

Fügetechnologie Kleben für den Fahrzeugleichtbau

Dr. Peter Born

Gastvorlesung Uni Karlsruhe / KIT, 24. November 2017

| Wussten Sie, dass ...

- ... Henkel der **größte Klebstoff-Hersteller der Welt** ist?
- ... Henkel jährlich Waschmittel für ungefähr **25 Milliarden Waschladungen** verkauft?
- ... **in jeder Sekunde weltweit mehr als 20 Haarfarben** von Henkel verkauft werden?



| Wer wir sind

Henkel auf einen Blick 2016

Mehr als **50.000** Mitarbeiter
weltweit

Rund **18,7 Mrd €** Umsatz,
+3,1 % organisches
Umsatzwachstum

3,2 Mrd € bereinigtes¹
betriebliches Ergebnis (EBIT)

42 % unseres Umsatzes
erzielen wir in
Wachstumsmärkten

Mehr als **2.000**
gesellschaftliche Projekte
unterstützt

Mehr als **140 Jahre** Erfolg

¹ Bereinigt um einmalige Aufwendungen und Erträge sowie Restrukturierungsaufwendungen.

Wer wir sind

Global führende Positionen im Konsumenten- und Industriegeschäft

Adhesive Technologies



LOCTITE
TECHNOMELT
BONDERITE

Beauty Care




Schwarzkopf 
SYOSS

Laundry & Home Care



Persil 
Purex

| Agenda

1. Grundlagen Fügetechnologie Kleben
2. Kleben im Automobilbau
3. Anwendungsbeispiele

Grundlagen Fügetechnologie Kleben

Klebstoffe in der Natur



Sonnentau → PSA*



Gecko → Adhäsionskräfte

Es gibt viele Beispiele in der Natur für die erfolgreiche Nutzung von Klebstoff-Mechanismen

Oft dienen diese als Vorlage und inspirieren die Weiterentwicklung industriell eingesetzter synthetischer Klebstoffe

So scheiden Muscheln zum Beispiel Klebstoffe aus, die sogar unter Wasser aushärten !

*PSA = pressure sensitive adhesives



Spinnennetz → PSA*



Muscheln → vernetzende Klebstoffe

| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

Klebstoffe im Zeitraffer der Geschichte

Kleben ist eine “uralte” Fügetechnologie...

- ...in der Steinzeit wurden Pfeilspitzen und Klingen mit Bitumen auf hölzerne Schäfte geklebt
- ...im alten Ägypten wurden Möbel mit Klebstoffen die aus Tierhäuten gewonnen wurden bereits 1500 v.C. geklebt
- Kontinuierlich wurden neue Materialien und Rohstoffe gefunden und getestet:
Harze aus Bäumen sowie tierische Produkte wie Bienenwachs, Kasein und Gelatine
- 1690 wurde in Holland die erste kommerzielle Klebstoff-Fabrik in Betrieb genommen
- 1754 wurde das erste Klebstoff-Patent (für Fischleim) erteilt
- Ab Mitte des 19. Jh.: synthetische Polymere als Klebstoffe

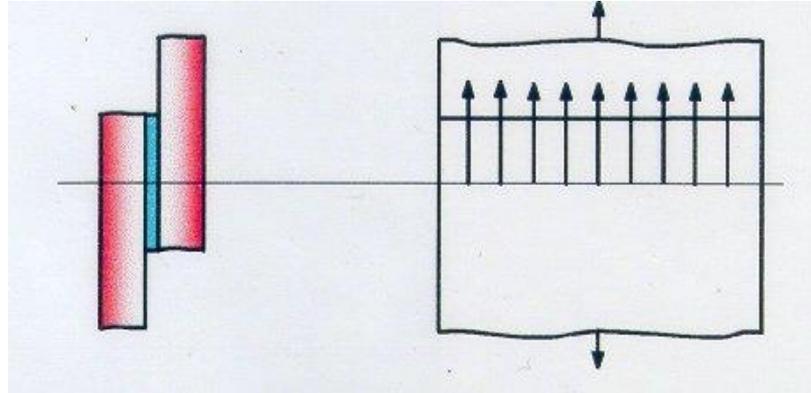
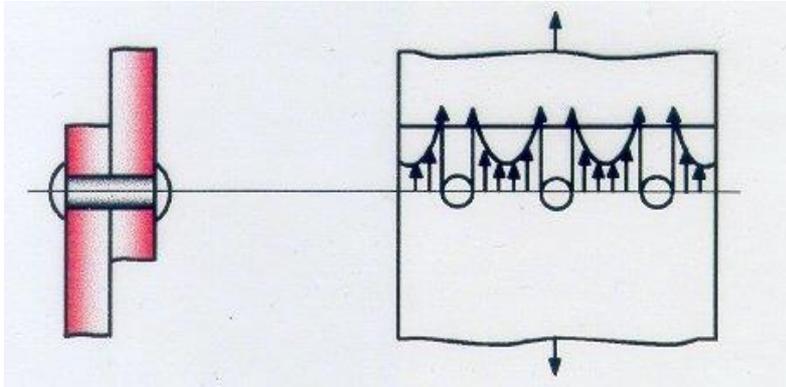


Kleben im alten Ägypten:
Zeichnung aus einer Grabkammer

Grundlagen Fügetechnologie Kleben

Welche Vorteile bietet das Kleben ?

- keine Beschädigung der Substrate (z.B. durch Löcher wie beim Schrauben, Nieten,...)
- gleichförmiges Stress-Profil über die gesamte Verbindung
- Kleben ermöglicht die Verbindung unterschiedlicher Substrate
- ausgezeichnete Fatigue Resistance
- optimale Nutzung der Füge Teileigenschaften durch kraft- und stoffschlüssige Verbindung

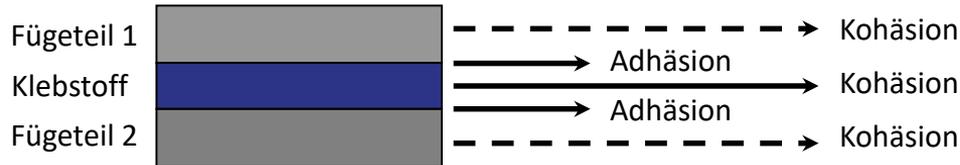


Kleben: fester Bestandteil im Baukasten geeigneter Fügeverfahren für den Fahrzeugleichtbau

| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

Definitionen

- **Definition Kleben:** Verbinden von Fügeteilen unter Verwendung eines Klebstoffs
- **Definition Klebstoff:** [nach ÖNORM und DIN EN 923]:
Ein Klebstoff ist ein nichtmetallischer Werkstoff, der Fügeteile durch Flächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion) verbinden kann



| Klebeverbindung benötigt: Benetzung, Adhäsion/Kohäsion und Abbinden des Klebstoffs

| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

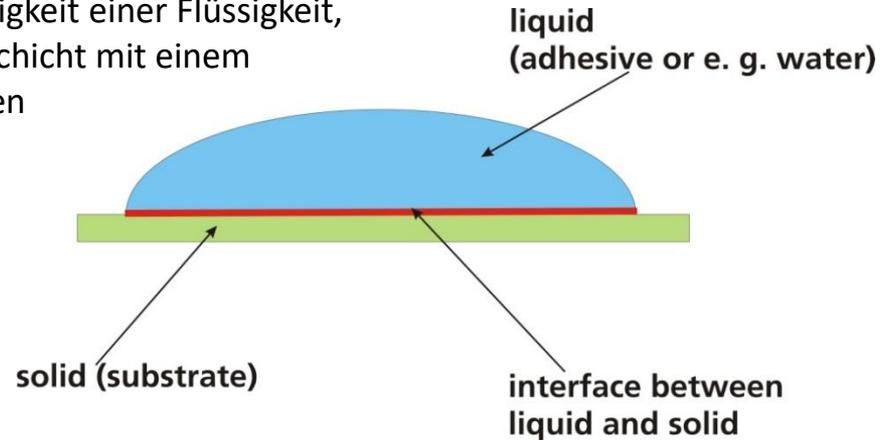
Benetzung und Oberflächenspannung

- **Voraussetzung für das Ausbilden von Klebekräften:**
 - Der Abstand d zwischen einem Klebstoff und dem zu klebenden Substrat muss sehr klein sein ($< 1 \text{ nm}$), d.h. der Klebstoff muss die Fügeiloberfläche benetzen !



- **Definition**

Benetzung ist die Fähigkeit einer Flüssigkeit, eine stoffschlüssige Schicht mit einem Festkörper auszubilden



| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

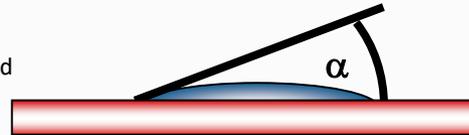
Benetzung und Oberflächenspannung

Benetzungsverhalten der Klebstoffe wird bestimmt durch:

Oberflächenspannungen des (festen) Fügeteils und des (flüssigen) Klebstoffs

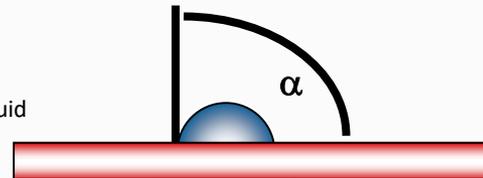
Gute Benetzung

Oberflächenspannung $\sigma_{\text{solid}} >$ Oberflächenspannung σ_{liquid}
Kontaktwinkel $\alpha < 30^\circ$



