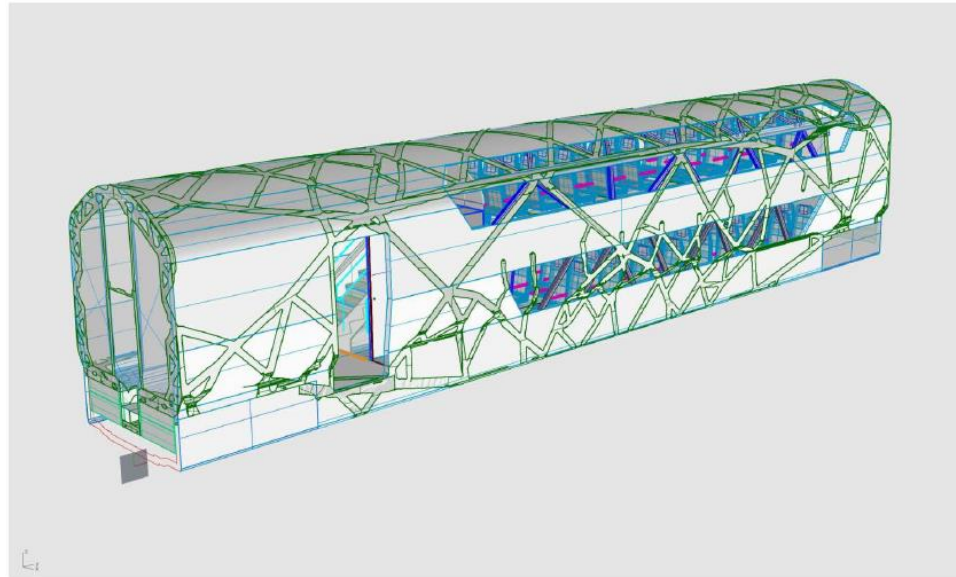
- Schweißkonstruktion aus gekrüpfen I- und Rechteckprofilen
- Dreieckige Ausschnitte in den Stegblechen der I-Profile



(Quelle: Malzacher, u.a. AeroLiner3000 – Doppelstöckiger Hochgeschwindigkeitszug in Leichtbauweise, Rad-Schiene-Tagung 2017)

Konstruktion Wagenkasten

- Lastflussoptimierte Leichtbaukonstruktion unter Beachtung von Designaspekten



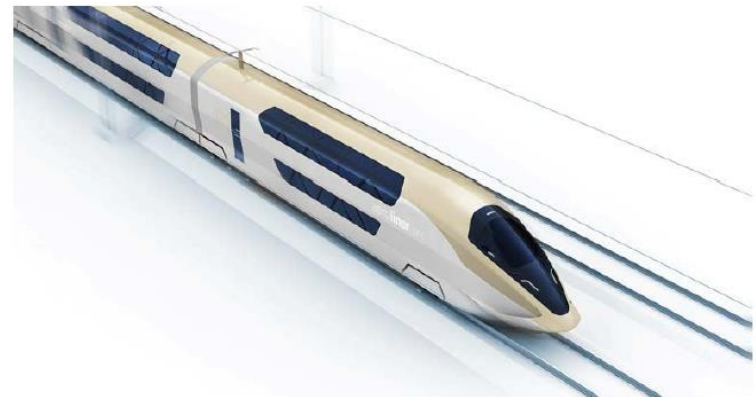
(Quelle: Malzacher, u.a. AeroLiner3000 – Doppelstöckiger Hochgeschwindigkeitszug in Leichtbauweise, Rad-Schiene-Tagung 2017)

Masseeinsparung zu „klassischem WK“ $\approx 17\%$

Fazit und Ausblick

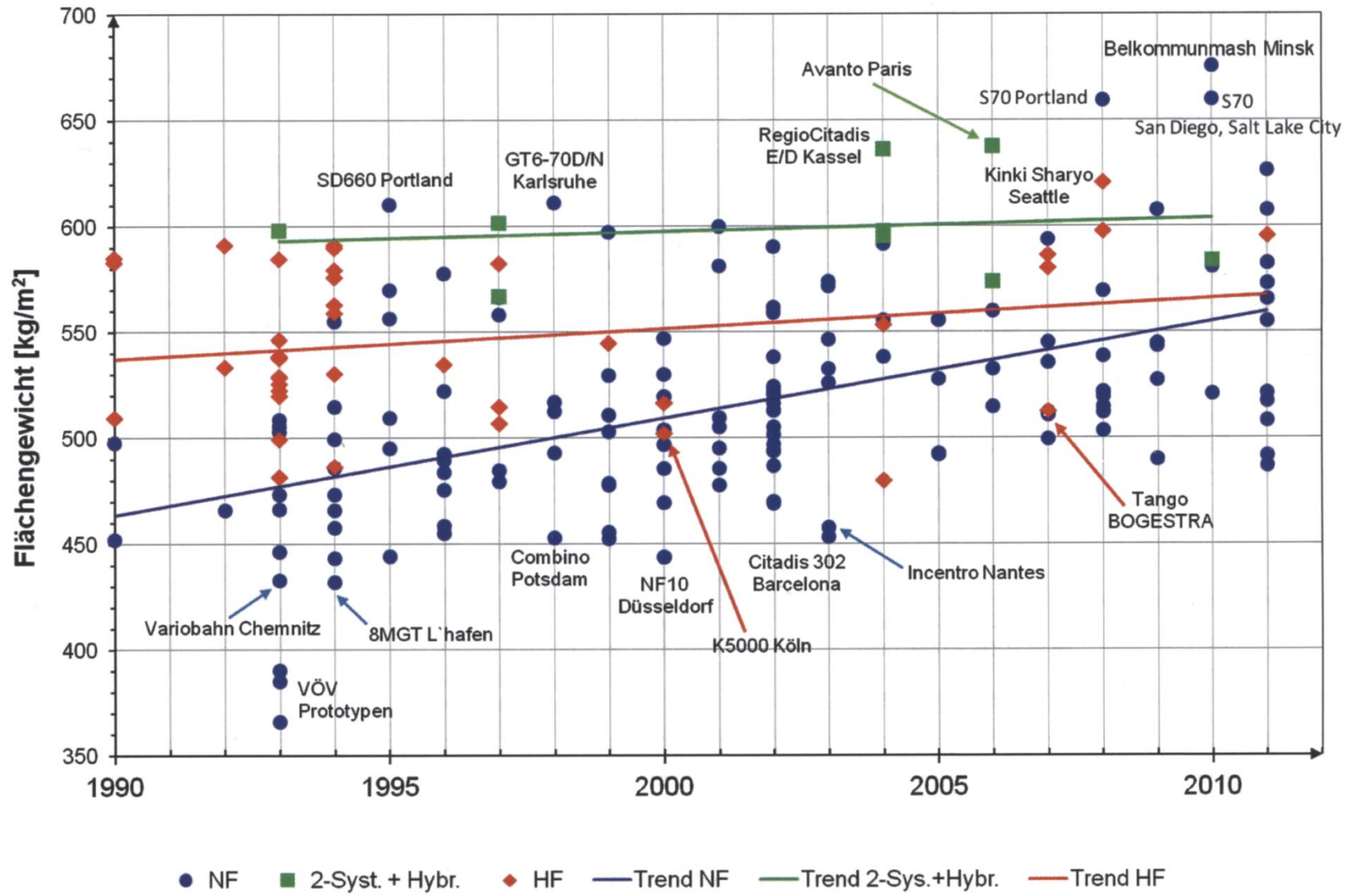


- Ziele wurden erreicht
- Vorhandene Expertise wurde erweitert und im Rahmen des AeroLiner3000 Projekt umgesetzt
- Umsetzung eines Knotenelementes in Zusammenarbeit mit der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt Halle



