

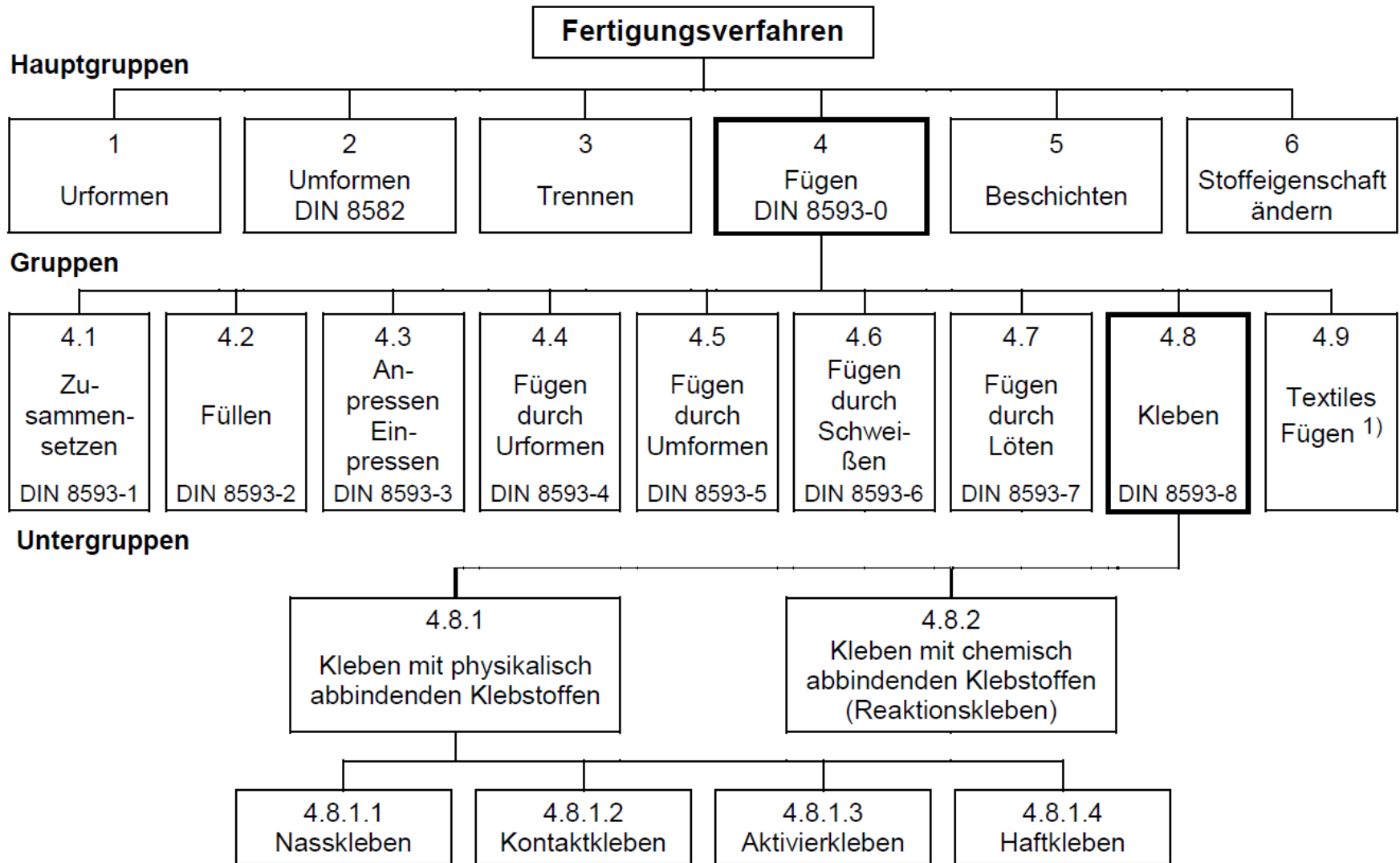
3.3.1. Einleitung / Vorteile & Grenzen

3.3.2. Charakteristische Eigenschaften von Klebstoffen

3.3.3. Hinweise zu Konstruktion und Dimensionierung

3.3.4. Kleben im Schienenfahrzeug

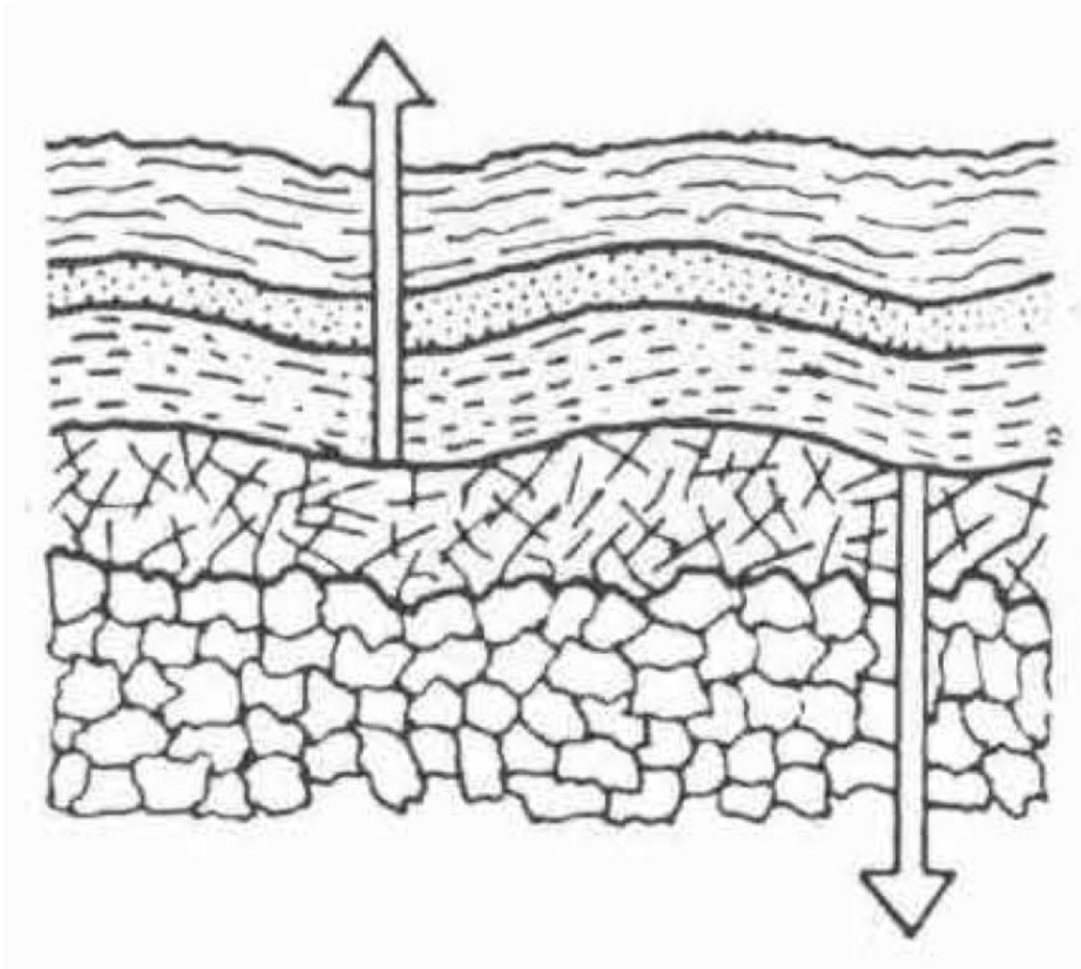
Folie Einordnung Fügen durch Kleben (nach DIN 8593-8)



