

DIN 6701- Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen

ZfP-Regelwerk zur Kontrolle von Klebverbindungen

5. Fachtagung „ZfP im Eisenbahnwesen“
am 06.03.2008 in Berlin

Dr. Dirk Niermann
Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und
Angewandte Materialforschung (IFAM)
Anerkannte Stelle nach DIN 6701
Wiener Straße 12
28359 Bremen

Kleben im Schienenfahrzeugbau



Bild: ADTrans / Stadler

Kleben im Schienenfahrzeugbau

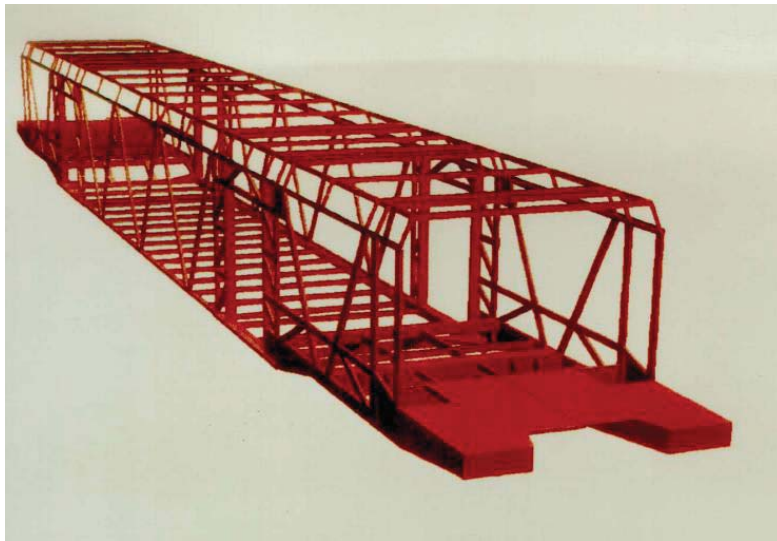


Bild: ADTrans / Stadler

Kleben im Schienenfahrzeugbau

Der Klebprozess besteht aus drei speziellen Prozessschritten:

Die Oberflächenbehandlung

Der Zustand der Fügeiteiloberfläche ist nicht
hinreichend zerstörungsfrei prüfbar

Die Benetzung der Oberfläche durch den Klebstoff

Die Qualität der Benetzung ist nicht
hinreichend zerstörungsfrei prüfbar

Der Aushärteprozess

Die mechanischen Eigenschaften der Interphase
(Adhäsion) sind in frischem und gealtertem Zustand
nicht hinreichend zerstörungsfrei prüfbar

Normen und Richtlinien zur klebtechnischen Qualitätsstandardisierung

**DVS-Merkblatt 1618:
Elastisches Kleben im Schienenfahrzeugbau**

**DVS-Richtlinie 3310:
Qualitätsmanagement in der Klebtechnik**

**DIN 6701:
Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen**

**DVS-EWF-Richtlinien zur
Personalqualifizierung**

DIN 6701: Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen

DIN 6701

- In den Normen der Reihe DIN 6701 werden die erforderlichen Festlegungen für den speziellen Prozeß Kleben getroffen. Grundlage dieser Festlegungen sind die klebtechnischen Fachgrundnormen unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen an den Schienenfahrzeugbau.
- Diese Normen gelten für das Kleben von Werkstoffen bei der Herstellung und Instandsetzung von Schienenfahrzeugen und Schienenfahrzeugteilen.

DIN 6701: Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen

Aufbau

Teil 1: Grundbegriffe, Grundregeln

Teil 2: Qualifikation der Anwenderbetriebe, Qualitätssicherung

Teil 3: Konstruktionsvorgaben (Gestaltung, Dimensionierung und deren Nachweisführung) (in Vorbereitung)

Teil 4: Ausführungsregeln und Qualitätssicherung (in Vorbereitung)

Richtlinie des AK Zertifizierung nach DIN 6701-2 (in Vorbereitung)

