

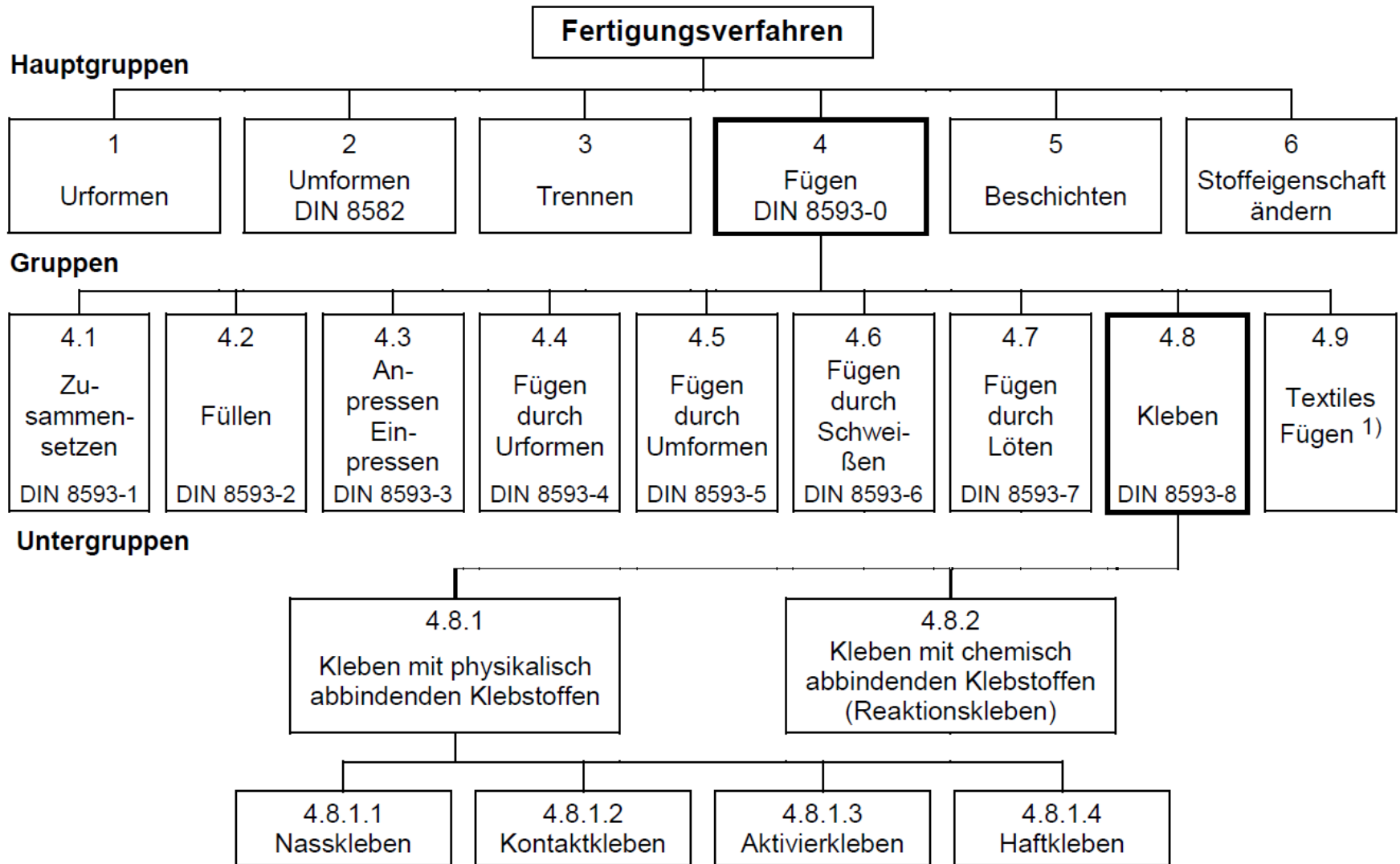
3.3.1. Einleitung / Vorteile & Grenzen

3.3.2. Charakteristische Eigenschaften von Klebstoffen

3.3.3. Hinweise zu Konstruktion und Dimensionierung

3.3.4. Kleben im Schienenfahrzeug

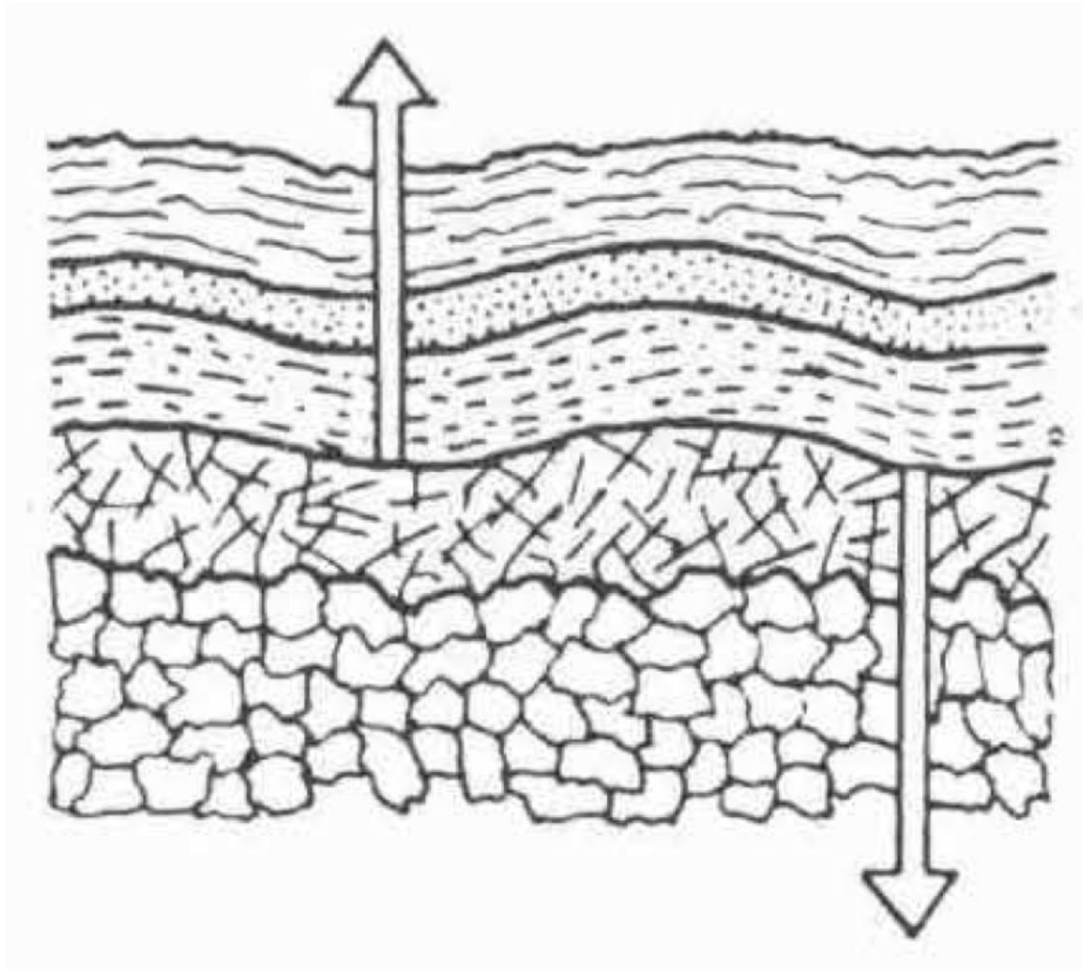
# Folie Einordnung Fügen durch Kleben (nach DIN 8593-8)



