



**Bauen mit Glas -  
Structural Silicone Glazing - SSG**

**A. Hagl Ingenieurgesellschaft mbH, München**

## Anneliese Hagl



- 1978                      Diplom an der Fachhochschule München
- Seit 1989                Gründung und technische Leitung der A. Hagl Ingenieurgesellschaft
- 2002 - 06                Gründung und Leitung der Arbeitsgruppe Kleben innerhalb des FKG (Fachverband Konstruktiver Glasbau)
- 2005 - 06                Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der FH München für das Projekt „Geklebte Verbindungen im Glasbau“
- 2006 - 09                PBA Forschungsvorhaben “Teiltransparente tragende Verbundbauteile aus Glas und Stahl”
- Seit 2007                Gründung und Leitung der Test+Ing-Material GmbH: Ingenieurleistungen und Prüfungen an SSG Klebstoffen
- Seit 2010                PBA Forschungsprojekt “Eurocodebasiertes Bemessungskonzept für Klebverbindungen”
- Seit 2011                Mitarbeit beim Forschungsprojekt „Sustainable Glazing“ (Projektpartner: BAM, Dibau, Roschmann, Dow Corning, A. Hagl)

### Mitglied diverser Organisationen und Fachgruppen

- Seit 1991                Mitglied der Bayerischen Ingenieurekammer Bau, Mitglied der Vertreterversammlung und aktuell Mitglied im Ausschuss Honorarfragen
- Seit 2001                Mitglied im Fachverband Konstruktiver Glasbau
- Seit 2003                Mitglied im ASTM, (American Society for Testing and Material, subcommittee C24 Seals and Sealants)
- Seit 2007                Verband Beratender Ingenieure - VBI

## Vorstellung



- Schwerpunkt ursprünglich Stahl- und Stahlbetonbau
- Ab ca. 1992 auch Glasbau
- Beschäftigung mit Klebtechnik ab 1998 (Herz-Jesu-Kirche)
- 2002 Gründung und Leitung des AK Kleben innerhalb des FKG
- Anregung diverser Forschungsaktivitäten zur Klebtechnik im Bauwesen

- Versuchsdurchführung an Klebstoffen und Verklebungen (Zug, Druck, Schub, zyklische Belastung)
- Forschung zur Klebtechnik und Klebstoffen
- Berechnung von komplexen Silikon-Klebfugen auf der Basis eigens erstellter Werkstoffgesetze
- Begleitung / Organisation von ZiE's aus dem Bereich Glas- und Klebtechnik
- Monitoring von Fassaden und SSG Konstruktionen