Folie Vorteile / Einsatzgrenzen Klebverbindungen

Vorteile	Einsatzgrenzen
<ul style="list-style-type: none">– Keine Wärmebeeinflussung der Fügeteile<ul style="list-style-type: none">• Keine makroskopische Beeinflussung der stofflichen Struktur der Fügeteile• Füge-Verformungen bzw. -Eigenspannungen selten– Gleichmäßige Spannungsverteilung– Flächige Verbindungen möglich– Verbinden unterschiedlicher Werkstoffe möglich<ul style="list-style-type: none">• auch gehärtete oder oberflächenveredelte– Verbinden sehr dünner Fügeteile– Gas- und flüssigkeitsdichte Fugen, keine Spaltkorrosion– Verhinderung von Kontaktkorrosion– Keine präzisen Passungen der Fügeflächen erforderlich– Gute Dämpfungseigenschaften der Verbindung– Hohe dynamische Festigkeit	<ul style="list-style-type: none">– Begrenzte Warmfestigkeit– Veränderung der Klebefugeneigenschaften bei Langzeiteinsätzen möglich– Reinigung und Oberflächenvorbehandlung der zu verbindenden Teile in vielen Fällen erforderlich– Präzises Einhalten der Fertigungsbedingungen erforderlich– Oft spezielle Klebvorrichtungen zum Fixieren der Verbindung erforderlich– Zerstörungsfreie Qualitätsprüfung nur bedingt möglich

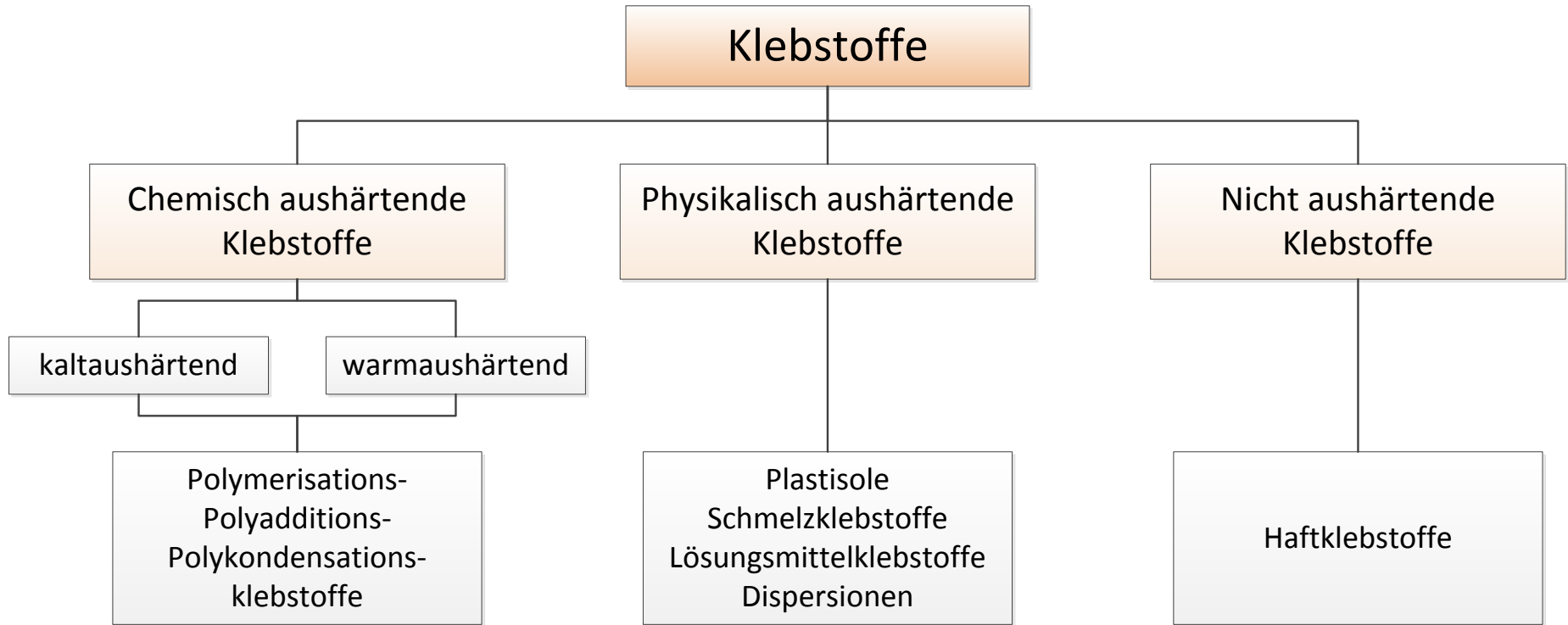
(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382)



- ← Schicht aus Verunreinigungen
 $\approx 3 \text{ nm}$
- ← Adsorptionsschicht $\approx 0,3 \text{ nm}$
- ← Reaktionsschicht
 $\approx 1 \dots 10 \text{ nm}$
- ← (kalt) verformte Schicht
- ← ungestörtes Gefüge des
Kernwerkstoffes

(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382)

Folie Einteilung der Klebstoffe nach Aushärtungsmechanismus



(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382)