# Folie Vorteile / Einsatzgrenzen Klebverbindungen

<b>Vorteile</b>	<b>Zu beachten</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– Geringe Wärmebeeinflussung der Fügeteile<ul style="list-style-type: none"><li>• Keine makroskopische Beeinflussung der stofflichen Struktur der Fügeteile</li><li>• Füge-Verformungen bzw. -Eigenspannungen selten</li></ul></li><li>– Gleichmäßige Spannungsverteilung</li><li>– Flächige Verbindungen möglich</li><li>– Verbinden unterschiedlicher Werkstoffe möglich<ul style="list-style-type: none"><li>• auch gehärtete oder oberflächenveredelte</li></ul></li><li>– Verbinden sehr dünner Fügeteile</li><li>– Gas- und flüssigkeitsdichte Fugen, keine Spaltkorrosion, Verhinderung von Kontaktkorrosion</li><li>– Toleranzausgleich durch Spaltüberbrückung</li><li>– Gute Dämpfungseigenschaften</li><li>– Hohe dynamische Festigkeit</li><li>– Verbesserte Crash- und Steifigkeitseigenschaften (Fahrzeugbau)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Begrenzte Warmfestigkeit</li><li>– Reinigung und Oberflächenvorbehandlung der zu verbindenden Teile in vielen Fällen erforderlich</li><li>– Präzises Einhalten der Fertigungsbedingungen erforderlich</li><li>– Veränderung der Klebefugeneigenschaften bei Langzeiteinsätzen möglich</li><li>– Zerstörungsfreie Qualitätsprüfung nur bedingt möglich</li><li>– Klebgerechte Gestaltung!</li></ul>

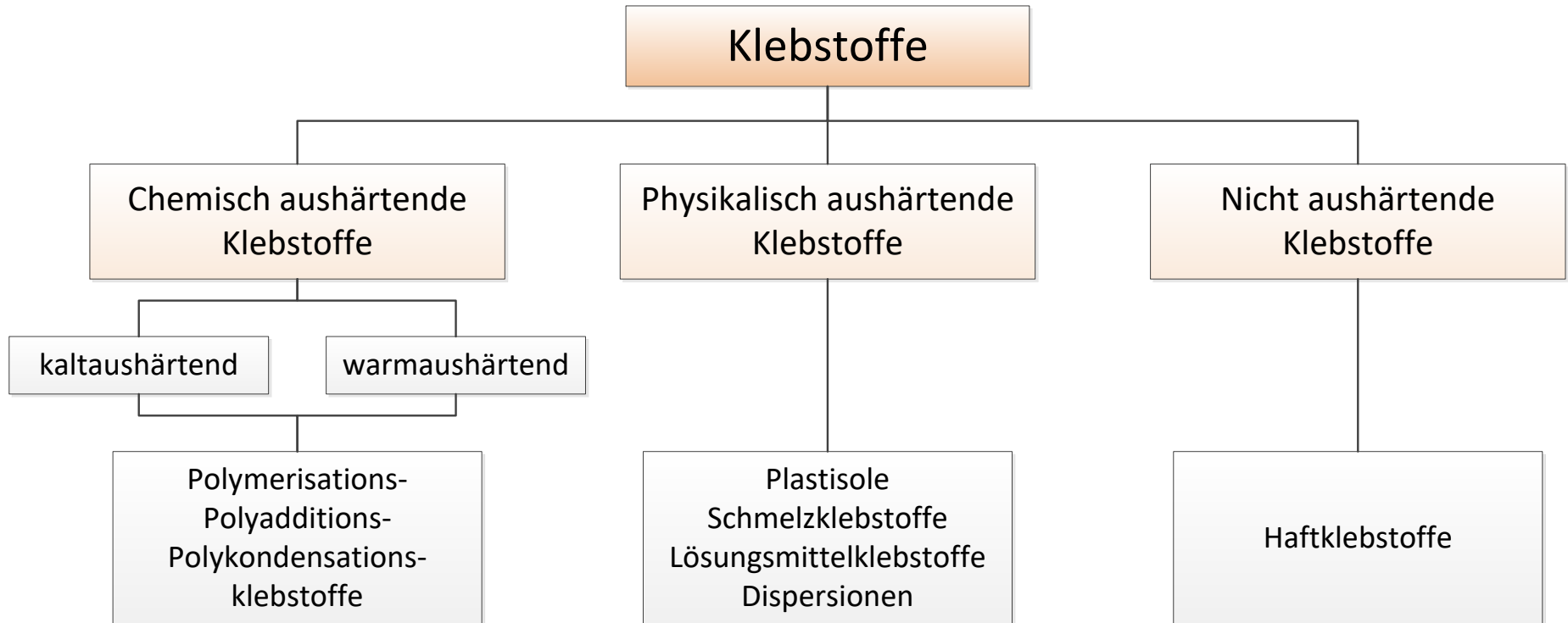
(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382)



- ← 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 382:1998)

# Folie Einteilung der Klebstoffe nach Aushärtungsmechanismus



(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382:1998)

# 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 <sup>2</sup>						
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
Diacrylsäureester 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