## Inhalt

1. Die Kirche
2. Der Entwurf 1997
3. Das Baurecht
4. Die Ausführung
5. Das ist die Zukunft
6. Zusammenfassung

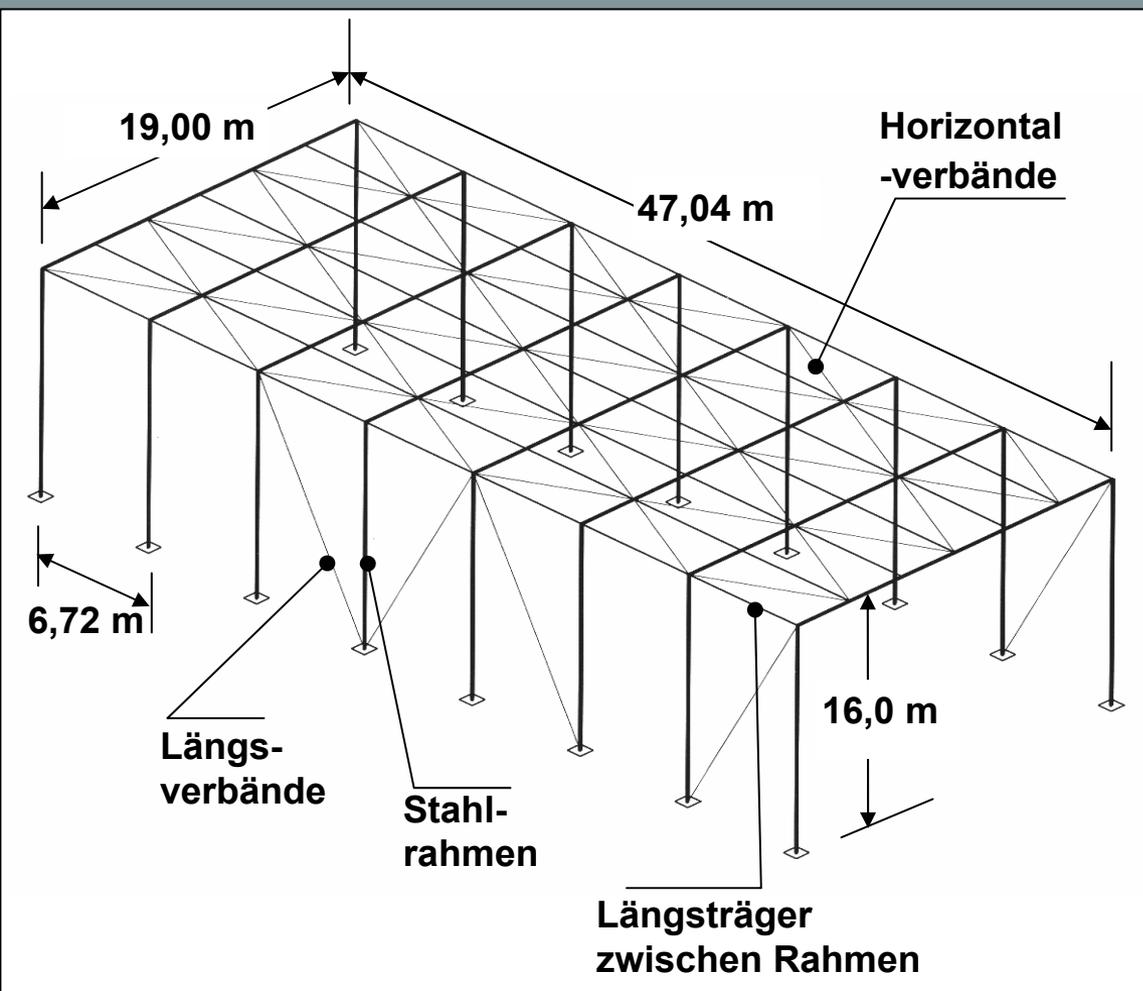
## Die Geschichte der Kirche

- 1890 Einweihung der ersten Herz-Jesu Kirche Holzhalle (Turnerfesthalle, Theresienhöhe), abgebrannt 1944
- 1951 Einweihung der zweiten Herz-Jesu Kirche als Notkirche Holzkonstruktion (Kino und Festhalle, Obersalzberg), abgebrannt 1994
- Wettbewerb 1995, 1. Preis an Allmann, Sattler, Wappner
- 1996 Entscheidung der Kirchenverwaltung zur Umsetzung
- November 2000 Kirchenweihe

## Inhalt

1. Die Kirche
- 2. Der Entwurf 1997**
3. Das Baurecht
4. Die Ausführung
5. Das ist die Zukunft
6. Zusammenfassung

## Das Tragwerk

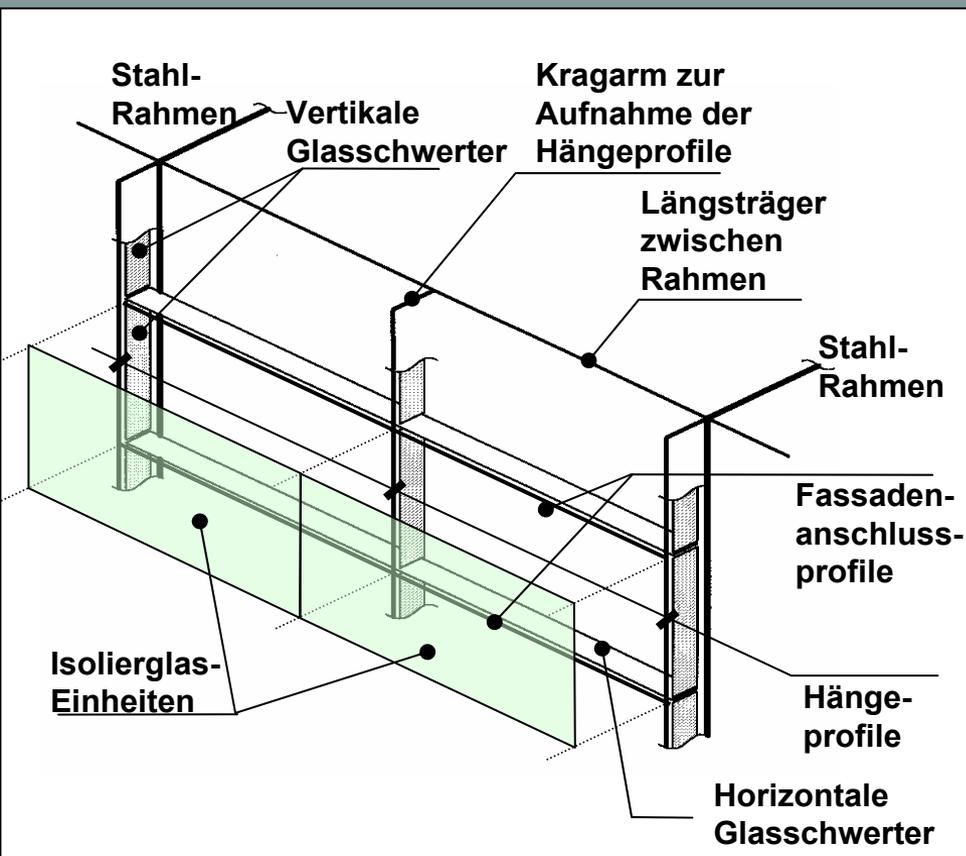


- Stahltragwerk aus acht eingespannten biegesteifen Rahmen
- Rahmen aus geschweißten Doppelhohlprofilen, 2 x 170 x 420mm, Blechdicken 60 / 35 mm
- Rahmen im Inneren des Gebäudes
- Verbände vertikal und in der Dachebene um gleiche Verformung der Rahmen zu „erzwingen“

