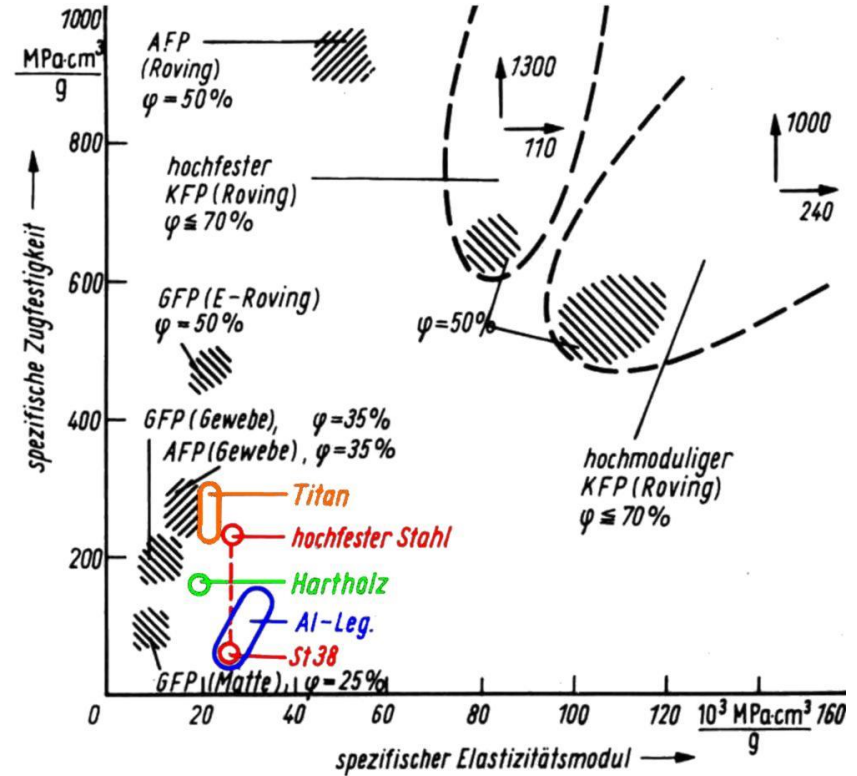
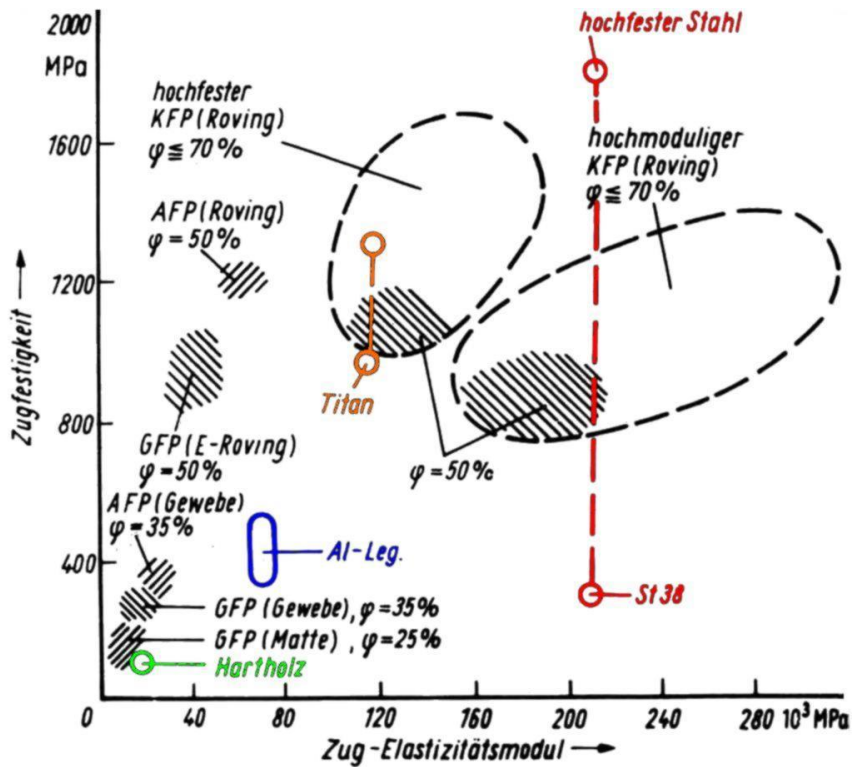


# Folie Einschätzung der Werkstoffe für Tragwerke

Anforderung	Stahl	Alu-Leg.	FVK
<b>Festigkeit, Steifigkeit:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– hohe Längsfestigkeit, hohe lokale Festigkeit ↔ Energieverzehbereiche</li> <li>– große Struktursteifigkeit (Stützweite, Überhang) ↔ definierte Elastizitäten</li> <li>– Strukturdämpfung</li> </ul>	↗	→	↑
<b>Schweißbarkeit</b>	↗	↘	↓
<b>Möglichst ebene Oberfläche<sup>1</sup></b>	→	↗	↑
<b>Geringe Masse → Leichtbau</b>	↓	↗	↑
<b>Wirtschaftlichkeit</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Materialkosten</li> <li>– Herstellungskosten<sup>1</sup> → Beschleunigung der Fertigungsabläufe</li> <li>– Folgekosten<sup>1</sup> im langen Betriebszeitraum               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Korrosionsbeständigkeit</li> <li>• Reparaturfreundlichkeit</li> </ul> </li> </ul>	↗ ↗ → ... ↑ ↓ ... ↑ ↑	↘ ↗ → ... ↗ ↗ →	↓ ↓ ... ↗ ↗ ↑ ↓ ... ↗