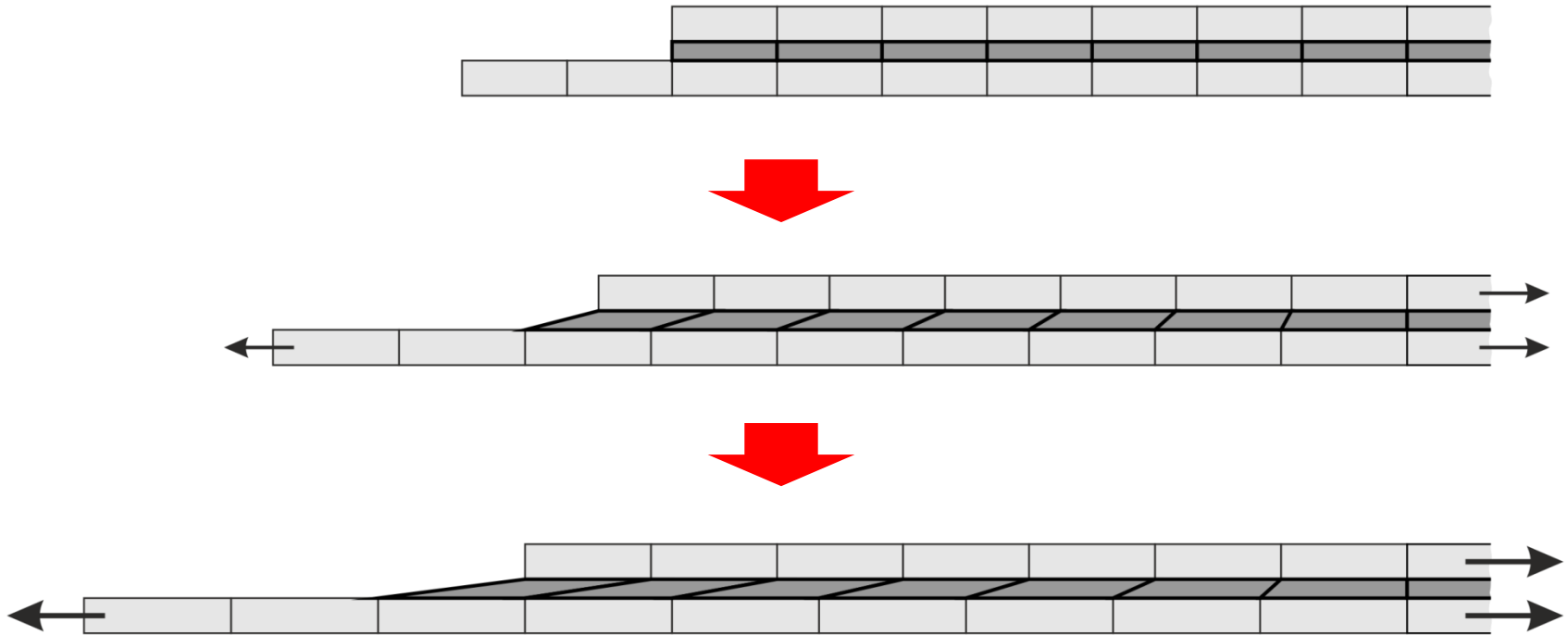
1-K = einkomponentig; 2-K = zweikomponentig

Alle Angaben ungefährer Natur

(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382:1998)

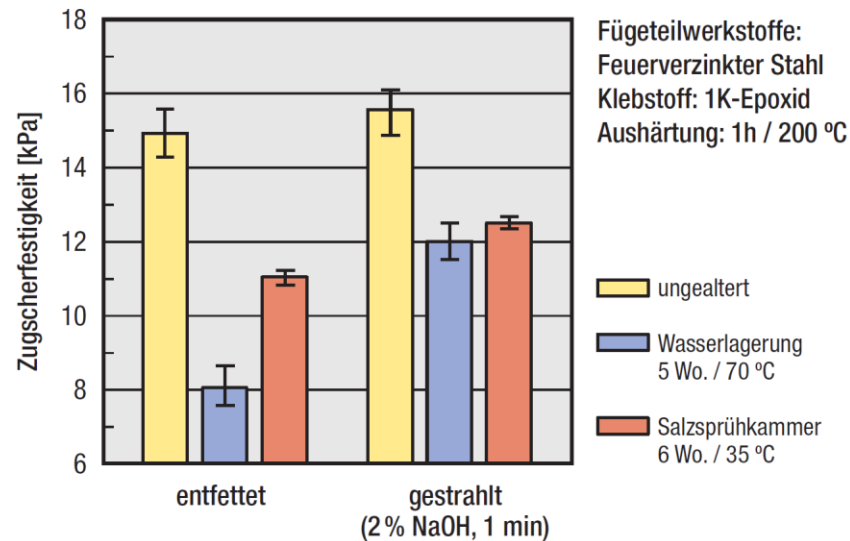
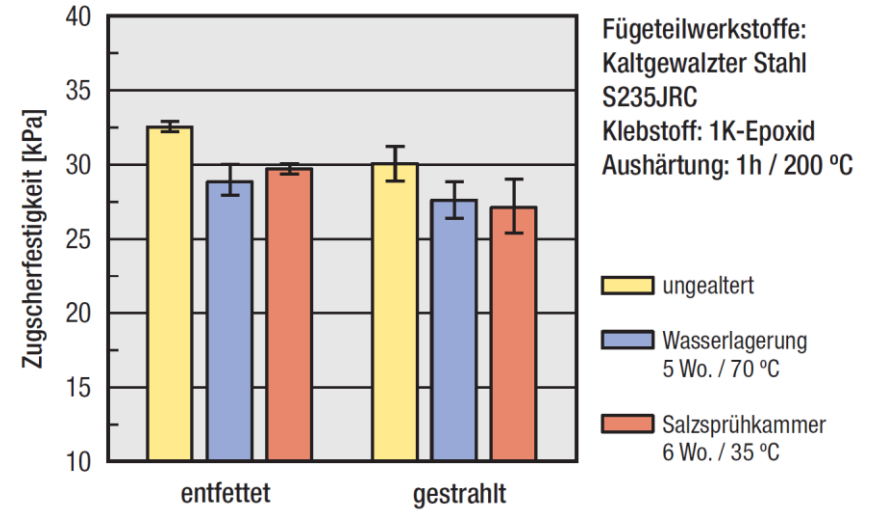
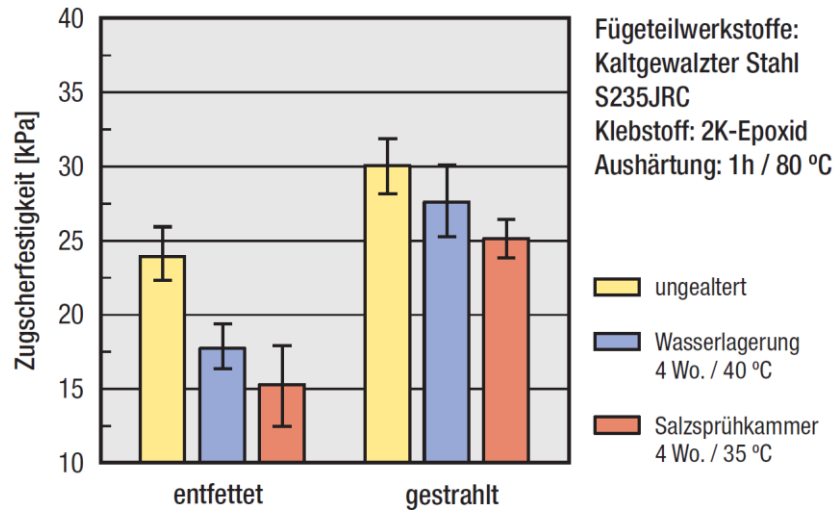
# Folie Dehnung / Verformung Klebschicht unter Last