## Entwurfsidee für die Fassade – tragend *und* transparent



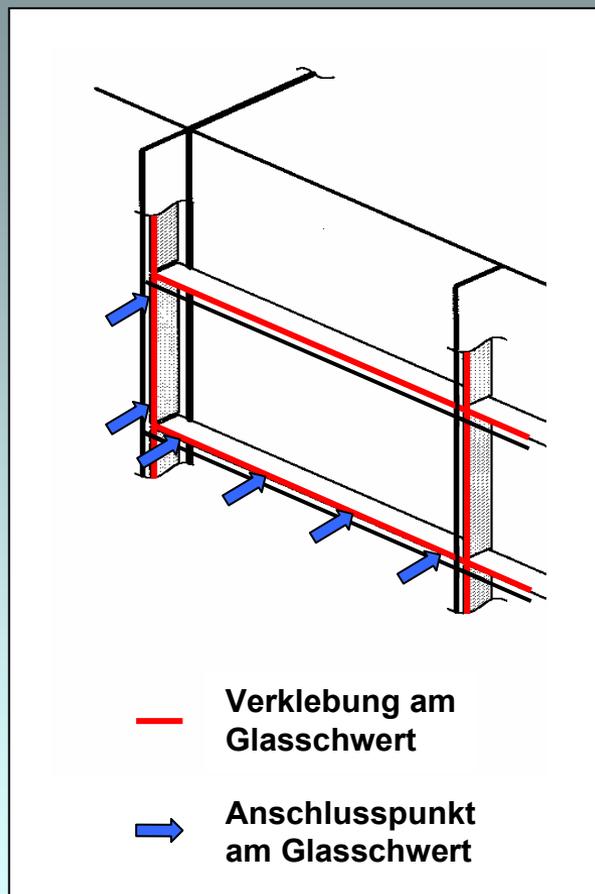
## Das Tragsystem der Glasfassade



- Isolierglaseinheiten mit einer Breite von 3.35 m, maximale Höhe 2.40 m
- Horizontale Glasschwerter mit einer Länge von 6,20 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



- Windlasten auf die Isolierglaselemente werden über Adapterprofile in die horizontalen Glasschwerter eingeleitet
- Vertikale Glasschwerter tragen das Eigengewicht der horizontalen Glasschwerter in die Hängeprofile ein
- Tragende Verklebung von U-Profilen an den Glasschwertern mit Structural Glazing Silikon
- Kritische Belastung der Verklebung: Zug
  - horizontal: pro Anschlußpunkt 1.6 kN, Kurzzeit
  - vertikal: pro Anschlußpunkt 0.3 kN, Dauerlast

## Stand der Technik damals -

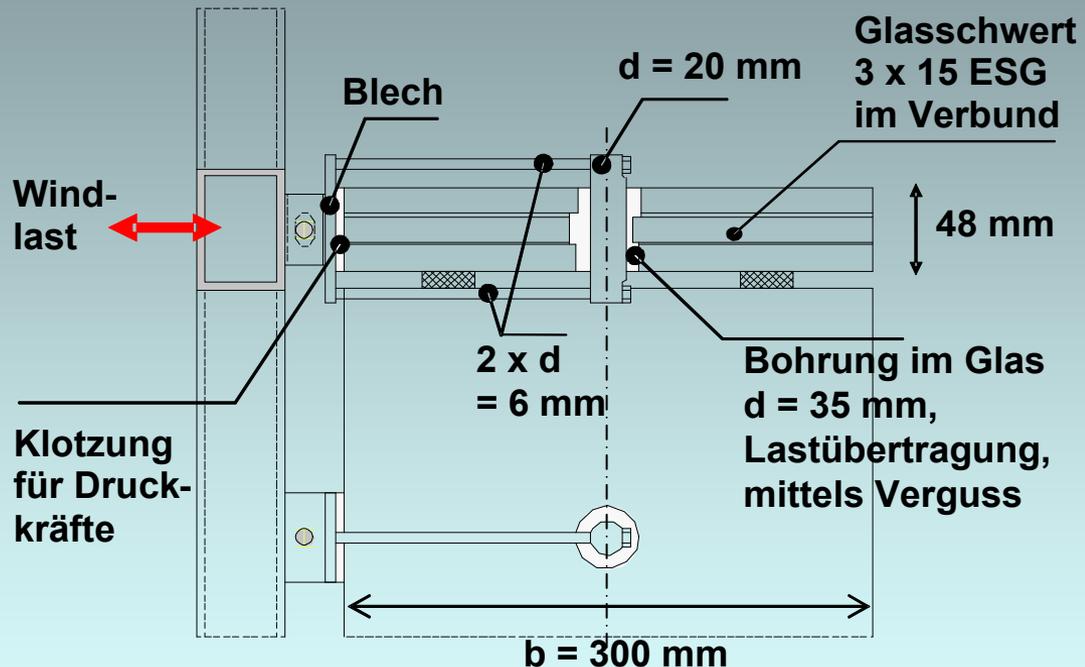
Regelkonform mit punktuellen Halterungen...