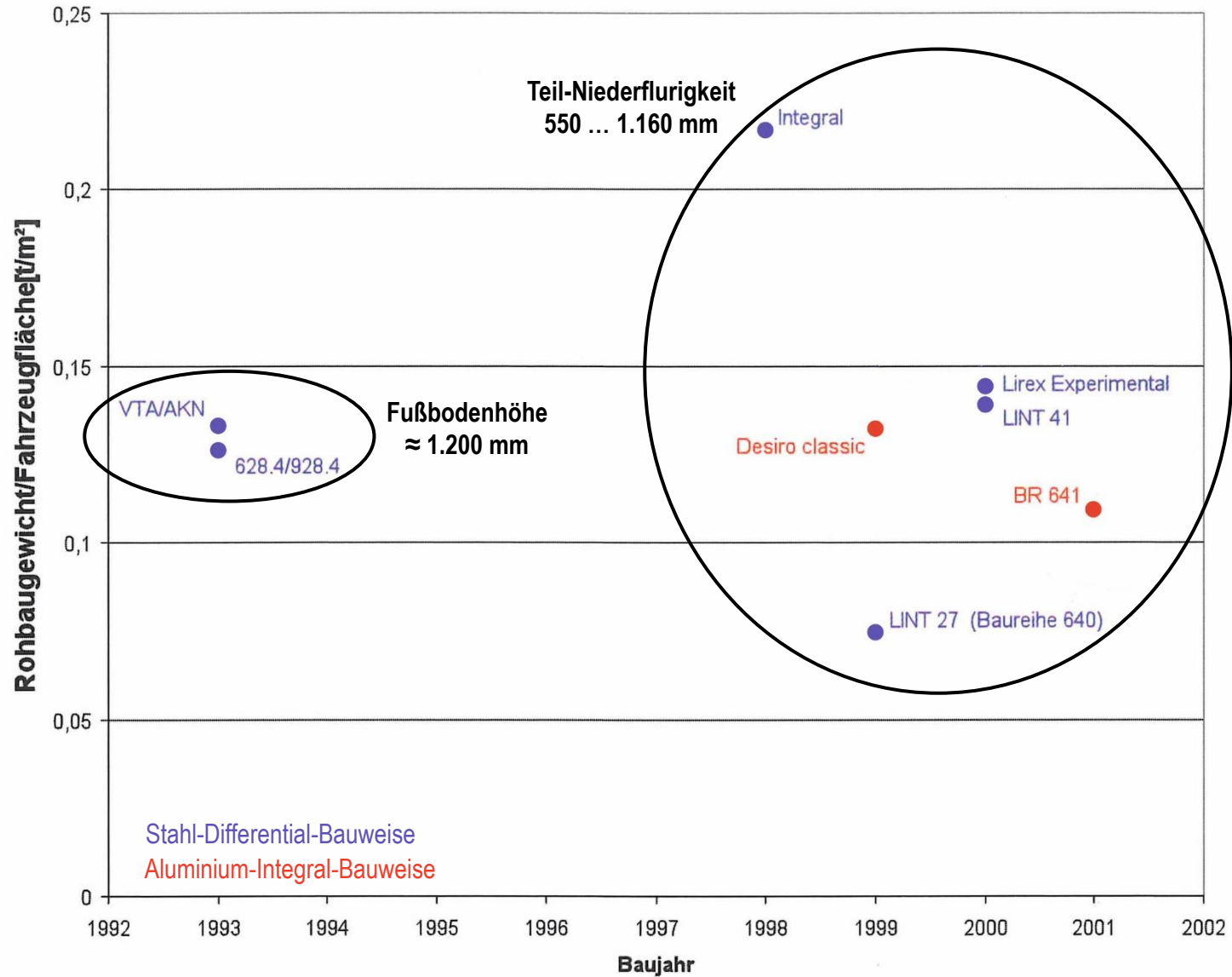
(Quelle: Malzacher, u.a. AeroLiner3000 – Doppelstöckiger Hochgeschwindigkeitszug in Leichtbauweise, Rad-Schiene-Tagung 2017)

Folie Entwicklung der Flächengewichte bei Straßen- und Stadtbahnfahrzeugen



(Quelle: DMG-Studie „Leichtbau von Schienenfahrzeugen ...“, 2011)

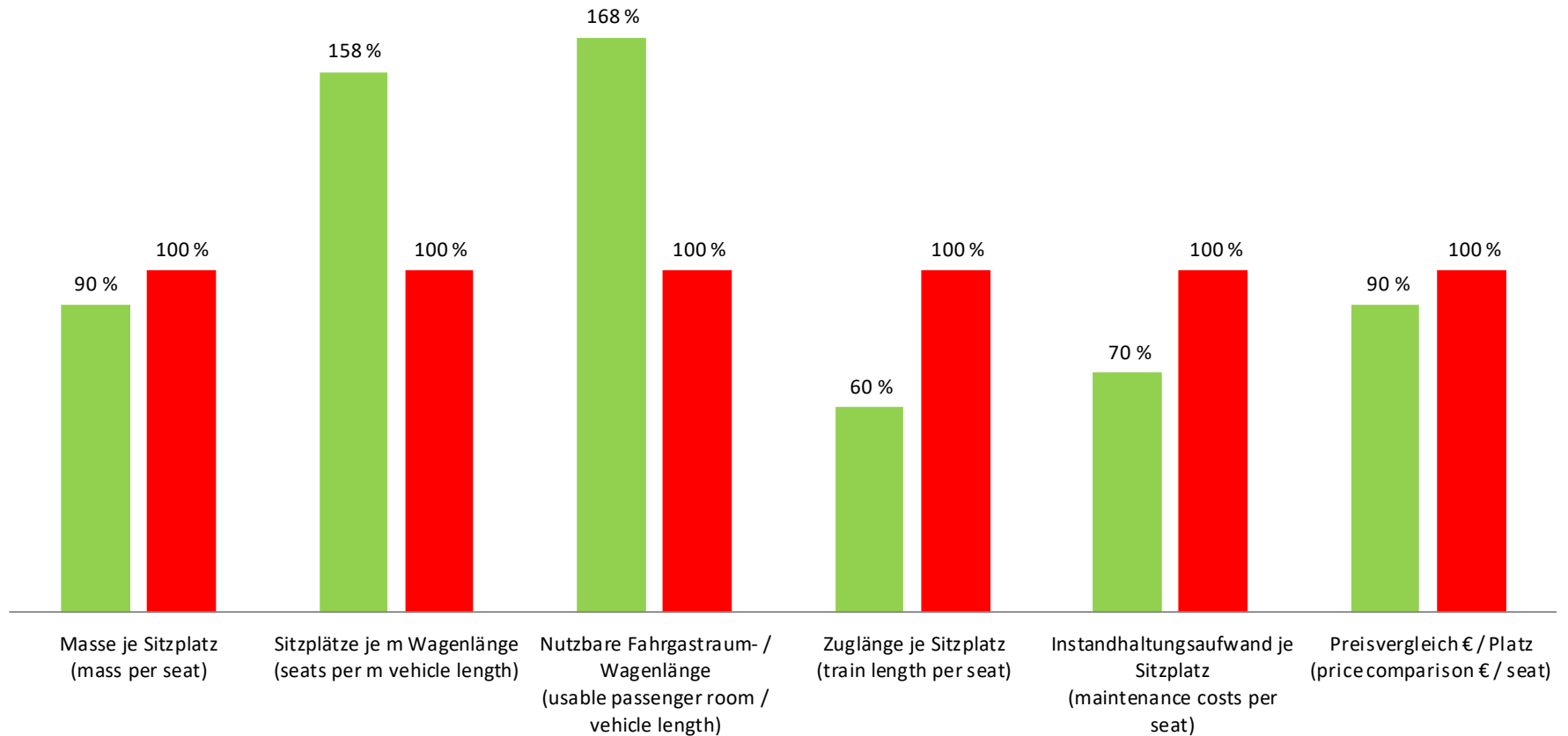
Folie Entwicklung der Rohbaugewichte bei Dieseltriebwagen