---



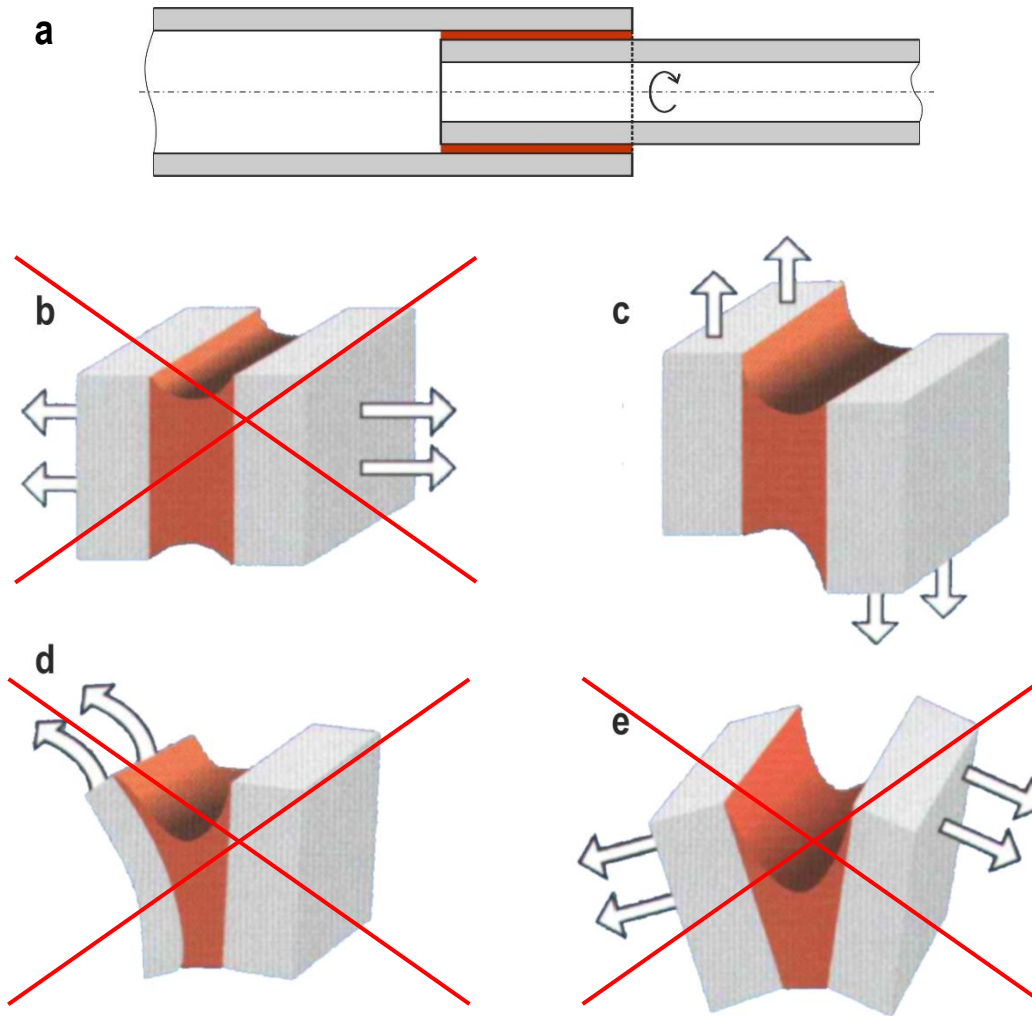
(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382:1998)

# Folie Zugscherfestigkeiten Stahlklebungen



(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382:2012)

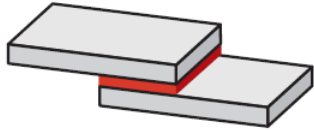
# Folie Beanspruchung von Klebverbindungen



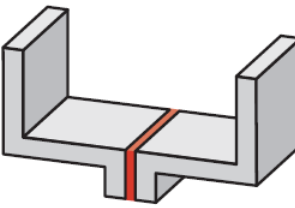
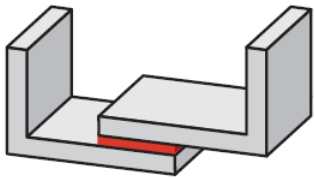
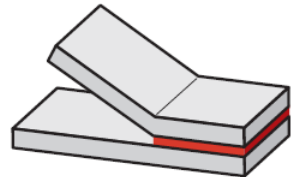
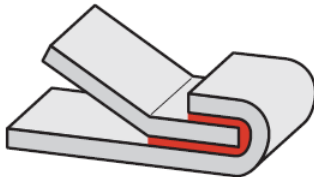
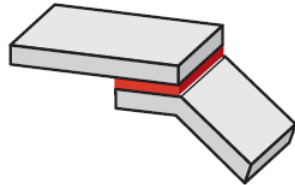
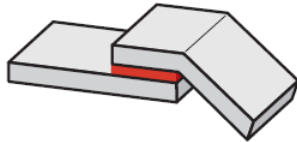
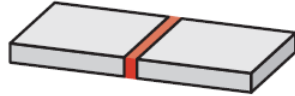
(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382:1998)

# Folie Beanspruchung von Klebverbindungen

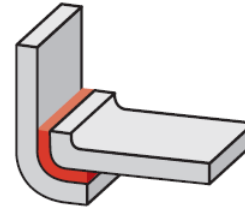
vorteilhaft



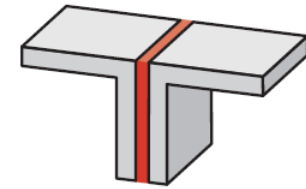
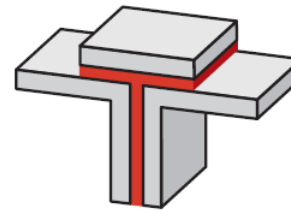
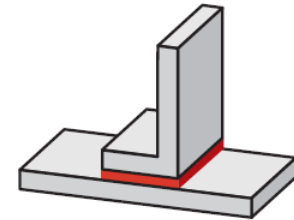
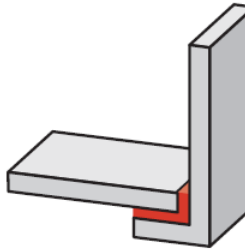
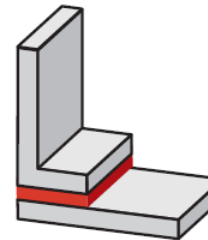
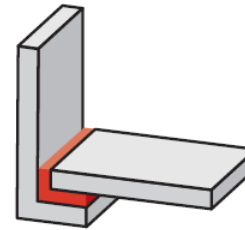
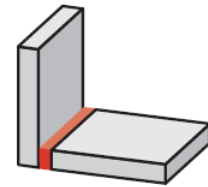
zu vermeiden