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

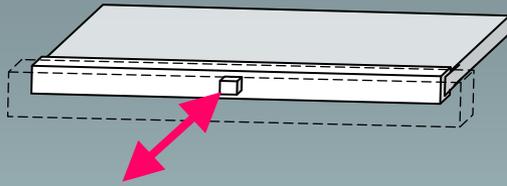
- Winddruck über Klotzung
- Windsog über Zugstäbe und im Glas vergossene Bolzen

### Wesentliche Nachteile:

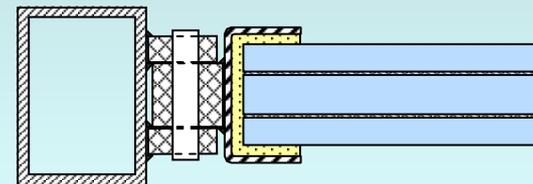
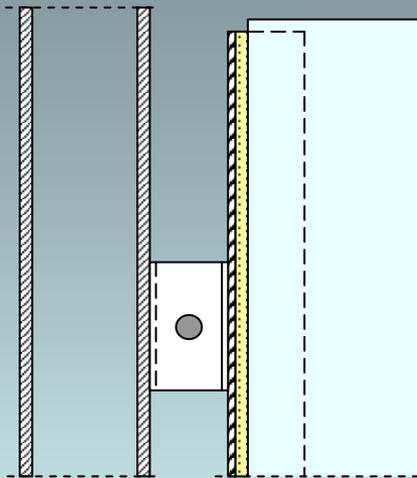
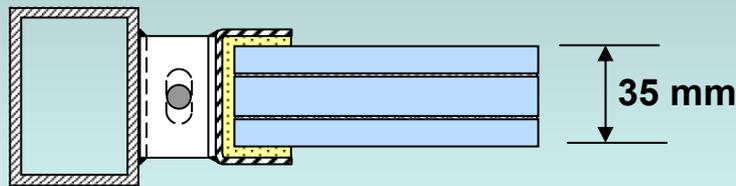
- optisch unbefriedigend
- Bohrungen im Glas und dickere Scheiben teuer!
- hoher Montageaufwand (Verguß)



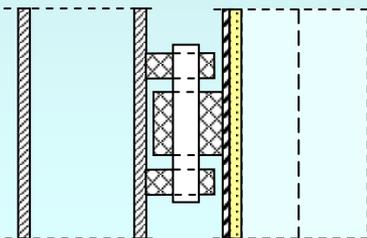
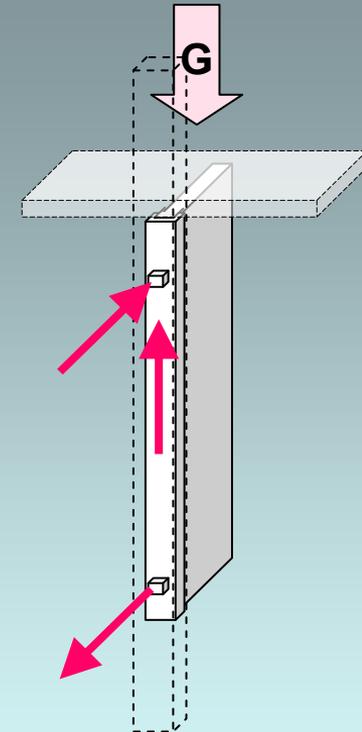
## Entwurfsprozesse sind Kommunikationsprozesse – oder: Na dann kleben wir halt ...



