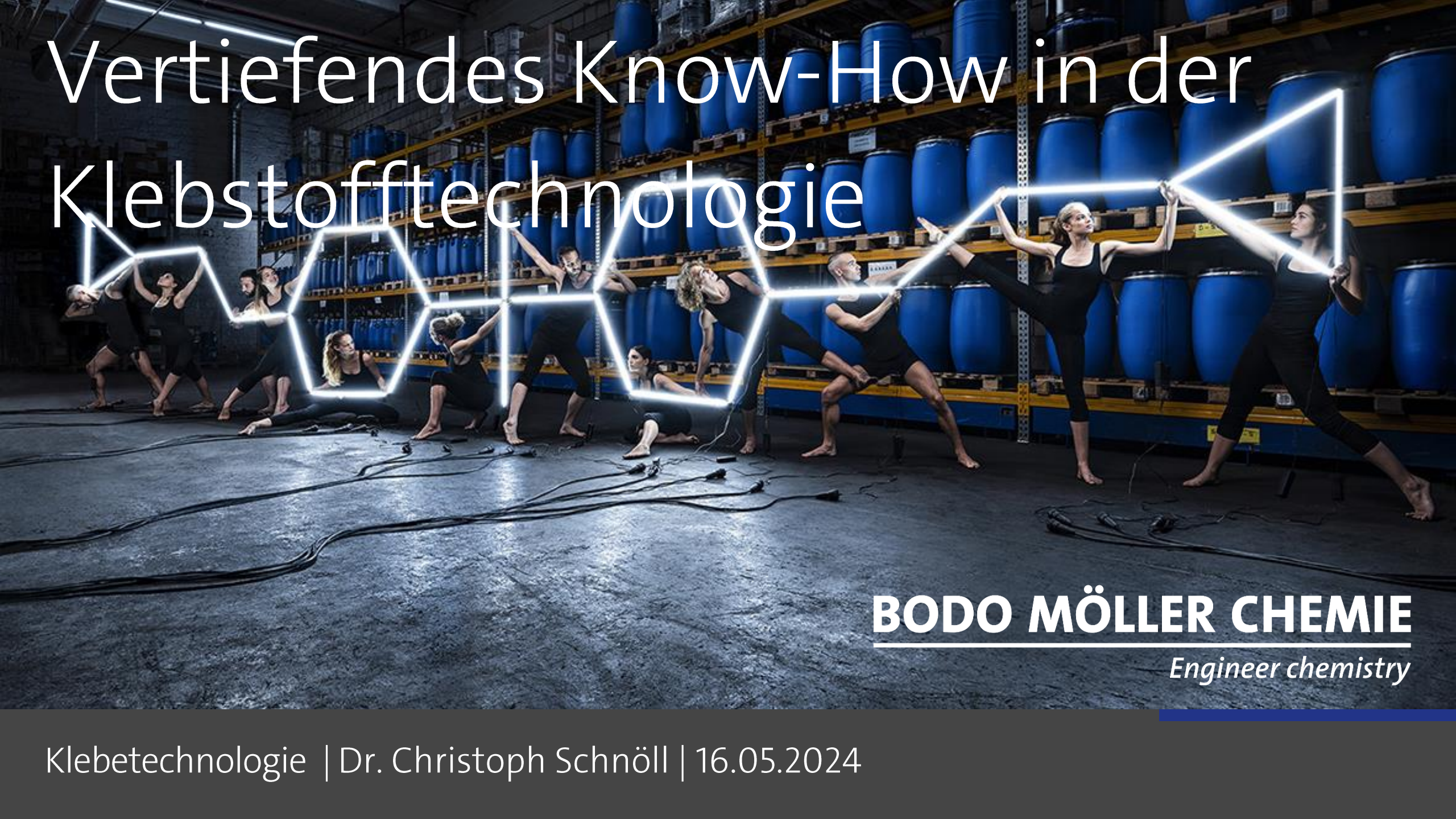


Vertiefendes Know-How in der Klebstofftechnologie

A group of dancers in black leotards are performing in a warehouse filled with blue barrels on shelves. They are holding glowing white geometric shapes (triangles and hexagons) that form a larger pattern. The scene is lit with blue and white light, creating a modern, industrial aesthetic.