Schlechte, unzureichende Benetzung

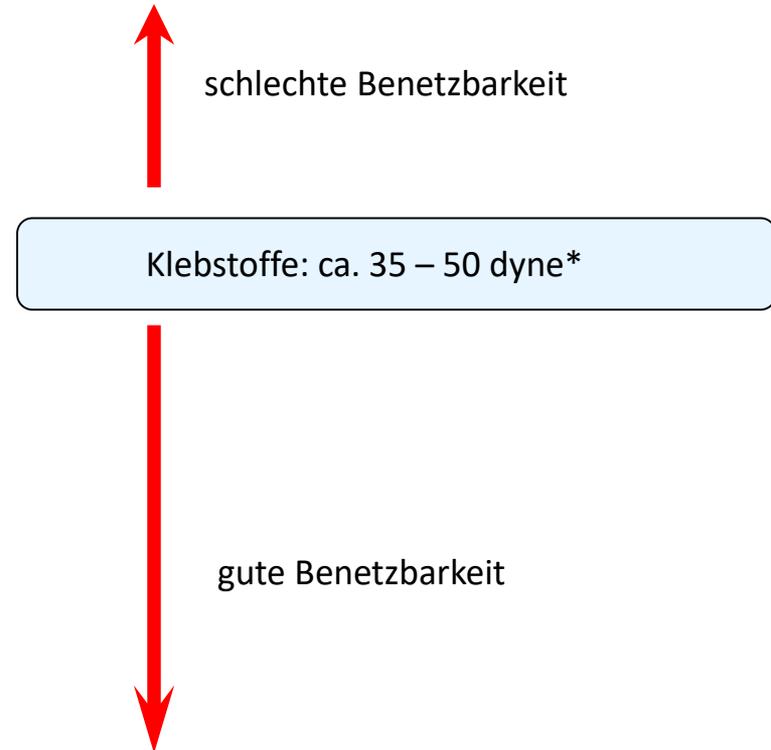
Oberflächenspannung $\sigma_{\text{solid}} <$ Oberflächenspannung σ_{liquid}
Kontaktwinkel $\alpha > 30^\circ$



Grundlagen Fügetechnologie Kleben

Benetzung und Oberflächenspannung

Material	Surface tension (dyne*)
PTFE	18.5
Silicone	20 - 22
PE, PP	ca. 30
Epoxide	ca. 50
H ₂ O	72.8
Glass	ca. 250
Hg (mercury)	650
Aluminium	1100
Steel	2500



*1 dyne = 10 μ N

| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

Viskosität

- Die Viskosität ist ein Maß für die “Dicke” einer Flüssigkeit
- je höher der Zahlenwert, desto viskoser ist die Flüssigkeit
- Absenken der Viskosität kann das Benetzungsverhalten verbessern
- Im Normalfall führen höhere Temperaturen zu niedrigerer Viskosität
- Viskosität von Klebstoffen ist häufig scherempfindlich, d.h. kann durch Pumpvorgänge beeinflusst werden

	Viskosität [mPas]
Petroleum	0.65
Wasser	1
Blut (37°C)	4-25
Kaffee Sahne	10
Olivenöl	100
Honig	10,000
Glas	10 ²³
Superglue (unausgehärtet)	20-50
2-K Epoxide (unausgehärtet)	50,000-1,500,000

Grundlagen Fügetechnologie Kleben

Vorbehandlung zur Erhöhung der Oberflächenspannung

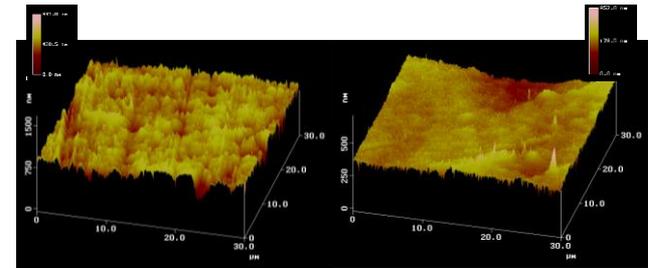
Wirkmechanismus

→ besser benetzbare Oberfläche durch Einbau von polaren Fremdatomen, wie Sauerstoff oder Fluor

Beispiel: Oberflächenvorbehandlung von Kunststoffen

mechanisch	chemisch	physikalisch
<ul style="list-style-type: none">❖ Schleifen❖ Strahlen	<ul style="list-style-type: none">❖ Fluorieren❖ Beizen	<ul style="list-style-type: none">❖ Beflammung❖ Plasma❖ Korona

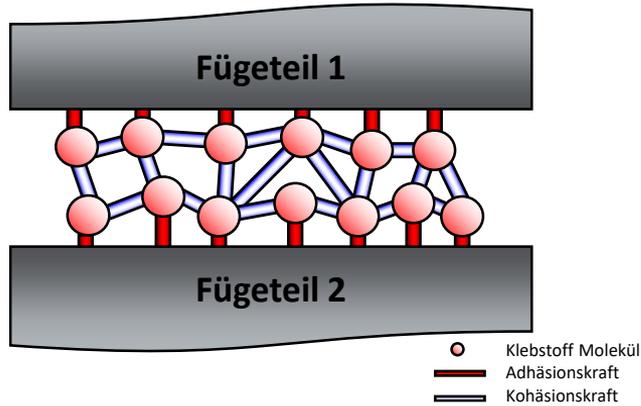
PET Oberfläche vor / nach AD Plasma



Ergebnis: höhere Oberflächenspannung und verbesserte Topografie der Oberflächen

| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

Adhäsion und Kohäsion



Kohäsion: innere Festigkeit des Klebstoffs, hervorgerufen durch verschiedene Interaktionskräfte zwischen den Klebstoffmolekülen

Adhäsion: Haftung eines Materials zu einem anderen, hier eines Klebstoffs zu einem Fügeteil, ebenfalls hervorgerufen durch unterschiedliche Interaktionskräfte

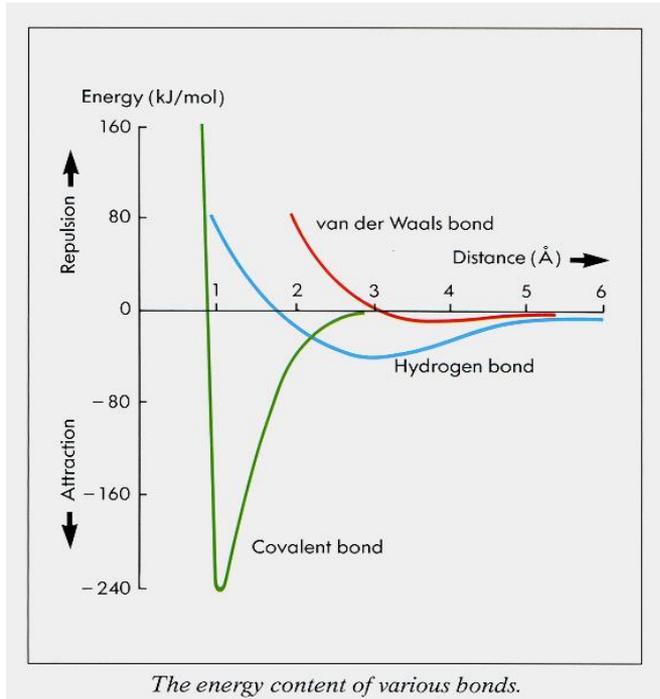
• Interaktionskräfte

- chemische (kovalente) Bindungen: → Kohäsion
- physikalische Wechselwirkungen (van der Waals, Dipole, OH Bücken) → Adhäsion
- mikro-mechanische Verzahnung → Adhäsion

Optimale Ausnutzung der Adhäsions- und Kohäsionskräfte führt zu stabiler Klebung

| Grundlagen Füge­technologie Kleben

Adhäsionskräfte



Wechselwirkungen an der Kontaktfläche

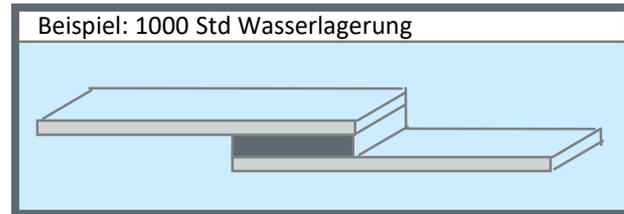
- Kovalente Bindungen
- Wasserstoff-Bücken Bindungen
- van der Waals Bindungen (Dipol- oder induzierte Dipol-Kräfte)

| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

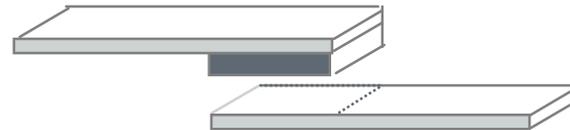
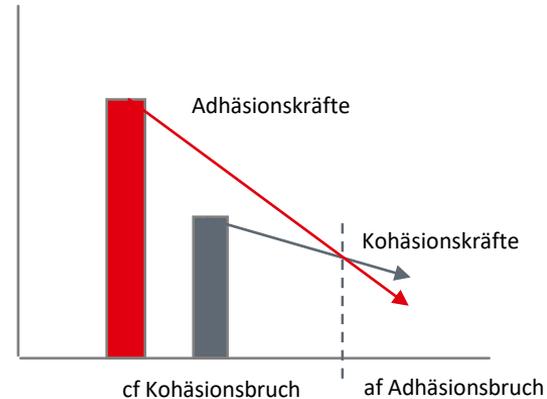
Alterung von Klebeverbindungen

Neben statischer und dynamischer mechanischer Belastung wird Alterung beeinflusst durch:

- Physikalische Effekte (Temperatur, Strahlung)
- Chemische Effekte (Medien)
- Biologische Effekte (Verkeimung)
- Migration von Inhaltsstoffen