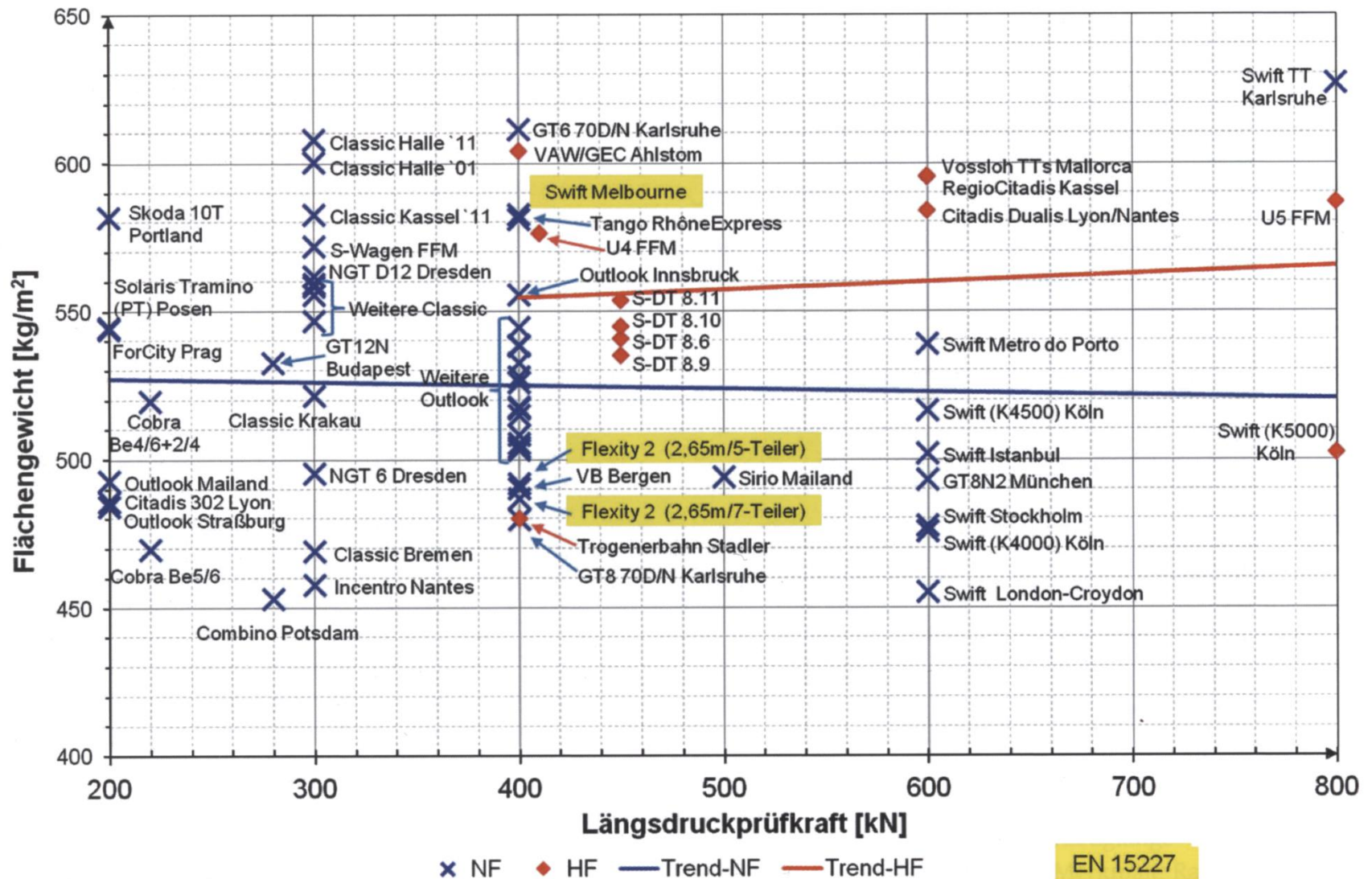
(Quelle: DMG-Studie „Leichtbau von Schienenfahrzeugen ...“, 2011)

Vergleich Doppelstockwagen - einstöckiger Nahverkehrswagen (Comparison double deck - single-storey coach)

■ Doppelstockwagen (double deck coach) ■ Nahverkehrswagen (suburban coach)