vorteilhaft

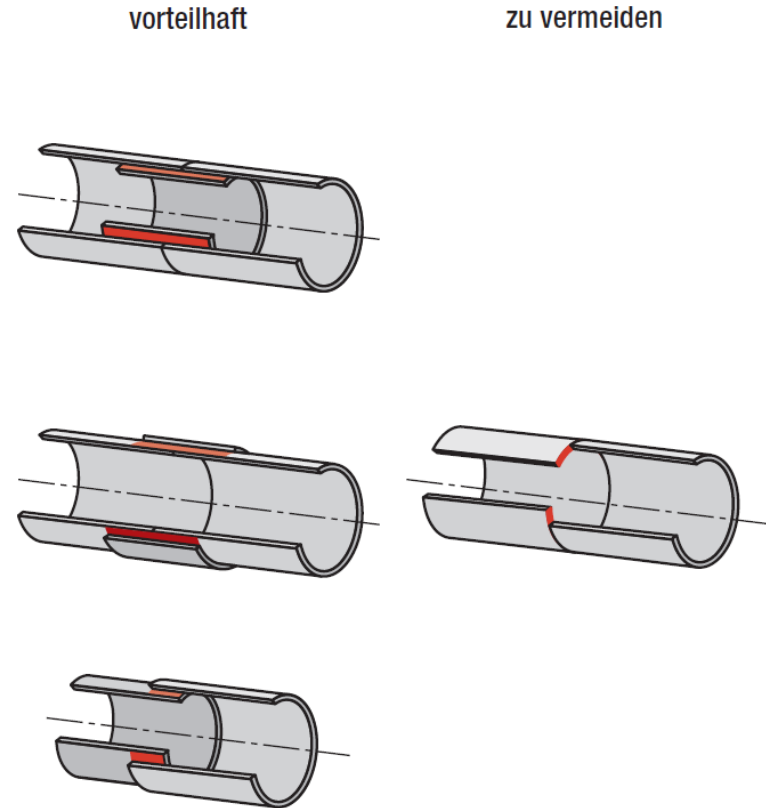
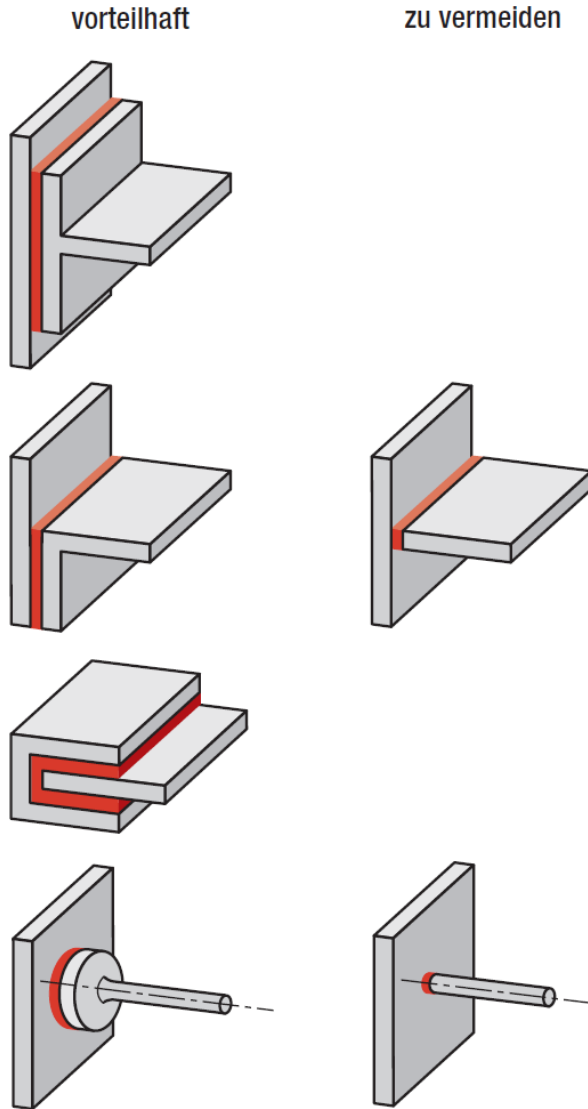


zu vermeiden



(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382:2012)

# Folie Beanspruchung von Klebverbindungen



(Quelle: nach Stahl-Innovations-Zentrum Merkblatt 382:2012)

## 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.

! nicht über Entwurfsstadium hinausgekommen !

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

**Tabelle 1 — Klassifizierung der Klebverbindungen**

<b>Klasse</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Definition der Sicherheitsanforderungen</b>
<b>A1</b>	Klebverbindungen von Schienenfahrzeugen und Schienenfahrzeugteilen mit hoher Sicherheitsanforderung	<b>Hohe Sicherheitsanforderung</b> Das Versagen der Klebverbindung führt zu einer unabwendbaren Gefahr für Leib und Leben oder zur Gefährdung des sicheren Betriebs von Schienenfahrzeugen.
<b>A2</b>	Klebverbindungen von Schienenfahrzeugen und Schienenfahrzeugteilen mit mittlerer Sicherheitsanforderung	<b>Mittlere Sicherheitsanforderung</b> Das Versagen der Klebverbindung kann zur Betriebsgefahr mit Personenschäden oder zur Beeinträchtigung der Gesamtfunktion des Schienenfahrzeugs führen.
<b>A3</b>	Klebverbindungen von Schienenfahrzeugen und Schienenfahrzeugteilen mit geringer Sicherheitsanforderung	<b>Geringe Sicherheitsanforderung</b> Das Versagen der Klebverbindung führt maximal zu Komforteinbußen. Personenschäden sind unwahrscheinlich.
<b>Z</b>	Klebverbindungen von Schienenfahrzeugen und Schienenfahrzeugteilen ohne Sicherheitsanforderung	<b>Keine Sicherheitsanforderung</b> 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
<b>Konstruktive Auslegung der Klebverbindung</b>				
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
<b>Dokumentation</b>				
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	-	
<b>Ermittlung der Beanspruchung</b>				
11 exakte Analyse aller im Anforderungsprofil beschriebenen Lastfälle, Identifikation ihrer relevanten Kombinationen, Feststellung der dimensionierenden Lastfälle	D	-	-	
12 überschlägige Abschätzung für dimensionierende Lastfälle	-	D	-	
<b>Ermittlung der Beanspruchbarkeit (in Bezug auf das Anforderungsprofil)</b>				
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 Kriterien zur Auswahl des Klebsystems (DIN 6701-3:2015-12 Anhang C)