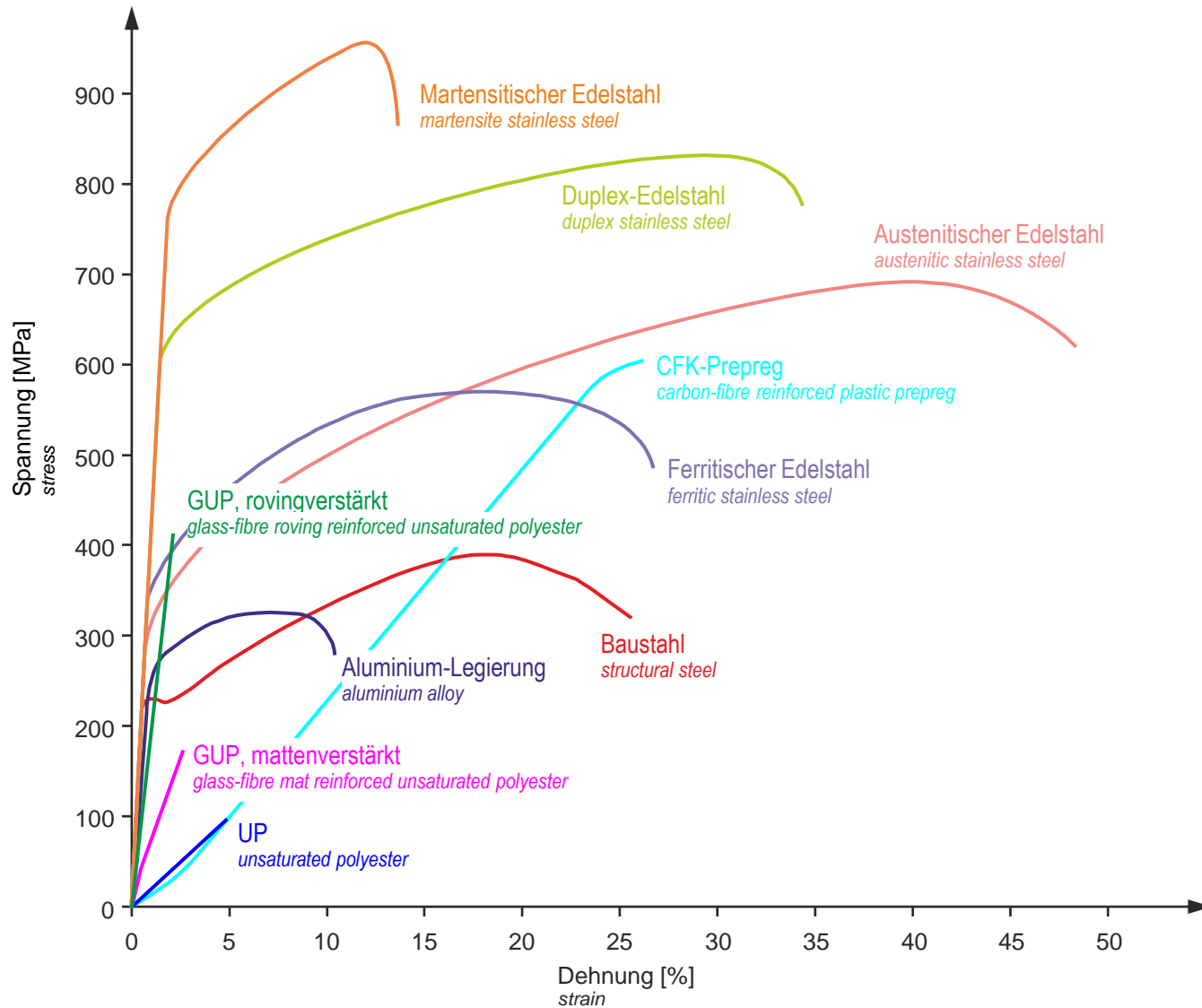
<sup>1</sup>Einschätzung im Zusammenhang mit typischer Bauweise

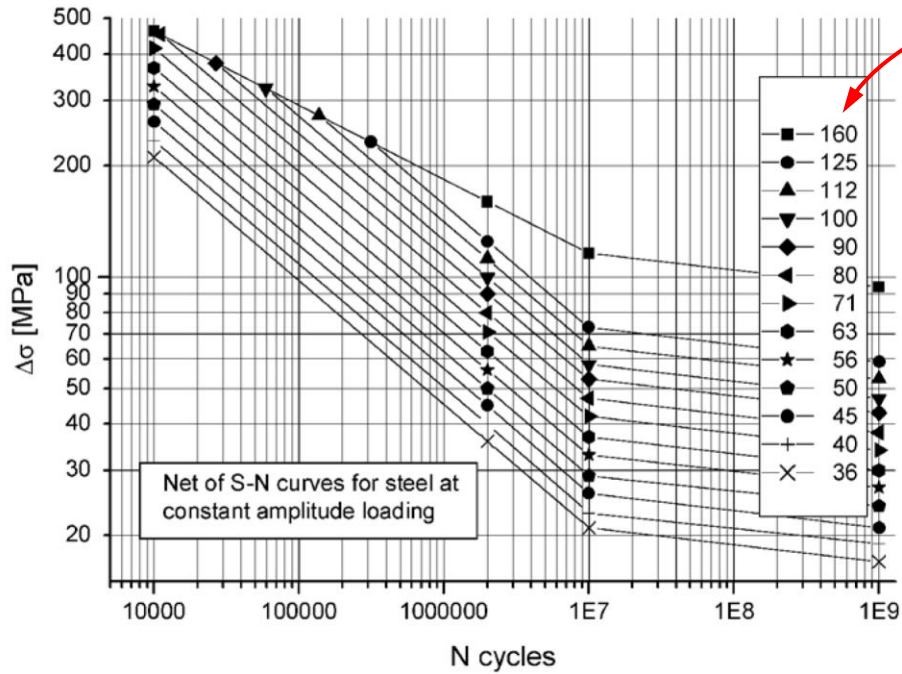
# Folie Festigkeiten/Steifigkeiten ausgewählter Werkstoffe



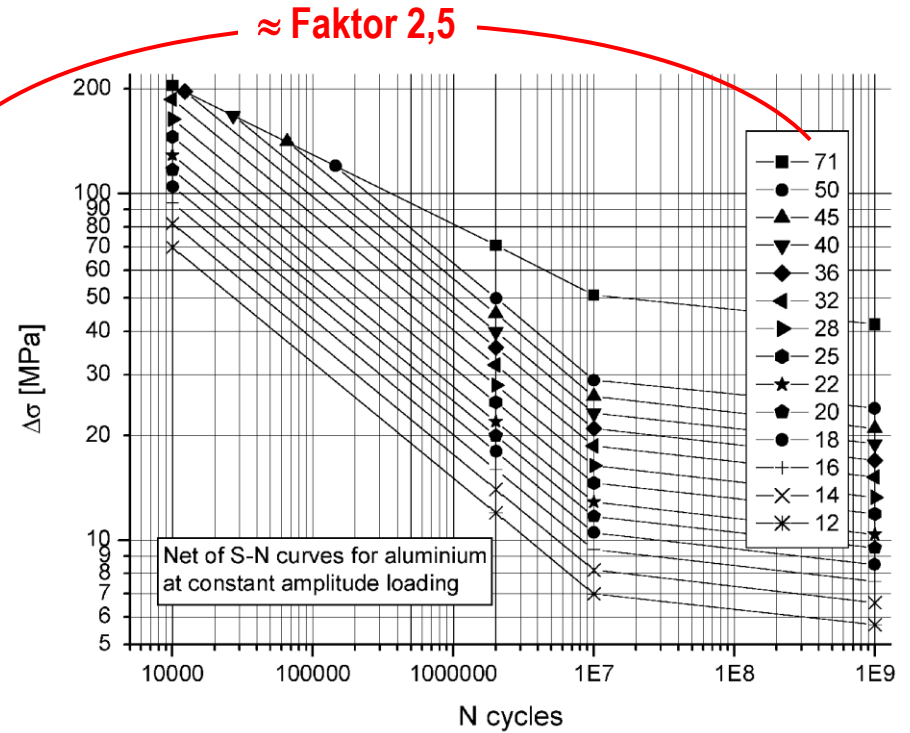
(Quelle: Nowak; Lauck: Maschinentechnik 34(1985)1)

# Folie Statische Festigkeitswerte im Vergleich





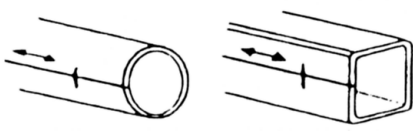
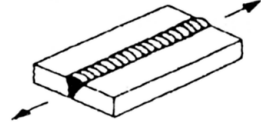
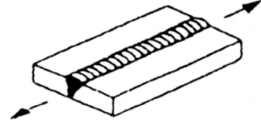
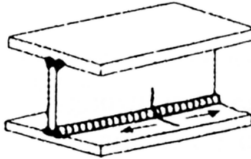
**Fig. (3.2)-1:**  
Fatigue resistance S-N curves for **steel**, normal stress



