

# 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 €** bereinigtes<sup>1</sup>  
betriebliches Ergebnis (EBIT)

**42 %** unseres Umsatzes  
erzielen wir in  
Wachstumsmärkten

---

Mehr als **2.000**  
gesellschaftliche Projekte  
unterstützt

---

Mehr als **140 Jahre** Erfolg

<sup>1</sup> 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

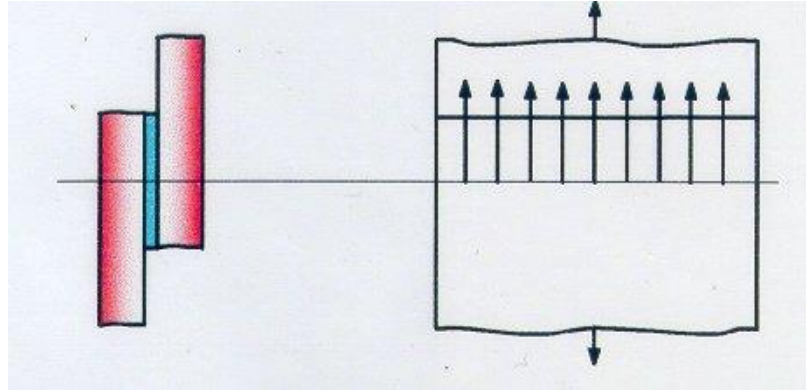
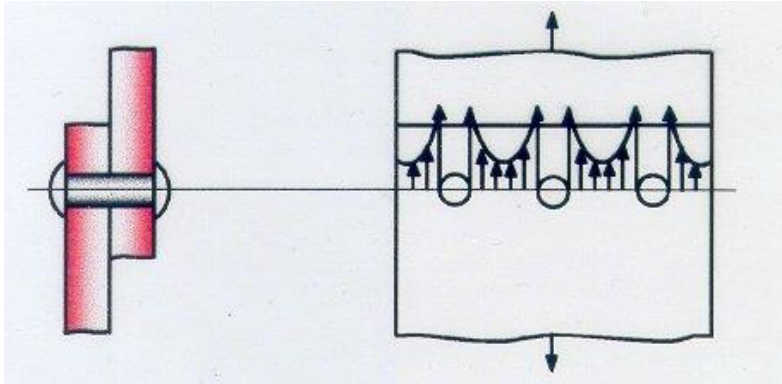


Kleben im alten Ägypten:  
Zeichnung aus einer Grabkammer

# 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



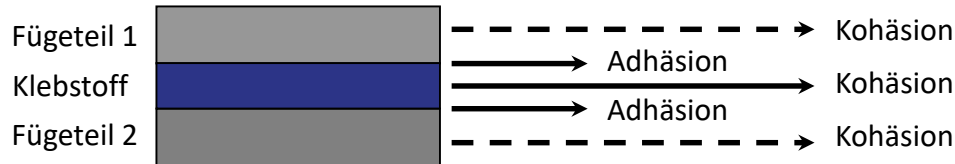
Kleben: fester Bestandteil im Baukasten geeigneter Fügeverfahren für den Fahrzeugleichtbau



# | 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

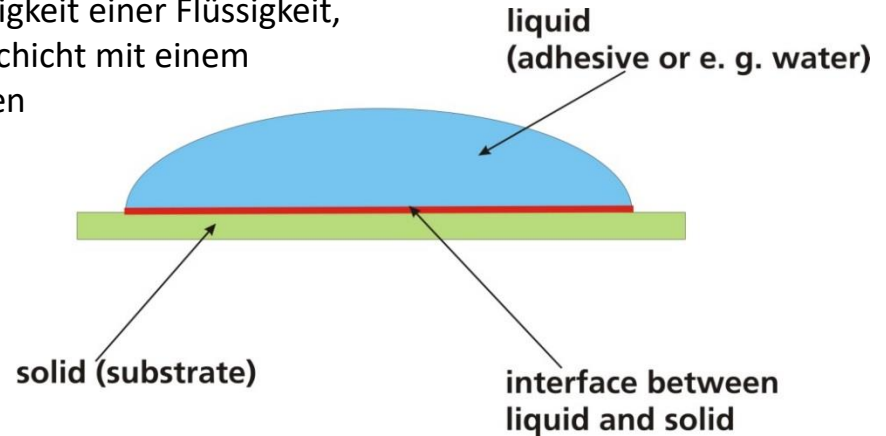
## Benetzung und Oberflächenspannung

- **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

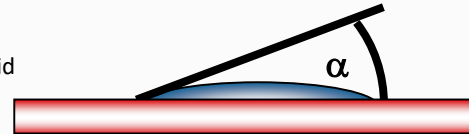
## Benetzung und Oberflächenspannung

Benetzungsverhalten der Klebstoffe wird bestimmt durch:

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

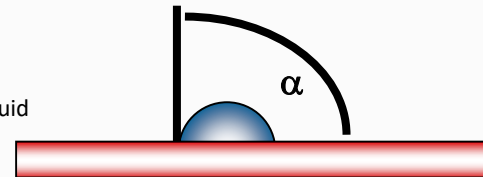
### **Gute Benetzung**

Oberflächenspannung<sub>solid</sub> > Oberflächenspannung<sub>liquid</sub>  
Kontaktwinkel  $\alpha < 30^\circ$



### **Schlechte, unzureichende Benetzung**

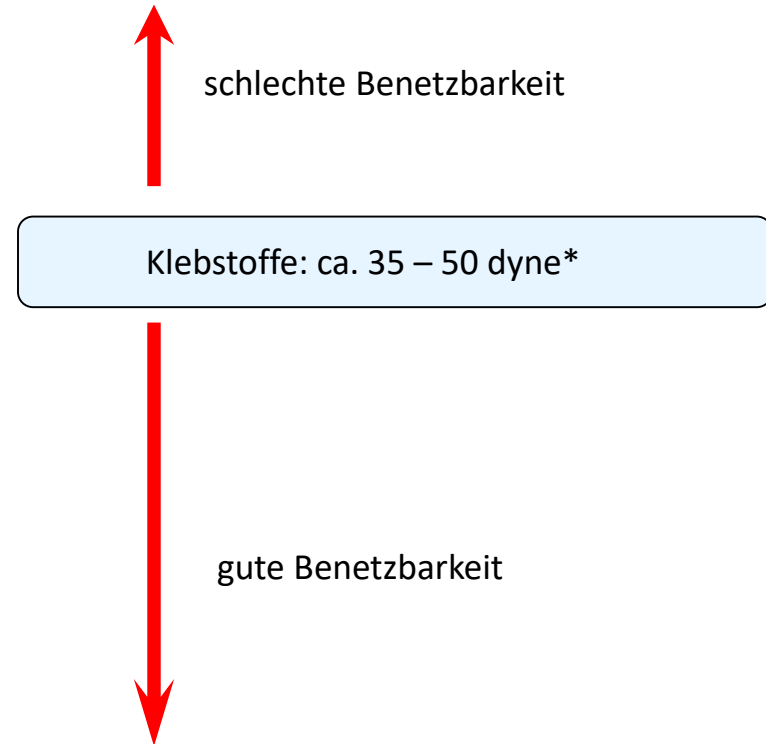
Oberflächenspannung<sub>solid</sub> < Oberflächenspannung<sub>liquid</sub>  
Kontaktwinkel  $\alpha > 30^\circ$



