



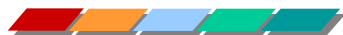
# Faserverbundbauweisen für den Next Generation Train (NGT)

30. September 2009, Braunschweig

Dipl.-Ing. Jörg Nickel, Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, Braunschweig



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

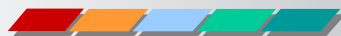
# Faserverbundbauweisen für den NGT

## Inhalt

- Herausforderungen und Ziele
- Stand der Technik – Wagenkastenbauweisen
- Anforderungen an den Wagenkasten
- Faserkunststoffverbund-Leichtbauweise
- Zusammenfassung und Ausblick

# Next Generation Train (NGT)

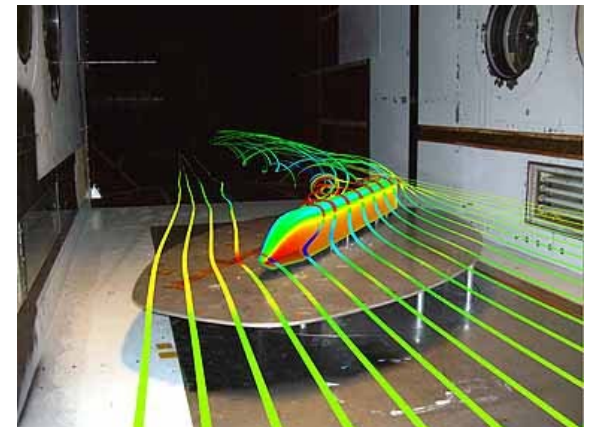
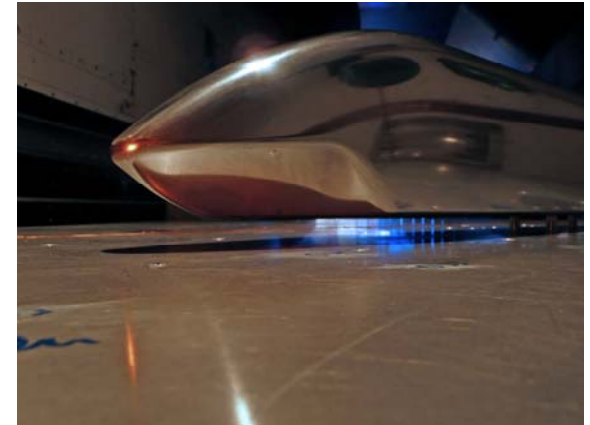
## Doppelstock-Hochgeschwindigkeitszug



# Next Generation Train

## Herausforderungen

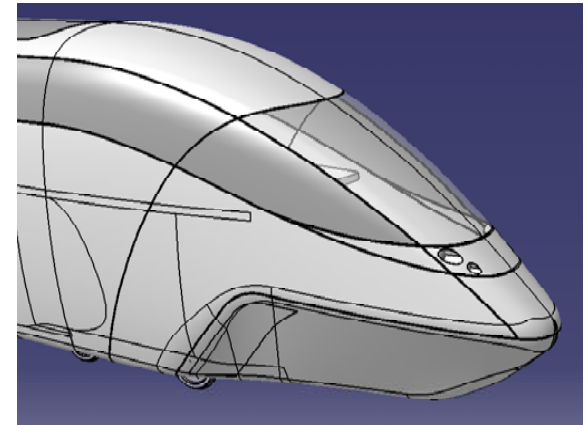
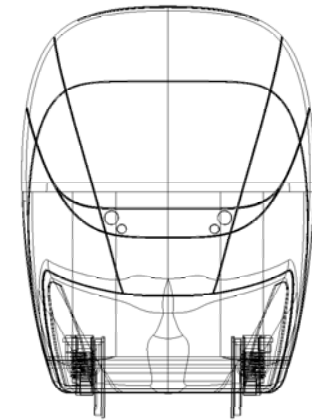
- Höhere Leistungsfähigkeit und Attraktivität
    - Komfort
    - Reisequalität
    - Transportzeiten
  - Mehr Sicherheit und Zuverlässigkeit
  - Niedriger spezifischer Energiebedarf
- 
- Durch konzentrierte Kompetenz des DLR in
    - Aerodynamik
    - Strukturdynamik
    - Fahrdynamik
    - Antriebstechnik
    - Werkstoffwissenschaften
    - Leichtbauweisen