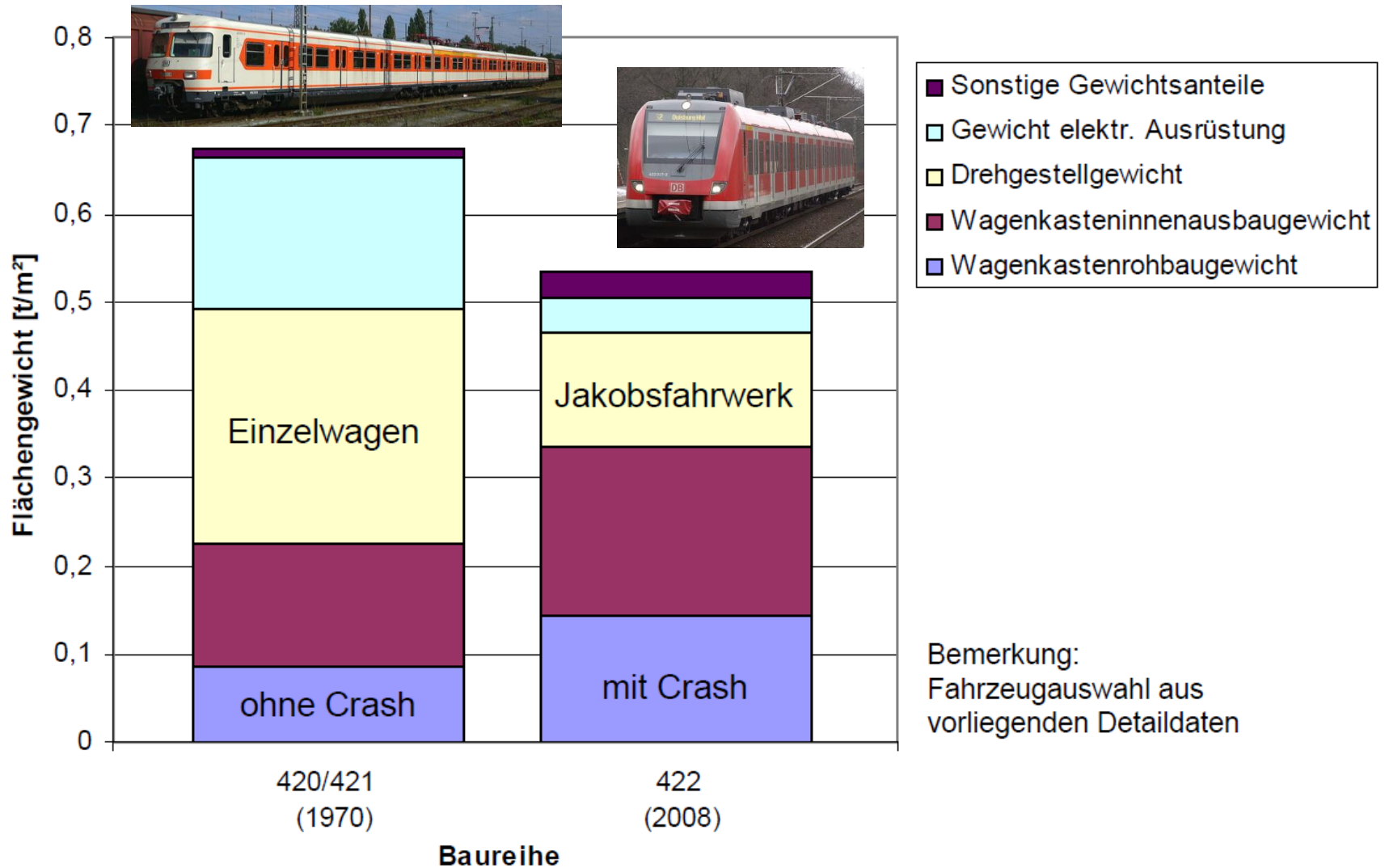


Folie Flächengewichte zu Längsdruckprüfkraft für Straßen- und Stadtbahnen



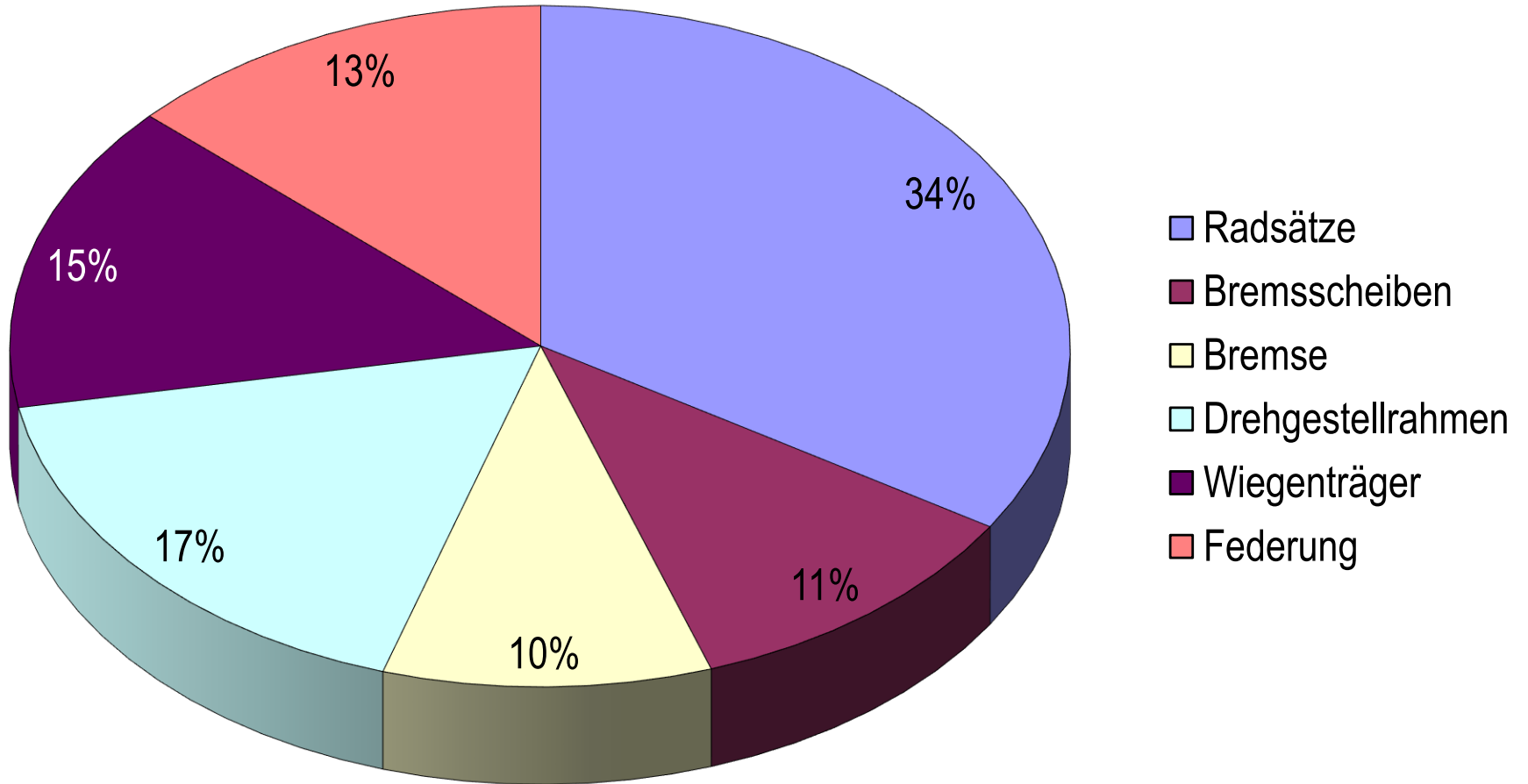
(Quelle: DMG-Studie „Leichtbau von Schienenfahrzeugen ...“, 2011)

Folie Vergleich von S-Bahn-Fahrzeugen mit gleichem Einsatzspektrum



(Quelle: DMG-Studie „Leichtbau von Schienenfahrzeugen ...“, 2011)