BODO MÖLLER CHEMIE

Engineer chemistry

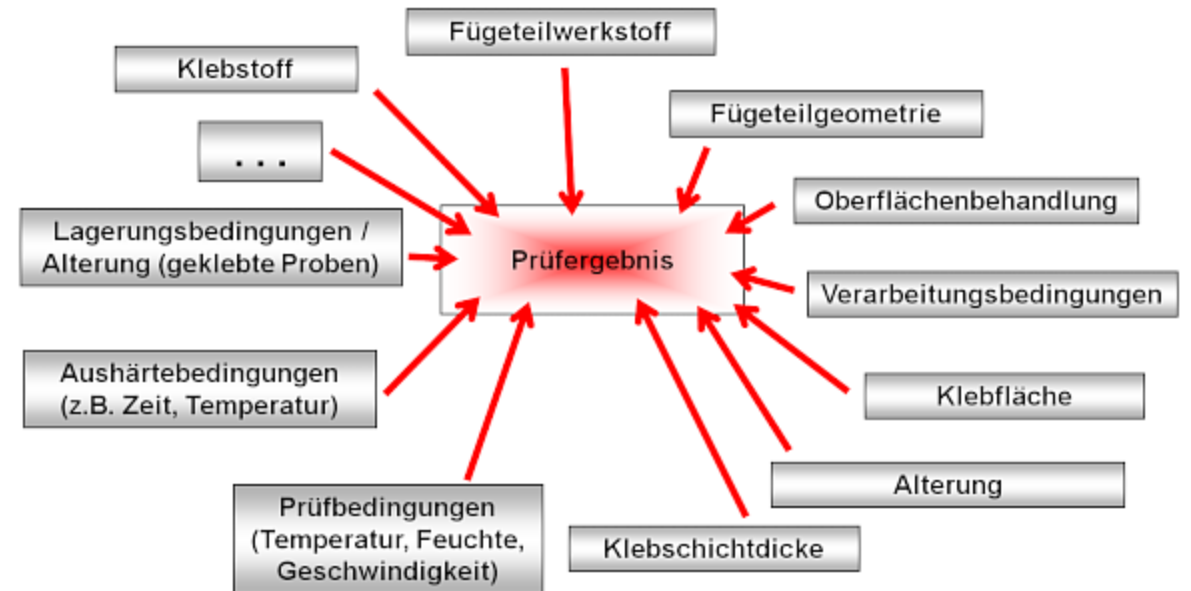
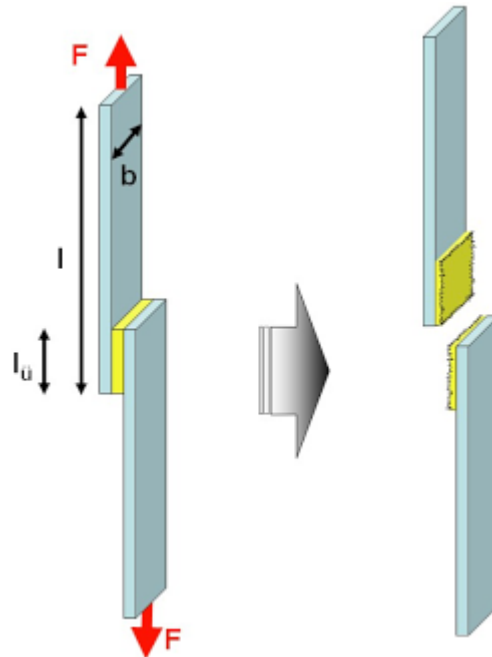
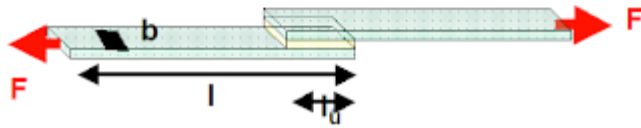
Klebertechnologie | Dr. Christoph Schnöll | 16.05.2024

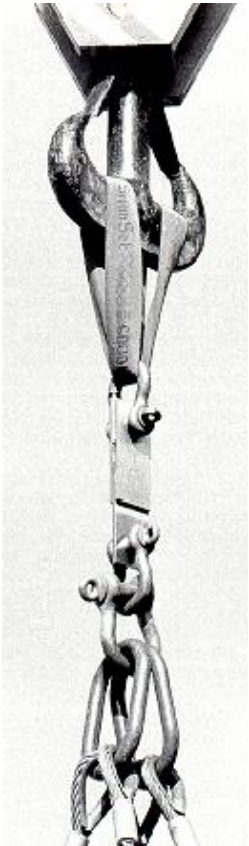
Erhöhung der Belastung bis zum Bruch
→ $F_{\max}$

Verbundfestigkeit = Zugscherfestigkeit:

$$\tau_{\text{Verbund}} = \frac{F_{\max}}{l_u \cdot b}$$

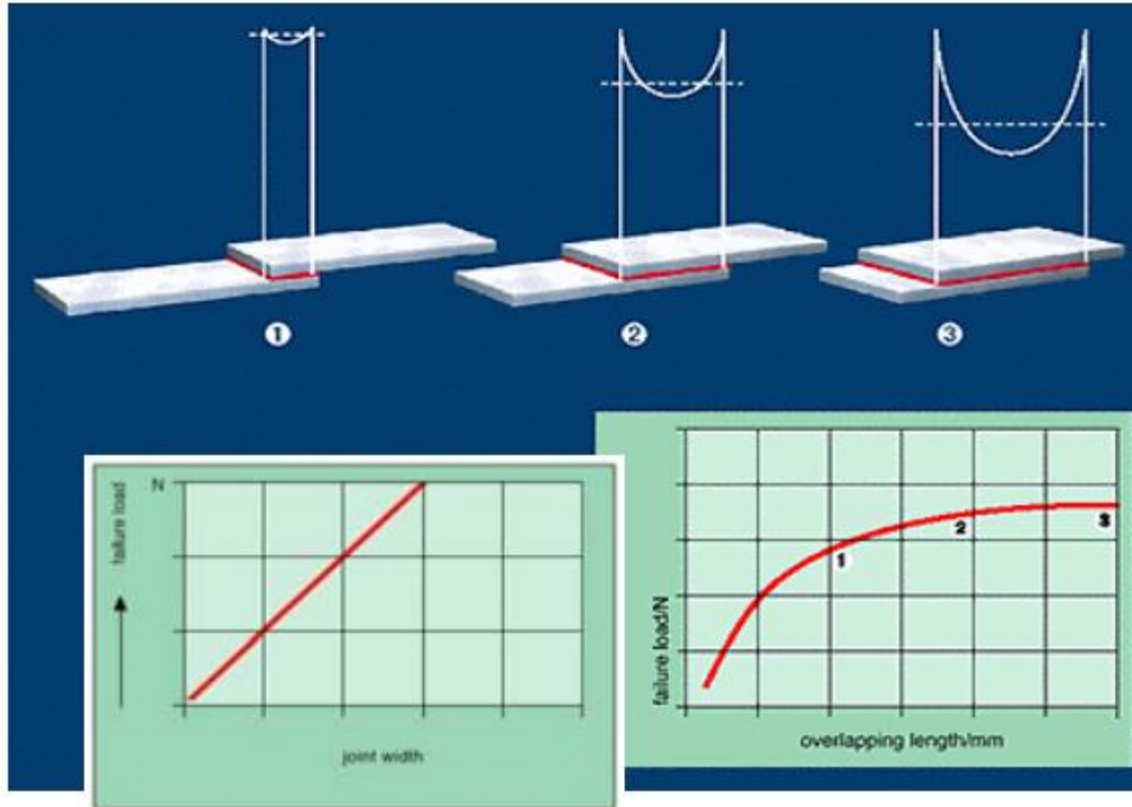
Einheit: $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{MPa}$





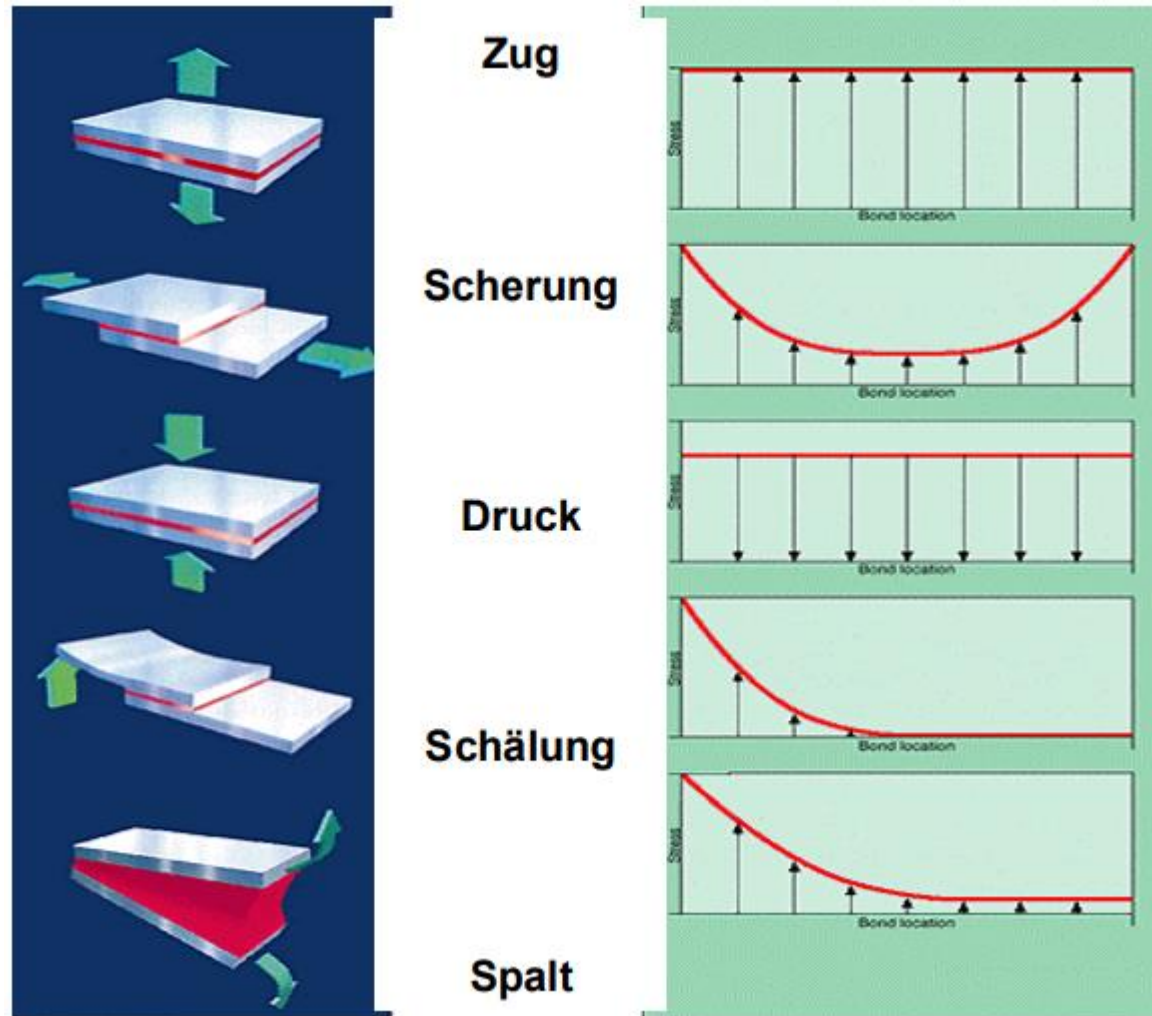
Zusammenhang Klebefestigkeit / Verklebungsfläche