# Next Generation Train

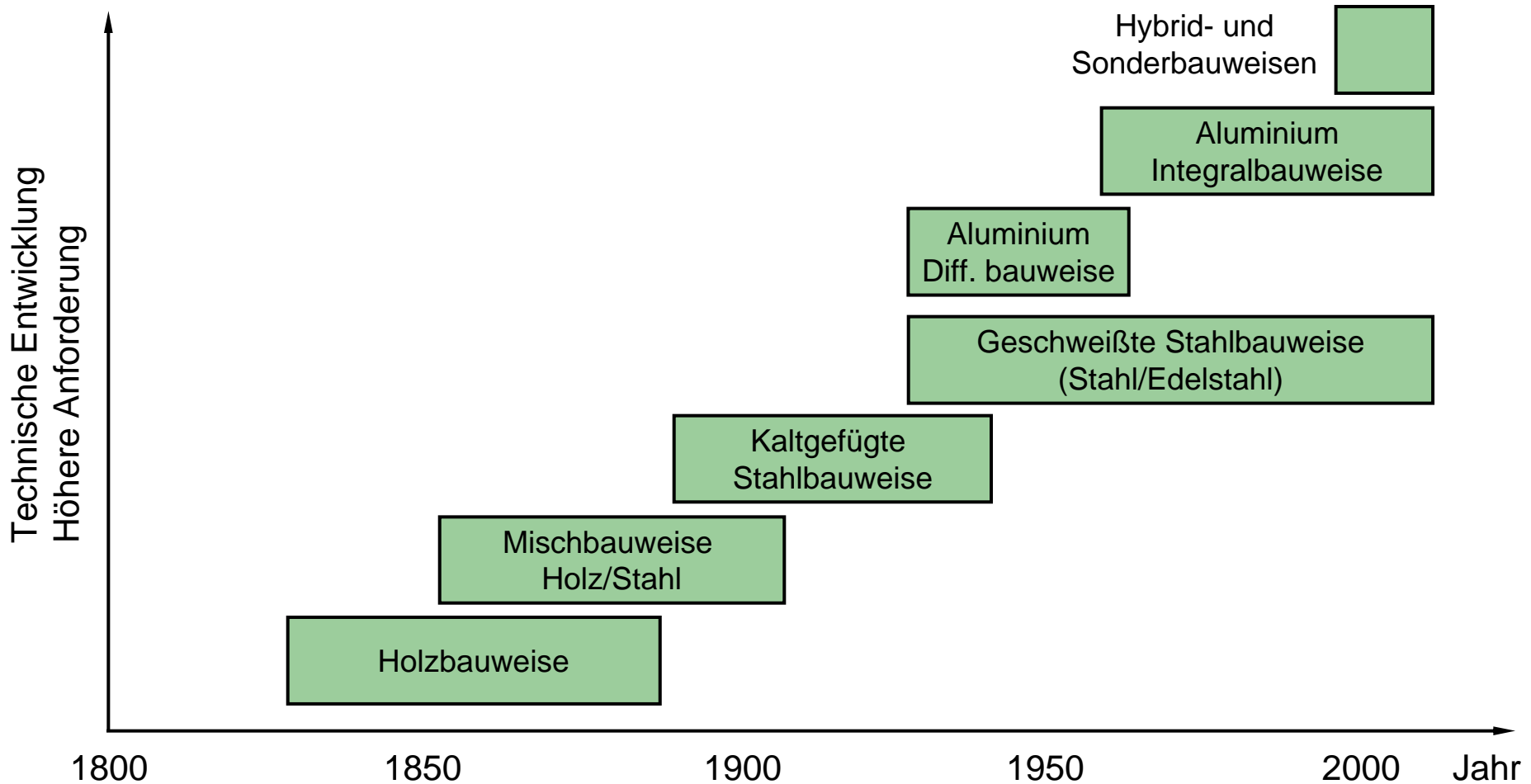
## Ziele

- Innovatives Schienenfahrzeugkonzept
  - $V_{\max}$  bis 440 km/h (+ 25% gegenüber ICE 3)
  - -50% Energieverbrauch/Fahrgast
- Werkstoffe und Bauweisen für Wagenkästen
  - Konsequenter Leichtbau (-25% Gewicht)
  - Flexible modulare Fahrzeugplattformen
  - Kostengünstige Fertigungstechnologien
- Energiemanagement
- Lärmreduktion und Komfortsteigerung
- Fahrsicherheit und Verschleiß

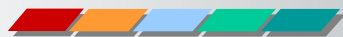


# Stand der Technik – Wagenkastenbauweisen

## Übersicht



Quelle: Revolution oder Evolution?; ETR 51 (2002), Heft 1-2; S. 13-23; Bildquelle: KIMA, Vorlesung Schienenfahrzeuge 2005; TU Kaiserslautern; Prof. Schindler



# Stand der Technik – Wagenkastenbauweisen

## Heute aktuell

Randbedingungen und Entwicklungsziele:

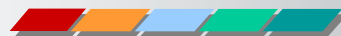
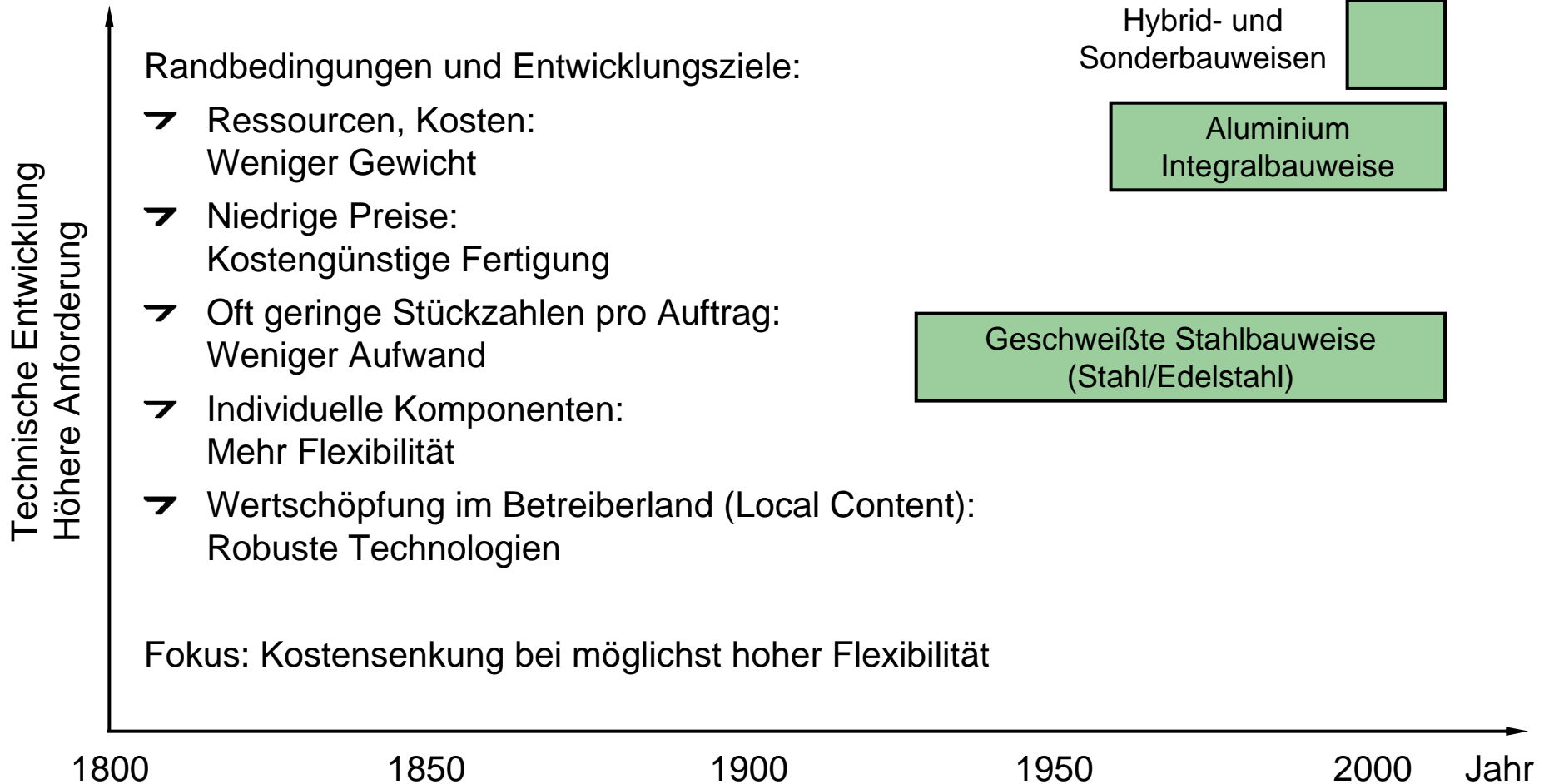
- Ressourcen, Kosten:  
Weniger Gewicht
- Niedrige Preise:  
Kostengünstige Fertigung
- Oft geringe Stückzahlen pro Auftrag:  
Weniger Aufwand
- Individuelle Komponenten:  
Mehr Flexibilität
- Wertschöpfung im Betreiberland (Local Content):  
Robuste Technologien