**Fig. (3.2)-2:**  
Fatigue resistance S-N curves for **aluminium**, normal stress

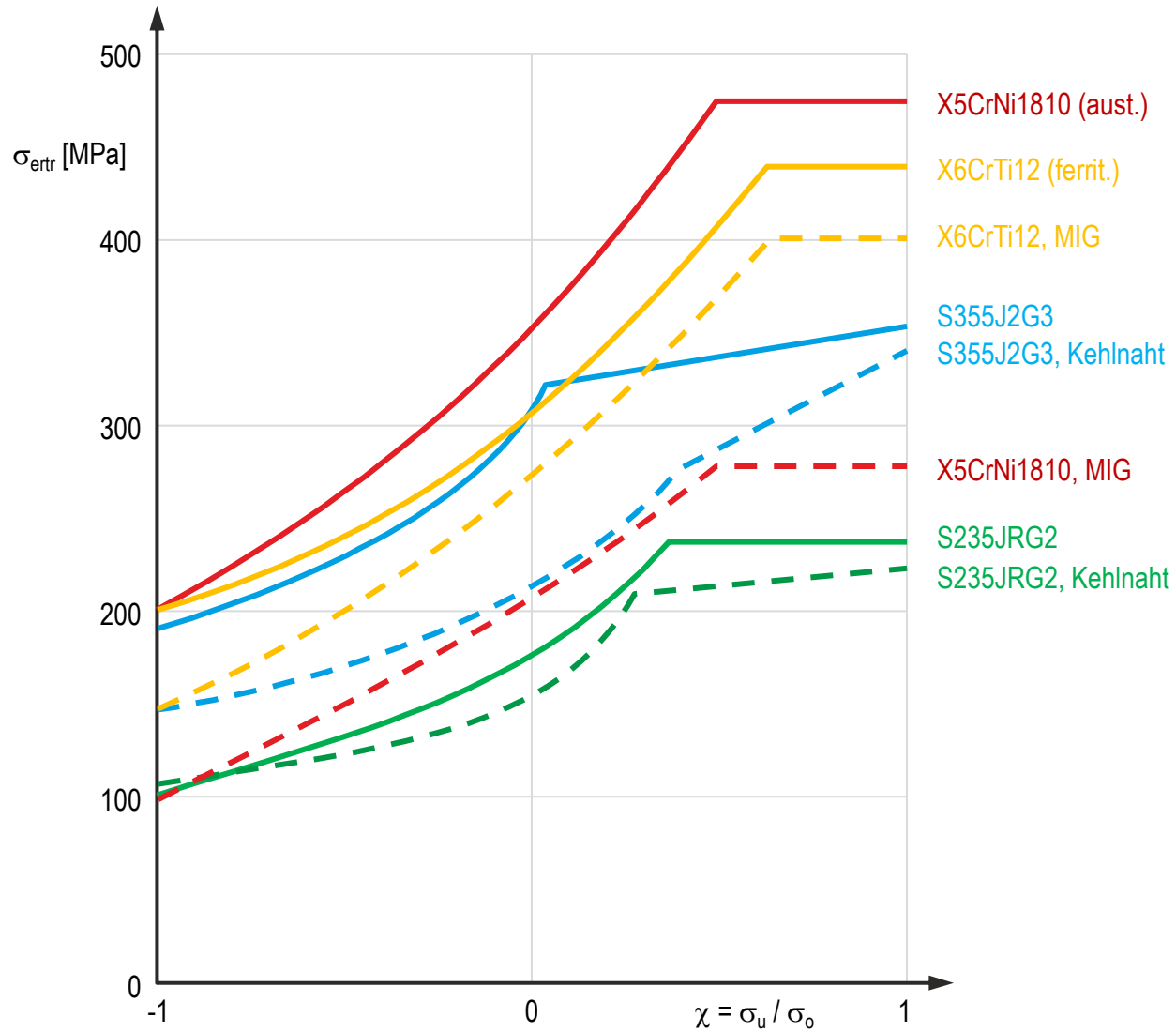
(Quelle: IIW-Empfehlungen, Febr. 2005)

**Tabelle 5.4.1** Bauteilklassen für Nennspannung (Normalspannung), Fortsetzung 3 von 10.

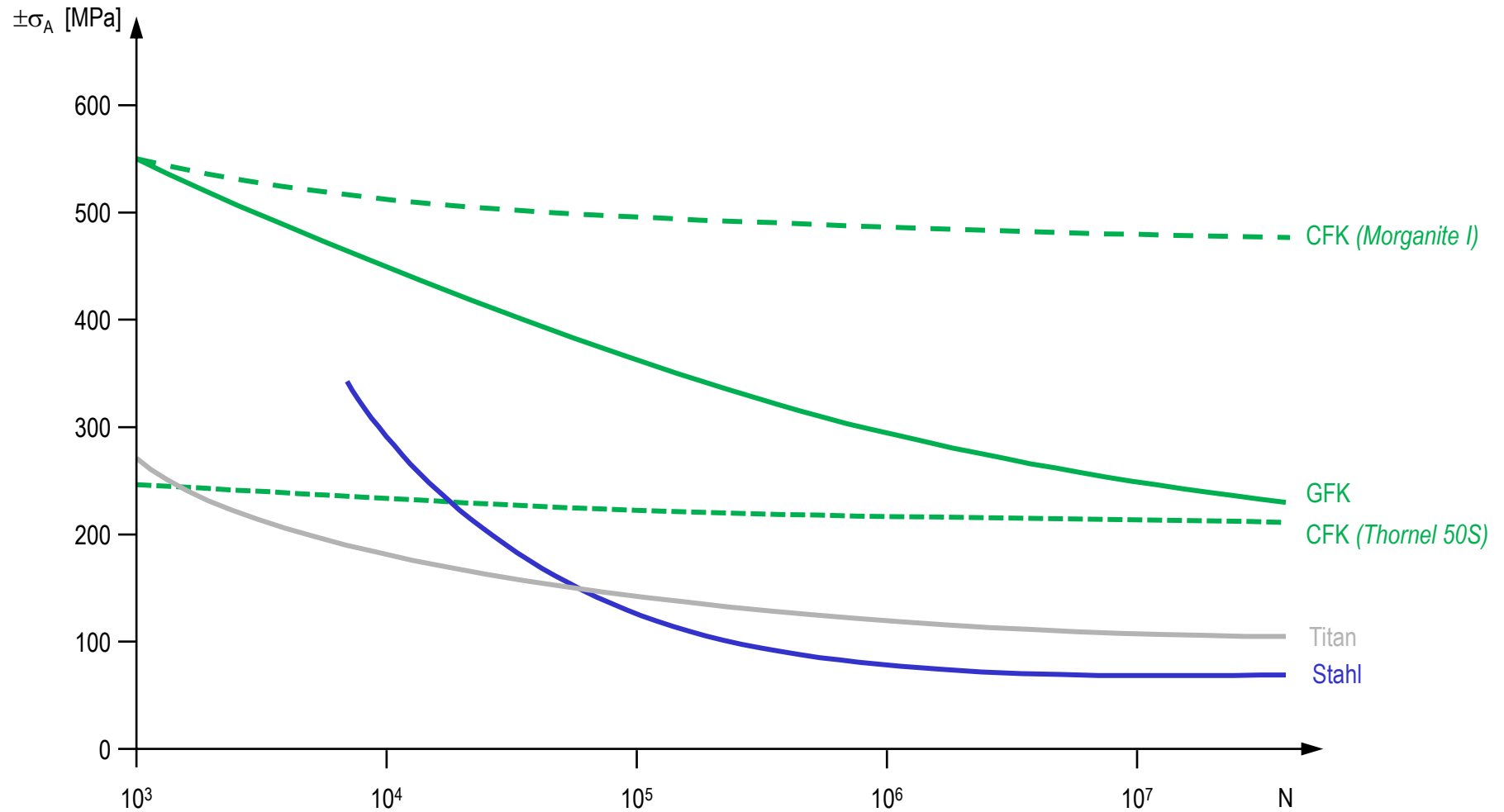
Nr.	Konstruktives Detail	Beschreibung	FAT Stahl	FAT Alu
300	Schweißnähte, längsbelastet			
311		Automatisch geschweißte Längsnaht in Hohlprofilen; ohne Nahtansätze mit Nahtansätzen	125 90	50 36
312		Längsbelastete Stumpfnahtheit, beidseitig blecheben parallel zur Naht bearbeitet, 100 % zFP.	125	50
313		Längsbelastete Stumpfnahtheit; ohne Nahtansätze, zFP mit Nahtansätzen	125 90	45 36
321		Durchlaufende automatisch geschweißte längsbelastete K-Naht, voll durchgeschweißt, ohne Nahtansätze, 100 % zFP, Spannung im Flansch.	125	50