Folie Masseanteil der Komponenten des Drehgestells MD 530 (ICE-1-Mittelwagen)



(Quelle: Fischer; Ehinger: Jahrbuch des Bahnwesens, 2000)

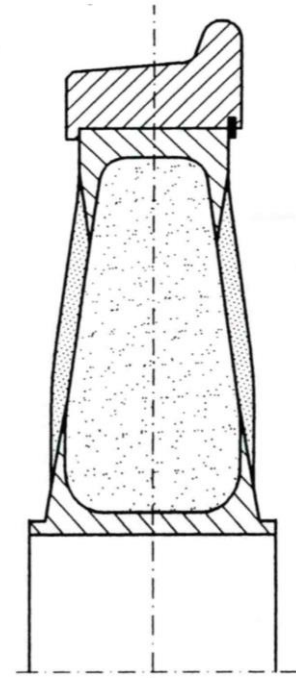
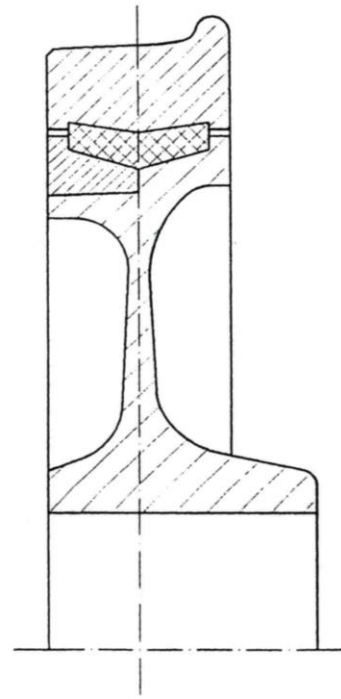
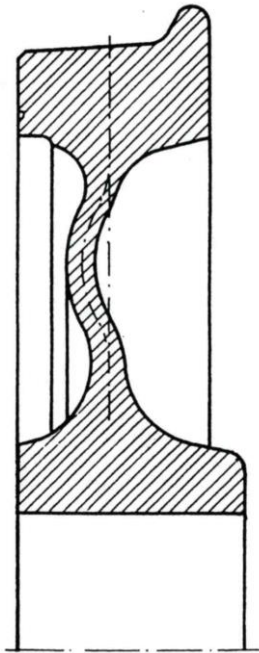
Folie Massen unterschiedlicher Radkonstruktionen und Werkstoffe

Vollrad

**gummigefedertes
Rad**

**FVK - Rad
(Faserverbund -
Kunststoff - Rad)**

Rad- \varnothing : 920 mm



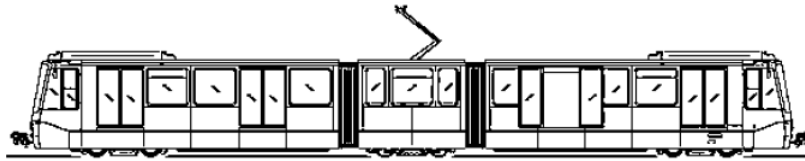
320 kg

Stahlradscheibe: **415 kg**
Alu-Radscheibe: **290 kg**

Prinzipskizze
ca. 270 kg

(Quelle: Fischer; Ehinger: Jahrbuch des Bahnwesens, 2000)

GEWICHTSEINSPARPOTENZIAL (BEISPIEL)



Gummigefederte Räder Bo 2000 in Hybrid-Ausführung bedeuten bei einem 6-achs. Stadtbahnwagen:

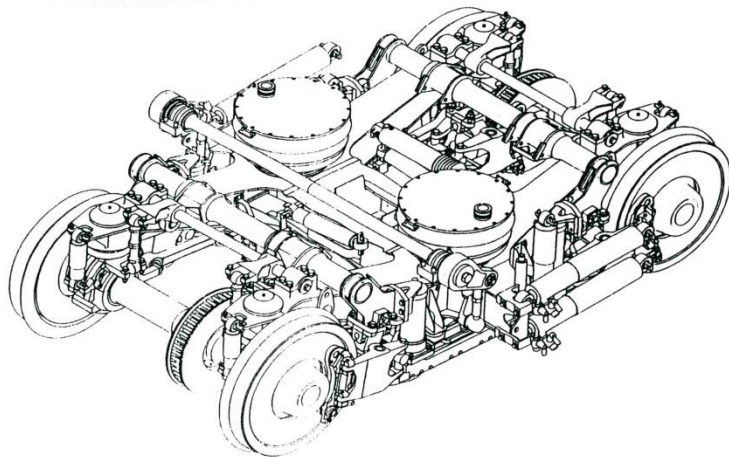
- **600 kg** Gewichtsreduzierung pro Fahrzeug
- **100 kg** niedrigere Radsatzlast; Reserven zur Einhaltung der max. Radsatzlast
- **reduzierte Beanspruchungen** an Fahrweg und Fahrzeug
- **195.000 kWh** Energieeinsparung während der Fahrzeuglebensdauer^{1,2}
(Straßen-/Stadtbahnen, Gesamtleistung 3 Mio. km)
- **98.000 kg** weniger CO₂-äquivalente Emissionen³

oder um 8 Personen erhöhte Transportkapazität!

¹ Helms, Lambrecht; The Potential of Light-Weighting to Reduce Transport Energy Consumption, Int. J. LCA 2006:7

² Forschungsprojekt „Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie und Steigerung der Energieeffizienz im öffentlichen Personennahverkehr“ BMVI, Jan. 2014

³ Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen des ÖPNV
Leitfaden zur Anwendung der europäischen Norm EN 16258, BMVI, Sept. 2014



Massereduziertes HGV-Fahrwerk

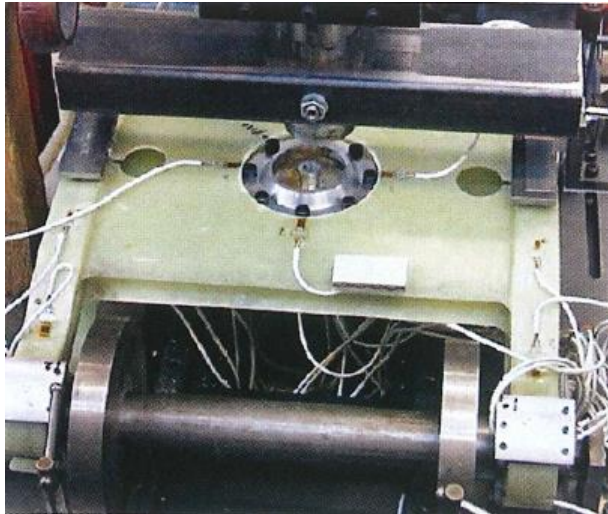
(Quelle: Fischer; Ehinger: Jahrbuch des Bahnwesens, 2000)

Folie Leichtbaupotential Fahrwerke (II)

EUROBOGIE



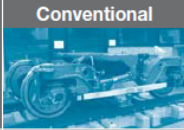


efWING



(Quelle: DLR: Einsatz von CFK-Leichtbau-Faserverbund-Technologien ..., 2016; Prospekt efWing, Kawasaki; wikipedia)