Folie Charakteristische Eigenschaften von Klebstoffen

	Verarbeitungsbedingungen		Verträglichkeit mit Mensch und Umwelt bei der Verarbeitung	Verformbarkeit	Festigkeit	Wärmebeständigkeit in °C	Alterungsbeständigkeit	Bemerkungen
	Temperatur in °C	Druck in N/mm ²						
Haftklebstoffe	10 ... 20	>1 ... 5	1	1	4	bis 120	1-2	keine Fixierung notwendig, sofort belastbar
Kontaktklebstoffe	10 ... 20	ca. 1	3-4	1	3-4	bis 120	2-3	
Dispersionsklebstoffe	10 ... 20	ca. 1	2	1	3-4	bis 100	3	
Schmelzklebstoffe	>100	Kontakt	1	1	3-4	bis 120	2	Stahlfügeteile ggf. Vorwärmen
Plastisole	>150	0	3	1	3-4	bis 120	2	halten auf veröltem Stahl
Epoxidharz 2-K	20	0	3-4	2	1-2	bis 80	3	oft lange Härtezeit, durch Erwärmung verkürzbar
Epoxidharz 1-K	120	0	2-3	2	1	bis 150	2	oft lange Härtezeit (20 min ... 1 h)
Phenolharz 1-K	150	8	2-3	3	1	bis 200	1-2	Wasserabspaltung bei Härtung
Polyurethan 2-K	20	0	2-3	1	2-3	bis 80	2-3	Härtezeiten ca. 3 min ... 5 h
Polyurethan 1-K	80	Kontakt	1-2	1	3	bis 110	2-3	nachvernetzender Schmelzklebstoff
Silikonharz 1-K	20	0	1-2	1	4	bis 200	1	spaltet bei Härtung Essigsäure ab
Cyanacrylat 1-K	20	0	1-2	3-4	2	bis 80	3	vor Verätzungen schützen
Diacryls. est. 1-K	20	0	3-4	2	1-2	bis 100	1-2	sehr kurze Härtingszeit

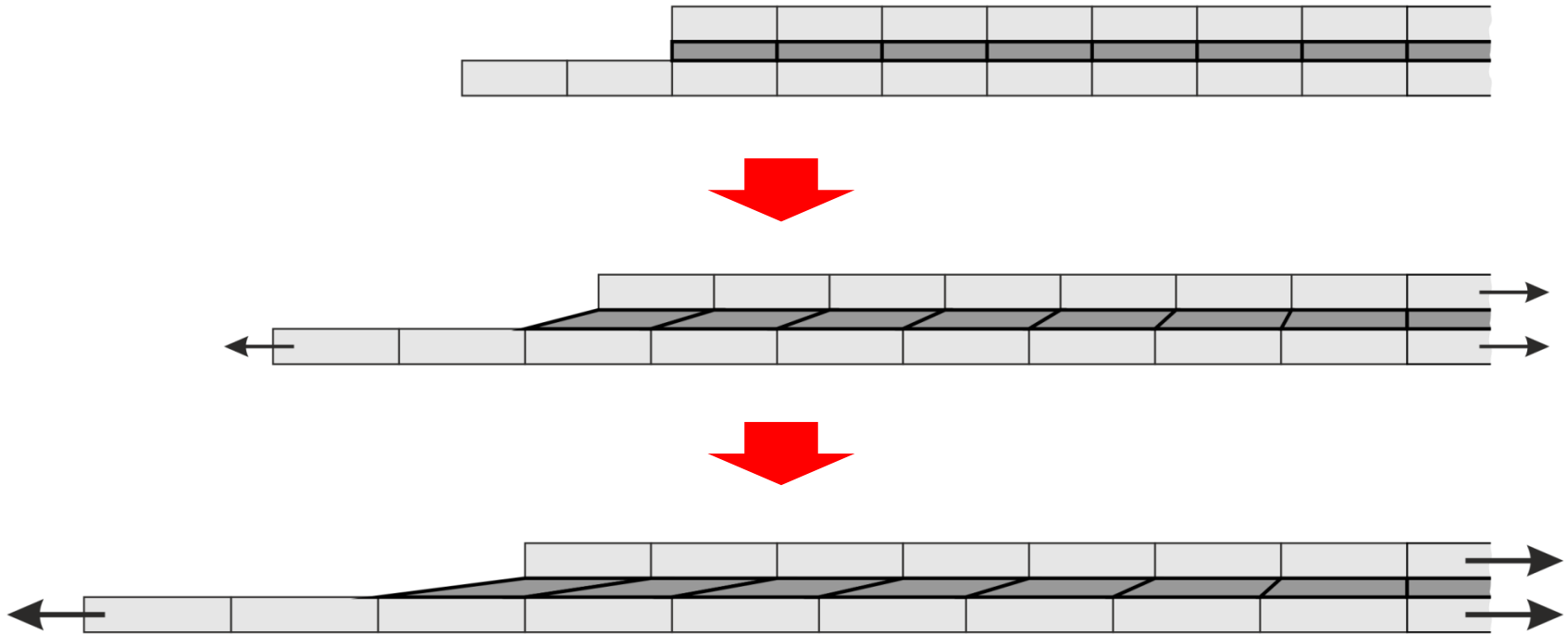
1 = sehr gut; 2 = gut; 3 = mittel; 4 = niedrig bzw. ungünstig