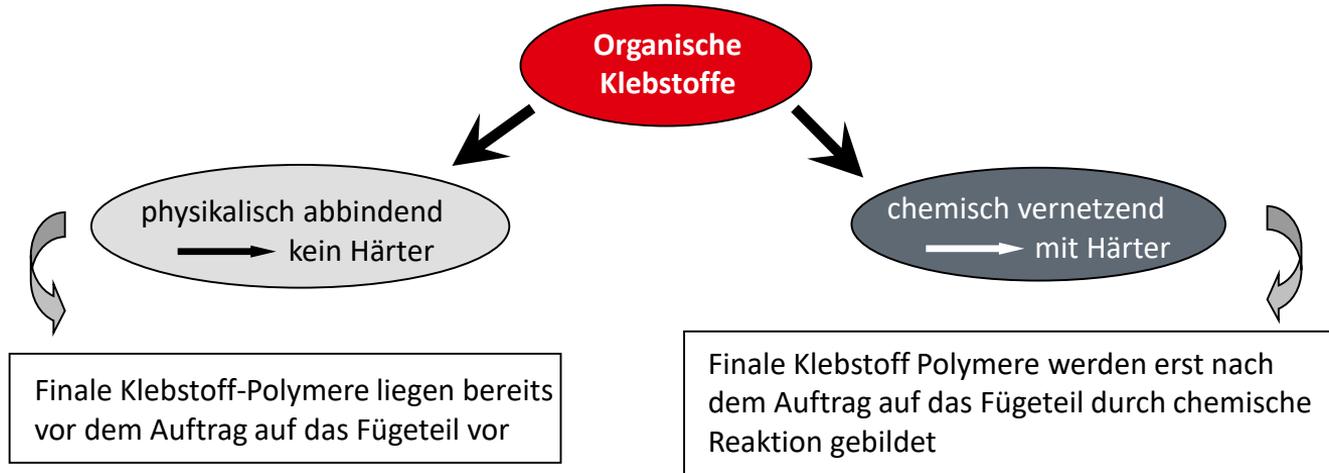
Zugscherfestigkeit



| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

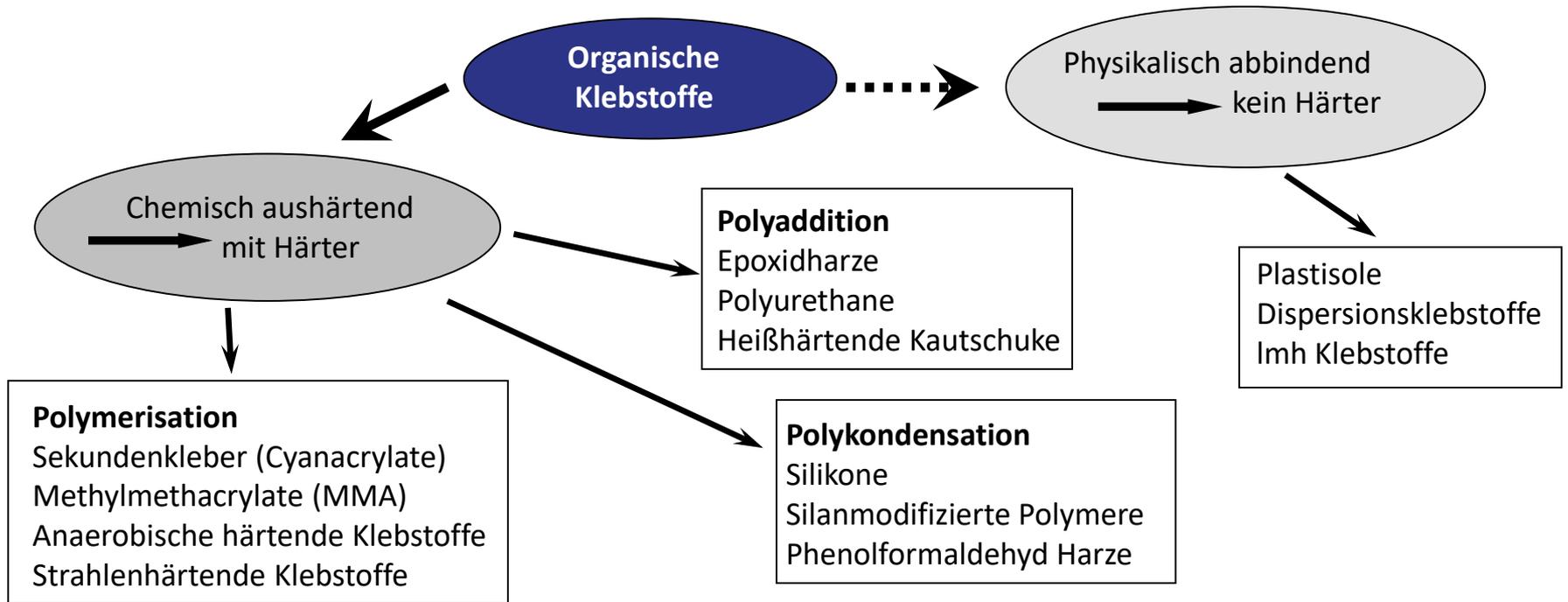
Einteilung der Klebstoffe nach Härtungsmechanismus

Klebstoffe können auf unterschiedlichen Wegen abbinden, d.h. aus der flüssigen in eine feste Phase überführt werden. Ohne näher auf die eingesetzten Polymere einzugehen, lassen sich Klebstoffe daher nach ihrem Abbindeverhalten unterteilen:



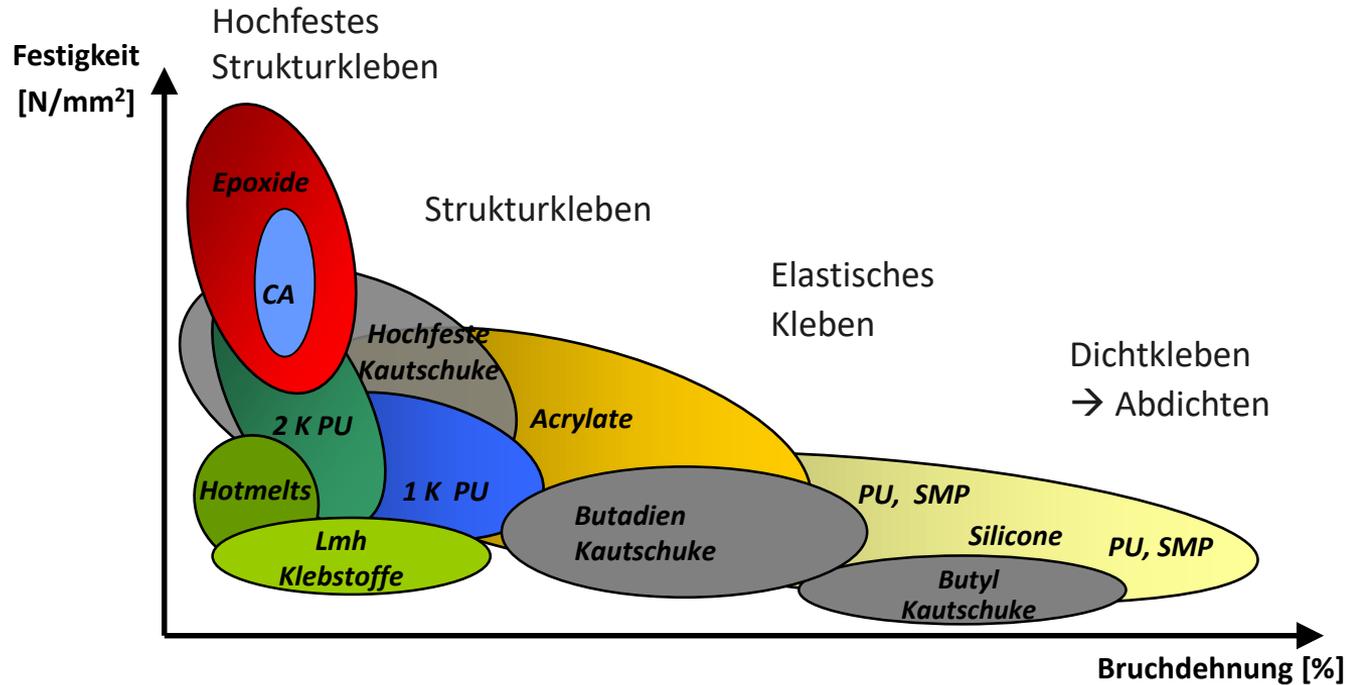
| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

Einteilung der Klebstoffe nach Härtungsmechanismus



| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

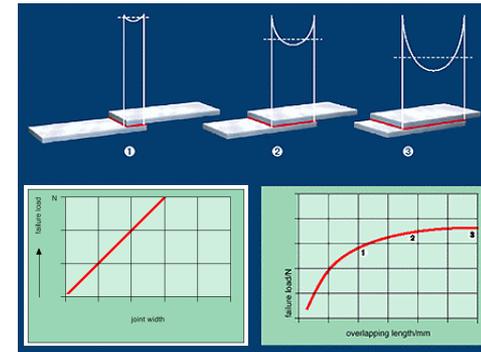
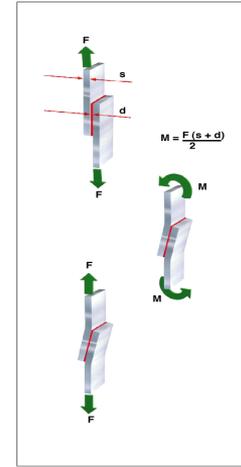
Festigkeit und Elastizität unterschiedlicher Polymere



Grundlagen Fügetechnologie Kleben

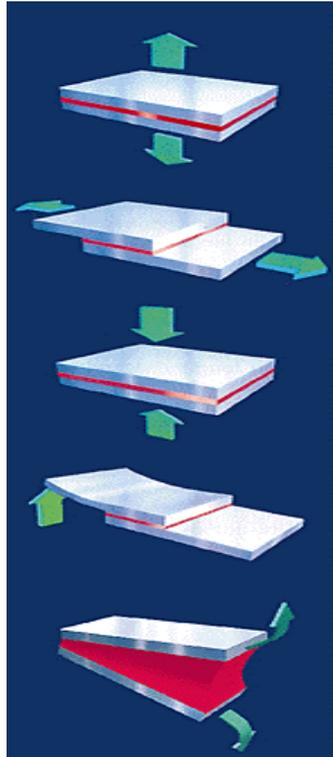
Design mit Klebstoffen

- **Einflussfaktoren u.a.**
 - Klebstoffauswahl (basierend auf den mechanischen Eigenschaften der Fügeteile)
 - Substrate (Fügeteile)
 - Geometrie des Fügespalt
 - erwartete Lastfälle
 - Gebrauchsbedingungen (inkl. z.B. Temperaturen, Klimabedingungen)
- **Kontrollierte Material Belastung u.a.**
 - Reduktion von Spannungsspitzen
 - Gleichmäßige Spannungsverteilung
 - Minimierung von Peel und Cleavage Lastfällen
 - Scher- und Compression Lastfälle empfehlenswert
 - Optimale Größe der Klebefläche
- **Design für den Zusammenbau u.a.**
 - Product Applikation
 - Fügeprozess
 - Härtungsfenster für den Klebstoff



| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

Design mit Klebstoffen: typische Lastfälle



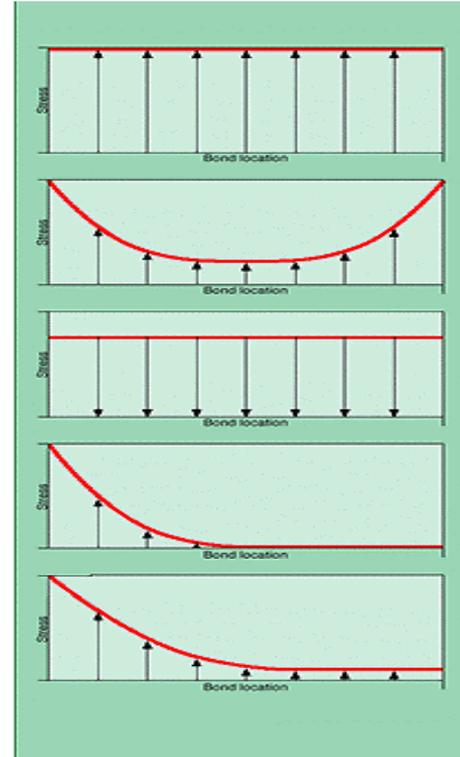
tensile

shear

compression

peel

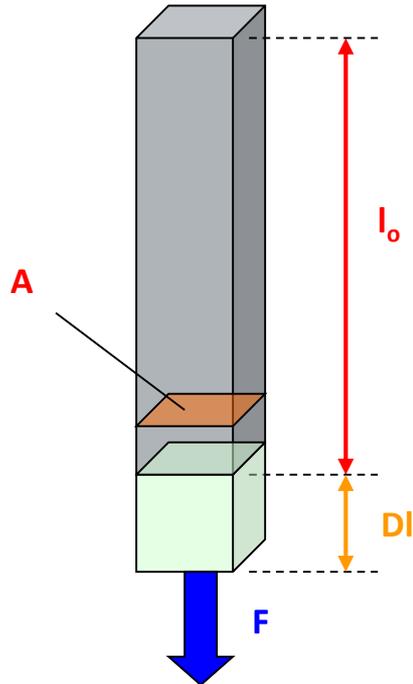
cleavage



| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

Design mit Klebstoffen: E-Modul

Aufbringen einer Kopfzugbelastung:



Normalspannung

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Gleitung (Längenausdehnung)

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Proportionalität

$$\sigma \propto \varepsilon$$

Proportionalitätsfaktor:
E-Modul (Young's modulus)

Grundlagen Fügetechnologie Kleben

E-Modul aus Spannungs-Gleitungs-Diagramm

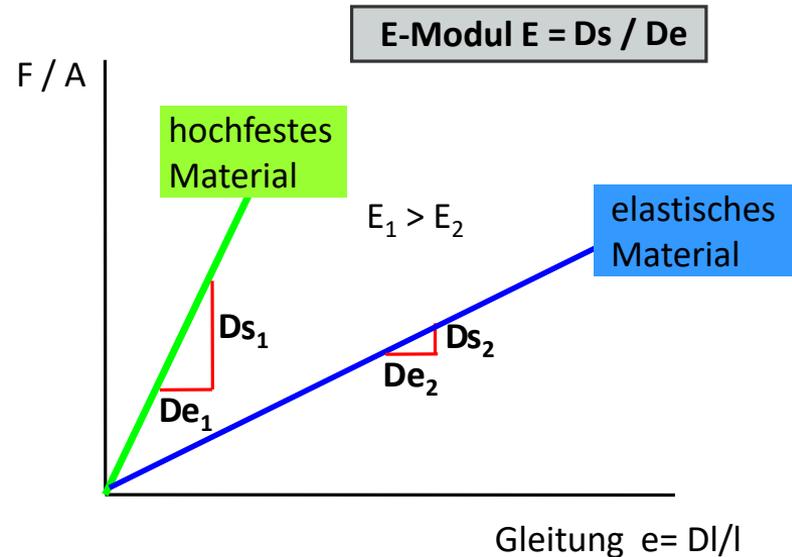
- **Annahme**

- ideal linear-elastisches Verhalten (es gilt das Hooke'sche Gesetz)
- Zuglastfall

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

- **Anwendbarkeit**

- geringe Deformation
- isotrope Materialien



Einheiten: $[\sigma] = \frac{N}{mm^2} = MPa$; $[E] = \frac{N}{mm^2} = MPa$; $[\varepsilon] = 1$

| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

E-Module ausgewählter Stoffe

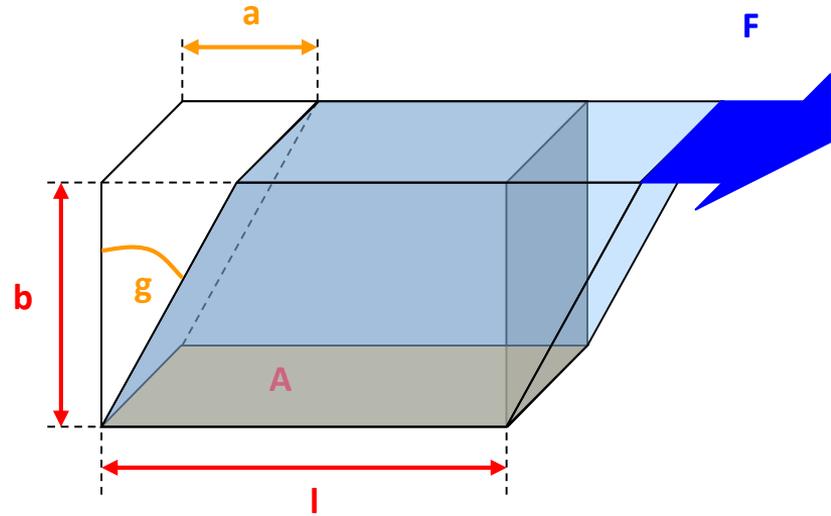
Material	E-Modul
Stahl	215000 MPa
Aluminium und Aluminium Legierungen	72000 MPa
Epoxide	1500 – 6700 MPa
Epoxide – glass fibre reinforced	22000 – 35000 MPa
Sekundenkleber	500 – 700 MPa
Polyurethane	150 – 400 MPa
Silicone	0,3 – 7 MPa
Strahlenhärtende Klebstoffe	200 – 1600 MPa

| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

Design mit Klebstoffen: Schubmodul

Beispiel: Rechteckiger Körper unter Scherbelastung

Scherspannung	$\tau = \frac{F}{A}$
Schergleitung	$\tan g = \frac{a}{b}$
τ ist proportional zu $\tan g$	



Proportionalitätsfaktor: G (Schubmodul)

Grundlagen Füge­technologie Kleben

Schubspannungs-Gleitungs-Diagramm

- **Annahme:** ideal elastisches Verhalten
(es gilt das Hooke'sche Gesetz)
- **Beispiel:** rechteckiger Körper unter Scherlast

$$\tau = G \cdot \tan \gamma$$

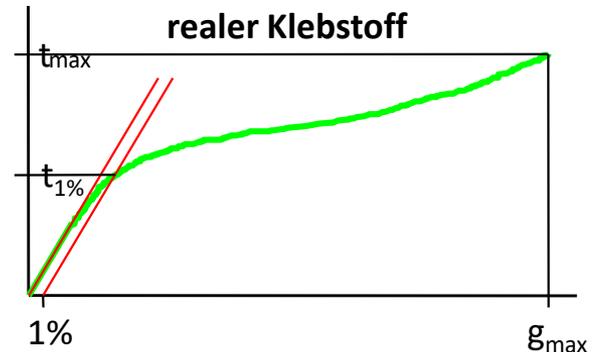
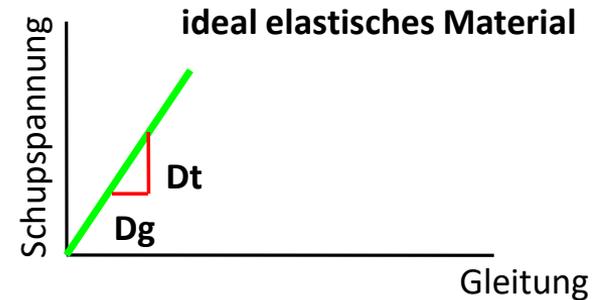
- für kleine γ ist $\tan \gamma = \gamma$

$$\text{Schubmodul } G = Dt/Dg$$

Anwendbarkeit

- geringe Deformation
- Isotrope Materialien

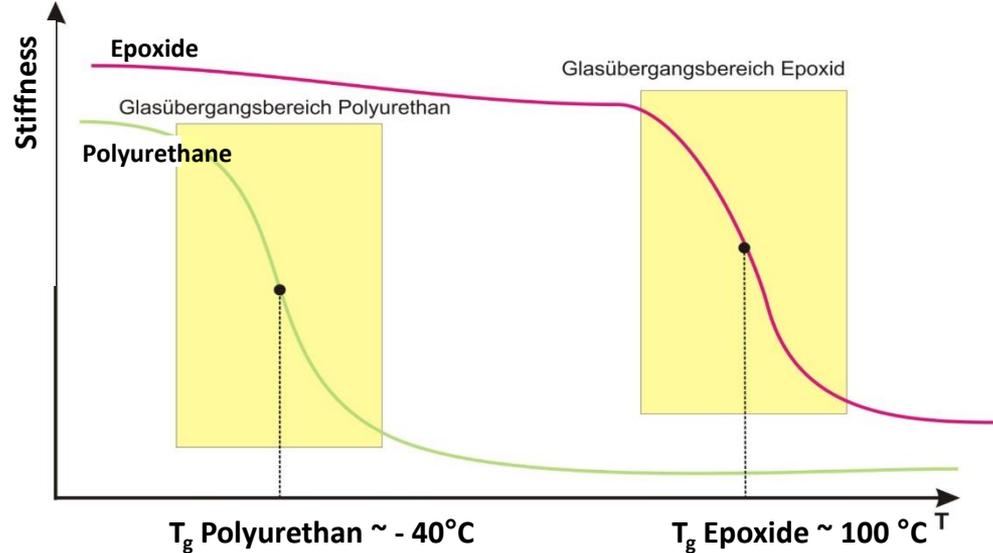
Einheiten: $[\tau] = \frac{N}{mm^2} = MPa$; $[G] = \frac{N}{mm^2} = MPa$; $[\gamma] = 1$



| Grundlagen Fügetechnologie Kleben

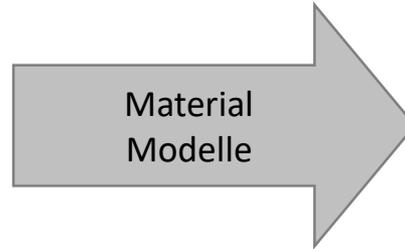
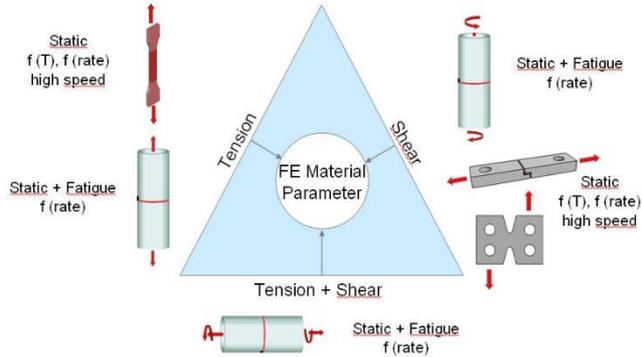
Design mit Klebstoffen: Glasübergangstemperatur