Folie Leichtbaupotential Fahrwerke (III)

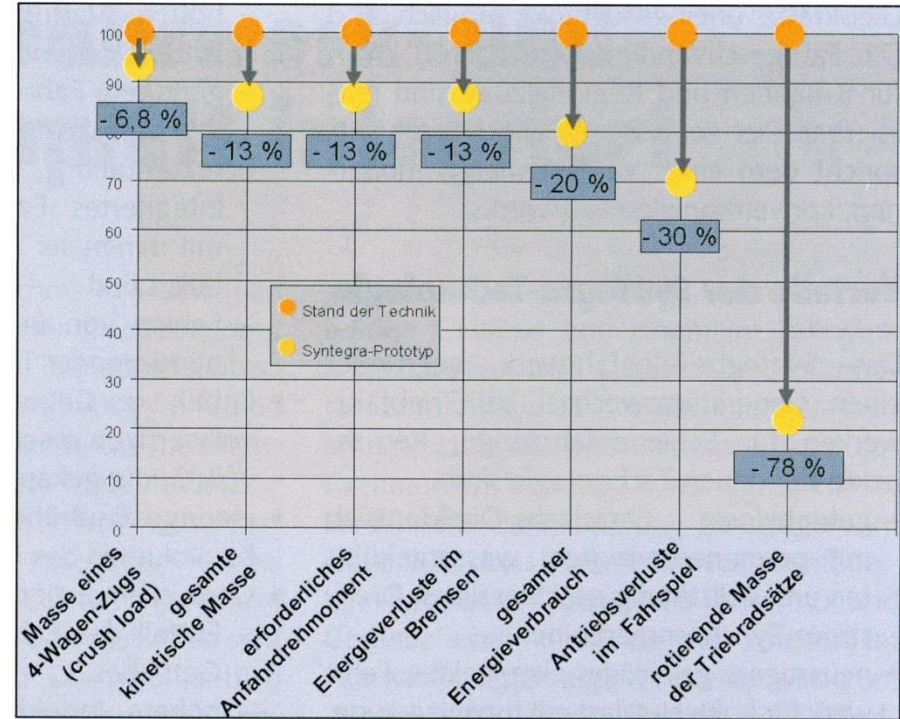
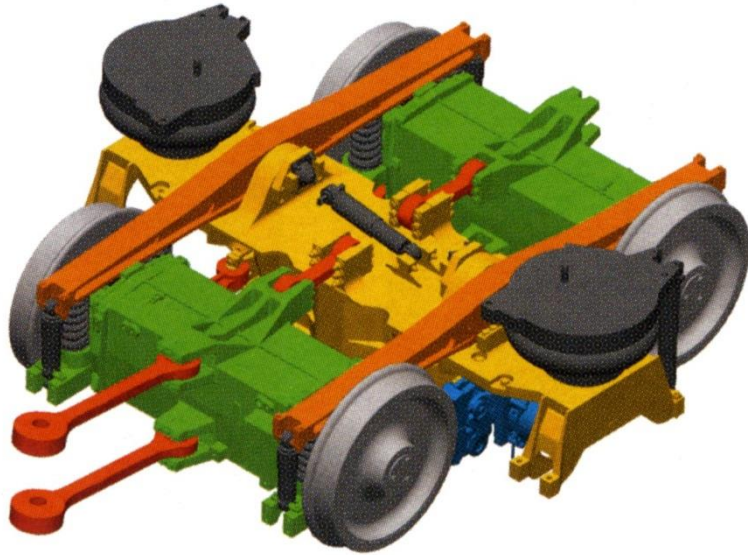
ICE4 (Bombardier FLEXX Eco 5101)

Category	Conventional	FLEXX Eco	Technical background
			
Weight	 Weight: 6.8 t	 Weight: 4.6 t	<p>The integrated design of <i>FLEXX Eco</i> bogie with inboard bearing and short wheelbase results in:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Low weight frame (reduced transom length) • Low weight wheelset (reduced stress level on axle, hollow shaft axle, small wheel diameter) • Low axle load
Unsprung mass	 Unsprung mass: 3.6 t	 Unsprung mass: 2.7 t	<p>Bogie size comparison:</p>  <p>■ FLEXX Eco ■ Conventional</p>
Space required			
Life cycle costs			<p><i>FLEXX Eco</i>'s maintenance costs savings are mainly driven by:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Low wheel wear due to low unsprung mass and improved curving performance • Low overall component maintenance due to: <ul style="list-style-type: none"> - Low dynamic energy level bearings - Minimum quantity of hydraulic dampers - Easy access to brake units
Track access charges	 200 km/h, 16 t axle load class	 200 km/h, 16 t axle load class	<ul style="list-style-type: none"> • In many countries the operator is charged for access to the track • In Great Britain a variable charging system is used, considering vertical track damage based on speed, axle load and, most significant, un-suspended mass

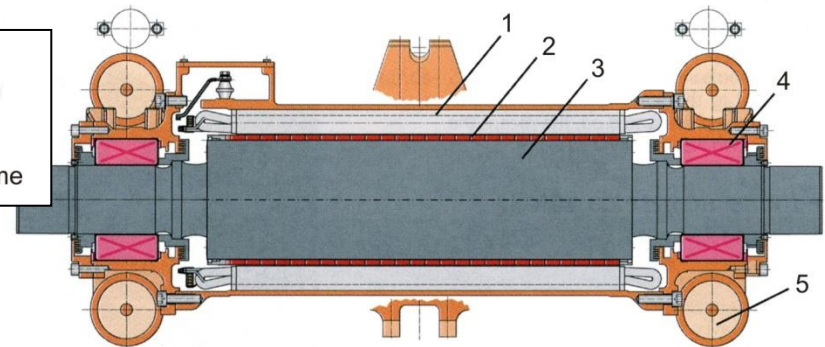


(Quelle: Produktbroschüre BT FLEXX Eco; Mannsbarth: Vortrag IFS&DMG, 2014-12)