- Zugscherfestigkeit ist proportional zur Überlappungsbreite
- Zugscherfestigkeit versus Überlappungslänge
 - ZSF ist nicht generell proportional zur Überlappungslänge
 - Erreicht ein Maximum: Optimale Überlappungslänge
 - Nimmt dann nicht weiter zu oder fällt ab!
- Zusätzliche Spannungsspitzen durch ungleichmäßige Dehnung der Fügeteile unter Spannung
- hängt dann auch von der Substratdicke ab
- Vorteilhaft: E-Modul Klebstoff kleiner als E-Modul Substrat

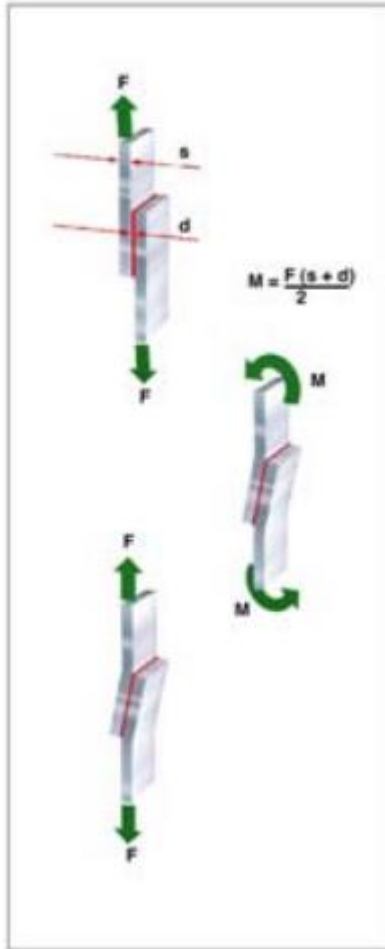


schlecht:
lange, schmale Überlappung

gut:
breite, kurze Überlappung



Quelle: KIT_Vorlesung_Teil1_100625_Dr. Wolfgang Fleischmann



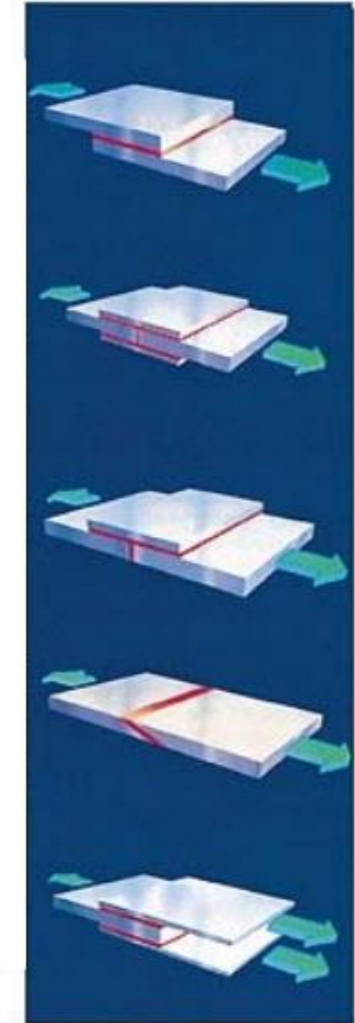
Einfache Überlappung
= gut

Doppelte Laschung
= sehr gut

einfache Laschung
= gut

30° Schäftung
= sehr gut

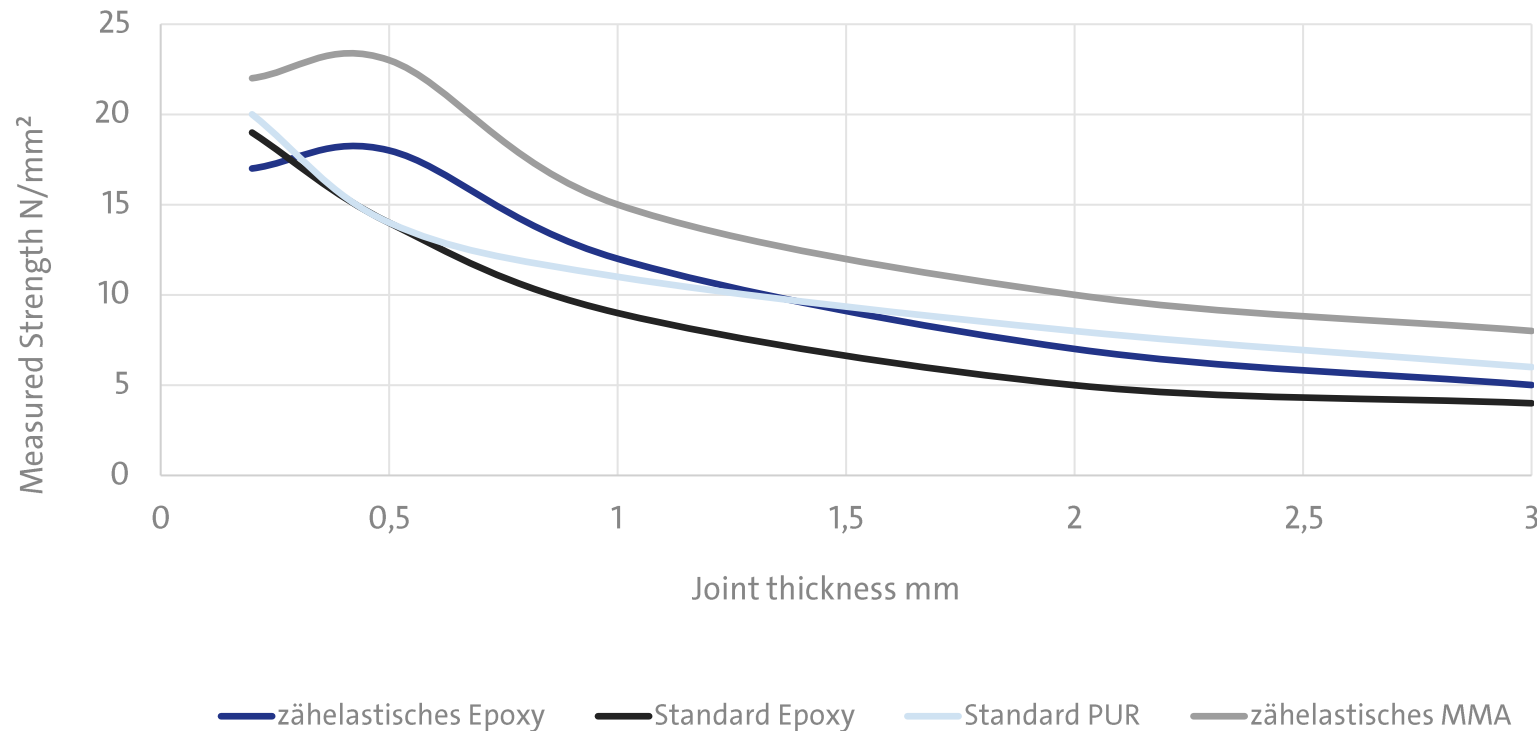
Doppelte Überlappung
= gut



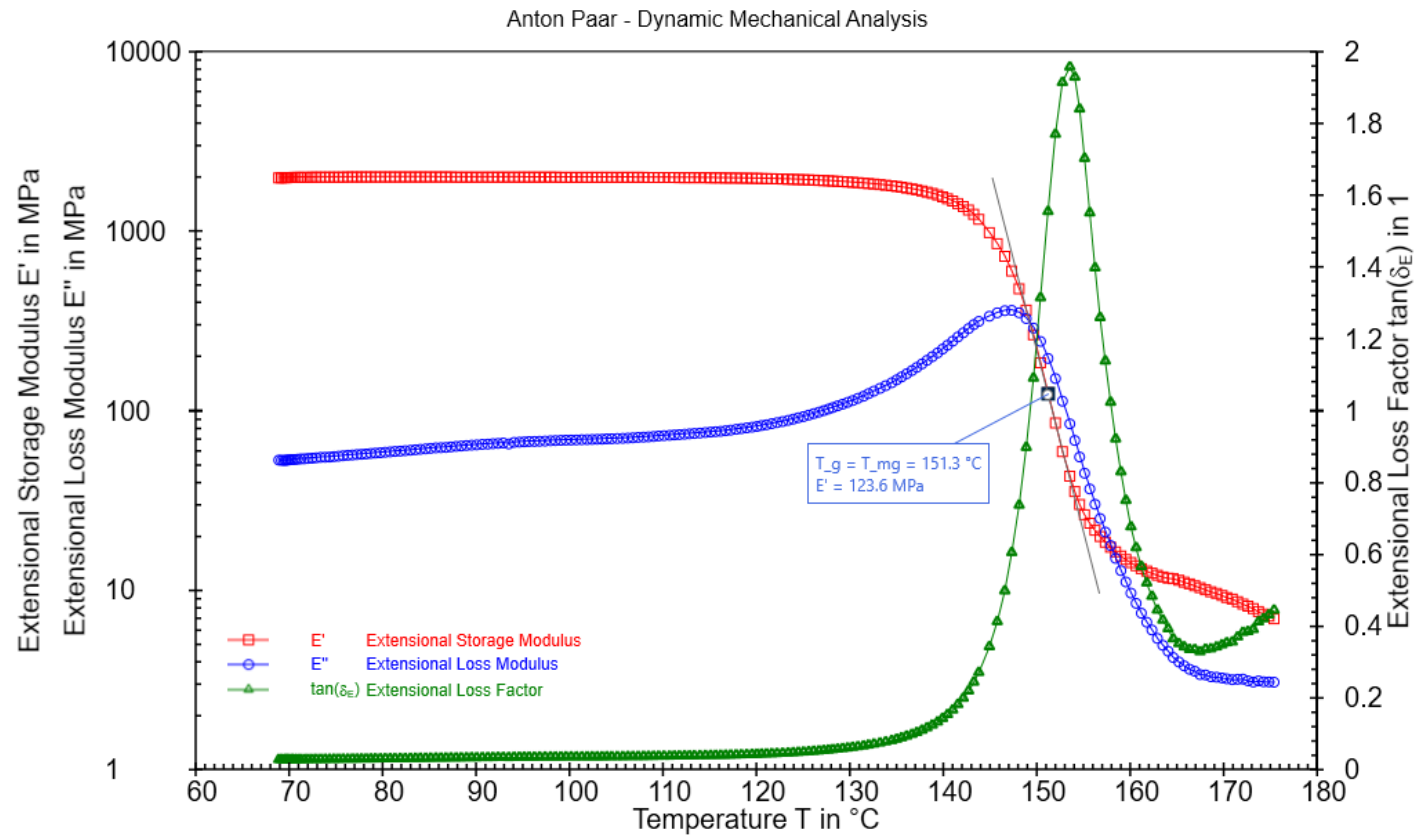
Quelle: KIT_Vorlesung_Teil1_100625_Dr. Wolfgang Fleischmann