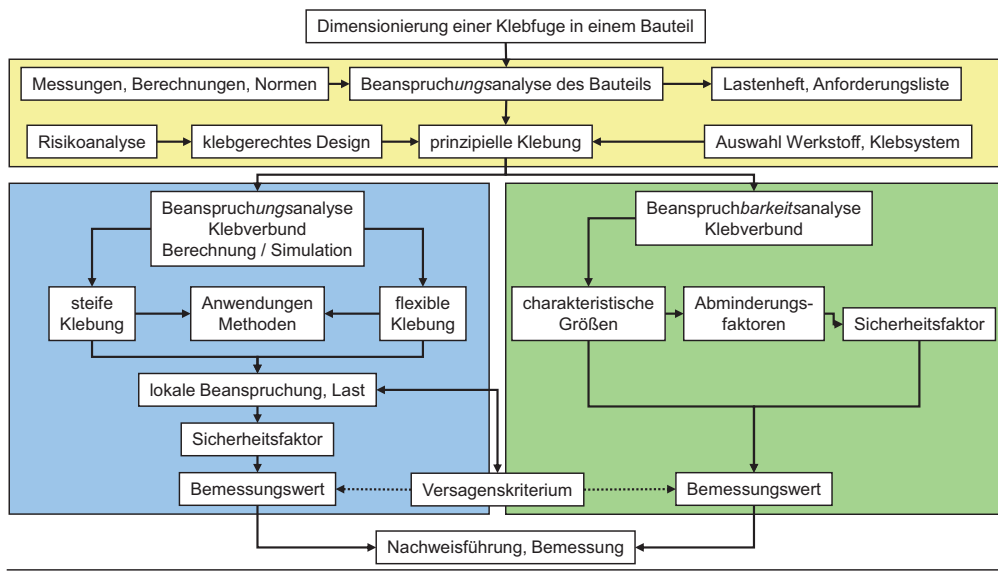
DIN 6701: Kerngedanke Nachweisführung, Konstruktion

Eine Klebverbindung ist so zu bemessen,
dass die Beanspruchung kleiner ist als die Beanspruchbarkeit.

Es ist die Aufgabe der verantwortlichen Klebaufsichtsperson
dieses sicherzustellen.

Geeignete **Prüfmethoden** helfen
bei der Umsetzung der Aufgabe der Nachweisführung.

DIN 6701: Kerngedanke Nachweisführung, Konstruktion



DIN 6701: Kerngedanke Nachweisführung, Fertigung

Durch geeignete Prüfungen (zerstörend an fertigungsbegleitenden Arbeitsproben oder **zerstörungsfrei** am Produkt) ist in geeigneten Intervallen sicherzustellen, dass die konstruktionsseitig vorgegebenen Qualitätskriterien eingehalten werden.

Diese Qualitätskriterien können sein:

- Klebgeometrie (Klebschichtlänge, -breite, -dicke, -positionierung)
- Begrenzung der zulässigen Unregelmäßigkeiten in der Klebung
- Scherfestigkeit des Klebverbundes
- Schälfestigkeit des Klebverbundes
- ...

DIN 6701-4: Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen

Unregelmäßigkeit (mögliche Ursachen)	Strukturkleben	Dickschichtkleben	Dichten	Diagnostik	
				DT	NDT
adhäsive Ablösung	Nicht zulässig	Nicht zulässig*	Nicht zulässig*		X
unzureichend ausgebildete Adhäsion (zu geringer Kontakt, Überschreitung der offenen Zeit, Kontamination, zu geringe Verarbeitungstemperatur)	Nicht zulässig	Nicht zulässig*	Nicht zulässig*	X	
kohäsiver Riss im Klebstoff (Schnitt, mech. Überlastung, Schrumpfung)	Nicht zulässig	Nicht zulässig	Nicht zulässig		X
unzureichend aus-/durchgehärteter Klebstoff (falsche Härtingsbedingungen, Mischungsfehler, Klebstofffehler, Überlagerung, mechanische Störung während der Aushärtung)	Nicht zulässig**	Nicht zulässig	Nicht zulässig	X	
klebrige Oberfläche (unzureichend ausgehärteter Klebstoff)	Nicht zulässig**	Nicht zulässig**	Nicht zulässig**		X