Fokus: Kostensenkung bei möglichst hoher Flexibilität

Hybrid- und  
Sonderbauweisen

Aluminium  
Integralbauweise

Geschweißte Stahlbauweise  
(Stahl/Edelstahl)



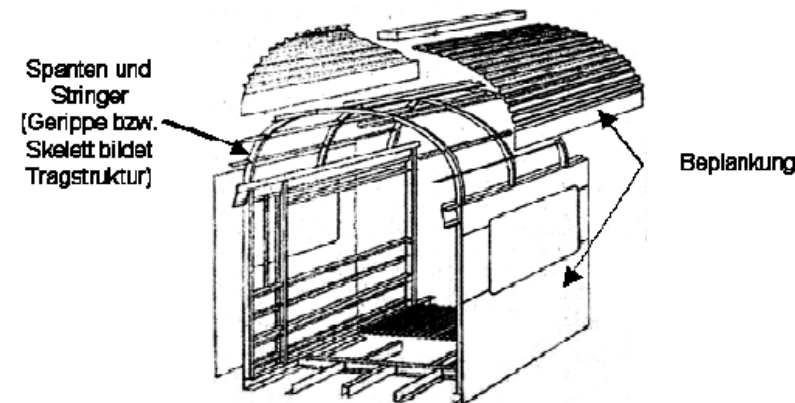
# Stand der Technik – Wagenkastenbauweisen

## Geschweißte Stahlbauweise

Klassische Gerippe-Blech-Bauweise  
Funktionstrennung tragend – verschalend

- + Hochflexibel (Form, Material, Fügetechnik)
  - + Alternative Materialpaarungen
  - + Geringe produktspezifische Betriebsmittel
  - + Für kleinere Fahrzeugserien noch aktuell
- 
- Fertigungs- und Fügeaufwand (Zeit, Kosten)
  - Wärmeeintrag/Verzug (Schweißen)
  - Nacharbeit (Richten, Spachteln, Schleifen)

Hohe Flexibilität – Hoher Aufwand, Kosten



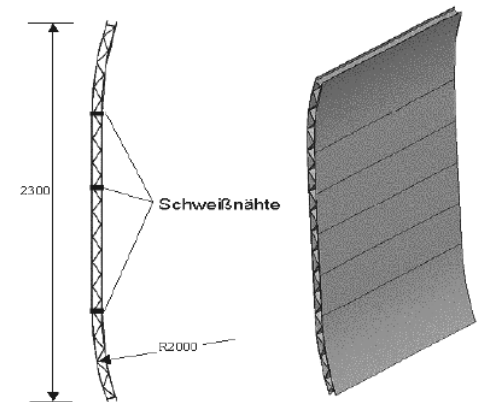
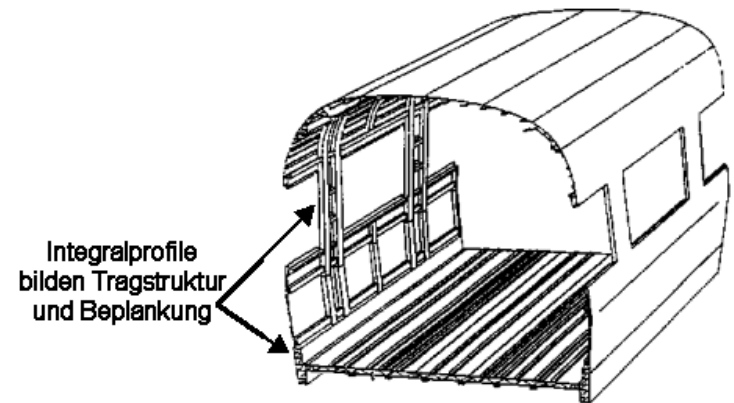
# Stand der Technik – Wagenkastenbauweisen

## Aluminium-Integralbauweise

Große längsorientierte Al-Strangpreßprofile  
Kombination tragend – verschalend

- + Weniger Gewicht (Leichtmetall, integral)
- + Weniger Fügeaufwand / Zeit / Kosten
- + Funktionsintegration möglich
- + Rationelle Fertigung weit entwickelt
- Hohe Stückzahlen rentabel (Fixkosten)
- Reduzierte Flexibilität (Werkzeugkosten)
- Wanddicken in Grenzen optimierbar

Leichter, rationeller – nur bei hohen Stückzahlen



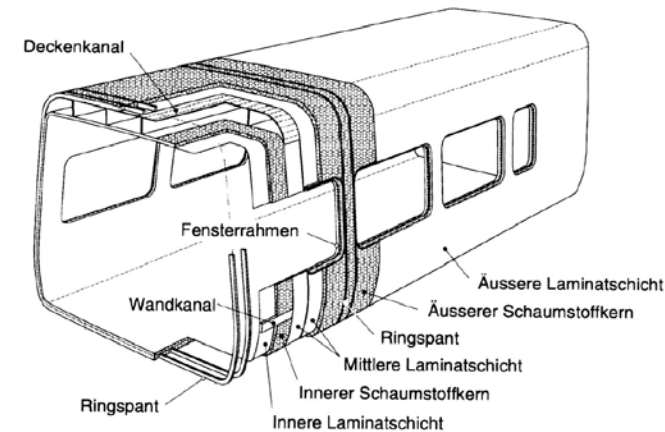
# Stand der Technik – Wagenkastenbauweisen

## Hybrid- und Sonderbauweisen

Wickel-/Schalenbauweisen (integral, Multi-Material)  
Kombination tragend – verschalend

