

Kleben in der Fahrzeug- und Verkehrstechnik

Anwendungen im Transportmittelbau

- Flugzeug, Schiff, LkW, Schienenfahrzeug

Markus Brede
FhG-IFAM
Wiener Straße 12
28359 Bremen
mb@ifam.fhg.de



www.reedel-online.de

© IFAM 2006

Leichtbauweisen in der Verkehrstechnik



Rh 2016 002-4, Siemens Transportation Systems, München-Allach

➔ Mischbauweisen

© IFAM 2006

Kleerverbindungen

Zwei alternative Konzepte:

- **hochfeste** „strukturelle“ **Kleerverbindung**

- hohe Steifigkeit
- dünne Klebschicht
- überträgt hohe Spannungen



- **flexible Kleerverbindung**

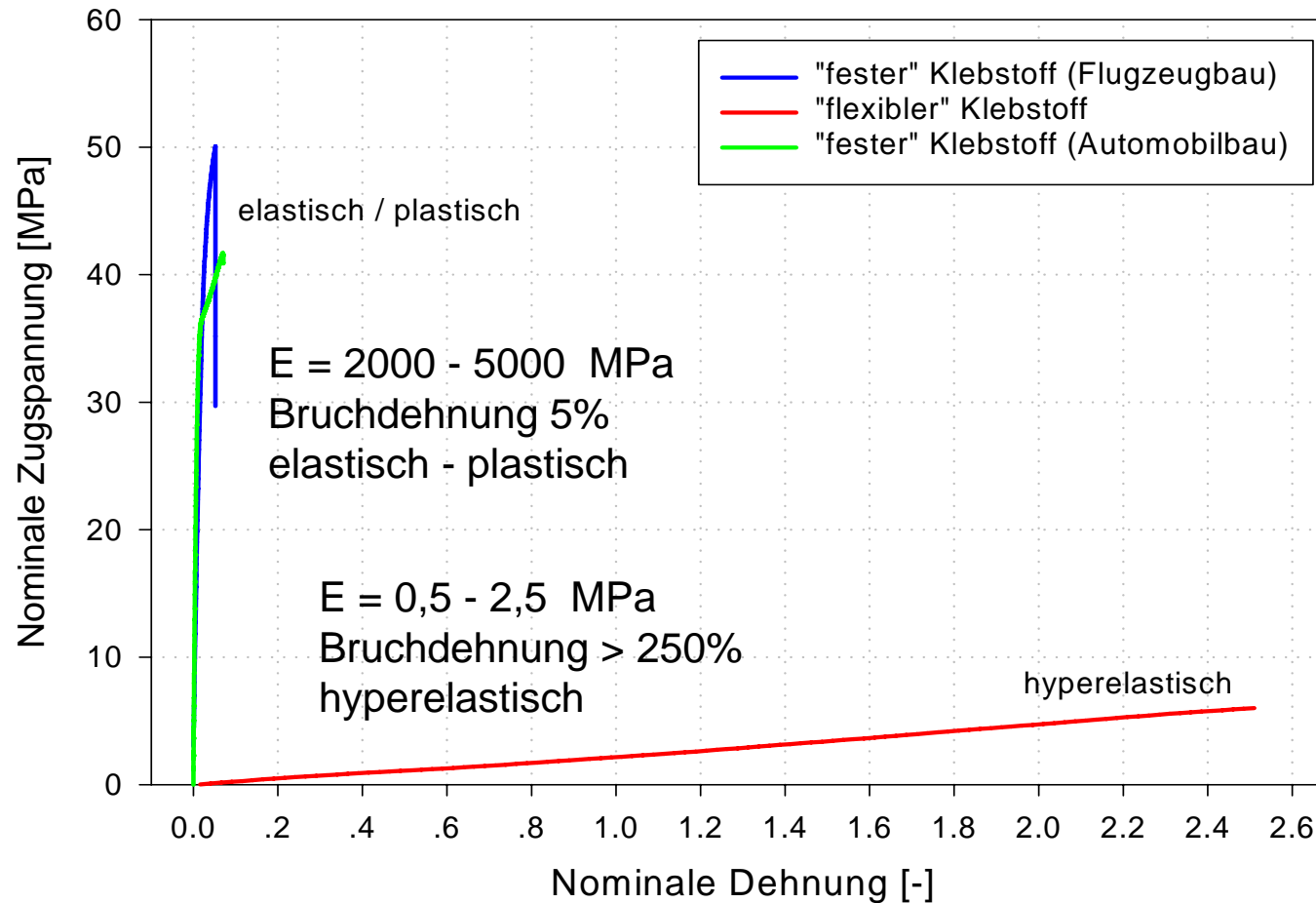
- geringe Steifigkeit
- dicke Klebschicht
- Kleerverbindung nimmt große Dehnungen (Gleitungen) auf
- zum Ausgleich unterschiedlicher thermischer Ausdehnung der Fügeteile geeignet



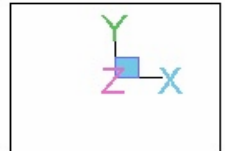
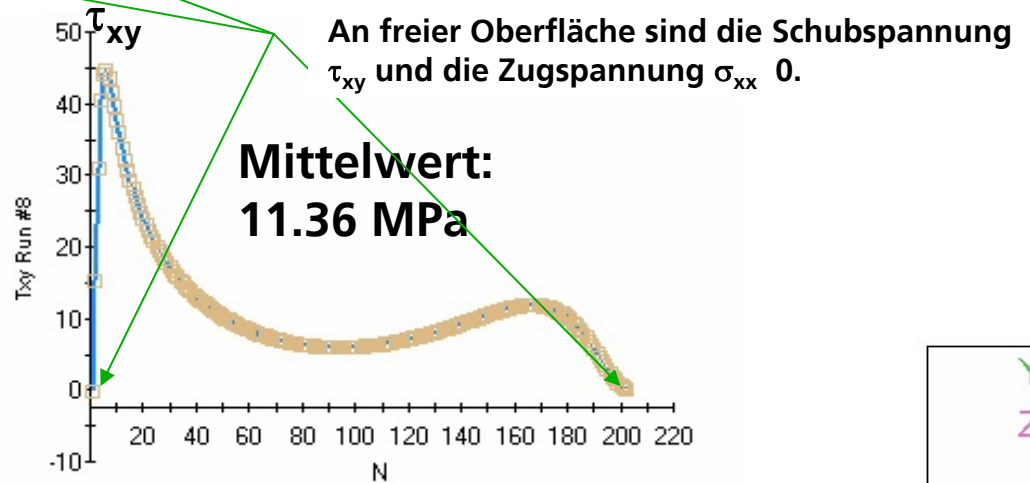
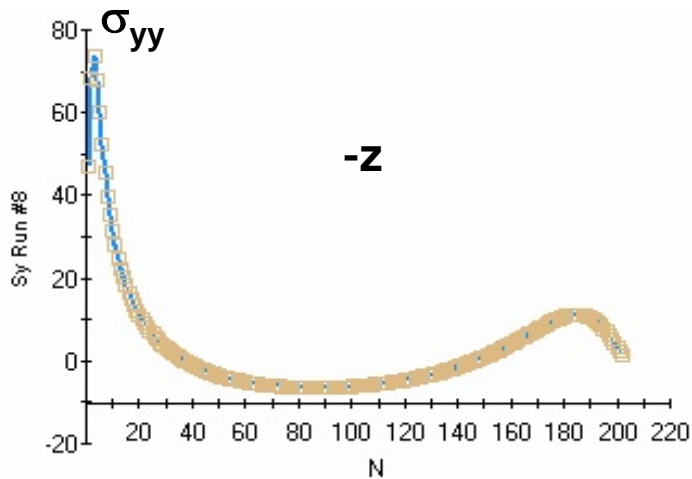
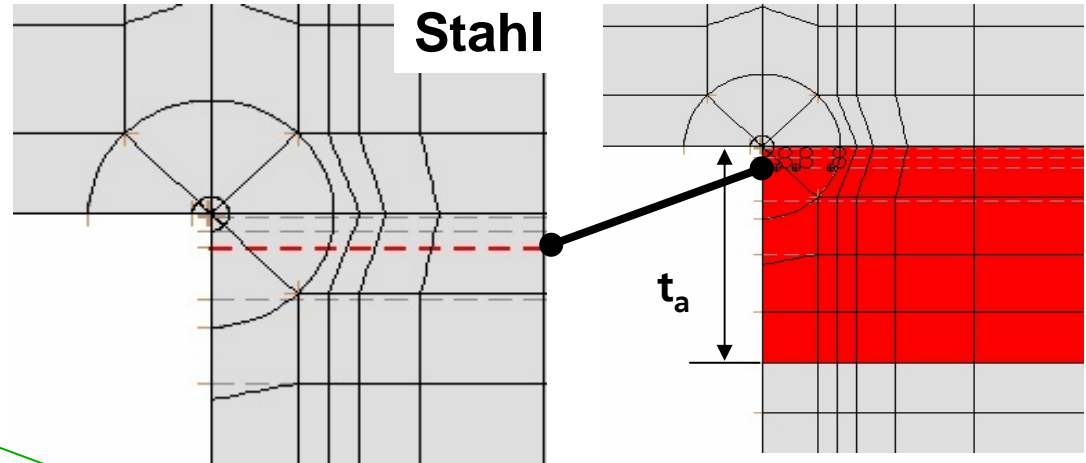
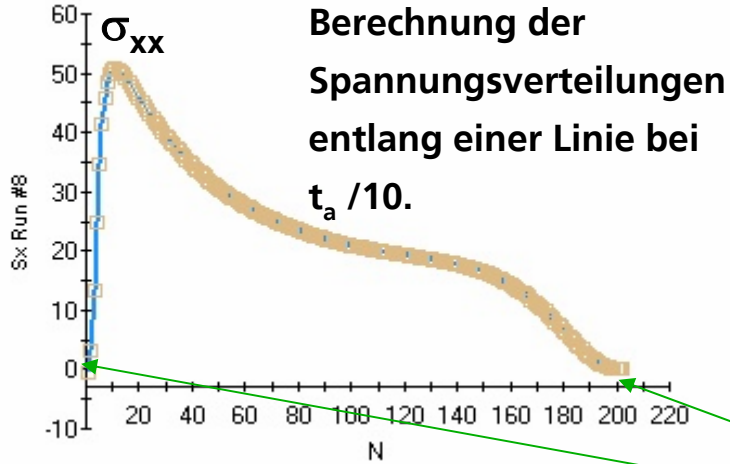
- **Oberfläche**