Folie Integriertes Fahrwerk Syntegra®

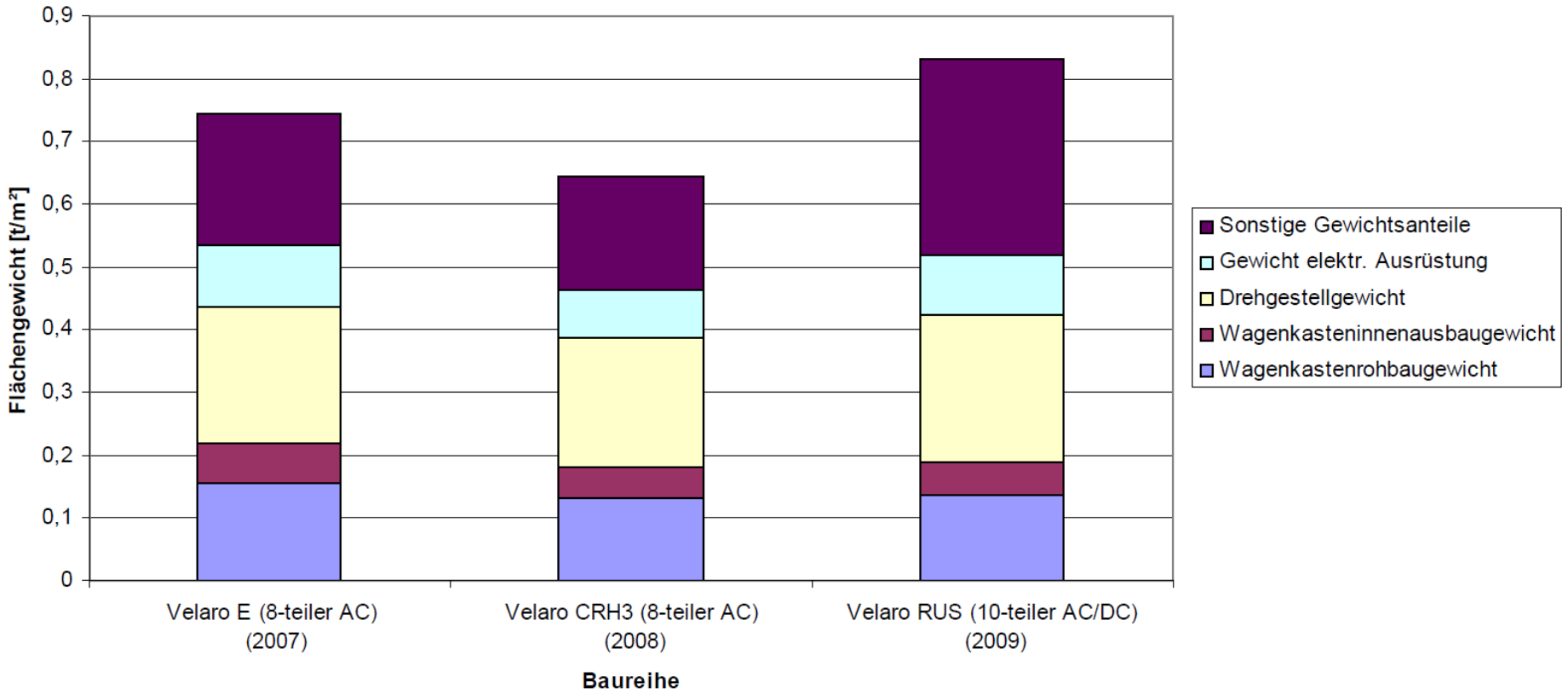


- 1 - Stator
- 2 - Permanentmagnete
- 3 - Rotorpaket
- 4 - Hauptlager
- 5 - Primärfederaufnahme



(Quelle: Löwenstein u.a.: Eisenbahningenieur 58(2007)5)

Folie Vergleich Velaro HGV-Fahrzeuge



(Quelle: DMG-Studie „Leichtbau von Schienenfahrzeugen ...“, 2011, Siemens, heise online, railomotive.com)

Folie Leichterungsbeispiele Güterwagen

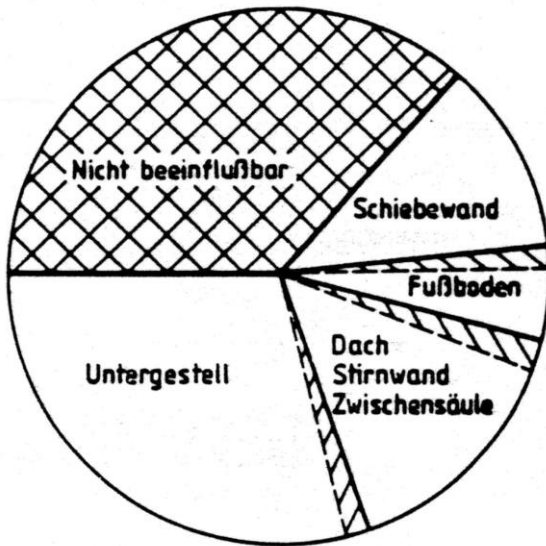
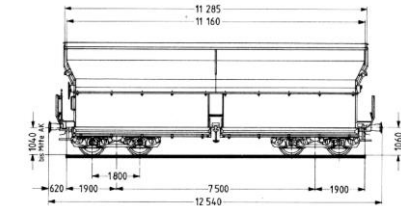
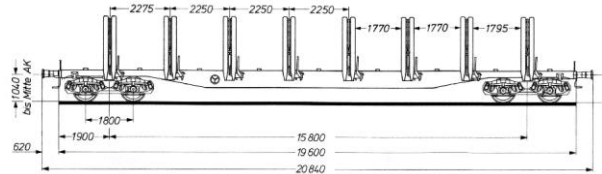


Bild 2: Leichterung eines zweiachsigen Schiebewandwagens durch Formleichtbau

Gewichtseinsparung bezogen auf	
- Untergestell	195 kg \cong 4,2%
- Dach usw.	205 kg \cong 9,0%
- Fußboden	110 kg \cong 15,2%
Gesamt	510 kg \cong 5,2% des beeinflussbaren Gewichts
	\cong 3,3% des Gesamtgewichts

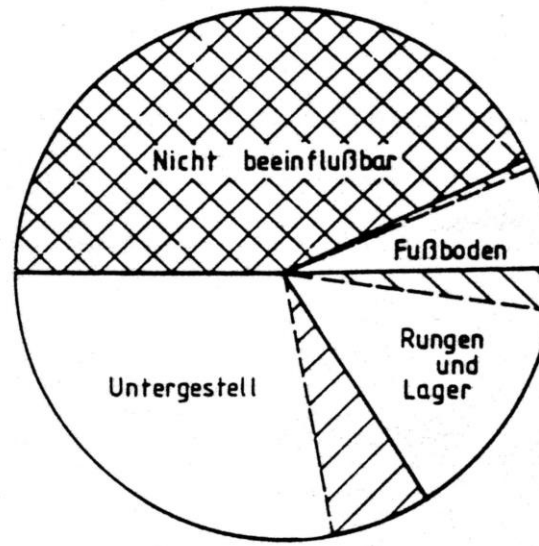


Bild 3: Leichterung eines vierachsigen Flachwagens der Bauart Sps 719 durch Formleichtbau

Gewichtseinsparung bezogen auf	
- Untergestell	1590 kg \cong 16,9%
- Rungen u. Lager	610 kg \cong 13,4%
- Fußboden	130 kg \cong 7,1%
Gesamt	2330 kg \cong 14,8% des beeinflussbaren Gewichts
	\cong 8,5% des Gesamtgewichts