DIN 6701-4: Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen

Unregelmäßigkeit (mögliche Ursachen)	Strukturkleben	Dickschichtkleben	Dichten	Diagnostik	
				DT	NDT
Modul und max. Verformungs-spannung des Klebstoffs außerhalb der zulässigen Grenzen (z.B. durch Aushärtung bei zu hoher Temperatur, Nachvernetzung oder Kristallisation)	Nicht zulässig	Nicht zulässig	Nicht zulässig	X	
permanenter Spannungs- oder Verformungszustand der Klebschicht bei elastisch verformten Fügeteilen (durch einwirkende mechanische Lasten)	Nicht zulässig***	Nicht zulässig ***	Nicht relevant		X
permanenter Spannungs- oder Verformungszustand der Klebschicht durch plastische Verformung des Fügeteils (z.B. Biegung, Eindruck, Delle)	Nicht zulässig ***	Nicht zulässig ***	Nicht zulässig ***	X	X
permanente Verformung der Klebschicht durch Kriechen	Nicht zulässig***	Nicht zulässig***	Nicht zulässig***	X	

DIN 6701-4: Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen

gasgefüllte Hohlräume, Poren, Blasen, offen- oder geschlossenporig	Nicht zulässig***	Über 1mm Durchmesser nicht zulässig. Mit einem Abstand untereinander von weniger als dem zweifachen Porendurchmesser nicht zulässig. Porenanhäufung als Nest von über 25mm Ausdehnung nicht zulässig Porenanhäufung als Linie von über 100mm Länge nicht zulässig. Porenanhäufungen mit einem Abstand vom Fugenrand von weniger als 3mm nicht zulässig.	Über 1mm Durchmesser nicht zulässig. Mit einem Abstand untereinander von weniger als dem zweifachen Porendurchmesser nicht zulässig. Porenanhäufung als Nest von über 25mm Ausdehnung nicht zulässig Porenanhäufung als Linie von über 100mm Länge nicht zulässig. Porenanhäufungen mit einem Abstand vom Fugenrand von weniger als 3mm nicht zulässig.	X	X
flüssigkeitsgefüllte Hohlräume	Nicht zulässig	Nicht zulässig	Nicht zulässig	X	
Feststoffeinschlüsse	Nicht zulässig	Einschlüsse über 1mm Durchmesser nicht zulässig	Einschlüsse über 1mm Durchmesser nicht zulässig	X	X

DIN 6701-4: Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen

Unregelmäßigkeit (mögliche Ursachen)	Struktur- kleben	Dickschicht- kleben	Dichten	Diagnos- tik	
				DT	NDT
Schäden, z.B. Strukturveränderung, Quellung, Anlösen, Spannungsrisse (durch Medieneinfluss, Temperatureinfluss, Strahlung)	Nicht zulässig	Nicht zulässig ***	Nicht zulässig ***	X	X
Verfärbung der Klebschicht (durch Medieneinfluss, Additive aus den Fügeteilen, Temperatureinfluss, Strahlung)	Nicht zulässig***	Nicht zulässig ***	Nicht zulässig ***	X	X
Ausschwitzungen, Fogging (z.B. Weichmacher) ohne Eindringen der freigesetzten Stoffe in die Fügeteile	***	***	***	X	X
Ausschwitzungen, Fogging (z.B. Weichmacher) mit Eindringen der freigesetzten Stoffe in die Fügeteile	Nicht zulässig	Nicht zulässig ***	Nicht zulässig ***	X	X
Nahtunterbrechung (fehlender Klebstoff, fehlendes Volumen, fehlende Fillets)	Nicht zulässig	Nicht zulässig	Nicht zulässig	X	X
Geometriefehler bei Position, Klebfläche oder Schichtdicke	Nicht zulässig	Nicht zulässig	Nicht zulässig	X	X

DIN 6701-4: Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen

Unregelmäßigkeit (mögliche Ursachen)	Struktur- kleben	Dickschicht- kleben	Dichten	Diagnostik	
				DT	NDT
Untergrundfehler (Substratbruch, Spannungsrisse im Füge­teil, mangelhafte Vorbehandlung, unzureichender Primer, mangelhafte Beschichtung)	Nicht zulässig	Nicht zulässig	Nicht zulässig	X	X
Korrosion des Füge­teils auf der Klebfläche oder in der Nähe der Klebfläche	Nicht zulässig	Nicht zulässig	Nicht zulässig	X	X