© IFAM 2006

Klebstoffe

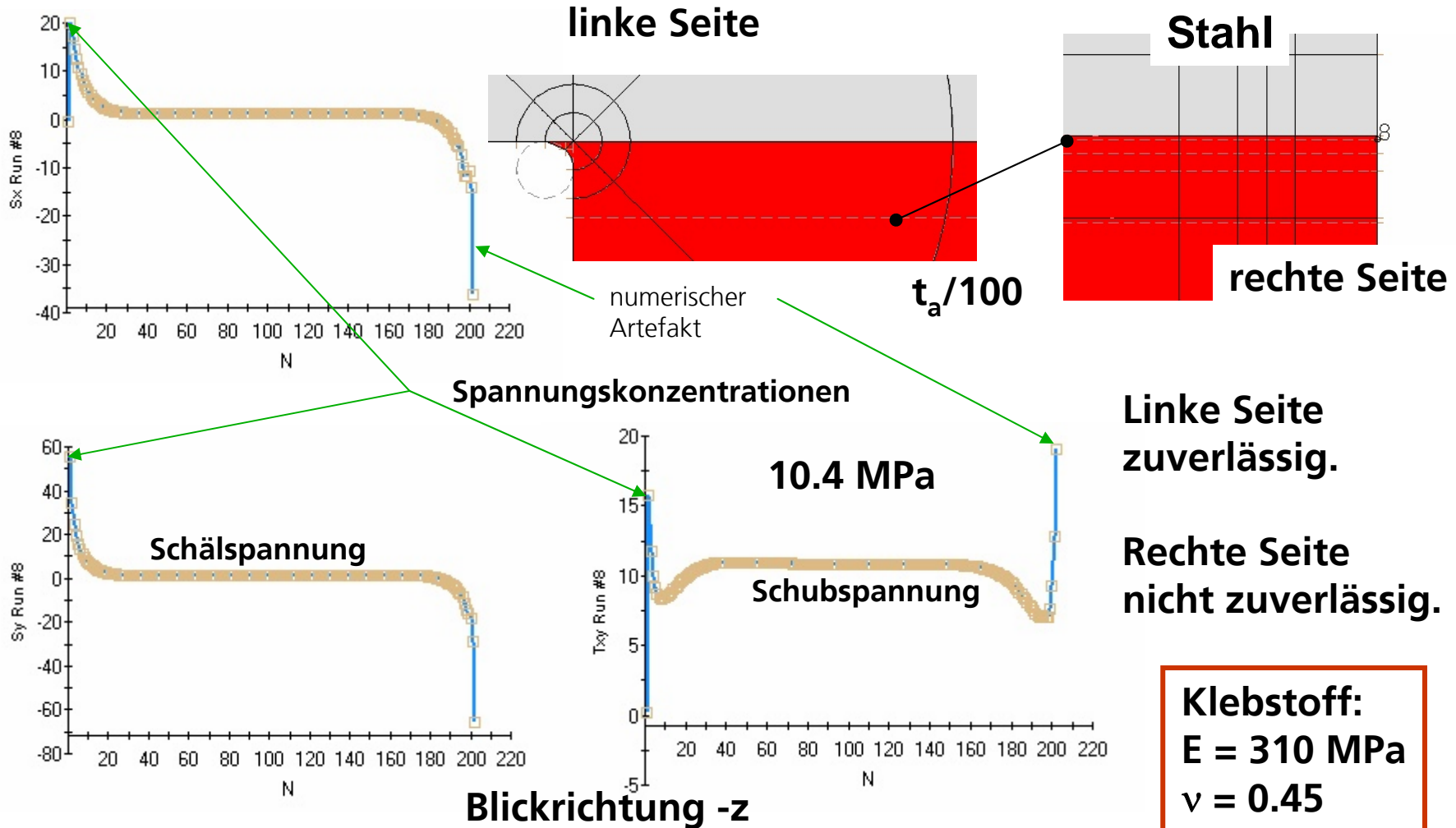


Spannungsfeld



© IFAM 2006

Spannungsfeld



Anwendungsfall: Schiffbau


FR. LÜRSEN WERFT



Fährschiff

© IFAM 2006

Sitzbefestigung


LÜRSSEN
FR. LÜRSSEN WERFT



© IFAM 2006

Ziel: Gewichtseinsparung



© IFAM 2006

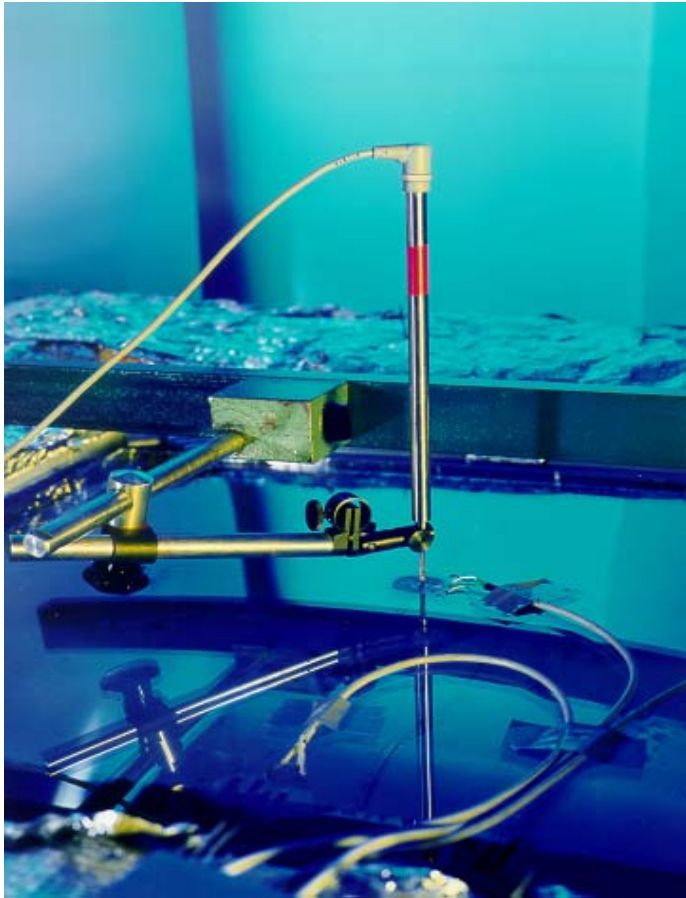
Sitzbefestigung

LÜRSSEN
FR. LÜRSSEN WERFT

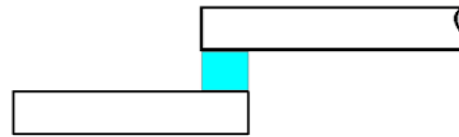


© IFAM 2006

Analytische Methoden – easy-to-use?



Glasscheibe in einer Aluminiumstruktur:



Quelle: Wacker

- ## Dimensionieren nach
- zulässiger Spannung
 - zulässiger Dehnung

Werkstoffmodellgesetze

==> Hyperelastische Materialmodelle für “flexible” Klebstoffe:

1. Polynomansatz $\longrightarrow U = \sum_{i+j=1}^N C_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j$

2. Mooney-Rivlin Ansatz = Polynomansatz für N=1