1-K = einkomponentig; 2-K = zweikomponentig

Alle Angaben ungefährer Natur

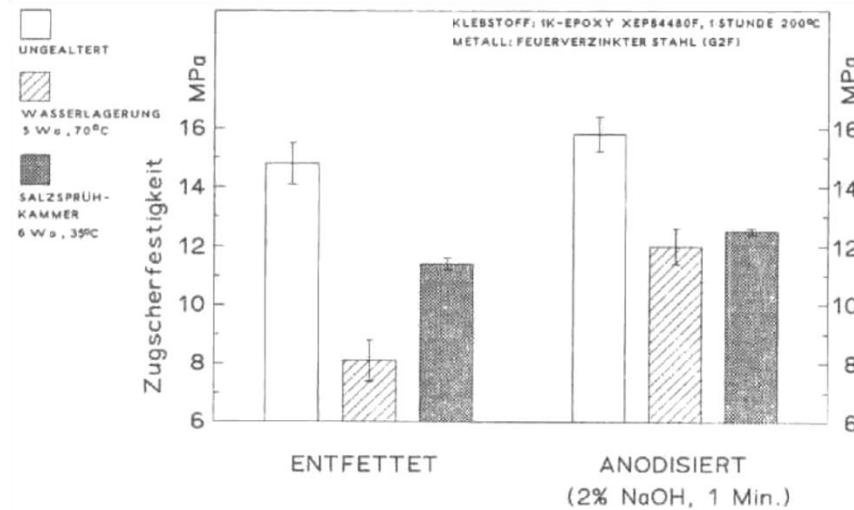
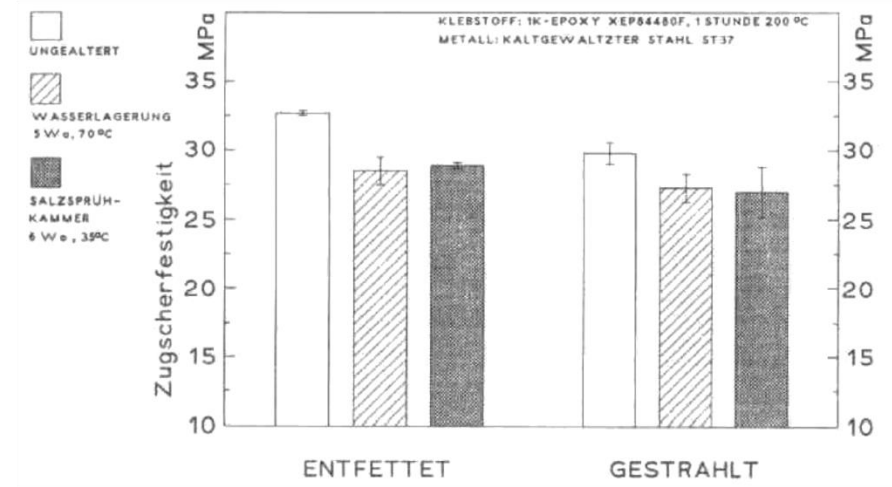
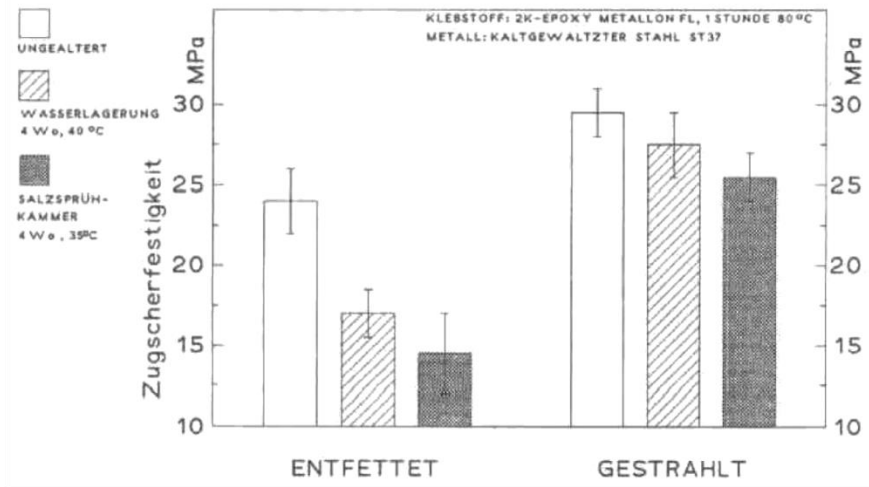
(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382)

Folie Dehnung / Verformung Klebschicht unter Last



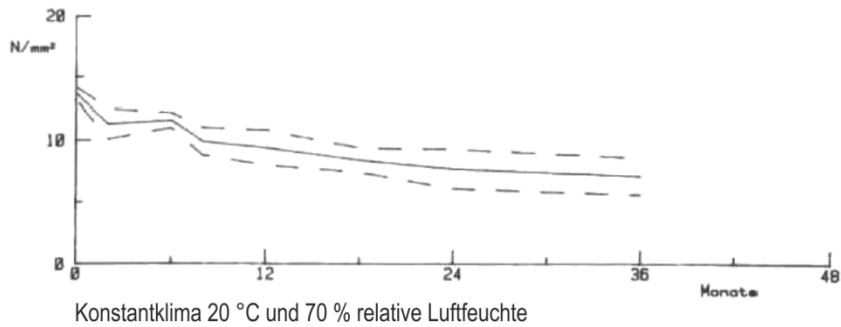
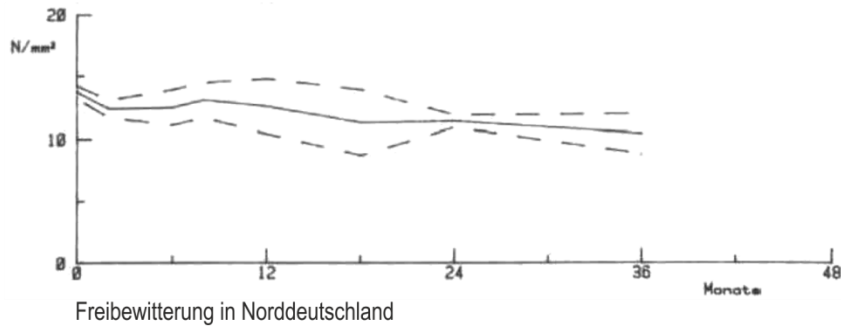
(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382)

Folie Zugscherfestigkeiten Stahlklebungen

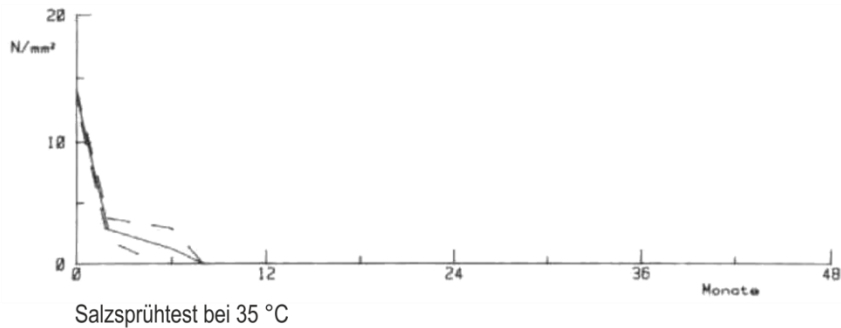


(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382)