* Es ist fertigungstechnisch oftmals nicht zu vermeiden, dass eine dünne Haut beim Glätten mit dem Kunststoffspachtel im Bereich der eigentlichen Flanke gezogen wird. Diese Haut hat keine Haftung zum Untergrund. Das ist bei der Beurteilung auf Haftung mit zu berücksichtigen und zulässig.
 **Ausnahmen: Butylkautschuk, Polymerisierende Acrylatklebstoffe wie Anaerobe Klebstoffe, Methylmethacrylat-Klebstoffe oder strahlenhärtbare Klebstoffe, deren Aushärtung an der Oberfläche durch Sauerstoff inhibiert wird.
 ***Zulässig, wenn in Übereinstimmung mit Fertigungsunterlagen

DIN 6701-4: Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen

7.2.1 Prüfverfahren

Prüfverfahren können sein:

- ◆ Zerstörungsfreie Prüfungen (ZfP)
 - Sichtprüfung
 - Dichtigkeitsprüfung
 - Farbeindringprüfung
 - Verfahren mittels Schall, Strahlung, Leitfähigkeit etc.

Bei der Nutzung der ZfP sind vorzugsweise genormte Verfahren Anzuwenden. Diese müssen für den Anwendungsfall validiert werden.

- ◆ Zerstörende Prüfungen [...]

DIN 6701-2: Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen

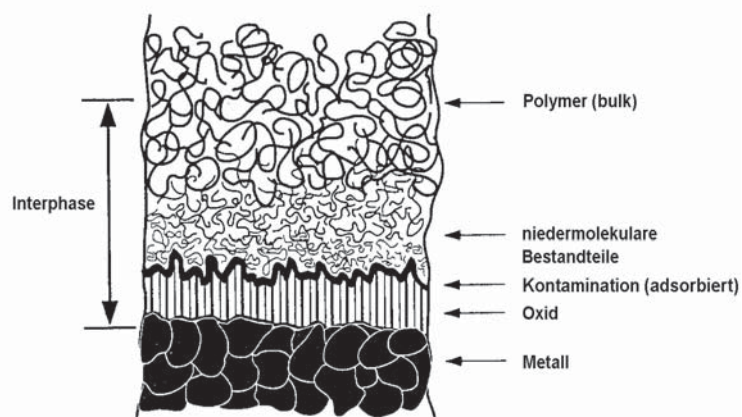
DIN 6701-2

4.2.5 Prüfpersonal

Der Anwender muss über ausreichendes und befähigtes Personal für die Planung und Ausführung der Überwachung, Qualitätsprüfung, Prüfung und Untersuchung der klebtechnischen Fertigung entsprechend den vorgeschriebenen Anforderungen verfügen.

Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt grundsätzlich unter Verantwortung der für den Betrieb anerkannten vKAP.

Schnitt durch eine Metallklebung



Defekte in Klebverbunden

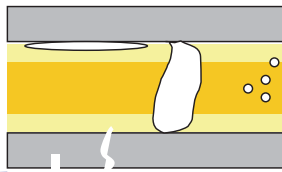
Allgemeine Einteilung von Defekten: „Sandwich“-Klebung

Interphase

- aus Vorbehandlung
- „weak boundary layer“
- Delaminationen
- „kissing bonds“

Fügepartner

- Risse
- Bohrlöcher
- Delle
- Kratzer
- Korrosion



Klebschicht

- zu dicke Klebschicht
- Feuchtigkeit
- Porosität
- „undercured, overcured“
- Verkohlung
- „voids“
- Fremdobjekte
- Risse
- fehlende „fillets“
- Alterung