3. Reduzierter Polynomansatz $\longrightarrow U = \sum_{i=1}^N C_{i0} (I_1 - 3)^i$

4. Neo-Hooke Ansatz = Reduzierter Polynomansatz für N=1

5. Yeoh Ansatz = Reduzierter Polynomansatz für N=3

6. Ogden Ansatz $\longrightarrow U = \sum_{i=1}^N \frac{2\mu_i}{\alpha_i^2} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3)$

7. Arruda-Boyce Ansatz

8. Van der Waals Ansatz

Diese beiden Ansätze beruhen auf physikalischen Werkstoffmodellen.

Anwendungsfall: Motortunnel

Machbarkeitsstudie: LKW-Motortunnel (Mercedes-Benz Atego)

bisherige Bauweise:
Karosserieblech
punktgeschweißt



neues Konzept:
LFT in Blechstruktur
Klebverbindung



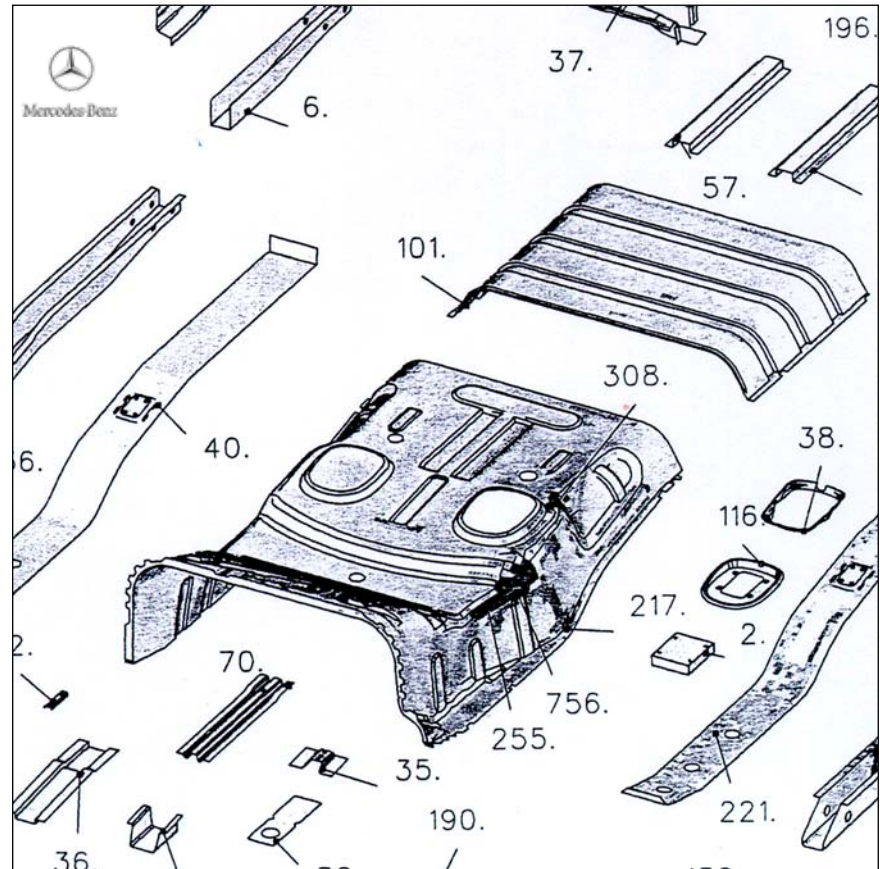
Zielsetzung

Gewichtseinsparung

Funktionsintegration:

- Schalldämmung
- Hitzeschild

**Reduktion der
Werkzeugkosten**

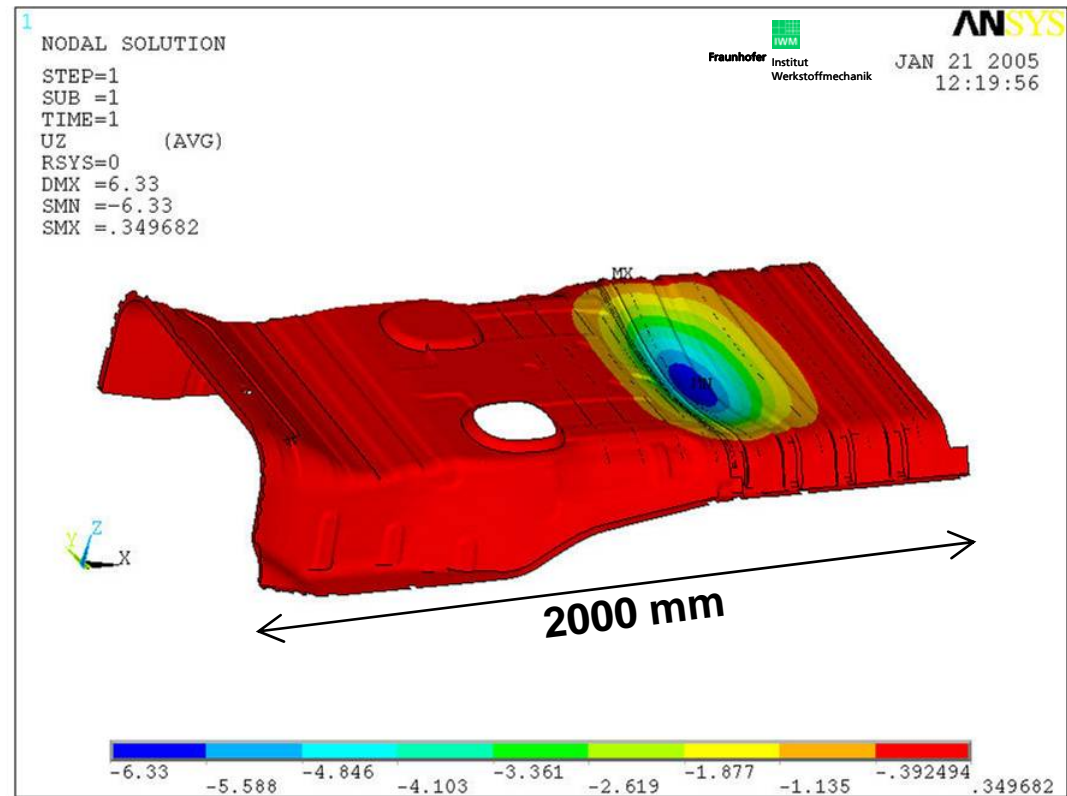


© IFAM 2006

Klebverbindung Motortunnel

Steifigkeitsanforderung:

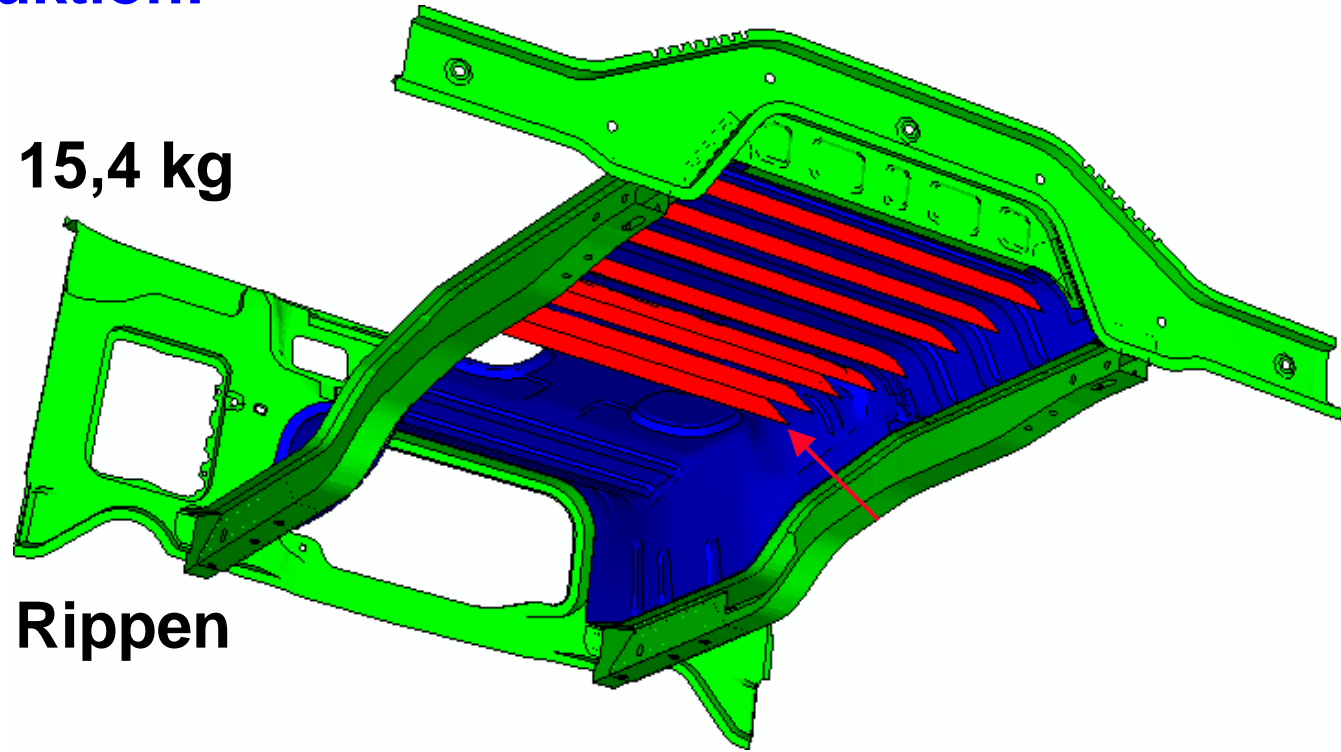
- Belastung durch Mannlast (Tritt)
- Variante Europa: 90 kg
- Variante USA: 180 kg
- Durchbiegung < 8 mm



Klebverbindung Motortunnel

erzielte Gewichtsreduktion:

- bisher 24,1 kg
- → Mischbauweise 15,4 kg
→ 36 %



- Versteifung durch Rippen

Aufgabe:

- Verbindung zu umgebender Struktur

Oberflächenvorbehandlung

Ziel: Gleich bleibender, zum Kleben geeigneter Zustand der Oberflächen

Methoden

mechanisch	chemisch	physikalisch
<ul style="list-style-type: none">• Schleifen• Strahlen• Peel-Ply	<ul style="list-style-type: none">• Beizen• Ozonisieren• Fluorieren• ...	<ul style="list-style-type: none">• Beflammen• Plasma• Korona• ...

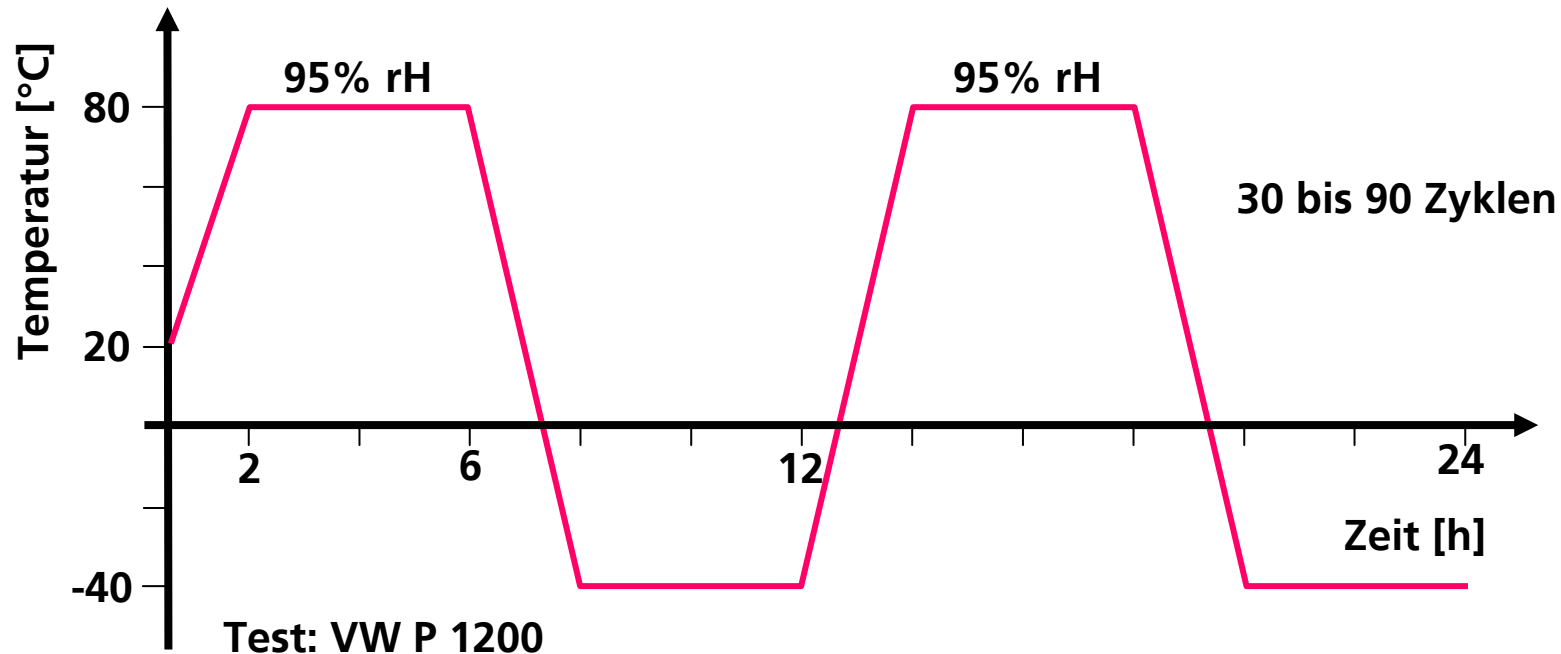
Vorbehandlung Motortunnel

- **KTL-beschichtete Stahlbleche: keine Vorbehandlung erforderlich**
- **LFT:**
 - bei Klebstoff **Scotch Weld DP 8005 keine Vorbehandlung**
 - bei anderen getesteten Klebstoffen **Atmosphärendruck-Plasma**