Dicke der Klebefuge vs. Zugscherfestigkeit

- Höchste Zugscherfestigkeit wird erreicht mit dünnen Klebschichten
- Dickere Schichten: Biegemoment, Lufteinschlüsse, Schrumpfspannungen



Übergang von amorphen glasartigen in gummielastischen Zustand

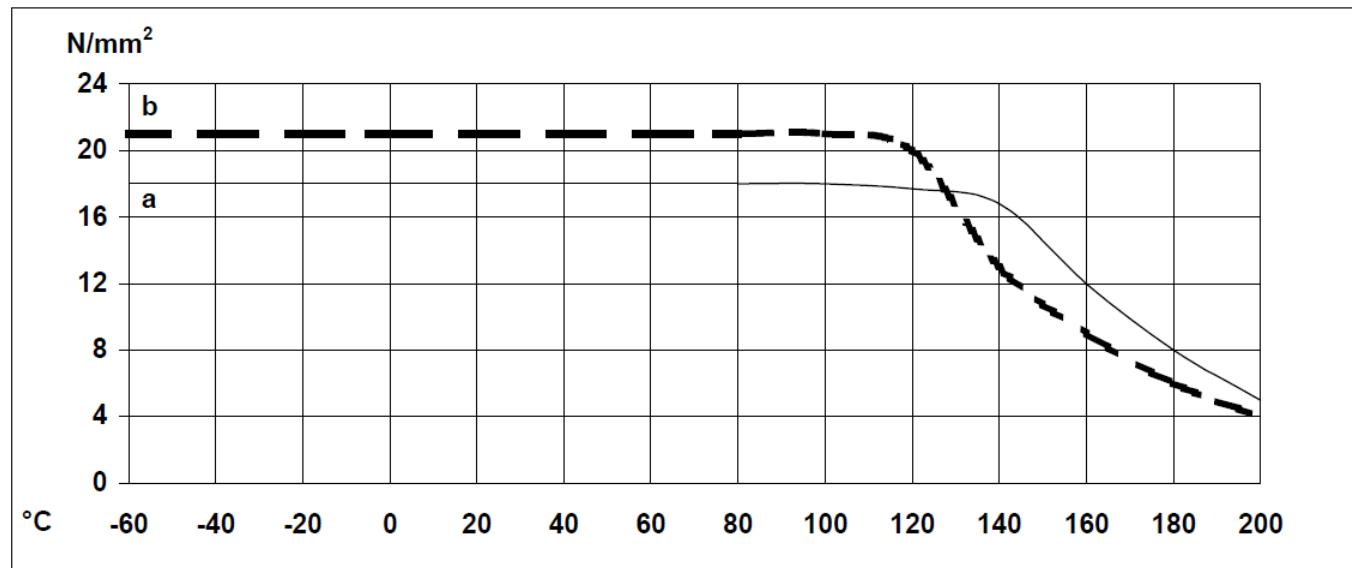


Quelle: https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:2019-10-17_20_23_45-DMA_Reference_Measurements_Linear_Drive_-_Anton_Paar_RheoCompass%E2%84%A2.png

- Abhängig von Aushärtung Glasübergangstemperatur (T_g), Grad der Vernetzung und Polymeraufbau
- Kein normiertes Prüfverfahren. Definition variiert von Hersteller zu Hersteller
Huntsman: 1/3 der ZSF bei 23 ° Coder min 5 MPa