- Übergang von glasartigem festen in einen weichen Zustand für gehärtete Klebstoffe
- Glasübergangstemperatur T_g definiert die Temperaturfenster für den Gebrauch
- Unterhalb oder oberhalb der T_g können Klebeverbindungen nicht dem Lastfall ausgesetzt werden für den sie ausgelegt sind

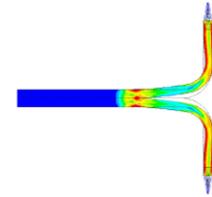


Grundlagen Fügetechnologie Kleben

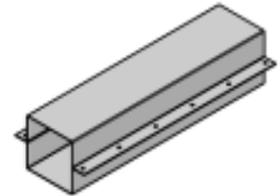
Design mit Klebstoffen: Simulation



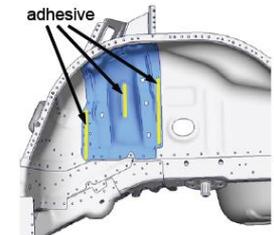
T-Peel



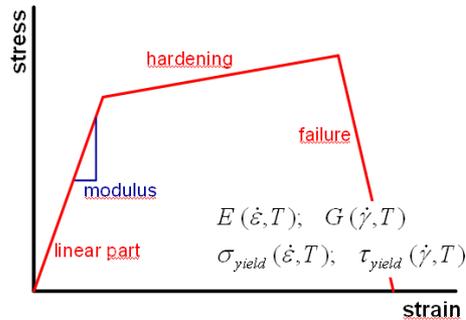
Box Beam



Radhaus



Stress-strain behaviour:



| Agenda

1. Grundlagen Fügetechnologie Kleben
2. Kleben im Automobilbau
3. Anwendungsbeispiele

| Kleben im Automobilbau

Historie

1924

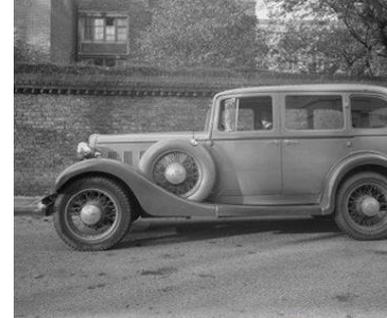
- Erster dokumentierter Gebrauch von Klebstoffen in industrieller Serienfertigung in der Autoindustrie

ab den 1960's

- Einsatz von Epoxy Klebstoffen für das Kleben von Karosserien
- Zur Beschichtung und zur Nahtversiegelung kommen PVC Plastisole zum Einsatz
- Kleben in der Endmontage mit Polyurethan Klebstoffen

ab den 1980's

- (elastisches) Metallkleben mit heißhärtenden Kautschukklebstoffen (Unterfütterungskleben)



Kleben im Automobilbau

Globale Trends und Innovationstreiber

Umwelt & Gesetzgebung



Demografie



Emerging Markets



Prioritäten der Automobilhersteller



Treibstoff
Effizienz



Gewichts-
reduktion



Neue Batterie
Technologien



Sustainability

Kosten

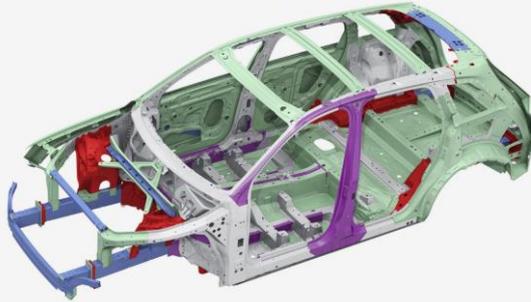
Sicherheit & Komfort

Nachhaltigkeit

Kleben im Automobilbau

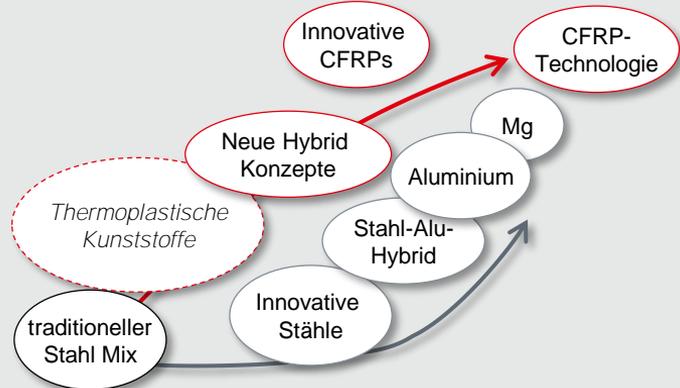
Megatrend Leichtbau

Leichtbau



“Das richtige Material, an der richtigen Stelle”

Potenzial Gewichtsreduzierung



Kosten

Leichtbau führt zu höherem Grad von Materialmix unter Einbeziehung von Kunststoffen

| Kleben im Automobilbau

Beispiele von Kunststoffteilen im Automobil

Body	Powertrain	Chassis	HVAC	Interior	Electronics	Exterior
						
<ul style="list-style-type: none">• Anbauteile• feststehende Scheiben• Säulen-Elemente• Reserveradmulden	<ul style="list-style-type: none">• Ölwannen• Kraftstoffsysteme• Brennstoffzellen	<ul style="list-style-type: none">• Composite Blattfedern• Dämpfungselemente	<ul style="list-style-type: none">• Fluidbehälter	<ul style="list-style-type: none">• Armaturentafeln• Türverkleidungen• Mittelkonsolen• Sitze	<ul style="list-style-type: none">• Gehäuse• Verkleidungen• Montageträger	<ul style="list-style-type: none">• Stoßfänger• Spoiler• Scheinwerfer, Heck- und Nebellampen• Gummiprofile

Kleben im Automobilbau

Kriterien für die Klebstoffauswahl

① Performance

- Festigkeit
- Elastizität
- E-Modul, Schubmodul
- Volumeneffekte
- Haftung auf den Fügeteilen

② Dauerbeständigkeit

- Temperatur und Klima
- Medien
- Sonnenlicht / UV-Strahlung
- Statische Belastung
- Dynamische Belastung

③ Prozess-Integration

- Anlieferung / Lagerung
- Verarbeitung (manuell / automatisch)
- Stückzahl in der Fertigungslinie
- Taktzeiten
- Zugänglichkeit für Applikation
- Härtingsverfahren
- Pausen / Betriebsunterbrechungen

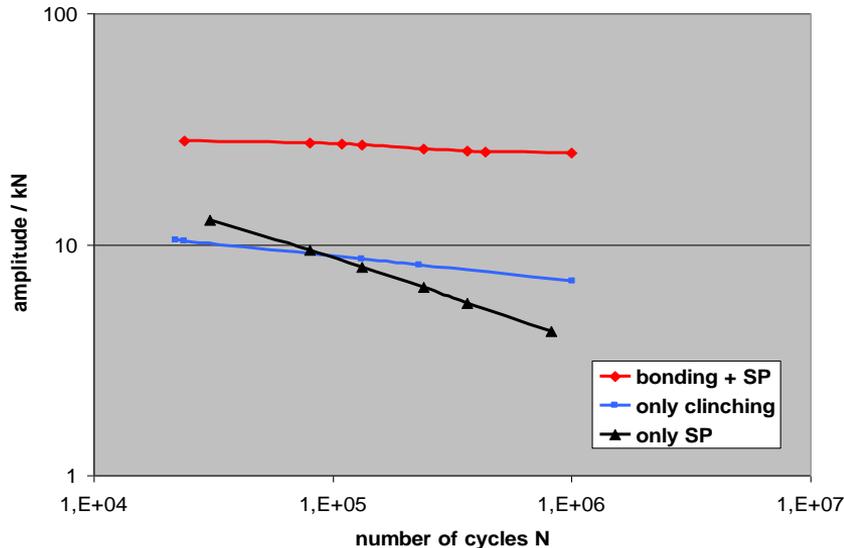
| Agenda

1. Grundlagen Fügetechnologie Kleben
2. Kleben im Automobilbau
3. Anwendungsbeispiele

| Anwendungsbeispiele

Metallkleben im Karosseriebau (Leichtbau)

Woehler Curve



Metalle im modernen Automobil

- Stahl (CRS, EGS, HDG, GA, GI)
- hochfeste Stähle (HSS, AHSS)
- Leichtmetalle (Al, Mg)
- Taylored Blanks
- Patchwork Strukturen
- Metall-Mischbau