Alterung

Nachweis der Alterungsbeständigkeit

- geforderte Lebensdauer: 20 Jahre
- beschleunigter Test mit extremen Temperaturschwankungen + Feuchtigkeit

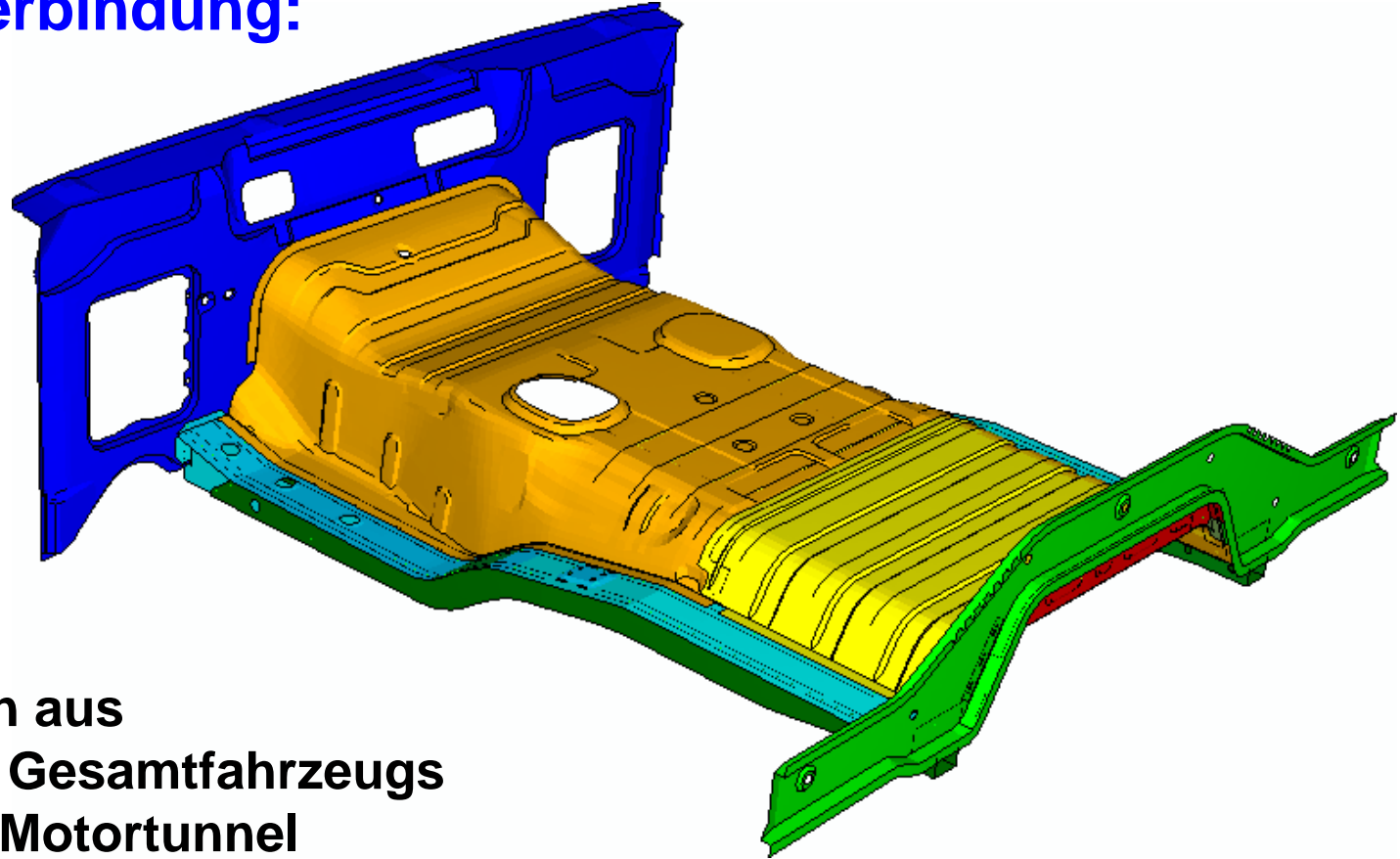


© IFAM 2006

FE-Modellierung

Simulation der Verbindung:

- **Modell der umgebenden Struktur nötig**
- **Submodell zur Reduktion des Aufwands**
- **Randbedingungen aus Simulationen des Gesamtfahrzeugs mit metallischem Motortunnel**



Dimensionierung: Lastfälle

im Allgemeinen zu betrachtende Lastfälle:

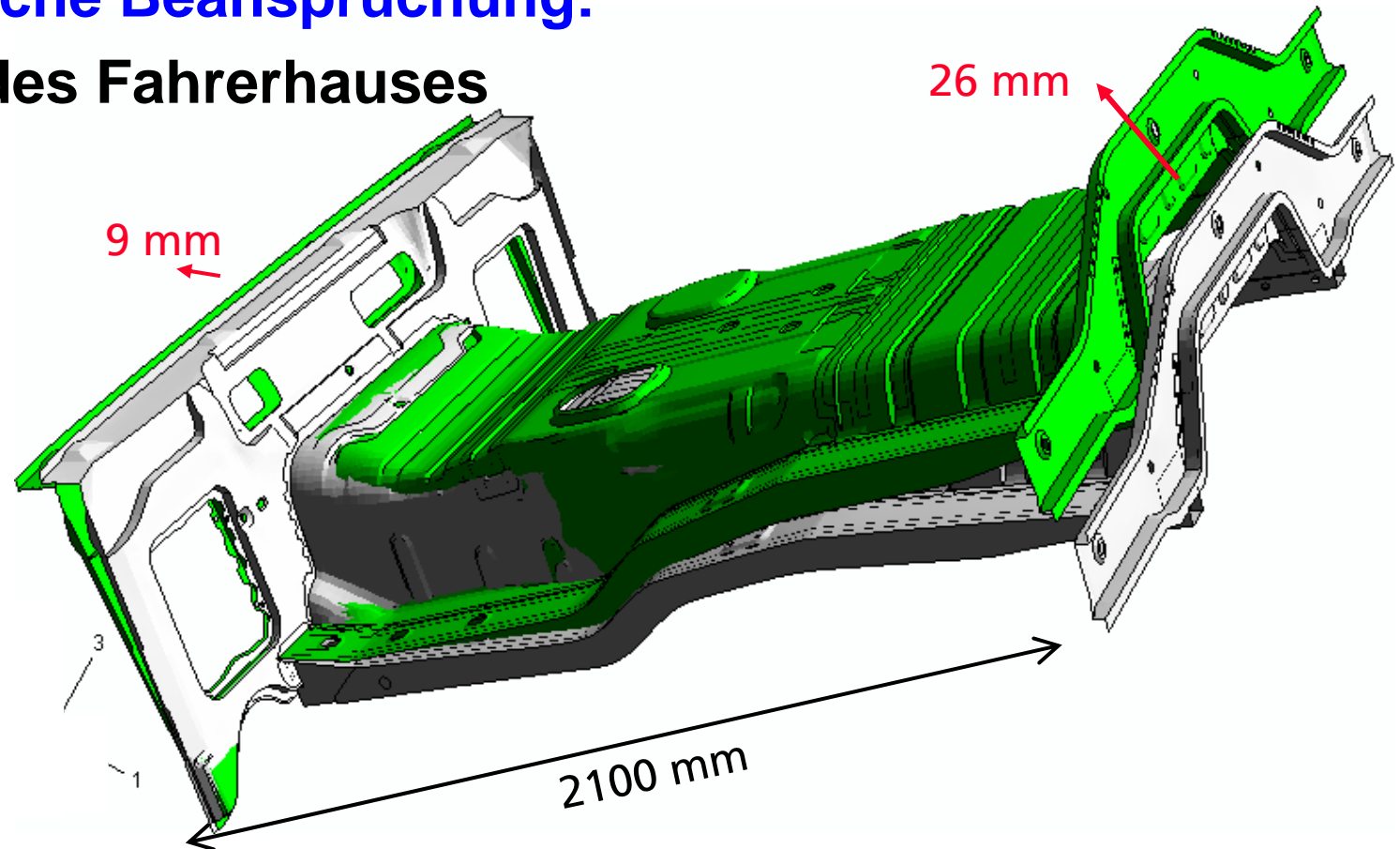
- statische Lastfälle
- schwingende Beanspruchungen / Betriebsfestigkeit
- statische Dauerlasten (Kriechen und Relaxation des Klebstoffs)
- hochdynamische Beanspruchung (Crash)
- thermische Belastung (unterschiedliche Ausdehnung von LFT und Stahl)
- Berücksichtigung von Einsatztemperaturen, Feuchtigkeit, Alterung