# | Grundlagen Fügetechnologie Kleben

## Benetzung und Oberflächenspannung

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



\*1 dyne = 10  $\mu$ 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

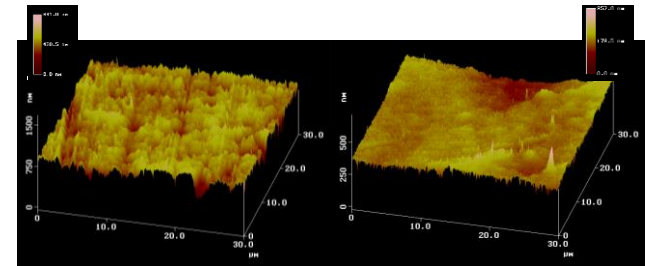
### Wirkmechanismus

→ 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"><li>❖ Schleifen</li><li>❖ Strahlen</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>❖ Fluorieren</li><li>❖ Beizen</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>❖ Beflammung</li><li>❖ Plasma</li><li>❖ Korona</li></ul> |

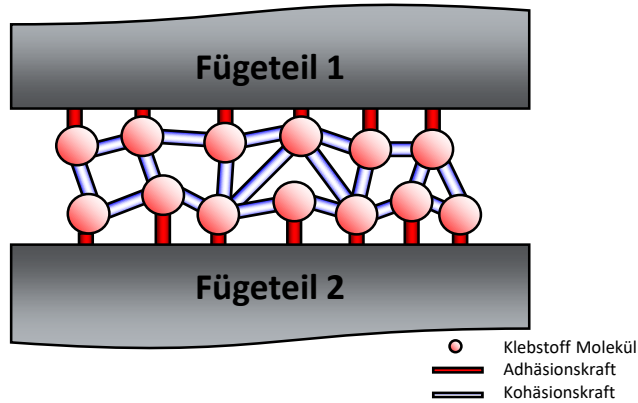
### PET Oberfläche vor / nach AD Plasma



Ergebnis: höhere Oberflächenspannung und verbesserte Topografie der Oberflächen

# Grundlagen Füge-technologie 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

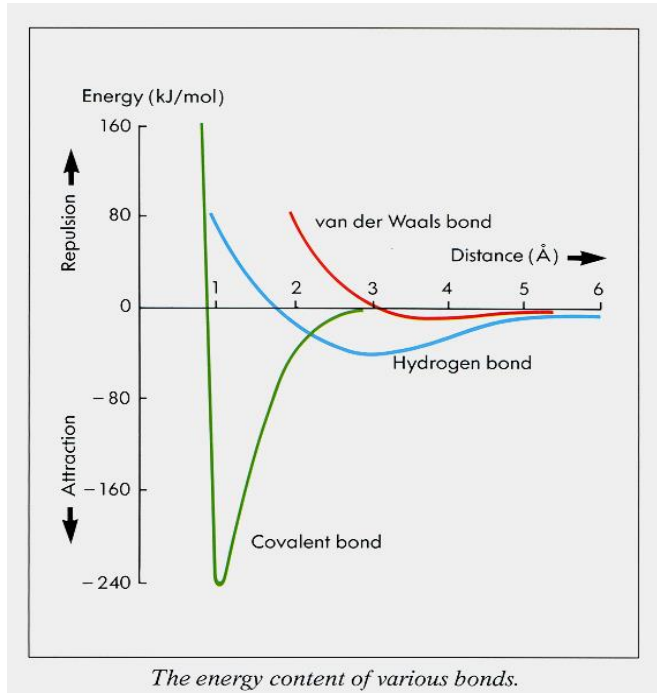
### • Interaktionskräfte

- chemische (kovalente) Bindungen: → Kohäsion
- physikalische Wechselwirkungen (van der Waals, Dipole, OH-Bündel) → 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)

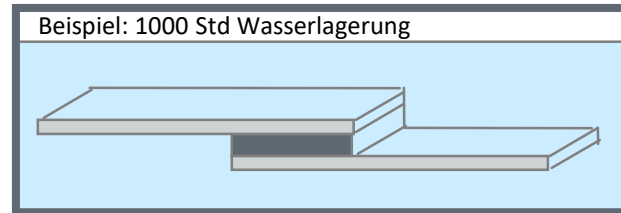
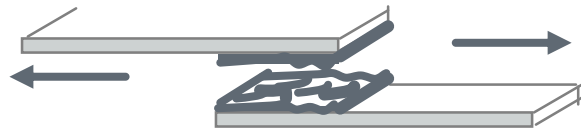


# | Grundlagen Füge­technologie Kleben

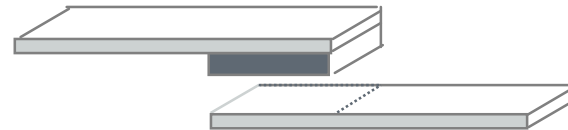
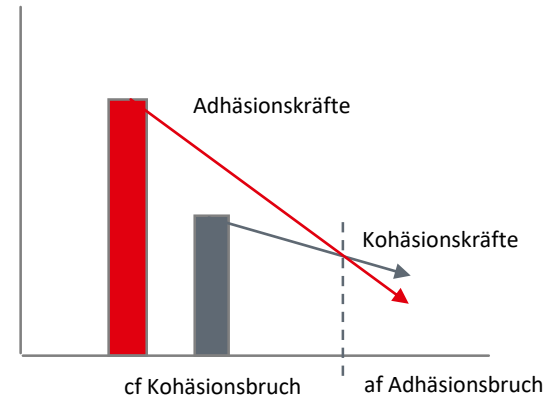
## Alterung von Klebeverbindungen

Neben statischer und dynamischer mechanischer Belastung wird Alterung beeinflusst durch:

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



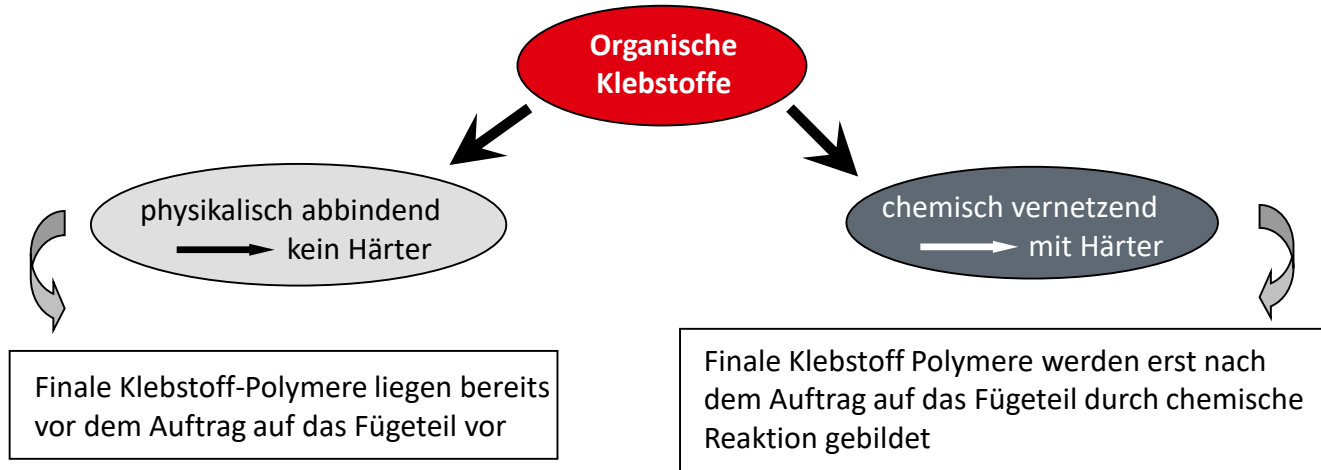
Zugscherfestigkeit



# | Grundlagen Fügetechnologie Kleben

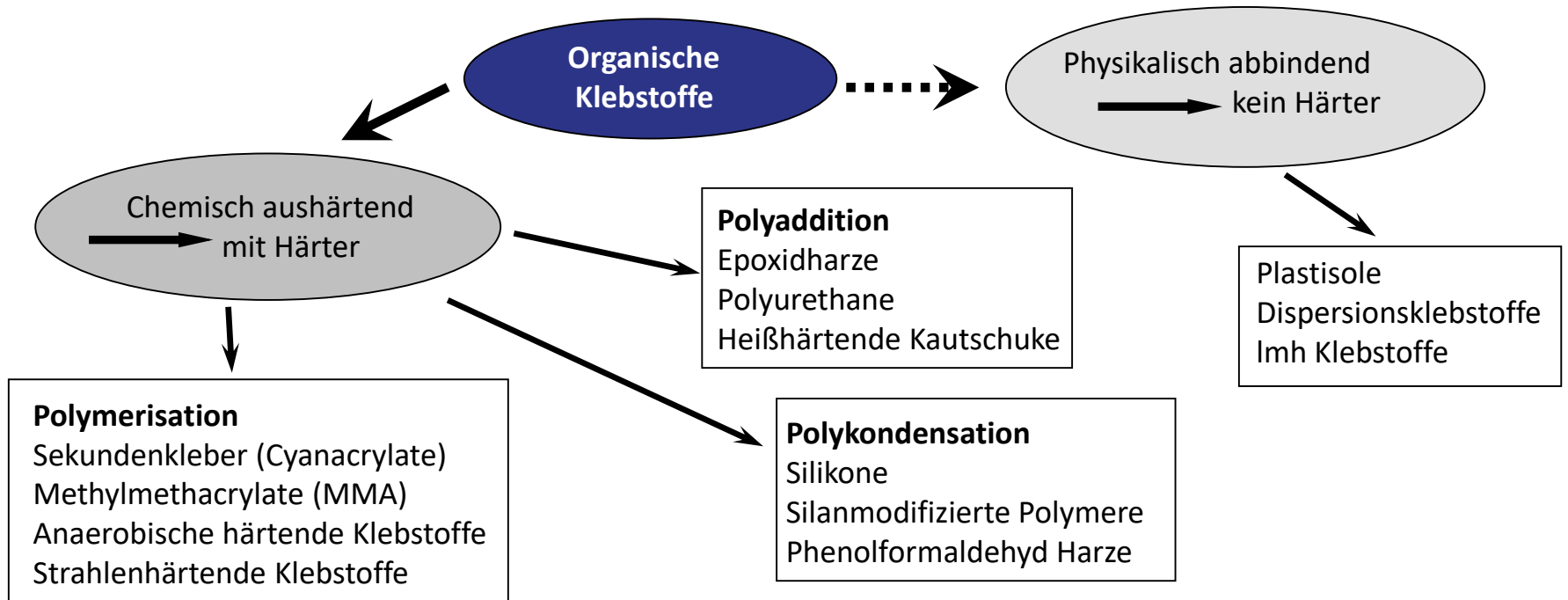
## Einteilung der Klebstoffe nach Härtungsmechanismus

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:



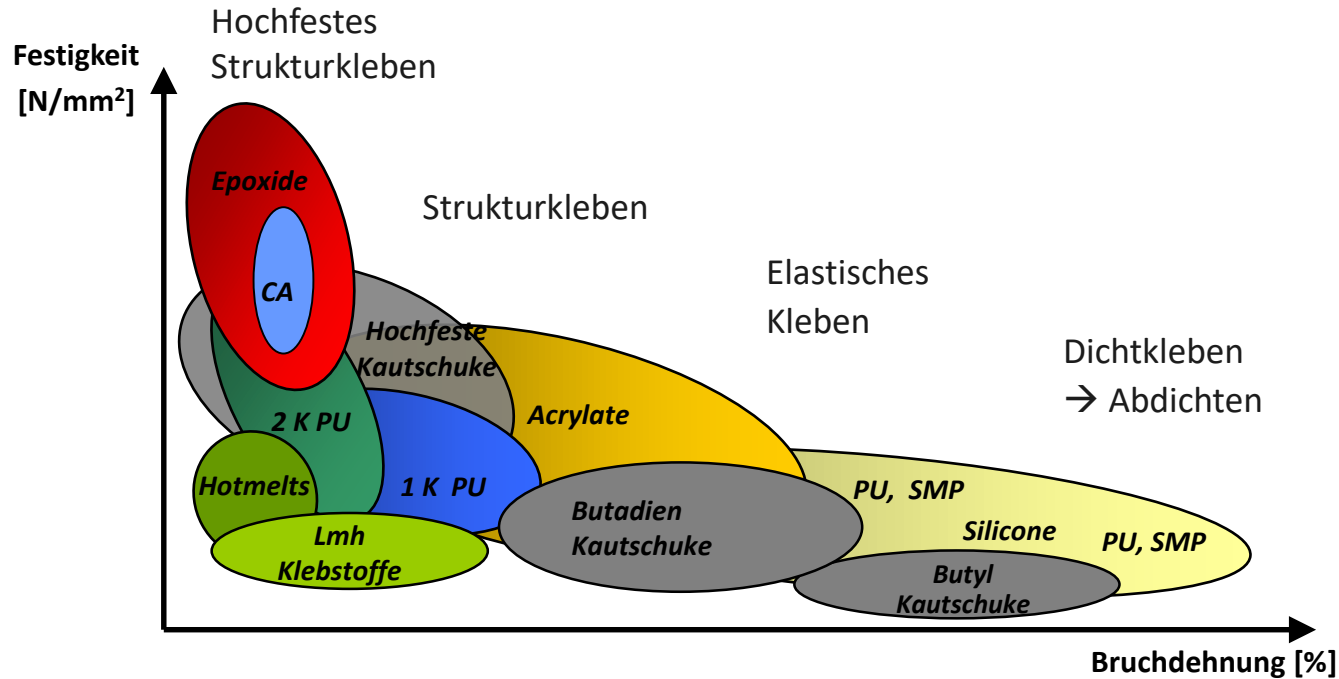
# | Grundlagen Fügetechnologie Kleben

## Einteilung der Klebstoffe nach Härtungsmechanismus



# | Grundlagen Fügetechnologie Kleben

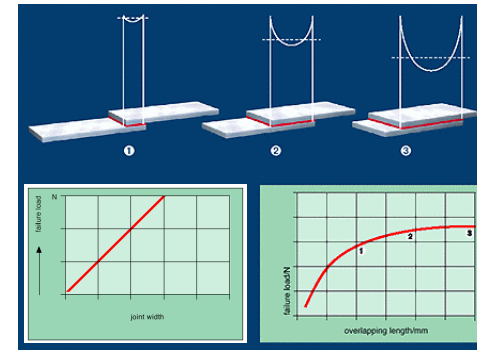
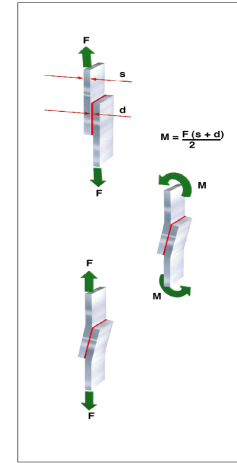
## Festigkeit und Elastizität unterschiedlicher Polymere