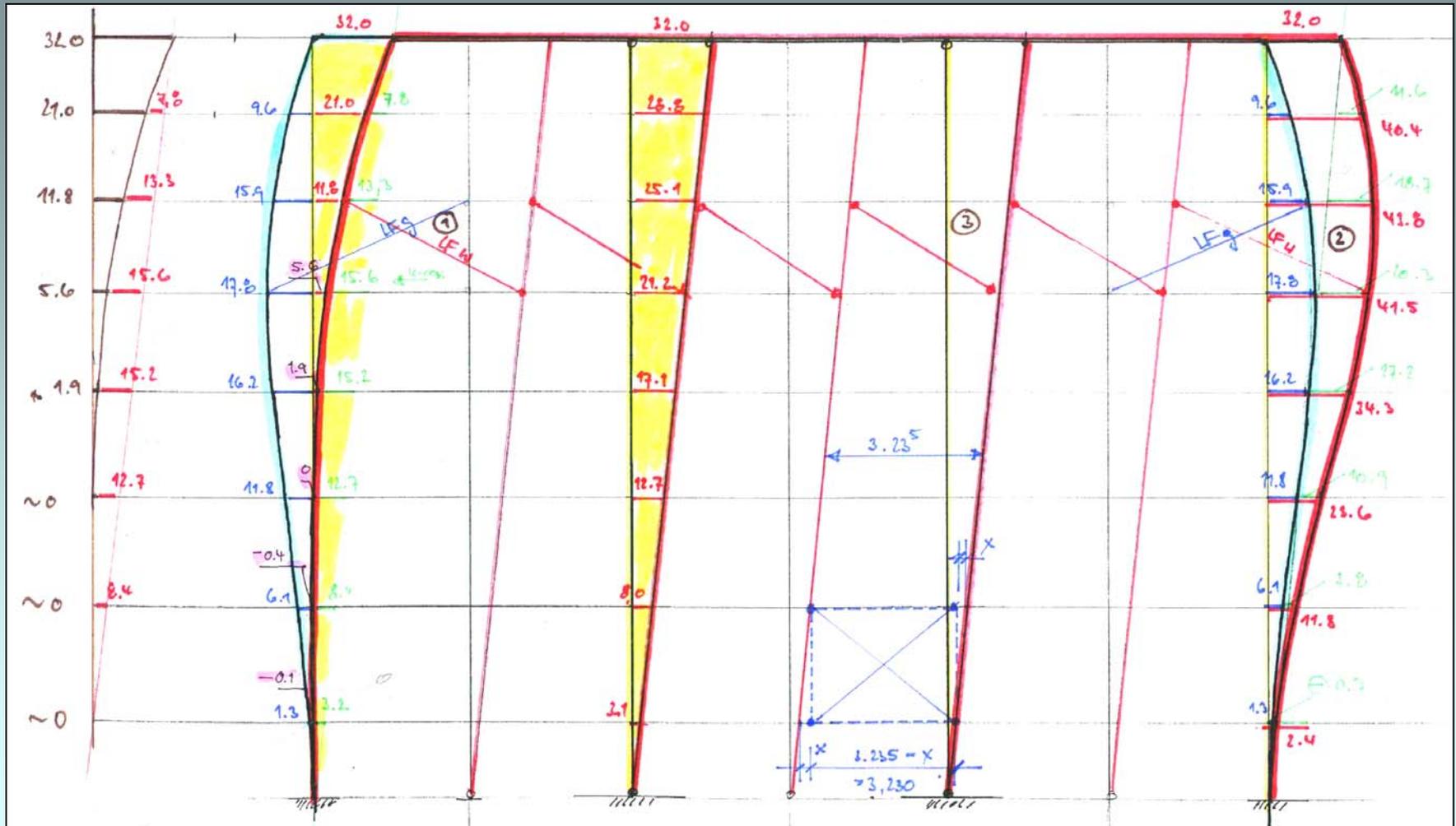
**Horizontales Glasschwert -  
Lastübertragung nur  
horizontal möglich**



**Vertikales Glasschwert – Lastübertragung  
oben: vertikal und horizontal  
unten: horizontal**

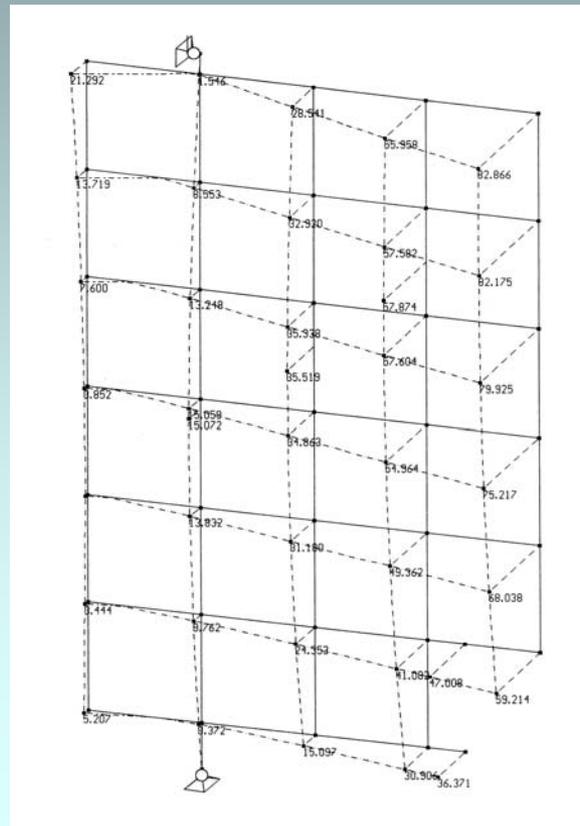


## Was noch zu berücksichtigen ist ...



## Die Tore – einige Daten

- Rahmenstruktur aus geschweißten Stahlprofilen (Randprofil 280 x 150, Innenprofil 280 x 240) mit an die lokale Belastung angepassten Wanddicken
- Glasscheiben aus Isolierglaseinheiten mit Glasdicke 2x5 mm; beide Scheiben sind bedruckt