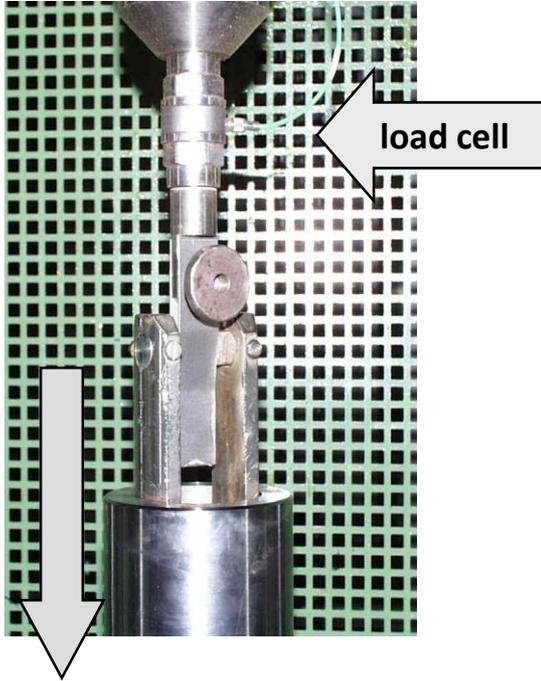
Kleben verbindet:

- als wärmefreies Fügeverfahren unterschiedliche Substrate stoff- und kraftschlüssig in voll automatisierbaren Fertigungsprozessen

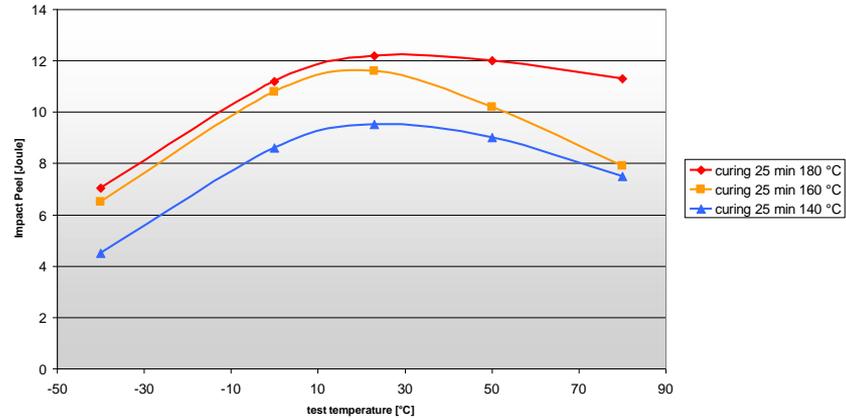
| Anwendungsbeispiele

Crashfeste Klebstoffe

Servo-hydraulic Impact Test

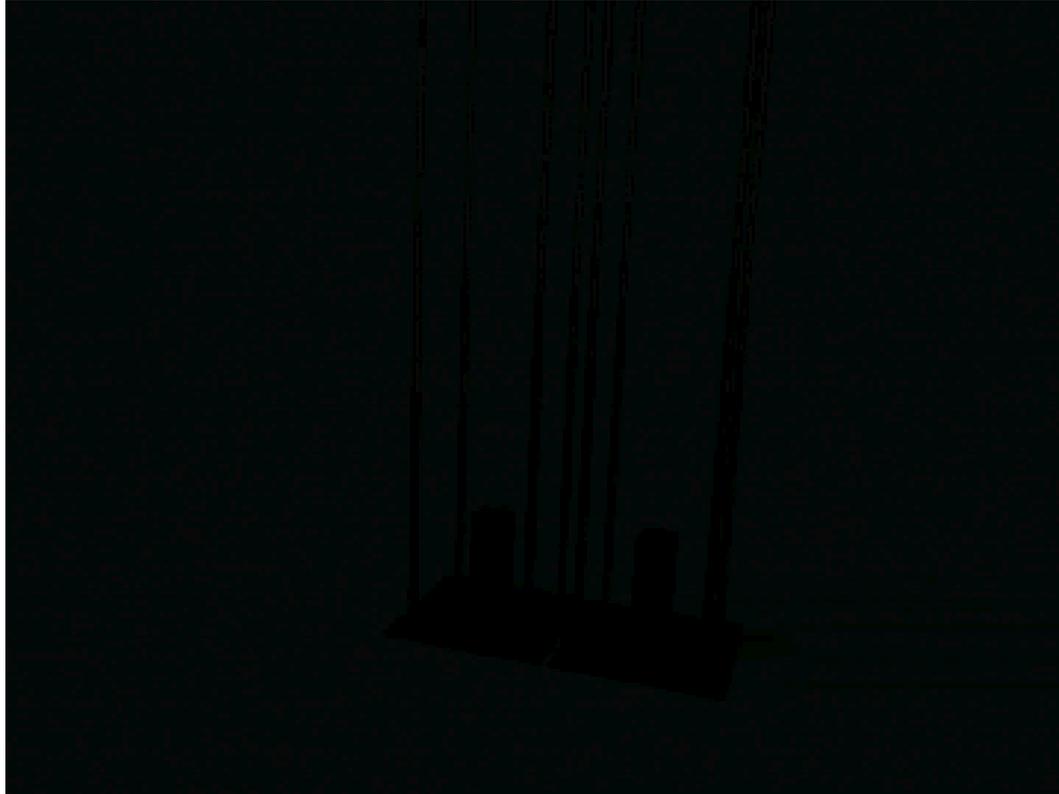


Impact Peel (ISO 11343)
(AlMgSi 3,5 / BMW / 1,0 mm)



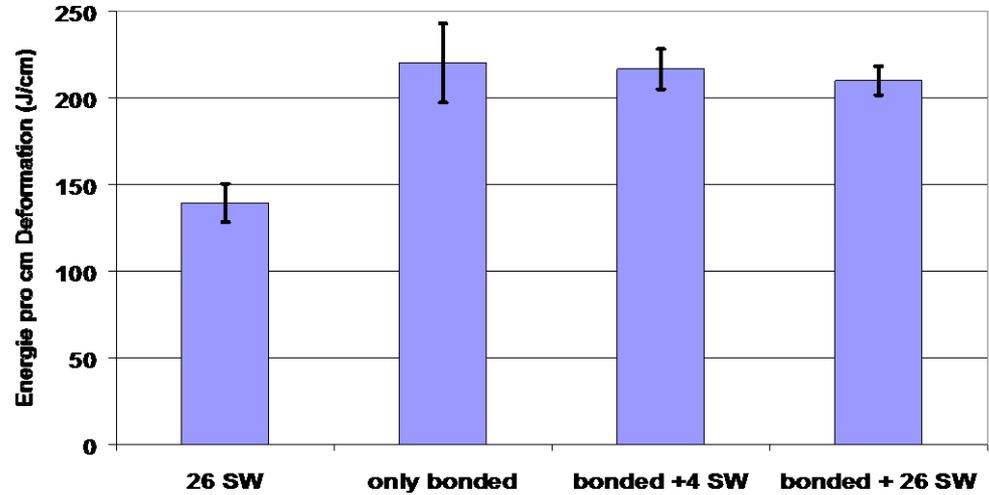
| Anwendungsbeispiele

Crashfeste Klebstoffe



| Anwendungsbeispiele

Crashfeste Klebstoffe



| Bis zu ca 25 % höhere Energieaufnahme in der geklebten Metallstruktur

| Anwendungsbeispiele

Metallkleben im Karosseriebau (Leichtbau)

Kleben ermöglicht Leichtbau durch Mischbau

Shanghai VW Lightweight Lávada

Projektziel:

- Lightweight Concept Car für die Shanghai Expo im Mai 2010
- VW Lávada: Referenz Model auf Basis Stahl
- “VW Lávada lightweight”,
 - Aluminium, Magnesium
 - Türen, Motorhaube, Kofferraumklappe

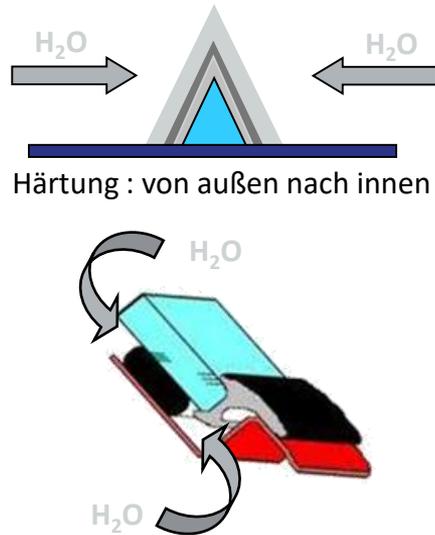
→ **Gewichtseinsparung: 27.4 kg**



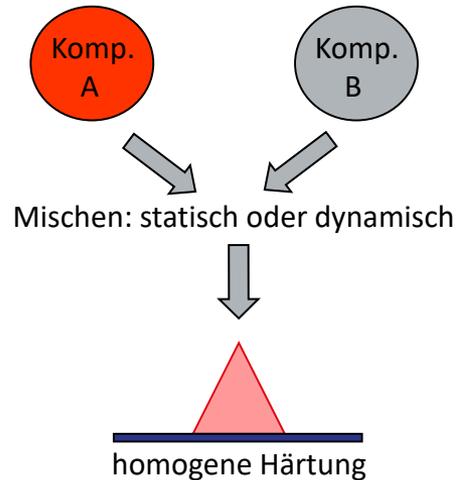
Anwendungsbeispiele

Polyurethan- und Silan-modifizierte 1K- und 2K-Klebstoffe

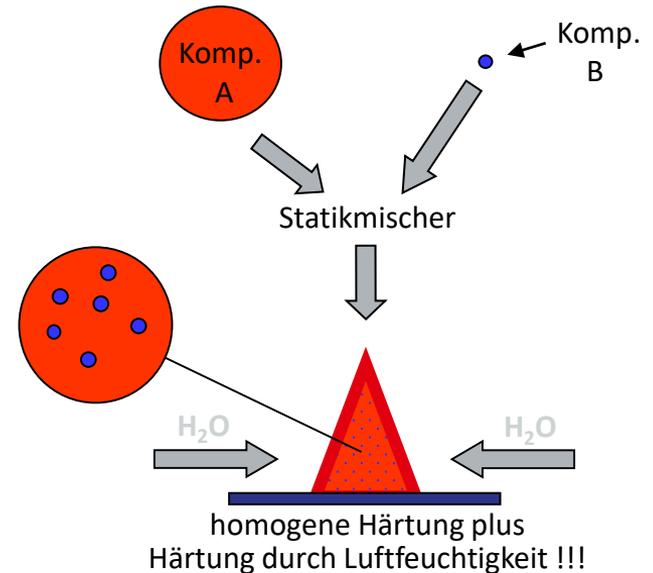
1K-System



„konventionelles“ 2K-System



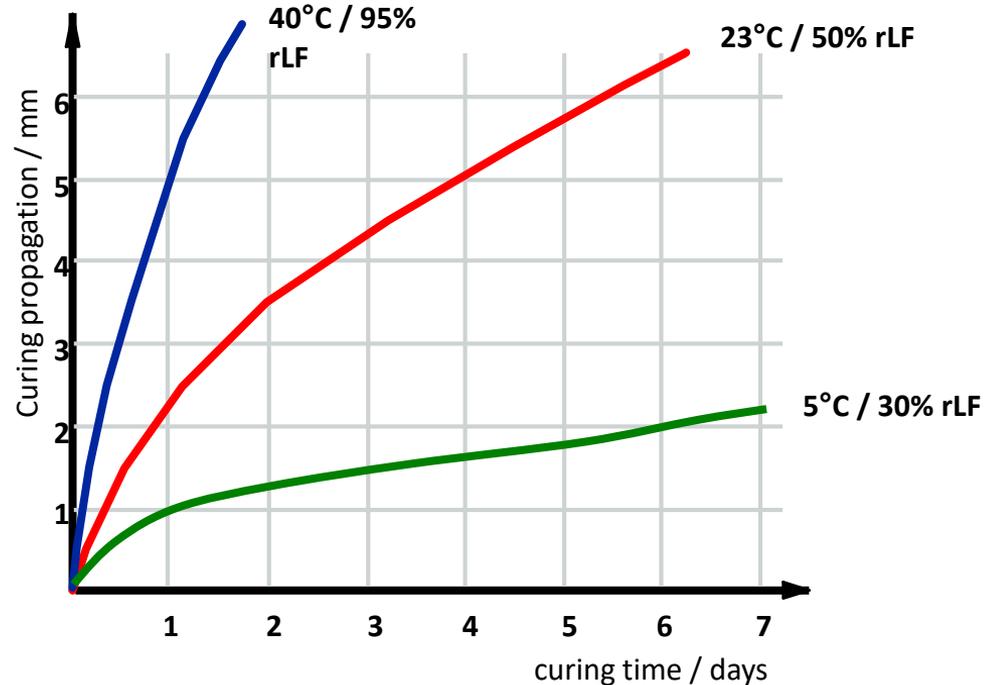
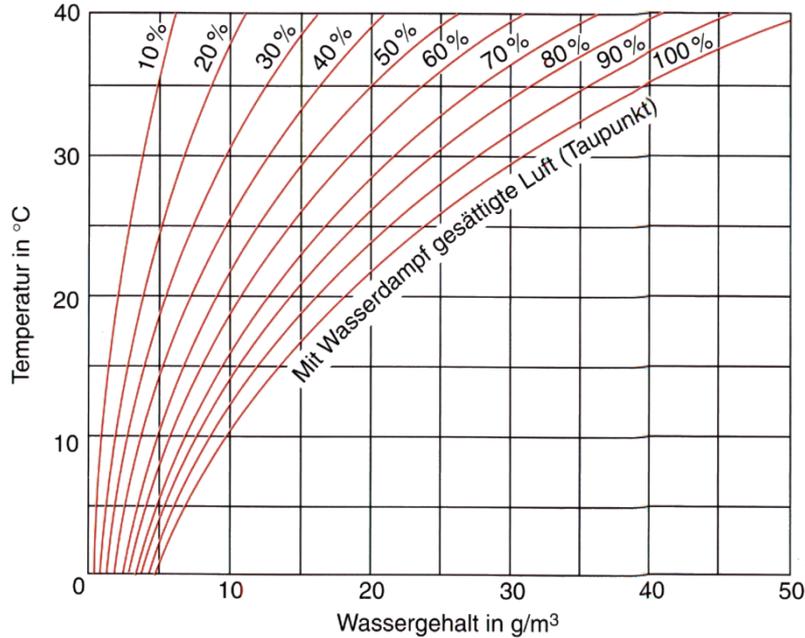
„beschleunigtes 1 K“ - System



Prozessanforderungen beeinflussen die Klebstoffauswahl

Anwendungsbeispiele

Zusammenhang Aushärtung 1 K PU und rel. Luftfeuchte



| Anwendungsbeispiele

Kleben von Polycarbonat als Glasersatz für Leichtbau

Spezifische Klebstoff-Anforderungen

- Hohe Elastizität und Bruchdehnung
- Keine Schädigung der PC Substrate im Dauerbetrieb
- Wenn möglich keine Oberflächenvorbehandlung

Serienklebstoffe

- Standard PU-Direktverglasungs-Klebstoffe und Primer
- Silan-modifizierte Polymerklebstoffe ohne Primer



Quelle: Audi

TEROSON PU 8593 HNL / TEROSON PU 8517



Quelle: Porsche

TEROSON PU 8890 FE 25 / TEROSON PU 8517
TEROSON MS 9399

| Anwendungsbeispiele

Kleben von Polycarbonat als Glasersatz für Leichtbau

Delta α Problematik

Thermische Längenausdehnung

$$dl = l \times d\alpha \times dT$$

Beispielrechnung:

$$l = 1000 \text{ mm}$$

$$dT = 70 \text{ K}$$

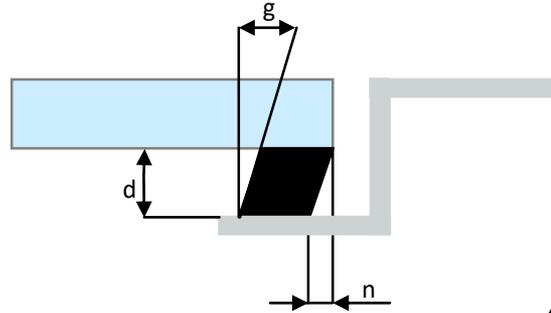
$$\text{Stahl: } \alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$$

$$\text{Glas: } \alpha = 10 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$$

$$\text{PC: } \alpha = 65 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$$

$$dl = 1000 \text{ mm} \times 53 \times 10^{-6} \text{ 1/K} \times 70 \text{ K} = \mathbf{3,7 \text{ mm}}$$

3,7 mm / 2 = 1,85 mm Deformation an jedem Ende



Gleitung mit $d = 5 \text{ mm}$

$$\tan g = n/d = 1,85 \text{ mm} / 5 \text{ mm}$$

$$\tan g = 0,37 = 37 \%$$

Ausblick: PC Dach-, Seitenmodule



| Anwendungsbeispiele

Kleben von Kunststoff Anbauteilen

Prozessanforderungen

Beispiel: Mercedes-Benz
Heckklappe der ersten Modellreihe der A-Klasse

Prozess-Folge

1. Aktivierung

→ Flamm-Vorbehandlung der Klebezone

2. Haftvermittlung

→ Primer Applikation auf den Klebezonen

3. Klebstoff Applikation (1K- und 2K-PUR)

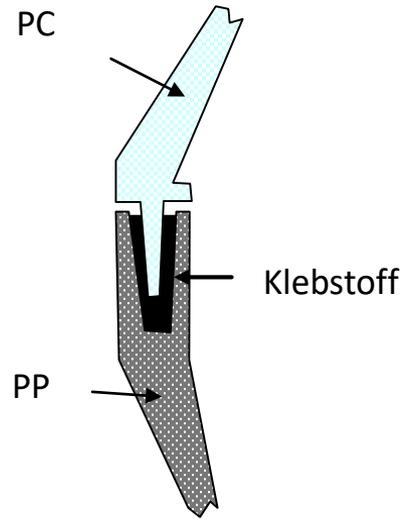


| Anwendungsbeispiele

Kleben von Frontscheinwerfer Modulen

Scheinwerfer-Verklebung

Xenon, Halogenlampen, LED's



Anforderungen:

- einfache Prozesse (1K bevorzugt)
- schnelle Prozesse
- SHE (Isocyanate)

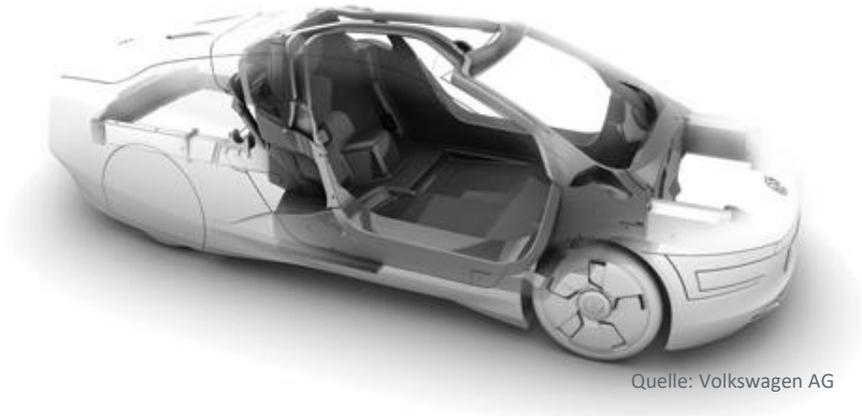
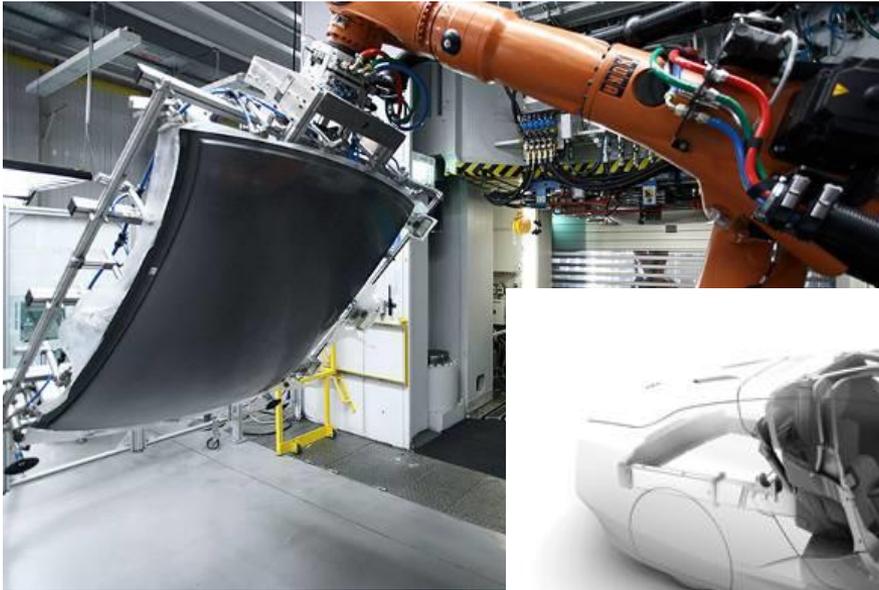
Technologien:

- niedrigviskose (recyclierbare) Hotmelts
- schnelle 2K-Klebstoffe: PU, Silan-modifizierte Polymere
- reaktive 1K-Klebstoffe



| Anwendungsbeispiele

Integration von Hochleistungs-Composites



Quelle: Volkswagen AG

| Anwendungsbeispiele

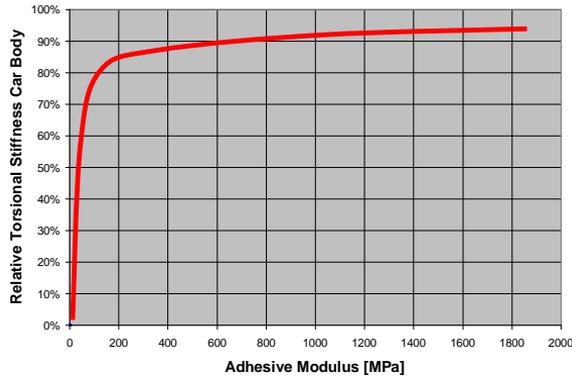
Spezifische Anforderungen beim Kleben von Composites



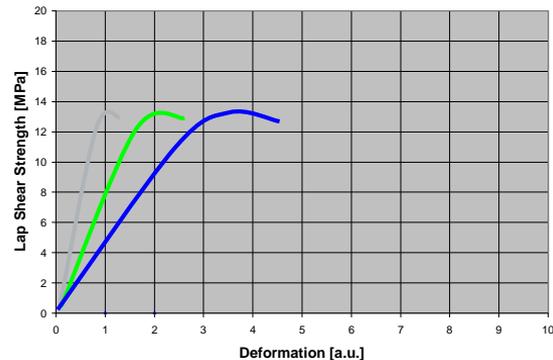
- **Selektion der Fügemethode:** (Strukturelle) Klebungen zerstören das Faser-Matrix System nicht
- **Thermische Empfindlichkeit von Composites:** schließt Standard Ofen-Prozesse aus und verlagert die Integration in den Trim
- **Steifigkeit der Composites und größere Verklebungsdicken:** ändern die mechanischen Anforderungen an die Klebstoffsysteme
- **Oberflächenvorbehandlung der Composite-Teile:** ist eine Prozess-Herausforderung für die Integration wegen auf der Oberfläche verbleibender Trennmittel
- **Multimaterial-Design Konzepte:** müssen die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungen der Substrate berücksichtigen

| Anwendungsbeispiele

Funktionale Anforderungen an Composite-Klebstoffe



- **Torsionssteifigkeit einer Karosserie als Funktion der Klebstoff-Steifigkeit**
FEA-Simulation zeigt einen Sättigungsverlauf
- **Funktionale Anforderung:**
minimaler Modul des Klebers: 200 MPa



- **Oberste Matrix-Lage** bestimmt oft die maximale Last auf den gefügten Compositeteilen (Versagensmodus: Faser-Delamination)
- **Zugscherfestigkeit der Composite-Klebstoffe** ideal im Bereich 10 - 15 MPa → kombiniert strukturelle Steifigkeit mit Flexibilität der Verklebung

| Anwendungsbeispiele

Funktionale Anforderungen an Composite-Klebstoffe

➤ Mikroverkapselte Technologie: **TEROSON PU 1510**

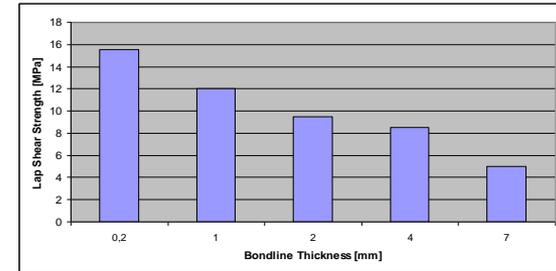
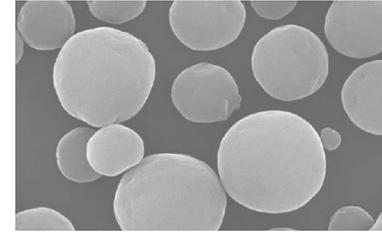
- Anfangsfestigkeit: 30 s bei 85 °C
- schnelle Härtung: 100 s bei 80 – 90 °C
- Lagerbeständigkeit: 6 Monate
- Härtung via Induktion, Infrarot oder Ofenprozess

➤ Semi-strukturell mit hoher Flexibilität

- Zugscherfestigkeit: 10 - 14 MPa (1 mm Schicht)
- hohe Elongation: 100 – 120 %
- Zugfestigkeit: > 11 MPa
- Schubmodul: > 70 MPa (bei $\nu = 0,01$ 1/s)

➤ Maßgeschneidert für FVK-Klebung

- exzellente Adhäsion zu CFRP und GFRP
- elastisches Verhalten in „CTE mismatch“ Verklebungen
- zusätzliche Anwendung für Schraubenverklebung



| Anwendungsbeispiele

“Crashfestes” Kleben von Composites im Mischbau

➤ 2 K Epoxy Technologie: **TEROSON EP 5055**

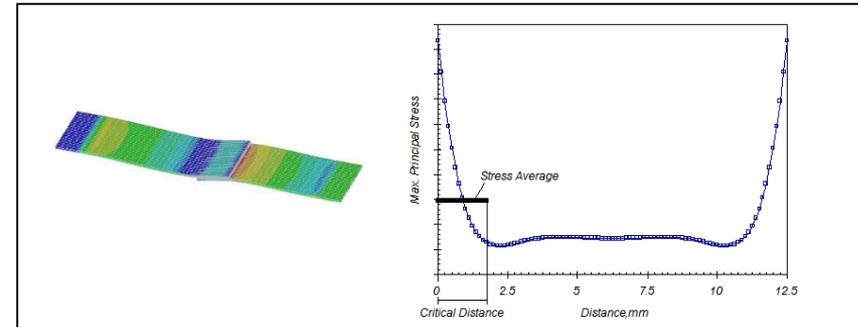
- Anfangsfestigkeit: 4 h bei 23 °C (RT)
- Finale Aushärtung: 2 d bei 23 °C / 30 min bei 90 – 100 °C

➤ Strukturell mit hoher Flexibilität

- Zugscherfestigkeit: > 20 MPa (2 mm Schicht)
- Impact Peel: 15 N / mm
- Zugfestigkeit: 18 – 22 MPa
- Zugmodul: 1500 MPa

➤ Maßgeschneidert für FVK-Klebung

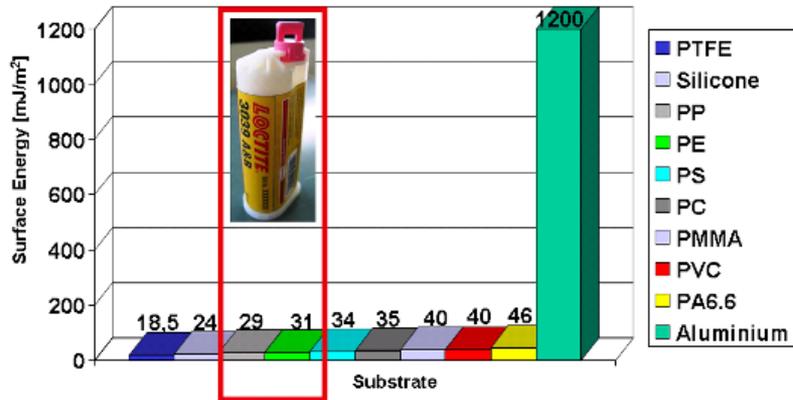
- exzellente Adhäsion zu CFRP und GFRP
- elastisches Verhalten in „CTE mismatch“ Verklebungen



FE Analyse Verfahren zur Vorhersage des Versagens der Klebung unterstützen die Klebstoffentwicklung

Anwendungsbeispiele

Kleben von unpolaren Kunststoffen



- **Gewichts- und Kostenreduktion** durch zunehmende Verwendung von Thermoplasten (e.g. PE, PP, ABS) und faserverstärkten Thermoplasten
- **Herausforderung:** niederenergetische Oberflächen
- z.B. LOCTITE 3038 (2K Acrylat) im Frontend (KTL beschichtetes Metal / PP GF30)



Kleben ohne Vorbehandlung durch Erzeugung chemischer Bindungen Klebstoff / Substrat

| Zusammenfassung und Ausblick

Kleben im Fahrzeugleichtbau

Henkel Lösungen für die Linienanwendung

- **Technologie Portfolio**
 - ✓ Klebstoffe, Strukturschäume, Reiniger und Primer im Einsatz in den unterschiedlichsten Anwendungen im Automobil
- **Engineering und Applikationstechnik**
 - ✓ FE Modellierung und experimentelle Validierung der Struktur-Performance via Simulation
 - ✓ Vortests zur Linienimplementierung (Roboter Applikation)



Quelle: Daimler „Modular Construction Concept“

- **Ausblick**

Der Trend Leichtbau (Reduktion von CO₂ Emission) wird den Einsatz neuer Hochleistungs-Kunststoffe und Composites sowie Leichtmetalle weiter vorantreiben. Neue innovative Klebstoff-Systeme werden dabei ihren Beitrag zum Fügen und zur Montage leisten.

Vielen Dank!

Kontakt:
Dr. Peter Born
Henkel AG & Co KGaA, Standort Heidelberg
E-mail: peter.born@henkel.com