# Grundlagen Fügetechnologie Kleben

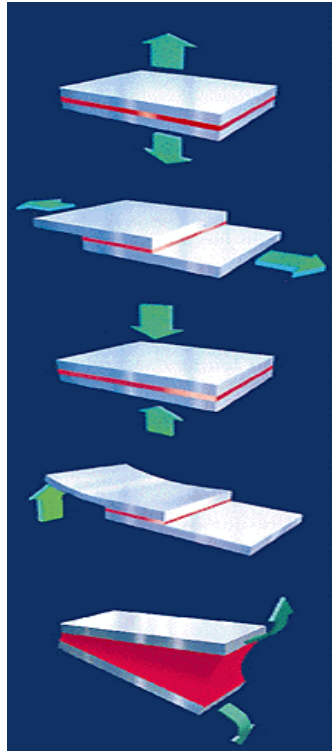
## Design mit Klebstoffen

- **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



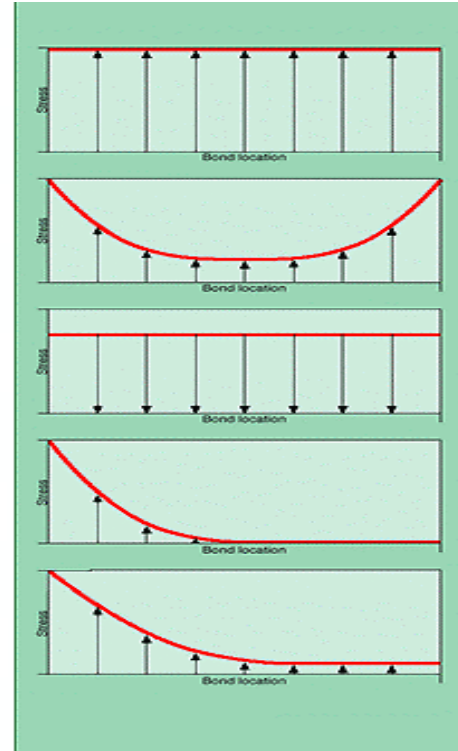
tensile

shear

compression

peel

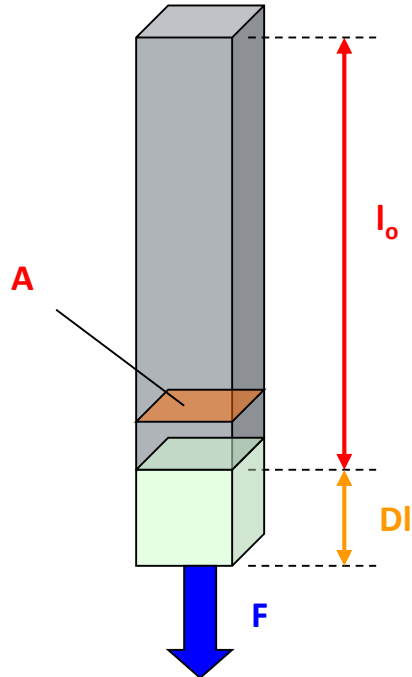
cleavage



# | 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

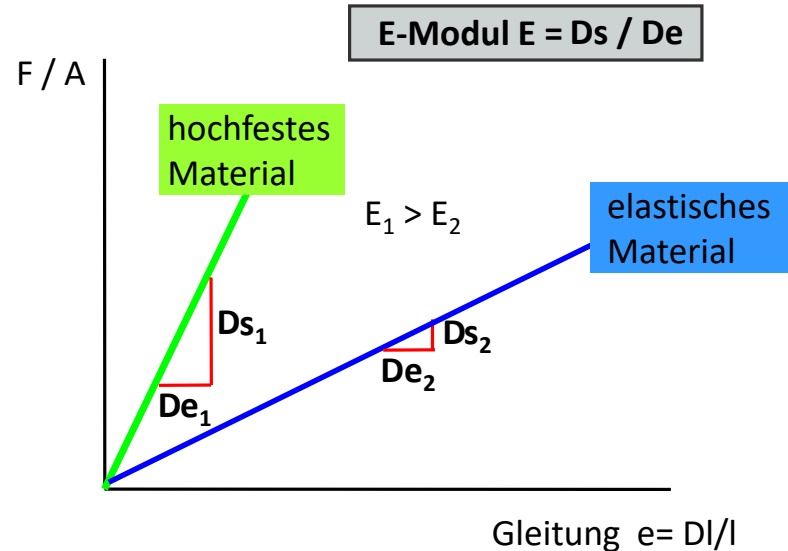
- **Annahme**

- 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

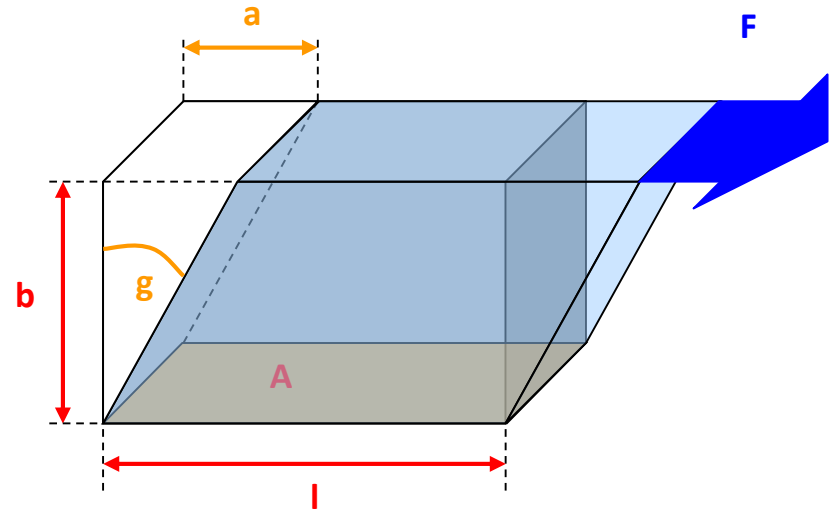
| Material                            | E-Modul           |
|-------------------------------------|-------------------|
| Stahl                               | 215000 MPa        |
| Aluminium und Aluminium Legierungen | 72000 MPa         |
| Epoxide                             | 1500 – 6700 MPa   |
| 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                       | $\tan g = \frac{a}{b}$ |
| $\tau$ 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

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

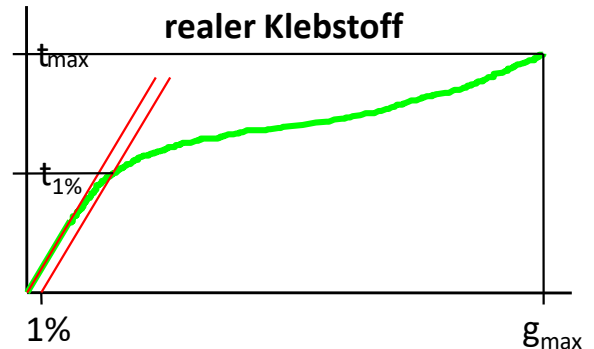
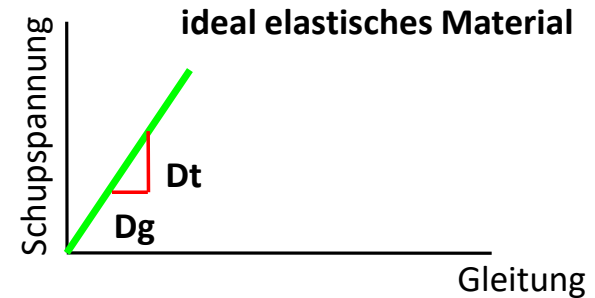
- für kleine  $\gamma$  ist  $\tan \gamma = \gamma$

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

### Anwendbarkeit

- geringe Deformation
- Isotrope Materialien

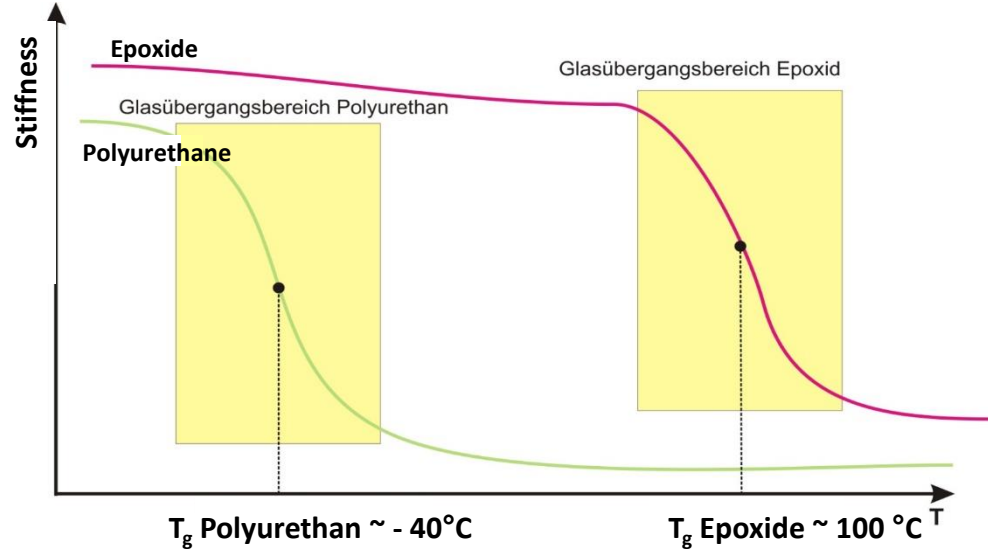
Einheiten:  $[\tau] = \frac{N}{mm^2} = MPa$ ;  $[G] = \frac{N}{mm^2} = MPa$ ;  $[\gamma] = 1$