- + Weniger Gewicht, insbes. mit Faserkunststoffverbunden (FKV) in Strukturbauteilen
- + integral gewickelter Wagenkasten (Bsp.)
- + Schalenbauweisen mit Sandwichstrukturen (Bsp.)
- Nachträgliche Öffnungen in Wickelstrukturen
- FVK-Fertigung z.T. aufwendig / wenig flexibel
- Verkleidende FKV-Bauteile nicht optimal
- Z.T. Schnittstellenprobleme (Multi-Material)

Noch leichter – aufwendig, bedingt flexibel



# Stand der Technik – Wagenkastenbauweisen

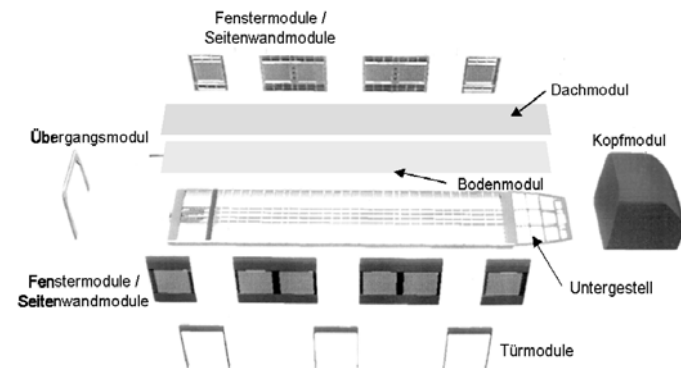
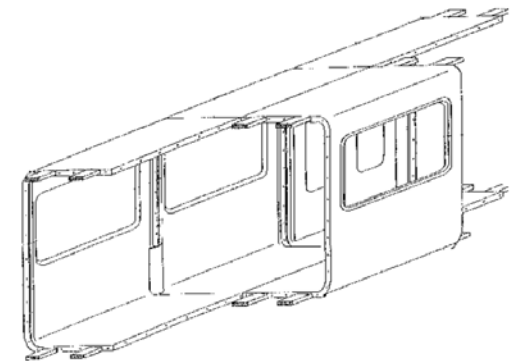
## Modulare Bauweisen

Unterteilung in Module

Späte Konfiguration der vormontierten Module

- + Flexibel (Definition von Schnittstellen / Modulen)
  - + Kürzere Bauzeit durch Parallelfertigung
  - + Funktionsintegration
  - + Leichtbau mit FKV
- 
- Höherer konzeptioneller Aufwand insbesondere zur Gewährleistung einer gewissen Flexibilität
  - Werkzeugkosten je nach Bauweise, Werkstoff und Fertigungsart hoch

Flexibel, leicht – konzeptioneller Aufwand, Kosten

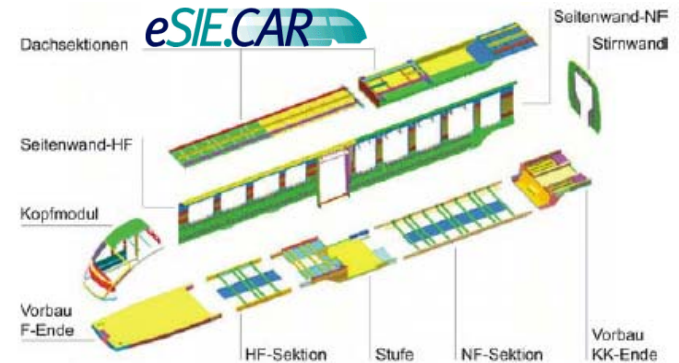


# Stand der Technik – Wagenkastenbauweisen

## Forschungsprojekte

- Projekt eSie.Car (Siemens + Partner)
  - Modulare Hybridbauweise
  - Schnellmontagetechnik
  
- Projekt CORJOIN (Bombardier)
  - Kaltfügetechniken
  
- NewRail - COMPOSIT (EU 2001-05)
  - Faserverbundleichtbau für Schienenfahrzeuge (-20 %)
  - GFK-Sandwich-Doppelstock-Wagenkastensegment

Ziel: Kostensenkung



**CORJOIN® Technology**  
 Erreichbare Vorteile durch kalte Fügetechnik

- Senkung der Herstellungskosten >> 20%  
 Produktion in Hochlohnländern konkurrenzfähig
- Wegfall manueller und fehleranfälliger Prozesse wie Blech spannen, Richten, Strahlen, Spactein und Schleifen
- Gewichtsreduktion gegenüber konventionellen Stahlwagen-kästen; Minderung der Te
- Hoher Korrosionsschutz
- Reduzierter Lackierungsbedarf  
 keine Lackierung der Innen
- Steigerung der Oberflächen-  
 genauigkeiten für die Enc

**newrail**

Rail vehicle coach end

- Developed by Fibrocom.
- Glass-reinforced modified acrylic / foam sandwich.
- 20% lighter than aluminium equivalent.

CPA

# Anforderungen an den Wagenkasten

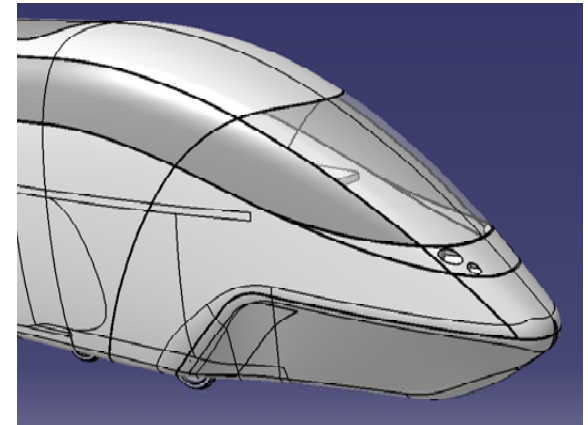
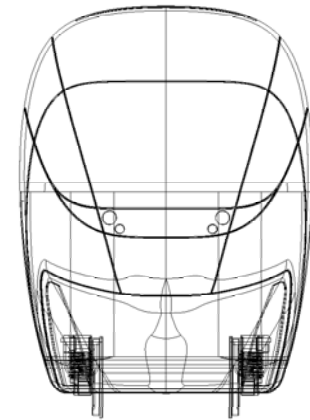
Leichtbaurelevante Ziele aus dem Fahrzeugkonzept