Höhe der Kirchentore	14.20 m
Breite eines Torflügels	9.29 m
Max. Öffnungswinkel	120°
Gewicht eines Torflügels	32.8 to
Gewicht der Rahmenstruktur	21.9 to
Gewicht der Glasfassade	10.9 to

## Inhalt

### 1. Die Kirche

### 2. Der Entwurf 1997

### 3. Das Baurecht

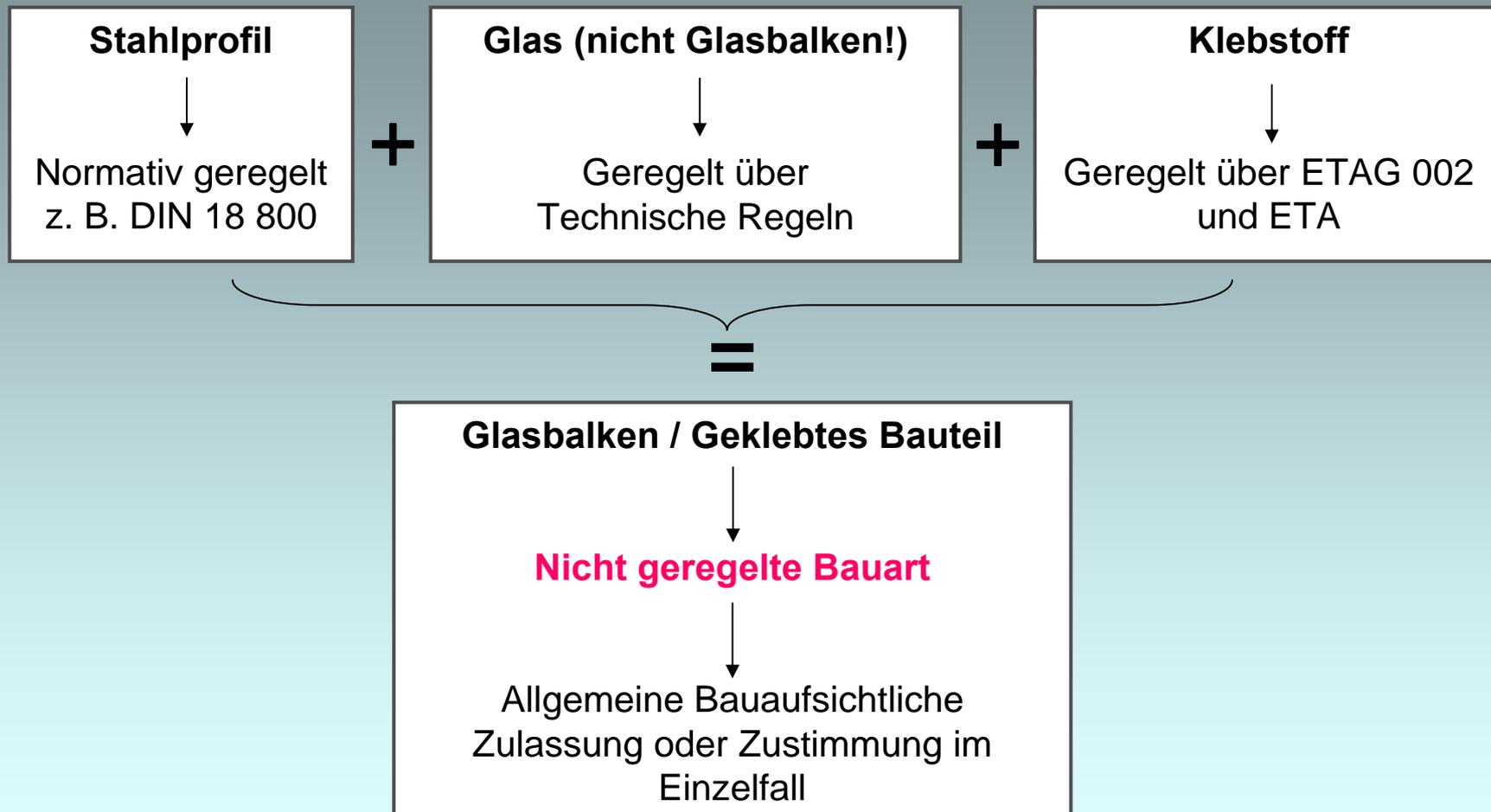
- Baurechtliche Vorgaben generell
- Bemessungsregeln für Klebfugen nach ETAG 002
- Experimentelle Nachweise der Klebverbindung
- Versuche an Glasschwertern