# | Grundlagen Fügetechnologie Kleben

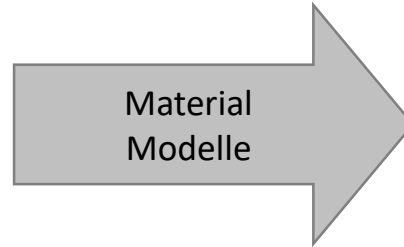
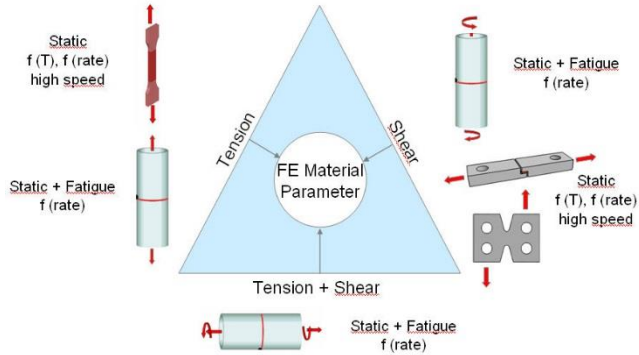
## Design mit Klebstoffen: Glasübergangstemperatur

- 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

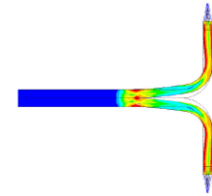


# Grundlagen Fügetechnologie Kleben

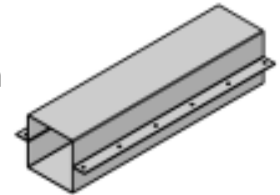
## Design mit Klebstoffen: Simulation



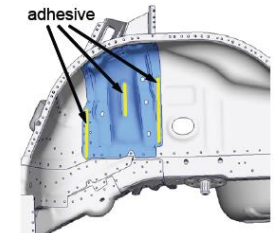
T-Peel



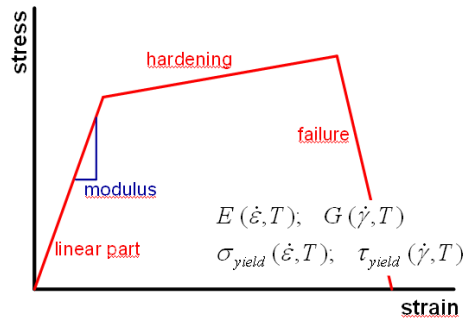
Box Beam



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

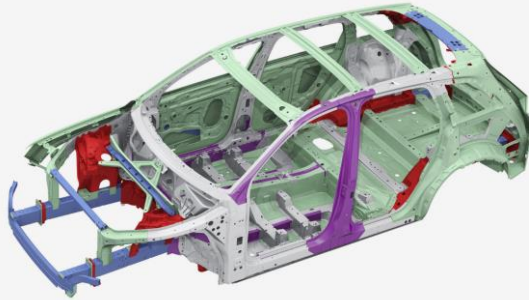
Nachhaltigkeit



# Kleben im Automobilbau

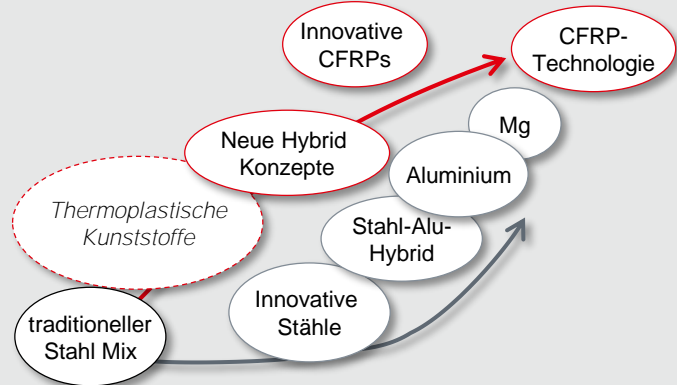
## Megatrend Leichtbau

### 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"><li>• Anbauteile</li><li>• feststehende Scheiben</li><li>• Säulen-Elemente</li><li>• Reserveradmulden</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ölwannen</li><li>• Kraftstoffsysteme</li><li>• Brennstoffzellen</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Composite Blattfedern</li><li>• Dämpfungselemente</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Fluidbehälter</li></ul>                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Armaturentafeln</li><li>• Türverkleidungen</li><li>• Mittelkonsolen</li><li>• Sitze</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Gehäuse</li><li>• Verkleidungen</li><li>• Montageträger</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Stoßfänger</li><li>• Spoiler</li><li>• Scheinwerfer, Heck- und Nebellampen</li><li>• Gummiprofile</li></ul> |

# 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

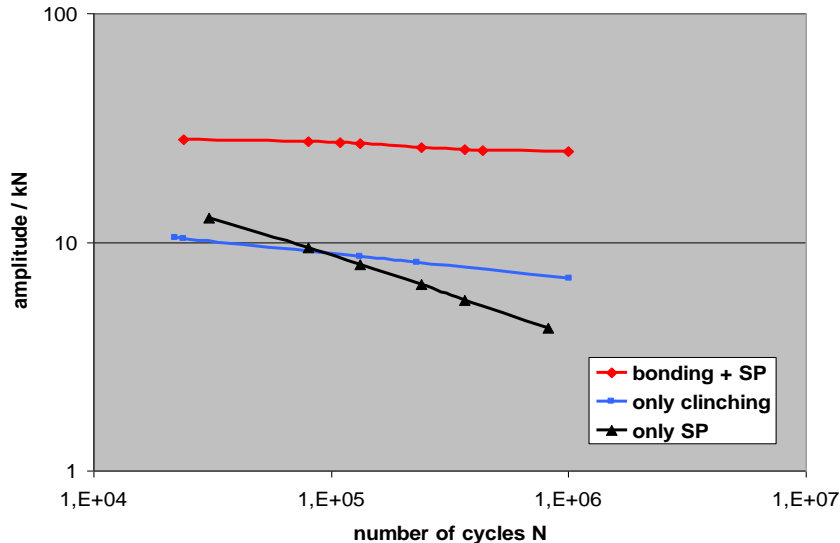
# | Agenda

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)
- Tailored Blanks
- Patchwork Strukturen
- Metall-Mischbau