(Quelle: FKM-Richtlinie 2003)

# Folie Vergleich unlegierter – hochlegierter Stahl – MKJ-Diagramm



# Folie Dauerfestigkeit von Faserverbundwerkstoffen



(Quelle: nach Leo: ZEV Glas. Ann. 112(1988)10)

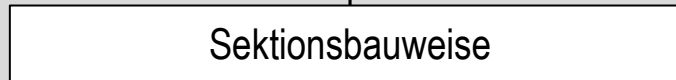
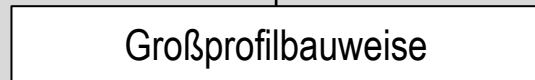
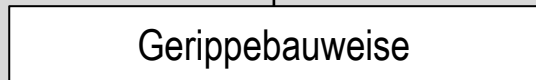
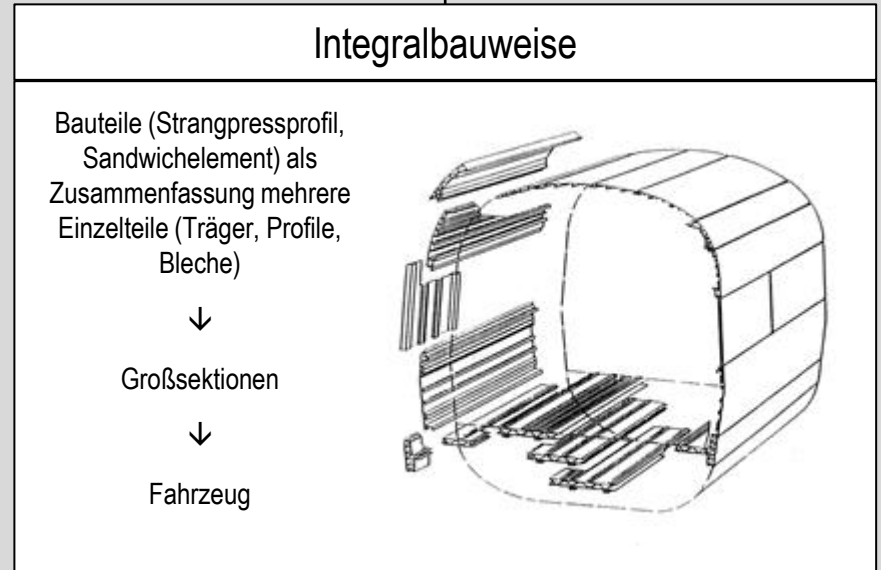
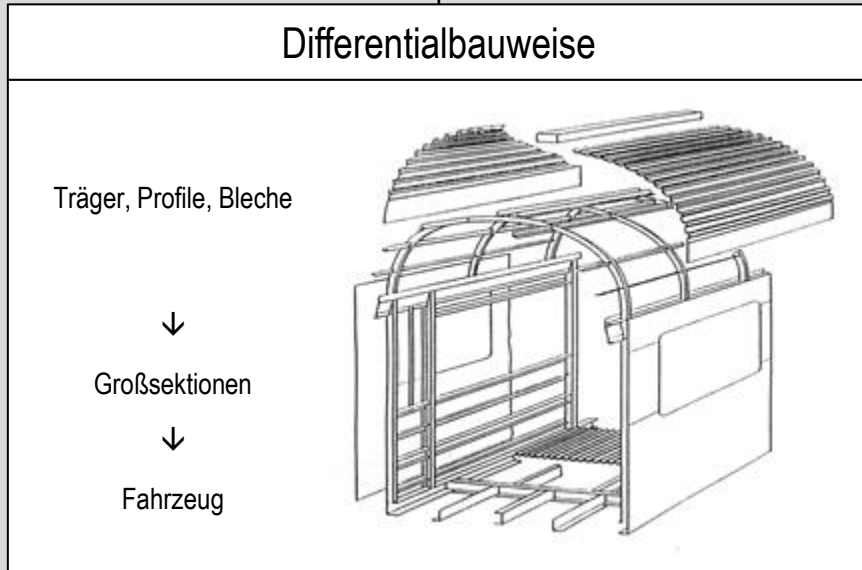
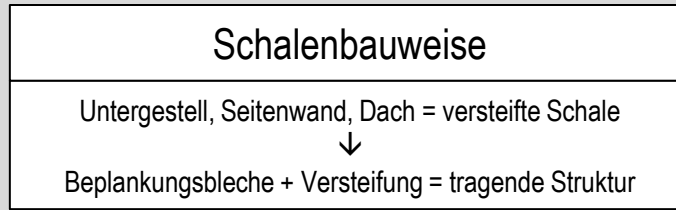
# Folie Vergleich grundlegender Eigenschaften von Al und Fe

Eigenschaften		Aluminium	Eisen (Stahl)
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	2,7	7,87
Kristallgitter		kfz	krz
E-Modul	N/mm <sup>2</sup>	70·10 <sup>3</sup>	210·10 <sup>3</sup>
R <sub>p0,2</sub> , R <sub>e</sub>	N/mm <sup>2</sup>	ca. 10	ca. 100
R <sub>m</sub>	N/mm <sup>2</sup>	ca. 50	ca. 200
spez. Wärmekapazität	J/(g·K)	0,88	0,53
Wärmeleitfähigkeit	W/(cm·K)	2,3	0,75
spez. elektr. Widerstand	nΩm	28-29	97
Ausdehnungskoeffizient	1/K	24·10 <sup>-6</sup>	12·10 <sup>-6</sup>
Schmelzpunkt	°C	660	1.539
Schmelzpunkt der Oxide	°C	2.050 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.400 (FeO) 1.600 (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) 1.455 (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )

**Schweißen von Aluminium!!**

# Folie Differential- und Integralbauweise

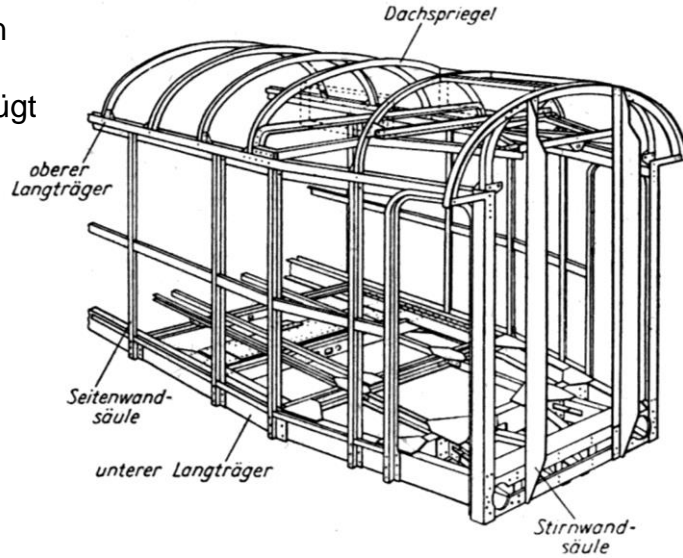
Konstruktion



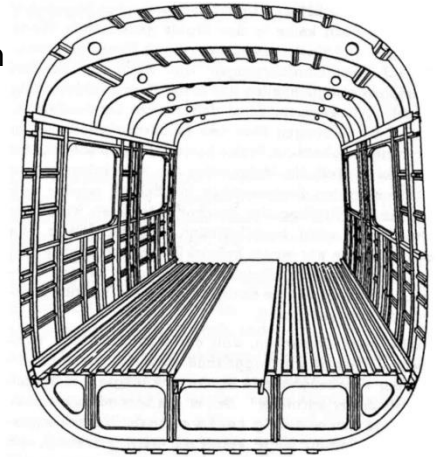
Technologie

# Folie Differentialbauweise

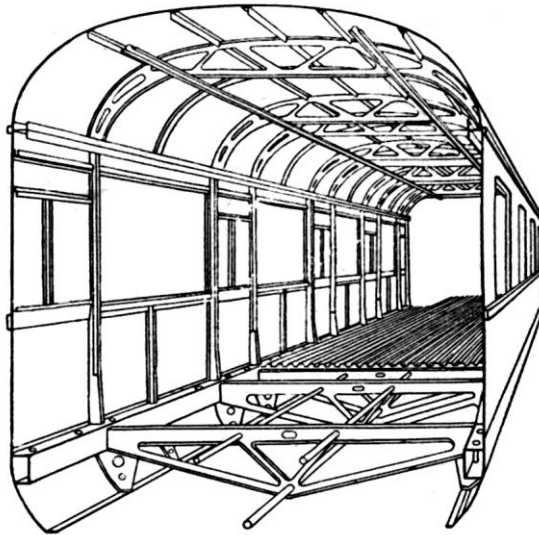
D-Zug-Wagen  
(1923):  
Stahl, kaltgefügt



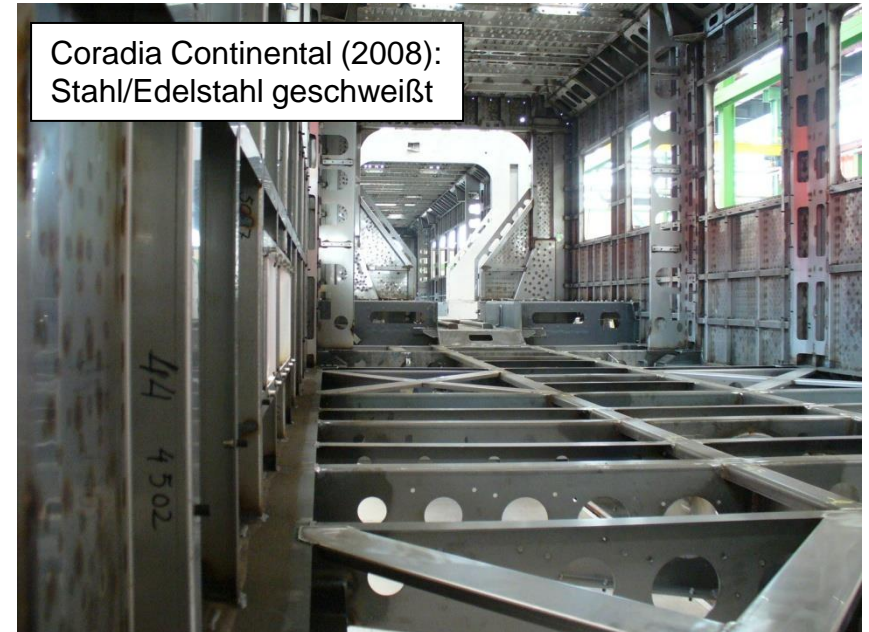
TEE DB (1957):  
Mischbauweise Stahl/Aluminium



D-Zug-Wagen  
(1942):  
Stahl, geschweißt

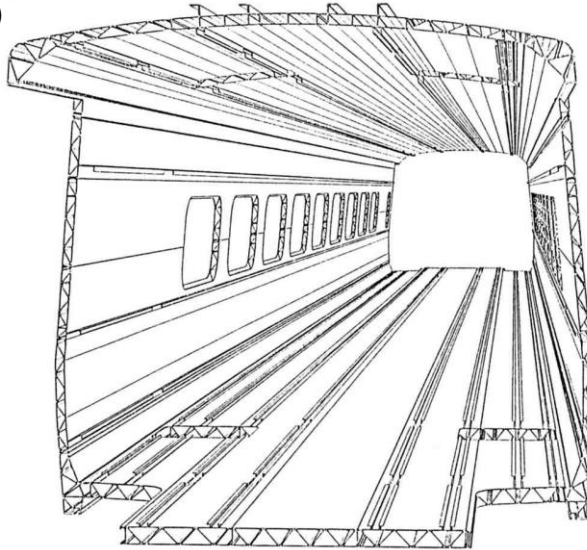


Coradia Continental (2008):  
Stahl/Edelstahl geschweißt



# Folie Integralbauweise

ETR 460 (Pendolino)  
(1993)



ICE 3 (1999)