- 25% schneller ( $v_{\max} = 440 \text{ km/h}$ ) als ICE 3
- -50% Verbrauch (spez., Ref. ICE 3 / 300 km/h)

Globale Anforderungen an die Fahrzeugstrukturen

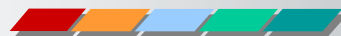
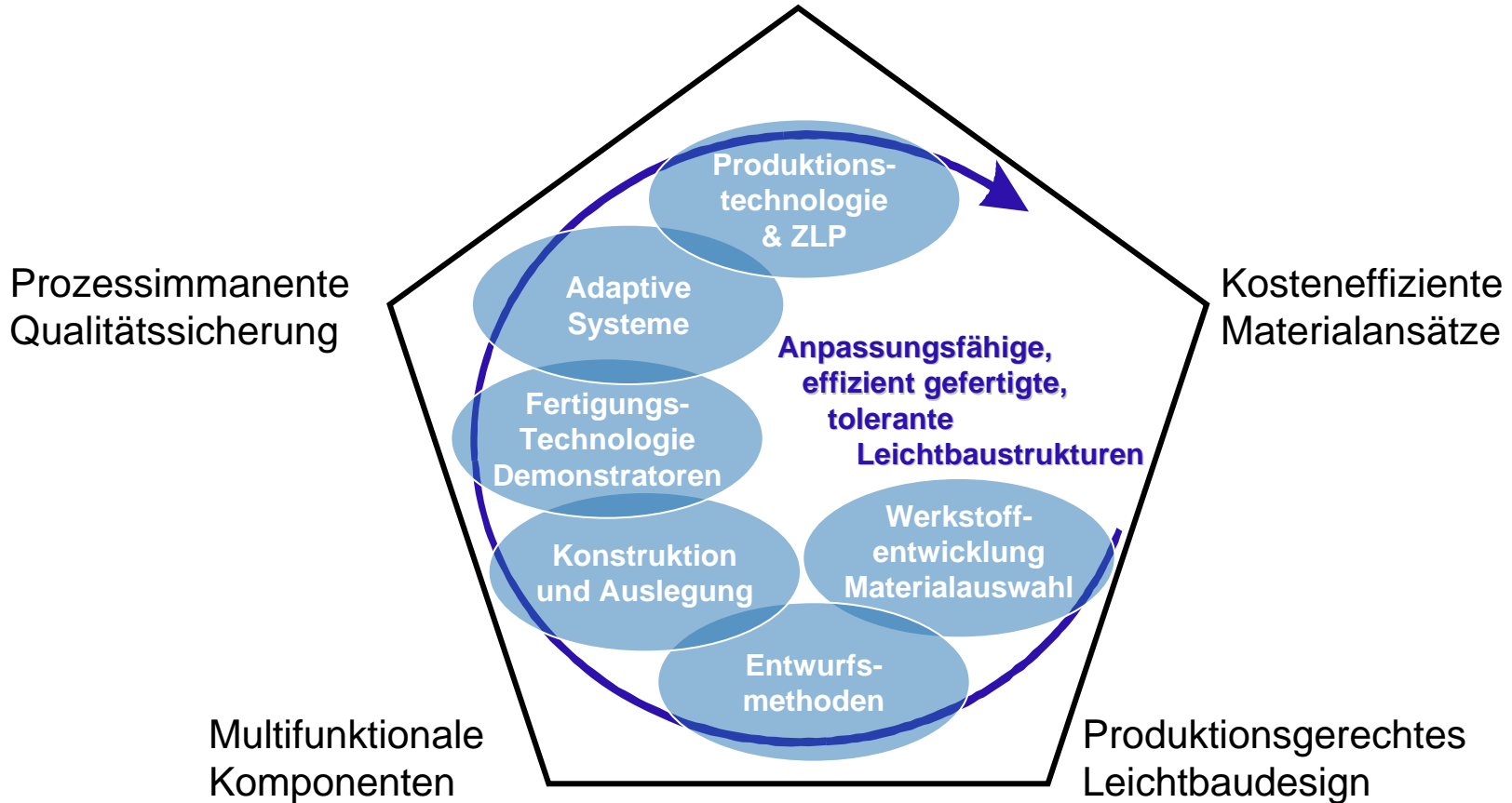
- Konsequenter Leichtbau (-25% Gewicht)
  - Achslast < 16t, Ges.-Gew. Mittelwagen 32t
- Kostengünstige Bauweise und Fertigung
- Flexible modulare Fahrzeugplattformen
- Sicherheit: Brandschutz, Crash
- Betrieb, Reparatur, Entsorgung (LCC)

Ansatz: neue Faserkunststoffverbund-Leichtbauweisen



# Faserkunststoffverbund (FKV)-Leichtbauweise Prozesskette

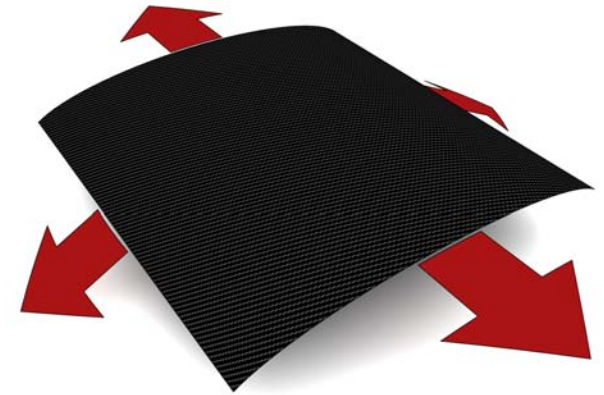
Großserientaugliche Produktionstechnik



# FKV-Leichtbauweise

## Potentiale

- Idealer Leichtbauwerkstoff
  - Hohe spezifische Festigkeit/Steifigkeit
  - Richtungsabhängige Eigenschaften
  - Korrosionsbeständig, ermüdungsfest
- Leichtbauweisen
  - Membranspannungszustände günstig
  - Versteifte Schalen
  - Sandwichstrukturen
- Automatisierbare Fertigungsverfahren kostengünstig
  - Pultrusion
  - Automat. Halbzeuge / RTM-Verfahren
- Funktionsintegration
  - Höhere Leistungsfähigkeit/Kosten