für den Motortunnel untersucht:

- statische Lasten (Ankippen, Querkraft)
- Dauerbelastung
- thermische Belastung

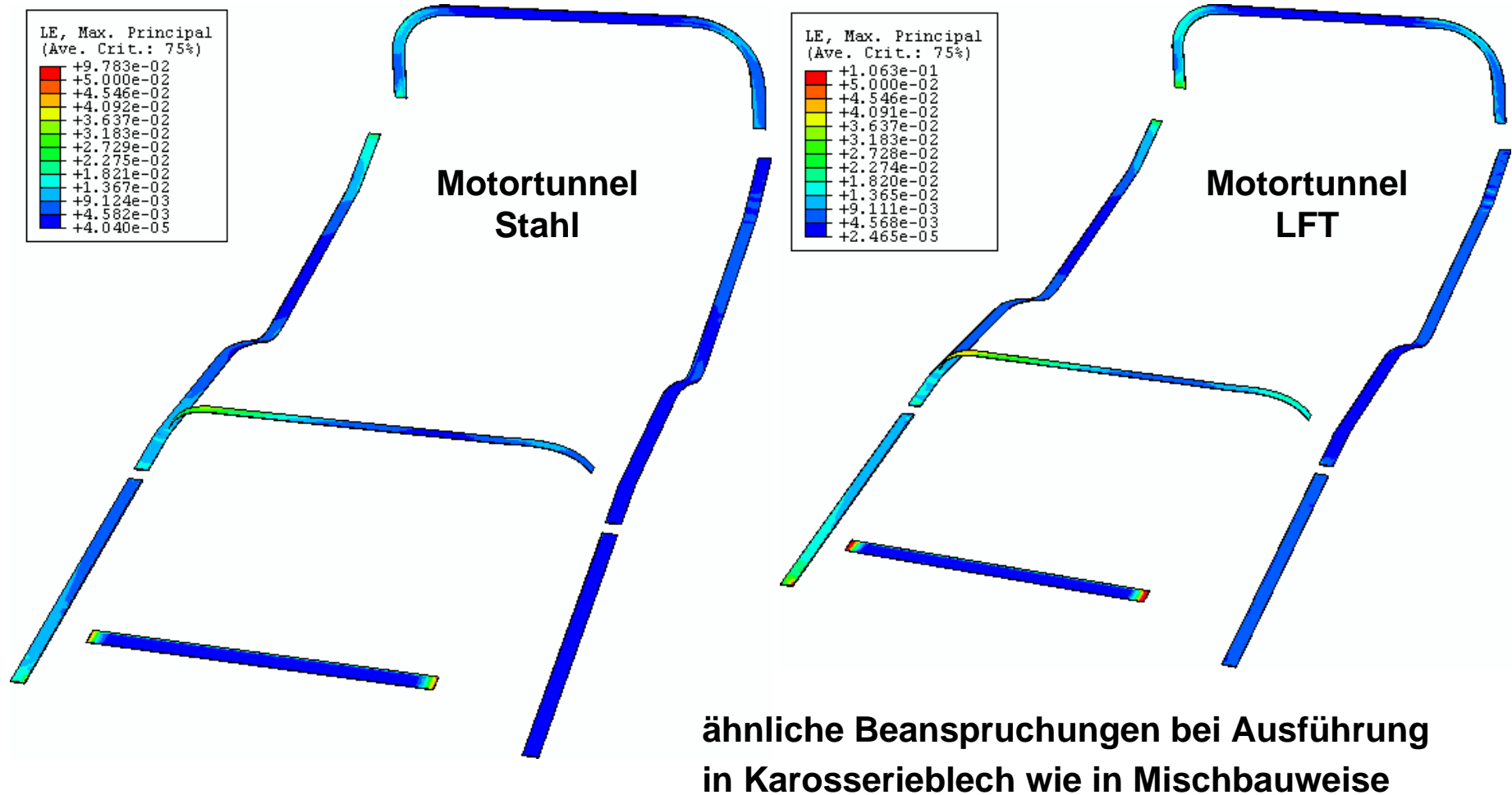
Lastfall: Ankippen

quasistatische Beanspruchung:
Ankippen des Fahrerhauses



© IFAM 2006

Lastfall: Ankippen



© IFAM 2006

Lastfall: Thermische Beanspruchung

speziell bei Mischbauweisen!

Wärmeausdehnungskoeffizienten:

- Stahl: $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- LFT: $\alpha = 60 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- Differenz: $\Delta L = \Delta\alpha \Delta T L = 48 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \cdot 50 \text{ K} \cdot 2 \text{ m} \approx 5 \text{ mm}$

23 °C (Aushärtung des Klebstoffs):



70 °C (Extremtemperatur im Einsatz):



Thermisch induzierte Spannungen:

- bei Mischbauweisen zu beachten!
- zu reduzieren durch flexiblen Klebstoff, dicke Klebschicht

dimensionierender Lastfall:

- **thermische Belastung unter Berücksichtigung von Wechselbeanspruchung und Haltezeiten**
- **Beanspruchungen sind in kritischer Größenordnung, können aber durch Veränderung der Klebschichtgeometrie hinreichend reduziert werden**

weitere Schritte zur Auslegung:

- **Spannungsrelaxations-Experimente, Wöhlerkurven zur Feststellung der Beanspruchbarkeit der Klebverbindungen**
- **lokale Spannungsanalyse an Hot-Spots**
- **konstruktive Änderungen, z.B. lokale Erhöhung der Klebschichtdicke**