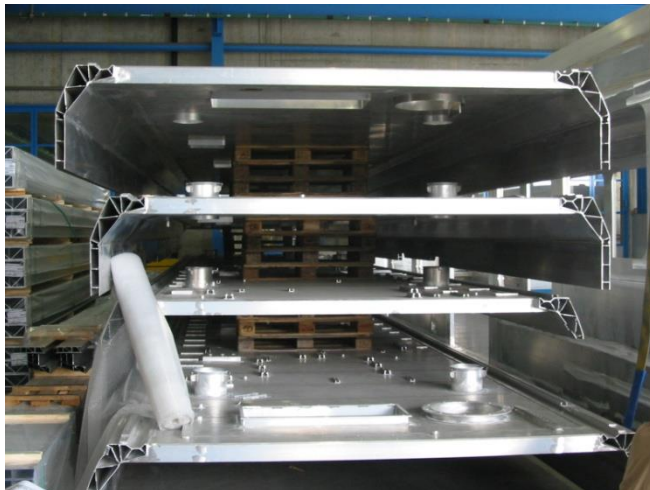
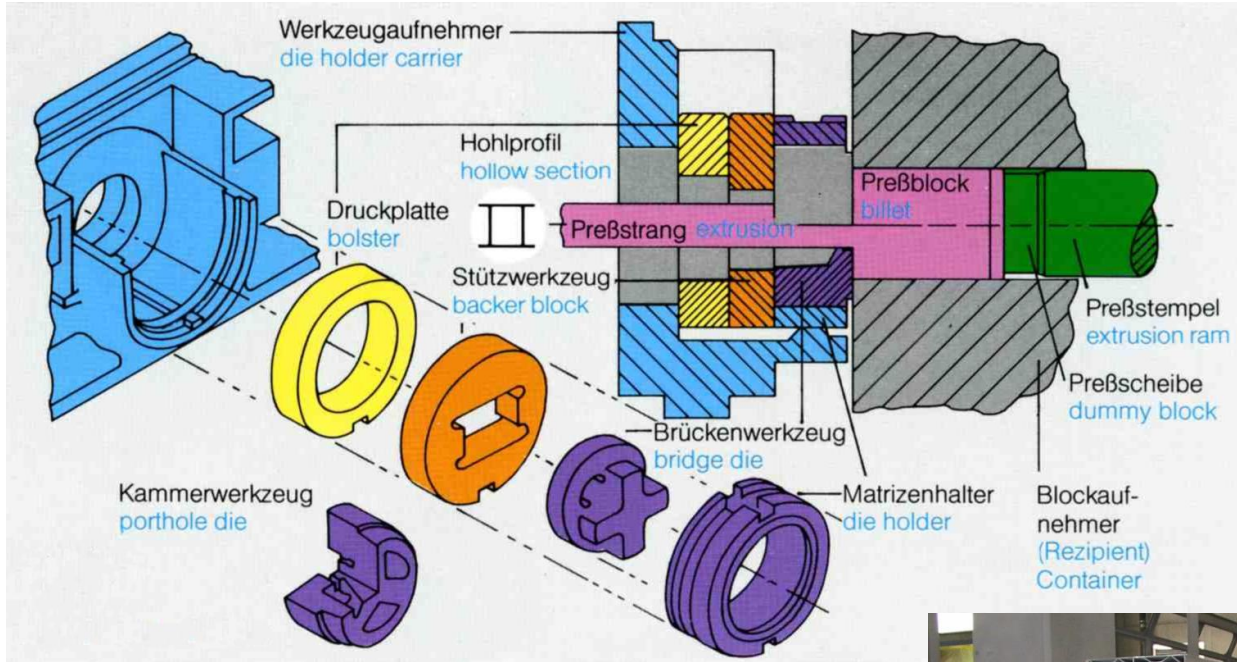
DOSTO RV (2009)



FLIRT (2007)

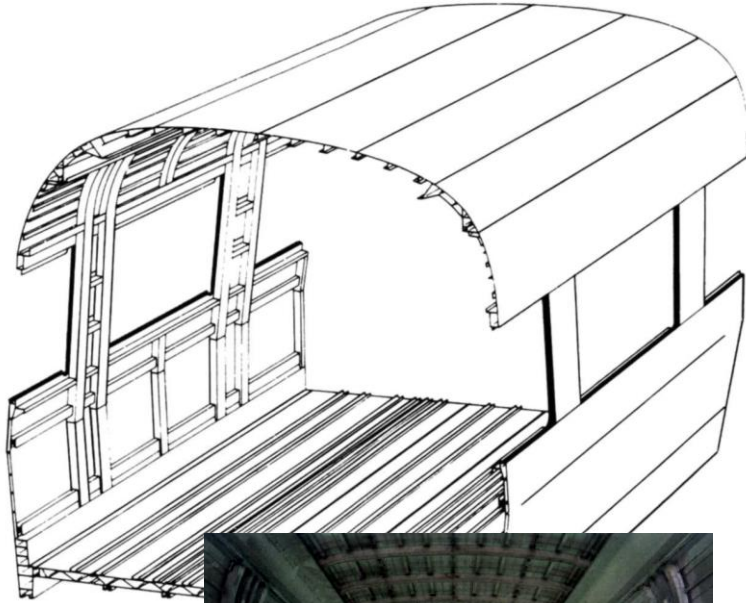


# Folie Strangpressprofile

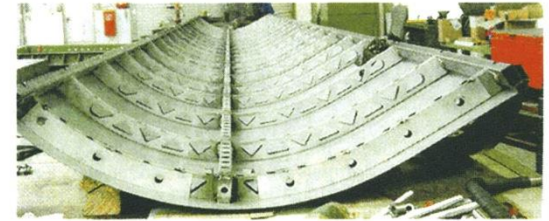
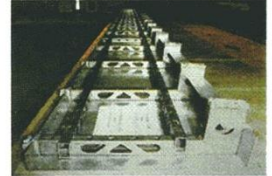
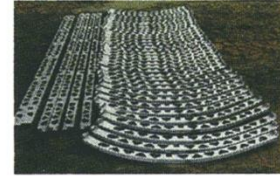
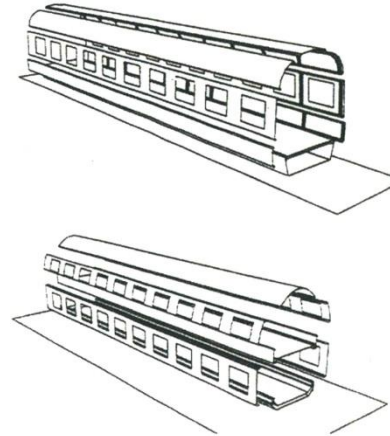


# Folie Mischbauweisen

ICE 1 (1991):  
Differential-/Integralbauweise

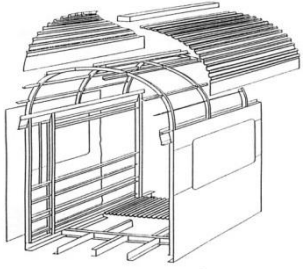
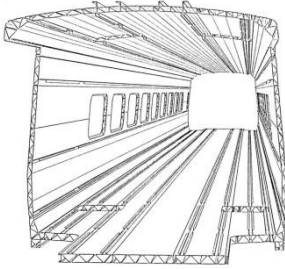
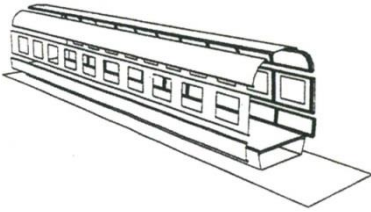
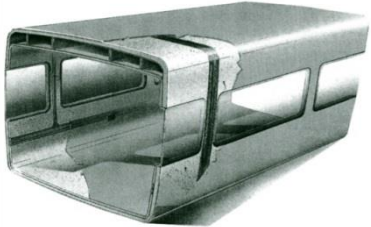


Modulare Hybridbauweise (1999, Altenburg)



Metro Delhi (BT Görlitz, 2008)