### 4. Die Ausführung

### 5. Das ist die Zukunft

### 6. Zusammenfassung

## Bauaufsichtliche Situation für SSG in Deutschland



## Nicht geregelte Bauart

**Bauarten, werden als nicht geregelte Bauarten bezeichnet, wenn diese**

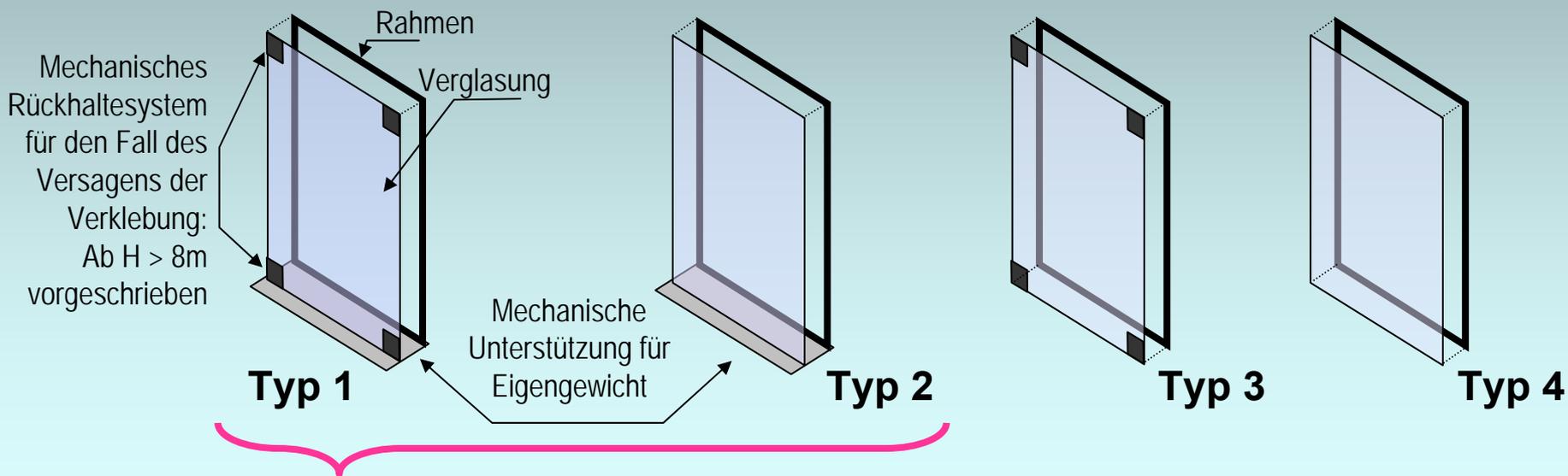
- von technischen Baubestimmungen wesentlich abweichen, oder
- es keine allgemein anerkannten Regeln der Technik gibt.

**Diese Bauarten dürfen bei der Errichtung baulicher Anlagen nur angewendet werden, wenn**

- eine allgemeine baurechtliche Zulassung,
- ein allgemeines baurechtliches Prüfzeugnis oder
- eine Zustimmung im Einzelfall vorliegt.

## Verklebung in der Europäischen Normung

- Structural Glazing (statische Verklebung von Glas und Metallkonstruktion) ist anerkannt als Bautechnologie.
- Richtlinie ETAG\* 002 ist die Richtlinie für die Zulassung von Structural Glazing Klebstoffen
- Regelung von vier Structural Glazing Typen