Lap shear strength versus temperature (ISO 4587) (typical average values)

Cure: (a) = 24 hours at 23°C + 1 hour at 130°C (ACB shotblast); (b) = 30 minutes at 100°C (L165, pickled)



- Fokusthema
- Strukturelle Verklebung für langfristige Verbindung
- Duroplastische Klebstoffe können nicht aufgelöst oder geschmolzen werden

➔ Neue innovative Konzepte müssen entwickelt werden

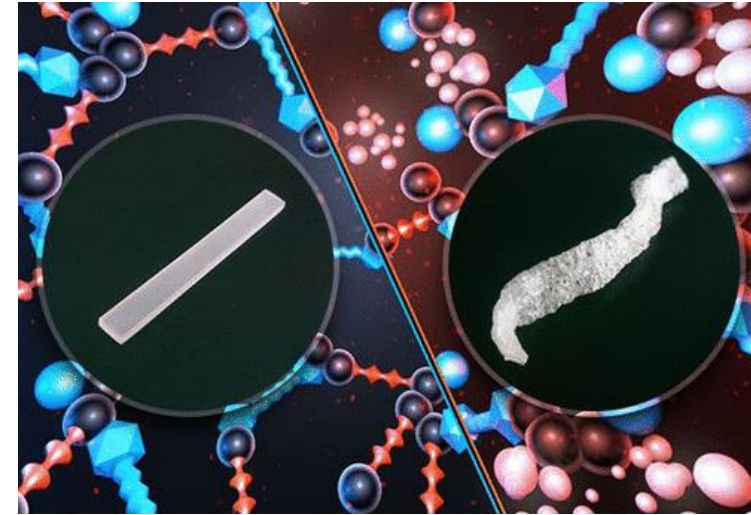


- Strukturelle Verklebung mit Langzeit Hochleistungs-Eigenschaften.

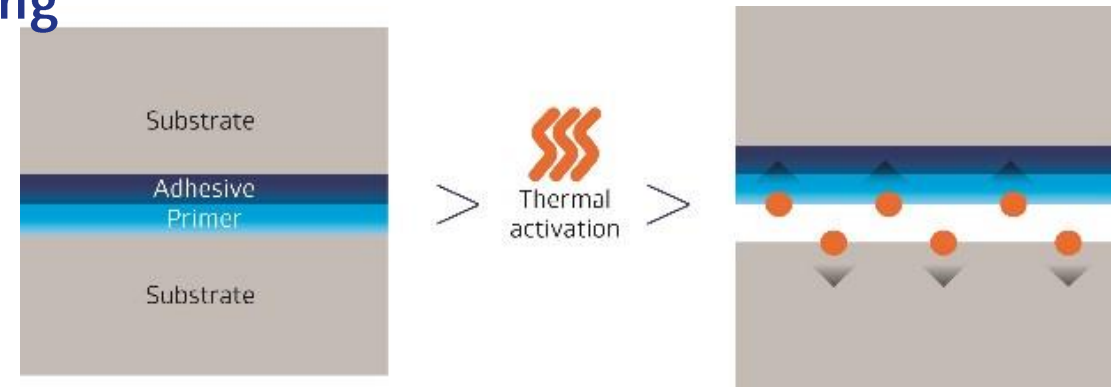
Und

- Einfaches Debonding um Reparatur und Recycling zu ermöglichen

Debonding on Demand



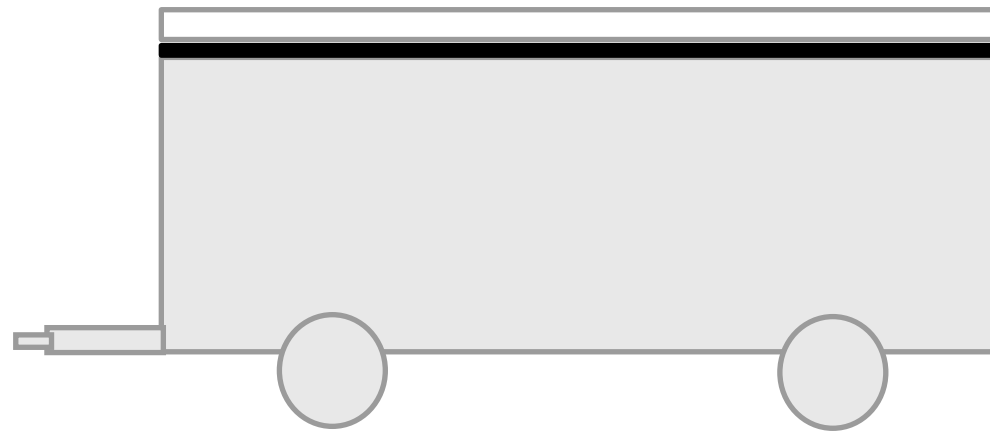
Primer ermöglicht DoD via thermisch induzierter Gasbildung



