

Klebeverbindungen

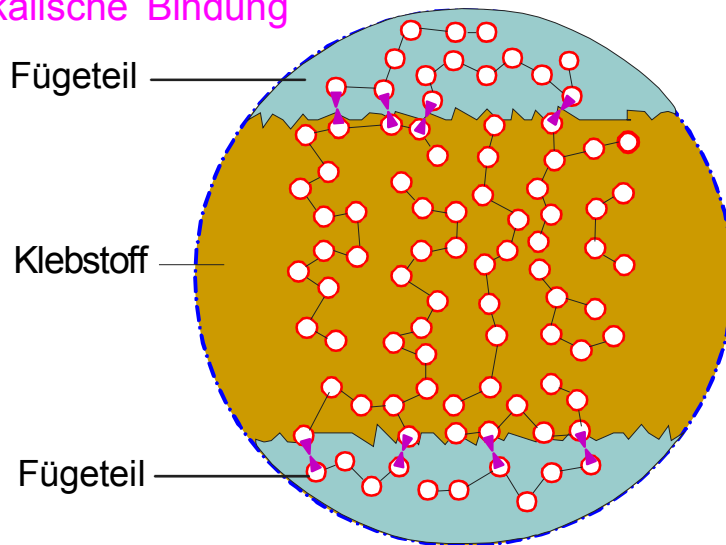
Inhaltsverzeichnis

- Einführung
- Bindekräfte beim Kleben
- Klebstoffe
- Technologische Bindungen
- Gestaltung von Klebeverbindungen
- Anforderungen an die Konstruktion
- Berechnung von Klebeverbindungen
- Schlußbetrachtungen

VDI-Richtlinie 2229 Metallkleben

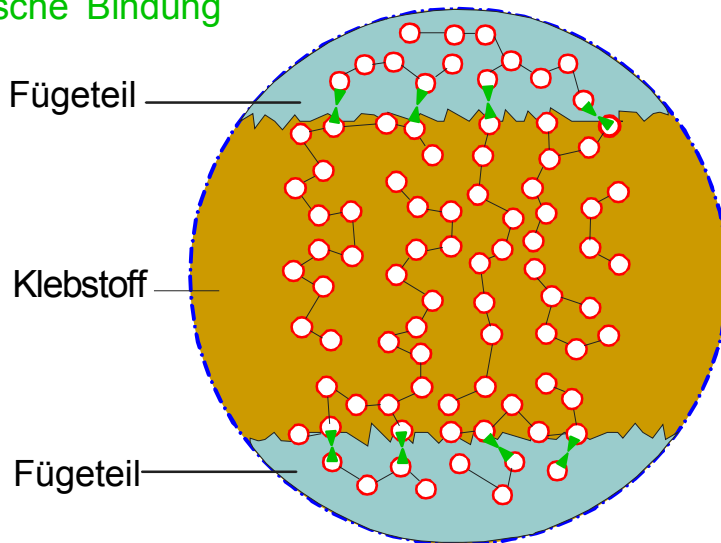
Arten von Bindungen beim Kleben

Physikalische Bindung



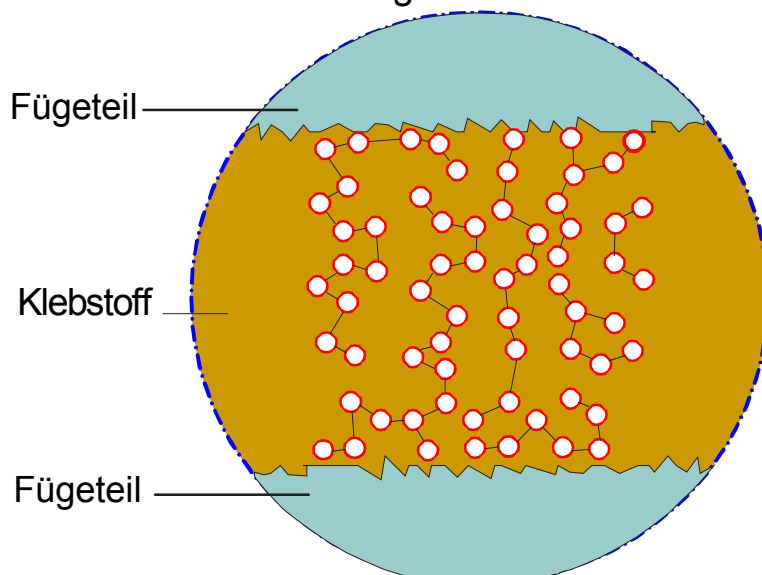
Physikalische Anziehungs- bzw. Adsorptionskräfte wirken zwischen den Atomen und Molekülen

Chemische Bindung



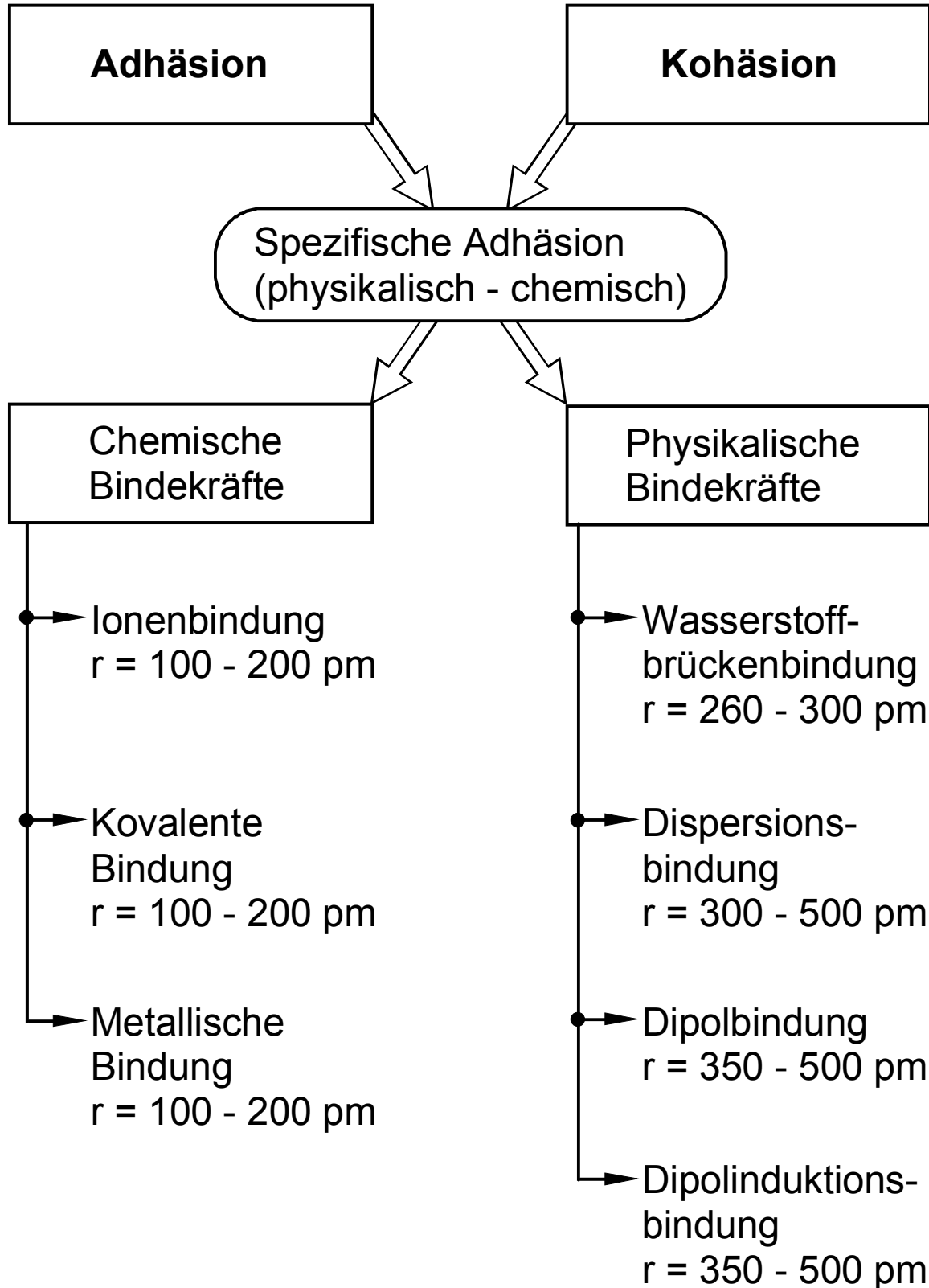
Echte chemische Bindungen wirken zwischen den Atomen und Molekülen(chem.Sorption)

Mechanische Verklammerung



Mechanische Verklammerung durch Einlagerung in die Oberflächenunebenheiten

Bindefräfte beim Kleben



Klebstoffe

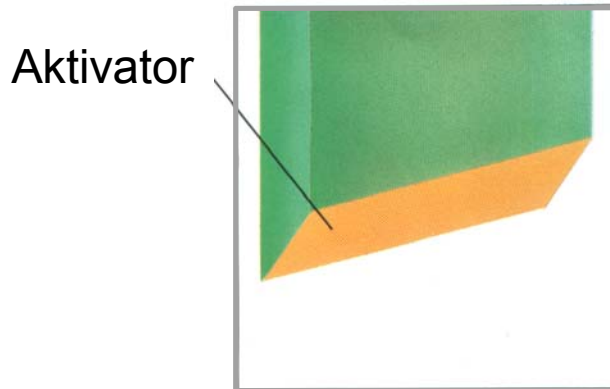
Basiskunststoffe

- Kunstharze
- Kunstkautschuke
- Polyurethane/Cyanate
- Silikone
- Acrylate

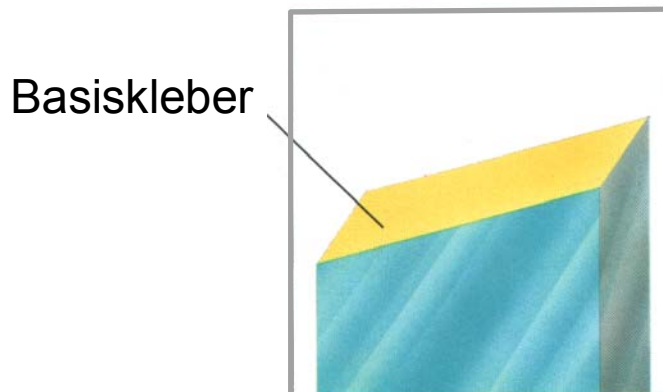
Bedingungen für die Aushärtung (Vernetzung)

- Kaltkleber/Kalthärter vernetzen bei Raumtemperatur.
- Warmkleber härten zwischen 100 °C und 250 °C aus.
- Einkomponentenkleber enthalten die zur Aushärtung erforderlichen Bestandteile.
- Zweikomponentenkleber: Der Härter wird unmittelbar vor der Verarbeitung zugeführt.