DIN 6701-3:2015-12

## Anhang C (informativ)

### Kriterien zur Auswahl des Klebsystems

Tabelle C.1 — Kriterien zur Auswahl des Klebsystems

Informationen zur Chemie des Klebsystems	Beispiele / Bemerkungen
C1	Chemische Basis <i>Die Kenntnis der chemischen Basis kann die Auswahl vergleichbarer Klebstoffe vereinfachen und kann Hinweise auf die Eigenschaften und das Alterungsverhalten der Klebverbindung geben.</i>
	Art des Aushärtens / Abbindens <i>Diese Angabe gibt Hinweise auf die Verarbeitungseigenschaften des Klebstoffs und evtl. auftretende Chemikalien, die beim Aushärten / Abbinden freigesetzt werden.</i>
C2	Alkohole, Essigsäure, Isocyanate, Oxime, Lösungsmittel, Reaktivverdünner, Amine, Weichmacher <i>Gibt Hinweise auf Chemikalien bzw. Gefahrstoffe, die vom Klebstoff beim Gebrauch freigesetzt werden können.</i>
	Toxikologische Eigenschaften <i>Dient der frühzeitigen Berücksichtigung der Arbeitssicherheit und des Umweltschutzes.</i>
C3	pH-Verhalten <i>Die Kenntnis des pH-Verhaltens leistet einen Beitrag zur Abschätzung des Alterungsverhaltens der Klebverbindung.</i>
	Extraktion des ausgehärteten Klebstoffs in destilliertem Wasser (siehe A.5)
<b>Mechanische und physikalische Eigenschaften des Klebstoffs</b>	
M1	Dichte im Anlieferzustand <i>Dient der Umrechnung von Gewichts- in Volumengrößen.</i>
	Dichte im Aushärtzustand <i>Dient der Abschätzung des Strukturgewichte und der Einschätzung des Verhaltens bei zerstörungsfreien Prüfverfahren.</i>
M2	Farbe und Überlackierbarkeit <i>Farbe dient z. B. der Vermeidung von Verwechslung und des Abschätzens der Mischgüte von 2K-Klebstoffen.</i>
M3	

26

DIN 6701-3:2015-12

(zzt)

Beispiele / Bemerkungen
IN 52451-1
<i>Hinweise auf eine Gestaltung des Aushärte- /</i>
stoffe (auch Klebstoffe): TMA in Anlehnung
ge Werkstoffe (Metalle, Gläser usw.) mit
latometer in Anlehnung an DIN 51045-1
<i>st kann die Dimensionierung von Klebfugen</i>
nach Torsionspendelversuch nach
ISO 6721-2, Biegeschwingversuch nach
ISO 6721-3 sowie DIN 53535 zum Abgleich
Einsatztemperatur des Bauteils, Diagramm
<i>liches und kann die Dimensionierung der</i>
IN ISO 7619-1
<i>uf mechanischen Druck.</i>
such nach DIN EN ISO 527-1,
ISO 527-2, DIN EN ISO 527-3, siehe A.3.2,
Prüftemperatur bei -35 °C, +23 °C/50 %
e Luftfeuchte und +70 °C/85 % relative
ichte, gegebenenfalls zusätzliche Prüfungen
Anforderungsprofil, Probenkonditionierung
IN EN 1067
<i>Werkstoffmodelle des Klebstoffes. Die Daten</i>
<i>ung und ermöglichen außerdem die Nutzung</i>
versuch (siehe A.3.4)
erversuch (siehe A.3.3 und A.4.2) und
ersuch nach DIN 54461, DIN EN 1464,
1967, DIN EN 28510-1, DIN EN 28510-2
<i>Klebverbindung unter Scherbeanspruchung</i>
auch A.3.6 und A.4.3)
<i>Beanspruchung (konstante Lasten).</i>
auch A.3.5)
nungsrelaxierender, lokal mehrachsiger
auch A.3.7 und A.4.4)

27

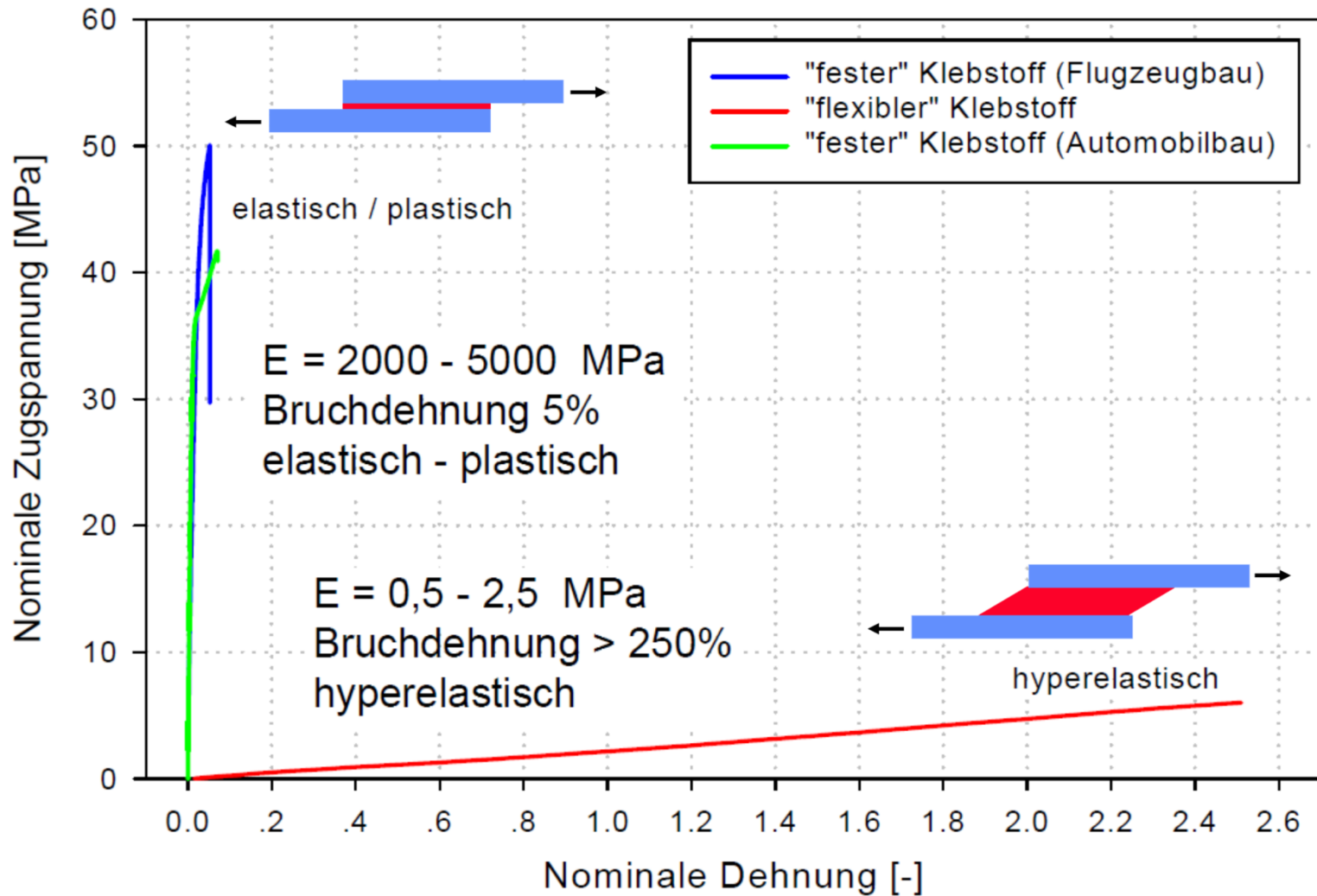
DIN 6701-3:2015-12

(zzt)