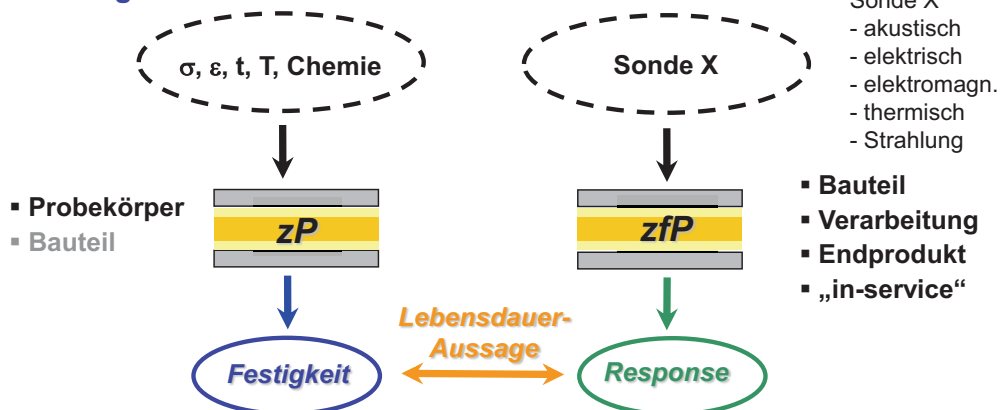
**einfachster Fall:
„Sandwich-Klebung“**

**... spezifische Defekte
bei komplexen Klebverbunden**

Quelle: Dr. Bernd Valeske,
Fraunhofer IZFP

Potential der zfP von Klebverbunden

Prüfung von Klebverbunden



Klebfestigkeit / Verbundfestigkeit ← **Festigkeitsbeeinflussende Faktoren (Ungänzen, Geometrie) + Klebstoff- bzw. Verbundeigenschaften (Adhäsion, Kohäsion)**

Quelle: Dr. Bernd Valeske,
Fraunhofer IZFP

ZfP von Klebverbunden

(+/-) Etablierte Anwendung und Methoden der zfP von Klebverbunden

- Visuelle Prüfung
- Tauchtest (Leak-Test)
- Klopftest (Tap Test, Woodpecker)
- Fokker Bond Tester
- Ultraschall-Prüfung
- Akustische Emission
- Röntgen-Durchstrahlung
- Shearography
- Infrarot-Thermographie

Quelle: Dr. Bernd Valeske,
Fraunhofer IZFP

ZfP von Klebverbindungen

Vorteile / Besonderheiten der ZfP von Klebverbindungen

- zerstörungsfrei (d.h. Wiedereinsatz des Bauteils)
- Prüfung unmittelbar am Bauteil, d.h. häufig nur einseitiger Zugang
- Messung festigkeitsbeeinflussender Größen (Klebgeometrie, Defekte, Klebstoffeigenschaften...) und Größen zur Klebstoffaushärtung / -Alterung möglich
- bisher keine zfP zur „direkten“ Festigkeitsbestimmung
- häufig teil- oder vollautomatisierte Fehler-Prüfung (Durchführung und Bewertung)
- Stichproben- oder 100% Kontrolle
- Prozessüberwachung / -regelung \Rightarrow Prozess-Sicherung u. -beherrschung
- Qualitätsdokumentation (Prüfsiegel)
- Schadensfrüherkennung, Vorbereitung von Reparaturmaßnahmen

Quelle: Dr. Bernd Valeske,
Fraunhofer IZFP

ZfP von Klebverbindungen

Anforderungen an die Prüftechnik und das Personal

- Optimale Verfahrensauswahl oder -kombination je nach Prüfzielsetzung und Rahmenbedingungen / Prüfsituation (gesamte ZfP-Palette für Prüfauswahl: akustisch, thermisch, elektromagnetisch, Röntgen, ...)
↳ Verfahrensvalidierung und messtechn. Automatisierung
- Verfahrensqualifizierung / Prüfvorschriften notwendig:
z.B. Akkreditierung gm. DIN EN ISO/IEC 17025,
Prüfmittelfähigkeitsnachweis z.B. gm. VDA 6.1
- Qualifizierung des Prüfpersonals:
ZfP-Kenntnisse (z.B. EN 473) und Verfahrens-Know-How „Kleben“ (z.B. DVS/EWF)

Quelle: Dr. Bernd Valeske,
Fraunhofer IZFP


Fraunhofer Institut
Fertigungstechnik
Materialforschung


Fraunhofer Institut
Zerstörungsfreie
Prüfverfahren

23