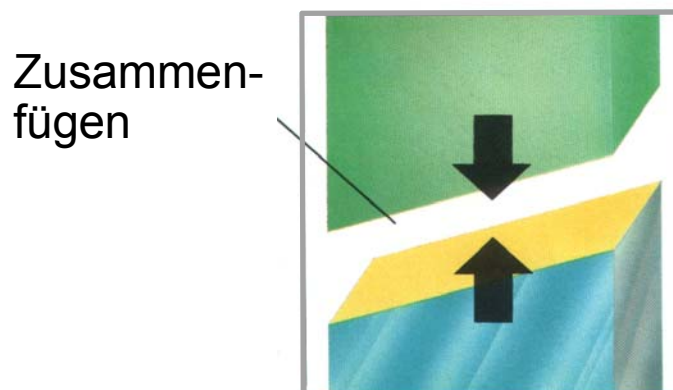
No-Mix - Klebverfahren



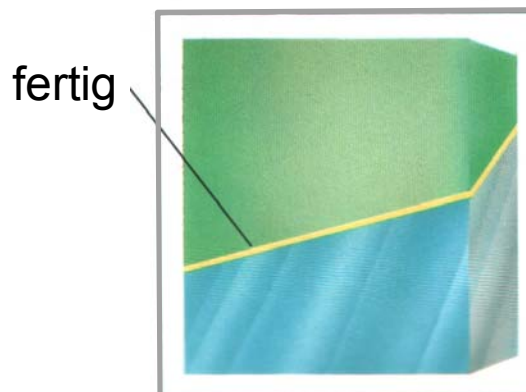
Aktivator auf eine
Oberfläche auftragen



Basiskleber auf
die andere Oberfläche
auftragen



Handfestigkeit nach
wenigen Minuten



Endfestigkeit nach
wenigen Stunden

Technische Daten von Klebstoffen

Basis:	Füllung:	Beispiel WEICON HB300
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Kunstharz(Epoxid) <input type="checkbox"/> Kunstkautschuk <input type="checkbox"/> Polymere/Cyanat <input type="checkbox"/> Silikon <input type="checkbox"/> Acrylat 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> stahlgefüllt <input type="checkbox"/> aluminiumgefüllt <input type="checkbox"/> mineralisch gefüllt <input type="checkbox"/> ungefüllt 	Epoxidharz, stahlgefüllt
Zähigkeit		
	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> pastös <input type="checkbox"/> flüssig 	pastös
Beständigkeit gegen		
	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> hohe Temperatur <input type="checkbox"/> Verschleiß <input type="checkbox"/> Biegung <input type="checkbox"/> Vibrationen <input type="checkbox"/> Wasser <input type="checkbox"/> Öl <input type="checkbox"/> Lösungsmittel; Chemikalien 	hoch temperaturbeständig: -35°C...+280°C
Mischung		
	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Einkomponenten-K. <input type="checkbox"/> Harz/Härter-Verh. <input type="checkbox"/> Non-Mix 	1:1
Topfzeit		
	<input type="checkbox"/> Minuten bei 20°C	30 Minuten
Aushärtung		
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Luftfeuchtigkeit <input type="checkbox"/> anaerob <input type="checkbox"/> Verdunstung von Lösungsmittel <input type="checkbox"/> Erstarren(Schmelze) 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Aushärtzeit bei 9 °C bis mech. belastbar <input type="checkbox"/> bis Endhärte <input type="checkbox"/> unter Druck 	<p>12 Stunden</p> <p>24 Stunden</p>
Festigkeit bei 20°C		
DIN 533 281-83	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Druck <input type="checkbox"/> Zug <input type="checkbox"/> Biegung <input type="checkbox"/> Schlag <input type="checkbox"/> E-Modul <input type="checkbox"/> Shore-Härte 	<p>Druckfestigkeit 10 Mpa</p> <p>Zugfestigkeit 72 Mpa</p> <p>Biegefestigkeit 90 MPa</p> <p>Schlagzähigkeit 57kJ/m²</p> <p>E-Modul 9,5...10 GPa</p> <p>Shore-Härte D 85</p>

Technologische Bedingungen für das Kleben

- Der Kleber muß zunächst flüssig / teigig sein
- Der Kleber muß gute Benetzungseigenschaften besitzen
- Durch Druck (eventuell unter Vakuum) wird das Eindringen des Klebers in die Unebenheiten der Bauteiloberflächen verbessert.
- Möglichst metallisch saubere Oberflächen herstellen. (Verunreinigungen und adsorbierte Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten behindern den Grenzflächenkontakt.)

Oberflächenbehandlungsverfahren (VDI 2229)

- Je höher die Beanspruchung, desto gründlicher die Vorbehandlung. (Chemische Verfahren richten sich nach dem Bauteilwerkstoff.)

Steigerung der Wirksamkeit

Säubern → entfetten → aufrauen (schmirgeln / schleifen) → strahlen → beizen

.

Anforderungen an die Klebung

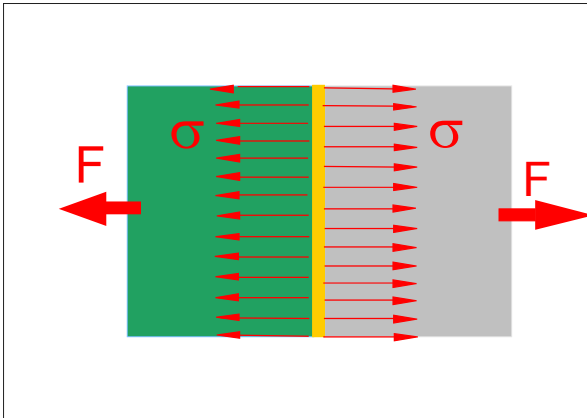
Auswahl des Klebstoffs anhand der Anforderungen, die an die Klebung gestellt werden

Beispiel: Zyanatkleber von Fa. Loctite

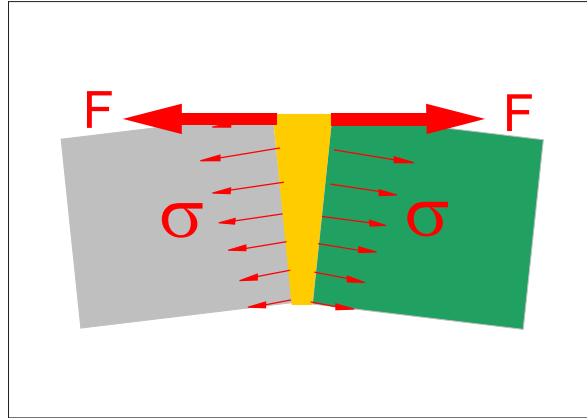
Materialpaarung	Festigkeit		Aushärtegeschwindigkeit			gute Beständigkeit gegen			Spaltgröße	
	gut	sehr gut	schnell ≈ 5 sec	normal ≈ 15 sec	langsam ≈ 25 sec	Feuchtig- keit	Lösungs- mittel	Tempe- ratur	größer 0,1 mm	sehr klein Kapillar- wirkung
Gummi/Gummi	IS-495	IS-424	IS-424	IS-415	IS-413	IS-414	IS-496	IS-495	IS-416	IS-420
Gummi/Kunstst.	IS-495	IS-414	IS-414	IS-416	IS-413	IS-414	IS-496	IS-495	IS-416	IS-420
Kunstst./Kunstst.	IS-495	IS-414	IS-414	IS-416	IS-496	IS-414	IS-496	IS-495	IS-416	IS-420
Kunstst./Metall	IS-496	IS-430	IS-414	IS-416	IS-496	IS-414	IS-496	IS-407	IS-422	IS-493
Gummi/Metall	IS-496	IS-430	IS-414	IS-415	IS-413	IS-414	IS-496	IS-495	IS-415	IS-493
Metall/Metall	IS-496	IS-430	IS-495	IS-415	IS-413	IS-414	IS-496	IS-407	IS-422	IS-493