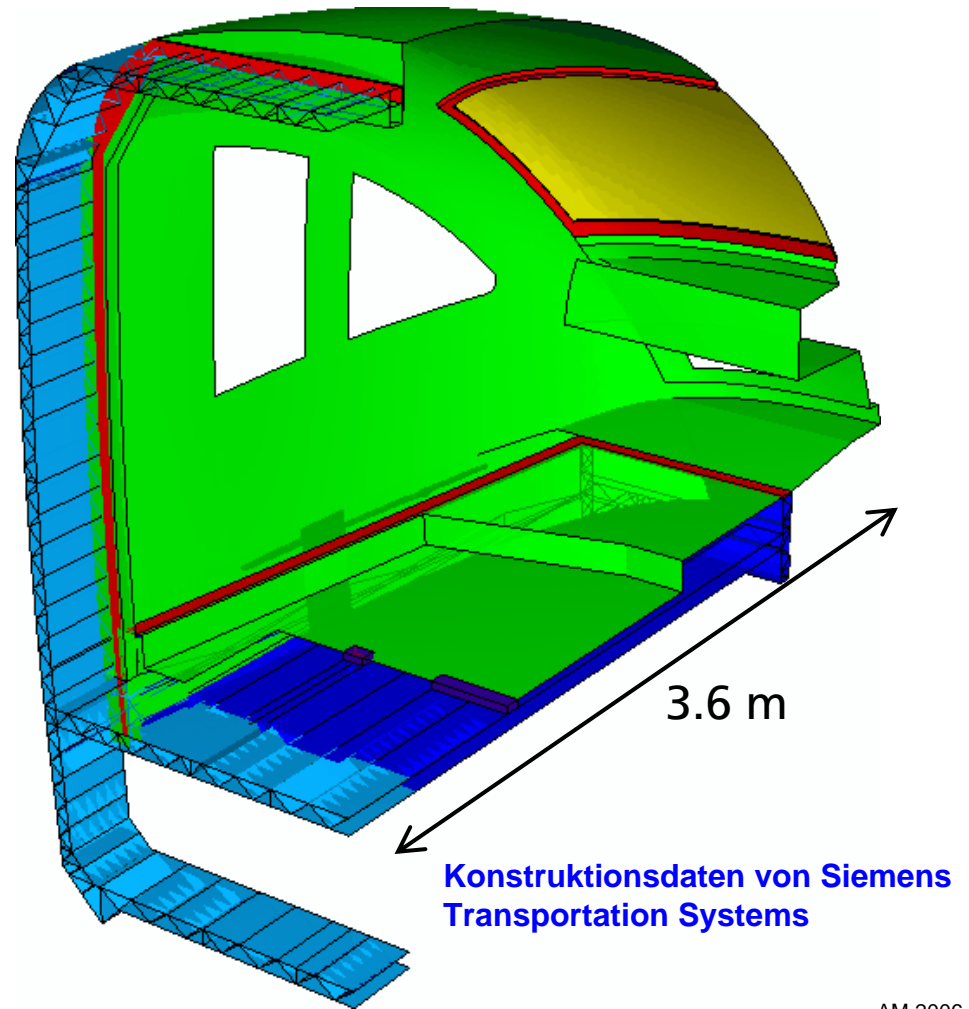
Anwendungsfall: Schienenfahrzeug

Kleberbindung zwischen Kopfmodul und Wagenkasten

- besondere Anforderungen an Berechnung:
 - sehr lange Klebschichten im Vergleich zur Dicke (10 mm)
 - komplexe geometrische Übergänge

Materialien:

- Wagenkasten: Aluminium-Strangpressprofile
- Kopfmodul: GFK, Sandwich

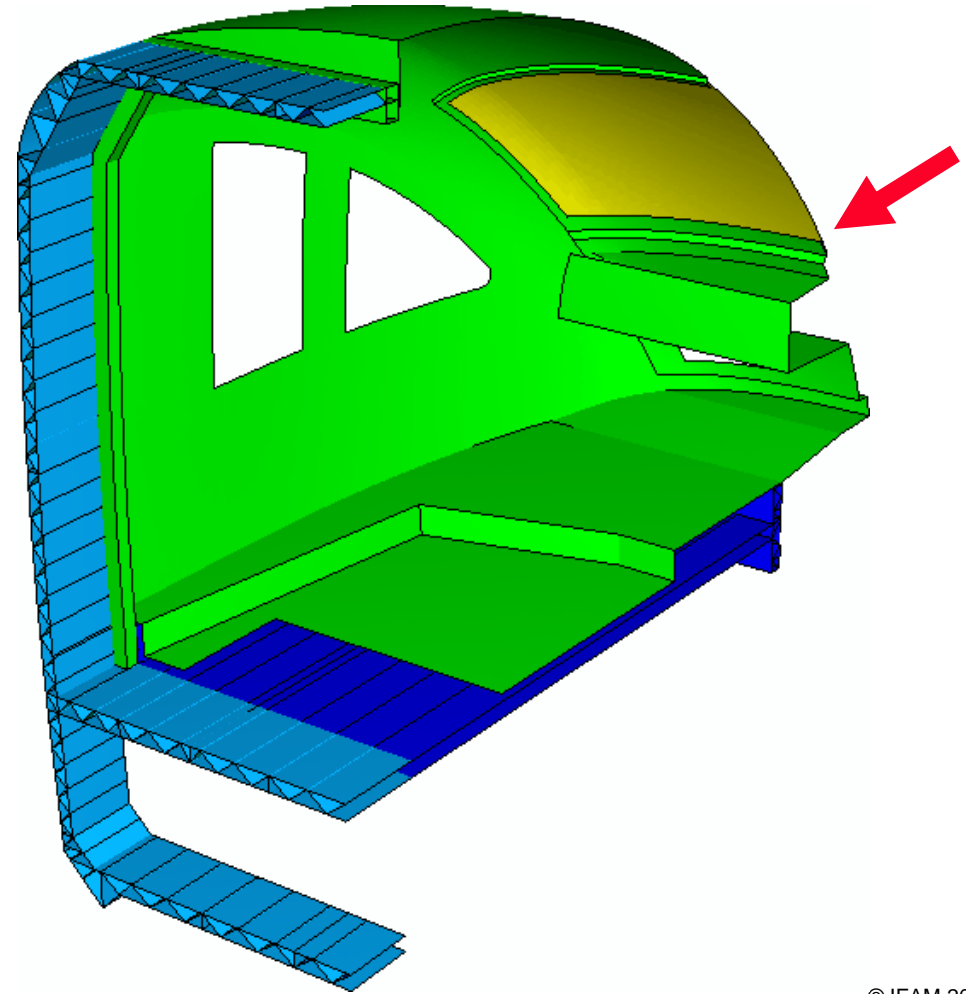


© IFAM 2006

Lastfall

**DIN EN 12663:2000,
Abschnitt 4.2.2:**

**Druckkraft in Höhe des
Fensterausschnittes
(Fensterbrüstung) 300 kN als
Anforderung an
Personenfahrzeuge (Kat. P-I, II, III)**