# Folie Vergleich von Bauweisen

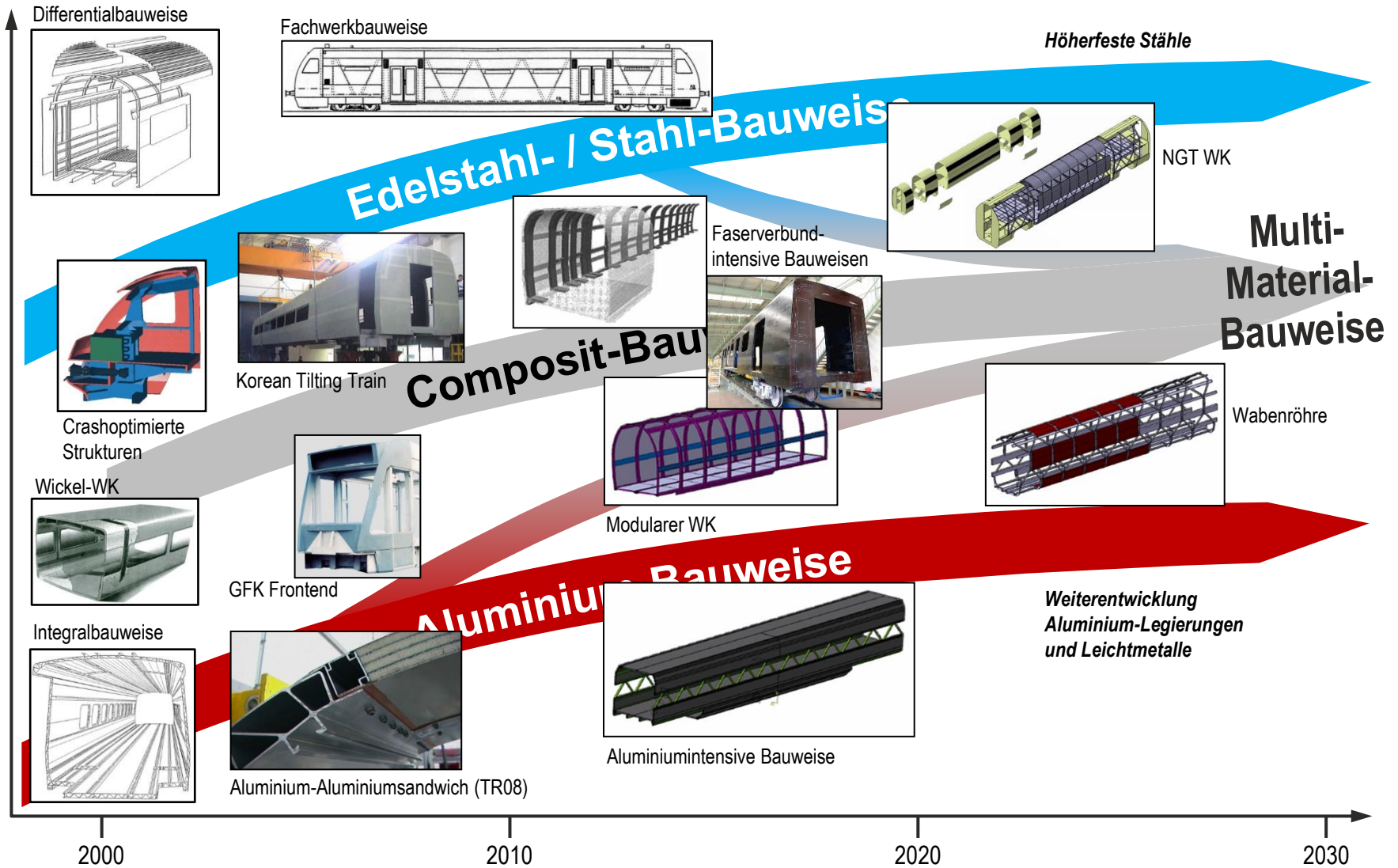
<b>Geschweißte Differentialbauweise</b>  (Stahl, Aluminium)	<b>Geschweißte Integralbauweise</b>  (Aluminium)	<b>Modulare Hybridbauweise</b>  (Verschiedene Materialien)	<b>Sonderbauweise Wickeltechnologie (Sandwichbauweise)</b>  (Faserverstärkte Kunststoffe)
Trägergerippe + Blechverschalung	Kombination Träger + Blech im Strangpressprofil	Funktionale Aufteilung in Groß-Module	Kombination von Tragstruktur, Isolierung und Verschalung
			
<b>Vorteile:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr flexibel (Formgebung, Werkstoffe, Fügetechnik, Leichtbau)</li> <li>• Preisgünstige Halbzeuge o. Normteile</li> <li>• Einfache Montage / Demontage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weniger Bauelemente:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Weniger Fügeaufwand</li> <li>- Stetigere Struktur</li> </ul> </li> <li>• Sehr rationelle Fertigung durch                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fügegerechte Formgebung</li> <li>- Gute Automatisierbarkeit</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Flexibilität bei entsprechender Schnittstellendefinition</li> <li>• Sehr rationelle Fertigung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Module mit anteiligem Innenausbau</li> <li>- Schnellfügeverfahren</li> <li>- Funktionsintegration</li> <li>- Parallelfertigung</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigung kompletter Wagenkasten als ein integrales Bauteil                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hochproduktiv</li> <li>- Kurze Fertigungszeiten</li> <li>- Fugen-/kantenarm</li> </ul> </li> <li>• Optimaler FVW-Leichtbau</li> </ul>
<b>Nachteile:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhter Fertigungsaufwand (Zuschnitt, Fügen, Montage, Lagerung) → hohe Kosten</li> <li>• Nacharbeit wegen Schweißverzug (Richten, Spachteln, Schweißen)</li> <li>• Belastungsgrenzen wegen Fügstellen (Spannungskonzentration)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein optimaler Leichtbau (Mindestwanddicken, Profilformen)</li> <li>• Weniger flexibel</li> <li>• Unrentabel bei kleinen Stückzahlen</li> <li>• Probleme bei Instandsetzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher konzeptioneller Aufwand für Modulbaukasten</li> <li>• Kein optimaler Leichtbau (technologische und konzeptionelle Fügstellen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Flexibilität</li> <li>• Hoher Vorrichtungsaufwand</li> <li>• Nachträgliche Öffnungen problematisch</li> <li>• Schnittstellenprobleme</li> </ul>
<b>Hochflexibel ↔ Hoher Aufwand</b>	<b>Sehr rationell ↔ Geringe Flexibilität</b>	<b>Sehr rationell ↔ Hoher Entwicklungsaufwand</b>	<b>Sehr leicht ↔ Geringe Flexibilität, hoher Aufwand</b>

# Folie Vergleich Stahl- ↔ Aluminium-Bauweise

---

	Stahl-Differentialbauweise	Aluminium-Integralbauweise
Leichtbau	+	-
Bombierte Seitenwände	-	++
Eingezogene Wagenenden	-	--
Befestigung von Anbauteilen	+	+
Punktuelle Krafteinleitung	++	-
Gekröpfte Untergestelle	+	-
Korrosion	-	+
Wärmeisolation	-	+