Beanspruchungen von Klebeverbindungen

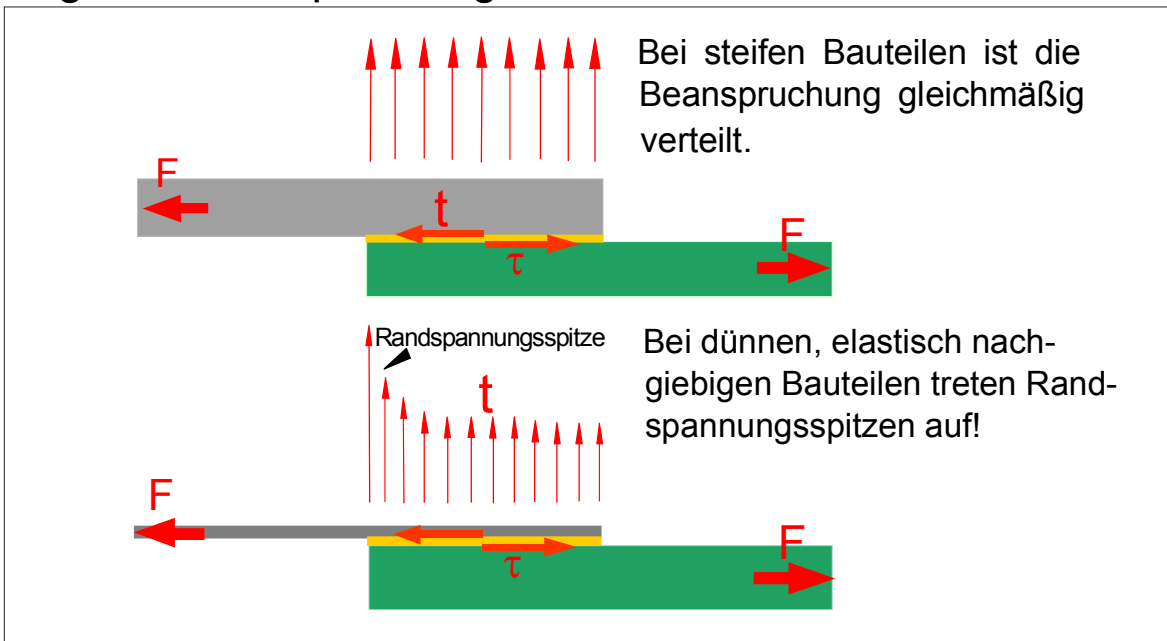
Zugbeanspruchung



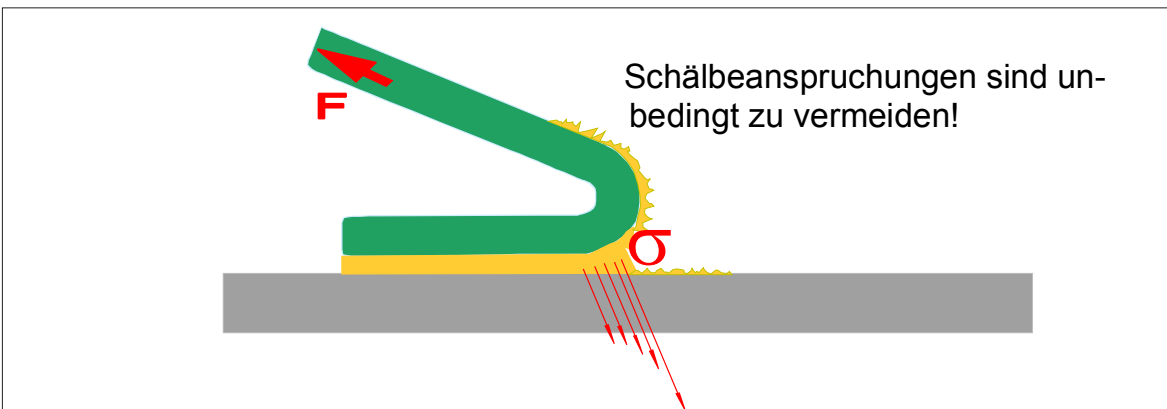
Spaltbeanspruchung



Zugscherbeanspruchung



Schälbeanspruchung



Formen von Klebeverbindungen

Stumpfstöße (Druckbelastungen sind unproblematisch)

ungeeignet für Zugbelastungen Gut! Auch O-Ring-Klebung geeignet

Überlappstöße, einschnittig: Gut geeignet für Zug-/Druckbelastungen
Anschlußmoment bei dicken Bauteilen!

Erhöhte Randspannungen bei dünnen Bauteilen :günstig!

Laschenstöße: Gut geeignet für Zug-/Druckbelastungen

einfach doppelt

Kraftfluß asymmetrisch, eine Seite glatt

Abgesetzte Überlappung: Bearbeitungsaufwand hoch!

einfach doppelt

Kraftfluß sehr gut Bauteilschwächung: Nicht zu empfehlen

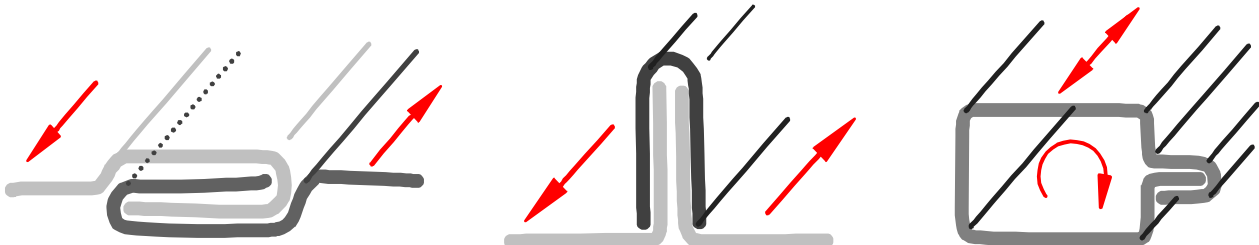
Rundteile: Gut geeignet für Zug, Druck, Biegung und Verdrehung

Rohr/Muffe Welle/Nabe

Falz- Nut- und Rohrverbindungen - klebegerechte Konstruktion -

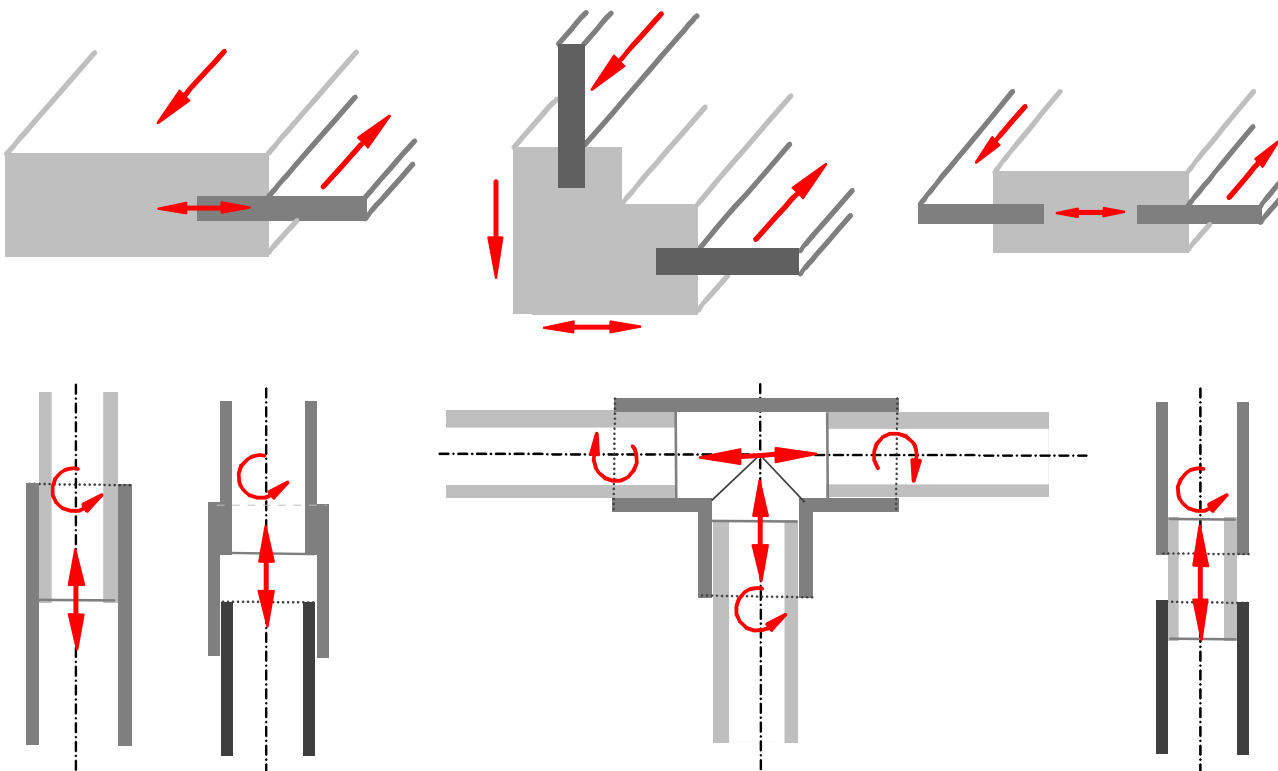
Falzverbindungen

Der Kleber übernimmt dichtende und haltende Funktionen.



Nutverbindungen & Rohrverbindungen

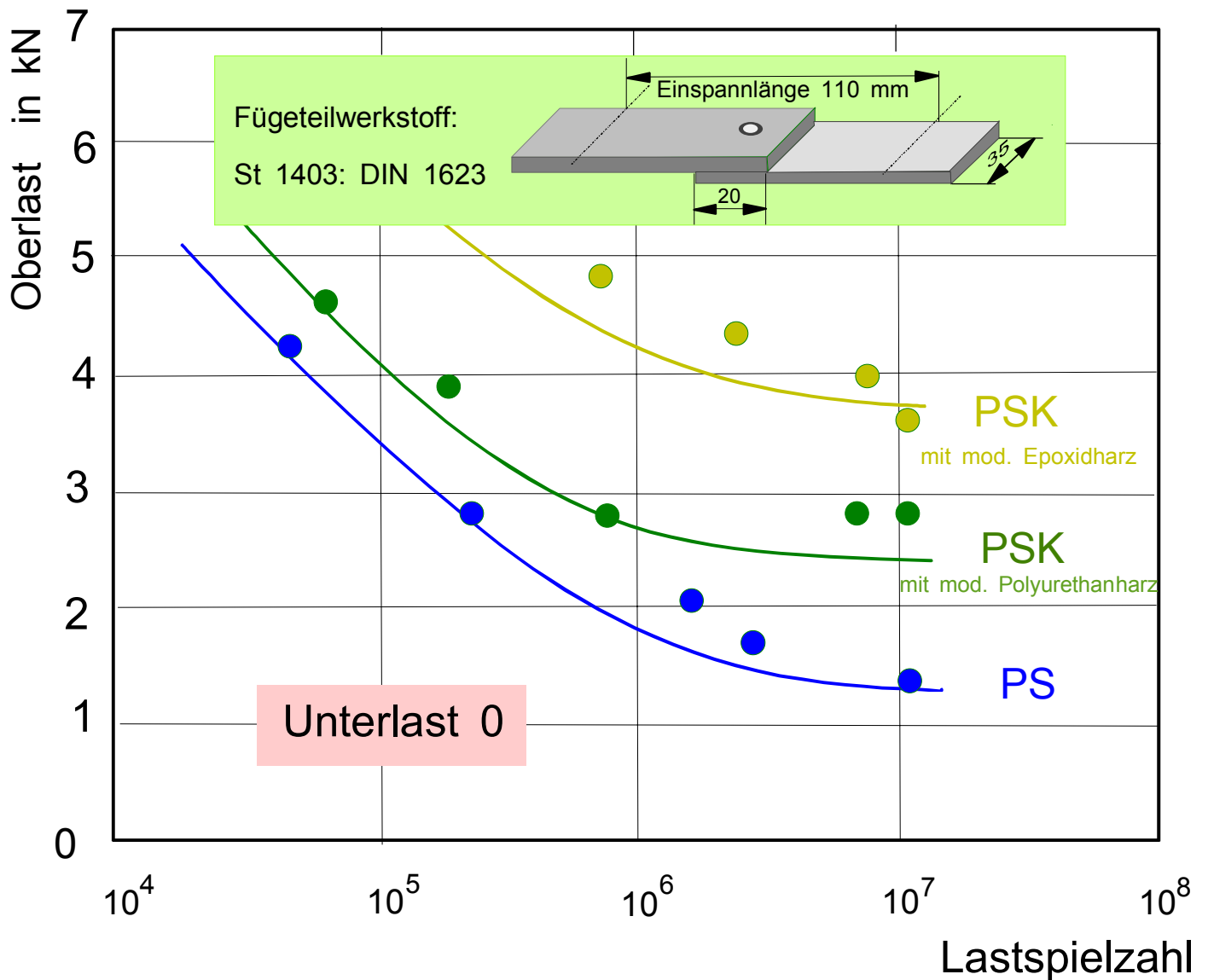
Der Kleber übernimmt dichtende, haltende und schützende Funktionen.