Beispiele / Bemerkungen
<i>beanspruchung.</i>
Untersuchungen nach
343, Messung der Eigenschaften bei
ngsgeschwindigkeit nach M9
<i>ngsgeschwindigkeit.</i>
60093 (VDE 0303-30)
<i>erbindung verschiedener Leitfähiger</i>
<i>erbundwerkstoff).</i>
auch Klebstoffe):
(Plattenmethode)
gut leitende Werkstoffe nach ASTM
(flash-Verfahren) [13]
sseraufnahme in Anlehnung an
inter Berücksichtigung des Anfor-
s, Beständigkeit gegen Wasser,
ttel und Betriebsstoffe, qualitativ,
belle E.1
<i>Gebrauch.</i>
sichtbare Strahlung
892-1, siehe auch Tabelle E.1
<i>ahlung.</i>
t 1
<i>und Pilzbefall (z. B. Silicone)</i>
<i>Gebrauchsphase.</i>
erungsprofil bzgl. der gefügten
<i>und der Einschätzung des Risikos für</i>
merkungen
[14]
555
219
nschaften der Füllstoffe, Schutz vor
oder Licht oder Oxidation,
ührung, Aufwand zum Reinigen der
eräte /-anlagen, Abfallmenge

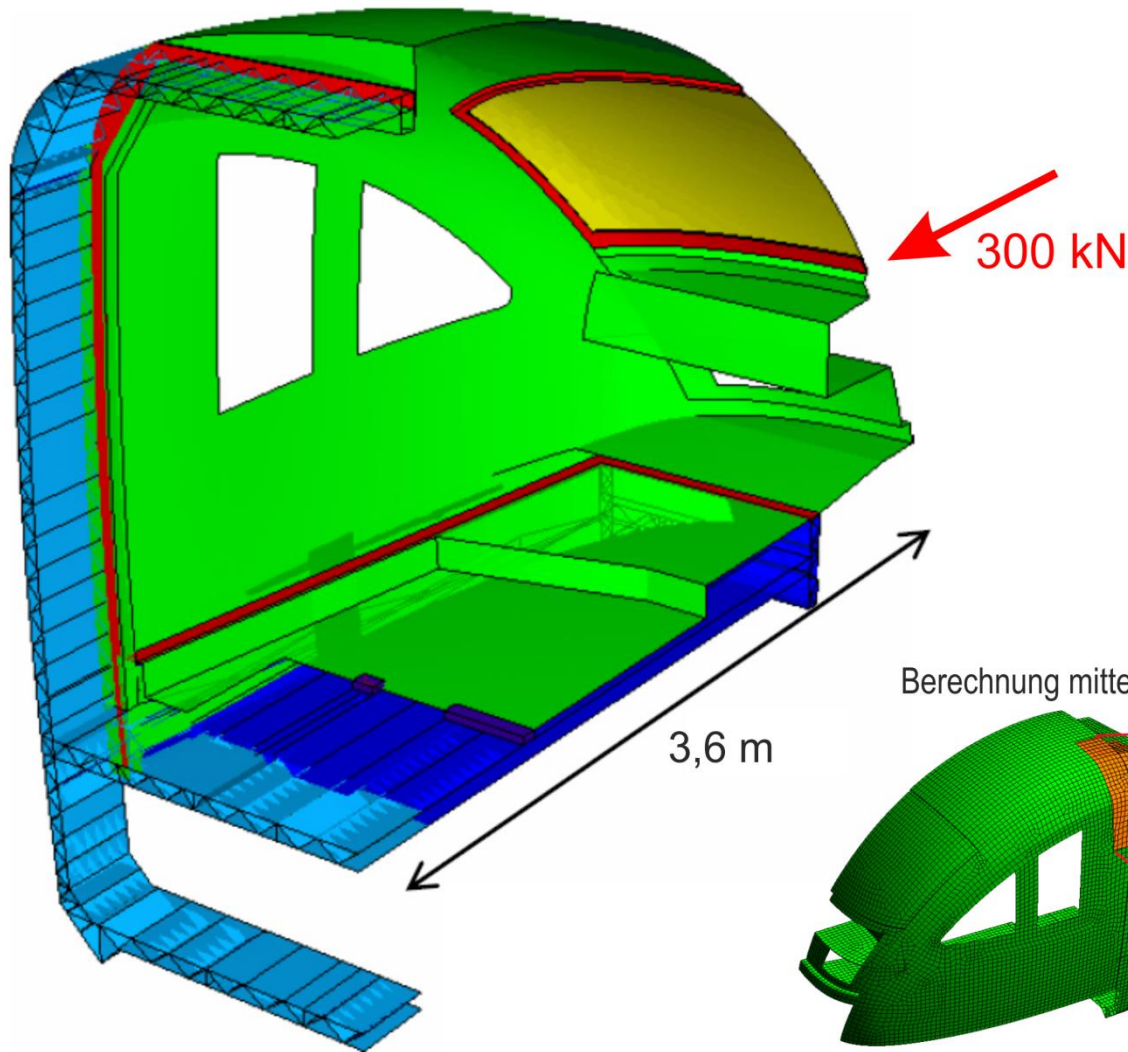
29

# 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

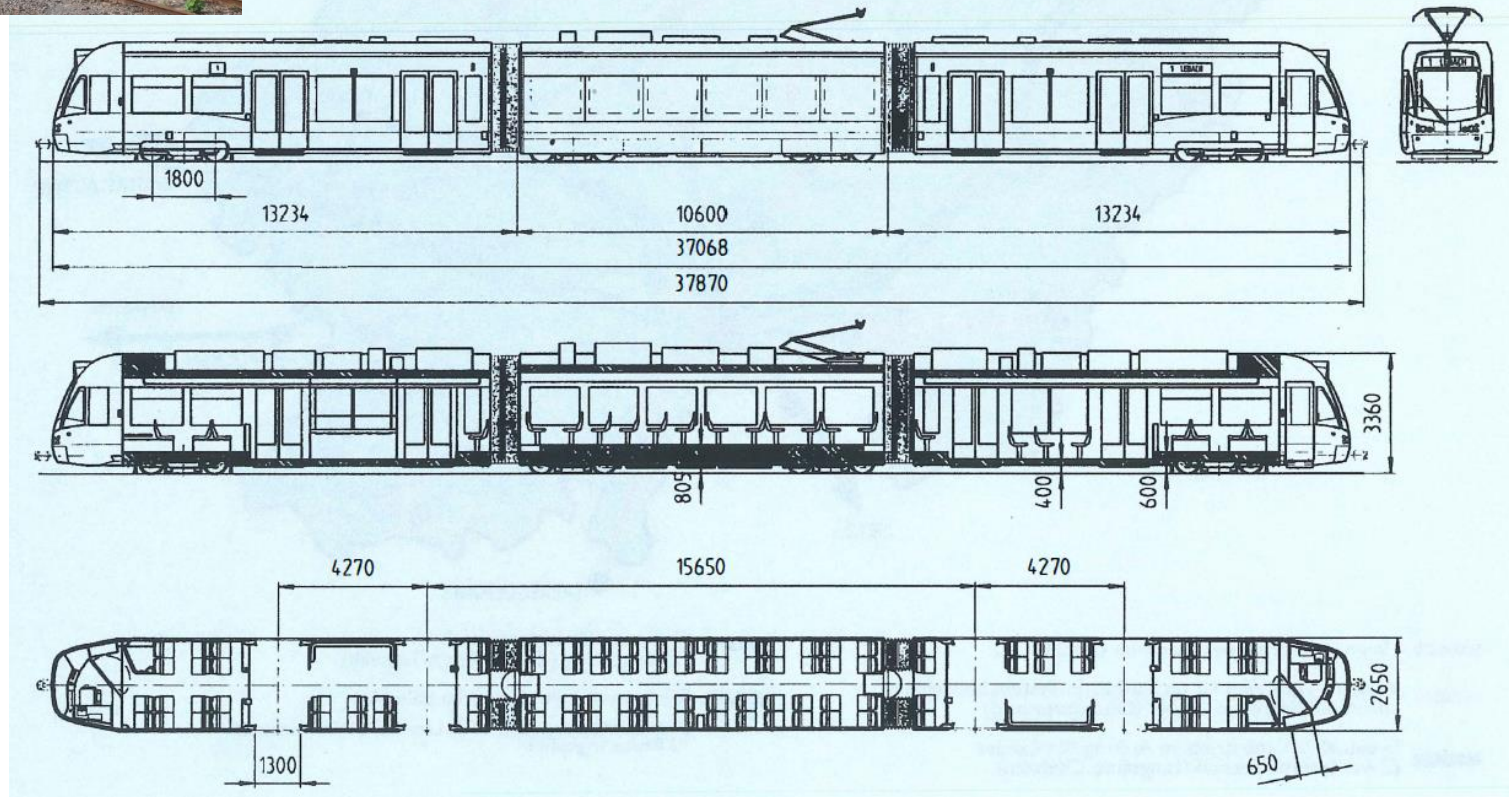
(Quelle: nach Brede: Fraunhofer IFAM, Siemens TS)



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

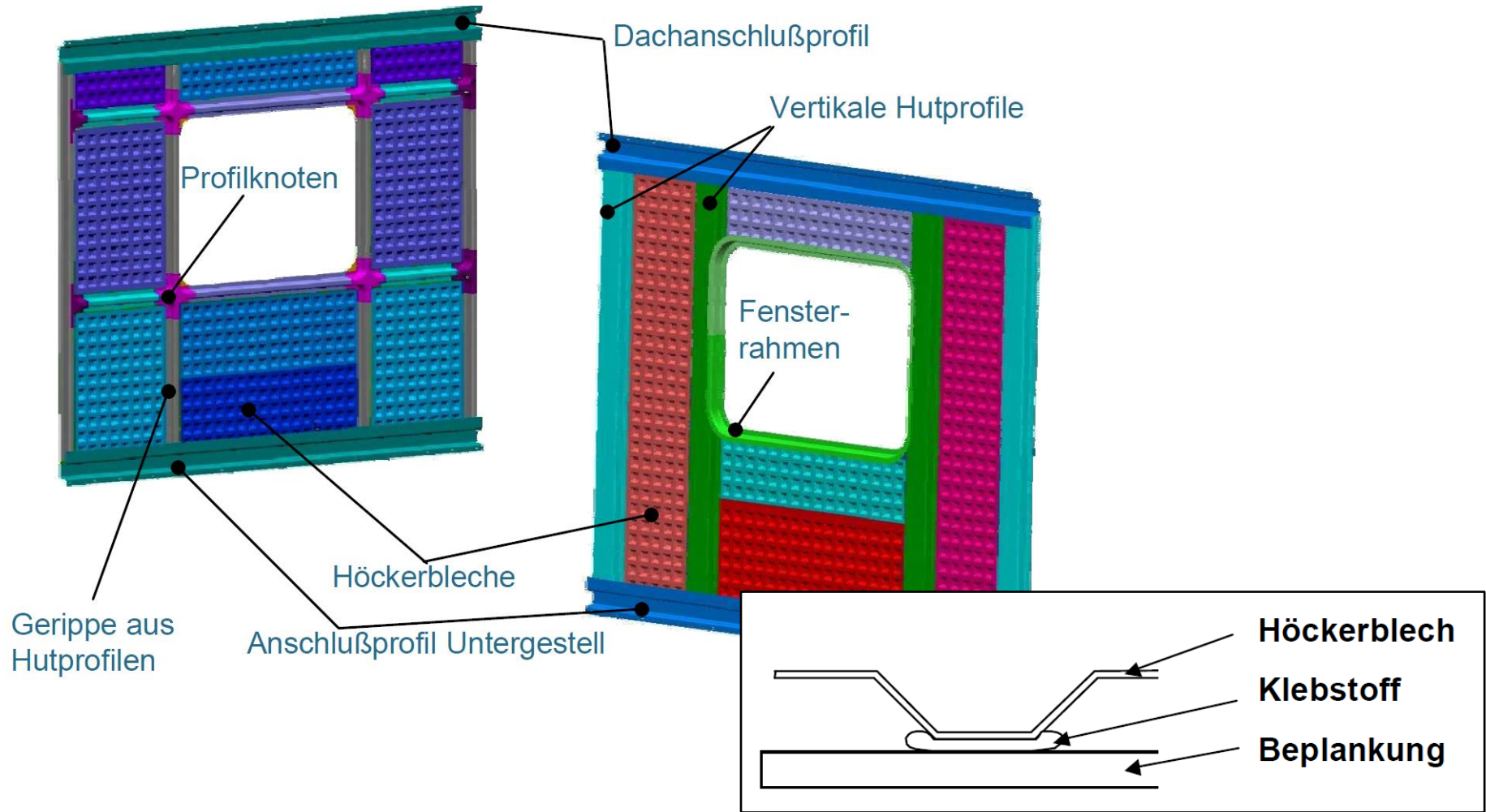
(Quelle: nach Niermann: Fraunhofer IFAM, M. Kache)

# 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))