Folie Zugscherfestigkeiten Stahl-Polycarbonat-Klebung mit 2-K-PU-Harz



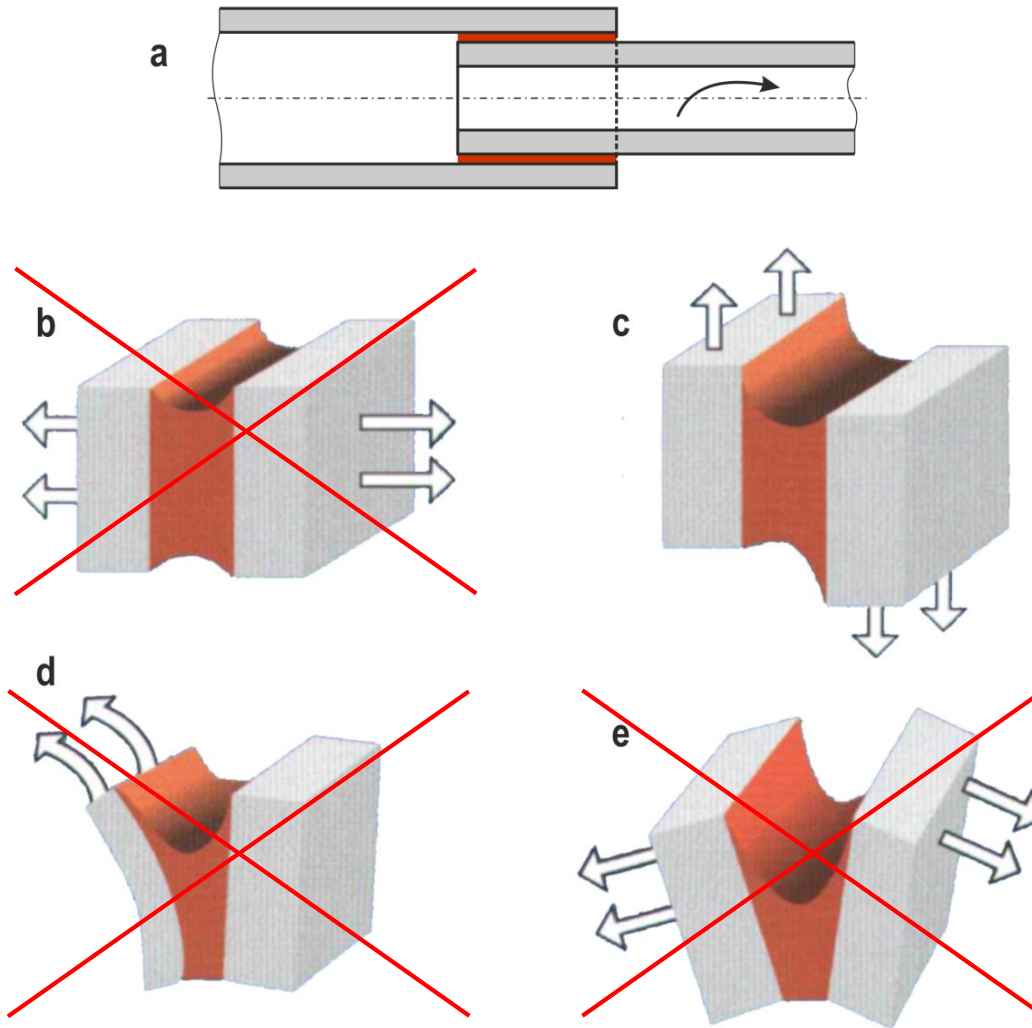
➔ Schädigung vorwiegend durch Adhäsionsbruch am Stahl



➔ Schädigung vorwiegend durch korrosive Delamination am Stahl

(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382)

Folie Beanspruchung von Klebverbindungen



(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382)

Mechanische Prüfungen

Zugscherversuch EN 1465

Rollenschälversuch EN 1464

Keilspalttest ASTM D3762-03

Druckscherversuch DIN 54452

Zeitstandversuch DIN 53284

Dynamische Prüfung EN ISO 9664

Raupenabzugstest nach DVS 1618 Anlage 3

Physikalisch-chemische Prüfungen

Oberflächenspannung EN 828

Salzsprühnebeltest DIN50021

Kondenswassertest DIN50017

Diverse Wechselklimatests

Kataplasma-Test DIN EN ISO 9142

Prüfung auf migrable Substanzen mittels FTIR und GC

Künstliche Bewitterung



Merkblatt DVS 1618: „Elastisches Dickschichtkleben im Schienenfahrzeugbau“, 2002-01

(Quelle: nach Kammerer, ofi Institut für Klebetechnik)

3.1

Kleben

Verbinden von Fügeteilen über **Adhäsion** (Oberflächenhaftung) und **Kohäsion** (innere Festigkeit) mit einem **nichtmetallischen Bindemittel** (Klebstoff). Es können grundsätzlich sowohl Fügeteile aus gleichen als auch unterschiedlichen Werkstoffen mit gleichen oder unterschiedlichen Oberflächen oder Beschichtungen miteinander verbunden werden. Dabei bleiben die Werkstoffeigenschaften der Fügeteile im Regelfall erhalten und können optimal genutzt werden (siehe auch **DIN 8593-8**).

3.1.1

spezieller Prozess Kleben

Prozess, dessen Ergebnis durch nachfolgende Qualitäts- und Erzeugnisprüfungen zerstörungsfrei nicht vollständig bestätigt werden kann und bei dem sich z.B. Fertigungsmängel erst zeigen, nachdem das Erzeugnis im Einsatz ist.

AMMERMUNG Entsprechend dieser Definition werden ständige Überwachung und/oder Befolgung der dokumentierten Verfahrensanweisungen gefordert, um sicherzustellen, dass die festgelegten Anforderungen erfüllt werden.

(Quelle: DIN 6701-1:2004-11)

Tabelle 1 — Klassifizierung der Klebverbindungen

Klasse	Beschreibung	Definition der Sicherheitsanforderungen
A1	Klebverbindungen von Schienenfahrzeugen und Schienenfahrzeugteilen mit hoher Sicherheitsanforderung	Hohe Sicherheitsanforderung Das Versagen der Klebverbindung führt zu einer unabwendbaren Gefahr für Leib und Leben oder zur Gefährdung des sicheren Betriebs von Schienenfahrzeugen.
A2	Klebverbindungen von Schienenfahrzeugen und Schienenfahrzeugteilen mit mittlerer Sicherheitsanforderung	Mittlere Sicherheitsanforderung Das Versagen der Klebverbindung kann zur Betriebsgefahr mit Personenschäden oder zur Beeinträchtigung der Gesamtfunktion des Schienenfahrzeugs führen.
A3	Klebverbindungen von Schienenfahrzeugen und Schienenfahrzeugteilen mit geringer Sicherheitsanforderung	Geringe Sicherheitsanforderung Das Versagen der Klebverbindung führt maximal zu Komforteinbußen. Personenschäden sind unwahrscheinlich.
Z	Klebverbindungen von Schienenfahrzeugen und Schienenfahrzeugteilen ohne Sicherheitsanforderung	Keine Sicherheitsanforderung Das Versagen der Klebverbindung führt weder zu Personenschäden noch zu Beeinträchtigungen des Betriebsablaufs.