Winkelverbindungen



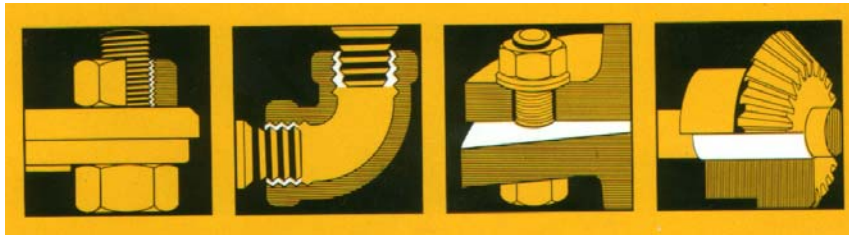
Schwingfestigkeit von Punktschweißverbindungen PS und Punktschweißklebeverbindungen PSK



Anwendungen von anaeroben Kleb- und Dichtstoffen

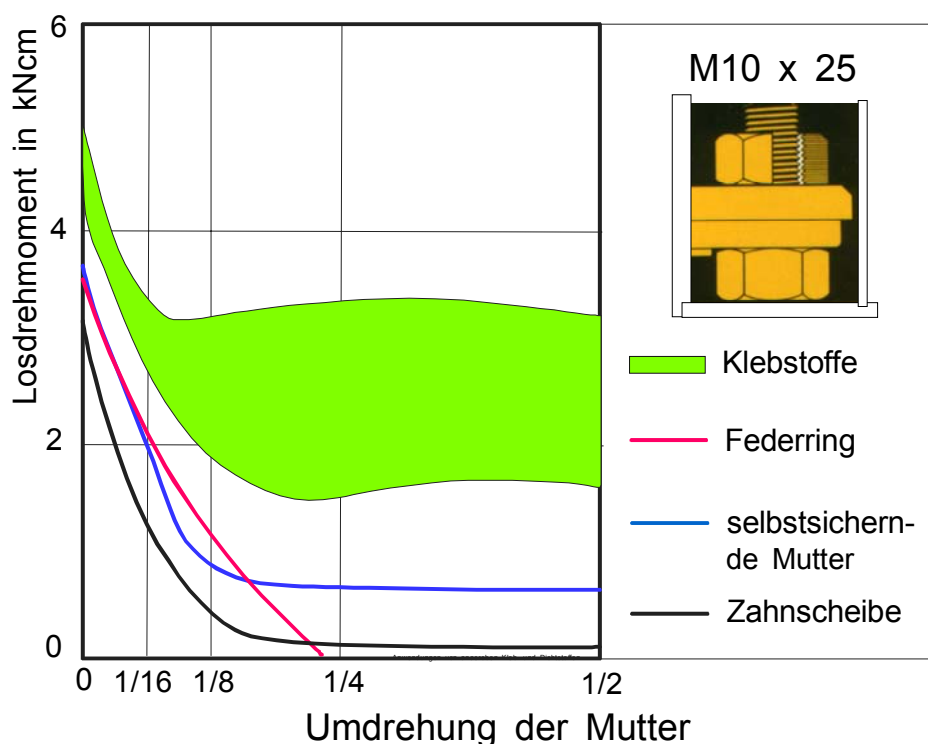
Anaerobe Kleb- und Dichtstoffe (z.B.:Methacrylatharz) härten nach Metallkontakt unter Luftabschluß aus.

Anwendungsbeispiele



- Dichtflächen von geteilten Getriebegehäusen,
- Abdichtungen von Gewinden und Muffen,
- Schraubensicherungen
- Einkleben von Buchsen und Wälzlagern
- Kleben von Naben auf Wellen

Beispiel: Schraubensicherung

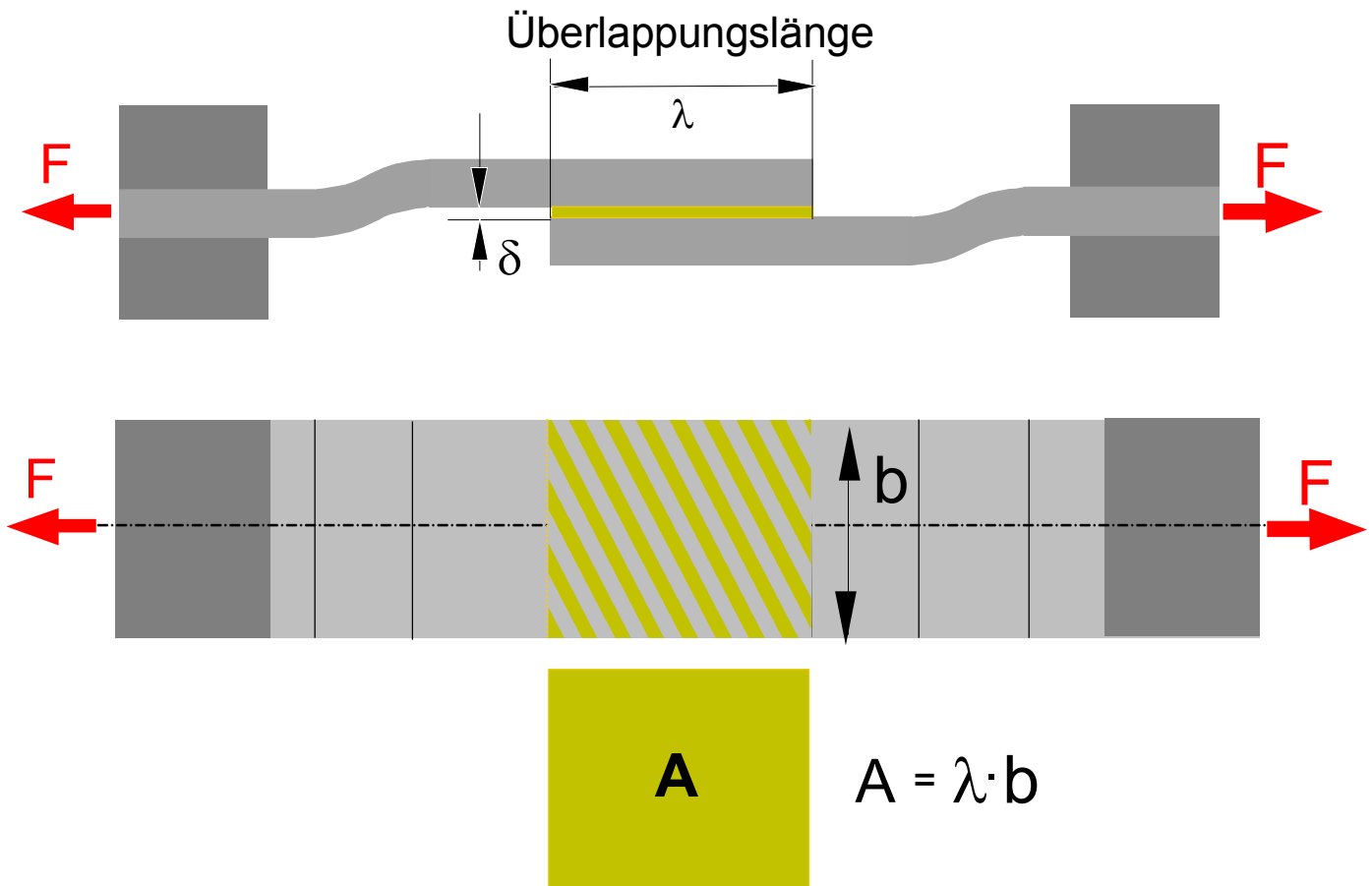


Regeln zur Gestaltung von Klebeverbindungen

- Gleichmäßige Klebspaltweite vorsehen
- Scherbeanspruchungen bevorzugen
- Randspannungsspitzen entschärfen
- Bei Zugbeanspruchungen große Kontaktflächen vorsehen (ungünstig für das Bauteil)
- Druckbeanspruchungen sind problemlos
- Schälbeanspruchungen unbedingt vermeiden

Zugscherfestigkeit

Zugscherversuch



Scherfestigkeit

$$\tau_B = \frac{F_B}{A}$$

$F_B =$ Bruchkraft

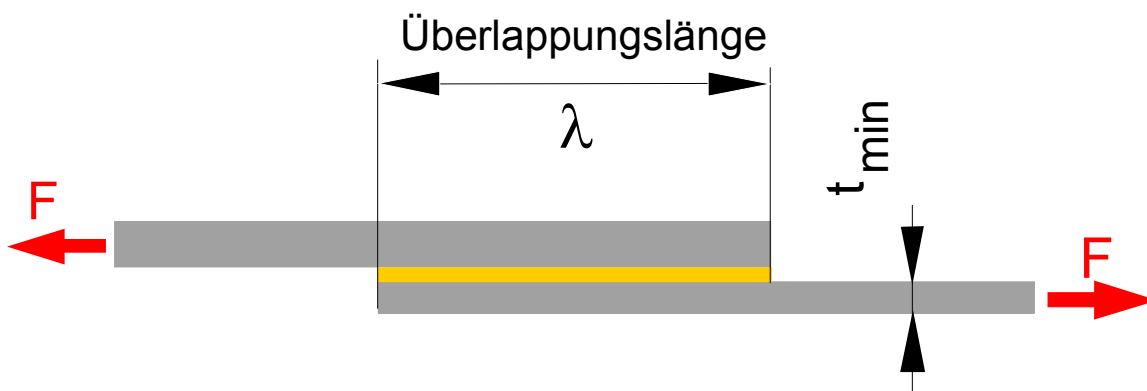
τ_B wird vom Kleberhersteller unter Berücksichtigung der Werkstoffeigenschaften der Bauteile sowie der vorhandenen Schichtdicke δ , der Überlappungslänge λ und der Aushärtebedingungen angegeben.

Überlappungsverhältnis

Definition

$$\ddot{u} = \frac{\lambda}{t_{\min}}$$

Anwendung: $\ddot{u} = 2,5 \dots 50$; üblicherweise $10 \dots 20$.