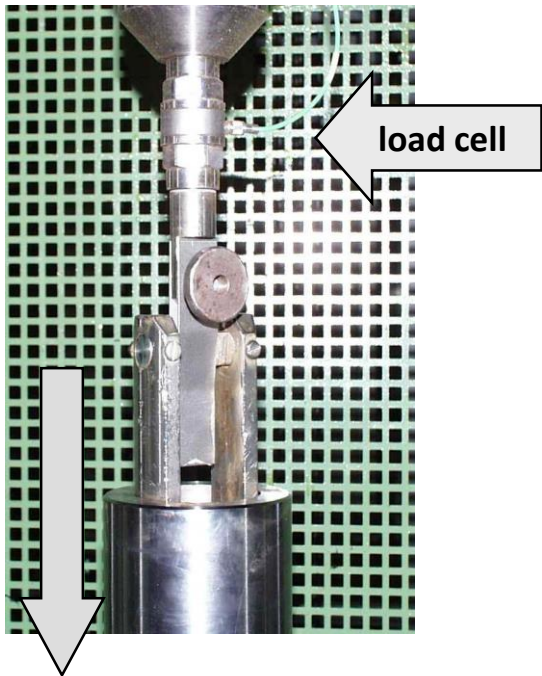
### Kleben verbindet:

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

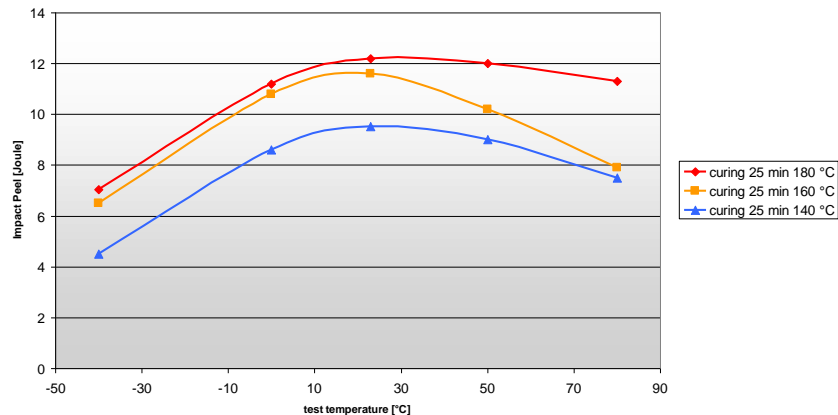
# | Anwendungsbeispiele

## Crashfeste Klebstoffe

### Servo-hydraulic Impact Test

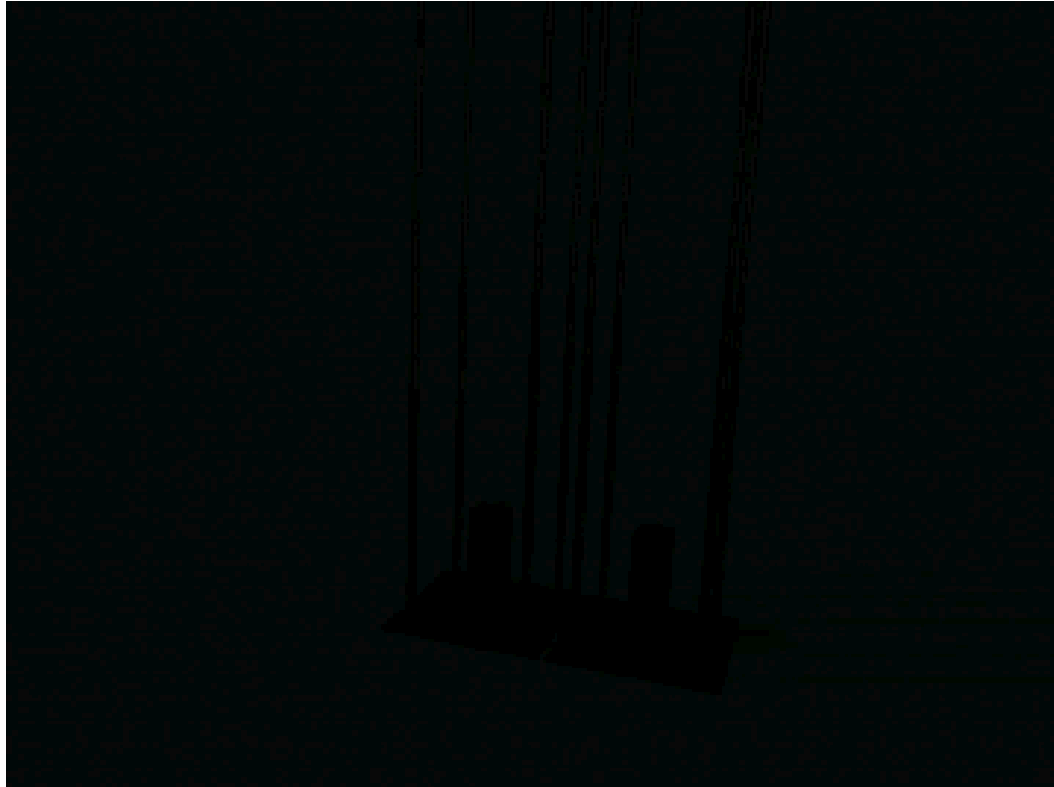


**Impact Peel (ISO 11343)**  
(AlMgSi 3,5 / BMW / 1,0 mm)



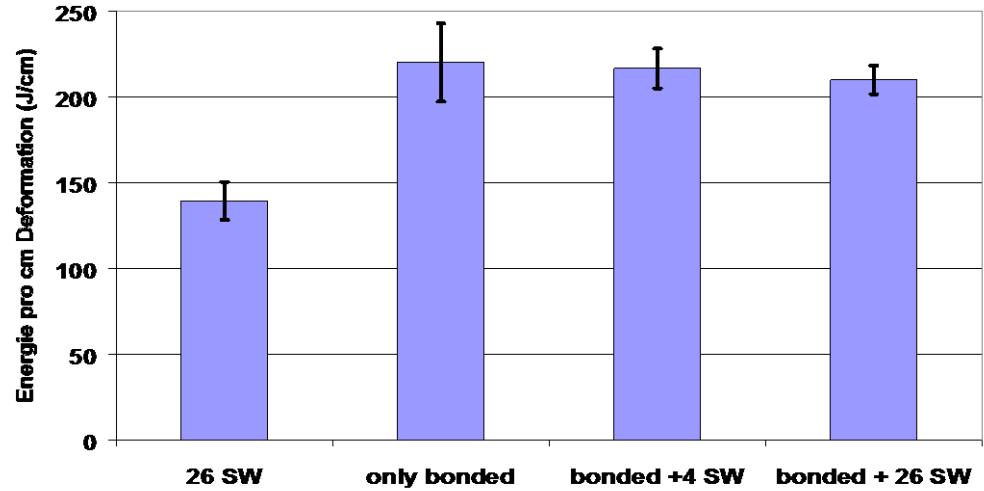
# | Anwendungsbeispiele

## 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

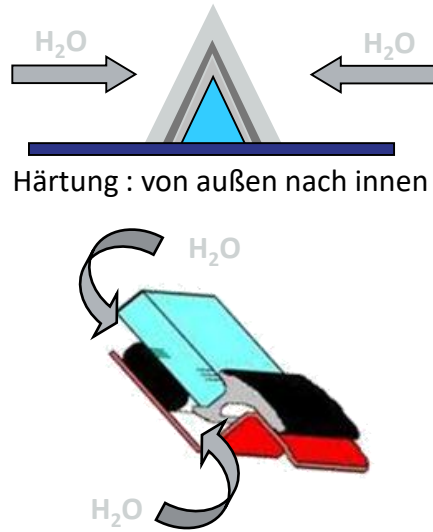
→ **Gewichtseinsparung: 27.4 kg**



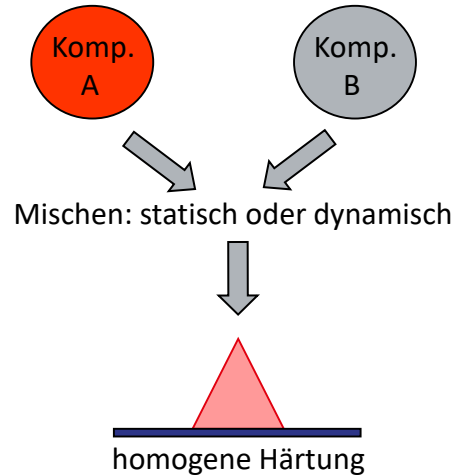
# Anwendungsbeispiele

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

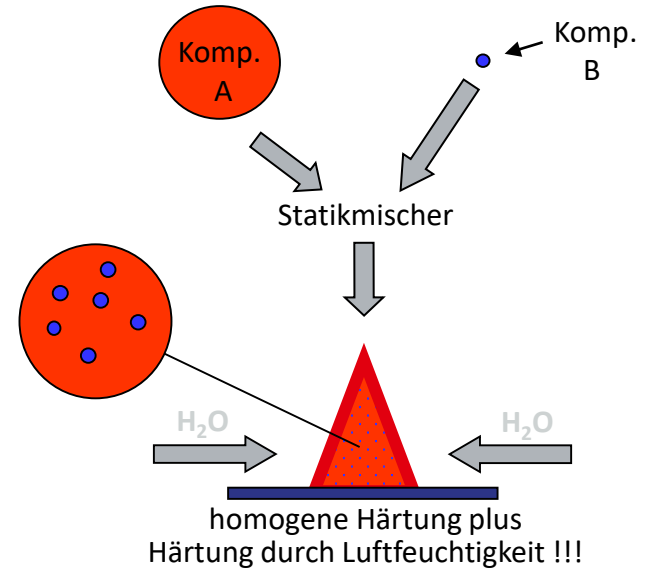
1K-System



„konventionelles“ 2K-System



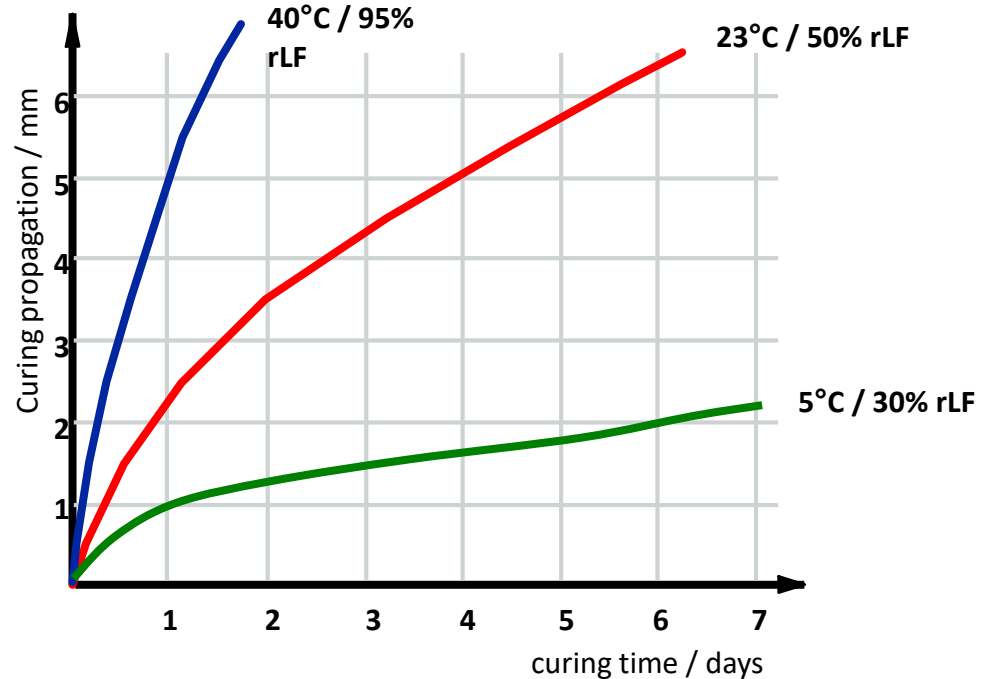
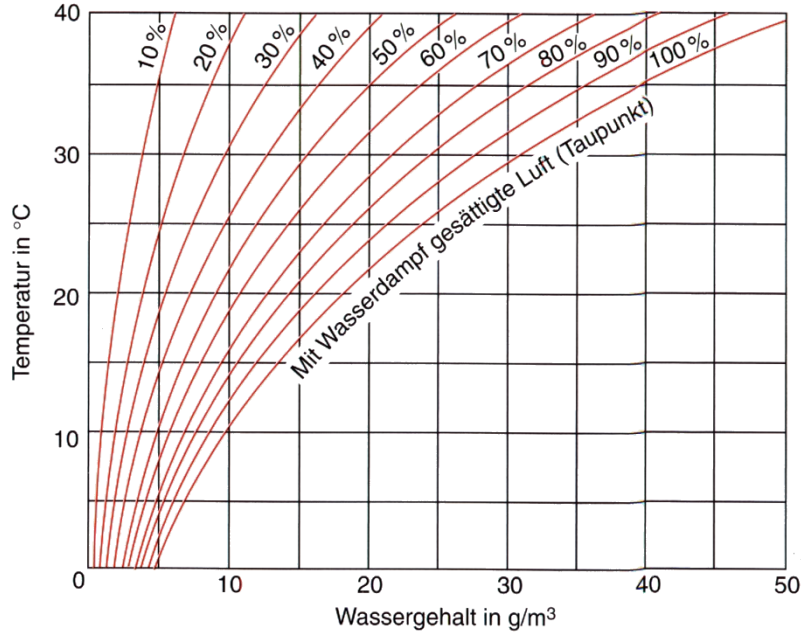
„beschleunigtes 1 K“ - System



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  $\alpha$  Problematik

Thermische Längenausdehnung

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

Beispielrechnung:

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

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

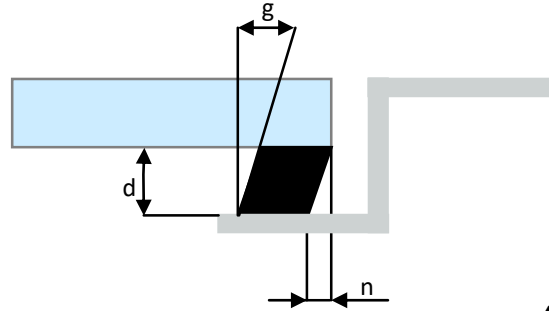
$$\text{Stahl: } \alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$$