# FKV-Leichtbauweise

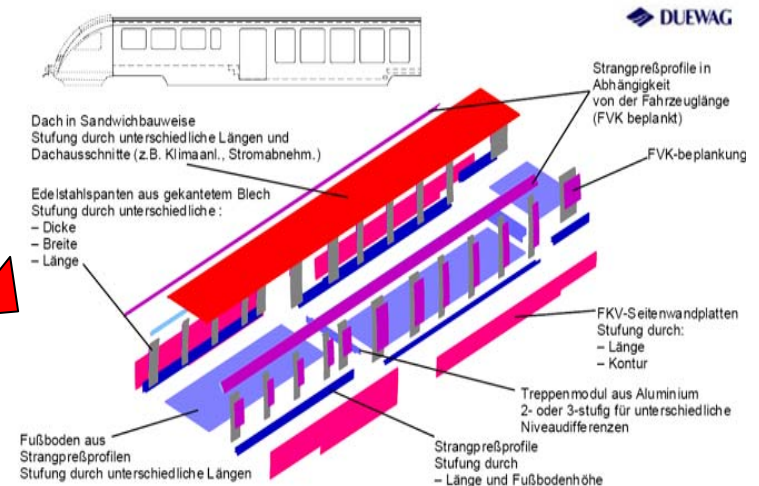
## Erfahrungen und Expertise



Fertigungsstudie:  
ICE-Seitenwandmodul als Flächenfachwerk

Vorteile dieser Bauweise:

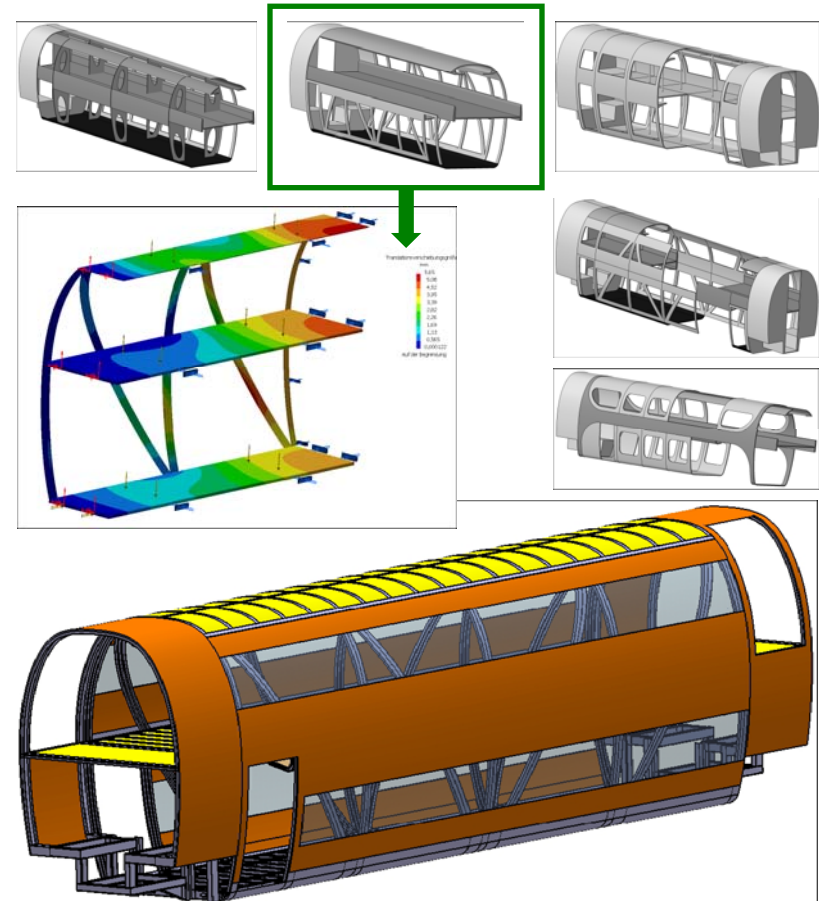
- hohe Tragfähigkeit / geringes Gewicht
- gute Dauerfestigkeit
- hervorragende Wärme- und Schalldämmung
- Möglichkeit der Integration von Systemen in den Hohlräumen



# FKV-Leichtbauweise

## Erste Entwicklungen

- FKV-gerechte Leichtbauweise:
  - ebene Spannungszustände: FKV für flächige Strukturen – Dach, Wände, Böden
  - räumliche Spannungszustände: Metalle / Hybride Strukturen für komplexe Fachwerke
- Modularer hybrider Ansatz
- Globale Konstruktion und Vorauslegung für Mittelwagen:
  - Tragende FKV-Dächer und Böden
  - Metall-Skelettstruktur
  - Mittragende FKV-Verkleidung
- Potentiale noch nicht optimal genutzt

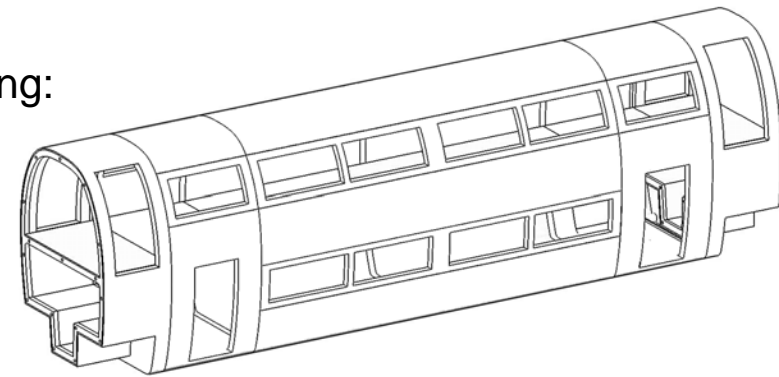


# FKV-Leichtbauweise

## Flexible, modulare Fahrzeugplattform

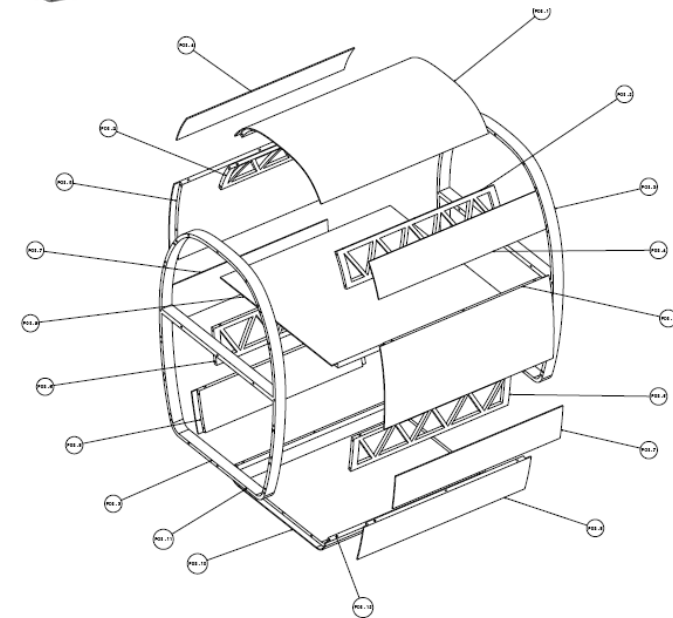
Aufteilung des Wagenkastens in Umfangsrichtung:

- Ungestörte Flächenelemente:
  - Dach, Wand, Boden (ESZ) : Hohes Potential für FKV
- Störungen:
  - Fenster, Türen, Übergänge (RSZ): Metallische/Hybrid-Strukturen, z.B. Fachwerk im Fensterbereich



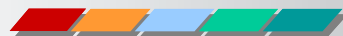
Aufteilung des Wagenkastens in Längsrichtung:

- Quer-Module
- Verbindung: (Metall-)Spanten (RSZ)



Bestgeeigneter Werkstoff für jeweiligen Zweck!

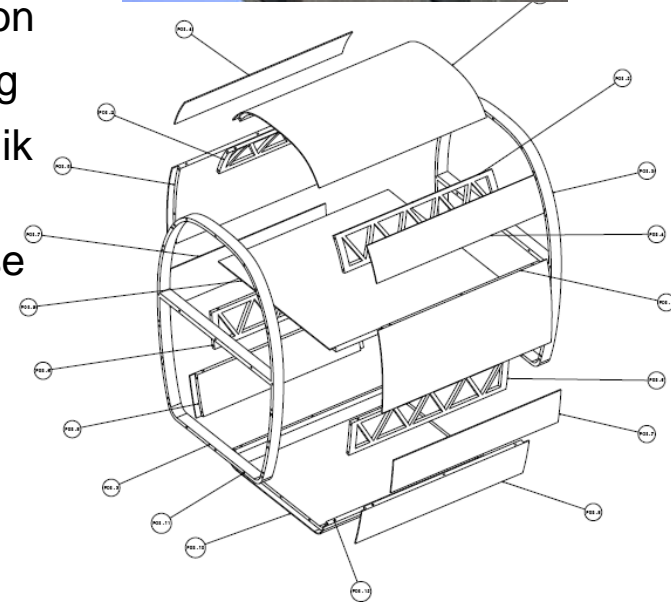
Bauweisen-, fertigungs-, reparaturgerecht!



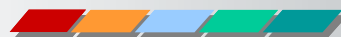
# FKV-Leichtbauweise

## Flexible, modulare Fahrzeugplattform

- Flächenelemente: FKV-Sandwichstrukturen
  - Einfache Geometrie: kostengünstig
  - CFK-Deckschichten: leicht ( $1,55 \text{ kg/dm}^3$ )
  - Detektorschicht: schadenstolerant
  - Schubstege: bessere Anbindung
  - Schaumkern: Wärme-/Schallisolation
  - Offene Kanäle: Kabel-/Medienführung
  - Metallische Inserts: integrierte Fügechnik
- Automatisierte endkonturnahe Fertigungsprozesse
  - Pultrusion
  - RTM-Verfahren/automatisierte Halbzeuge



Funktionsintegriert, gewichtsoptimal, kostengünstig!



# FKV-Leichtbauweise

## Flexible, modulare Fahrzeugplattform

### ➤ Rahmenstrukturen

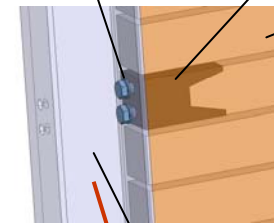
- Komplexe Lasten: Metall/Hybrid
- Geometrie: einfach, angepaßt an Flächenelemente
- Fertigung: kostengünstig
- Spanten: Walz-/Schweißprofil
- Fensterband: Fachwerkträger mit geklebter Verscheibung

### ➤ Fügetechnik

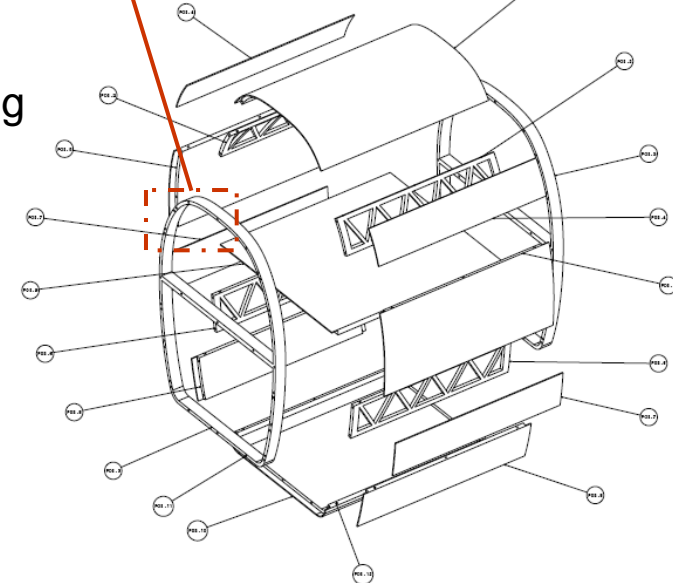
- Verschraubung: lösbar, flexibel,
- Abdichtung: Klebung etc.

Fertigungs- und montagegerecht, bewährt!