Optimales Überlappungsverhältnis

Das Überlappungsverhältnis ist optimal, wenn die Festigkeit der Klebung gleich der Bauteilfestigkeit ist.

$$F_S \stackrel{!}{=} F_{BK}$$

Bauteil an der Streckgrenze:

$$F_S = R_e \cdot b \cdot t_{\min}$$

b = Bauteilbreite

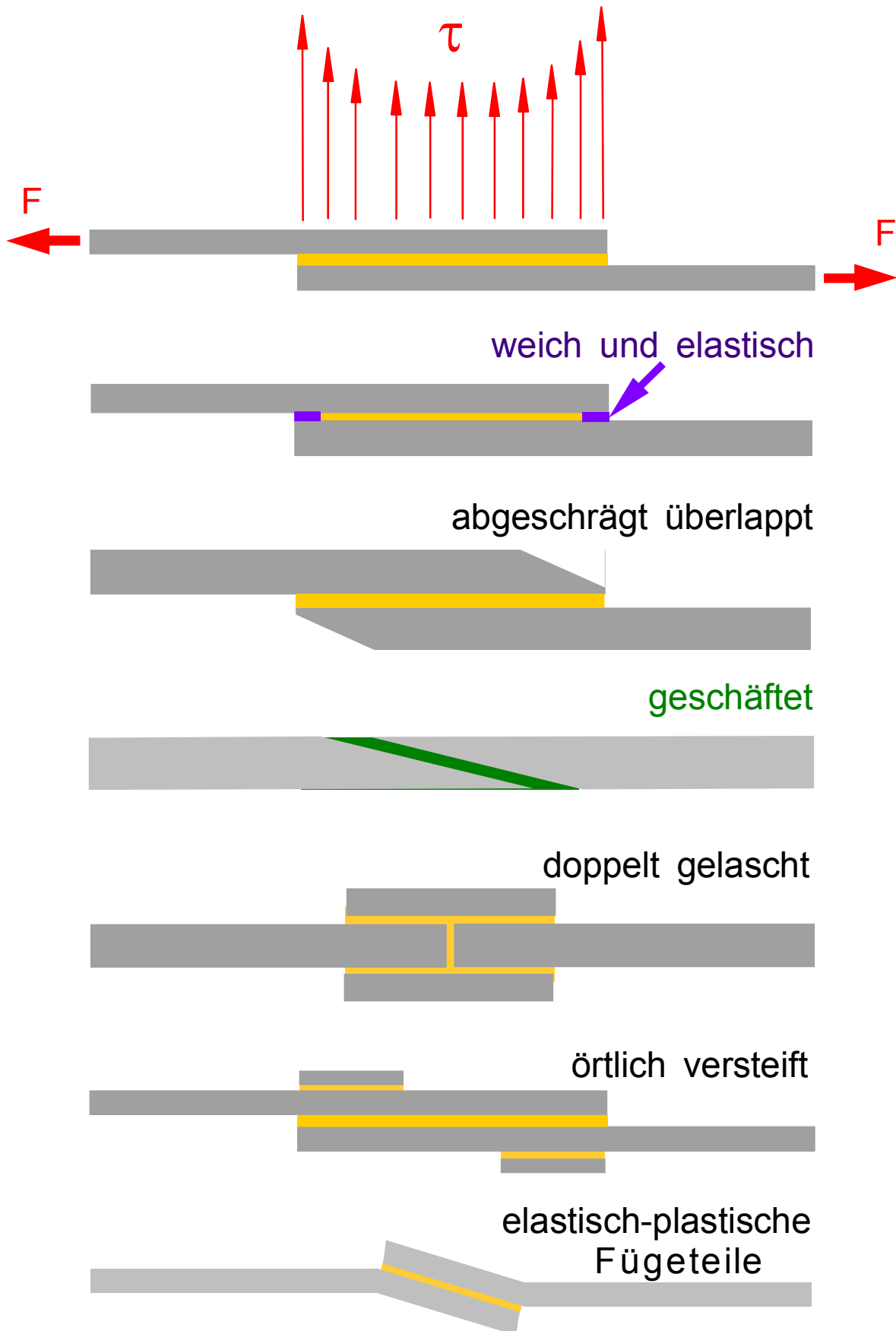
R_e = Bauteilstreckgrenze

Festigkeit der Klebung:

$$F_{BK} = \tau_B \cdot \lambda \cdot b = \tau_B \cdot \ddot{u} \cdot t_{\min} \cdot b \quad ; \quad \tau_B = \text{Scherzugfestigkeit der Klebung}$$

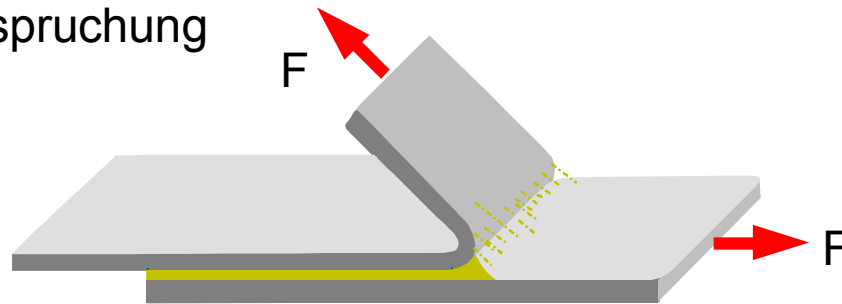
$$\ddot{u}_{\text{opt}} = \frac{R_e}{\tau_B} \quad (v)$$

Maßnahmen zum Abbau von Randspannungsspitzen

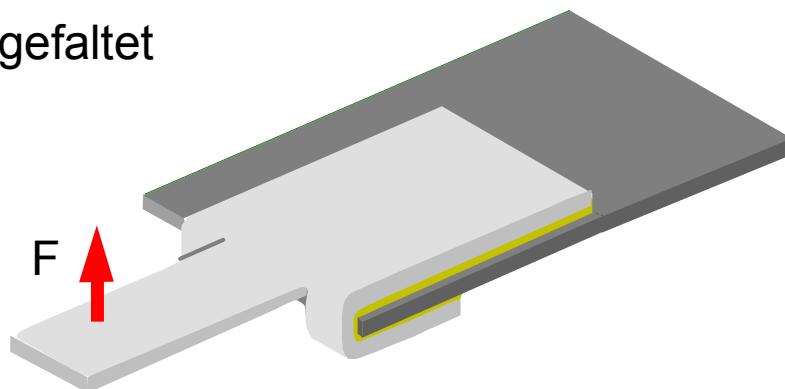


Schälbeanspruchung - Gegenmaßnahmen

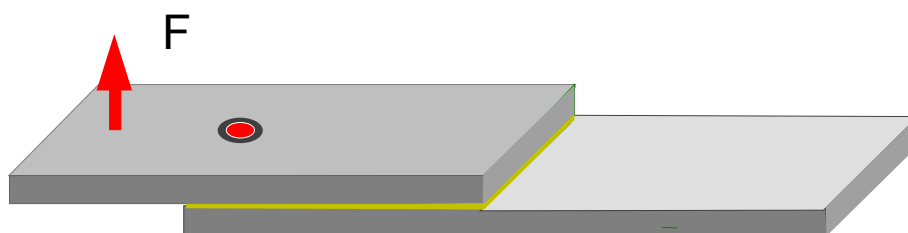
Schälbeanspruchung



Ende umgefaltet



Niet oder Punktschweißung



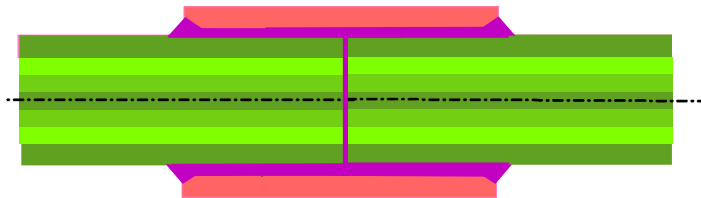
Klebeverbindungen mit runden Teilen

Rohrverbindung



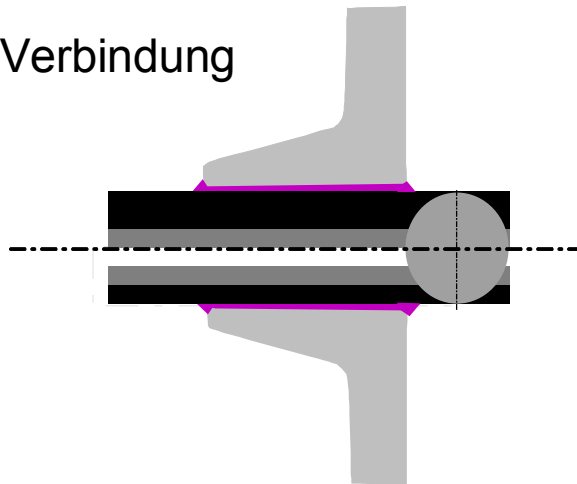
Zug
Druck
Biegung
Torsion

Muffenverbindung



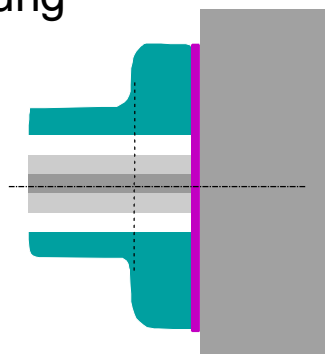
Zug
Druck
Biegung
Torsion

Welle/Nabe-Verbindung



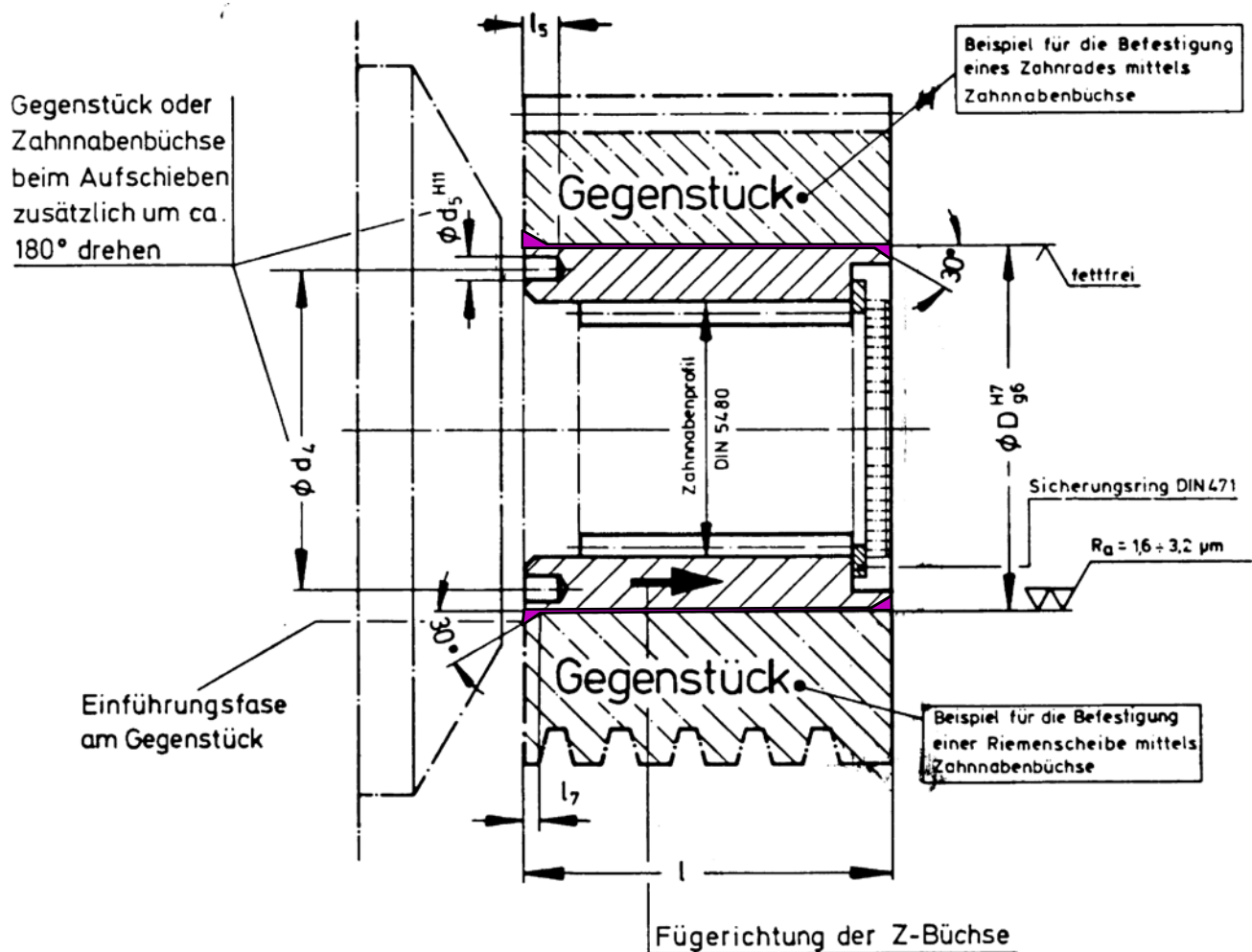
Zug
Druck
Biegung
Torsion

Flanschverbindung

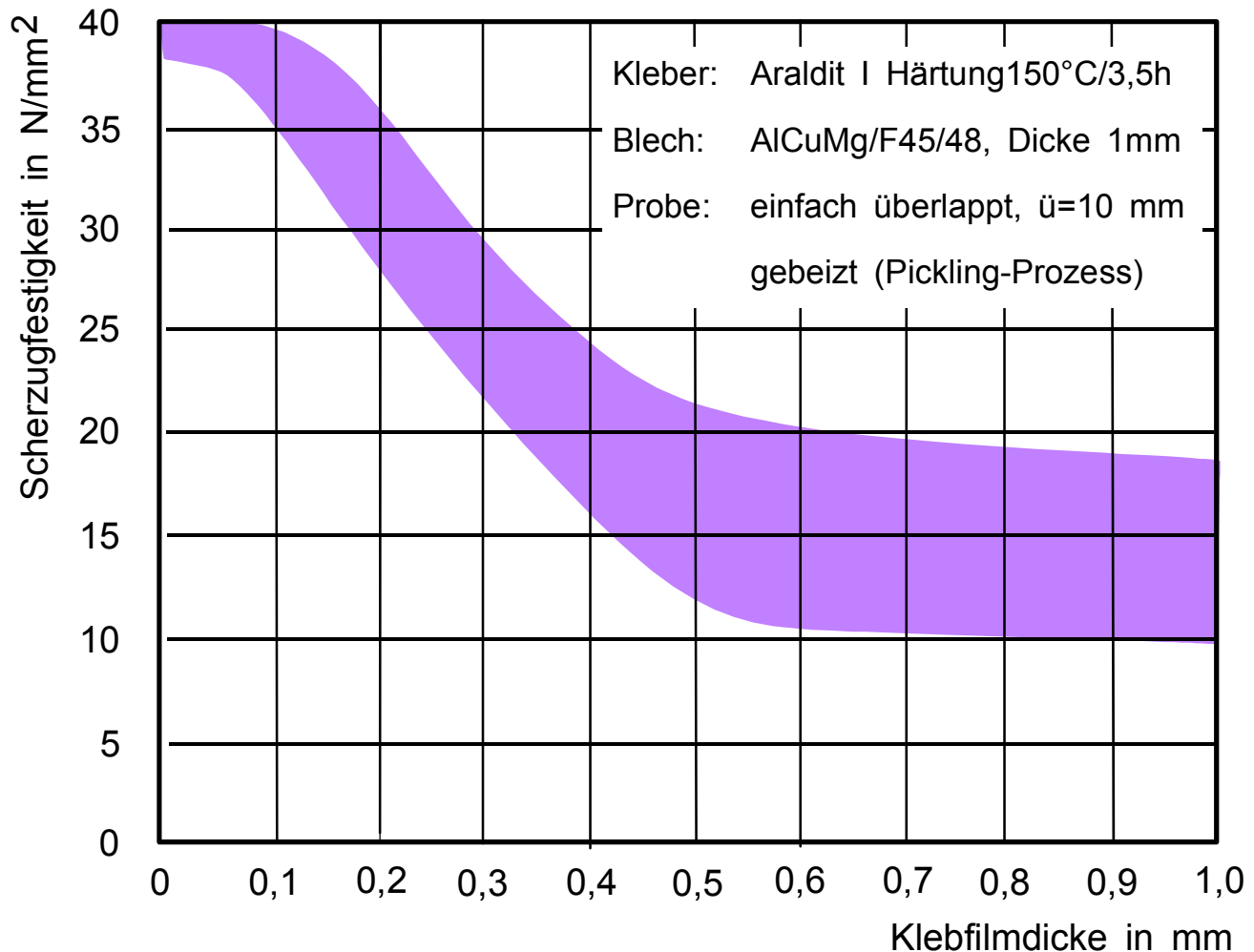


Druck
Torsion
(Biegung
& Zug)

Geklebte Nabe mit Zahnprofil, DIN 5480, für einen Druckluftmotor



Einfluß der Klebfilmdicke auf die Festigkeit



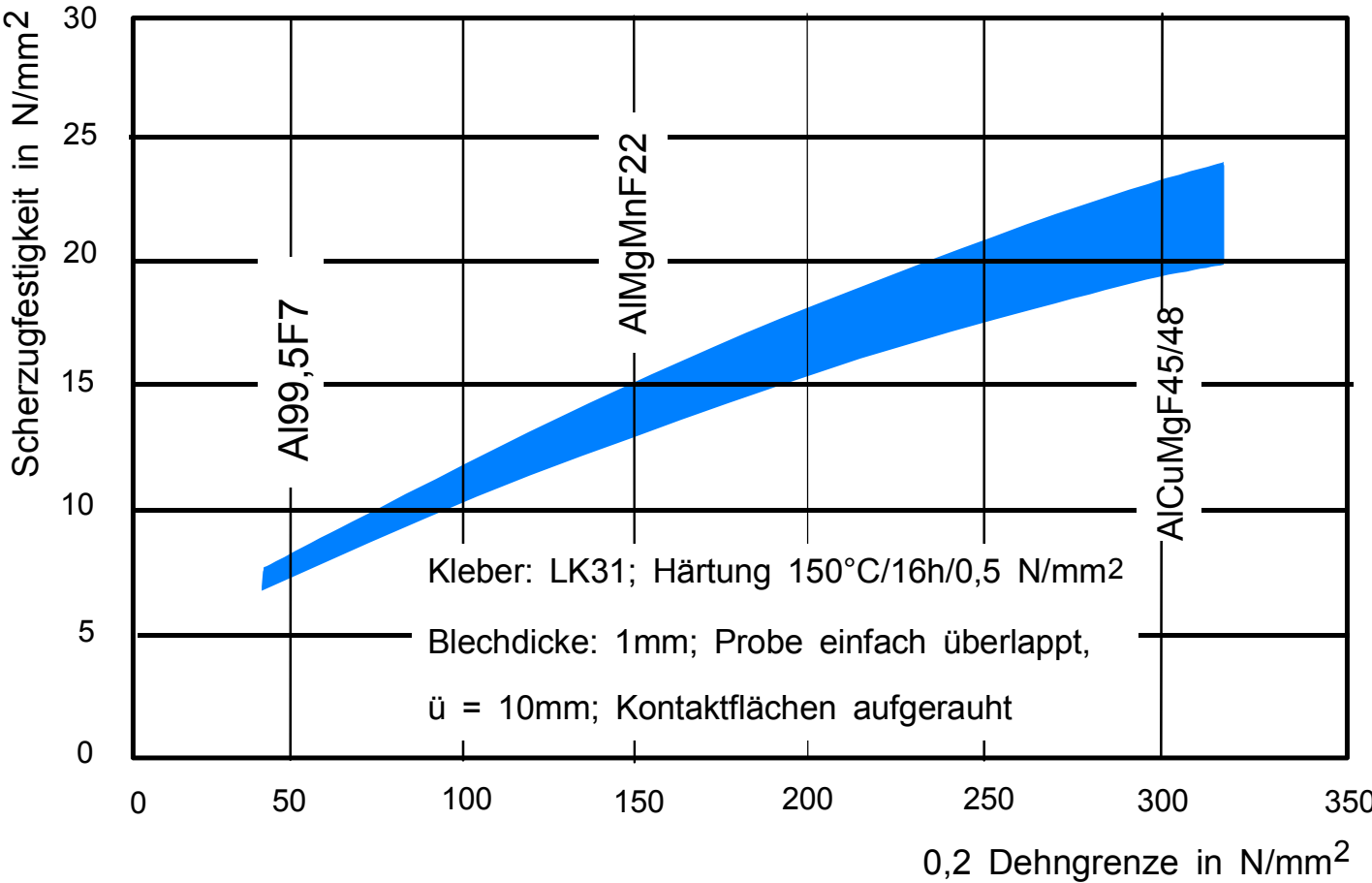
Optimale Schichtdicken

$\delta = 0,02 \dots 0,1$ mm für dünnflüssige anaerobe Klebstoffe oder Cyanat-Klebstoffe

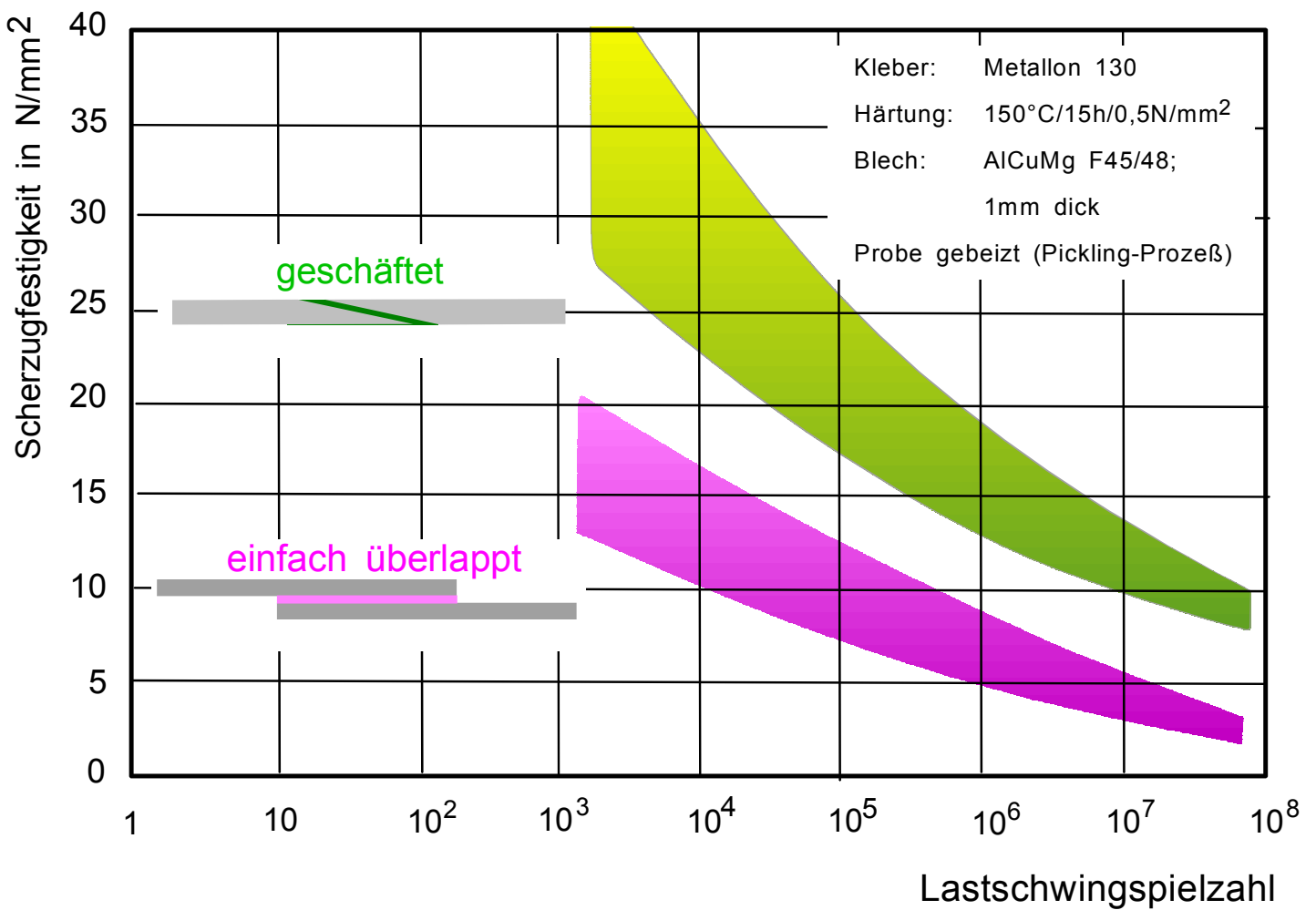
$\delta = 0,1 \dots 0,25$ mm für mittelviskose Epoxiklebstoffe

$\delta > 0,25$ mm für pastöse Silikon-Dichtstoffe und füllstoffhaltige Epoxide

Einfluß des Bauteilwerkstoffs auf die Festigkeit der Klebung

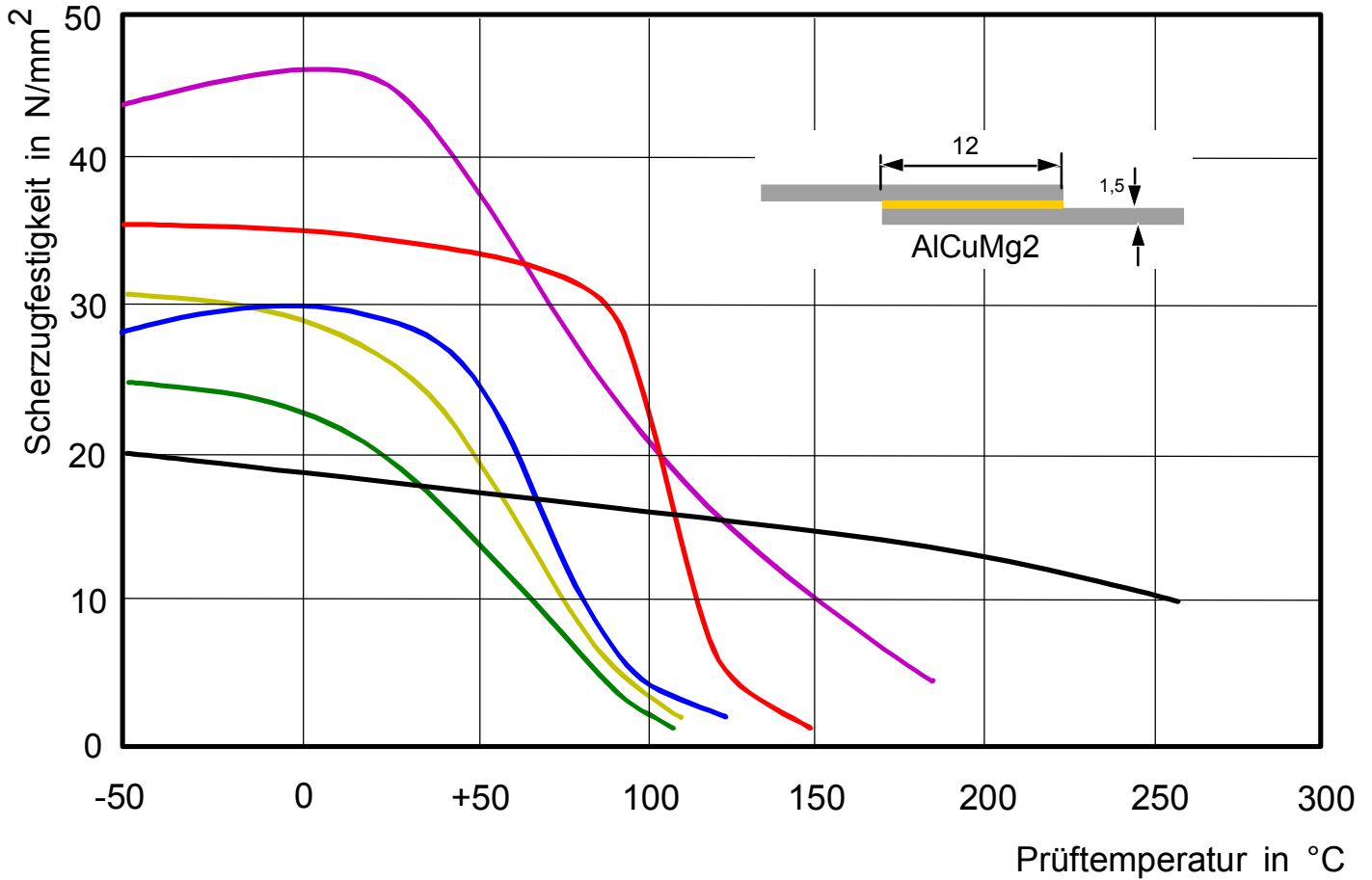


Einfluß der Gestaltung auf die Schwingfestigkeit

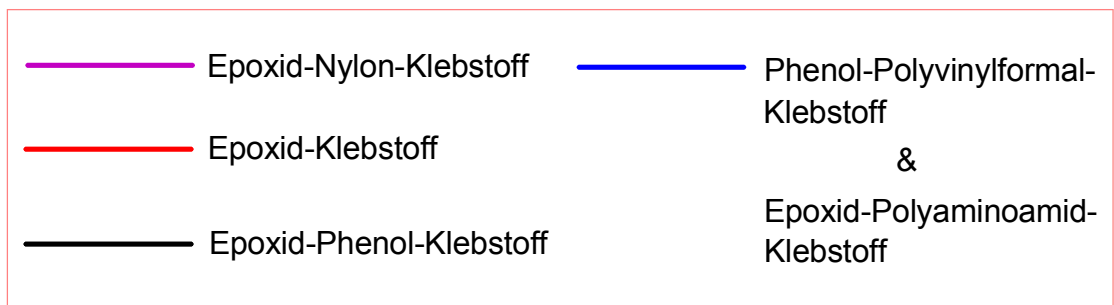


Kurzzeitbindefestigkeit von Überlappungsklebung (VDI 2229)

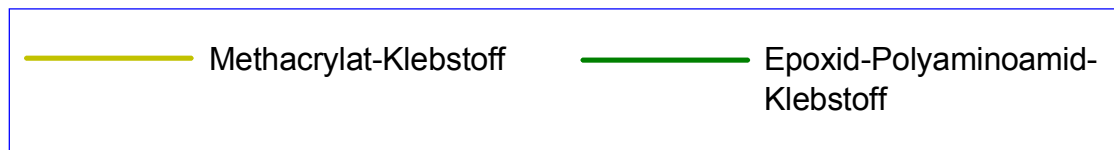
- Einfluß der Temperatur -



warmbindend

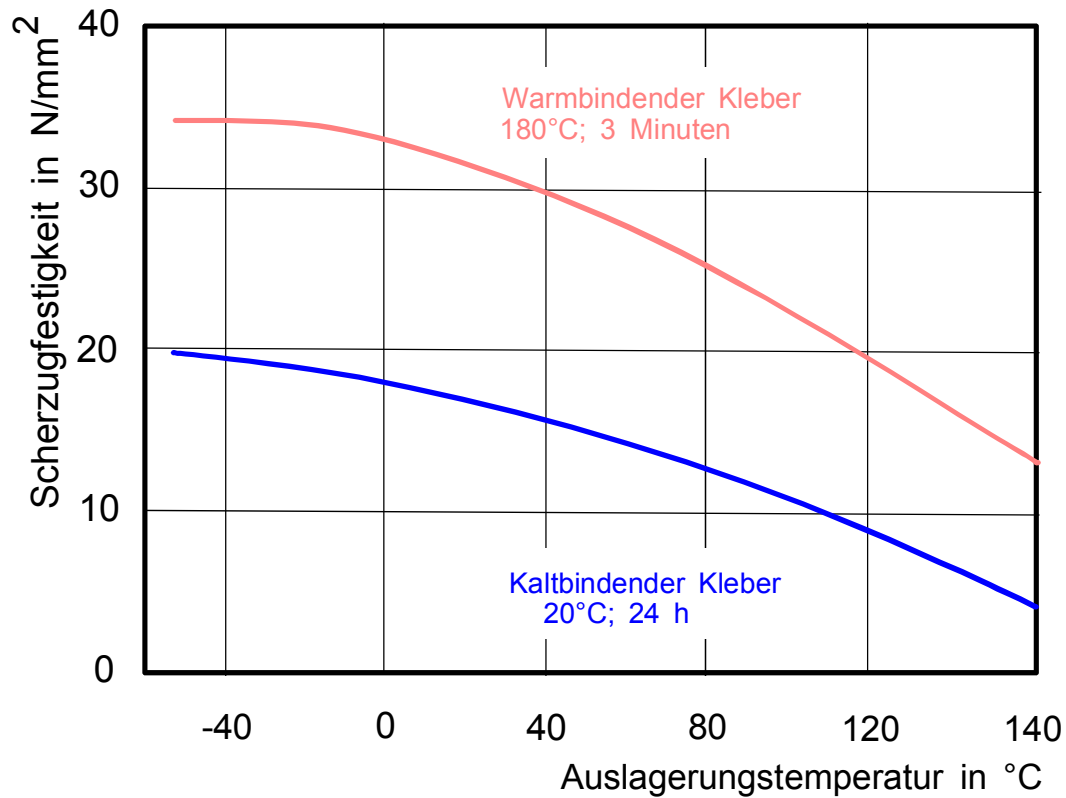


kaltbindend

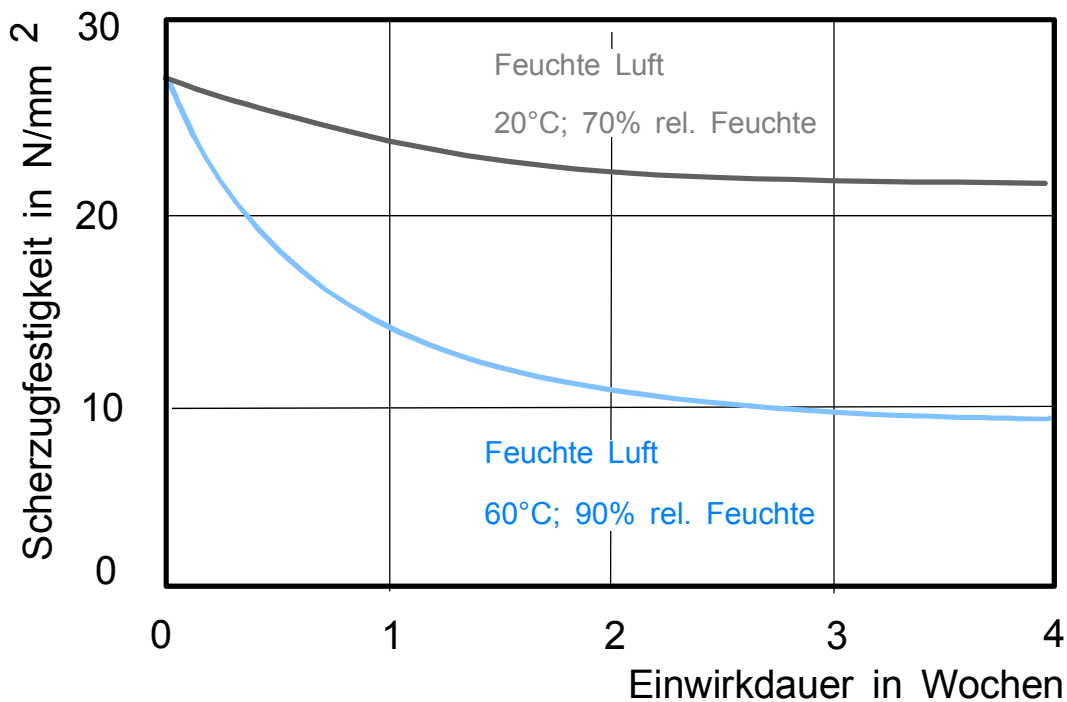


Alterung von Klebeverbindungen - Beispiele -

Temperatureinfluß

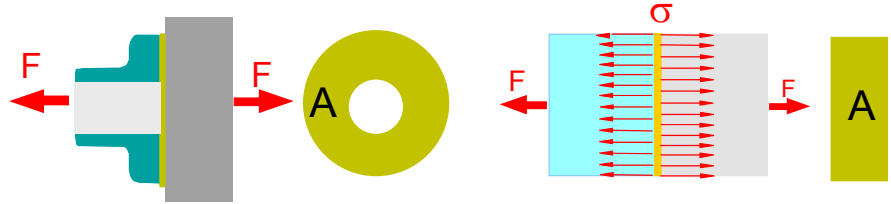


Feuchtigkeitseinfluß



Berechnung von Klebeverbindungen I

Zugbelastung



Spannungsnachweis

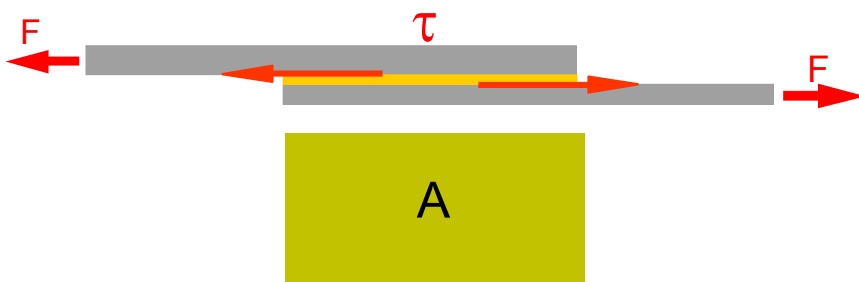
$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \sigma_{zul}$$

$\sigma_{zul} = \frac{\sigma_B}{\nu}$, $\nu = 2...3$ (statisch) $\nu = 3...10$ (dynamisch)

Dimensionierung

$$A_{erf} = \frac{F}{\sigma_{zul}}$$

Zugscherbelastung



Spannungsnachweis

$$\tau = \frac{F}{A} \leq \tau_{zul}$$

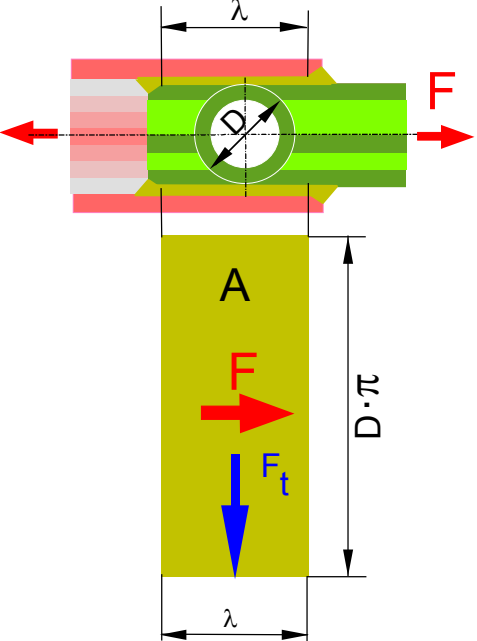
$\tau_{zul} = \frac{\tau_B}{\nu}$, $\nu = 2...3$ (statisch) $\nu = 3...10$ (dynamisch)

Dimensionierung

$$A_{erf} = \frac{F}{\tau_{zul}}$$

Berechnung von Klebeverbindungen II

Zugbelastung



Spannungsnachweis

$$\tau = \frac{F}{A} \leq \tau_{zul}$$

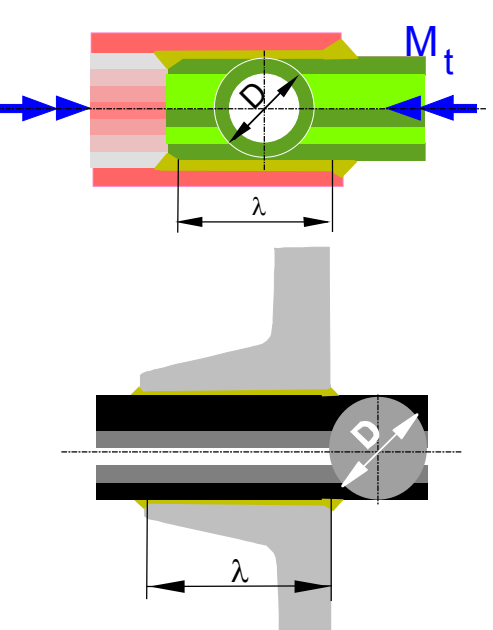
$\tau_{zul} = \frac{\tau_B}{\nu}$, $\nu = 2...3$ (statisch), $\nu = 3...10$ (dynamisch)

Dimensionierung

$$A_{erf} = \frac{F}{\tau_{zul}}$$

$$\lambda_{erf} = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot \tau_{zul}}$$

Torsionsbelastung



Spannungsnachweis

$$\tau = \frac{F_t}{A} \leq \tau_{zul}$$

$F_t = \frac{M_t}{D/2}$

$\tau_{zul} = \frac{\tau_B}{\nu}$, $\nu = 2...3$ (statisch), $\nu = 3...10$ (dynamisch)

Dimensionierung

$$A_{erf} = \frac{M_t}{D/2 \cdot \tau_{zul}}$$

oder

$$\lambda_{erf} = \frac{2 \cdot M_t}{D^2 \cdot \pi \cdot \tau_{zul}}$$

Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen

Probenvorbereitung

DIN 53 281 Teil 1
 Teil 2
 Teil 3
DIN 53 283
DIN 54 451

VDI-Richtlinie Metallkleben

VDI 2229

Klebertechnik in Luft- und Raumfahrt

Entwurf DIN 6060

Allgemeines zu Werkstoffprüfmaschinen

DIN 51 220

Vor- und Nachteile des Klebens

Vorteile

- Verbindungen zwischen Werkstoffen unterschiedlichster Art möglich
- Gut geeignet für dünne Bauteile
- Spannungsverteilung relativ gleichmäßig
- Klebeverbindungen sind schwingungsdämpfend
- Relativ grobe Fügetoleranzen
- Kein Wärmeverzug
- Klebeflächen dichten

Nachteile

- Relativ geringe spezifische Belastbarkeit
- Klebeverbindungen "kriechen" bei Dauerbelastung
- Temperaturfestigkeit gering
- Gefahr der Unterwanderung der Klebeschicht
- Keine zerstörungsfreien Prüfverfahren
- Haftgrundvorbereitung erfordert große Sorgfalt
- Lange Aushärtzeiten stören den Fertigungsablauf
- Fügeeinrichtungen wie Heizpressen sind nur bei großen Stückzahlen wirtschaftlich