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

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

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

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

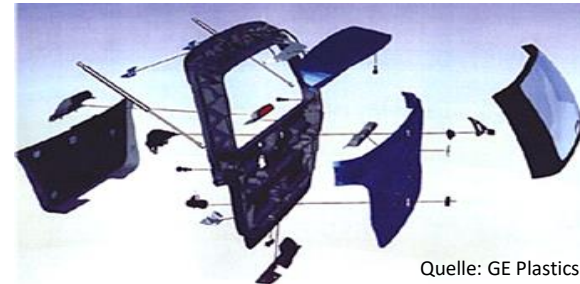
#### 1. Aktivierung

→ Flamm-Vorbehandlung der Klebezone

#### 2. Haftvermittlung

→ Primer Applikation auf den Klebezonen

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

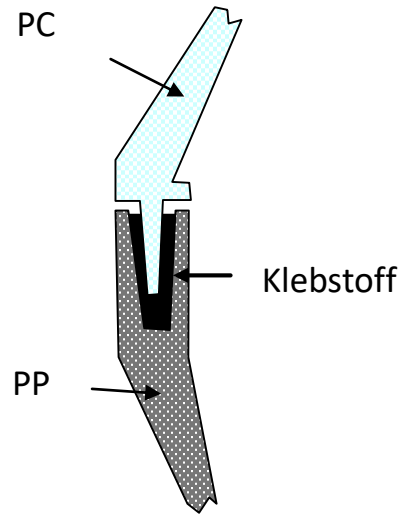


# | Anwendungsbeispiele

## Kleben von Frontscheinwerfer Modulen

### Scheinwerfer-Verklebung

Xenon, Halogenlampen, LED's



### Anforderungen:

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

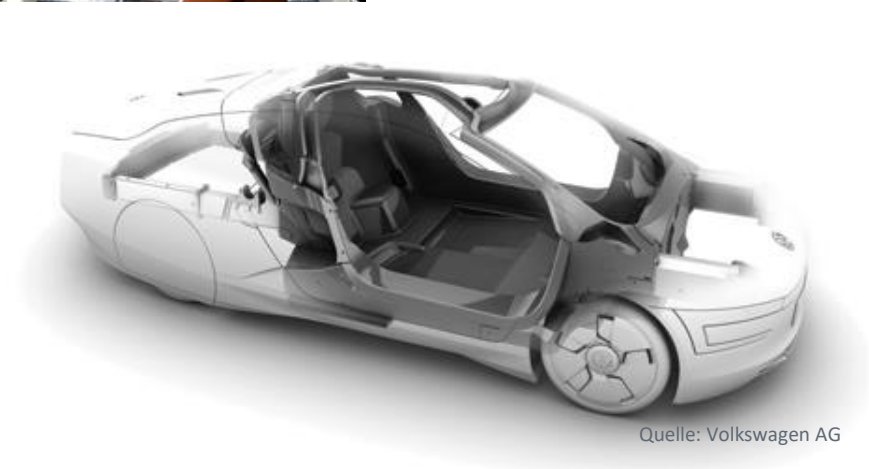
### Technologien:

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



# | Anwendungsbeispiele

## Integration von Hochleistungs-Composites



Quelle: Volkswagen AG



# | Anwendungsbeispiele

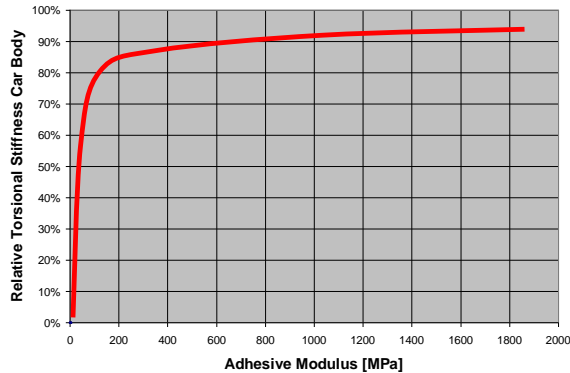
## Spezifische Anforderungen beim Kleben von Composites



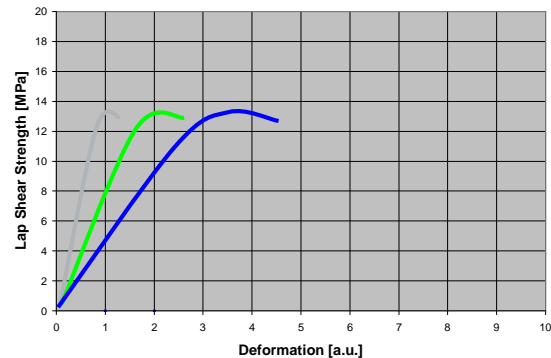
- **Selektion der Fügemethode:** (Strukturelle) Klebungen zerstören das Faser-Matrix System nicht
- **Thermische Empfindlichkeit von Composites:** schließt Standard Ofen-Prozesse aus und verlagert die Integration in den Trim
- **Steifigkeit der Composites und größere Verklebungsdicken:** ändern die mechanischen 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**

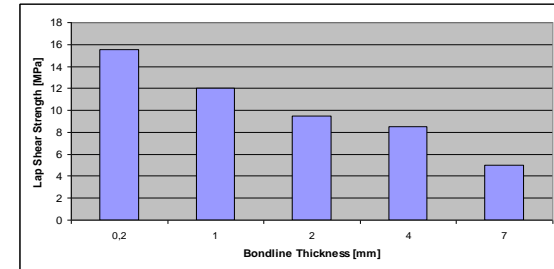
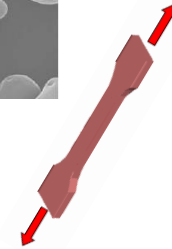
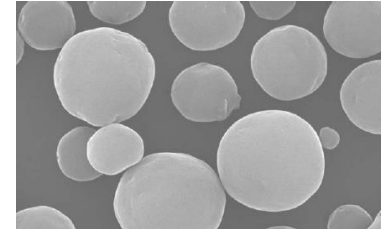
- Anfangsfestigkeit: 30 s bei 85 °C
- schnelle Härtung: 100 s bei 80 – 90 °C
- Lagerbeständigkeit: 6 Monate
- Härtung via Induktion, Infrarot oder Ofenprozess

### ➤ 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**

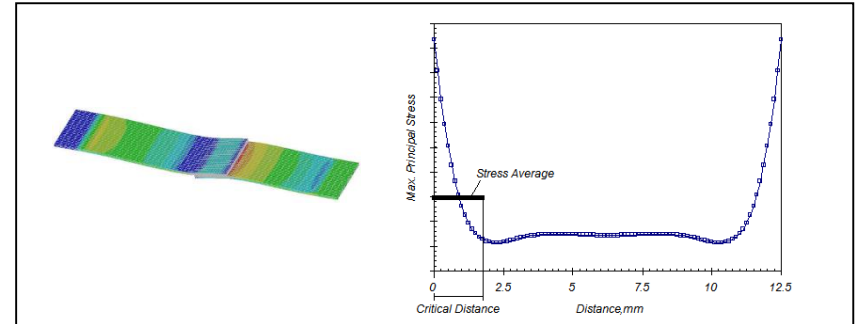
- Anfangsfestigkeit: 4 h bei 23 °C (RT)
- Finale Aushärtung: 2 d bei 23 °C / 30 min bei 90 – 100 °C

### ➤ 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

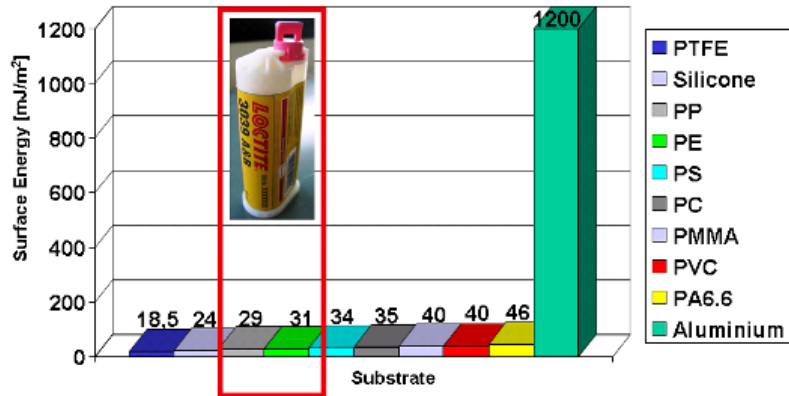
- exzellente Adhäsion zu CFRP und GFRP
- elastisches Verhalten in „CTE mismatch“ Verklebungen



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)



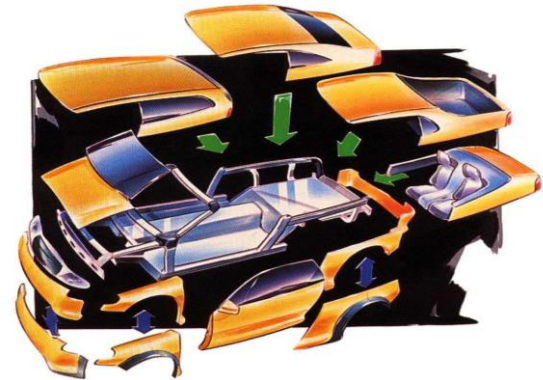
Kleben ohne Vorbehandlung durch Erzeugung chemischer Bindungen Klebstoff / Substrat

# | 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 CO<sub>2</sub> 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](mailto:peter.born@henkel.com)