Source: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.macromol.7b02321> <https://designetics.com/blog/everything-you-need-to-know-about-adhesive-bonding-primers/>
<https://rescoll.fr/indar-debonding-innovation-by-rescoll-to-enhance-repairability-index/>



- Aufgabe 1



-  GFK-Dach
-  Klebstoff
-  Stahlrahmen

- Verklebung eines GFK-Daches auf einem Stahlrahmen
- Das Dach ist nicht zusätzlich fixiert, kann sich zu beiden Seiten verschieben
- Länge 4000 mm
- Verklebetemperaturbereich: $T_0 = 15\text{ °C} - 25\text{ °C}$
- Einsatztemperaturbereich: $T_{\min} = -40\text{ °C}$, $T_{\max} = 80\text{ °C}$ $\Rightarrow \Delta T = 65\text{ K}$
- Längenausdehnungskoeffizienten:
 - $\alpha_{\text{Stahl}} = 12 \times 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ $\alpha_{\text{GFK}} = 30 \times 10^{-6}\text{ K}^{-1}$
- Bruchgleitung aus TDS und zulässige Gleitung für die Auslegung:
 - $\tan \gamma_{\text{TDS}} = 400\%$ $\tan \gamma_{\text{zul}} = 0,1 \times \tan \gamma_{\text{TDS}}$ Randbedingung
- Frage: Wie dick muß die Klebschicht $d_{\min}$ sein, damit die maximal zulässige Gleitung von 10 % der im Datenblatt angegebenen Bruchgleitung von 400 % auftritt?

$$\Delta l = l_0 \times \alpha \times \Delta T$$

$$\Delta l_{\text{GFK}} = 4000 \text{ mm} \times 30 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \times 65 \text{ K} = 7,8 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{\text{Stahl}} = 4000 \text{ mm} \times 12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \times 65 \text{ K} = 3,1 \text{ mm}$$

$$\Delta l = (7,8 \text{ mm} - 3,1 \text{ mm}) : 2 = 2,35 \text{ mm}$$

$$\tan \gamma_{\text{zul}} = 0,1 \times \tan \gamma_{\text{TDS}} = 0,1 \times 400 \% = 40 \%$$

$$\tan \gamma_{\text{zul}} = \Delta l : d_{\text{min}}$$

$$d_{\text{min}} = \Delta l : \tan \gamma_{\text{zul}}$$

$$d_{\text{min}} = 2,35 \text{ mm} : 0,4 = 5,9 \text{ mm}$$



- **Fehleranalyse: Ein runder Glastisch ist gebrochen**
- Die Platte wurde mit UV-härtendem Acrylklebstoff auf einem Aluminiumfuß verklebt, Klebespalt $d = 100 \mu\text{m}$
- Bruchgleitung im TDS ist: $\tan \gamma_{\text{TDS}} = 20\%$
- Der Durchmesser der Tischplatte ist 0,9 m, der des Fusses 0,1 m
- Der Glaser war besorgt, daß die Platte brechen könnte, da der Fuß so klein war und hat eine Platte mit einem Durchmesser von $l_0 = 0,2 \text{ m}$ aufgelötet, bevor er die Glasplatte darauf geklebt hat, die Verklebetemperatur lag bei $T_0 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$
- Der Tisch stand in der Sonne, die Temperatur war $45 \text{ }^\circ\text{C}$, also ist $\Delta T = 27 \text{ K}$
- Längenausdehnungskoeffizienten:
 - $\alpha_{\text{Alu}} = 23 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ $\alpha_{\text{Glas}} = 9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- Frage: Warum ist der Glastisch in der Sonne gebrochen?

$$\Delta l = l_0 \times \alpha \times \Delta T$$

$$\Delta l_{\text{Alu}} = 200 \text{ mm} \times 23 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \times 27 \text{ K} = 0,1242 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{\text{Glas}} = 200 \text{ mm} \times 9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \times 27 \text{ K} = 0,0486 \text{ mm}$$

$$\Delta l = (0,1242 \text{ mm} - 0,0486 \text{ mm}) : 2 = 0,0378 \text{ mm}$$

$$\tan \gamma_{\text{TDS}} = 20 \%$$

$$\tan \gamma_{\text{Tisch}} = \Delta l : d = 0,0378 \text{ mm} : 0,1 \text{ mm} = 0,378 = 37,8 \%$$

**Die Klebung erfuhr fast das Doppelte der Gleitung aus dem TDS.
Folge: der Tisch ist gebrochen.**

Optimierungsmöglichkeiten:

Klebefläche verkleinern (10 cm hätten ausgereicht, um unter der zulässigen Gleitung zu bleiben)

Andere Substrate verwenden ($\alpha_{\text{Stahl}} = 12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)

Anderen Klebstoff verwenden (höhere zulässige Gleitung, also elastischer)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Dr. Christoph Schnöll
Dipl.-Ing. | European Adhesive Engineer EAE

Vice President of Technology

Bodo Möller Chemie GmbH
Senefelderstraße 176
D-63069 Offenbach am Main

Mobil: +43/664/8954390
Mail: c.schnoell@bm-chemie.at
www.bm-chemie.com