Verschraubung Insert Sandwichstruktur mit Schubstegen



Rahmen

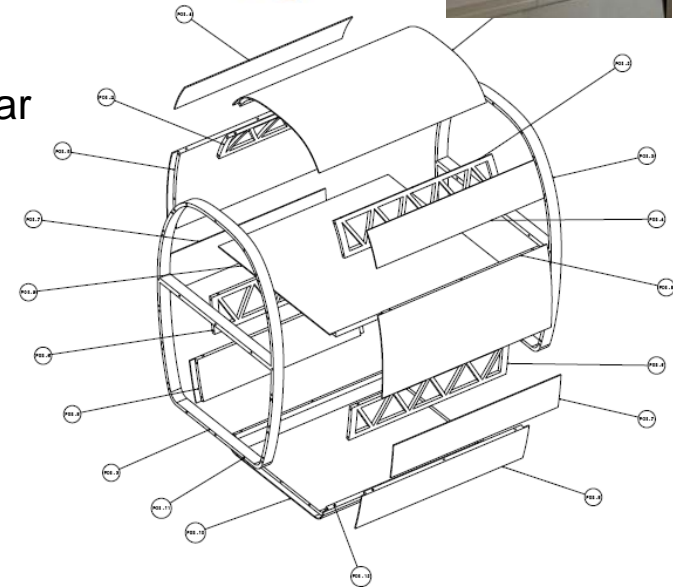


# FKV-Leichtbauweise

## Flexible, modulare Fahrzeugplattform

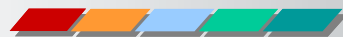
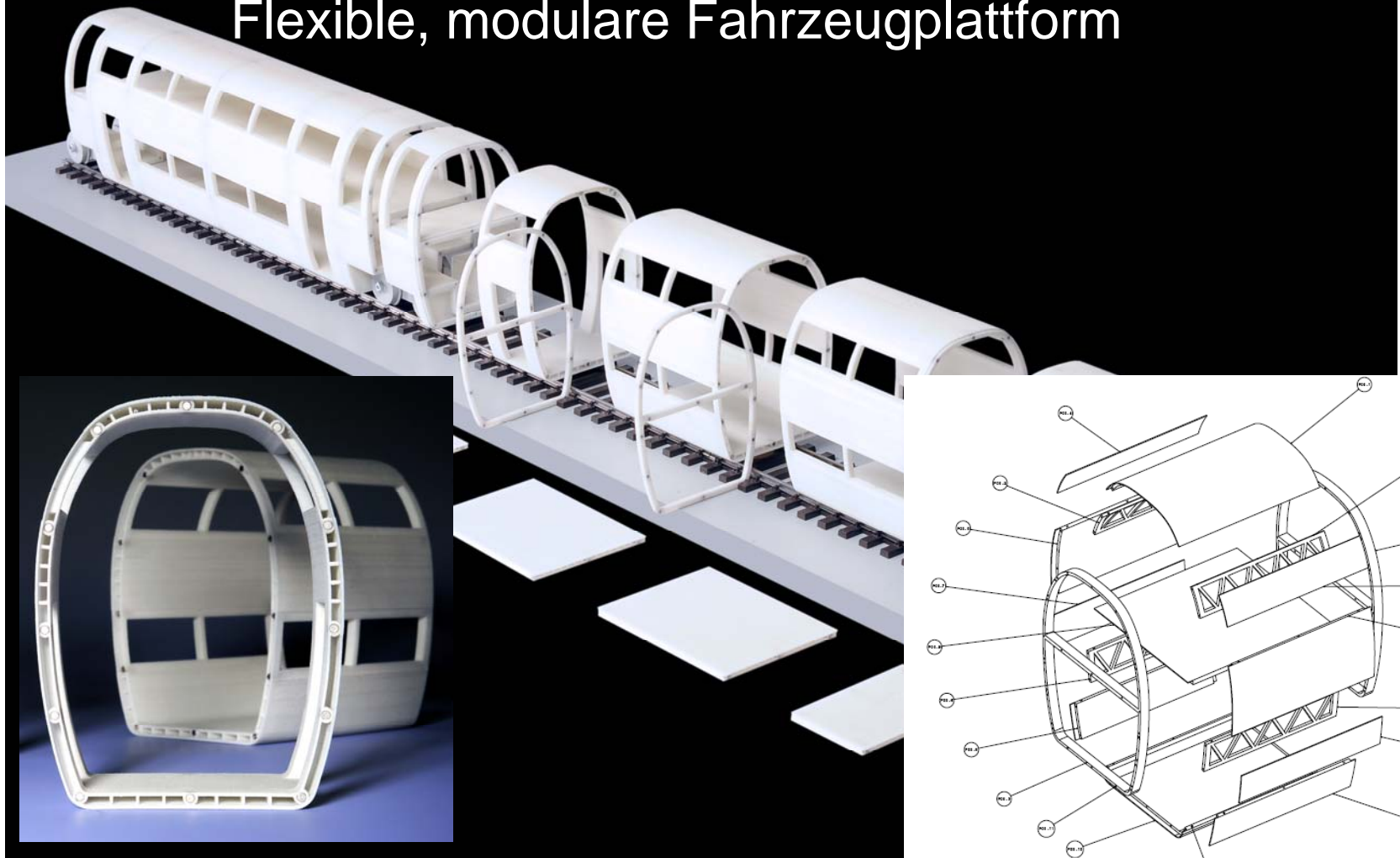
- Innenausbau: nachwachsende Rohstoffe
  - Naturfasern + Biopolymere: geringe Dichte nachhaltig
  - Brandschutz: mit FSM machbar
  - Fertigung: etablierte Preßtechnik Pultrusion für Profile
  - Design: interessante Haptik
  - Montage: in Bauweise integrierbar
  - Entsorgung: energetisch

Leicht, brandgeschützt, nachhaltig!



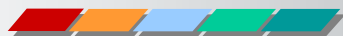
# FKV-Leichtbauweise

## Flexible, modulare Fahrzeugplattform



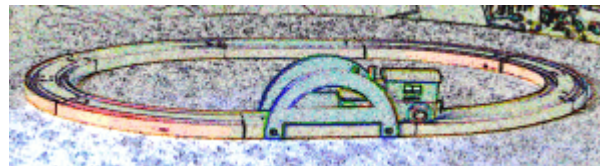
# Zusammenfassung und Ausblick

- Innovatives Konzept: NGT Doppelstock-Hochgeschwindigkeitszug
- Entwicklung einer flexiblen, modularen Fahrzeugplattform mit:
  - Hohem Leichtbaupotential dank FKV-Hybridbauweise
  - Geringem Fertigungsaufwand durch kostengünstige automatisierte Prozesse
  - Hoher Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten
  - Verbesserung von Montage und Wartung
- Nächste Schritte:
  - Weitere Detaillierung der Bauweise
  - Rechnerische Nachweise
  - Verifikation anhand von Demonstratoren, Komponententests

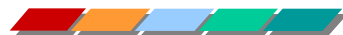




**Vielen Dank!**



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



**Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik**