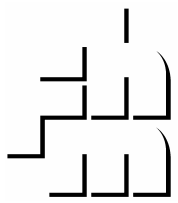




Klebungen bemessen

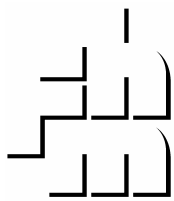
Tragende Verklebungen mit Silikon



Was verbindet hier?

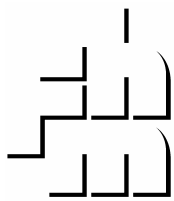


Silikon!

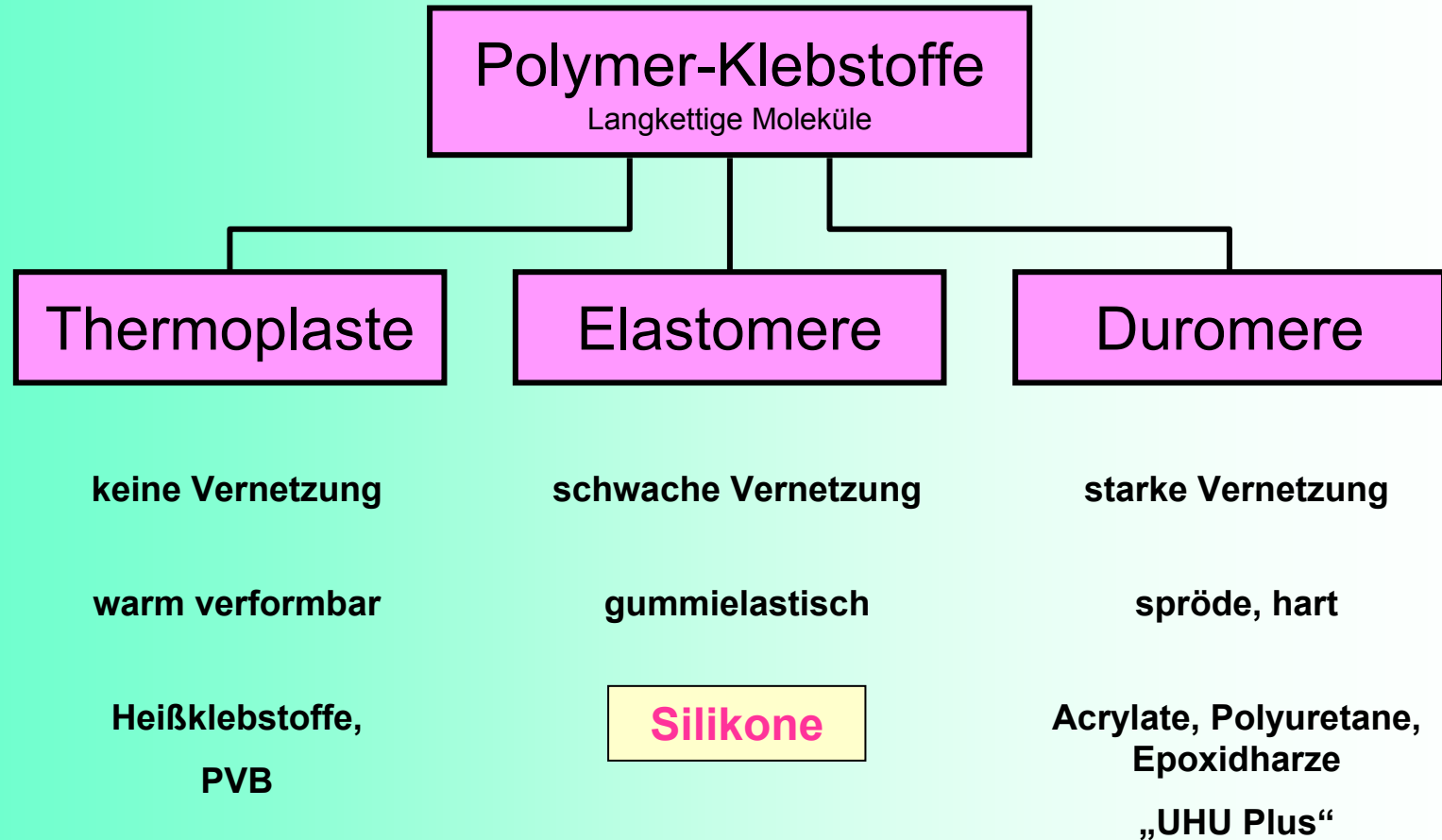


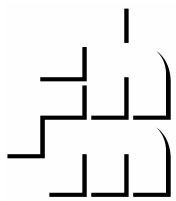
Inhalt

- **Chemische und physikalische Eigenschaften**
- Technische Regeln für SSG-Verklebungen
- Bisheriges Bemessungskonzept
- Ergebnisse zum elastischen Verhalten verschiedener Verklebungsgeometrien
- Ergebnisse von FE-Berechnungen
- Überschlägige Bemessungsmethode



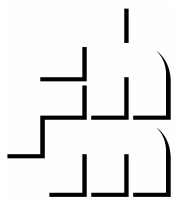
Systematik nach Polymerart





Silikone zeichnen sich dadurch aus, was sie **nicht tun**, insbesondere

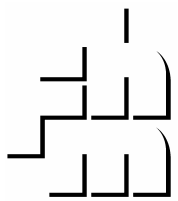
- Sie **verwittern nicht** unter Einfluss von Sonnenlicht, Hitze, Ozone, SO_2 , etc.
- Sie **verhärten oder erweichen nicht** bei Temperaturveränderungen in dem Maß, wie dies bei organischen Materialien der Fall ist (-60 bis +150°C)
- Sie **kristallisieren nicht** bei tiefen Temperaturen
- Sie **oxidieren nicht** bei hohen Temperaturen



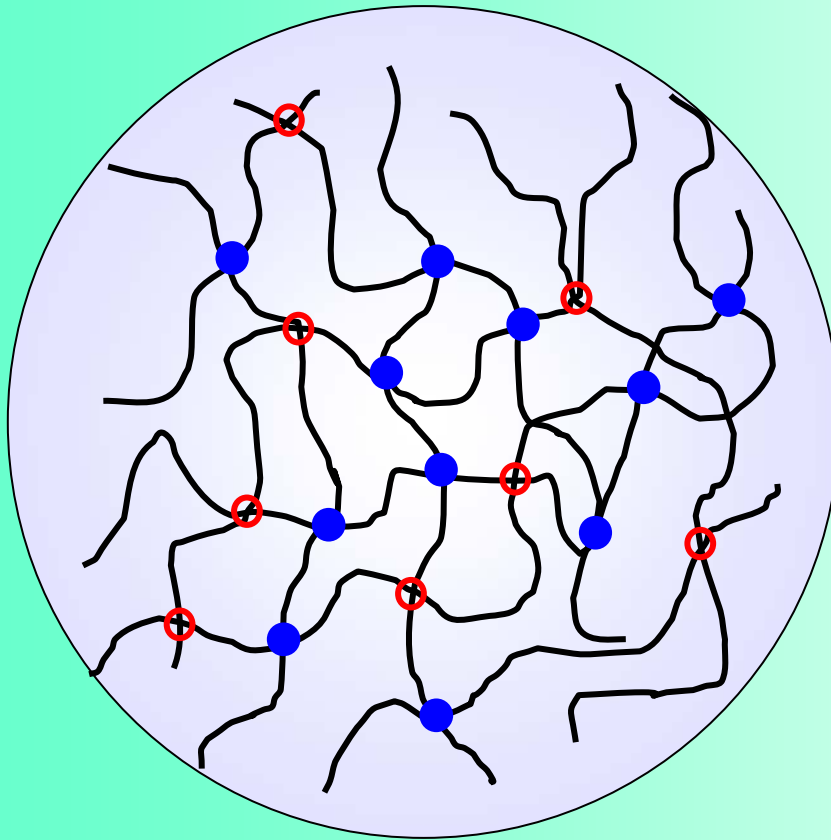
Typische physikalische Eigenschaften eines 2K-Silikons

Einsatztemperatur	-50°C bis +150°C
Verarbeitungstemperatur	+5°C bis +40°C
Dichte	1.36 kg/l
Zugfestigkeit (ISO 8339)	0.95 MPa *
Reißdehnung (ISO 8339)	~ 130 %
Härte Shore A	~ 40
„Elastizitätsmodul“	~ 1.4 MPa

* 1 MPa $\triangleq$ 1 N/mm²

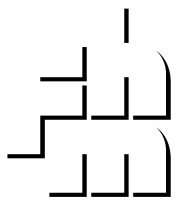


Wirkungsweise des Werkstoffs Silikon

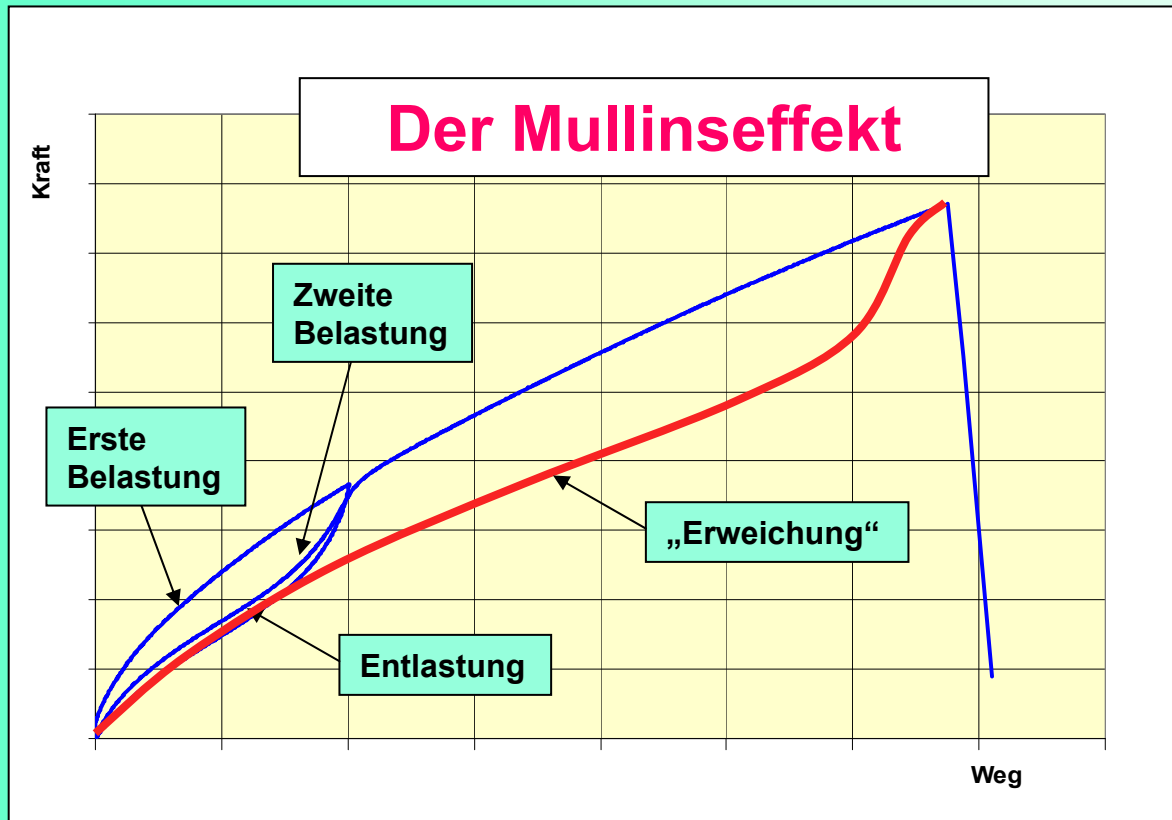


Silikone kann man sich als Knäuel von langen Kettenmolekülen vorstellen, die untereinander mit unterschiedlich festen Verbindungen verknüpft sind.

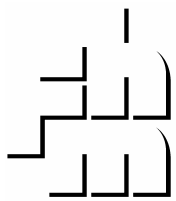
- **Fixe Bindungen der Kettenmoleküle reißen bei hohen Lasten auf (Versagen)
→ chemische Bindungen.**
- **Temporäre Bindungen der Kettenmoleküle lösen sich bereits bei geringem Lastniveau und verknüpfen sich neu (Mullinseffekt)
→ physikalische Bindungen.**



Einfluss der temporären Bindungen

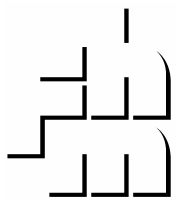


- Der Pfad der ersten Belastung ist maßgebend für das **Tragverhalten** von Silikon
↳ chemische Bindung
- Das **Verformungsverhalten** ist abhängig vom „Erweichungspfad“ / Mullinseffekt
↳ physikalische Bindung



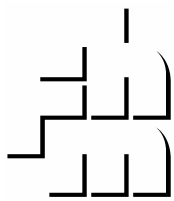
Inhalt

- Chemische und physikalische Eigenschaften
- **Technische Regeln für SSG-Verklebungen**
- Bisheriges Bemessungskonzept
- Ergebnisse zum elastischen Verhalten verschiedener Verklebungsgeometrien
- Ergebnisse von FE-Berechnungen
- Überschlägige Bemessungsmethode



Bauaufsichtliche Anforderungen an SSG

- Klassische Structural Glazing Klebstoffe (=Silikone) haben eine **Europäische Zulassung (ETA)** nach ETAG (European Technical Approval Guideline) der EOTA (European Organisation of Technical Approval)
- Die jeweilige Anwendung stellt eine **nicht geregelte Bauart** dar
- Daher Erfordernis einer **Zustimmung im Einzelfall** bzw. einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung
- Bis zu einer Höhe von 4,0 m über Gelände ohne Anforderung (TRLV)

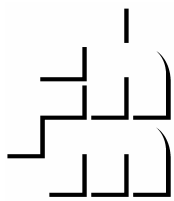


Prüfung von Structural Glazing Klebstoffen nach ETAG 002

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Produktqualität: | Härte (Shore A), Dichte, Farbe, Schwund,
Rückstellvermögen, Gaseinschlüsse,
Thermogravimetrische Analyse |
| 2. Mechanische Festigkeit: | Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul, Bruchdehnung
Scherfestigkeit, Schubmodul, Bruchdehnung unter Schub
Kriechen unter Dauerlast Zug und Schub
Prüfungen bei -20°C, +23°C, +80°C |
| 3. Alterungsprozeduren: | 1000 h Wasserlagerung bei 45°C + UV-Bestrahlung
480 h Feuchtigkeit und NaCl (Salzsprühnebel)
480 h Feuchtigkeit und SO ₂ -Atmosphäre
500 h Lagerung in Reinigungsmittel
Mechanische Ermüdung, 5350 Belastungszyklen |
| 4. Verträglichkeit: | z.B. mit Vorlegebändern, Dichtprofilen, Klotzmaterialien
500 h Lagerung bei 60°C + UV-Bestrahlung |

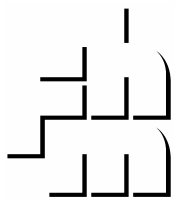


Nach bestandener Prüfung kann von einer Lebensdauer des
Klebstoffs von mindestens **20 Jahren** ausgegangen werden



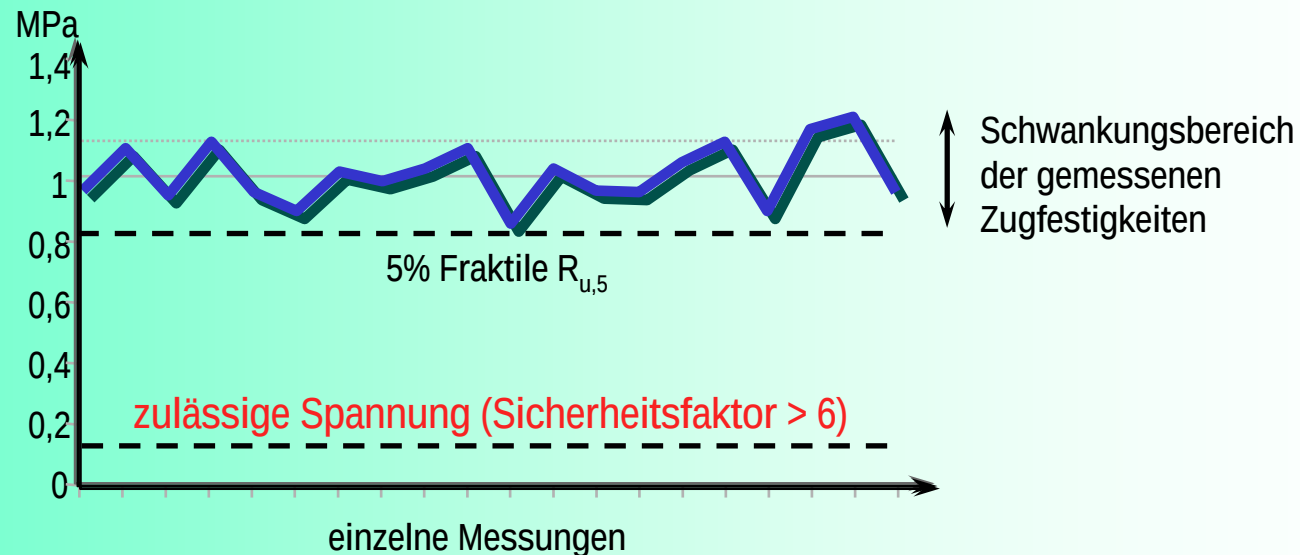
Bestandteile der ETAG 002

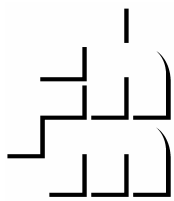
- **Sie ist eine Prüfvorschrift für Silikonklebstoffe**
- **Sie regelt die Anforderungen an Silikonklebstoffe für die Erteilung einer Europäischen Technischen Zulassung (European Technical Approval – ETA)**
- **Sie gibt die Geometrie der Versuchskörper vor**
- **Sie regelt die Berechnungsvorschrift für zulässige Spannungen aus Versuchsergebnissen**
- **Sie regelt die Bauarten und Werkstoffe, für die Silikonklebstoffe eingesetzt werden dürfen**
- **Sie legt Sicherheitsbeiwerte fest**
- **Sie gibt Bemessungsregeln für die Ausführung vor**



Tragfähigkeit von Silikon nach ETAG 002

Die Anwendung von ETAG 002 auf handelsübliche 2K-Werkstoffe führt zu zulässigen Zugspannungen in der Größenordnung von $\sigma_i = 0.14 \text{ N/mm}^2$





Auslegungsspannungen $\sigma_{\text{des}} (\triangleq \sigma_i)$

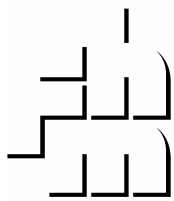
- **Auslegungsspannungen zweier repräsentativer Structural Glazing Verklebungswerkstoffe (2K-Silikone) zugelassen entsprechend ETAG 002 durch EOTA***
 - DOW Corning DC 993
 - SIKA Elastosil SG 500



Werkstoff	Europäische technische Zulassung	Zugspannung σ_{des}^{**}	Schubspannung (dynamisch) τ_{des}^{**}	Schubspannung (statisch) τ_{∞}^{**}
DC 993	ETA-01/0005	0.14 MPa	0.11 MPa	0.011 MPa
SG 500	ETA-03/0038	0.14 MPa	0.105 MPa	0.0105 MPa

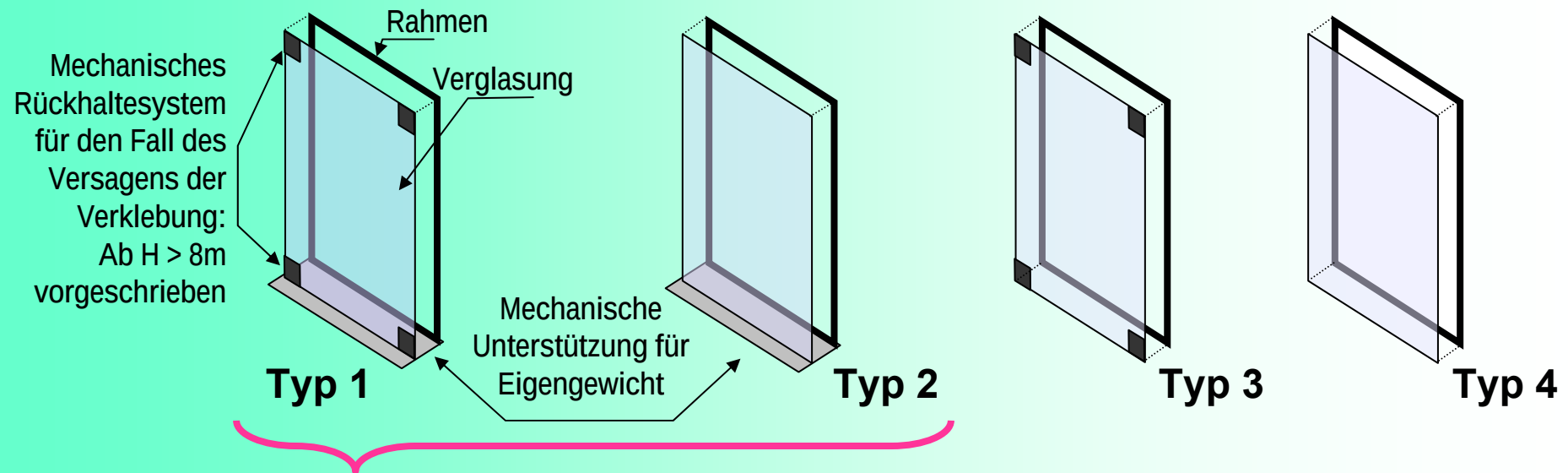
* EOTA: European Organisation for Technical Approvals

** Ingenieurspannungen σ_i , τ_i

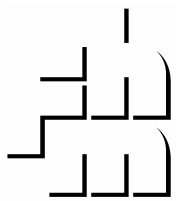


Verklebung in der Europäischen Normung

- **Structural Glazing (statische Verklebung von Glas und Metallkonstruktion) ist anerkannt als Bautechnologie**
- **ETAG* Richtlinie 002 offizielle Richtlinie für Structural Glazing**
- **Regelung von vier Structural Glazing Typen**

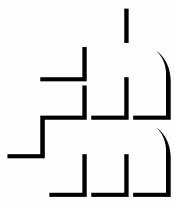


**In Deutschland
zugelassen**



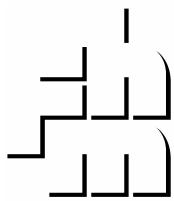
Inhalt

- Chemische und physikalische Eigenschaften
- Technische Regeln für SSG-Verklebungen
- **Bisheriges Bemessungskonzept**
- Ergebnisse zum elastischen Verhalten verschiedener Verklebungsgeometrien
- Ergebnisse von FE-Berechnungen
- Überschlägige Bemessungsmethode



Sicherheitsbeiwerte nach ETAG 002

- **Windlast / kurzzeitige Last:**
Konstruktive Belastbarkeit des Silikones auf 140.000 Pa ($\triangleq 0,14 \text{ N/mm}^2$)
festgelegt, 1/6 der mindestens erreichten Bruchfestigkeit
Sicherheitsfaktor von min. 6 $\rightarrow \text{zul } \sigma_i = R_{u,5} / 6$
- **Eigengewichts- / Dauerlast:**
Konstruktive Belastbarkeit des Silikones auf 15.000 Pa ($\triangleq 0,015 \text{ N/mm}^2$)
festgelegt, 1/10 der mindestens erreichten Elastizitätsgrenze
Sicherheitsfaktor von min 10 $\rightarrow \text{zul } \sigma_i = R_{u,5} / 10$
- **Thermische Belastung:**
Silikon Bewegungsfähigkeit ist festgelegt auf 12,5 %, 1/8 der minimalen Reissdehnung
Sicherheitsfaktor von min 8
- Die angesetzten Absolutwerte der Silikoneigenschaften ($R_{u,5}$) werden ermittelt als 5% Fraktilwert. Er berücksichtigt Schwankungen der Tragfähigkeit

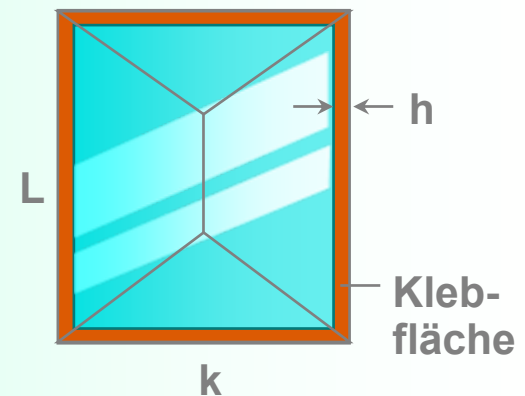


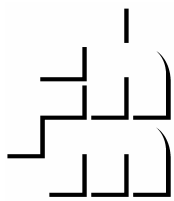
Die „Mickeymouse“-Formel - Dimensionierung einer Klebfuge

- Bemessung von Structural Glazing Klebfugen über vereinfachten Ansatz einer aus Windsog resultierenden Flächenlast auf die Verklebungsfuge **vorh $\sigma \leq$ zul σ**
- Windlast wird komplett über Klebstoff abgetragen
- Ermittlung der erforderlichen Fugenbreite h

$$h = \frac{p_{Windsog} * k / 2}{\sigma_{des}}$$

k : Fenstergeometrie (kleinere Kantenlänge)
 σ_{des} : nach ETAG zulässige Entwurfsspannung
 $p_{Windsog}$: Windlast nach DIN 1055 / 4





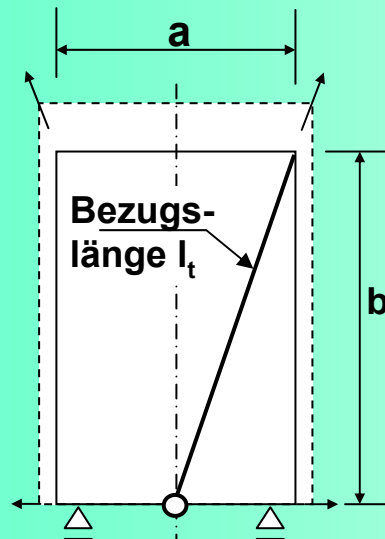
Dimensionierung nach ETAG - Schub aus Temperatur

Glasgröße	b=2100 / a=1500 mm
Drucklast	W = 2000 Pa
Montagetemperatur	T ₀ = 20°C
Profilmaterial	Aluminium eloxiert
max. T Glas	T _v = 80°C
max. T Profil	T _c = 55°C
G=E/3 = 0.47 MPa	τ _{des} = 0,125 MPa

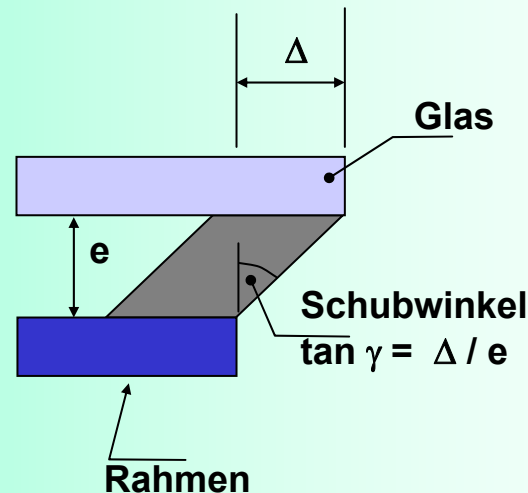
$$h \geq \frac{a \times W}{2\sigma_{des}} = \frac{1500 \times 2000 \times 10^{-6}}{2 \times 0,14} = 10.71 \text{ mm}$$

$$\Delta = [\alpha_c(T_c - T_0) - \alpha_v(T_v - T_0)] \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + b^2} = 0.67 \text{ mm}$$

$$e \geq \frac{G \times \Delta}{\tau_{des}} = 2.5 \text{ mm} \rightarrow \text{Mindestdicke} = 6 \text{ mm}$$



Achse thermischer
Fixpunkt



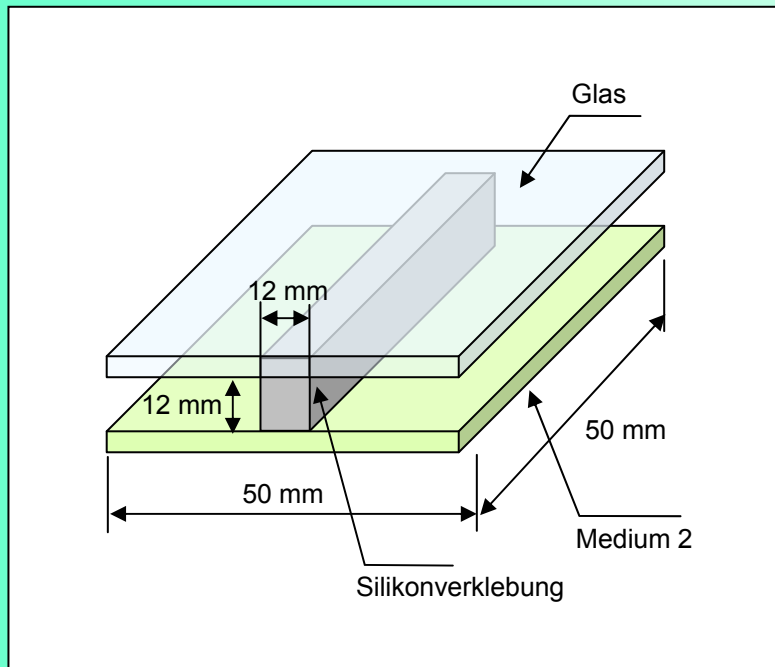
Es gilt:
 $e \leq h \leq 3e$

Siehe hierzu
Stahlbaukalender 2005
S. 820 ff

Auslegungsspannung nach ETAG 002

Ermittlung erfolgt an einem Prüfkörper der einen Abschnitt einer linienförmigen Verklebung repräsentiert, jedoch real:

- Deutliche Einschnürung des Silikonmaterials unter Zug
- Inhomogene Werkstoffbeanspruchung innerhalb des Silikons wegen Querkontraktionsbehinderung an den Fügepartnern (Ecken)



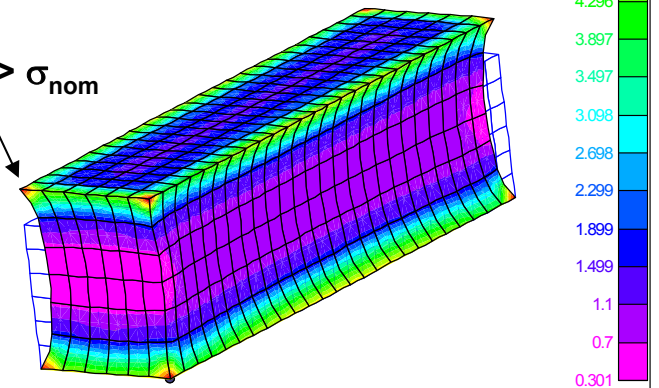
$L = 50; B = D = 12 \text{ mm};$

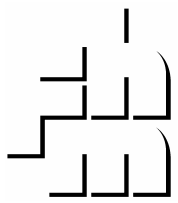
$A = 600 \text{ mm}^2$

$P_{\text{Bruch}} = 750 \text{ N}$

$\square 750 / 600 = \sigma_{\text{nom}} = 1,25 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{\text{FE}} \gg \sigma_{\text{nom}}$



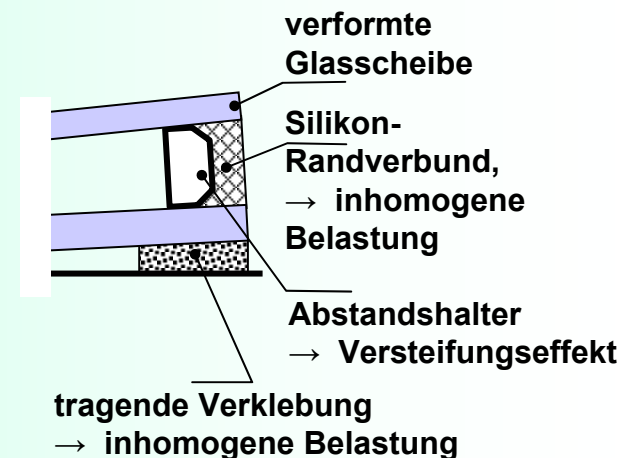
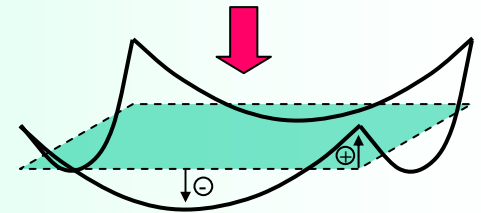


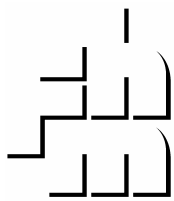
Annahmen nach ETAG

- Gleichmäßige Verteilung der Spannung innerhalb der Klebfuge
- Auslegungskriterium Klebspannung $<$ zulässige Spannung
- Vernachlässigung von:
 - aus der Plattentragwirkung resultierenden nichtlinearen Verteilung der Beanspruchung entlang der Auflagerlinie (mit VZ-Wechsel in den Eckbereichen !)
 - Randbiegemomenten in der Fuge durch Scheibenverformung
 - dem Einfluß konstruktiver Elemente (Rahmensteifigkeit, Abstandhalter)
 - den geometrischen Abmessungen und der Biegesteifigkeiten der Glasscheiben
 - den spezifischen Eigenschaften des Klebstoffs über die zulässige Spannung hinaus



Winddruck oder Drucklast



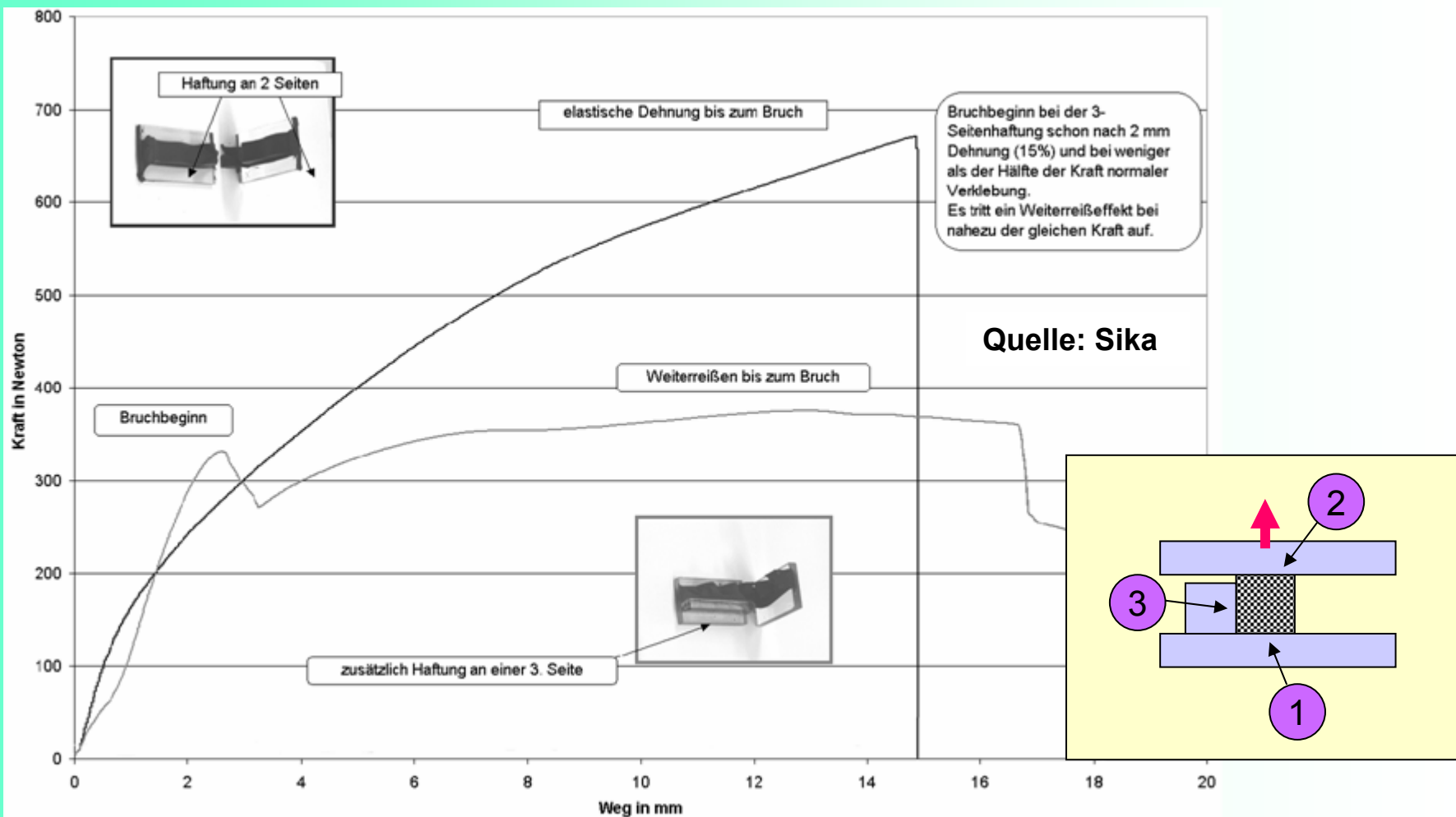


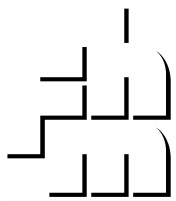
Einschränkung der Anwendung der ETAG

- **Starke Vereinfachung der Bemessungsformel**
 - Grobe Idealisierung der Klebefuge als Linienlager
 - Charakterisierung der Materialeigenschaften lediglich durch zulässigen Spannungswert
- Für allgemeine Anwendungen als tragende Verklebung ungeeignet, da stark idealisierte Lastabtragung
- Für komplexe Verklebungsgeometrien mit lokaler mehrdimensionaler Beanspruchung ungeeignet, da Abbildung mehrdimensionaler Spannungszustände auf zulässige Spannung („eindimensional“) nicht gegeben
 - **Beachte: ETAG 002 schließt dreiseitige Verklebungen ausdrücklich (!) aus.**



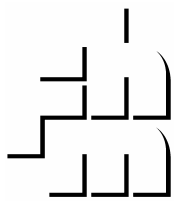
„Dreiseitige“ Verklebung



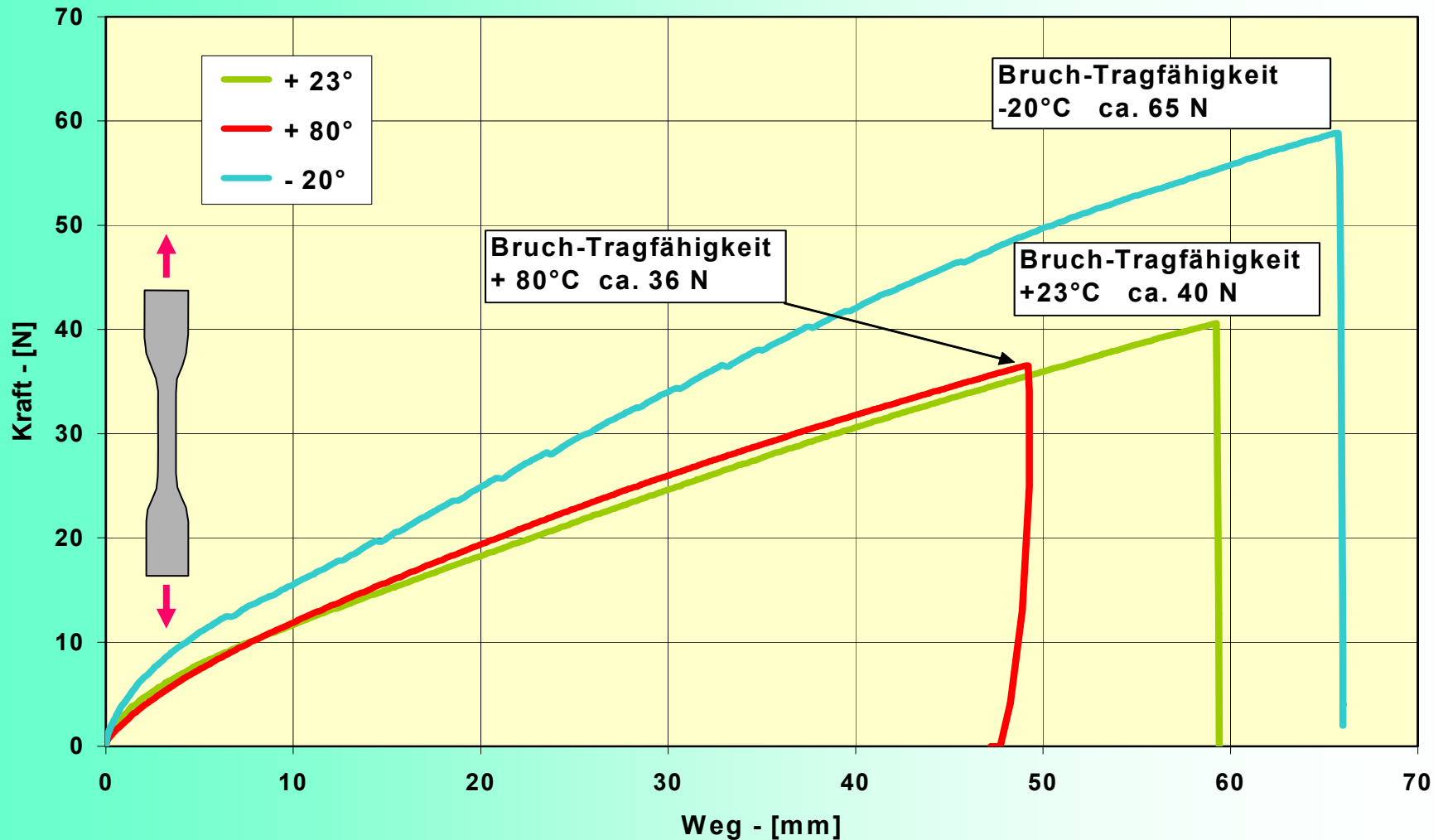


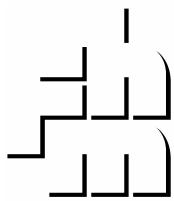
Inhalt

- Chemische und physikalische Eigenschaften
- Technische Regeln für SSG-Verklebungen
- Bisheriges Bemessungskonzept
- **Ergebnisse zum elastischen Verhalten verschiedener Verklebungsgeometrien**
- Ergebnisse von FE-Berechnungen
- Überschlägige Bemessungsmethode

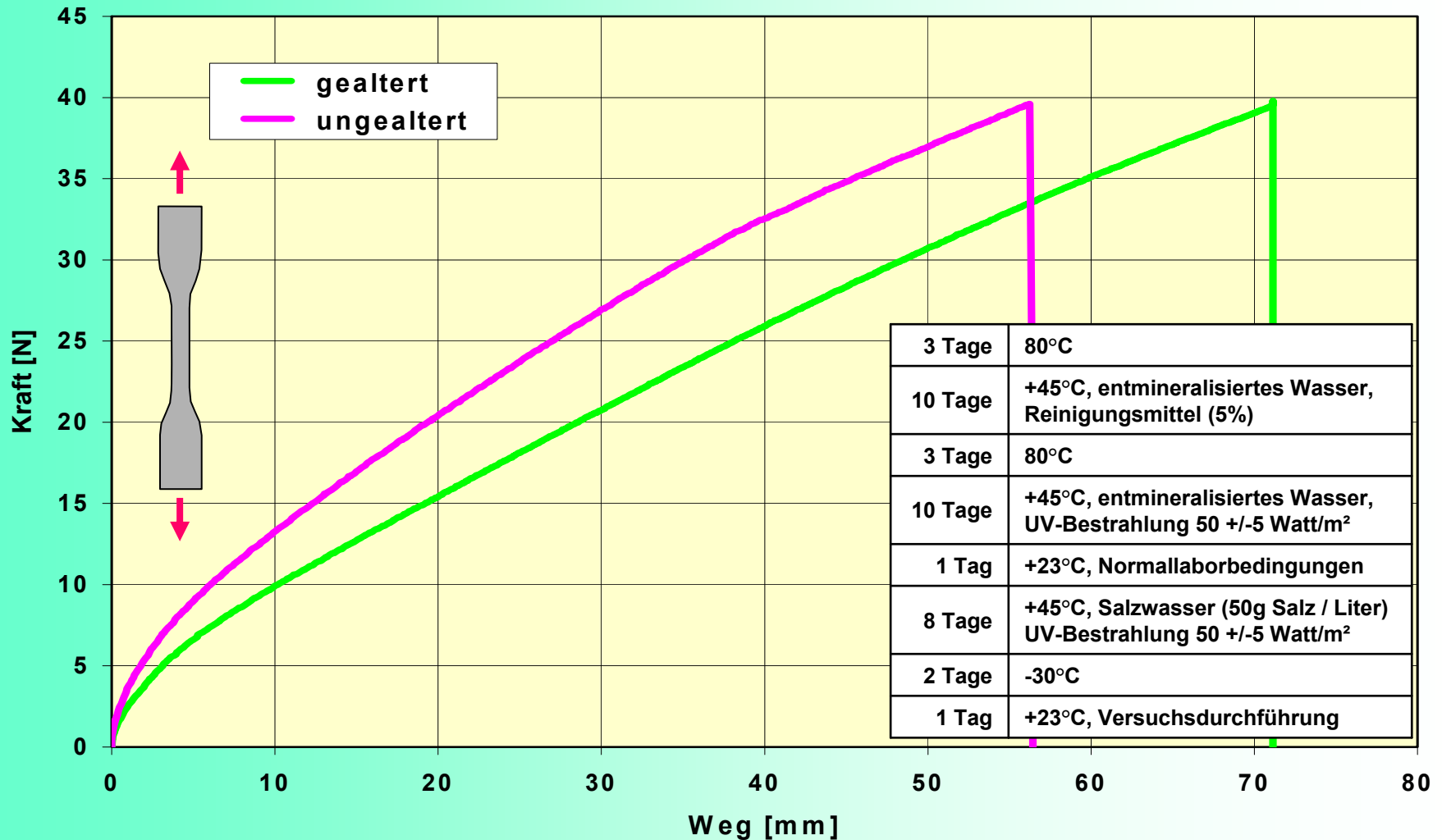


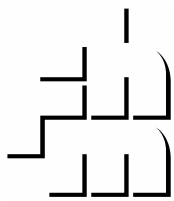
Werkstoffversuche Zug - verschiedene Temperaturen



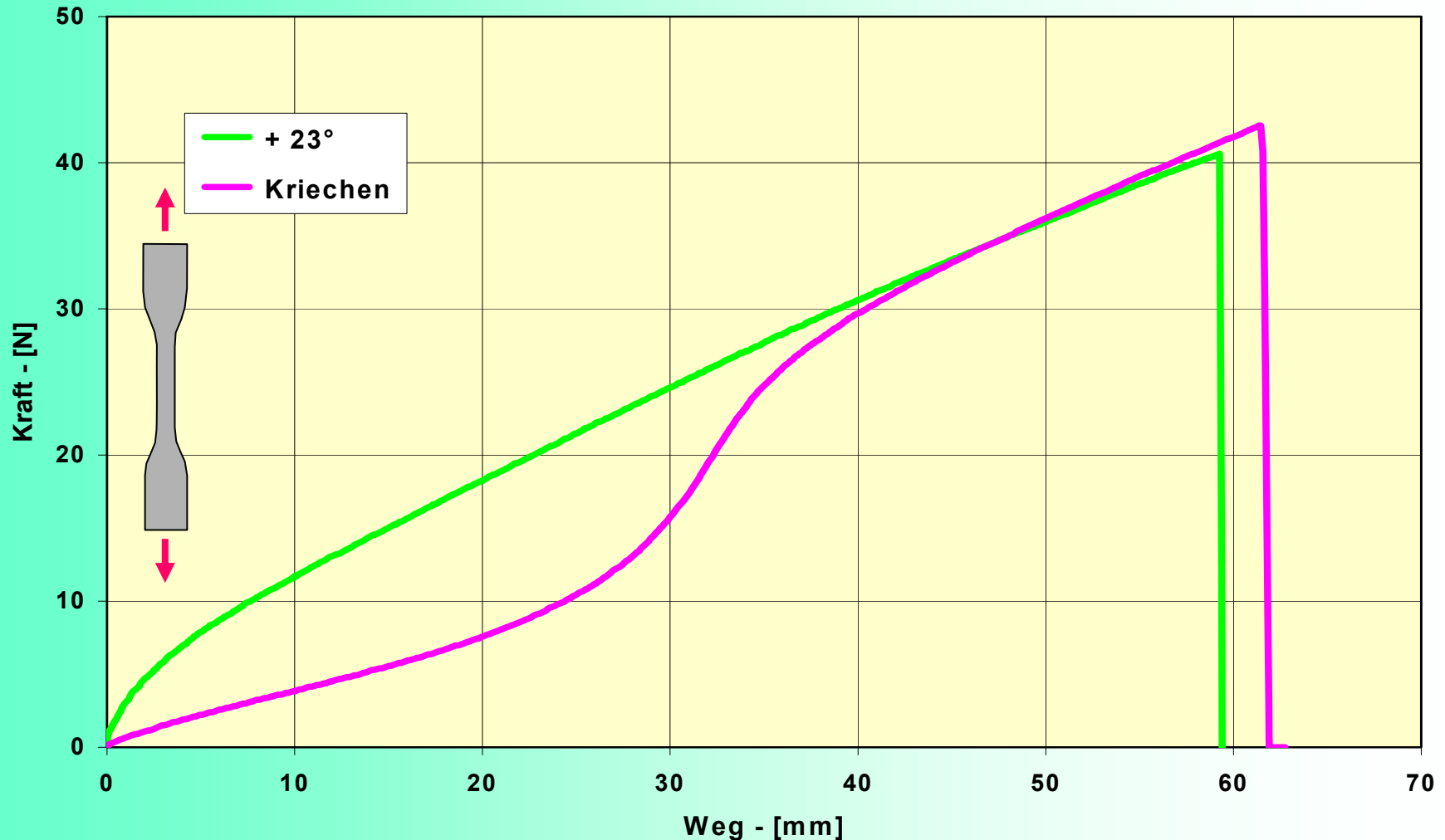


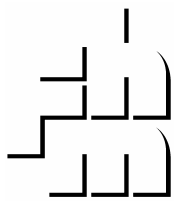
Werkstoffversuche Zug - Einfluß der Alterung



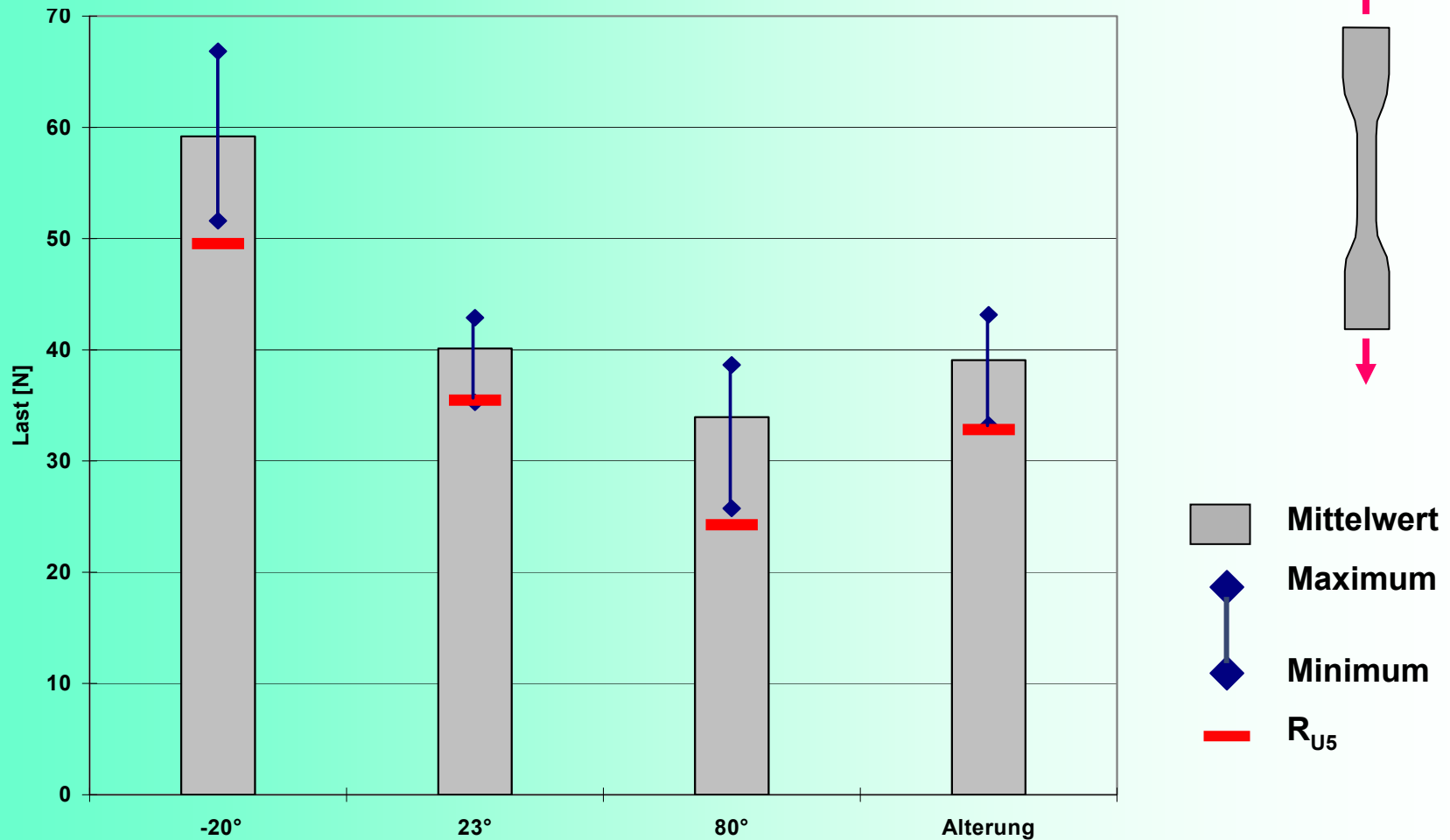


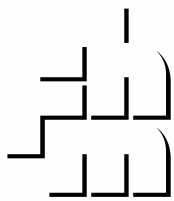
Werkstoffversuche Zug - Einfluß Kriechen



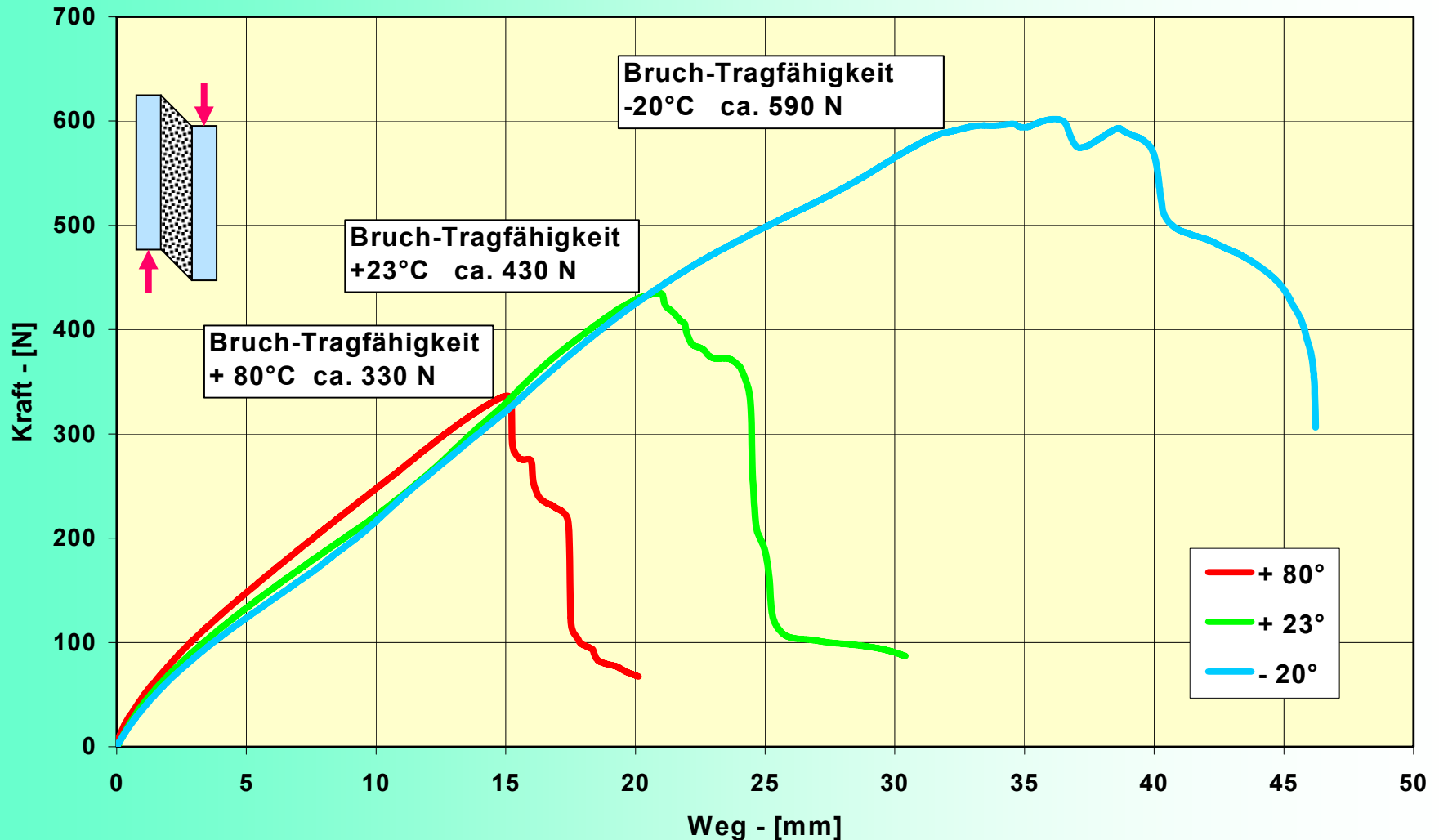


Übersicht Versuchsergebnisse Zug

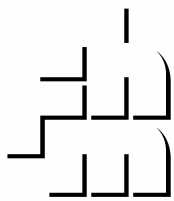




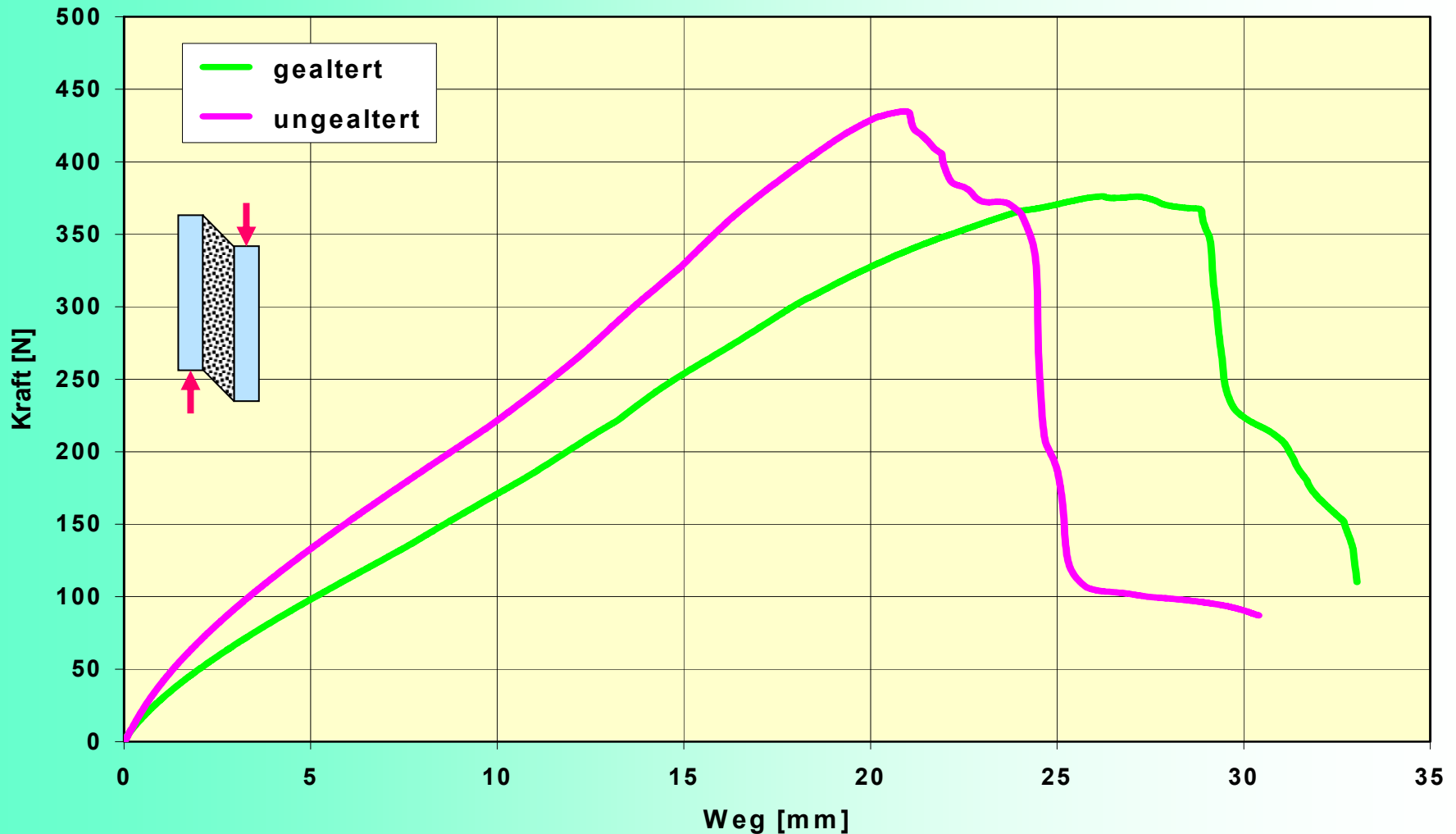
Werkstoffversuche Schub – verschiedene Temperaturen

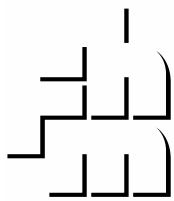


Ergebnisse zum elastischen Verhalten von Silikon



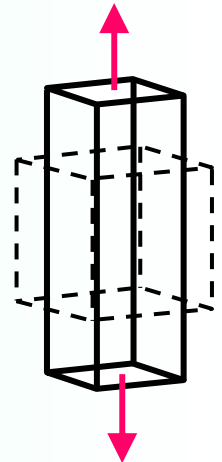
Werkstoffversuche Schub - Einfluß der Alterung

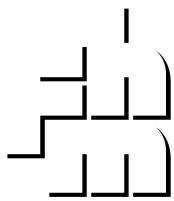




Phänomene beim Verkleben mit Silikon

- **Querkontraktionszahl $\nu \approx 0.5$ → Volumenkonstanz**
Die nahezu perfekte Inkompressibilität von Silikon führt zu:
 - **deutlichen Kopplungseffekten der Spannungen bei behinderter Querkontraktion**
 - **hoher Steifigkeit beim „Einschließen“ des Materials**
 - **Geringer Steifigkeit bei freier Einschnürmöglichkeit des Materials**

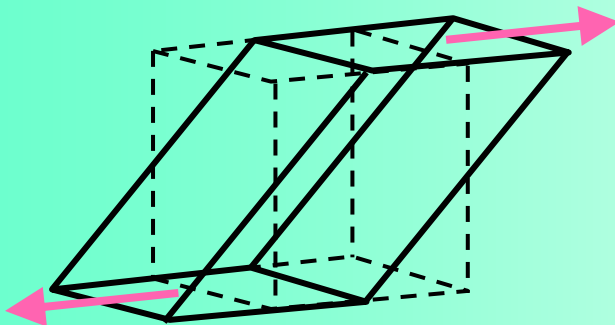
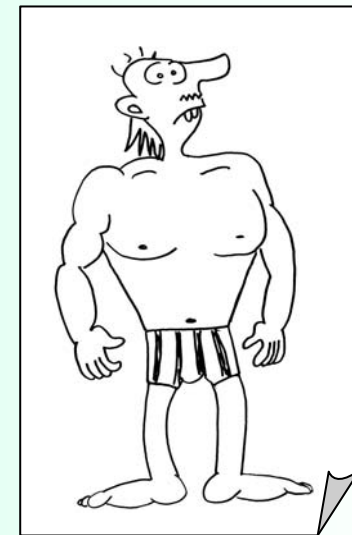
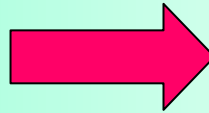
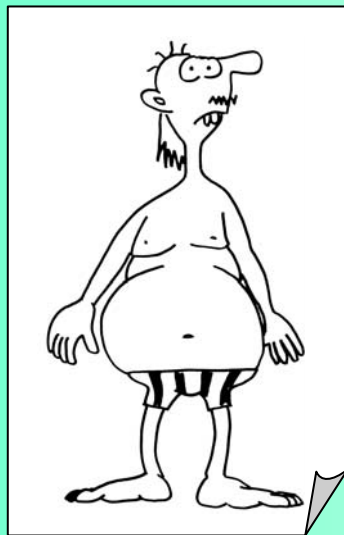




Elastische Eigenschaften von Elastomeren

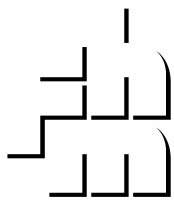
mechanisch sehr unterschiedlich bei Volumen- oder Gestaltänderungen

Gestaltänderung



Beispiel: Einfacher Schubversuch

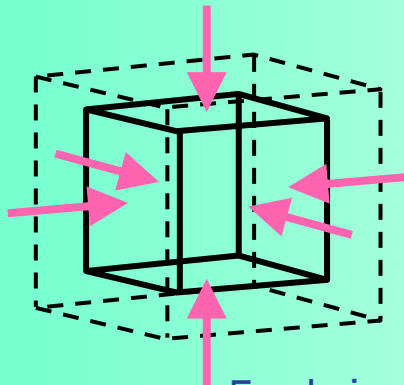
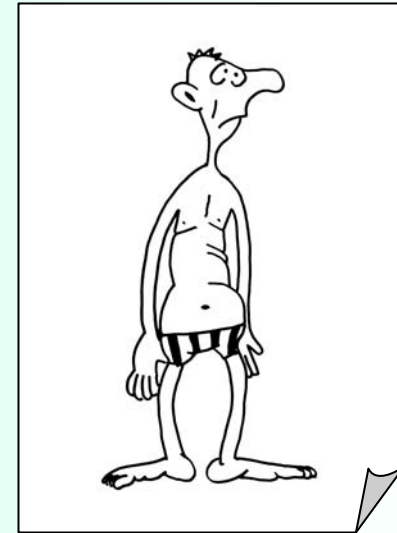
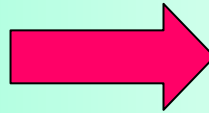
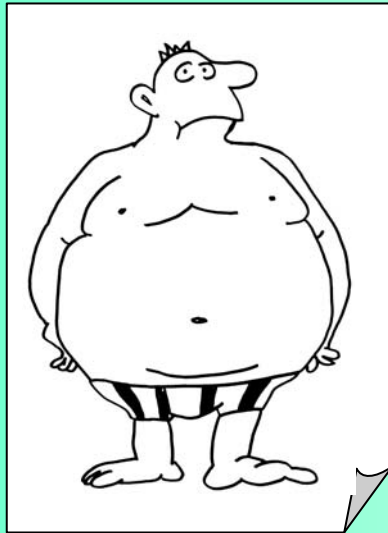
- geringe Steifigkeit
- große Verformung durch Verschieblichkeit der Molekülketten untereinander und Rotationsmöglichkeit innerhalb der Ketten



Elastische Eigenschaften von Elastomeren

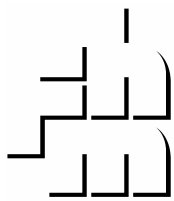
mechanisch sehr unterschiedlich bei Volumen- oder Gestaltänderungen

Volumenänderung

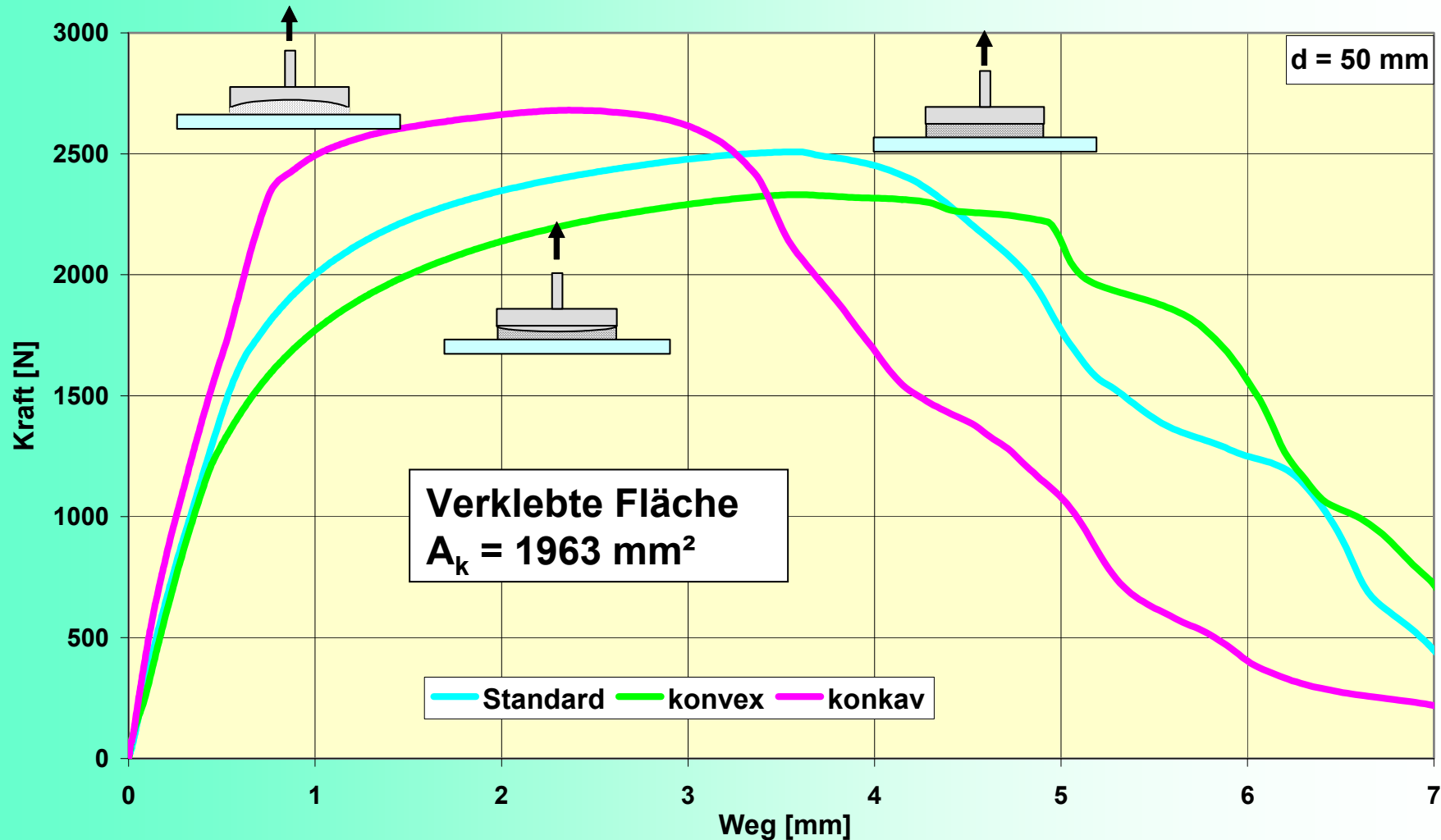


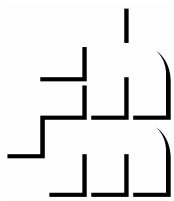
Beispiel: Kompressionsversuch

- hohe Steifigkeit (Inkompressibilität – „Volumenkonstanz“)
- geringe Verformung, da Längenänderung der Molekülketten hohe Energie erfordert

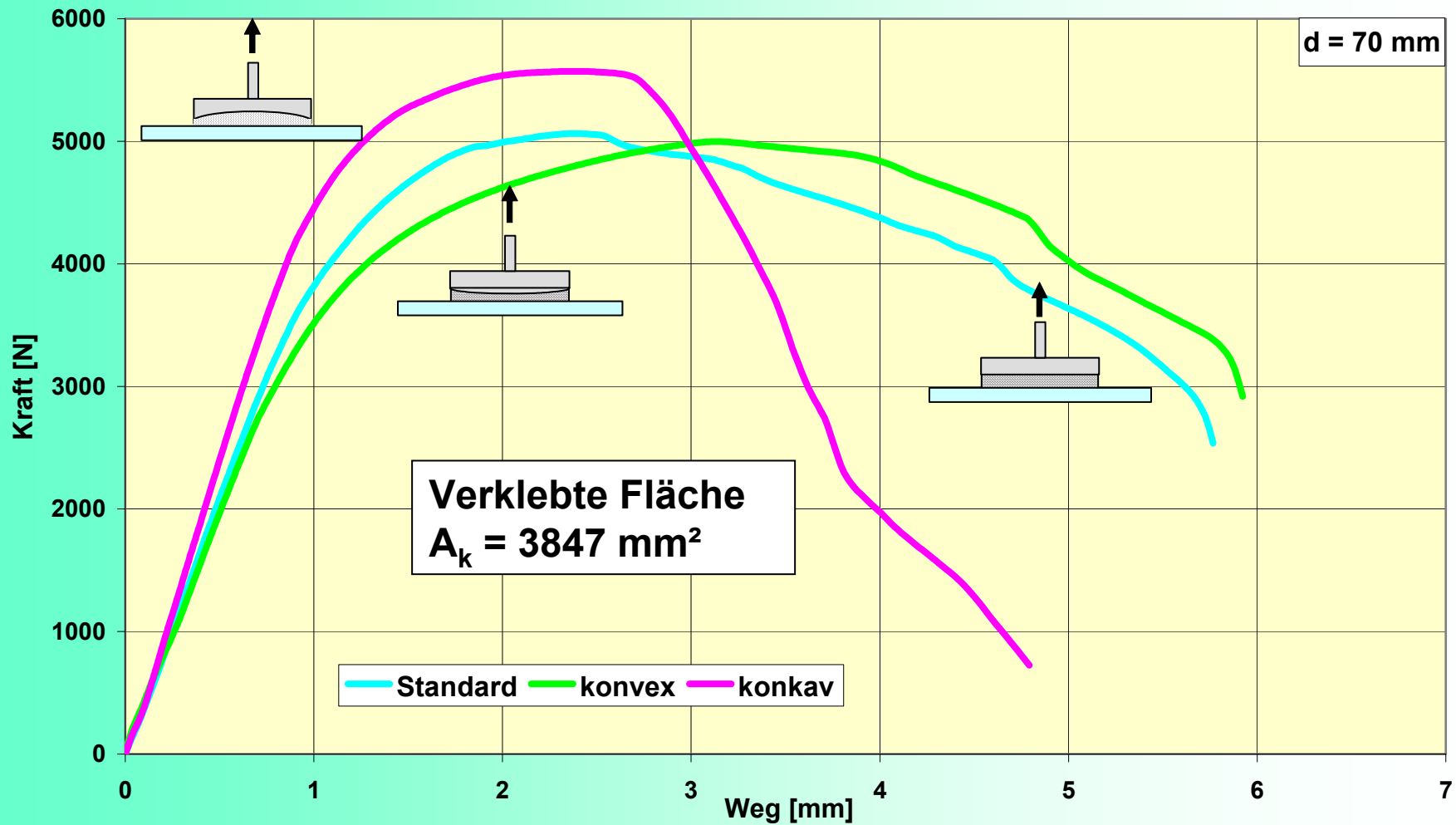


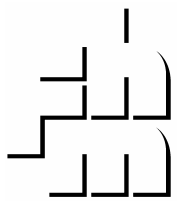
Punkthalter Ø 50 mm





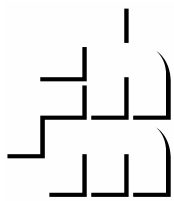
Punkthalter Ø 70 mm



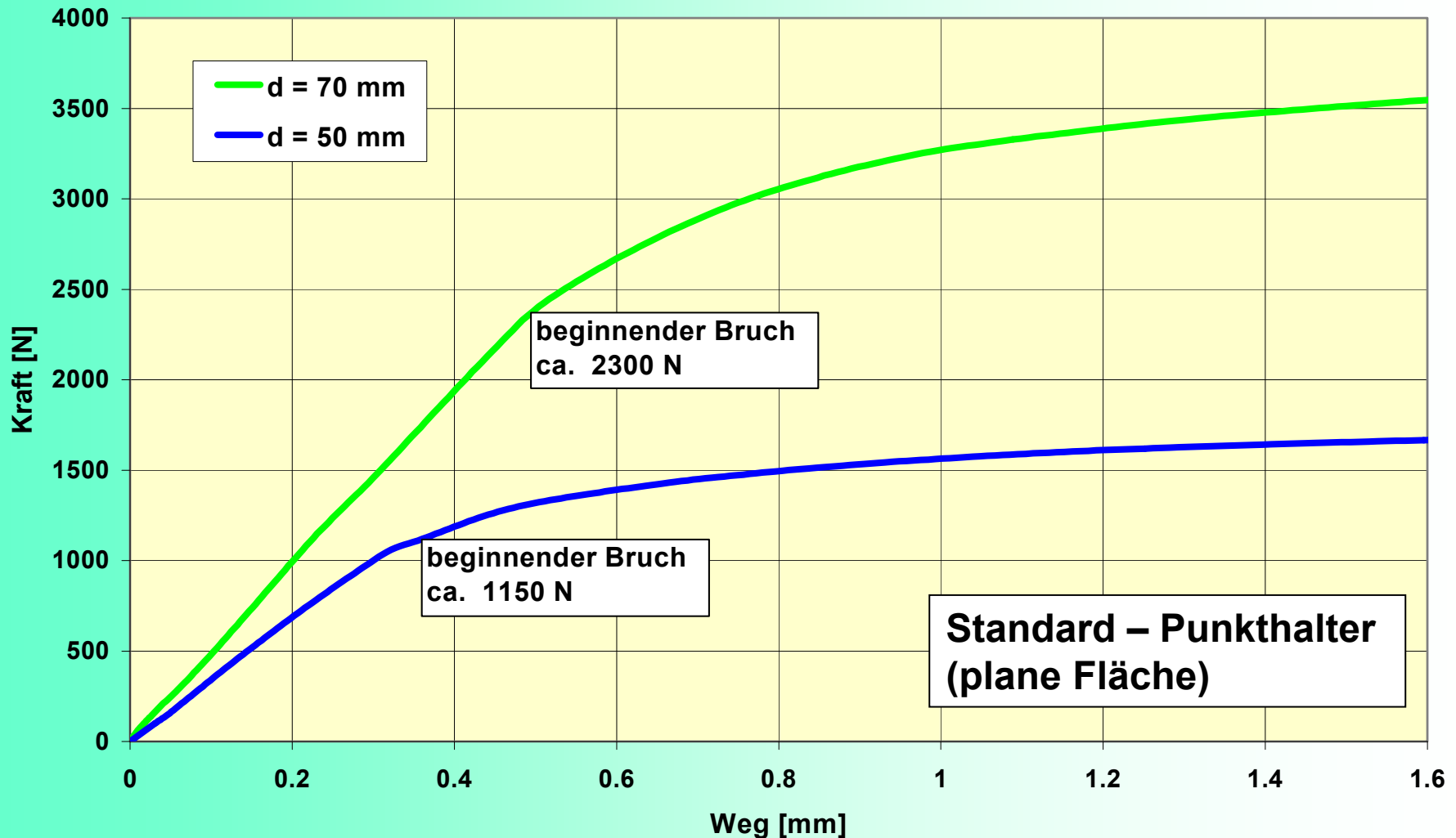


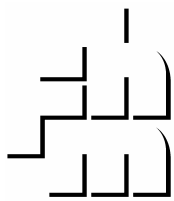
Unterschiede der Klebstoffe im Bruchbild



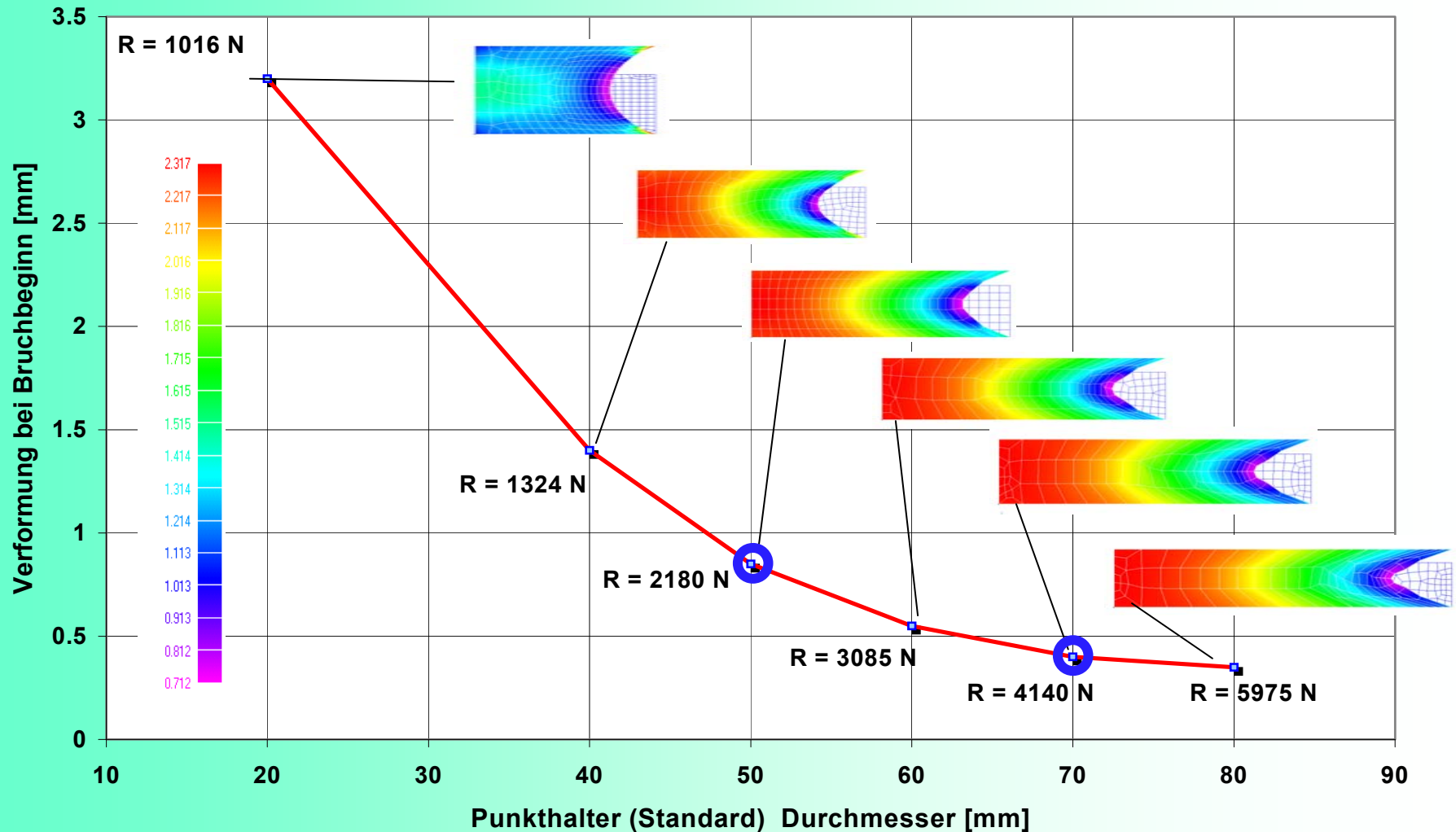


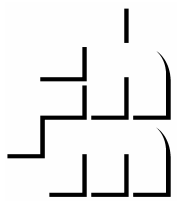
Punkthalter Vergleich der Steifigkeiten



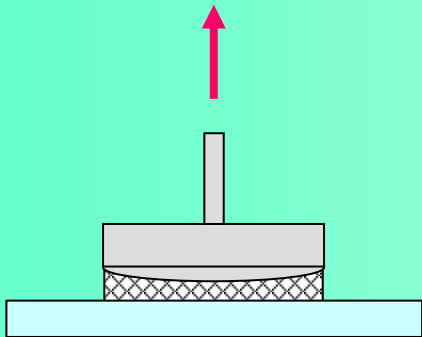
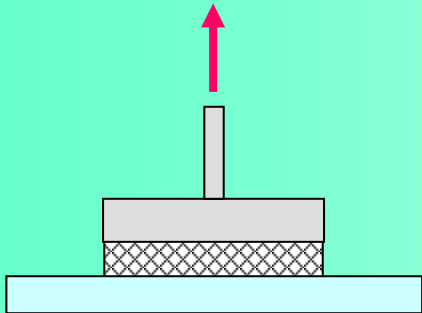
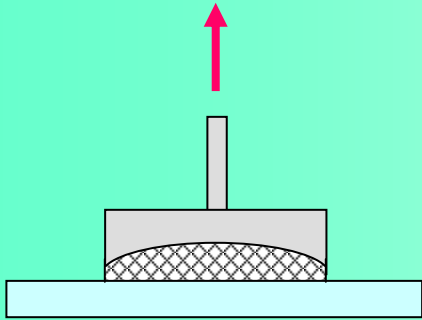


Theoretischer Bruchbeginn bei planen Punkthaltern

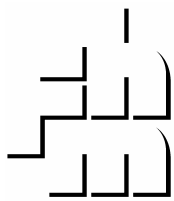




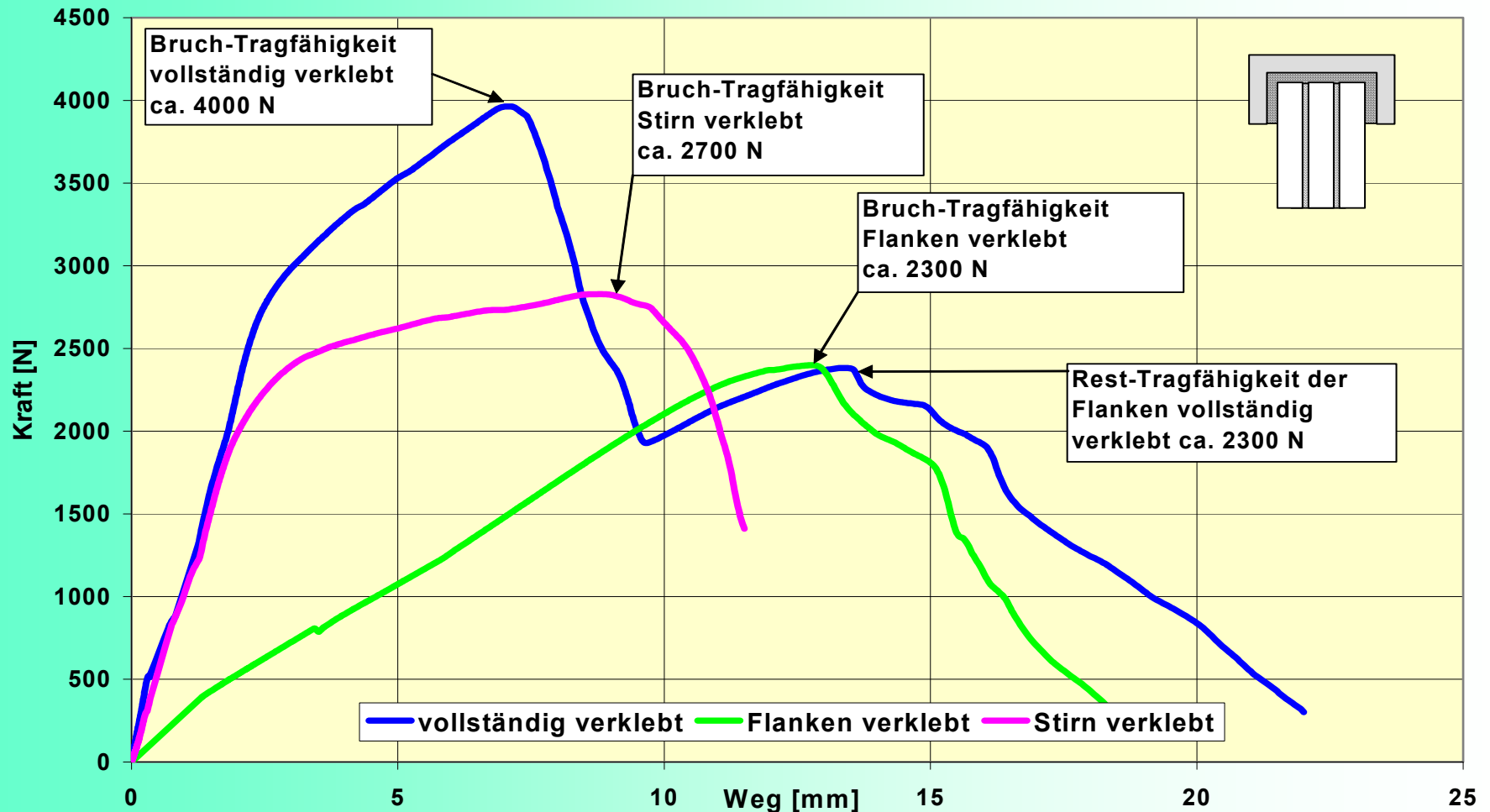
Fazit Punkthalter

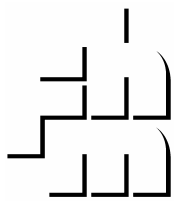


- Bruchlasten verhalten sich ungefähr proportional zu den Flächen.
- Die Steifigkeit nimmt mit zunehmendem Durchmesser zu.
Merke: Verhältnis des Umfangs zur Fläche sinkt
- Je geringer die Klebstoffdicke am Rand, je größer ist die Steifigkeit.
- Die Bruchlast nimmt mit zunehmender Dicke der Klebschicht im Inneren der Verklebung zu.

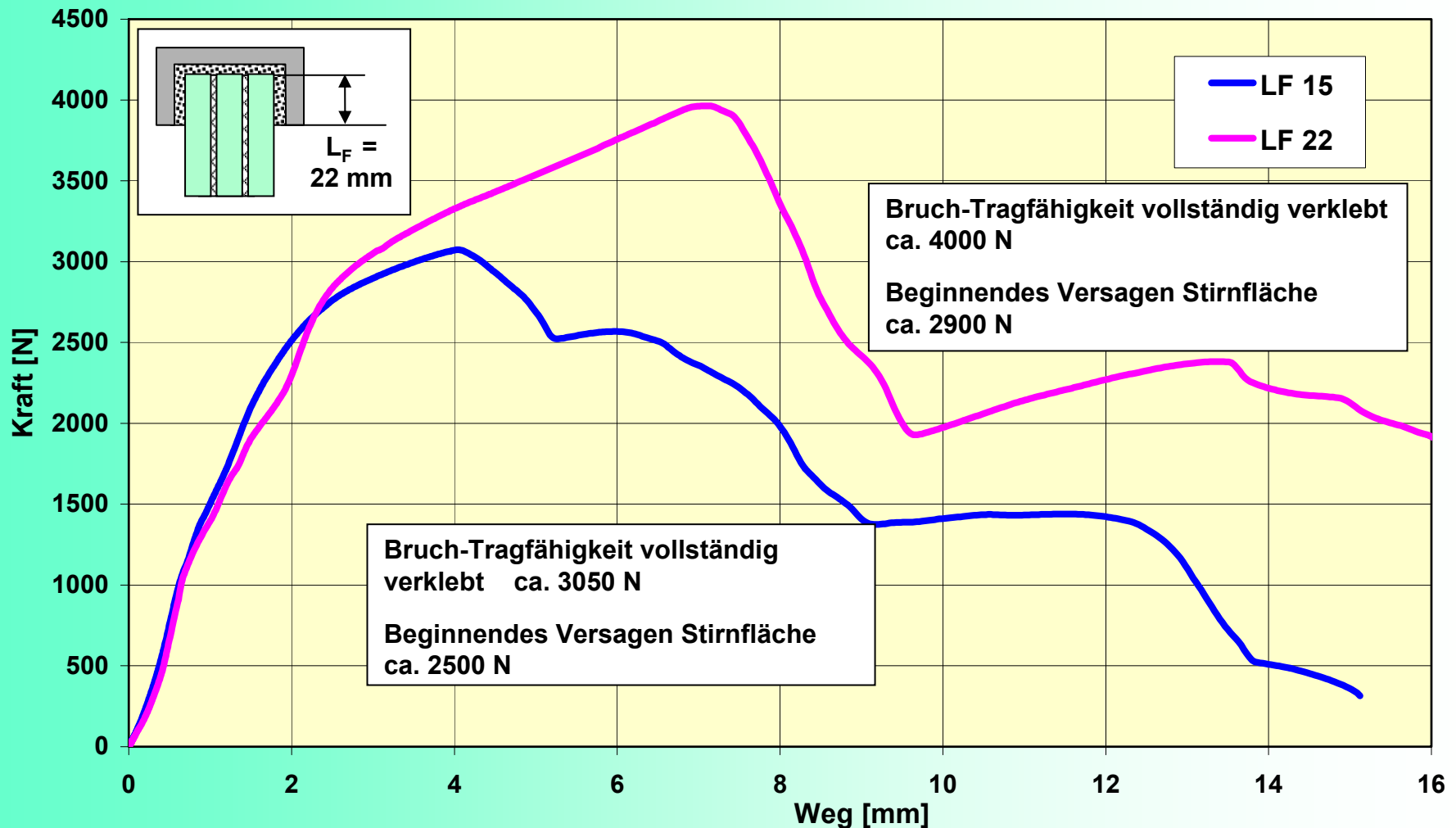


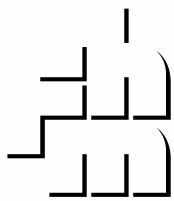
U-förmige Verklebung ($3 \times 12 + L_F 25$)



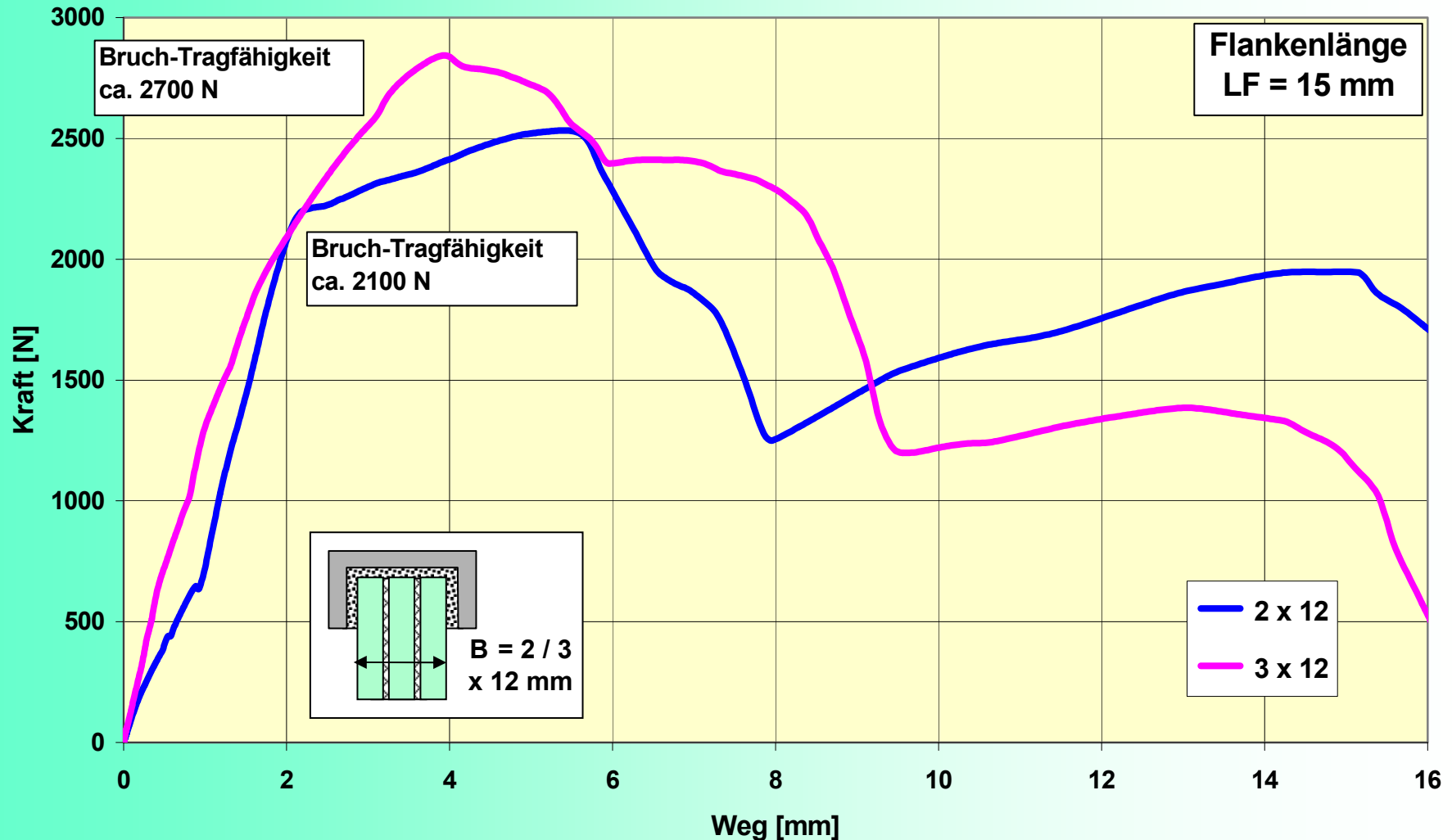


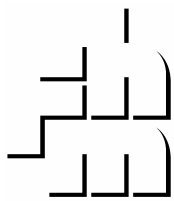
U-förmige Verklebung Einfluß der Flanke



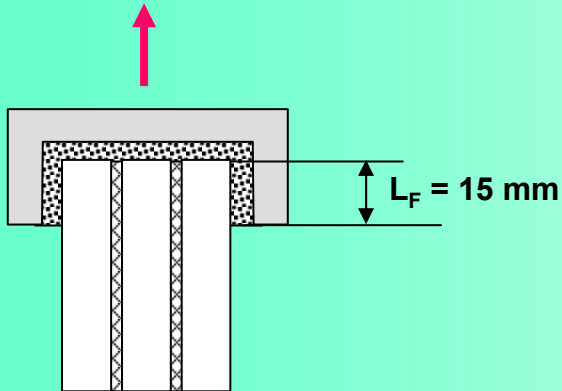
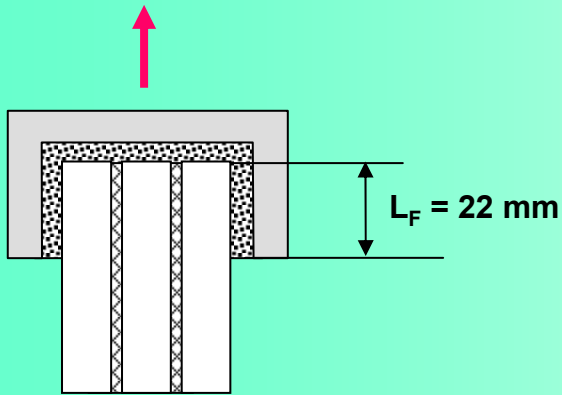


U-förmige Verklebung Einfluß der Breite

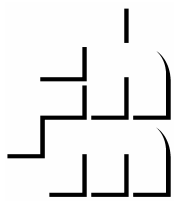




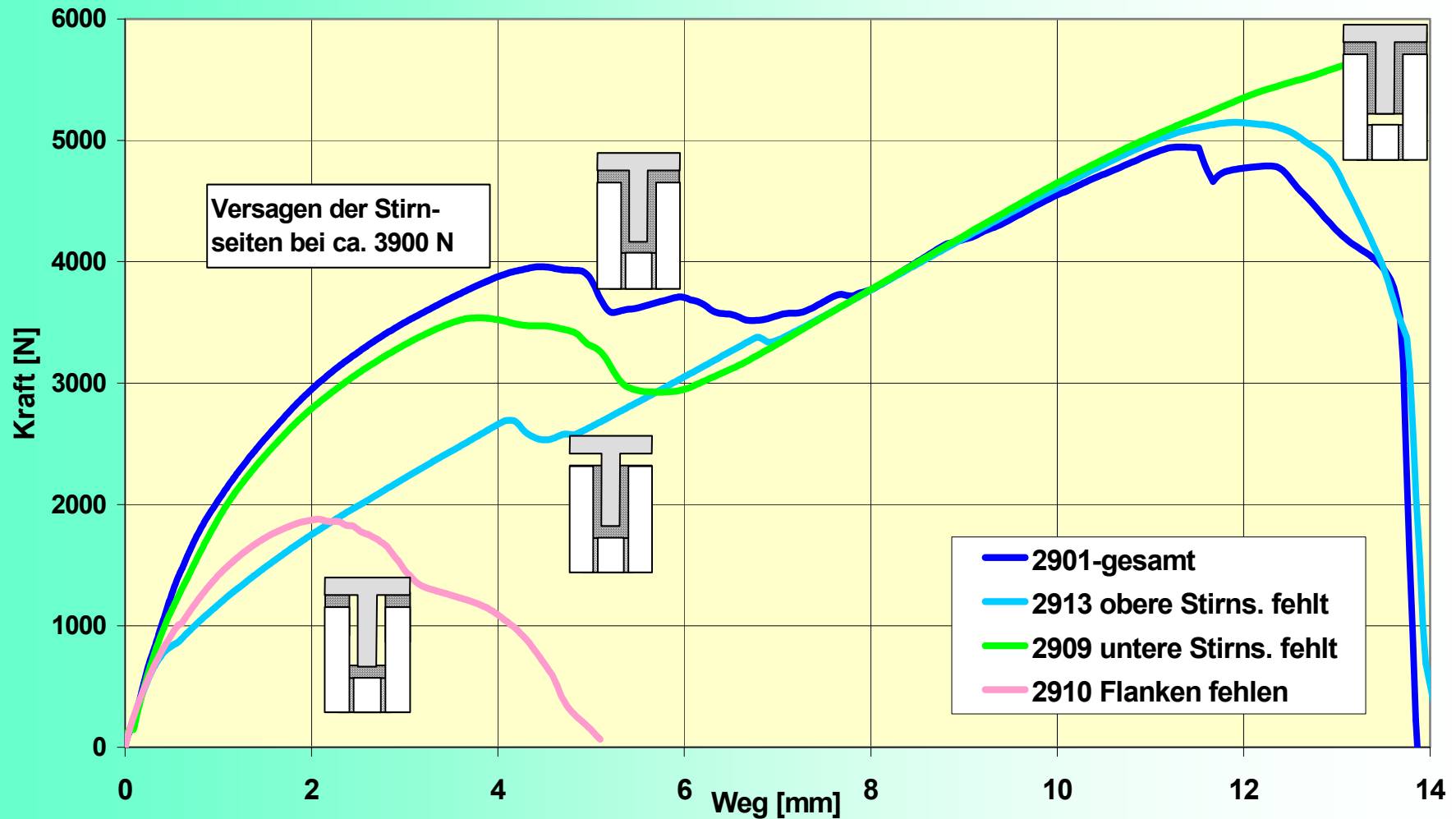
Fazit U-förmige Verklebung

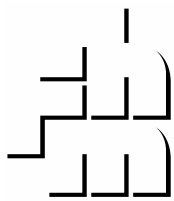


- Die Gesamt-Bruchlast nimmt mit zunehmender Flankenlänge zu
- Bruchlasten bis zum Beginn des Versagens der Stirnfläche steigen mit zunehmender Flankenlänge
- Mit zunehmender Flankenlänge steigt die redundante Tragfähigkeit
- Ein optimales Verhältnis von Stirnfläche zu Flanke beträgt etwa 1,7 / 1
- Die Steifigkeit der Verklebung bleibt bei unterschiedlichen Flankenlängen gleich
- Mit Zunahme der Stirnflächenbreite nimmt die Bruchlast geringer zu

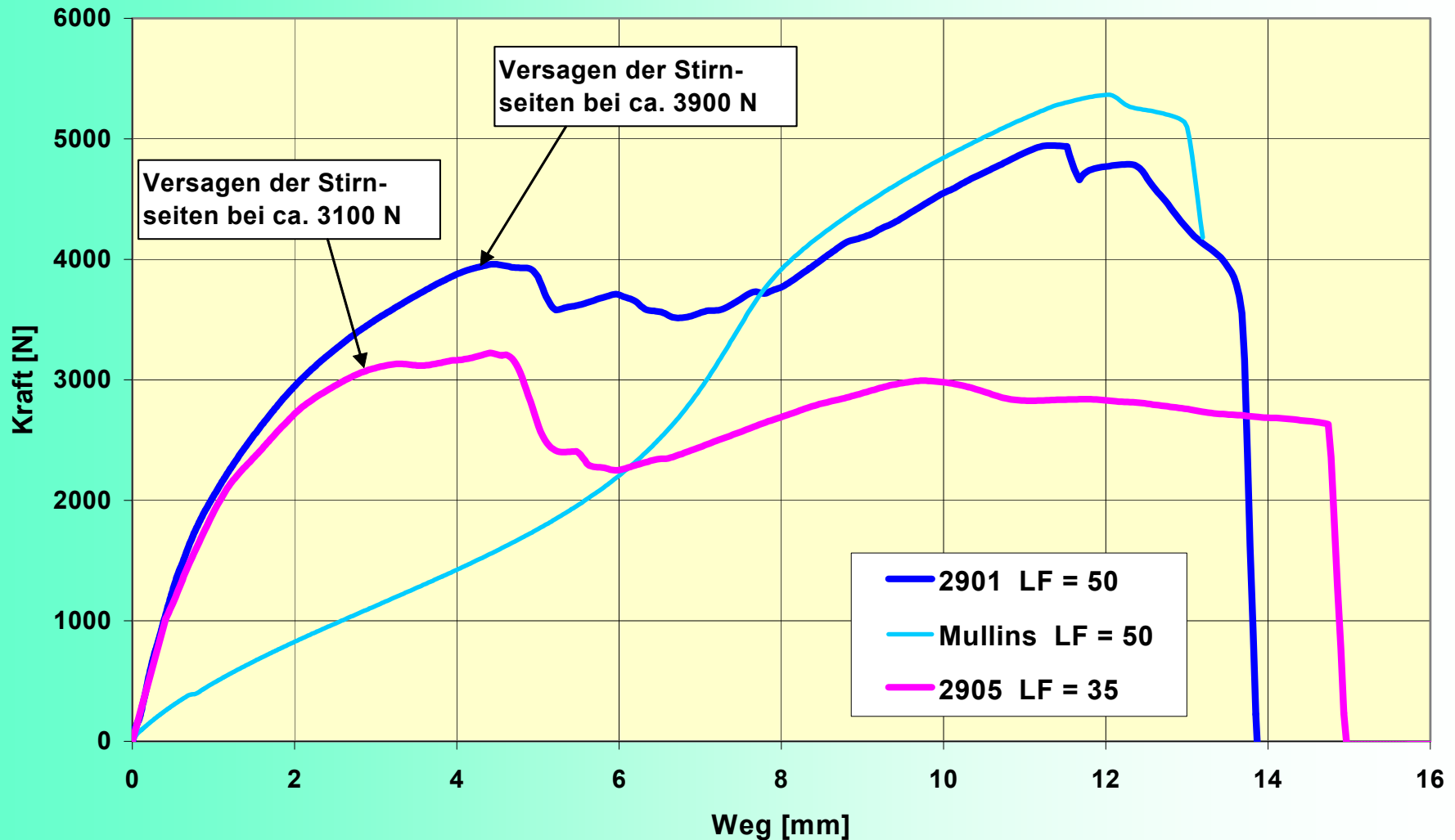


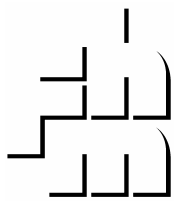
T-förmige Verklebung $L_F = 50$ mm



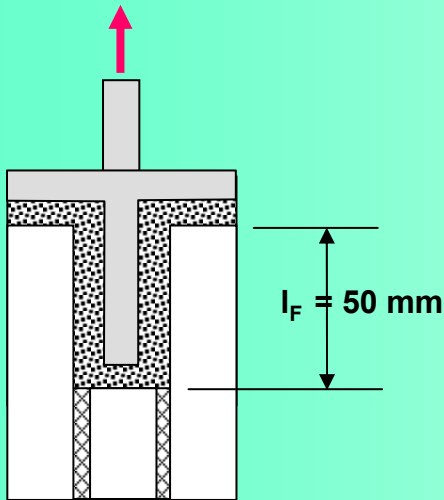
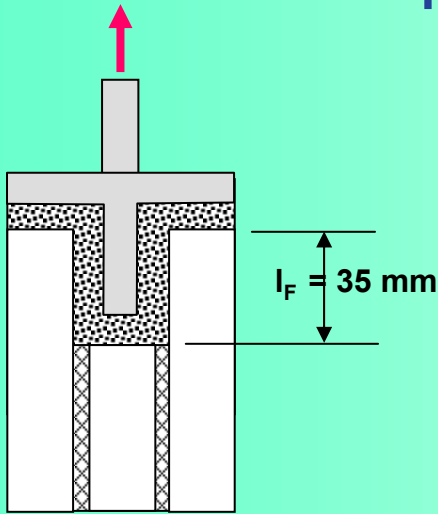


T-förmige Verklebung $L_F = 35 / 50$ mm

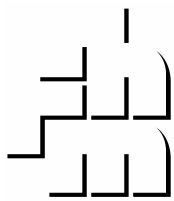




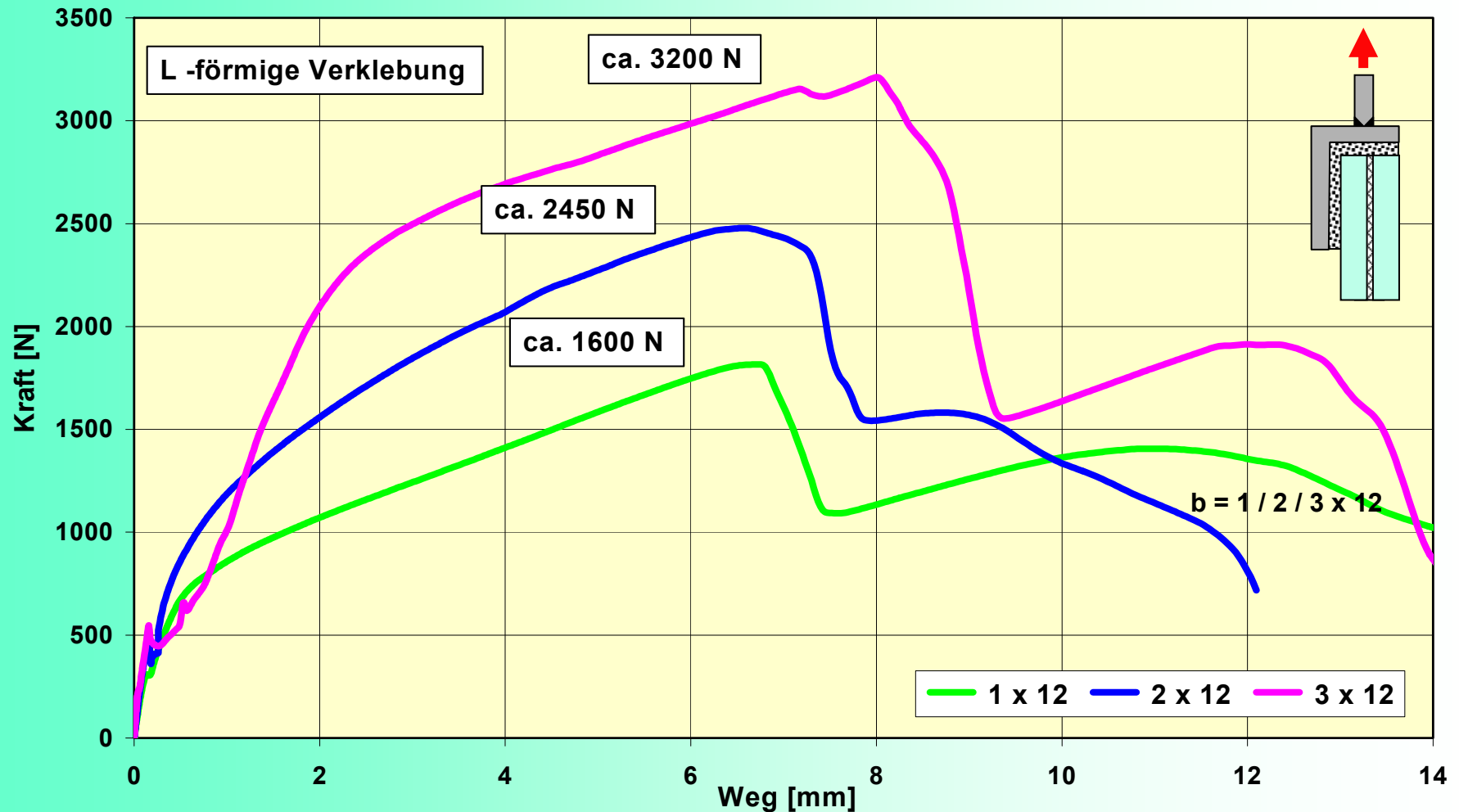
Fazit T-förmige Verklebung

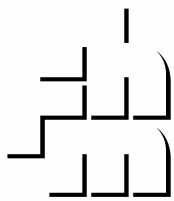


- Bruchlasten bis zum Beginn des Versagens der Stirnfläche steigen mit zunehmender Flankenlänge
- Die Steifigkeit der Verklebung bleibt bei unterschiedlichen Flankenlängen gleich
- Mit zunehmender Flankenlänge steigt die redundante Tragfähigkeit
- Die Gesamt-Bruchlast nimmt mit zunehmender Flankenlänge zu

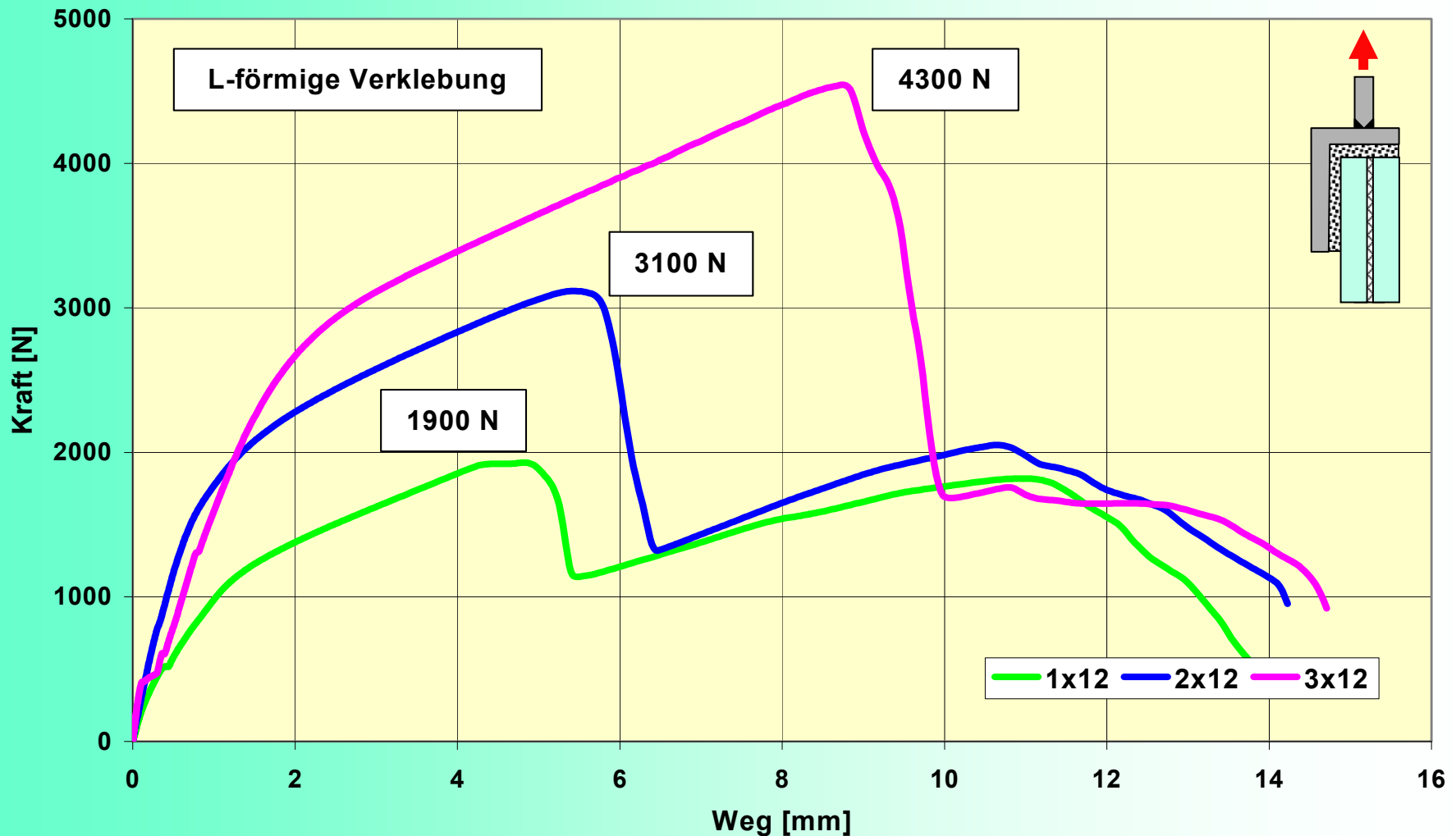


L-förmige Verklebungen Material 1

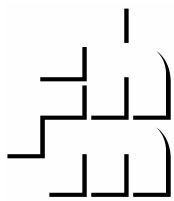




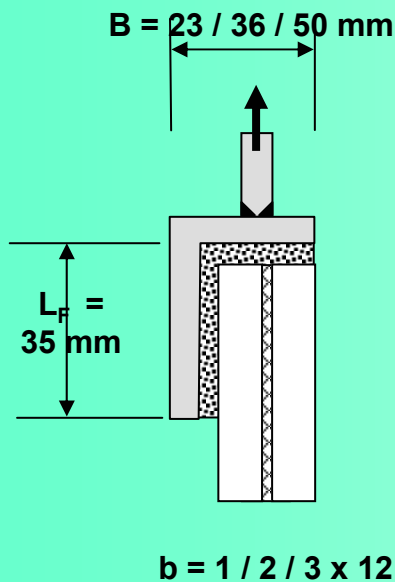
L-förmige Verklebungen Material 2



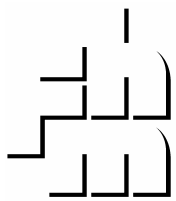
Ergebnisse zum elastischen Verhalten von Silikon



Fazit L-förmige Verklebung

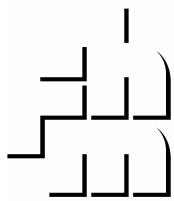


- Bruchlasten steigen ungefähr proportional mit zunehmender Stirnbreite
- Es kommt insgesamt zum Schubversagen
- Die Steifigkeit der Verklebung steigt bei zunehmender Stirnbreite
- Mit abnehmender Stirnbreite steigt bei gleicher Flankenlänge die redundante Tragfähigkeit



Inhalt

- Chemische und physikalische Eigenschaften
- Technische Regeln für SSG-Verklebungen
- Bisheriges Bemessungskonzept
- Ergebnisse zum elastischen Verhalten verschiedener Verklebungsgeometrien
- **Ergebnisse von FE-Berechnungen**
- Neue überschlägige Bemessungsmethode



Querkontraktionszahl

Die Querkontraktionszahl ν beschreibt das Materialverhalten hinsichtlich der Volumenänderung eines Materials unter Belastung

Ausgewählte Werte:

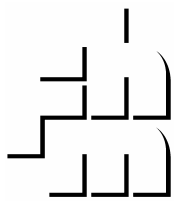
$$\nu \leq 0,5 \Rightarrow$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

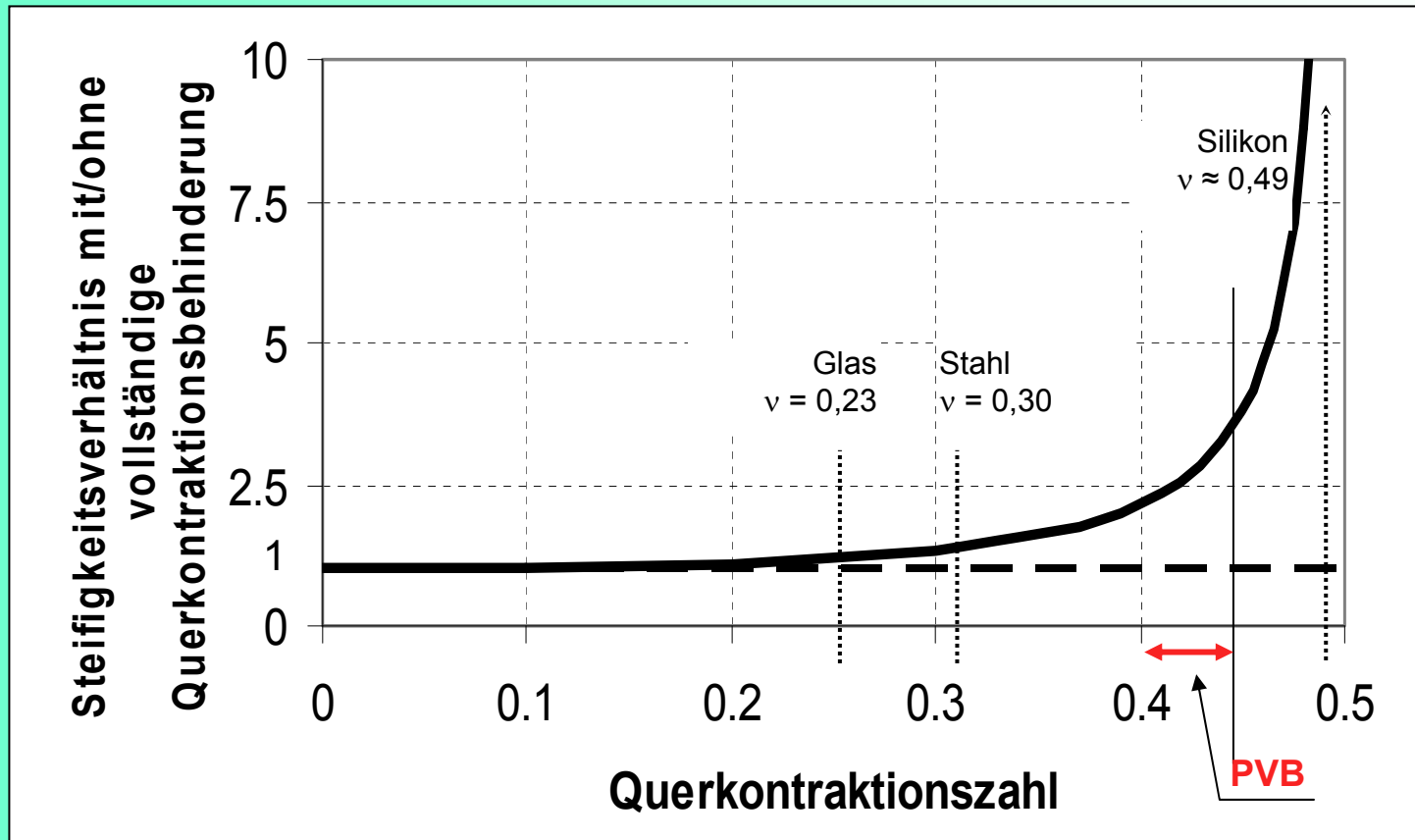
Material	Querkontraktionszahl ν
Stahl	0,30
Aluminium	0.30
Glas	0,23
Acryl, Acrylat-klebstoffe	0,40
Silikon	0,495 $\approx$ 0,5

Für linear elastische Materialien mit kleinen Dehnungen gilt, wie auch bei hyperelastischen Materialien für den Beginn der Belastung:

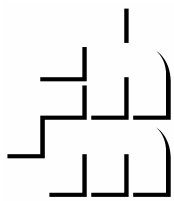
$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$



Die Querkontraktionszahl



$\nu \approx 0,49$ entspricht einer nahezu völligen Inkompressibilität = „Volumenkonstanz“



Hyperelastische Materialgesetze für große Dehnungen

- Rückkehr des Materials bei Entlastung in Ausgangslage, daher keine plastischen Dehnungen (vollelastisches Verhalten)

- Gebräuchliche Definitionen von Dehnungsenergiefunktionen:

- als Funktion der Dehnungsinvarianten*
 I_1, I_2, I_3 (z.B. Mooney-Rivlin)

$$W = W(I_1, I_2, I_3)$$

- als Funktion der Streckungen in Hauptdehnungsrichtungen $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ (z.B. Ogden)

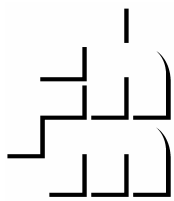
$$W = W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3), \lambda_i = \frac{l_i}{l_{oi}}$$

- Hier: Verwendung von auf Dehnungsinvarianten basierenden Materialgesetzen

- **Mooney-Rivlin:** $W = c_{10}(I_1 - 3) + c_{01}(I_2 - 3)$

Es gilt für nahezu inkompressible Werkstoffe

$$* \quad I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2, \quad I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_1^2 \lambda_3^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2, \quad I_3 = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3, \quad I_3 \approx 1$$



Definition der Spannungen

Ingenieurspannungen

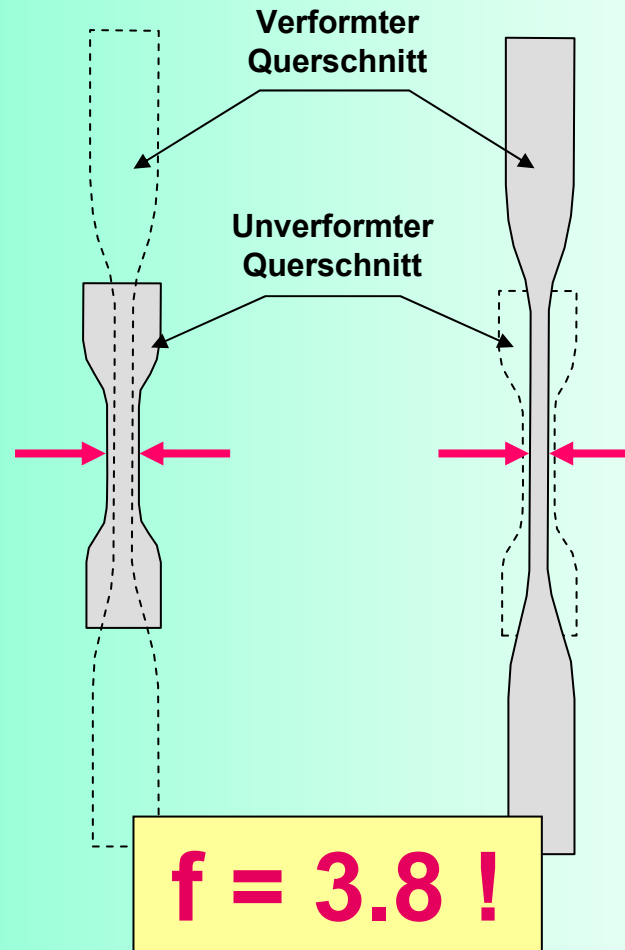
$$\sigma_i$$

Bezugsgröße:
Ausgangsquerschnitt

z.B. $A_0 = 24 \text{ mm}^2$

$F_{\text{Bruch}} = 40 \text{ N}$

$\sigma_i = 1.65 \text{ N/mm}^2$



Cauchy-Spannungen

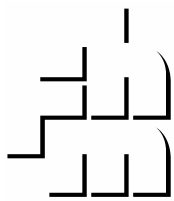
$$\sigma_c$$

Bezugsgröße:
aktueller Querschnitt

z.B. $A = 6.21 \text{ mm}^2$

$F_{\text{Bruch}} = 40 \text{ N}$

$\sigma_c = 6.21 \text{ N/mm}^2$



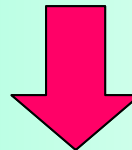
Definition der Dehnungen / Steifigkeiten

„Materialsteifigkeit“

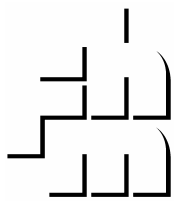
- Spannung als Funktion der Dehnung
- Steifigkeit nur vom Material abhängig
- Keine äußere Zwängung
→ Verhalten „weich“

„Struktursteifigkeit“

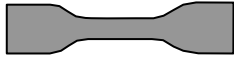
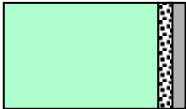
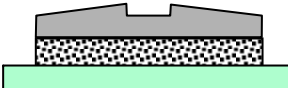
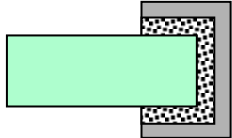
- Kraft als Funktion der Verschiebung
- Abhängig vom Material und der Verklebungsgeometrie
- Wegen räumlicher Kopplungseffekte der Spannungen → Verhalten „steif“
- Steifigkeit kann durch die Wahl der Geometrie gesteuert werden

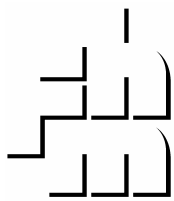


Keine eindeutige Zuordnung von Spannung und Dehnung einer beliebigen Geometrie, wie z. B. im Stahlbau möglich



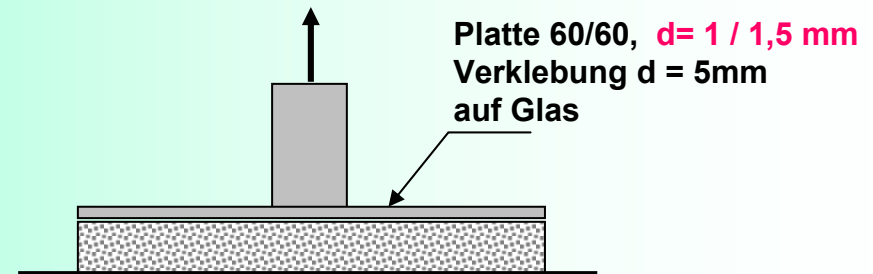
Steifigkeiten verschiedener Verklebungen

Belastung = F/A_0 = 1 N/mm ²	Werkstoff	Verklebungsgeometrien		
				
Dehnung $\Delta l/l_0$	122 %	$\approx 2.6 \%$	$\approx 4.7 \%$	$\approx 4.7 \%$
Maximum σ_{xx} bzw. σ_{axial}	2.22 N/mm ²	1.41 N/mm ²	1.86 N/mm ²	2.34 N/mm ²
Maximum σ_{yy} bzw. σ_{radial}	0 N/mm ²	1.38 N/mm ²	1.80 N/mm ²	2.27 N/mm ²
Maximum σ_{zz} bzw. $\sigma_{tangential}$	0 N/mm ²	1.38 N/mm ²	1.80 N/mm ²	2.27 N/mm ²

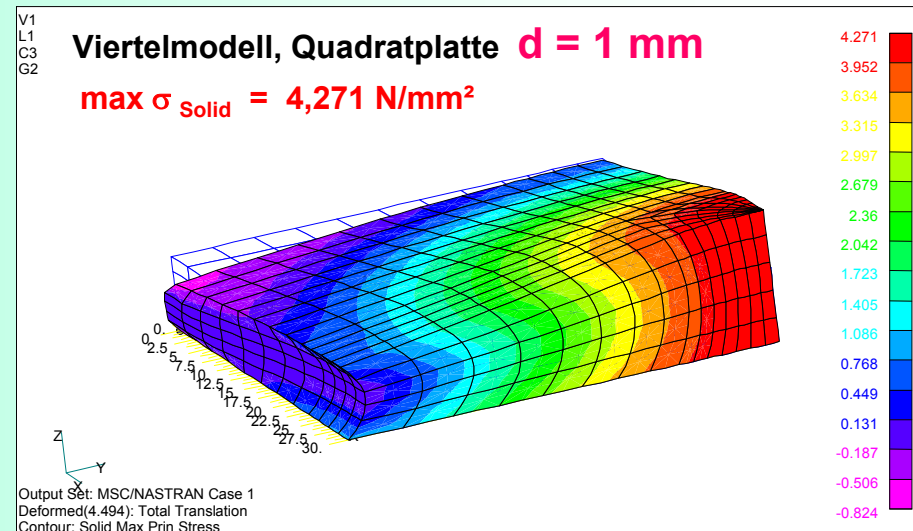
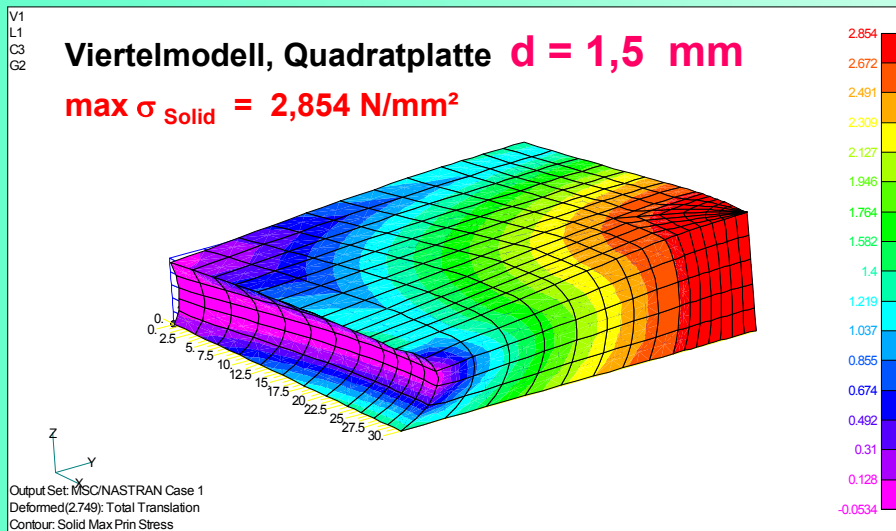


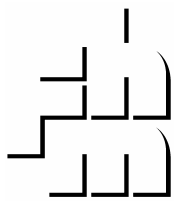
Einfluss der Nachgiebigkeit von Verbindungsteilen

äußere Last: $P = 1.130 \text{ N}$,
verteilt auf die Fläche: 1130 mm (60x60)
 $= \sigma_{\text{des}} = 0,314 \text{ N/mm}^2$



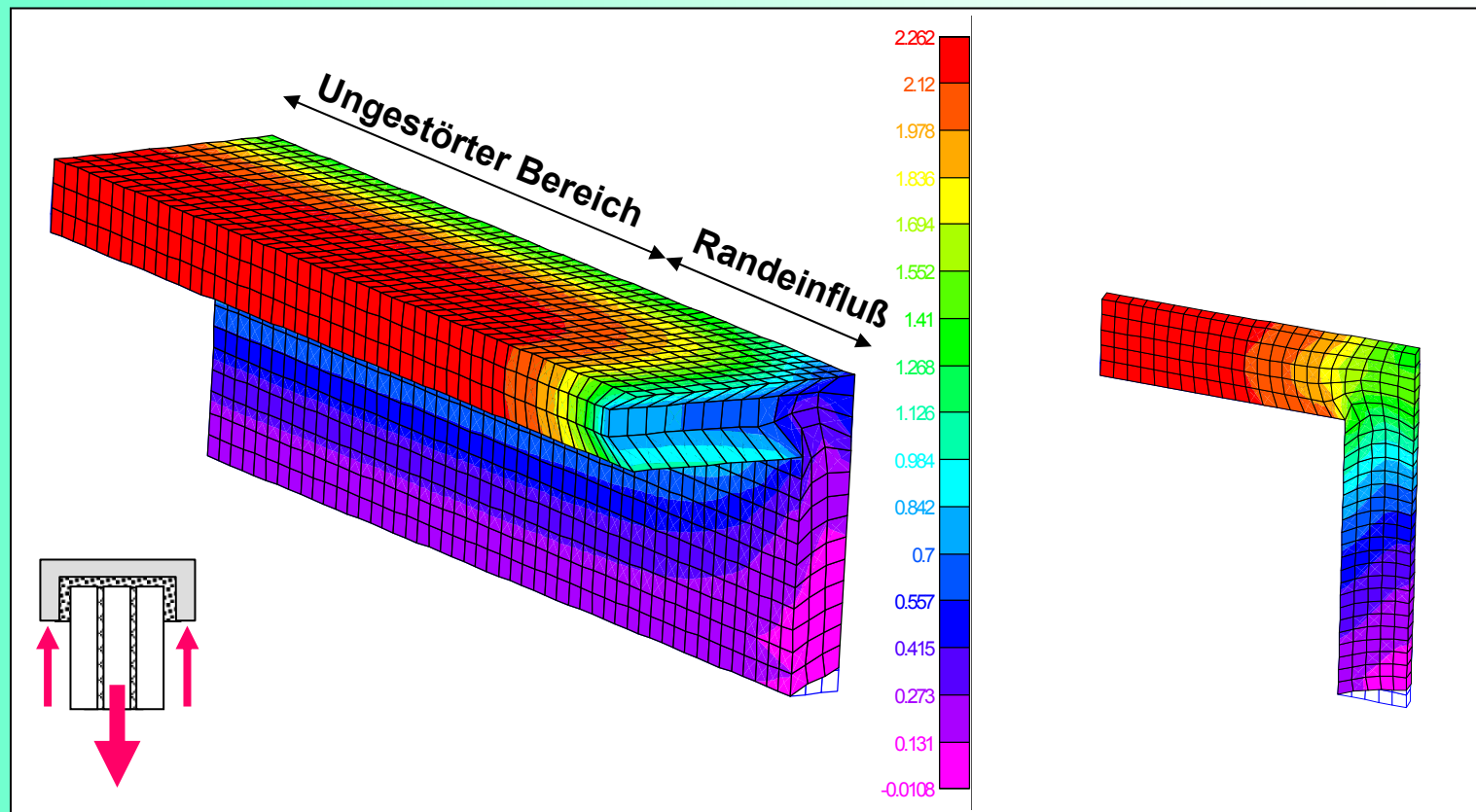
Die tatsächliche Spannung ist ca. um den Faktor **9 bzw. 13** größer als die über den Querschnitt betrachtete Spannung.

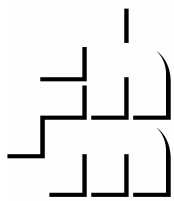




Randeinfluß bei linienförmigen Verklebungen

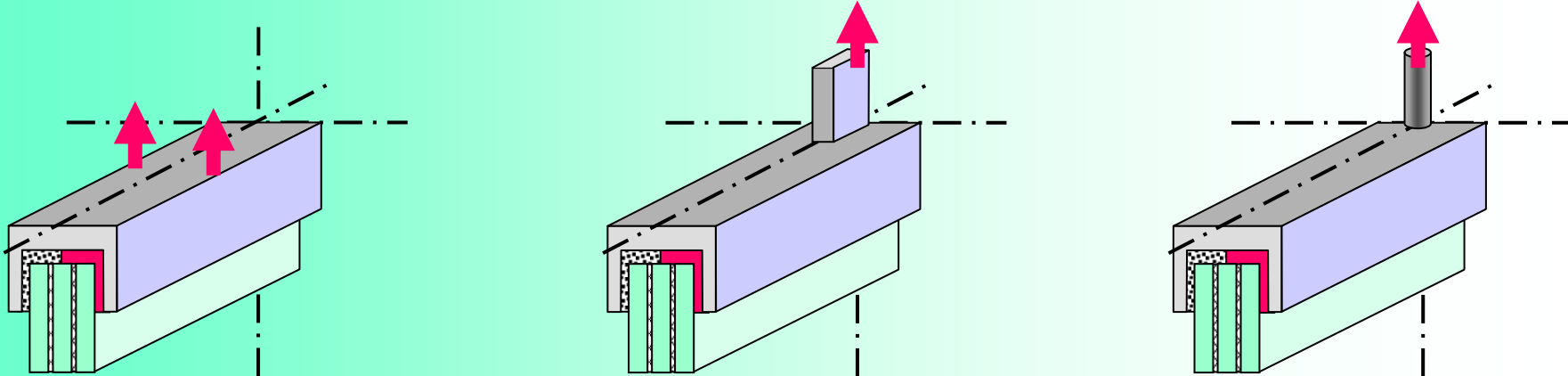
Trotz einer idealen Lasteinleitung wird die ungestörte Lastabtragung erst nach einigen cm – hier **nach ca. 4 cm** – erreicht.



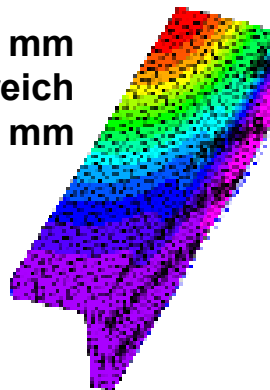


Spannungsverteilung bei linienförmigen Verklebungen

Die Untersuchung verschiedener Geometrien zeigt, dass die Wahl der Anschlußbauteile einen wesentlichen Einfluß auf die Lastverteilung innerhalb der Klebfuge hat.

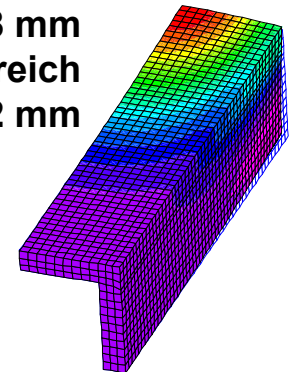


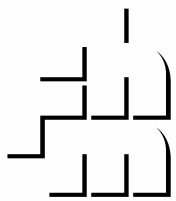
Lasche $l=40$ mm
Ungestörter Bereich
ca. 34 mm



Randstörung
ca. 40 mm

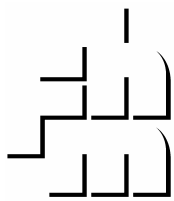
Bolzen $\varnothing=8$ mm
Ungestörter Bereich
ca. 22 mm





Inhalt

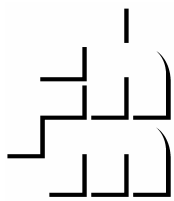
- Chemische und physikalische Eigenschaften
- Technische Regeln für SSG-Verklebungen
- Bisheriges Bemessungskonzept
- Ergebnisse zum elastischen Verhalten verschiedener Verklebungsgeometrien
- Ergebnisse von FE-Berechnungen
- **Überschlägige Bemessungsmethode**



Ermittelte Bruchspannungen

- Auf der Basis von Versuchen werden Bruchlasten aus FE-Vergleichsberechnungen ermittelt, die als Basiswerte für die Ermittlung der zulässigen Werte herangezogen werden können.
- Die Sicherheitsbeiwerte können analog ETAG 002 angesetzt werden:

Beanspruchung	Sicherheitsbeiwert	
	Konservativ nach ETAG 002	Empfehlung aus Versuchen
Normalspannungen Kurzzeitlast bis zu +30°C	6	5
Normalspannungen Kurzzeitlast bis zu +80°C		6
Normalspannungen Dauerlast bis zu +30°C	10	8
Normalspannungen Dauerlast bis zu +80°C		10

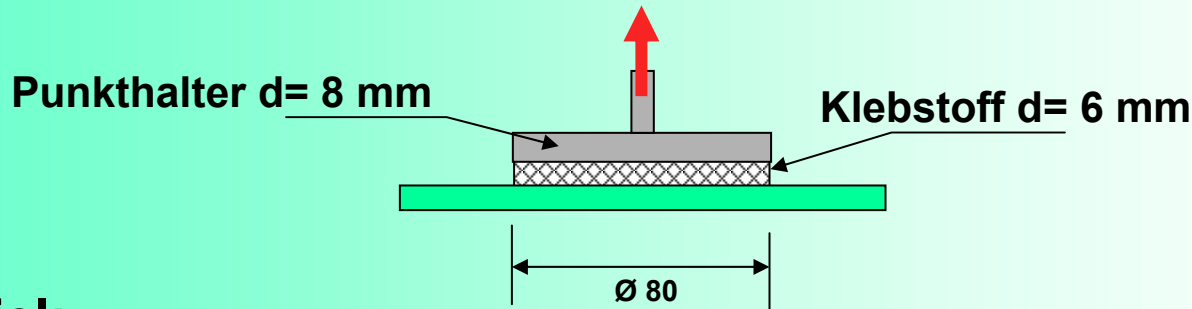


Standard-Punkthalter auf Zug belastet

Bemessungsempfehlung Klebstoff 1:

Verklebungsfläche [mm²] x 1,0 N/mm² = Bruchlast [N]

Bruchlast [N] / Sicherheitsbeiwert = zul. Gebrauchslast [N]

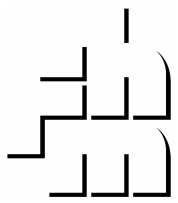


Beispiel:

Punkthalter auf Zug belastet Ø 80 mm, Kurzzeitbelastung (Wind)

Bruchlast = 40 x 40 x 3,14 x 1 = 5.024 N

Gebrauchslast = 5.024 / 6 = 837 N = 0,84 kN $\triangleq$ 0.167 N/mm²



U-förmige Verklebung auf Zug belastet

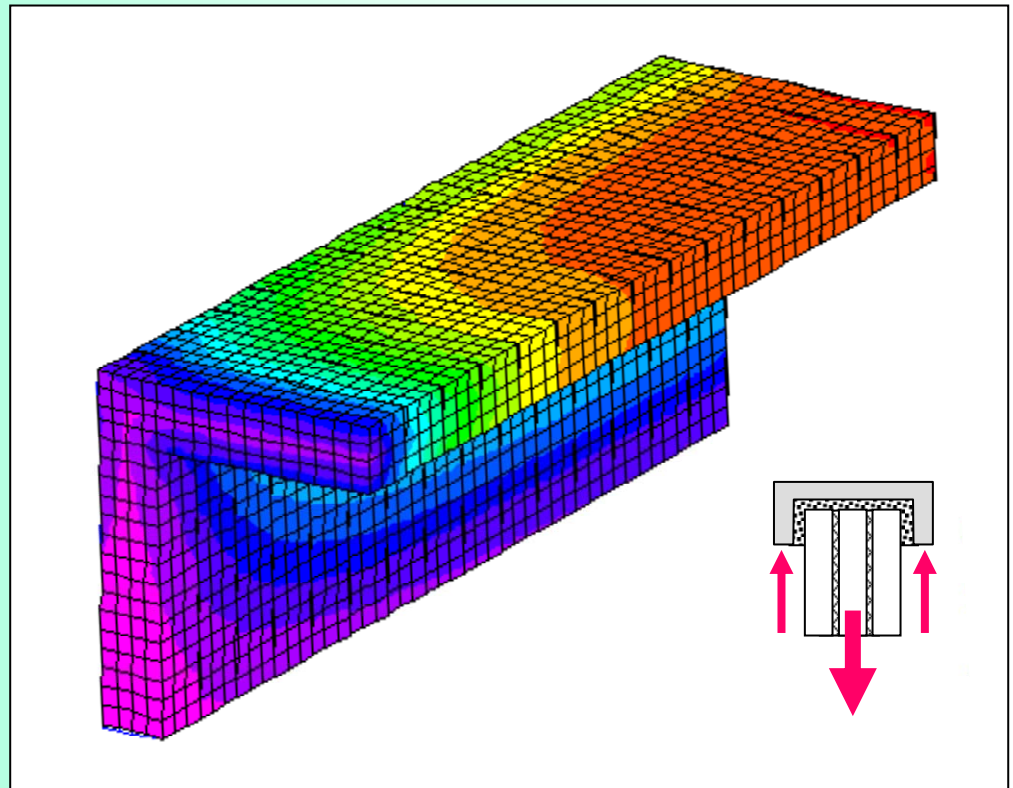
Berechnungen mit FEM zeigen, dass mit zunehmendem Abstand vom freien Rand zunehmend höhere Lasten aufgenommen werden können.

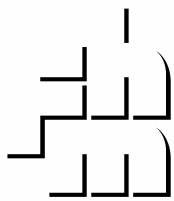
Die Berechnung erfolgte an einem Abschnitt von insgesamt 150 mm.

Hier dargestellt 75 mm unter Ausnutzung der Symetriebedingungen.

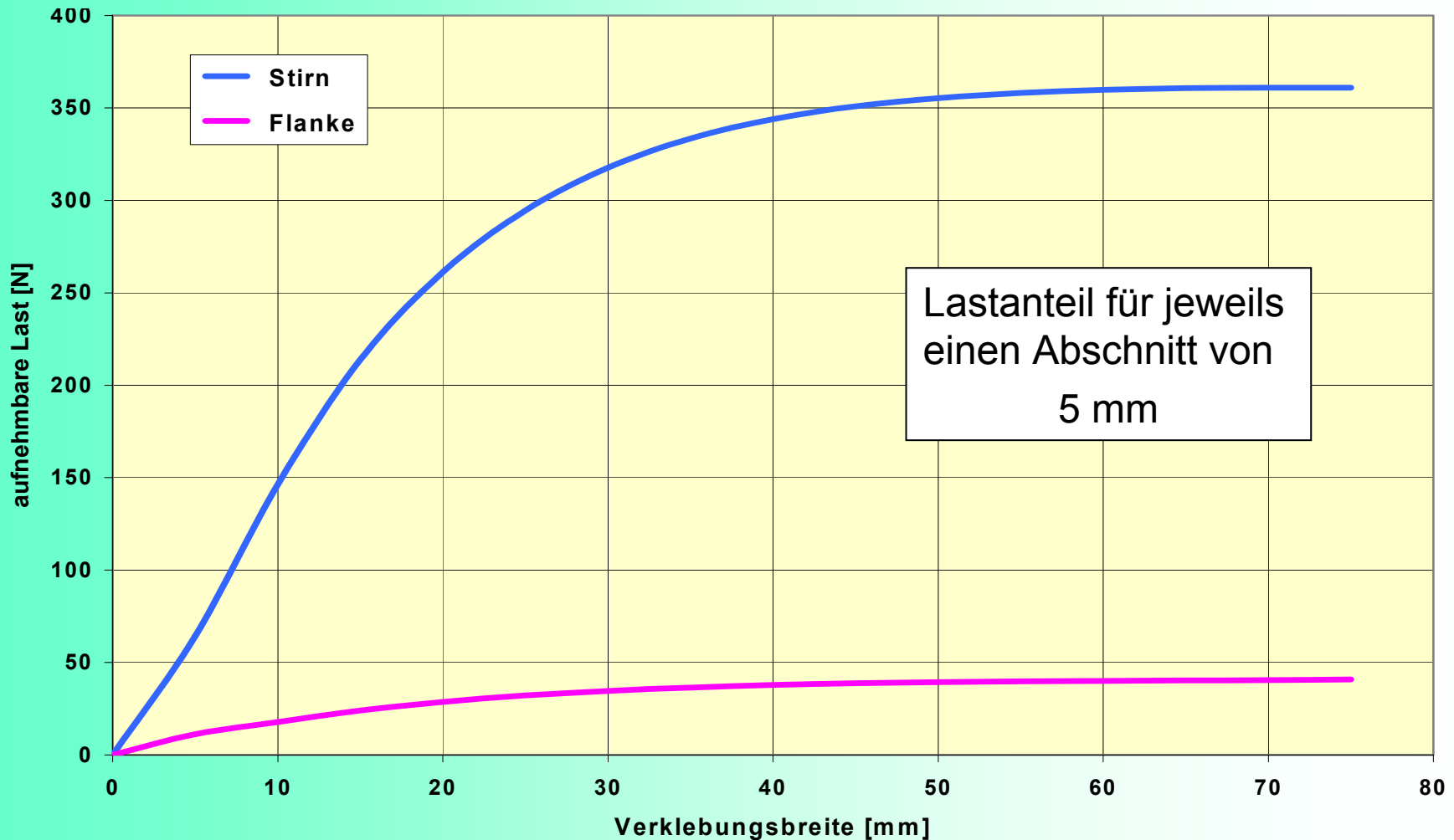
Die Lagerung / Lasteinleitung erfolgt für den optimalen Fall über die Flanken.

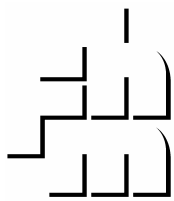
Geometrie: 3x12, $L_F=22$ mm



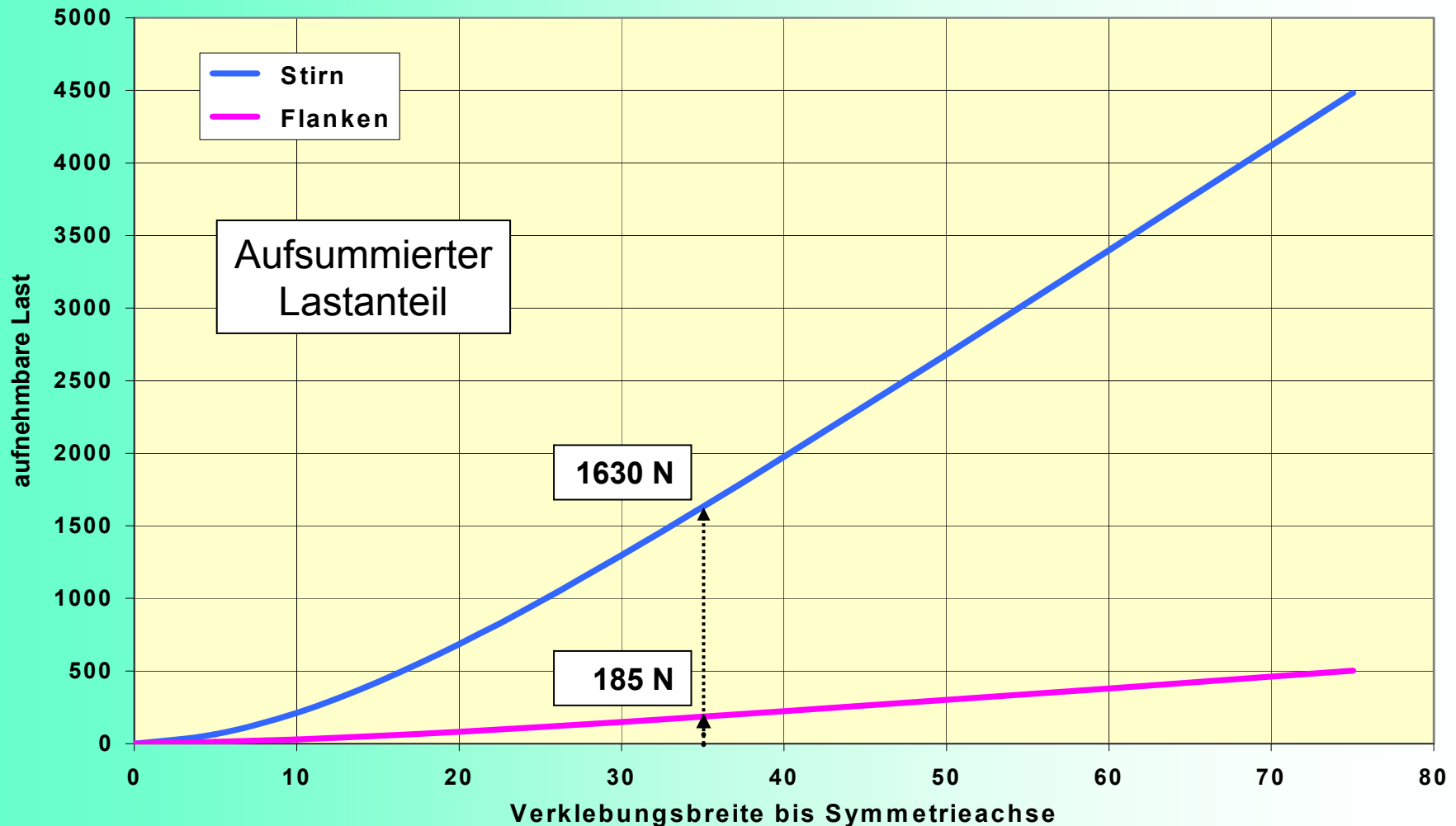


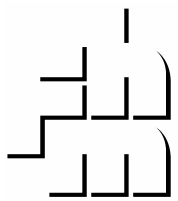
U-förmige Verklebung auf Zug belastet





U-förmige Verklebung auf Zug belastet





U-förmige Verklebung auf Zug belastet

Bemessungsempfehlung Klebstoff 1:

Halbe Länge für Stirn- und Flankenanteil ablesen x 2 = Bruchlast [N]

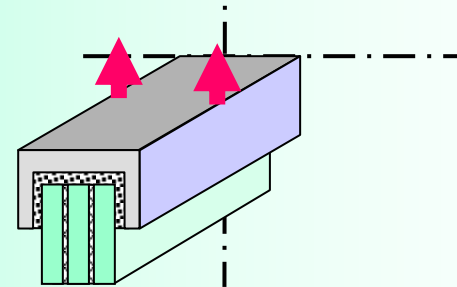
Bruchlast [N] / Sicherheitsbeiwert = zul. Gebrauchslast [N]

Länge bis Symmetrie

$L/2 = 35 \text{ mm}$

$L_F = 22 \text{ mm}$

Glas 3 x 12 mm



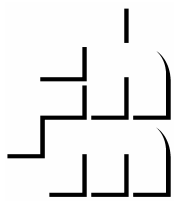
Beispiel:

U-förmige Verklebung auf Zug belastet, Kurzzeitbelastung (Wind)

Bruchlast = $2 \times (1630 + 185)$ = 2.890 N

Gebrauchslast = $2.890 / 6$ = 480 N = 0,48 kN (6,8 kN/m!!)

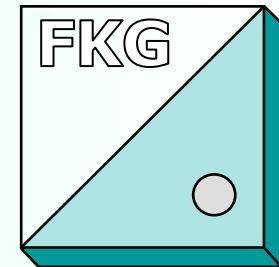
Vergleich: $L/2 = 50 \text{ mm}$, Gebrauchslast = 0.99 kN (9,9 kN/m)



Danke !

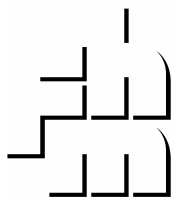
Das Forschungsvorhaben

„Geklebte Verbindungen im Glasbau“
wird vom Fachverband Konstruktiver Glasbau,
großzügig finanziell unterstützt



und durch das BMWi über die Arbeitsgemeinschaft
industrieller Forschungsvereinigungen gefördert.

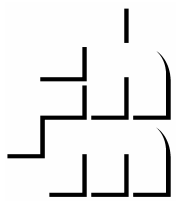




Danke !

„Geklebte Verbindungen im Glasbau“
wird unterstützt durch die Firmen:

- | | | |
|---|---|-------------------|
| <ul style="list-style-type: none">• Glas Troesch• Flachglas Wernberg• Bischoff Glas Technik | } | Glasteile |
| <ul style="list-style-type: none">• Dow Corning• Sika | } | Klebstoffe |

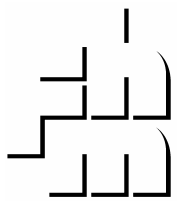


Danke !

**An die beiden Diplomanden, die mit ihrer exzellenten und engagierten
Mitarbeit am Forschungsvorhaben mithalfen,
die Datenbasis für diesen Vortrag zusammenzutragen.**



Martin Bues, Benedikt Held



Klebung bemessen – Tragende Verklebungen mit Silikon

Glas im Konstruktiven Glasbau V München, 08. + 09. März 2007



Ende