



Wie können linienförmige Verklebungen  
einfach bemessen werden ?!

A. Hagl Ingenieurgesellschaft mbH, München





## Inhalt

- 1. Technische Regel für Klebverbindungen: ETAG 002**
  - 2. Allgemeine Materialgesetzmäßigkeiten**
  - 3. Tragfähigkeit U-förmiger Verklebungen**
  - 4. Beispiele aus der Praxis**
  - 5. Schlussfolgerung**
- 
- 6. Anhang Bemessungsdiagramme**



## 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)**



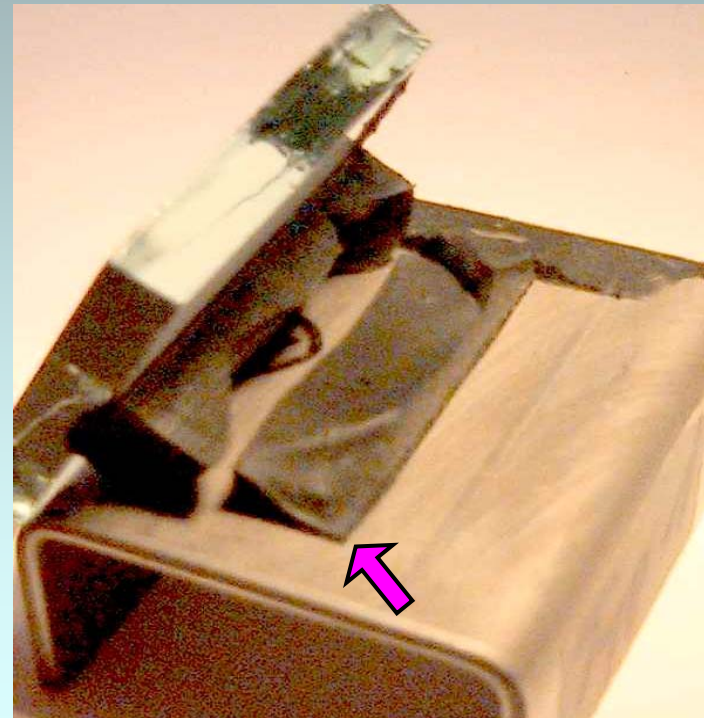
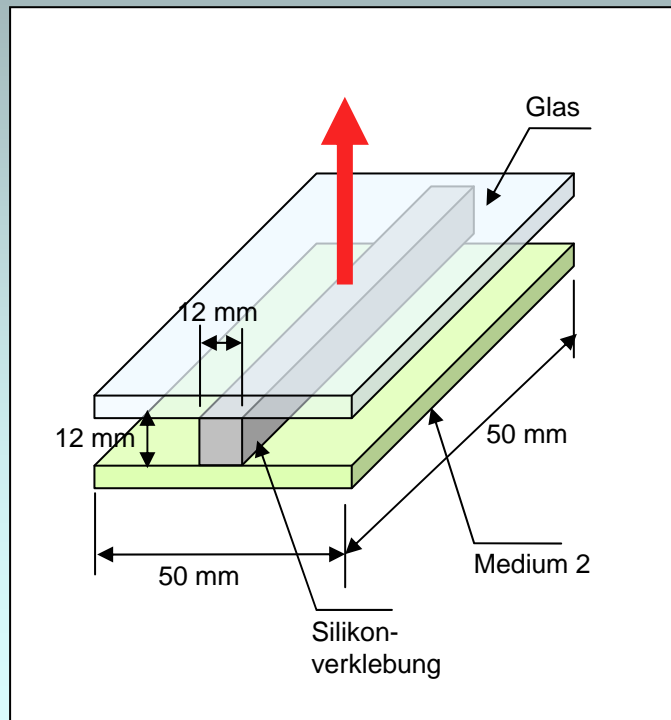
ETAG 002

Nach bestandener Prüfung kann von einer Lebensdauer der Verklebung von mindestens **25 Jahren** ausgegangen werden



## Auslegungsspannung nach ETAG 002

**Ermittlung erfolgt an einem Prüfkörper der einen Abschnitt einer linienförmigen Verklebung repräsentiert:**





## Auslegungsspannungen $\sigma_{des}$

- 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 $\sigma_{des}^{**}$	Schubspannung (dynamisch) $\tau_{des}^{**}$	Schubspannung (statisch) $\tau_{\infty}^{**}$
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

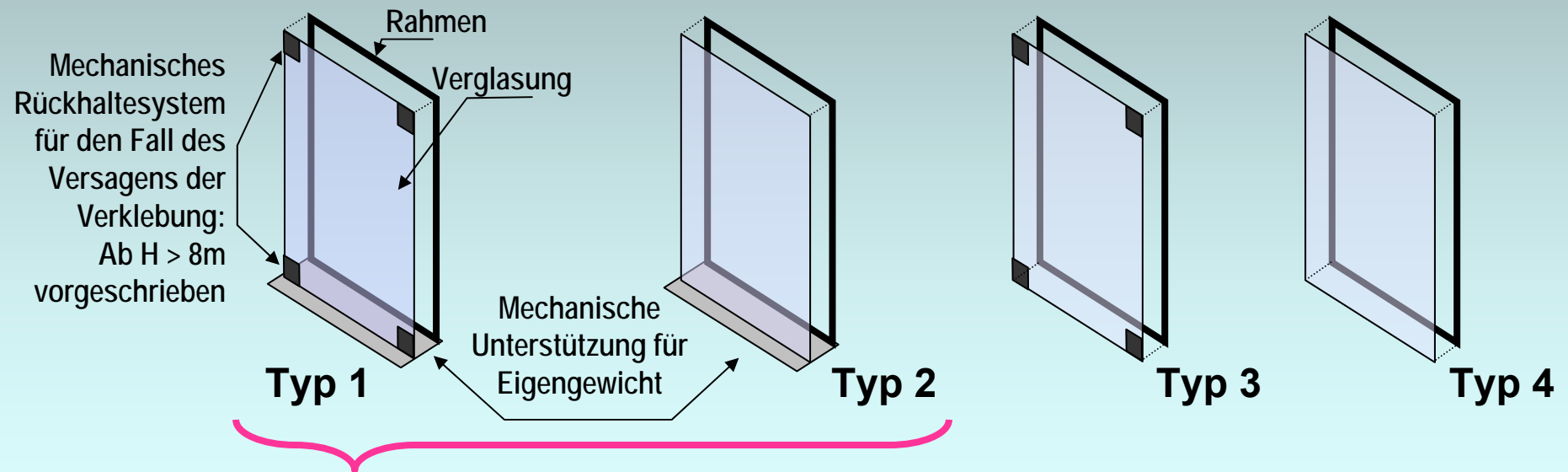
\* EOTA: European Organisation for Technical Approvals

\*\* Ingenieurspannungen  $\sigma_i$ ,  $\tau_i$



## 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

\* ETAG: European  
Technical Approval  
Guideline



## 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 auch Schwankungen der Tragfähigkeit

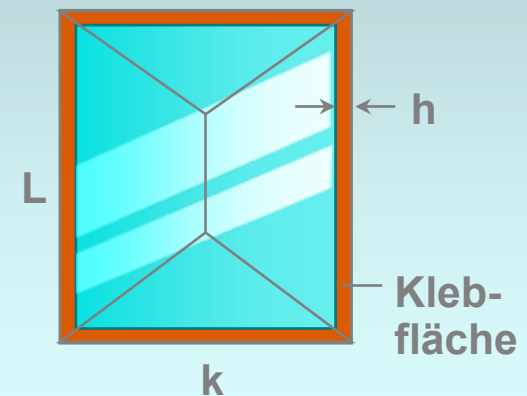


## Bemessung über die „Mickeymouse“-Formel - Dimensionierung einer Klebfuge

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

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

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



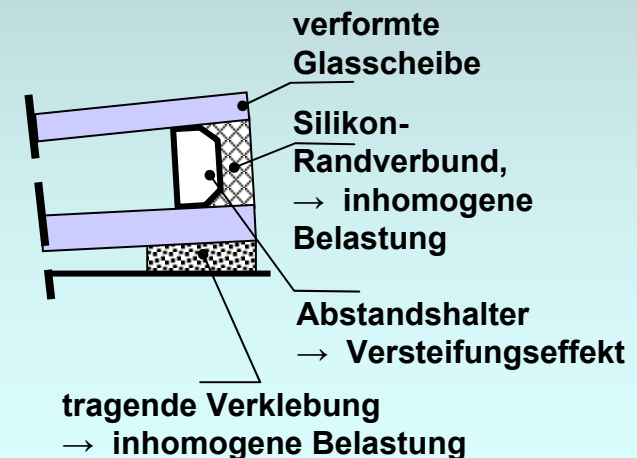
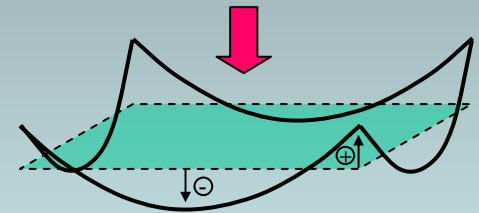




## Annahmen nach ETAG

- Gleichmäßige Verteilung der Spannung innerhalb der Klebfuge
- Auslegungskriterium Klebspannung  $<$  zulässige Spannung
- vernachlässigt wird hierbei:
  - aus der Plattentragwirkung resultierende nichtlineare Verteilung der Beanspruchung entlang der Auflagerlinie (mit VZ-Wechsel in den Eckbereichen !)
  - die Randbiegemomente in der Fuge durch Scheibenverformung
  - der Einfluß konstruktiver Elemente (Rahmensteifigkeit, Abstandhalter)
  - die geometrischen Abmessungen und Biegesteifigkeiten der Glasscheiben
  - die tatsächlichen mechanischen Eigenschaften des Klebstoffs über die zulässige Spannung hinaus

Winddruck oder Drucklast



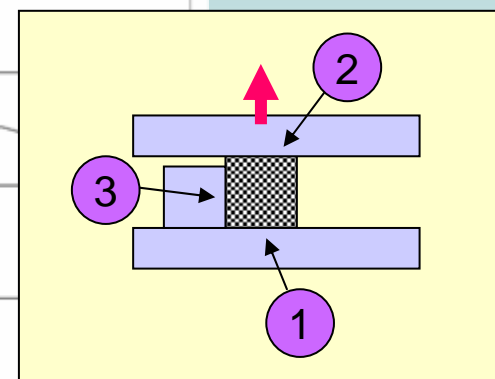
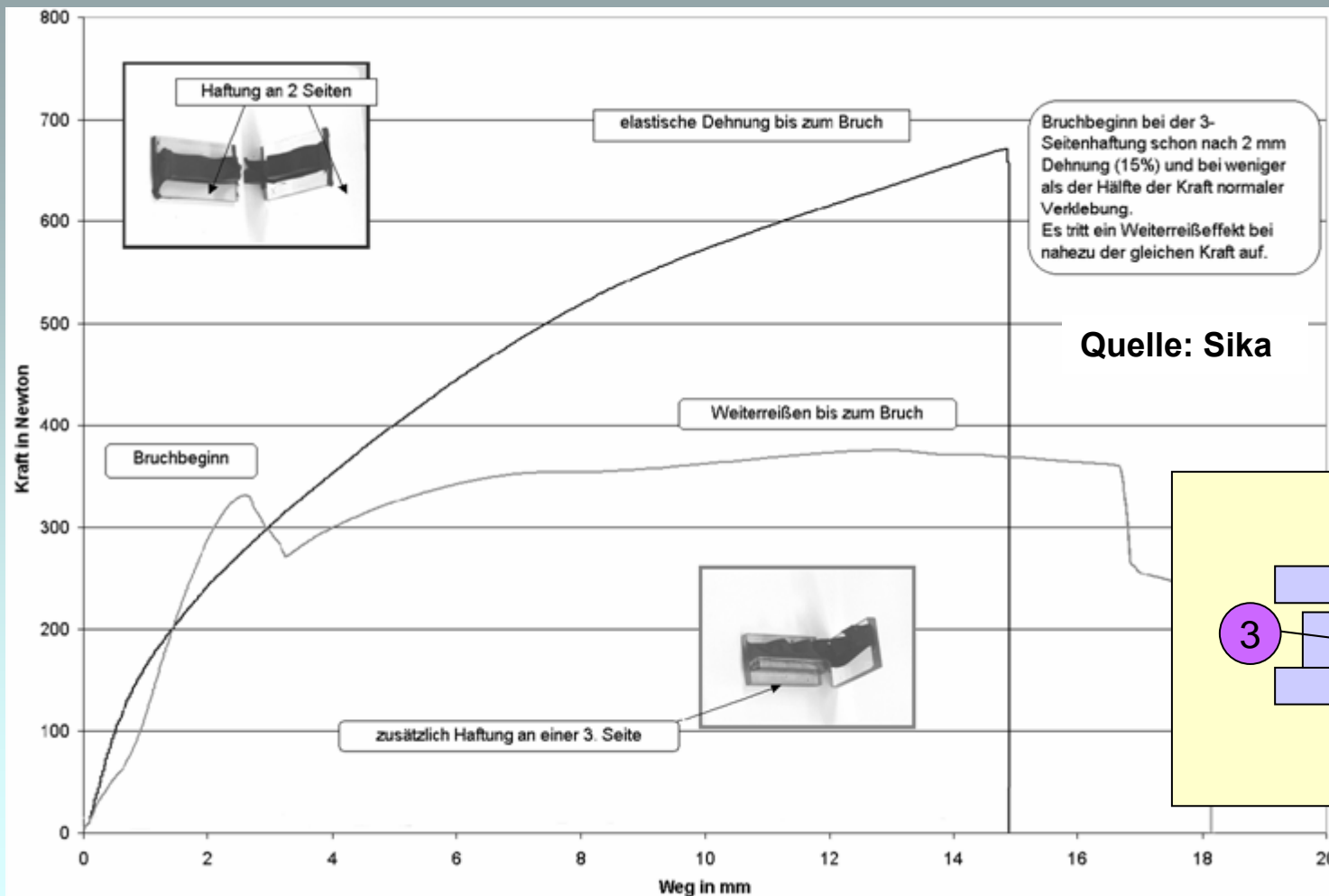


## Einschränkung der Anwendung der ETAG

- **Starke Vereinfachung der Bemessungsformel**
  - Grobe Idealisierung der Klebefuge als Linienlager
  - Charakterisierung der Materialeigenschaften lediglich durch zulässigen Spannungswert
- **Für allgemeine Anwendungen als tragende Verklebung (z. B. punktuelle Verklebung) ungeeignet, da stark idealisierte Lastabtragung (siehe Beispiel 3)**
- **Für komplexe Verklebungsgeometrien mit lokaler mehrdimensionaler Beanspruchung (z. B. U-förmige Verklebung) ungeeignet, da Abbildung mehrdimensionaler Spannungszustände auf zulässige Spannung nicht möglich (siehe Beispiel 1)**
  - **Beachte: ETAG 002 schließt dreiseitige Verklebungen ausdrücklich (!) aus.**



## „Dreiseitige“ Verklebung – nach ETAG unzulässig





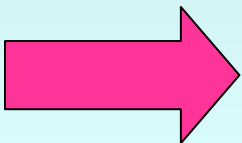
## ... aber !

**Nach ETAG 002, Anhang 2 – Rechenverfahren**

**A.2.0 Einleitung:**

**„Dennoch kann ein Antragsteller ein anderes Rechenverfahren vorlegen, das auf Simulationsversuchen oder Forschungsergebnissen basiert.**

**Um es der Zulassungsstelle zu erlauben, eine ETA auf Grundlage eines solchen Rechenverfahrens zu erteilen, müssen vollständige Nachweise geliefert werden.“**



**Die hier vorgestellten Bemessungsdiagramme basieren auf Forschungsergebnissen.**

**Sie stellen eine einfache Möglichkeit dar, im Vorfeld von Bauteilversuchen die Tragfähigkeit einer Klebverbindung abzuschätzen.**





## Inhalt

1. Technische Regel für Klebverbindungen: ETAG 002
  2. **Allgemeine Materialgesetzmäßigkeiten**
  3. Tragfähigkeit U-förmiger Verklebungen
  4. Beispiele aus der Praxis
  5. Schlussfolgerung
- 
6. Anhang Bemessungsdiagramme



# Systematik der Polymere

## Polymer-Werkstoffe

Thermoplaste

Elastomere

Duromere

keine Vernetzung

schwache Vernetzung

starke Vernetzung

warm verformbar

gummielastisch

spröde, hart

Heißklebstoffe

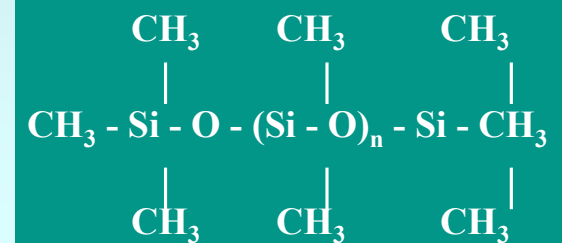
Organische  
Elastomere

„Anorganische“  
Elastomere

**Silikone**

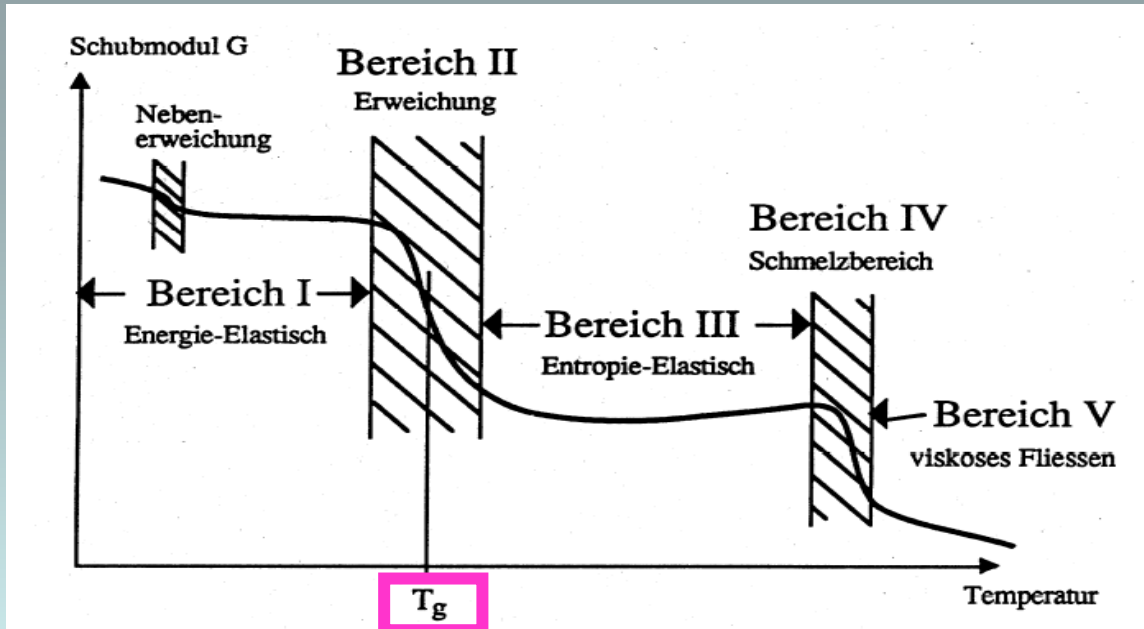
Acrylate, Epoxidharze

„UHU Plus“

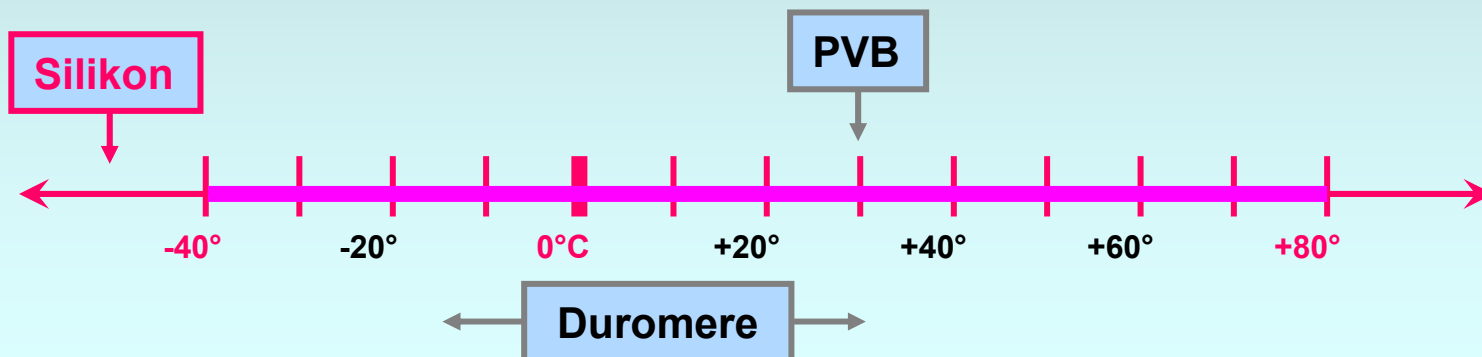




## Glasübergangstemperatur



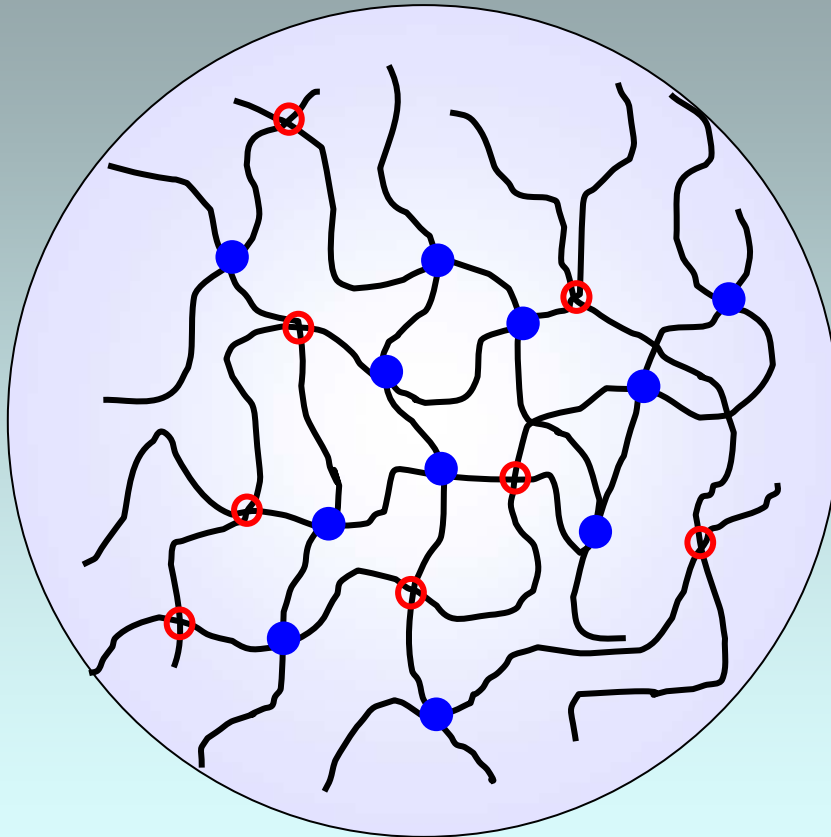
Klebstoff	Glasübergangstemperatur $T_g$
PVB	ca. + 30°C
Duromer-klebstoffe	ca. - 15°C bis + 30°C
Silikon-klebstoff	< - 50°C





## Versagensmechanismus - Silikon

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

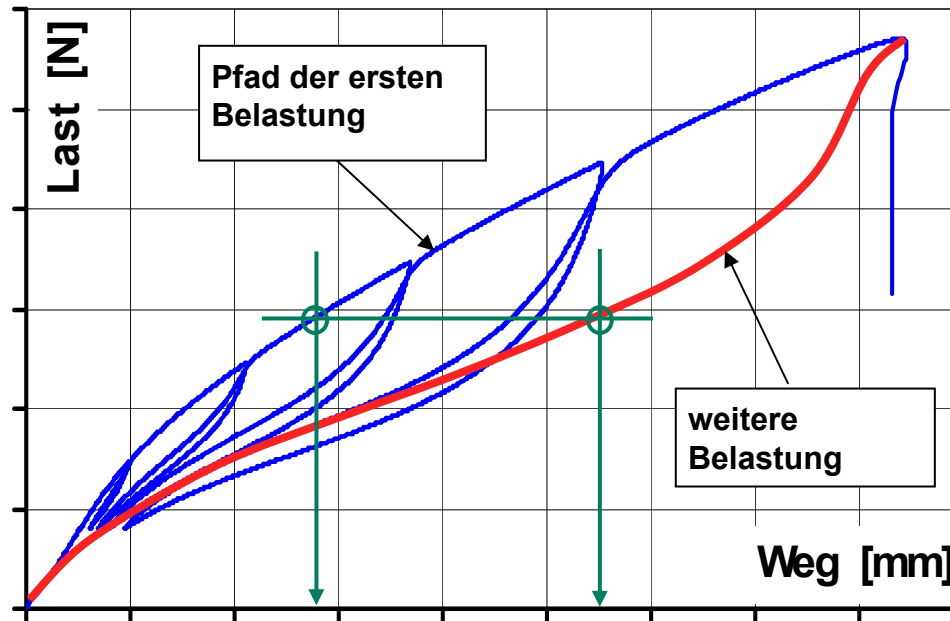


- Fixe Bindungen der Kettenmoleküle reißen bei hohen Lasten auf (Versagen)  
→ chemische Bindungen.
- Temporäre Bindungen der Kettenmoleküle lösen sich bereits bei geringem Lastniveau und verknüpfen sich neu (Mullinseffekt)  
→ physikalische Bindungen.





## Einfluss der Belastungsgeschichte



Unter uniachsialer Zugbelastung kann Silikon hohe Dehnungen aufnehmen.

Bei einer Vorbelastung ergibt sich für die Wiederbelastung eine größere „Weichheit“.

Jedoch ist das Bruchverhalten letztlich von der Vorbelastung unabhängig.

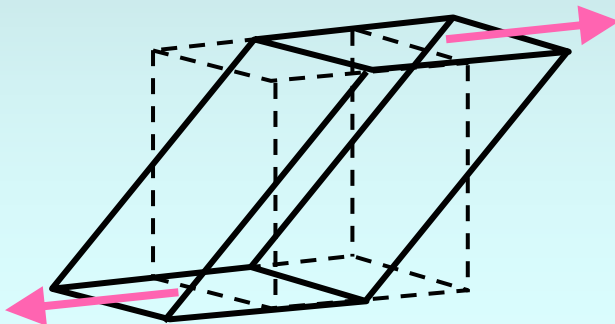
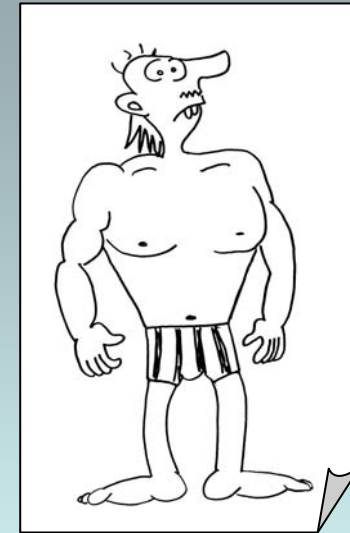
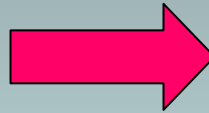
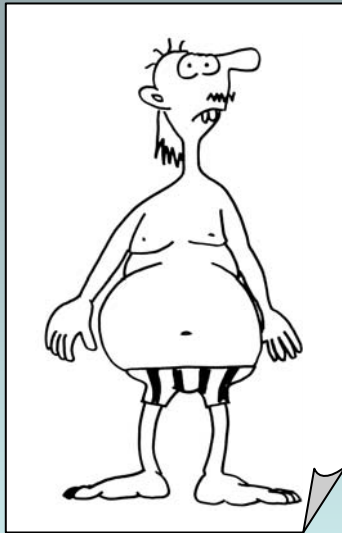
Daher bietet sich an, Versagenskriterien statt an der Verformung, besser an der Bruchlast zu orientieren.



# Elastische Eigenschaften von Elastomeren

mechanisch sehr unterschiedlich bei Volumen- oder Gestaltänderungen

## Gestaltänderung



**Beispiel: Einfacher Schubversuch**

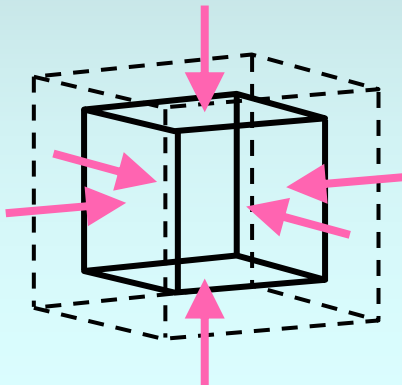
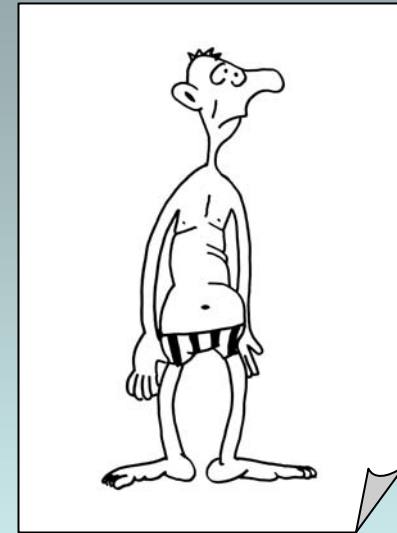
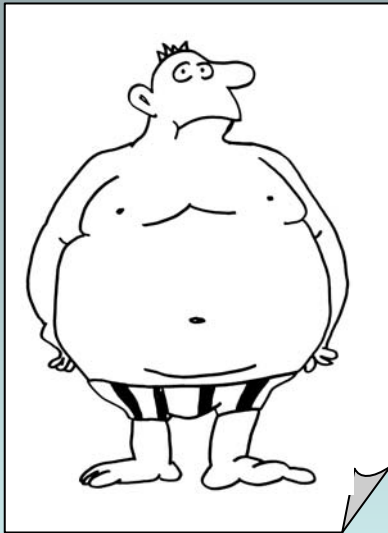
- geringe Steifigkeit
- große Verformung durch **Verschiebbarkeit der Molekülketten** gegeneinander



# 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



## Inhalt

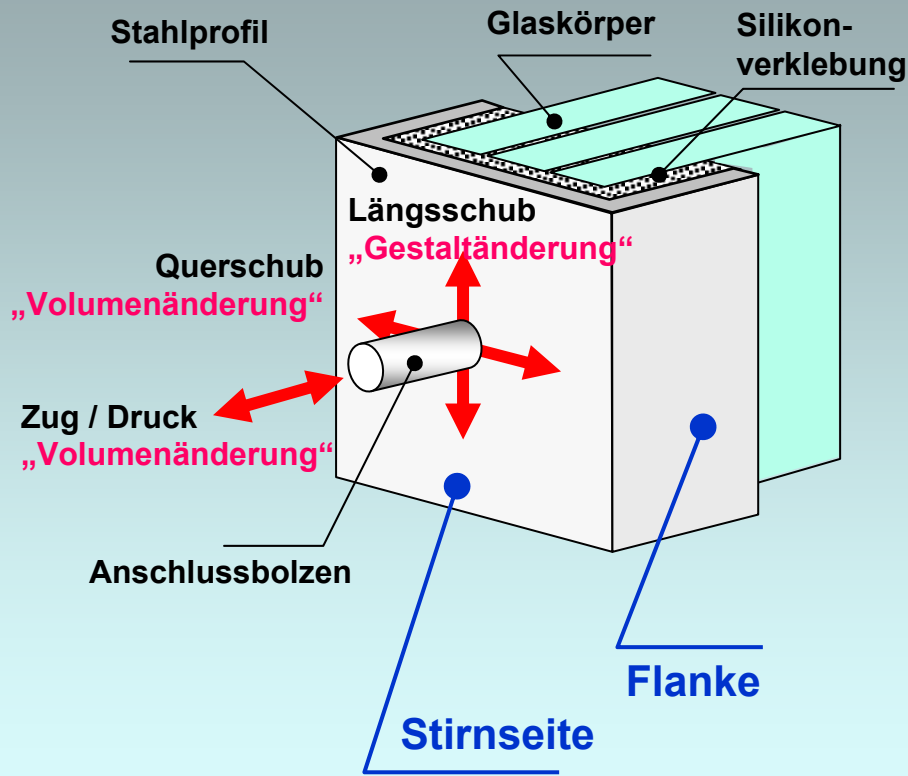
1. Technische Regel für Klebverbindungen: ETAG 002
  2. Allgemeine Materialgesetzmäßigkeiten
  3. Tragfähigkeit U-förmiger Verklebungen
  4. Beispiele aus der Praxis
  5. Schlussfolgerung
- 
6. Anhang Bemessungsdiagramme





## Lastschema für U-förmige Verklebung

### Dominierende Effekte



### Bedeutung für die Bemessung:

Längsschub	Thermische Lasten
Querschub	unkritisch durch Formschluss des U-Profils
Druck	unkritisch durch Formschluss
Zug	kritischer Lastfall für U-förmige Verklebungen

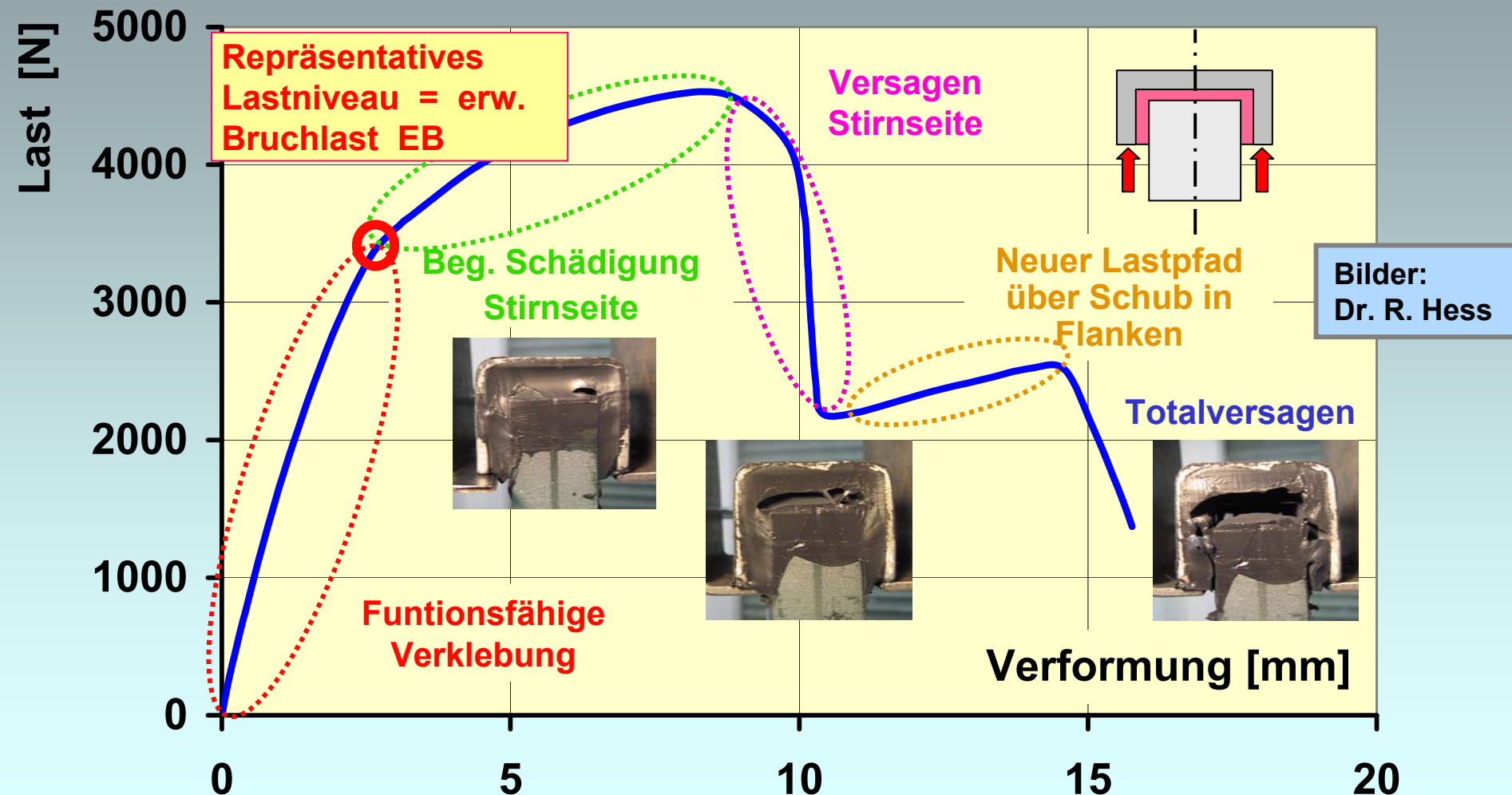
Daher steht das Zugverhalten im Mittelpunkt von Forschungsaktivitäten.

Die vorgestellten Bemessungsdiagramme beziehen sich auf Zug.



## Versuchsergebnisse einer Verklebung

ermittelt aus: FHM Geklebte Verbindungen im Glasbau, BMBF-Nr.: 1755 X04, 2007

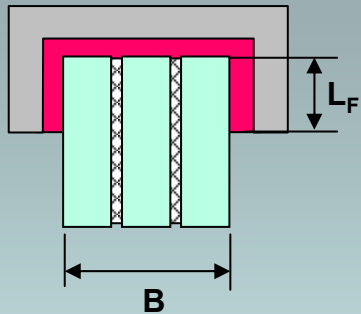




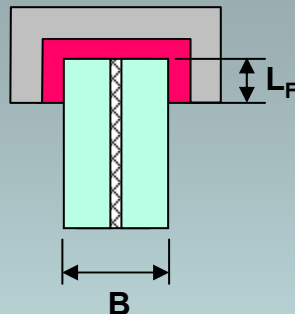
## Variationen U-förmiger Verklebungsgeometrien

### Unterschiedliche Querschnittstypen

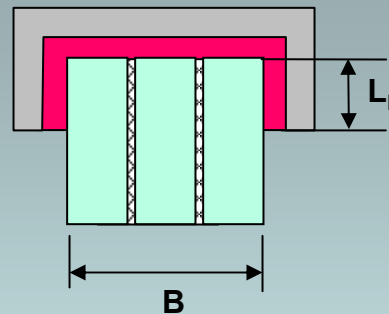
Typ U / UF



Typ US / USF



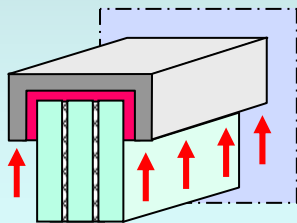
Typ UL



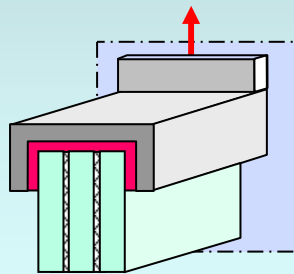
### Übersicht über Abmessungen

Typ	Glas	B [mm]	L <sub>F</sub> [mm]
U	3 x 12	39	22
UF			15
US	2 x 12	25,5	22
USF			15
UL	3 x 15	48	22

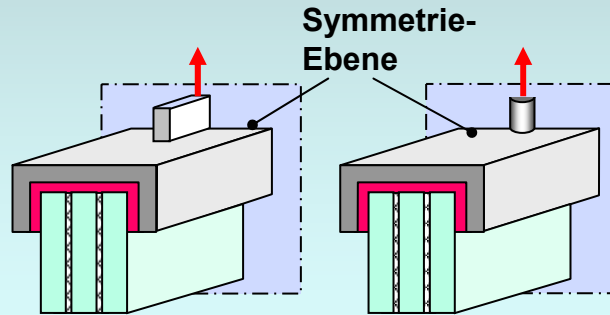
### Lasteinleitungs-Typen U0 – U3 (Halbmodelle)



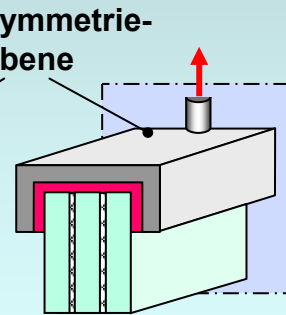
Typ U0 –  
linienförmige  
Lasteinleitung



Typ U1



Typ U2



Typ U3

lokale (punktförmige) Lasteinleitung

Klebstoff  $d_A = 5 \text{ mm}$

U-Profil,  
Edelstahl  $d = 3 \text{ mm}$

↑ aufgebrachte Last

nur gültig für: **DC 993**



## Vergleich „Freier Rand“ und „Eingespannter Rand“

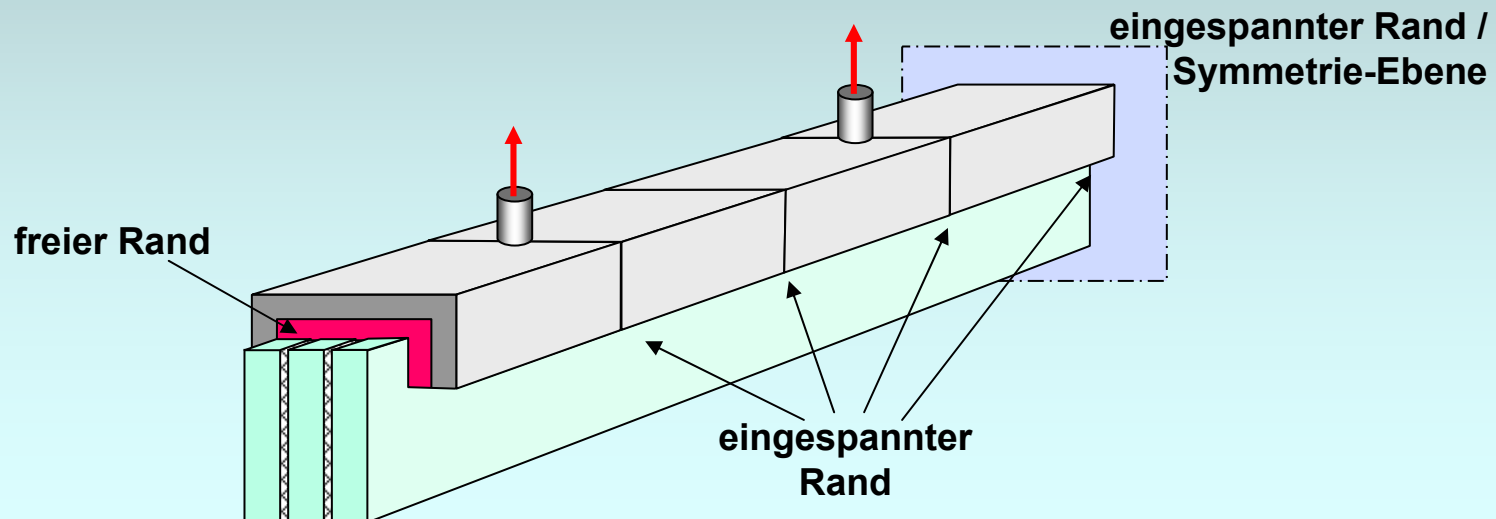
**Zwei Randbedingungen sind möglich:**

**Freier Rand:** Am Beginn einer linienförmigen Verklebung  
Einschnüren der Verklebung ist möglich

**Eingespannter Rand** In Symmetrie-Ebenen einer linienförmigen Verklebung  
Einschnüren der Verklebung ist unterdrückt

**Beachte:**

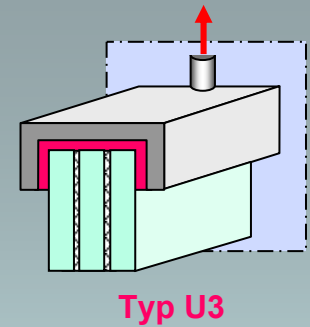
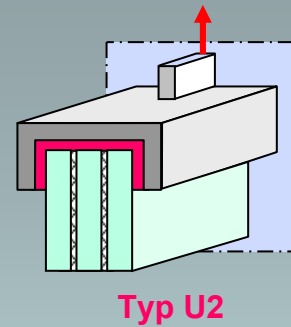
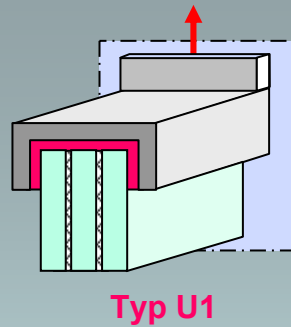
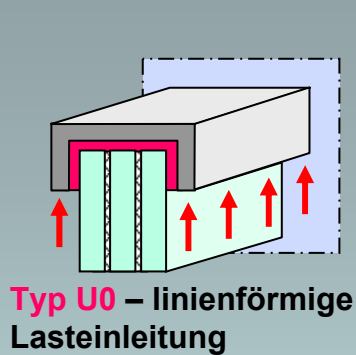
Hohe lokale Steifigkeit und Lastaufnahmevermögen im Fall eines inkompressiblen Materials bei eingespannten Rändern!





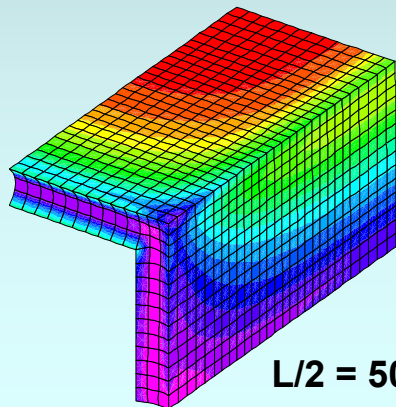


## Spannungsverteilung in U-Verklebungen

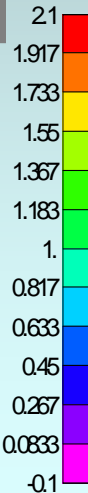
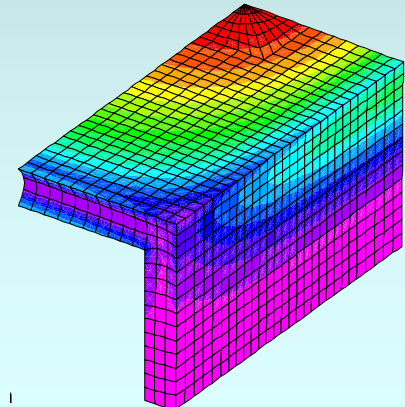
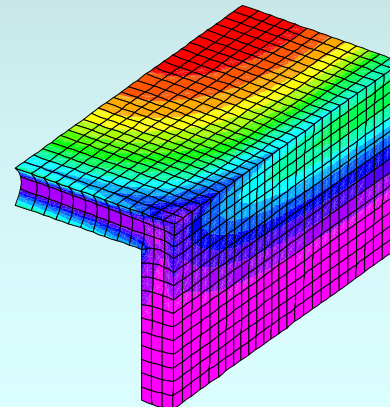
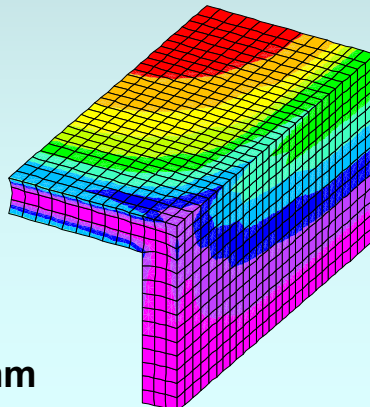


Vergleich von verschiedenen Lasteinleitungsgeometrien zeigt, dass die Spannungsverteilung maßgeblich von der Geometrie der Lasteinleitung abhängig ist. - **Wichtig für Versuchsdurchführung!**

Je größer der Bereich hoher Spannungen, je mehr Last kann aufgenommen werden.



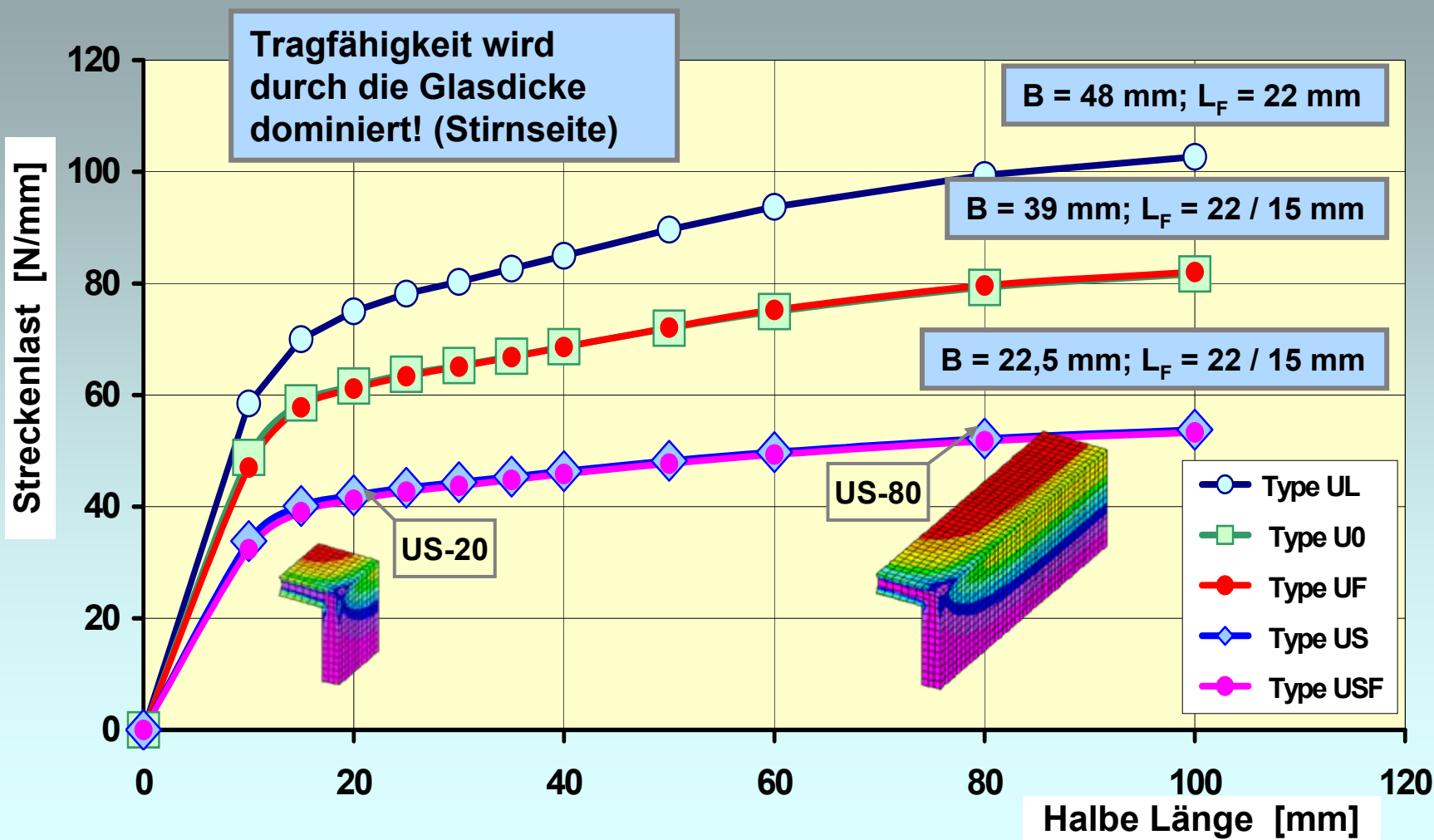
$L/2 = 50 \text{ mm}$





# Tragfähigkeit für linienförmige Lasteinleitung

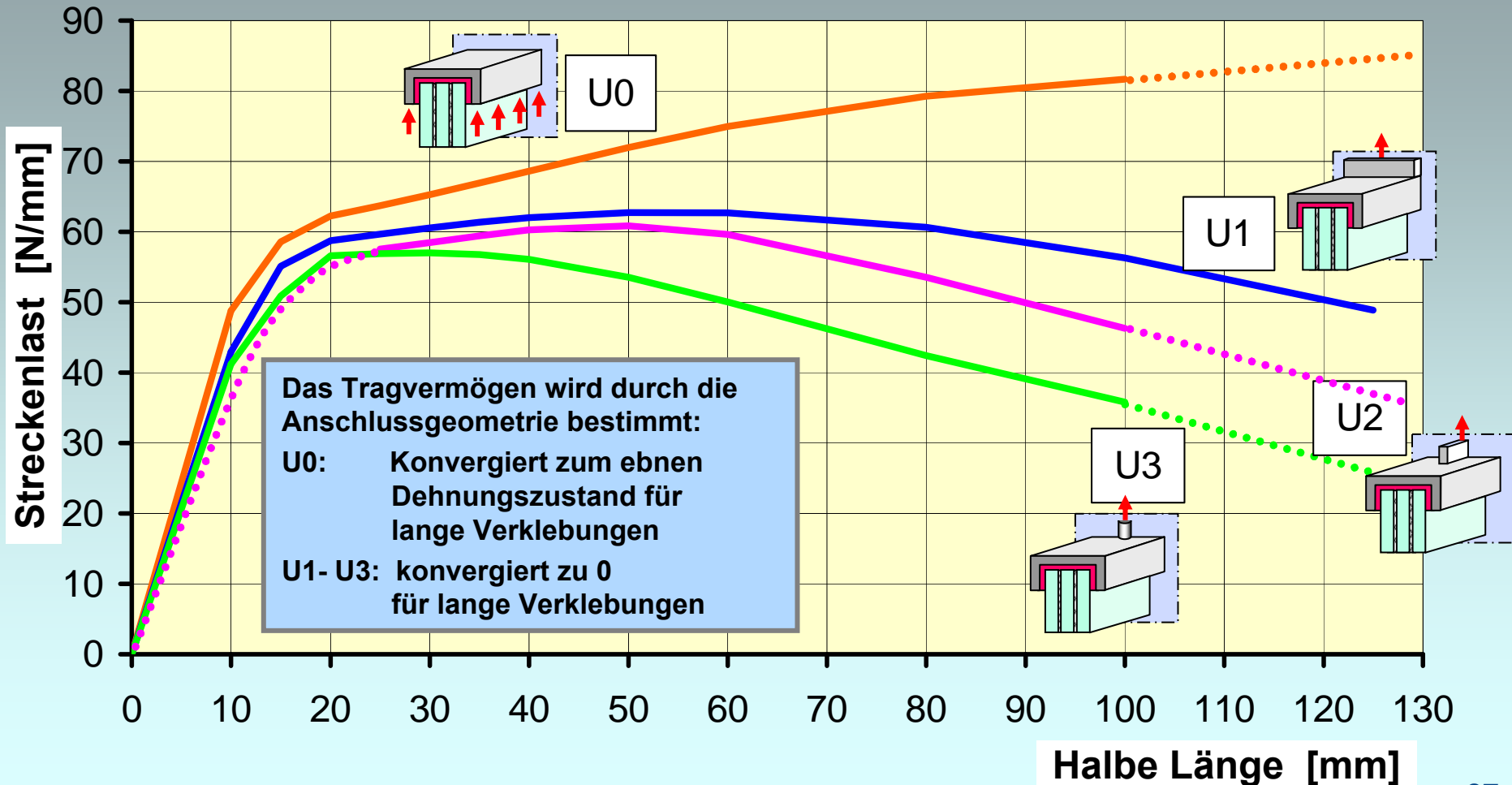
Datenpunkte bei ca. 2 N/mm<sup>2</sup> max. Hauptspannungen (= Beginnendes Versagen)





# Effizienz verschiedener Lasteinleitungen

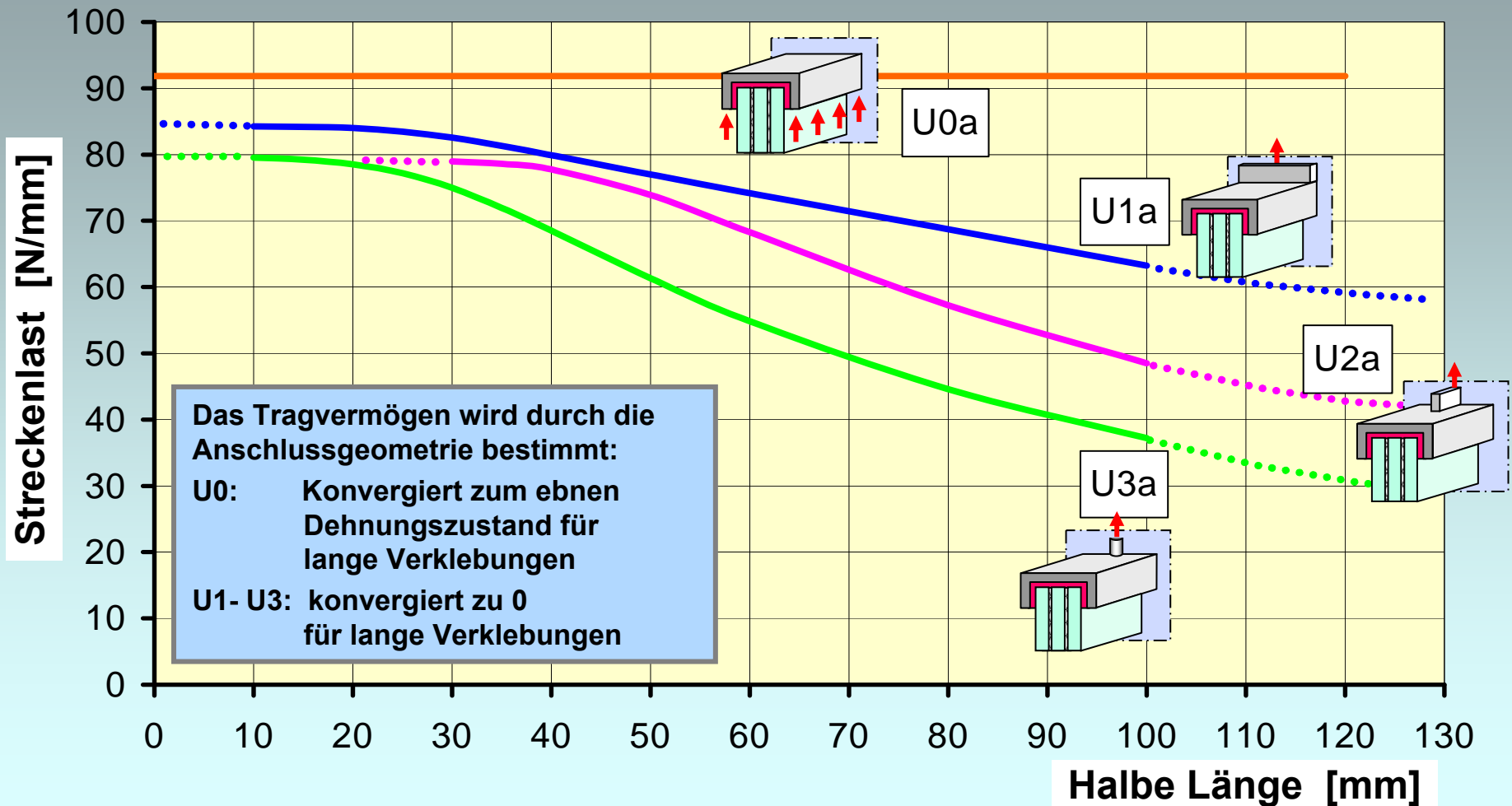
Freie Ränder – ermöglichen Einschnüren der Verklebung





## Effizienz verschiedener Lasteinleitungen

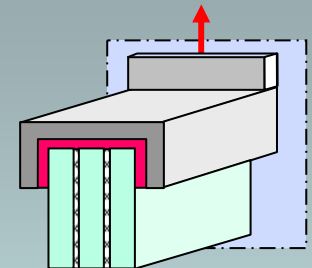
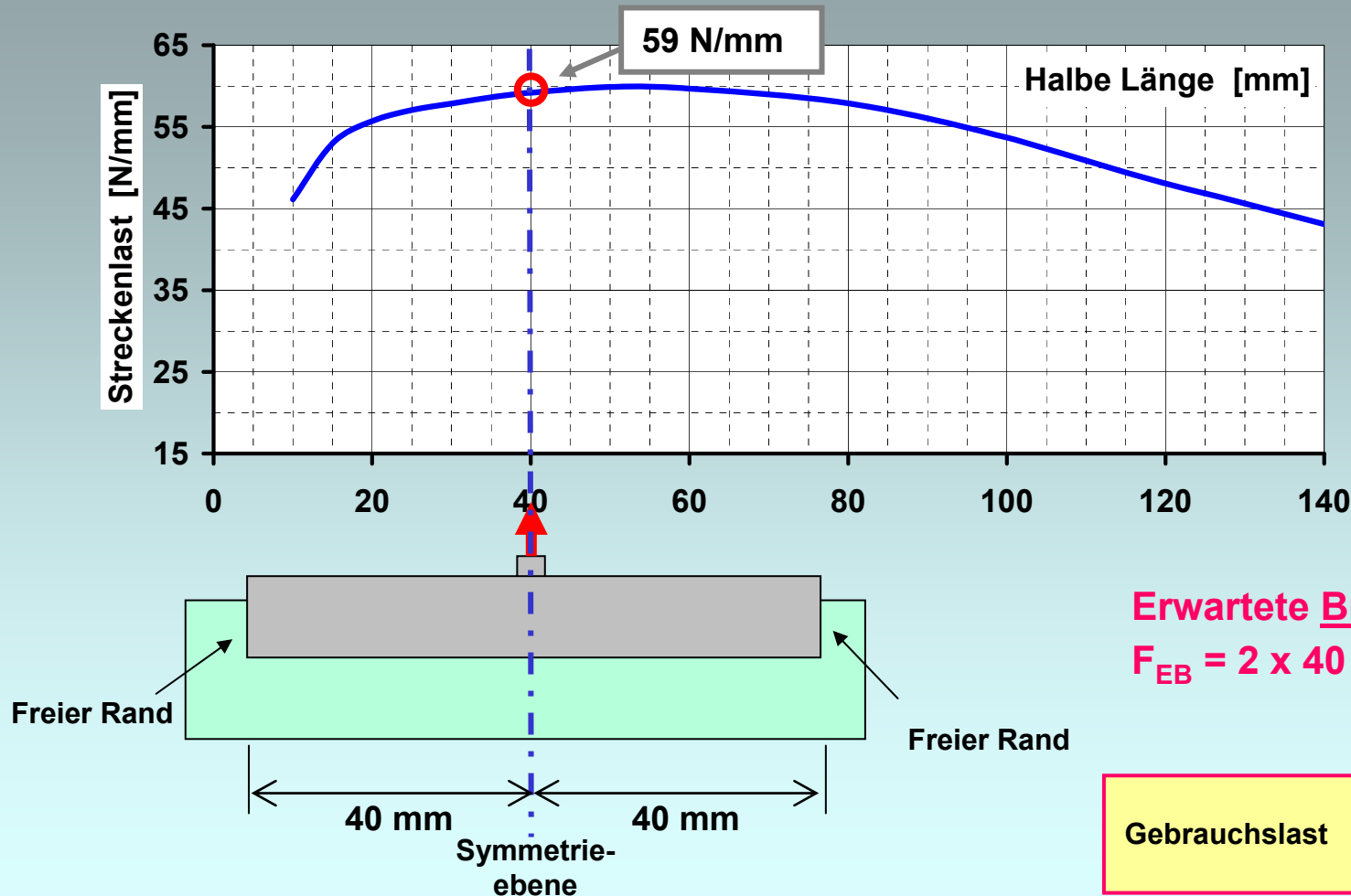
Eingespannte Ränder (mehrere Anschlüsse innerhalb einer längeren Verklebung: Index a)





# Bemessung einer U-Verklebung Typ U1

Annahme "freie Ränder"



Typ U1

Erwartete Bruchlast:

$$F_{EB} = 2 \times 40 \times 59 = 4720 \text{ N}$$

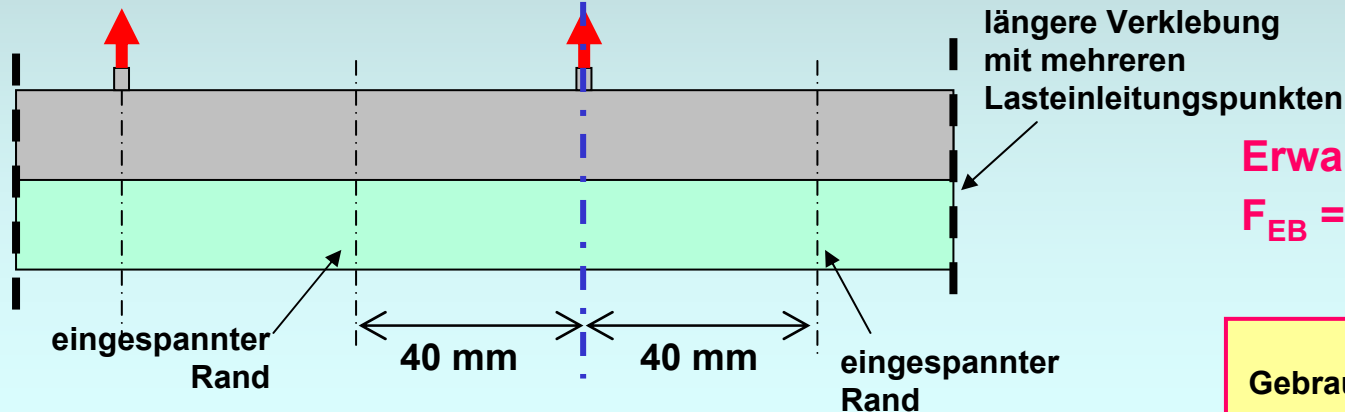
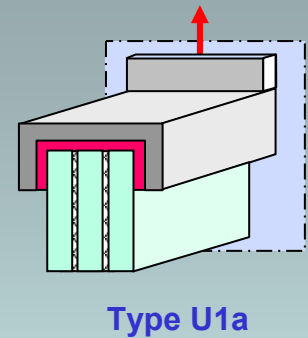
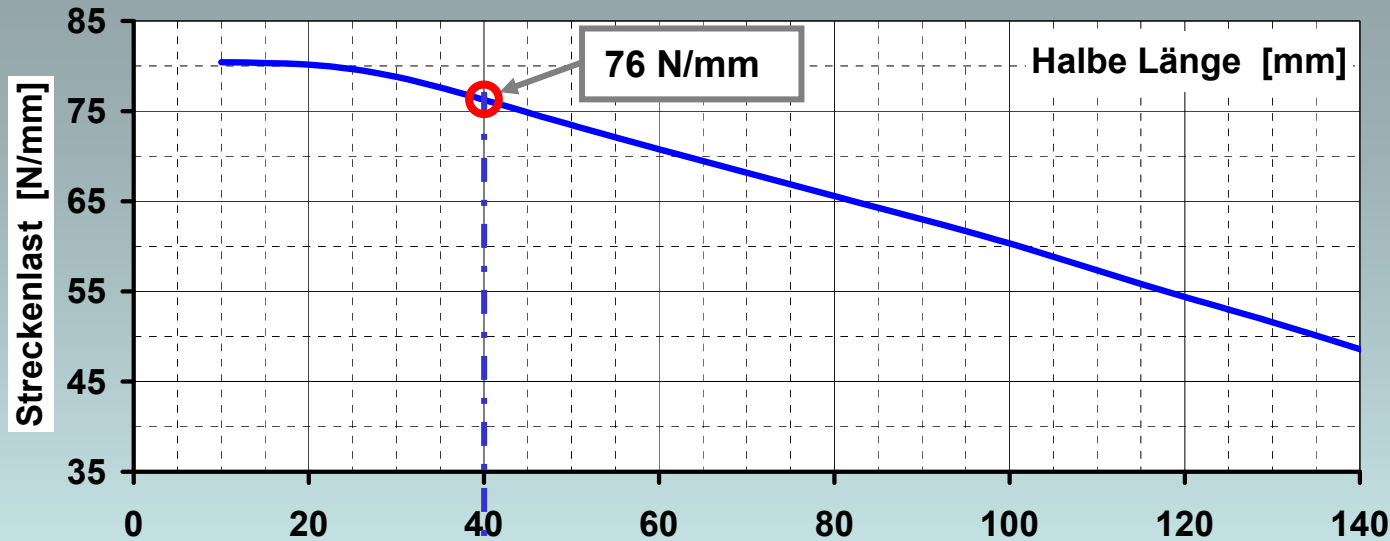
$$= 4,7 \text{ kN}$$

$$\text{Gebrauchslast} = \frac{\text{Bruchlast}}{\text{Sicherheitsbeiwert}}$$



## Bemessung einer U-Verklebung Typ U1a

Annahme "eingespannte Ränder"



Erwartete Bruchlast:

$$F_{EB} = 2 \times 40 \times 76 = 6080 \text{ N} \\ = 6,1 \text{ kN}$$

$$\text{Gebrauchslast} = \frac{\text{Bruchlast}}{\text{Sicherheitsbeiwert}}$$





## Inhalt

1. Technische Regel für Klebverbindungen: ETAG 002
  2. Allgemeine Materialgesetzmäßigkeiten
  3. Tragfähigkeit U-förmiger Verklebungen
  - 4. Beispiele aus der Praxis**
  5. Schlussfolgerung
- 
6. Anhang Bemessungsdiagramme



## Beispiel 1 – Herz-Jesu Kirche München

Beteiligter	Wissensstand zu Projektbeginn	Aufgabe	Aktion
Statiker	„ahnungslos“ / interessiert	Statischer Nachweis	Nachweis mit Hilfe von Versuchsergebnissen, Zustimmung im Einzelfall wird beantragt
Statikprüfer	„ahnungslos“	Freigabe der Statik	Gibt auf der Basis der Versuche die Konstruktion frei. Verlässt sich auf Planer und Gutachter.
Architekt	innovativ	Planung / Ausschreibung	Werkplanung und Ausschreibung auf der Basis der Versuche und Berechnungen
Ausführende Firma	„ahnungslos“	Ausführung	Verlässt sich auf die erteilte Zustimmung im Einzelfall und auf die Sachkenntnis der Planer, Prüfer und Gutachter

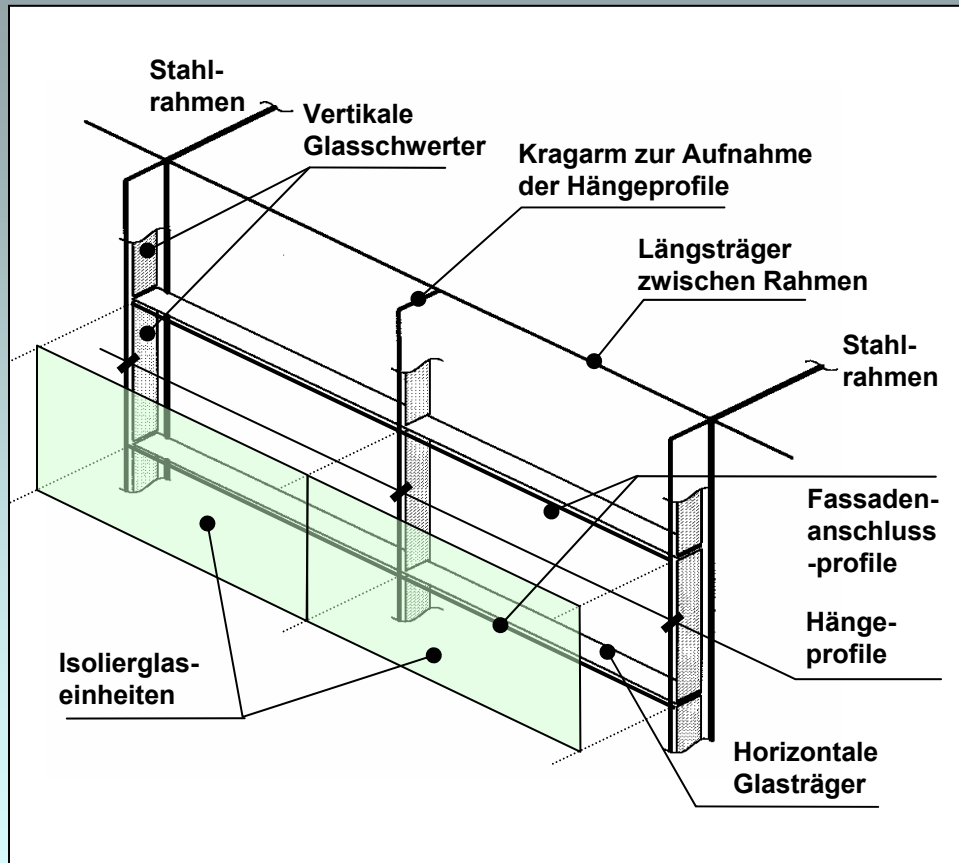


## Die Entwurfsidee – tragend *und* transparent





## Tragsystem der Glasfassade

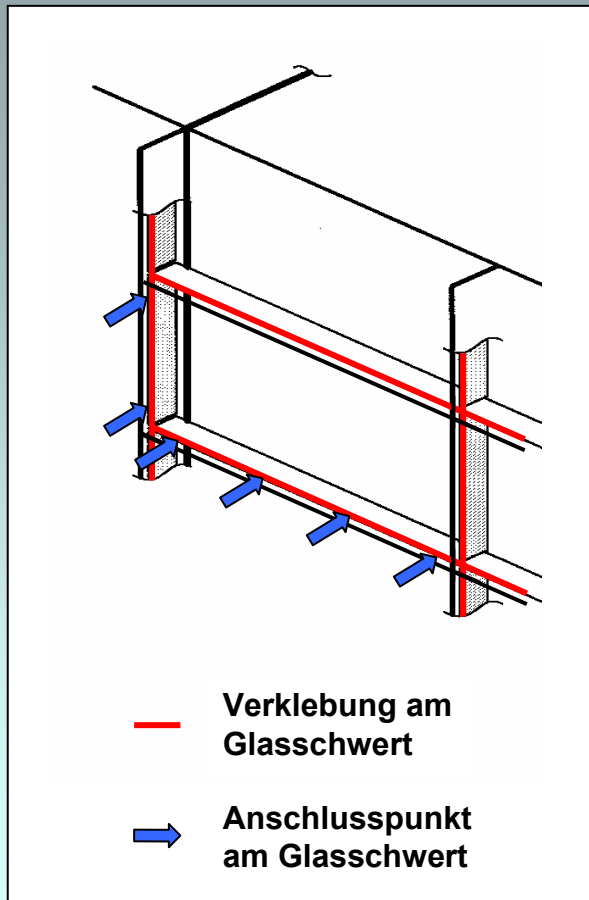


- Isolierglaseinheiten mit einer Breite von 3,35 m, max. Höhe 2,40 m
- Horizontale Glasträger (-schwerter) mit einer Länge von 6,70 m
- Vertikale Glasschwerter mit einer maximalen Höhe von 2,40 m
- Vertikale hängende Zugstäbe zur Aufnahme der Eigengewichtslasten
- Horizontale Adapterprofile für den Anschluss der Isolierglaseinheiten

**Eine hängende Konstruktion ermöglicht schlanke Bauteile**



## Lastpfade innerhalb der Fassadenkonstruktion



- Verklebung an den Glasschwertern über Structural Glazing Silikon
- Adapterprofile leiten Lasten in die Glasschwerter
- Windlasten werden in die horizontalen Glasschwerter eingeleitet
- Vertikale Glasschwerter tragen das Eigengewicht der horizontalen Glasschwerter in die Hängeprofile ein
- Kritische Belastung der Verklebung: Zug

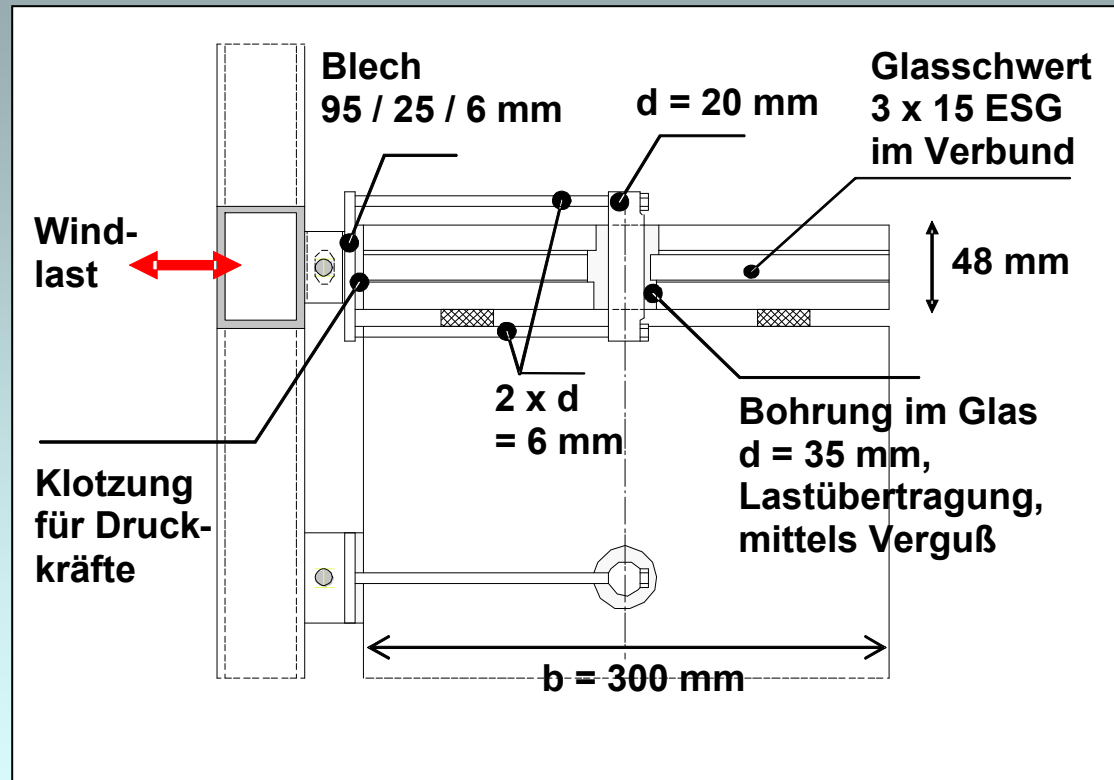
- horizontal: pro Anschlußpunkt 1.8 kN, Kurzzeit
- vertikal: pro Anschlußpunkt 0.6 kN, statisch



## Stand der Technik damals – regelkonform mit punktuellen Halterungen...

Über ins Glasschwert eingebaute Bolzen wäre die Windlast in das Glasbauteil eingetragen worden.

- Winddruck über Klotzung
- Windsog über Zugstäbe und im Glas vergossene Bolzen







## Ermittlung der zulässigen Last / Länge - in 2000

Versuchswerte mit freundlicher Genehmigung durch das Erzbischöfliche Ordinariat zur Verfügung gestellt

Werte sind bezogen auf die Probenlänge von 5 cm

18.04.2000  
ungealtert

Probe- körper	max Z
1	4,113.0 N
2	3,919.0 N
3	3,509.0 N
4	4,247.0 N
5	4,193.0 N
6	4,405.0 N
7	4,383.0 N
8	4,103.0 N
9	4,162.0 N
10	4,247.0 N

Mittelwert 4,128.1 N

Standardabw. 245.6 N

$R_{u,5} = 3,612.4 \text{ N}$

$R_{u,5} / 6 = 602.1 \text{ N}$

$R_{u,5} / 6 \text{ pro lfm} = 12.0 \text{ kN/m}$

05.05.2000  
künstl. gealtert 500 h

Probe- körper	max Z
1	4,685.0 N
2	5,117.0 N
3	5,051.0 N
4	4,571.0 N
5	5,022.0 N

Mittelwert 4,889.2 N

Standardabw. 218.5 N

$R_{u,5} = 4,351.8 \text{ N}$

$R_{u,5} / 6 = 725.3 \text{ N}$

$R_{u,5} / 6 \text{ pro lfm} = 14.5 \text{ kN/m}$

24.05.2000  
künstl. gealtert 1.000 h

Probe- körper	max Z
1	4,913.0 N
2	* N
3	4,171.0 N
4	4,981.0 N
5	4,145.0 N

\* Durch Vorschädigungen bei Probenherstellung keine Auswertung für Probe 2

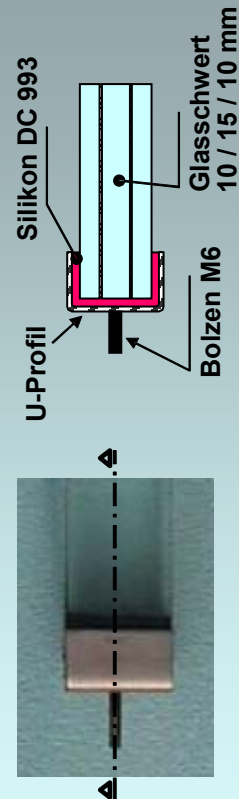
Mittelwert 4,552.5 N

Standardabw. 395.3 N

$R_{u,5} = 3,493.0 \text{ N}$

$R_{u,5} / 6 = 582.2 \text{ N}$

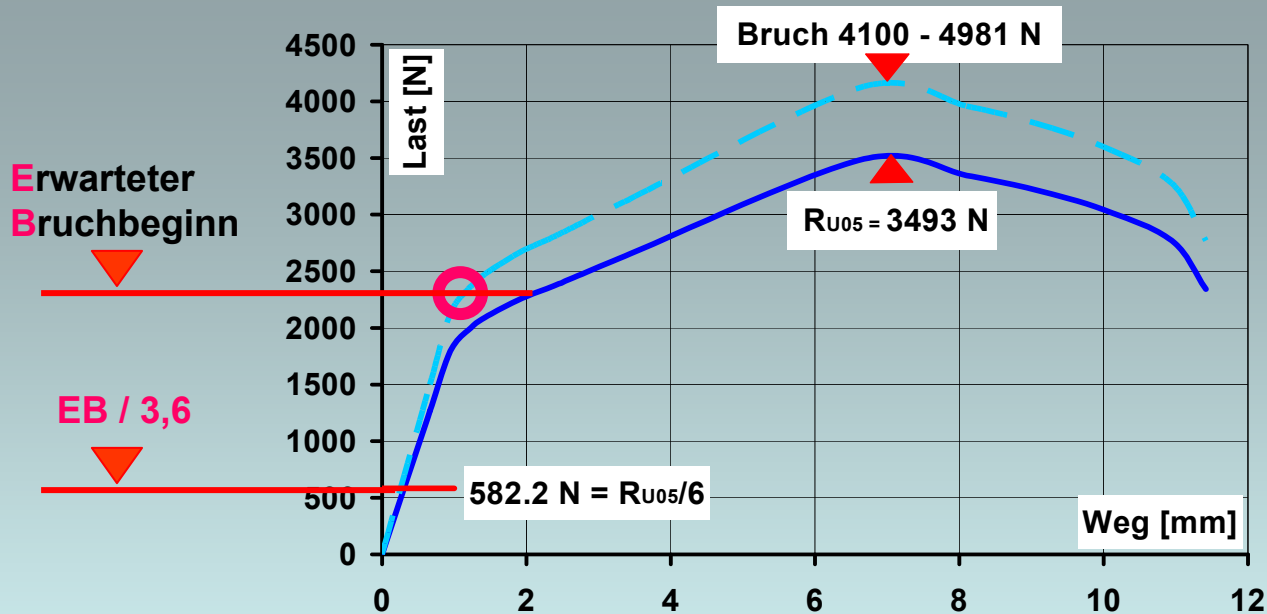
$R_{u,5} / 6 \text{ pro lfm} = 11.6 \text{ kN/m}$



**Typ U3**



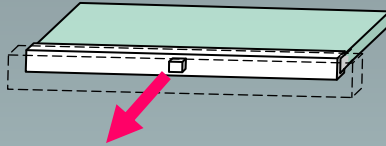
## Sicherheitsbeiwerte



Lastart	Sicherheitsbeiwerte nach ETAG 002	mögliche neue Sicherheitsbeiwerte durch abgesicherte Kenntnis / Forschung für EB
Dauerlasten (Eigengewicht)	10	6
Kurzzeitlasten (Wind)	6	3,6



## Nachweis Anschluss horizontales Glasschwert



Lastübertragung  
nur horizontal

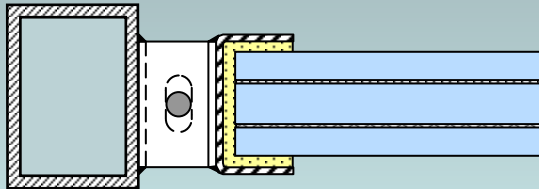
1,8 kN = 1800 N

**Im Jahr 2000:**

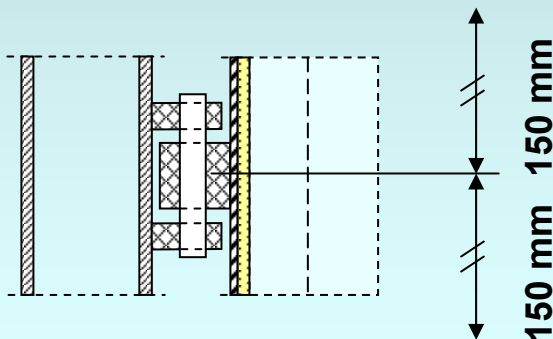
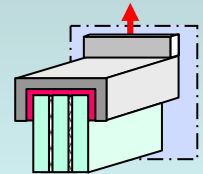
mittragende Breite: 30 cm

zul.  $P = 0,30\text{m} \times 11,6 \text{ kN/m}$

$= 3,48 \text{ kN} > 1,8 \text{ kN}$

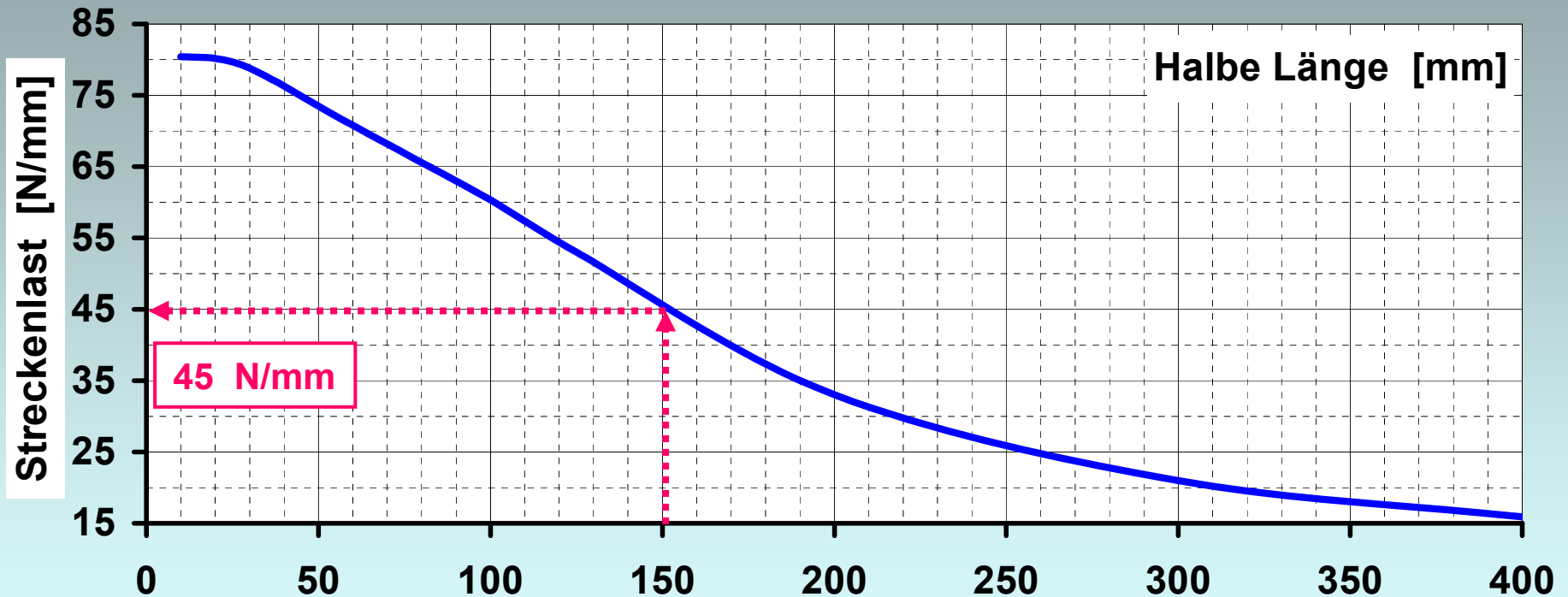


**Heute:  
Anschluss Typ U1a**



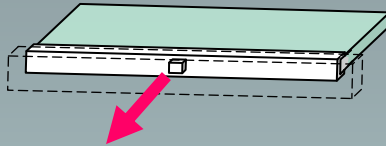


## Bemessungsdiagramm Typ U1a



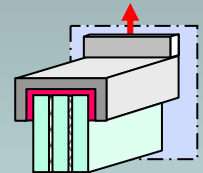
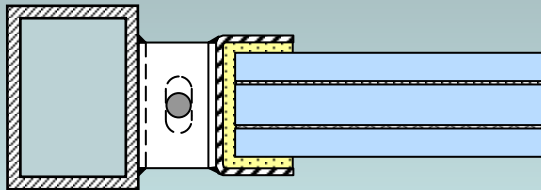


## Nachweis Anschluss horizontales Glasschwert

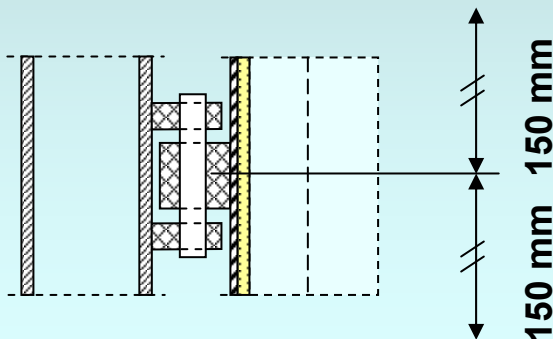


Lastübertragung  
nur horizontal

1,8 kN = 1800 N



Anschluss Typ U1a



Erwartete Belastbarkeit - Kurzzeitlast:

$$\begin{aligned} F_{EB} &= 2 \times 150 \times 45 = 13.500 \text{ N} / 3,6 \\ &= 3.750 \text{ N} \\ &= 3,75 \text{ kN} > 1,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

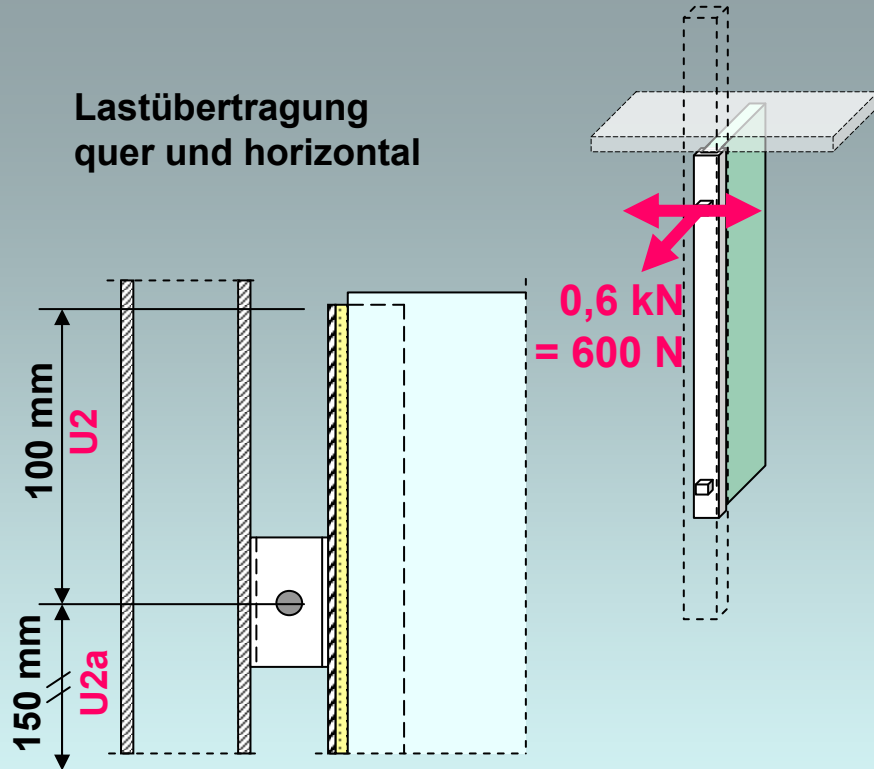
Sicherh.beiwert 6: 2,25 kN > 1,8 kN

Sicherheitsbeiwert



## Nachweis Anschluss vertikales Glasschwert

Lastübertragung  
quer und horizontal



Im Jahr 2000:

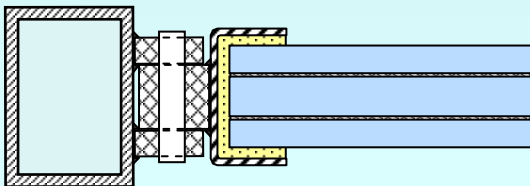
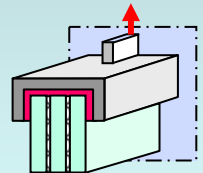
zul. P

$$= 0,25\text{m} \times 11,6 \text{ kN/m} \times \frac{6}{10}$$

$$= 1,74 \text{ kN} > 0,6 \text{ kN}$$

wg. Dauerbelastung

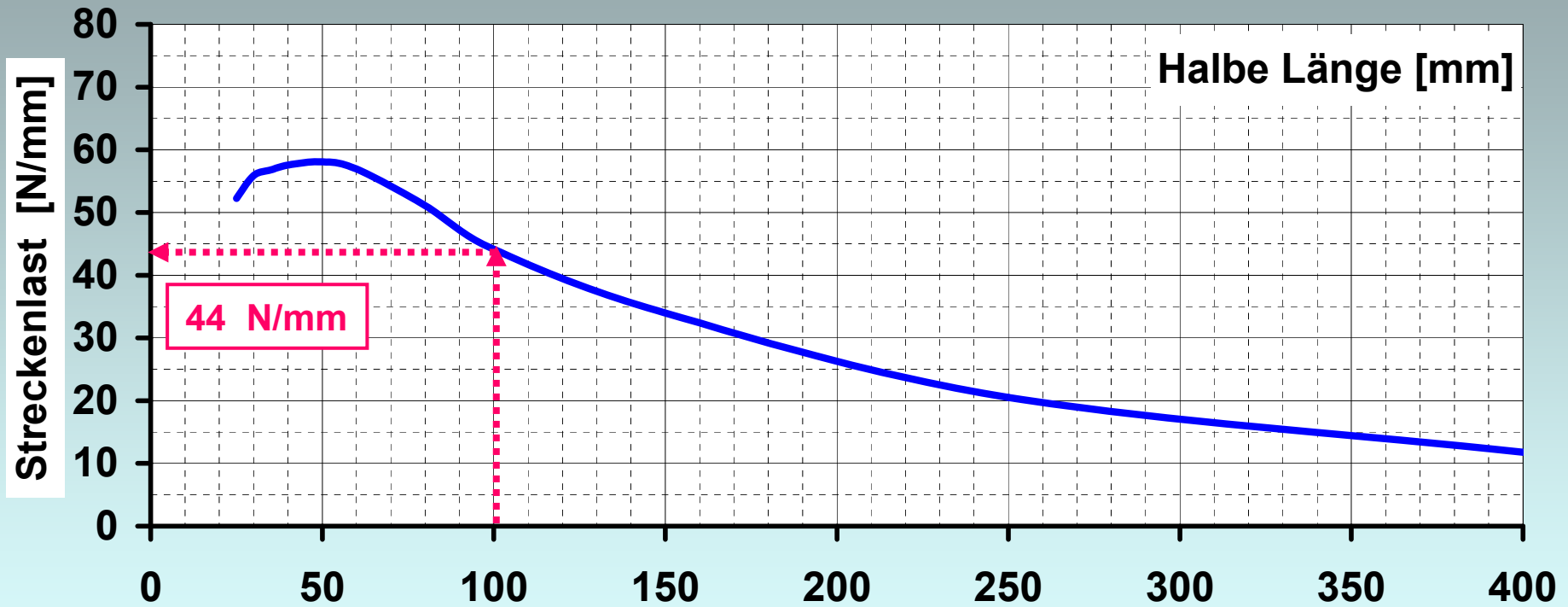
Heute:  
Anschluss Typ U2 + U2a





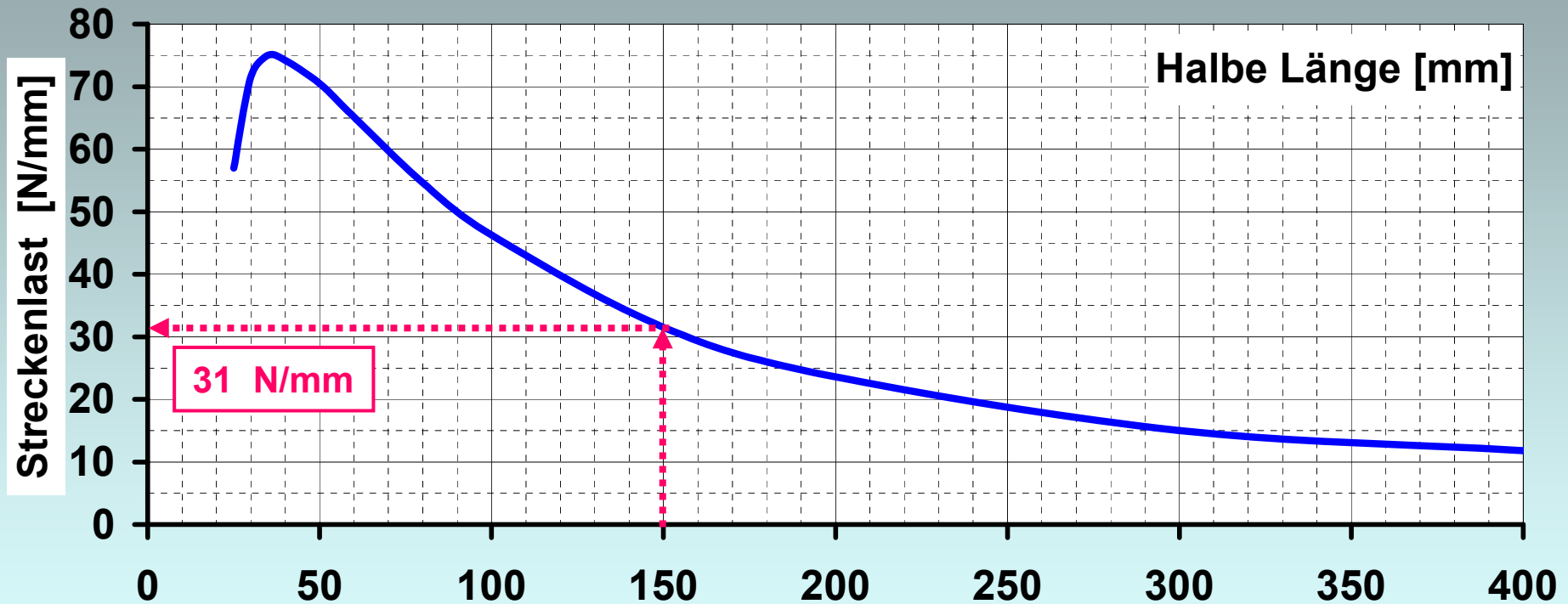


## Bemessungsdiagramm Typ U2





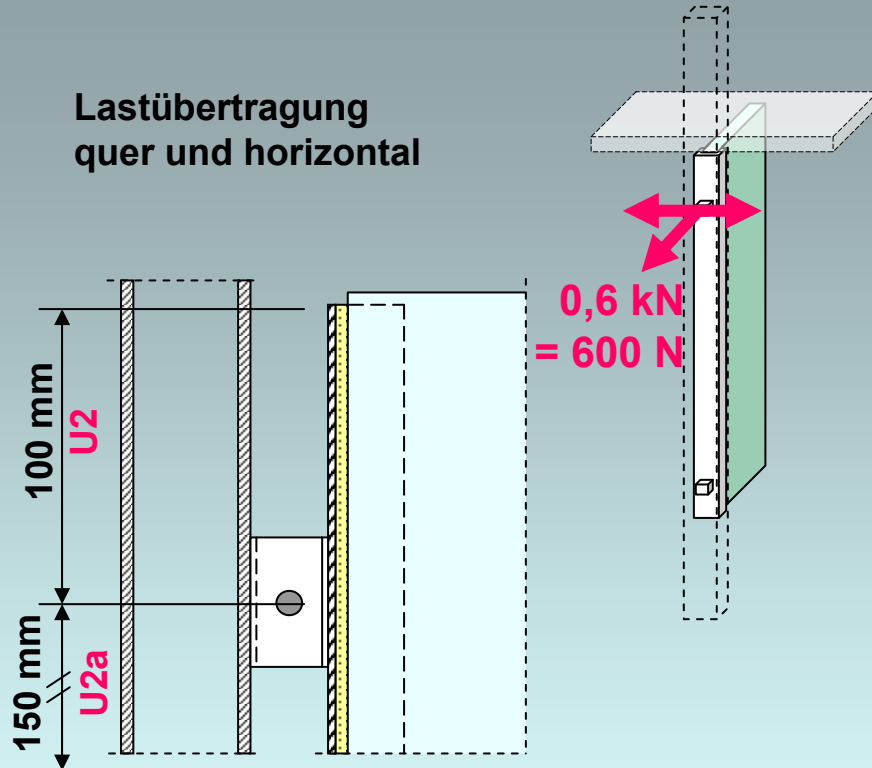
## Bemessungsdiagramm Typ U2a



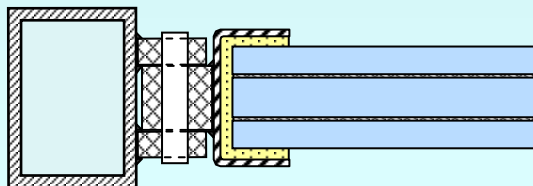
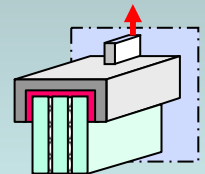


## Nachweis Anschluss vertikales Glasschwert

Lastübertragung  
quer und horizontal



Anschluss Typ U2 + U2a



Erwartete Belastbarkeit - Dauerlast:

$$F_{EB} = (100 \times 44 + 150 \times 31) = 9.050 \text{ N} / 6$$

$$= 1.508 \text{ N}$$

$$= 1,5 \text{ kN} > 0,6 \text{ kN}$$

Sicherh.beiwert 10:  $0,9 \text{ kN} > 0,6 \text{ kN}$

Sicherheitsbeiwert



## Schlussfolgerung

### Damals

- Diese Konstruktion war im Jahr 1999 die Spitze der Innovation und zukunftsweisend
- Geringeres Wissen erforderte größeren Experimentalaufwand
- Dies führte zu einer relativ konservativen Auslegung
- Kostenrahmen und Terminplanung wurden eingehalten, da rechtzeitige Abklärung mit der Bauaufsicht erfolgte
- Hohes Maß an Vorfertigung und daher optimierter Bauablauf

### Heute

- Wir verfügen über ein fundiertes Wissen über Klebstoff und zu dieser Verklebungsgeometrie
- Daher geringerer Versuchsaufwand, da Auslegungsverfahren bekannt
- Geringerer Prüfaufwand bis zur Genehmigung
- Geringere Versuchskosten bis zur Genehmigung



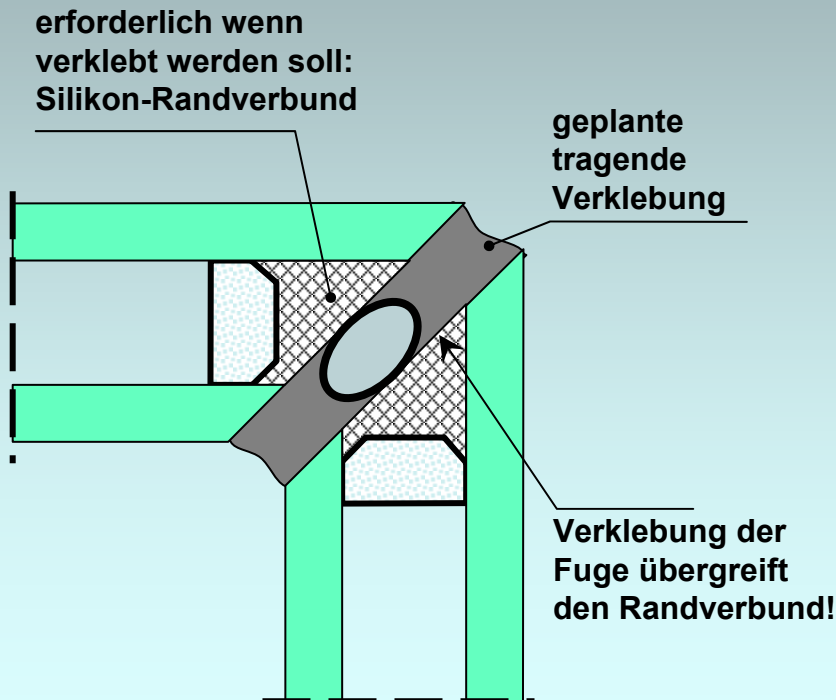
## Beispiel 2 – verklebte Glasecke

<b>Beteiligter</b>	<b>Wissensstand zu Projektbeginn</b>	<b>Aufgabe</b>	<b>Aktion</b>
<b>Statiker Entwurf</b>	vertieftes Wissen	Entwurfstatik	Für die Ausschreibung werden die Randbedingungen ermittelt
<b>Architekt</b>	innovativ	Planung / Ausschreibung	Werkplanung und Ausschreibung auf der Basis der Entwurfstatik. Alle Eckdaten werden richtig ausgeschrieben. Ausgeschrieben wird ein Silikonrandverbund.
<b>Ausführende Firma</b>	„ahnungslos“	Ausführung	beauftragt einen Statiker, der zwar die Fassade, jedoch nicht die Verklebung nachweist.
<b>Statiker der beauftragten Firma</b>	„ahnungslos“	Statischer Nachweis	Nachweis der Fassadenkonstruktion. Hinweis in Statik: „...die Verklebung sollte von dem Klebstoffhersteller dimensioniert werden...“
<b>Statikprüfer</b>	„ahnungslos“	Freigabe der Statik	Gibt auf der Basis der Berechnung die Konstruktion frei. Verlässt sich auf Planer.



## So sieht das dann aus...

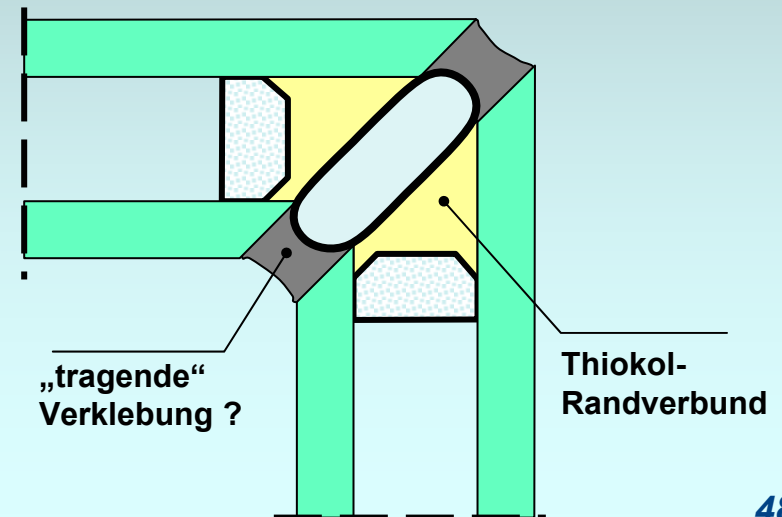
**So war es richtig geplant und beauftragt!**



**So wäre es beinahe ausgeführt worden...**

Bei Glaseckverklebung ist die resultierende Linienlast aufzuteilen in  
Zugspannungskomponente  $\sigma$   
und Schubspannungskomponente  $\tau$   
in der Klebefuge.  
Daraus ist die Vergleichsspannung zu ermitteln welche kleiner als der zulässige Wert (0.14MPa) sein muss.

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$





## Schlussfolgerung

### Halbwissen

- Ist gefährlich
- Es führt zu falscher Bauausführung
- Beinhaltet ein hohes Haftungsrisiko

### Besser

- Rechtzeitig Spezialisten zuziehen
- Ausschreibungen genau lesen!
- Vorgaben genau befolgen



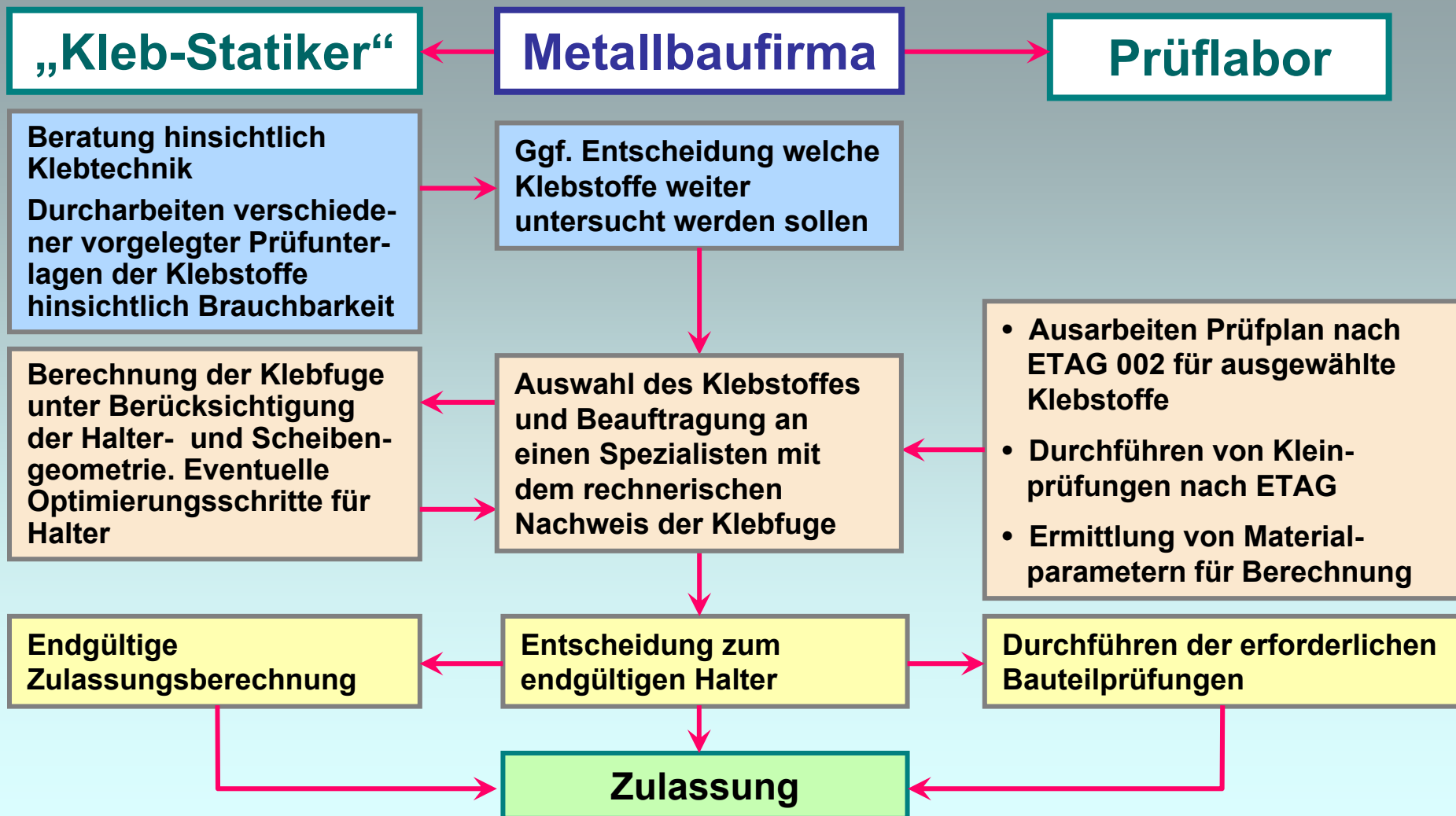


## Beispiel 3 – punktuell verklebtes Glaspaneel

Beteiligter	Wissensstand zu Projektbeginn	Aufgabe / Interesse	Aktion
<b>Metallbau-firma</b>	innovativ aber „ahnungslos“	Produktent-wicklung	schaltet den „Hausstatiker“ ein und fängt an Probeklebungen mit Punkthaltern durchzuführen, ohne sich über Dimensionierung dieser Halter in Abhängigkeit des Klebstoffs und dessen Tragfähigkeit Gedanken gemacht zu haben.
<b>„Haus-statiker“</b>	bemüht aber „ahnungslos“	Dimensionie-rung der Glaselemente	Berechnet mittels FE die Glasdicken und berücksichtigt die Verklebung ohne tiefere Materialkenntnis über geschätzte Werte.
<b>2 Klebstoff-Hersteller</b>	wissend bzgl. des eigenen Produkts	Verkauf des Produkts	Kleben Muster, sind jedoch nicht in der Lage die Zulassungsfähigkeit abzuschätzen.
<b>Prüflabor und externer Statiker</b>	vertieftes Wissen	Beratung hinsichtlich Baurecht Statik	Weisen auf Unstimmigkeiten in Versuchsbericht eines der Klebstoffhersteller hin und zeigen den erforderlichen Projektablauf auf.

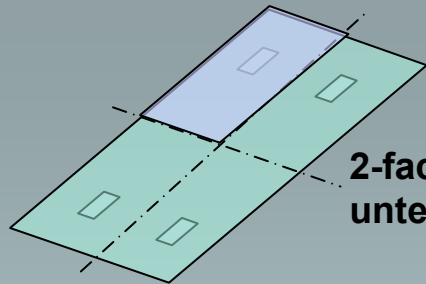


## Richtiges Projektablaufschema



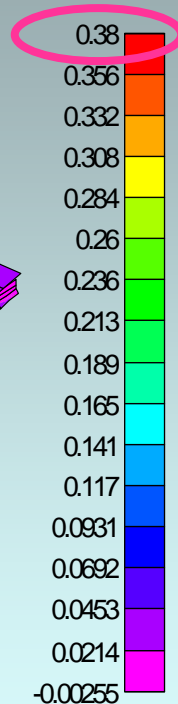


## Spannung in der Klebfuge

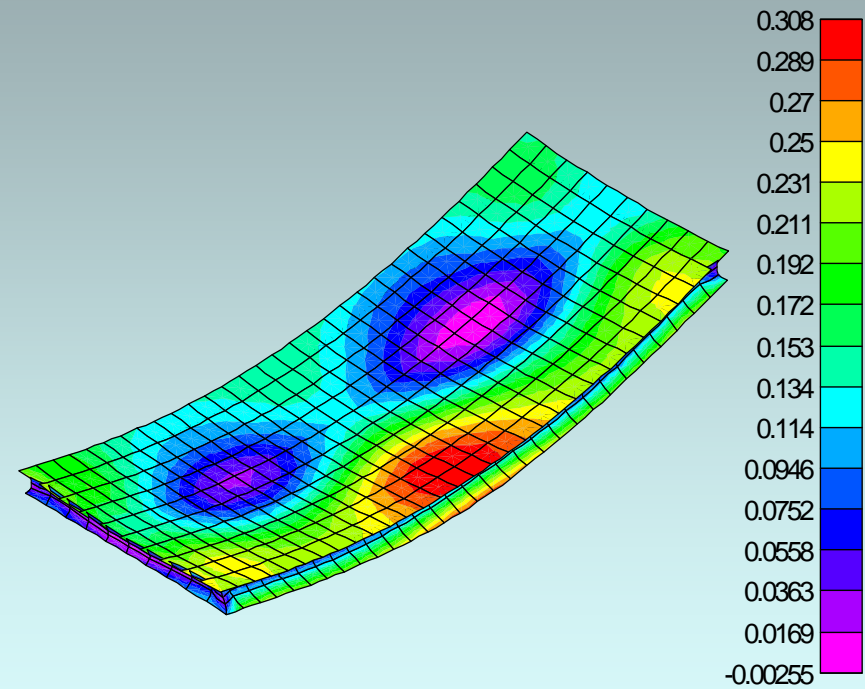


2-fach Verbundscheibe  
unter Windsog

ist das zulässig?



**Glasscheibe mit  
Verbund**



**Glasscheibe  
ohne Verbund**



## Vergleich mit Spannungen nach ETAG 002 / FE

Formal entsprechend ETAG (gleichmäßige Spannungsverteilung):

$$\text{zul } P = 150 \times 50 \times 0,14 = 1.050 \text{ N}$$

$$\text{vorh } P = 1,3 \times 1,1 \times 2.400 / 4 = 858 \text{ N} < \text{zul } P \rightarrow \text{Dimensionierung ok ???}$$

Nach aktuellen Erkenntnissen für Punkthalter:

$$\max \sigma_{\text{Bruch}} = 2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{zul } \sigma = 2 / 6 = 0,33 \text{ N/mm}^2 \text{ (nach ETAG sogar nur } 0,14 \text{ N/mm}^2 \text{)}$$

$$\text{vorh } \sigma = 0,38 \text{ N/mm}^2 > \text{zul } \sigma ! \rightarrow \text{Dimensionierung nicht ok !!!}$$

Erklärung für die Diskrepanz :

Linienförmige Geometrie nach ETAG führt zu relativ gleichmäßiger Belastung / Spannung in der Klebfuge

Die Berechnungen zeigen jedoch eine sehr ungleichmäßige Spannungsverteilung innerhalb der Klebfuge wegen der konzentrierten Lastenleitung über den Steg

**Daher: Globales Kriterium entsprechend ETAG nicht anwendbar!**



# Optimierungsansätze für die Verklebung

## Kritische Parameter:

Die festgestellten **lokalen** Spannungen sind **unzulässig!**

## Optimierungsmöglichkeiten:

Annahme: Elastischer Silikonklebstoff mit Vorteilen bezüglich Dauerhaftigkeit und thermischer Lasten (andere Klebstoffe ??)

Die Geometrie der Punkthalter bewirkt die **lokale** Spannungsverteilung

- Vergrößerung der Halterbreite bei möglicher Reduktion der Halterlänge
- Veränderung der Querschnittsgeometrie der Punkthalter

Auch die Lagerungsbedingungen der Punkthalter beeinflussen die **lokale** Spannungsverteilung.



## Schlussfolgerung

### Daher ...

- Halbwissen / Beratungsresistenz ist teuer
- Blindes Vertrauen zum Klebstoffhersteller ist zumindest fragwürdig
- Konfliktsituation Hausstatiker / Spezialist kommt teuer
- Zeitverschwendung führt zu Marketingnachteilen
- Unnötige Kosten weil unbrauchbare Versuchsergebnisse

### ... es ist besser:

- Früher dem Spezialisten vertrauen anstatt zu lange an „Märchen“ zu glauben
- Rechtzeitig genügend Zeit investieren
- Bauteilversuche müssten gezielt zur Zulassung führen
- Es ist immer falsch einfach „mal drauf los“ zu kleben!



## Inhalt

1. Technische Regel für Klebverbindungen: ETAG 002
  2. Allgemeine Materialgesetzmäßigkeiten
  3. Tragfähigkeit U-förmiger Verklebungen
  4. Beispiele aus der Praxis
  - 5. Schlussfolgerung**
- 
6. Anhang Bemessungsdiagramme





## „Alles“ ist möglich, wenn...

### Wichtig ist, rechtzeitig ...

- Fachleute zuziehen
- Behörden kontaktieren
- Klebstoffhersteller zuziehen

### Dann ist der Vorteil:

- Geringes Haftungsrisiko
- Termingerechte Ausführung
- Möglichkeit kostengünstige Alternative anzubieten
- Die überragende technische Leistungsfähigkeit von Klebverbindungen nutzen zu können

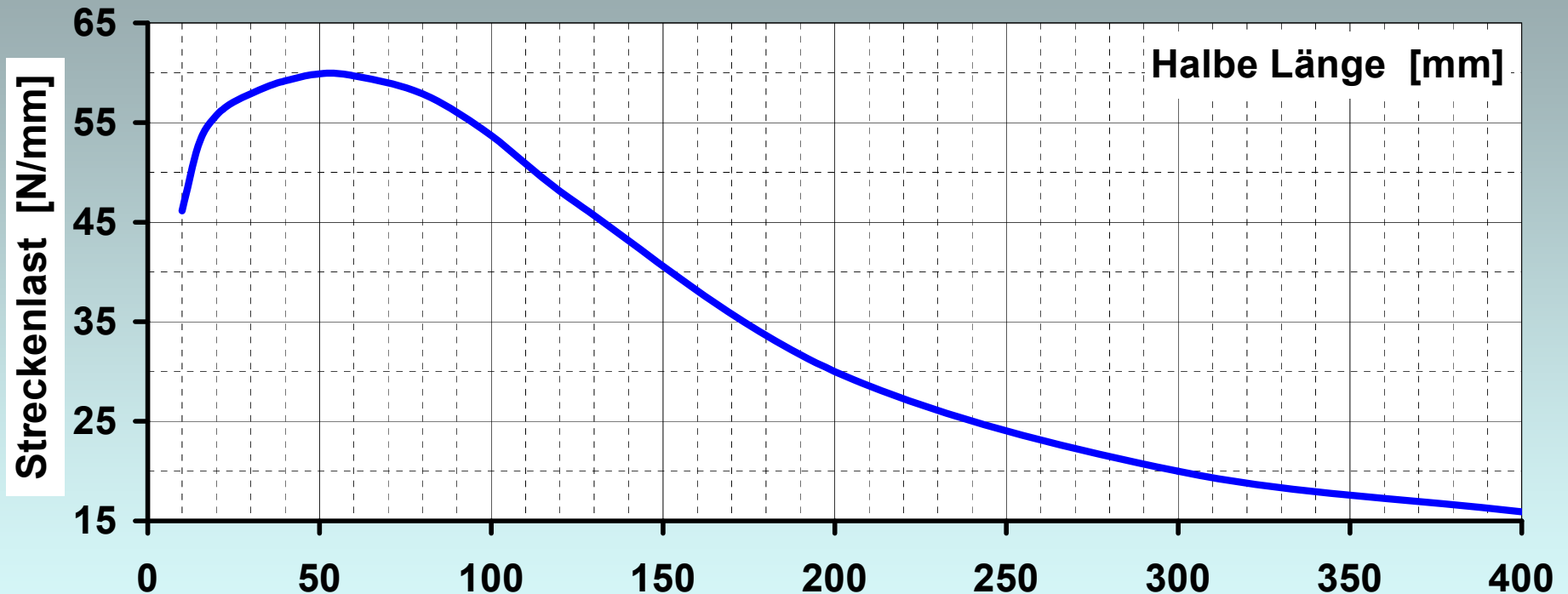


Ende

*[www.a-hagl-ingenieure.de](http://www.a-hagl-ingenieure.de)*

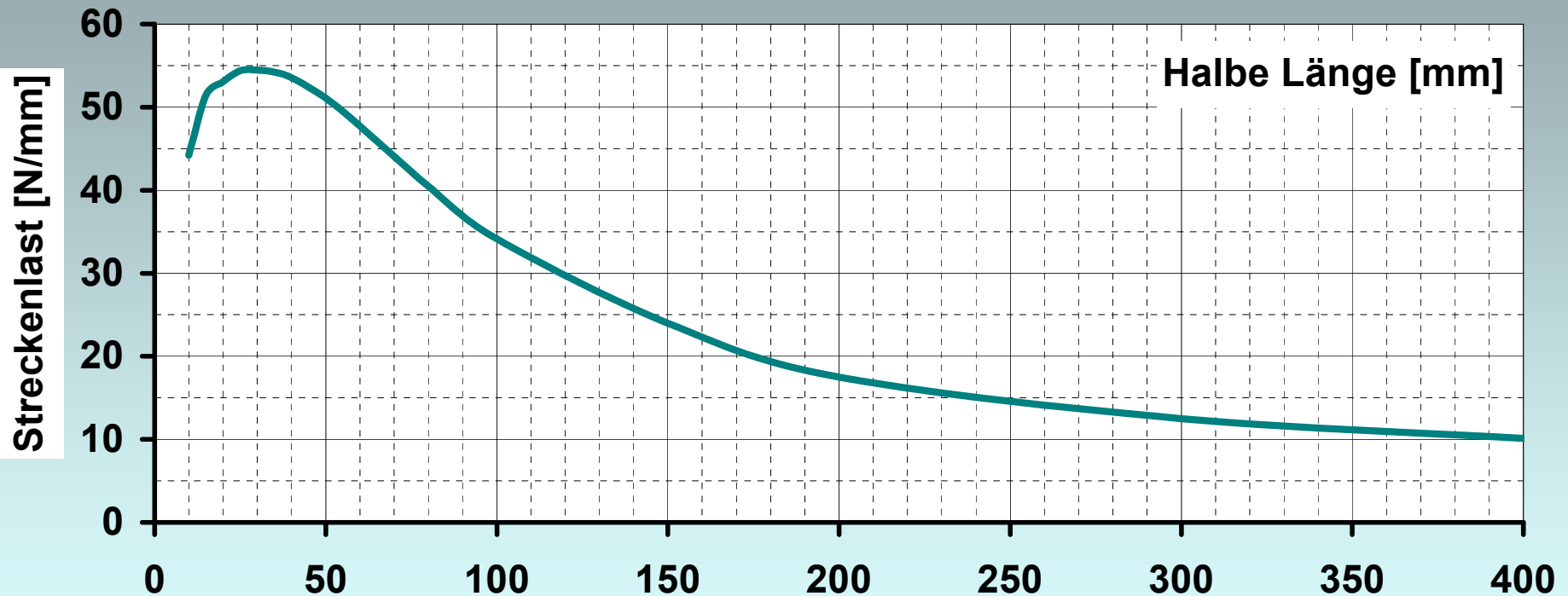


## Bemessungsdiagramm für Typ U1





## Bemessungsdiagramm für Typ U3





## Bemessungsdiagramm für Typ U3a