(Quelle: DIN 6701-3:2015-12)

Folie Nachweisführung in Abhängigkeit von Klassifizierung (nach DIN 6701-3:2015-12)

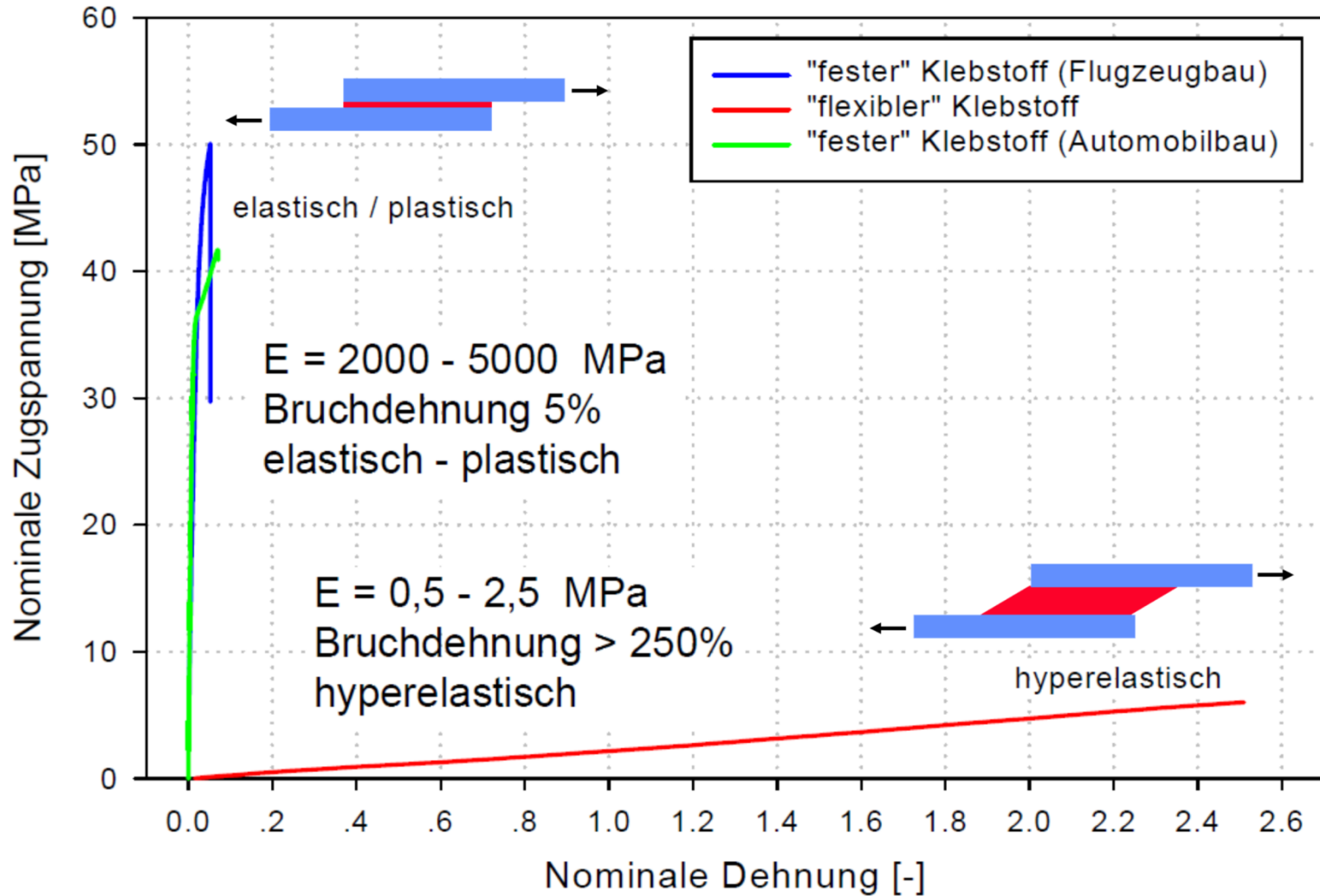
	A1	A2	A3	Abschnitt in DIN 6701-3
Konstruktive Auslegung der Klebverbindung				
1 Klasse festlegen / Anforderungsprofil erarbeiten	X	X	X	4 / 5
2 Klebstoffauswahl treffen	X	X	X	6
3 Klebgerechte Ausarbeitung —Gestalten von Baugruppen, Bauteilen und Klebverbindungen durchführen	X	X	-	7
Dokumentation				
4 Einstufung in Klasse mit Begründung	D	D	D	
5 Anforderungsprofil	D	D	-	Tab. B.1
6 Prüfberichte und Prüfprotokolle zu Werkstoff- und Verbindungskennwerten	D		-	8.4
7 Datenblätter	D	D	D	
8 Berechnung zur Dimensionierung				8.3
Berechnung nach dem Stand der Technik oder Bauteilprüfung, Nachweis der Schadensfreiheit bei Vergleich mit Erfahrung (Nachweis der Übereinstimmung)	D	-	-	
Überschlägige Dimensionierung, Vergleich mit Erfahrung	-	D	-	
9 Feststellung, dass Beanspruchung kleiner ist als Beanspruchbarkeit (für dimensionierende Lastfälle)	D	D	-	8.4.5, 8.5
10 Konstruktionsunterlagen, klebtechnisch geprüft	D	D	-	
Ermittlung der Beanspruchung				
11 exakte Analyse aller im Anforderungsprofil beschriebenen Lastfälle, Identifikation ihrer relevanten Kombinationen, Feststellung der dimensionierenden Lastfälle	D	-	-	
12 überschlägige Abschätzung für dimensionierende Lastfälle	-	D	-	
Ermittlung der Beanspruchbarkeit (in Bezug auf das Anforderungsprofil)				
13 Haftung				8.4.2
Prüfung der relevanten Werkstoffkombination bei Temperatur- und Feuchtebeanspruchung mit Bruchbildbewertung	DP	DP	-	
Herstellerangaben	-	-	DP	
14 Verbundfestigkeit (ohne Alterung, prüfen bei Normklima)	DP	DP	-	8.4.3
15 Kennwertermittlung (entsprechend der in Pos. 11 bzw. Pos. 12 ermittelten dimensionierenden Lastfälle)				
Klebstoffeigenschaften und Verbundfestigkeit bei geforderter medialer und thermischer Beanspruchung	DP	DP	-	8.4.3.2, Anh. E, Tab. E.1
Kriechverhalten, Kriechgrenze bei statischer Beanspruchung	DP	DP	-	8.4.3.3, i
Relaxationsbruchdehnung bei statischer Beanspruchung	DP	DP	-	8.4.3.3 ii
Schwingende Beanspruchung	DP	DP	-	8.4.3.4
Crash- und Impactverhalten	DP	DP	-	8.4.3.5
Bauteilprüfung	DP	DP	-	8.4.4
16 Kennwertvalidierung unter fertigungsrelevanten Bedingungen	DP	-	-	8.6

X: Durchführen der Maßnahme

D: Dokumentation

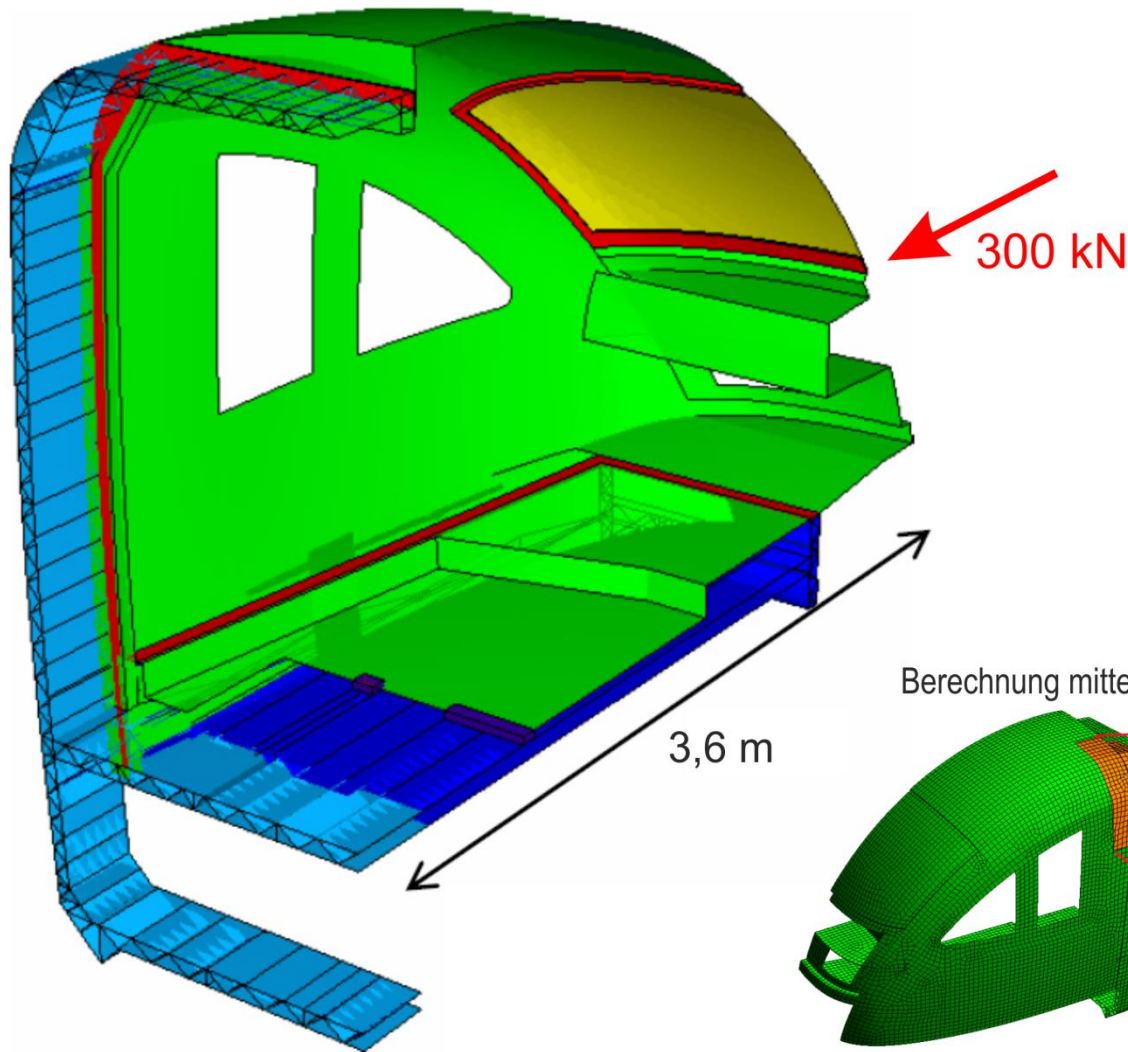
DP: Dokumentation ergänzt durch Prüfbericht bzw. Prüfprotokoll

Folie Vergleich hochfester – flexibler Klebstoff



(Quelle: nach Brede, Fraunhofer IFAM)

Folie Bsp. Verklebung Kopfmodul-Wagenkasten



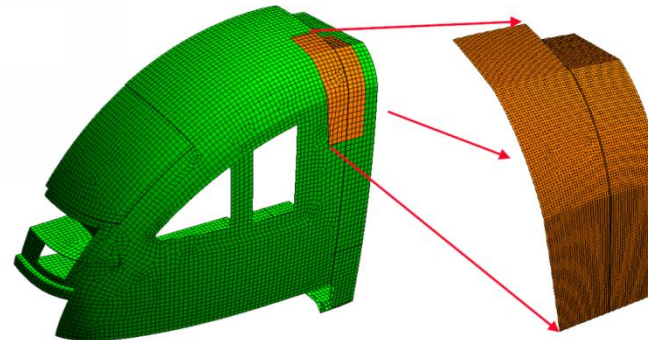
Anforderungen an Berechnung:

- sehr lange Klebschichten im Vergleich zur Dicke (10 mm)
- komplexe geometrische Übergänge

Materialien:

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

Berechnung mittel FEM-Submodelltechnik



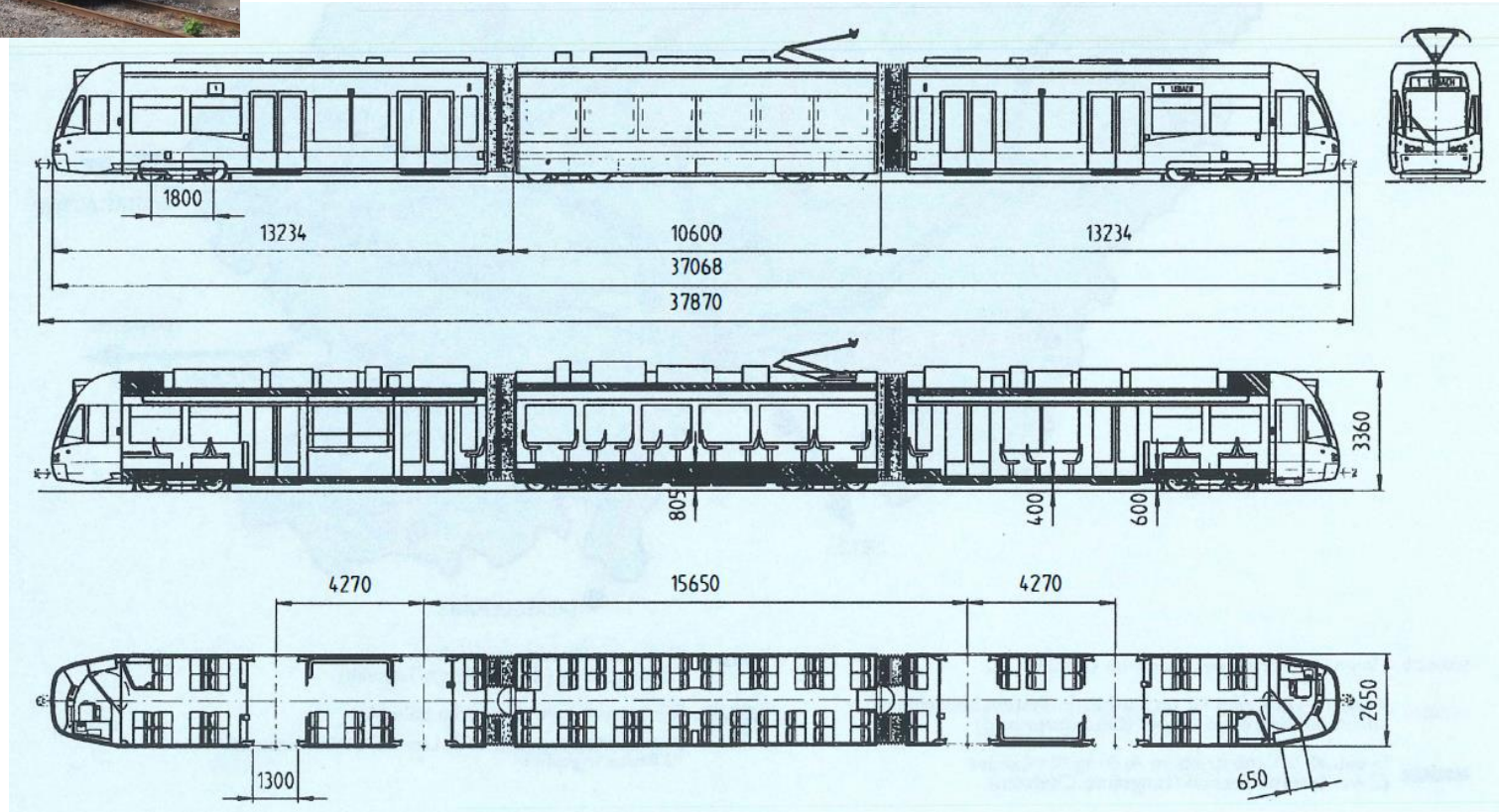
(Quelle: nach Brede: Fraunhofer IFAM, Siemens TS)



Kunststoff-Außenhaut auf Stahlfachwerk aufgeklebt
→ 25 % leichter als Vergleichsfahrzeug mit Stahlblech
→ LCC 30 Jahre: Einsparung \approx 80.000 € Energiekosten

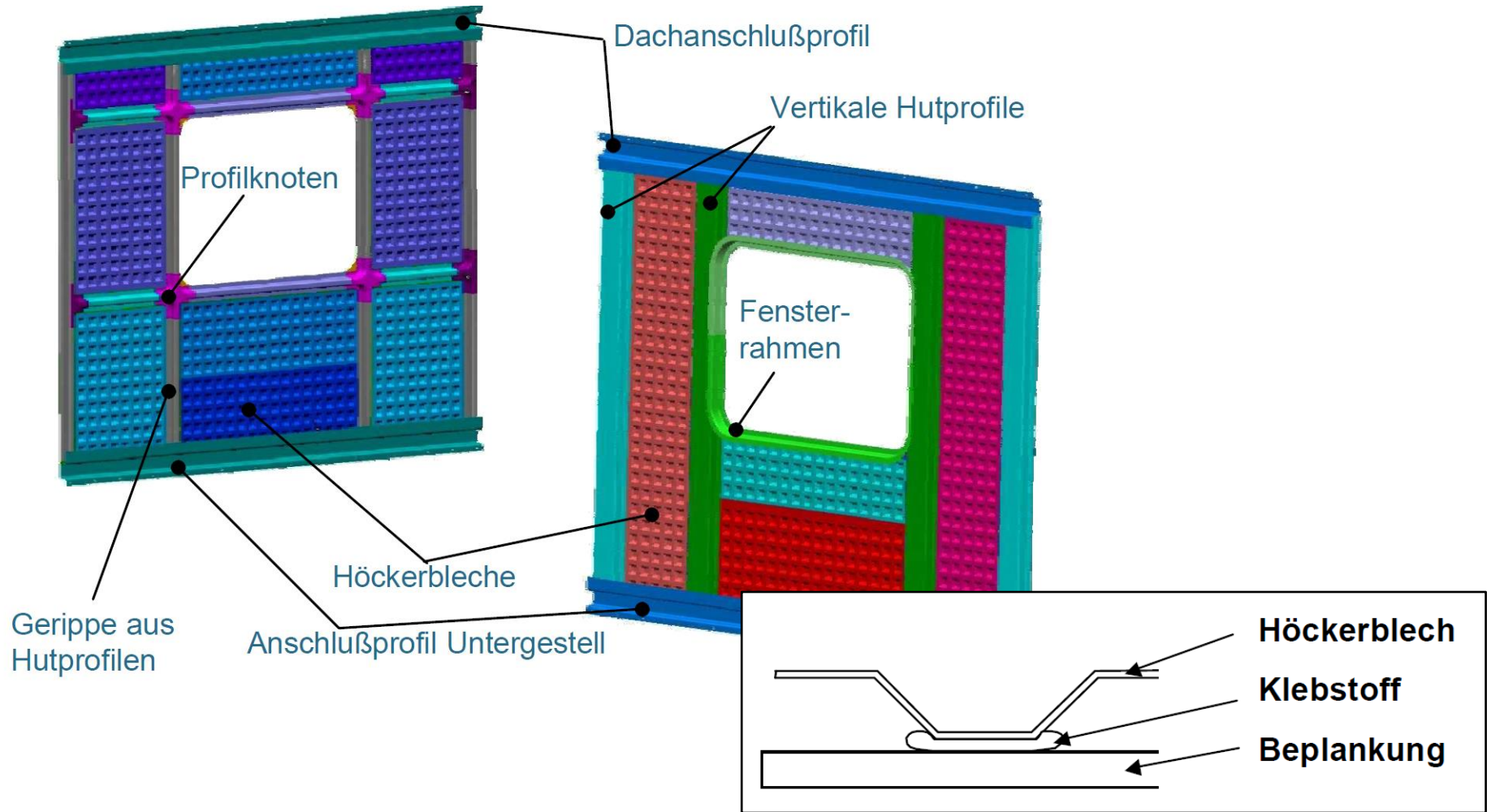
(Quelle: nach Niermann: Fraunhofer IFAM, M. Kache)

Folie Bsp. Flexity Link Saarbrücken



(Quelle: Albrecht, Petz: Zweisystem-Niederflur-Stadtbahnwagen Saarbrücken, ZEV + DET Glas. Ann. 122 (1998) 9/10)

Konstruktionsvarianten Seitenwand



(Quelle: Vortrag Carstensen, Buchwald (BT Hennigsdorf), Dietrich (Fraunhofer IWU Dresden))