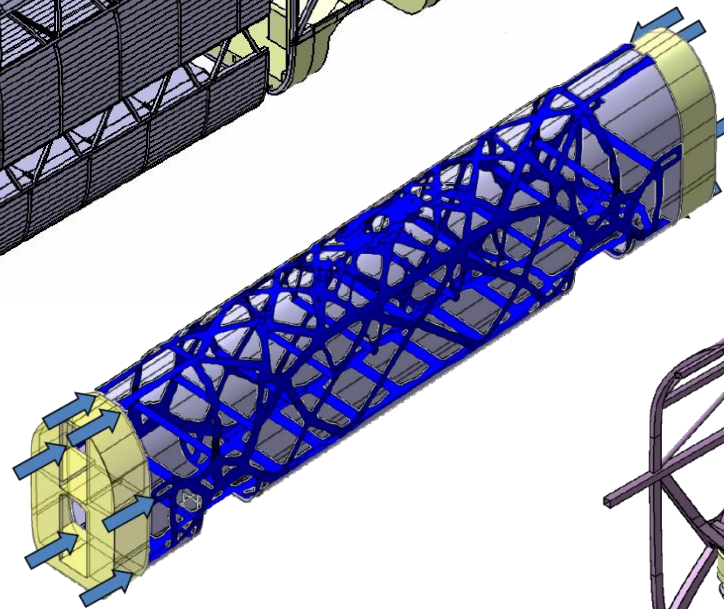
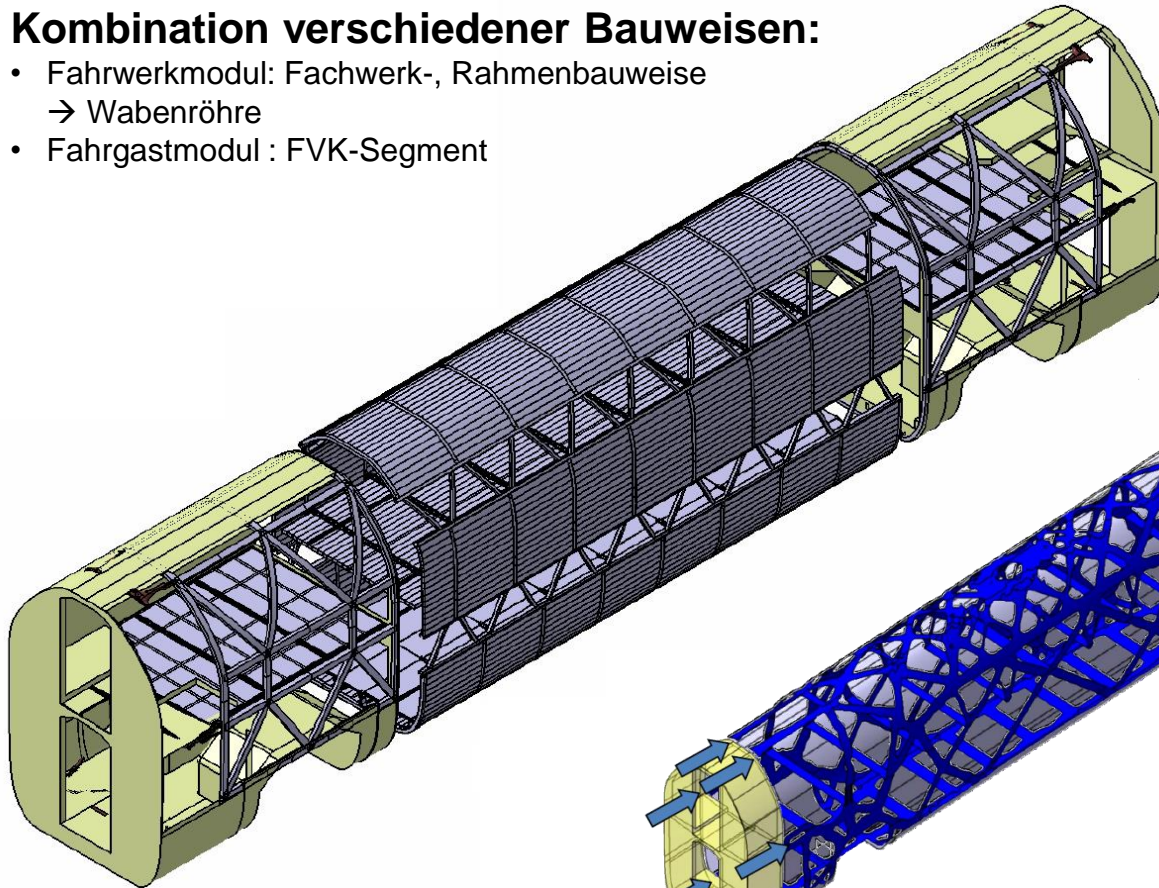
# Folie Zukunftskonzepte Leichtbau-Bauweisen



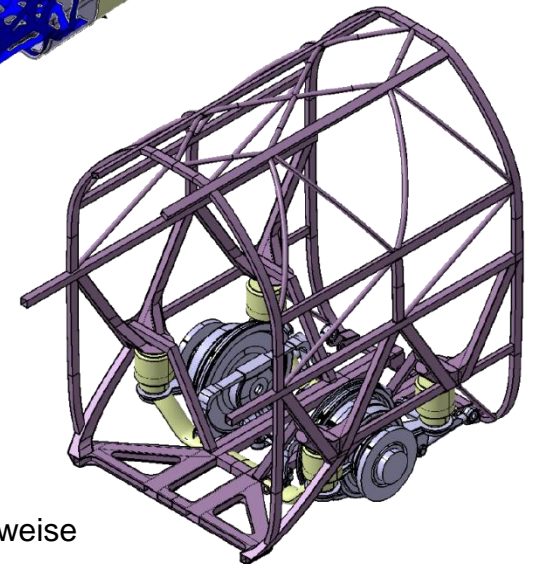
(Quelle: nach Dr. Winter: Neue Bauweisen beim NGT, DLR)

## Kombination verschiedener Bauweisen:

- Fahrwerkmodul: Fachwerk-, Rahmenbauweise  
→ Wabenröhre
- Fahrgastmodul : FVK-Segment



Topologie-Optimierung



Wabenröhrenbauweise

(Quelle: Dr. Winter: Neue Bauweisen beim NGT, DLR)

- Nennen Sie Anforderungen an Werkstoffe für Schienenfahrzeugtragwerke!
- Welche Werkstoffe werden im Tragwerk eines Schienenfahrzeugs eingesetzt? Welche typischen Bauweisen sind mit den Werkstoffen verknüpft?
- Schätzen Sie Stahl, Aluminium und Faserverbundwerkstoffe hinsichtlich der Eignung für die Anwendung im Schienenfahrzeugtragwerk ein!
- Vergleichen Sie die Hauptwerkstoffe für Schienenfahrzeug-Tragwerke anhand der statischen Festigkeiten im Spannungs-Dehnungs-Diagramm!
- Vergleichen Sie die Festigkeit von geschweißten Strukturen im Tragwerk aus Stahl und Aluminium-Legierungen!
- Welche Vor- und Nachteile bieten Faserverbundwerkstoffe beim Einsatz im Tragwerksbereich?
- Wie sind Faserverbundwerkstoffe aufgebaut? Welche Aufgaben haben die einzelnen Bestandteile?
- Was ist ein Faserverbundwerkstoff? Was ist der wesentliche Unterschied bei der Bauteilherstellung im Vergleich zu Metallen?
- Wie kann Faserverbundkunststoff günstig in eine Schienenfahrzeug-Tragstruktur integriert werden? Welche besonderen Herausforderungen sind dabei zu beherrschen?
- Vergleichen Sie drei typische Bauweisen von Schienenfahrzeugtragwerken!