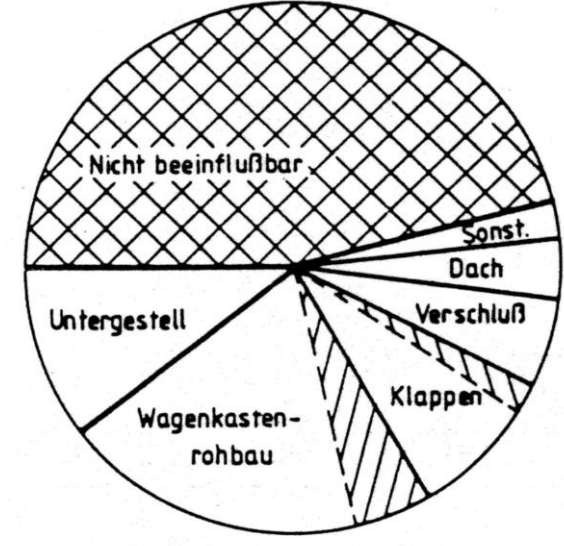


Bild 4: Leichterung eines Schüttgutwagens der Bauart Tal 968 durch Stoffleichtbau

Gewichtseinsparung bezogen auf	
- Kasten	1150 kg \cong 19,1%
- Klappen	520 kg \cong 22,4%
- Anstrich	130 kg \cong 52,0%
Gesamt	1800 kg \cong 13,2% des beeinflussbaren Gewichts
	\cong 7,1% des Gesamtgewichts

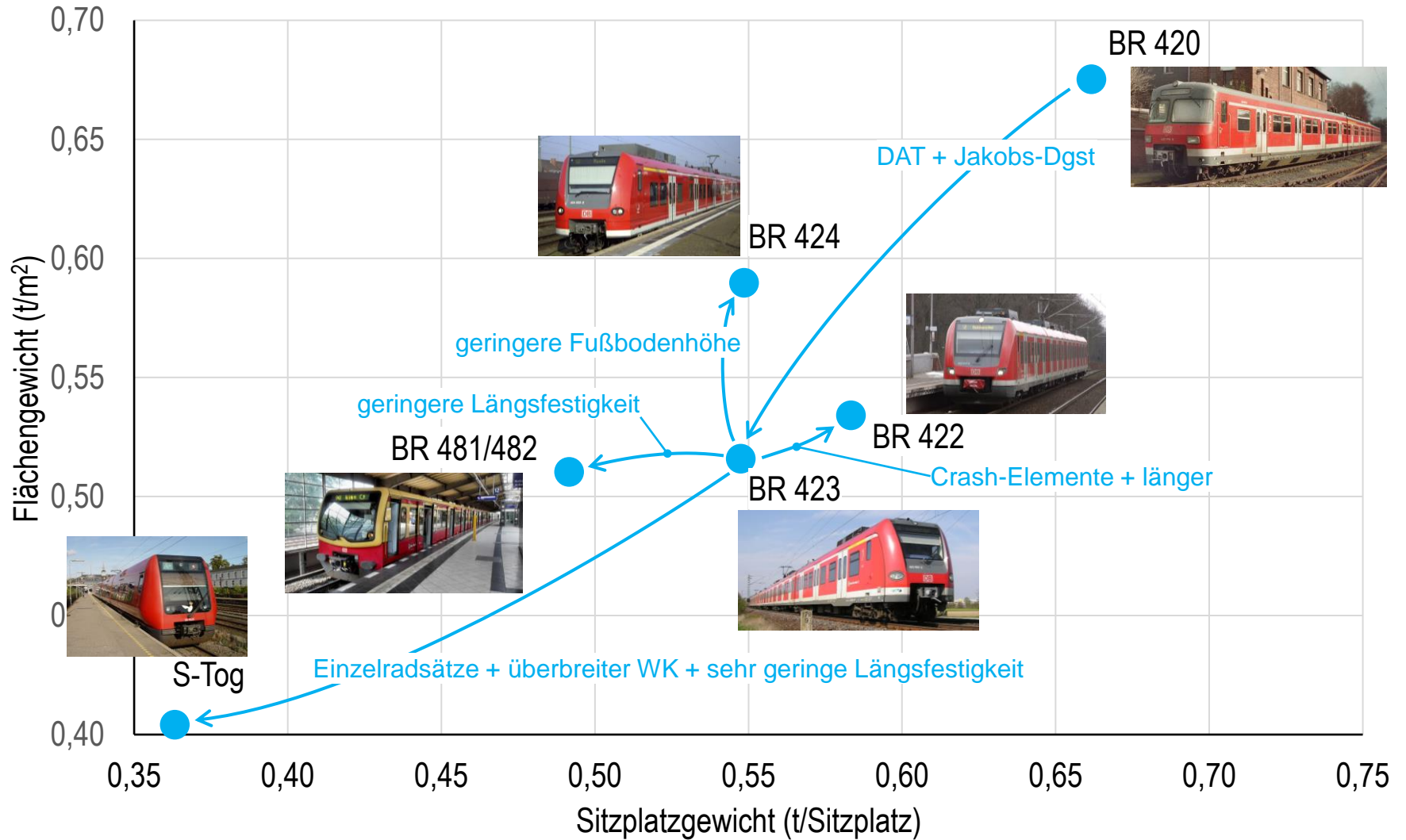
(Quelle: Brill: ZEV 111(1987)10)

Folie Massesteigernde ↔ massemindernde Faktoren

	Massesteigernde Faktoren	Massemindernde Faktoren
Allgemein	Kollisionssicherheits-Anforderungen Mehrsystem-Ausrüstung Komfortable Ausrüstung Neigetechnik Niederflurigkeit / geringe Bahnsteighöhe	Verminderte Längsdruckkraft Jakobs-Drehgestelle / Einzelradsatzfahrwerke Geringer Komfort, enge Bestuhlung Drehstrom-Antriebstechnik Hohe Bahnsteige Fahrzeugbreite erhöhen (= kurze Wagenkästen)
S-Bahn	Toilette (behindertengerecht) Klimaanlage	Aluminium-Bremsscheiben Getrenntes Netz
Diesetriebwagen	Dieselelektrische Kraftübertragung Hohe Endgeschwindigkeit (hohe Leistung)	Dieselmekanische Kraftübertragung LKW- und Busbaugruppen
Elektrische Regionaltriebwagen	Einzelwagen	Große Wagenanzahl
HGV	Triebzugkonzept	Triebköpfe Leichtbau-Magnetschienenbremse 50-Hz-Ausrüstung

(Quelle: nach DMG-Studie „Leichtbau von Schienenfahrzeugen ...“, 2011)

Flächen- / Sitzplatzgewicht S-Bahn



(Quelle: nach DMG-Studie „Leichtbau von Schienenfahrzeugen ...“, 2011)

- Was verstehen Sie unter „Leichtbau“ beim Schienenfahrzeug?
- Erläutern Sie die Ziele des Leichtbaus im Schienenfahrzeugbau!
- Nennen und erläutern Sie die Leichtbaustrategien im Schienenfahrzeugbau!
- Schätzen Sie die typischen Bauweisen für Schienenfahrzeugtragwerke hinsichtlich des Leichtbaus ein!
- Welche Möglichkeiten bestehen für den Leichtbau eines Schienenfahrzeugtrag- oder -fahrwerks?
- Nennen Sie masse-mindernde und masse-steigernde Faktoren bei der Gestaltung eines Schienenfahrzeugtragwerks!
- Welche Leichtbaupotentiale können bei der Gestaltung von S-Bahn-Fahrzeugen gefunden werden?