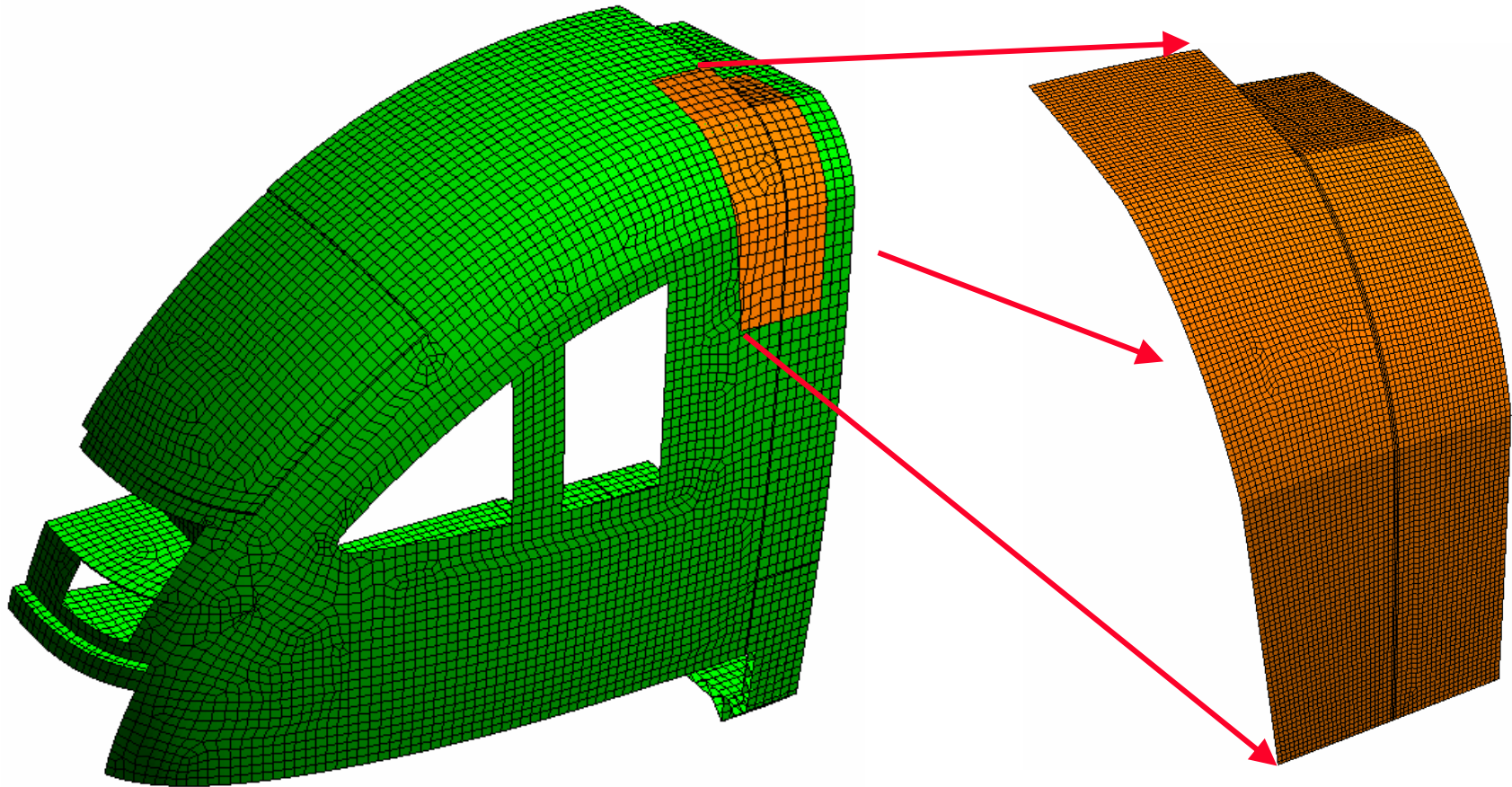


© IFAM 2006

effiziente Modellierung und Berechnung von Klebverbindungen in großen Strukturen:

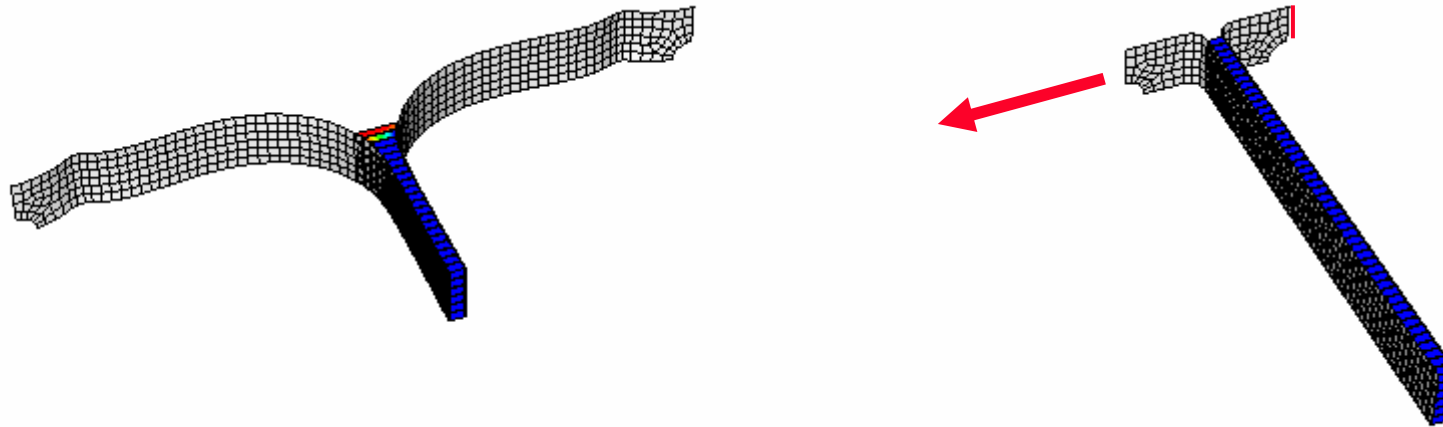
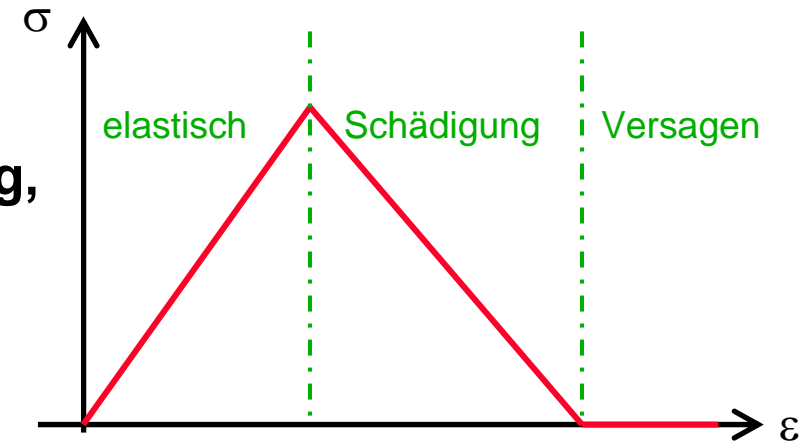
- übliche lokale Netzverfeinerung zu aufwendig
- **Submodelltechnik**
 - keine allgemeingültigen Regeln zur Anwendung der Methode
⇒ Erfahrung im Sub-Modellierung von Klebverbindungen nötig
 - Erstellung eines Submodells notwendig
⇒ spezielle Tools entwickelt
- spezielle **Klebschichtelemente**

Submodelltechnik



Kohäsivzonenmodell

- **Interface-Elemente mit speziellem Kraft-Verschiebungs-Zusammenhang**
- **beschreiben Steifigkeit der Klebverbindung, Festigkeit und Risswachstum**
- **Gegenstand aktueller Forschung**



© IFAM 2006

Zusammenfassung

- Leichtbau erfordert geeignete Fügeverfahren.
- Kleben - ein Weg zur Realisierung von Mischbauweisen.
- Bei der Konstruktion der Klebverbindung müssen neben den mechanischen Beanspruchungen auch thermische Beanspruchung, Medieneinflüsse und Alterung berücksichtigt werden.
- Für die experimentelle Charakterisierung von Klebstoffen und die numerische Simulation von Klebverbindungen stehen spezielle Methoden zur Verfügung.

Markus Brede
FhG-IFAM
Wiener Straße 12
28359 Bremen
mb@ifam.fhg.de

Folie 31 / 32



© IFAM 2006

**BMBF-Schiffbau und Meerestechnik: "Schnelle Einrumpffähren
- Klebtechnik als Fügeverfahren für den Leichtbau schneller Einrumpfschiffe" (1996)**

**EU 5. Rahmenprogramm: "Bonding of lightweight materials for cost effective
production of high speed craft and passenger ships" (1999-2003)**

**BMBF-Matech: "Entwicklung von langzeitbeständigen Kaltfügetechniken als
Schlüsseltechnologie für eine kostengünstige Hybridbauweise im
Schienenfahrzeugbau auf Grundlage der strukturellen Klebtechnik" (2000-2003)**

BMBF, FhG-Projekt WISA INFAST (2001-2004)