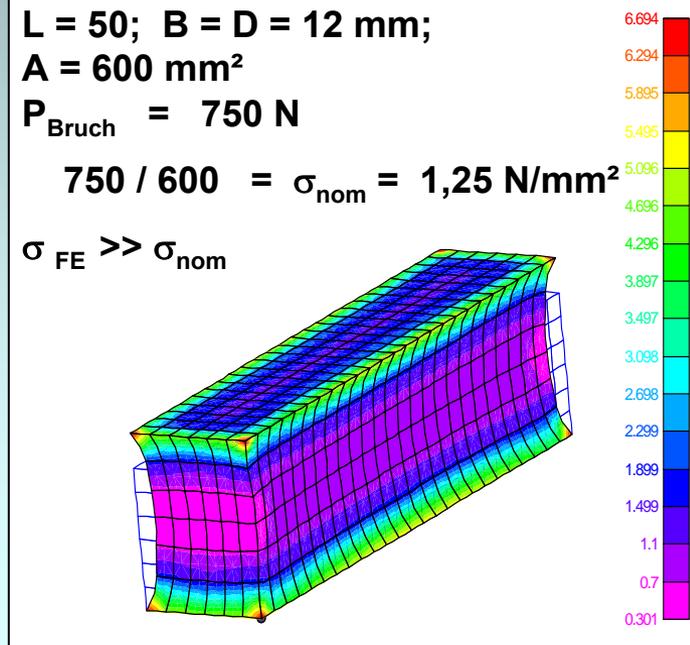
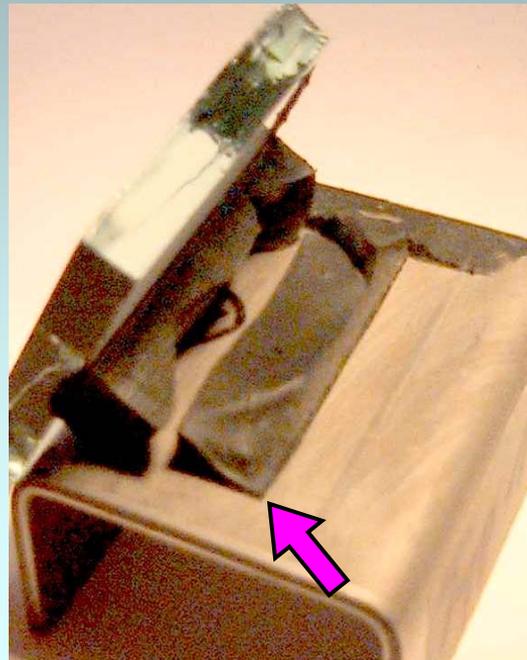
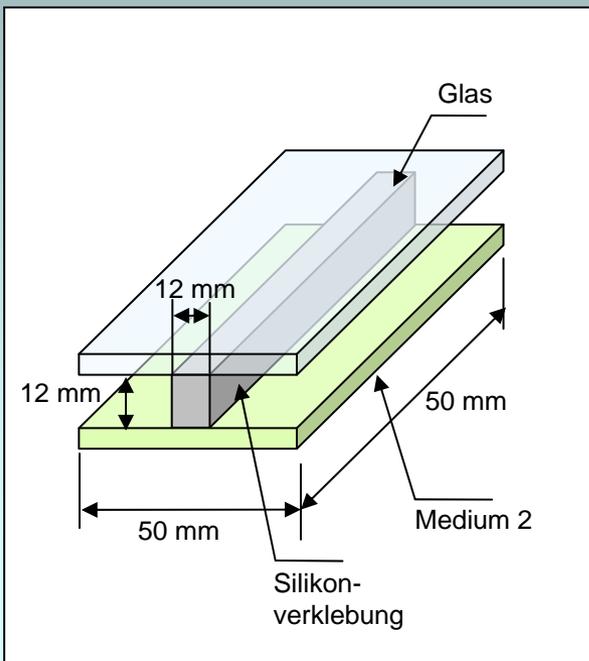
**In Deutschland  
zugelassen**

\* ETAG: European  
Technical Approval  
Guideline

## Auslegungsspannung nach ETAG 002

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

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



## Versuchsdurchführung ETAG Zug



## 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

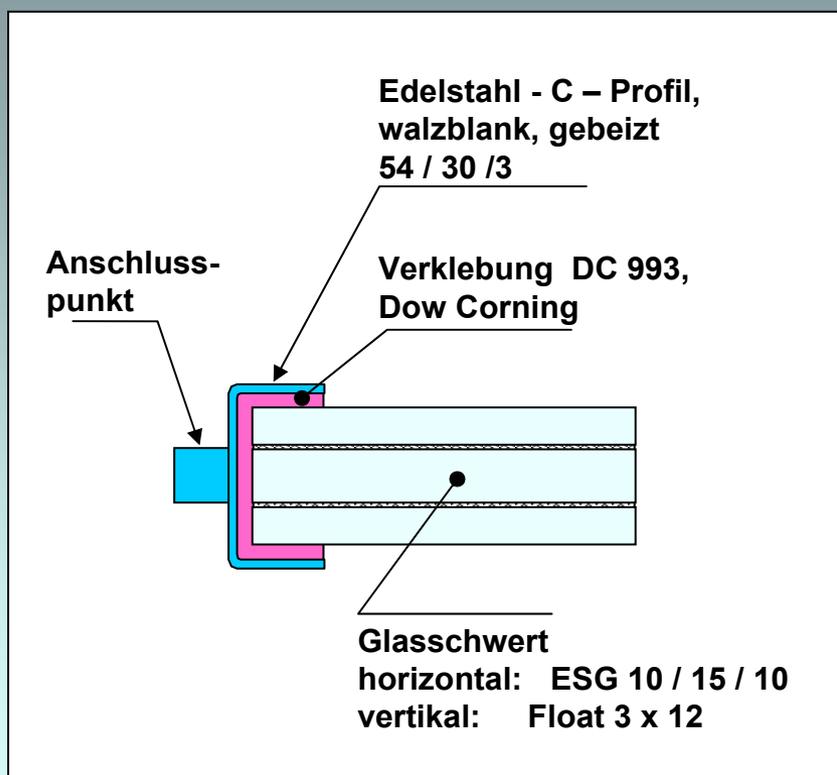
\*\* Ingenieurspannungen  $\sigma_i, \tau_i$

## 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
- Für komplexe Verklebungsgeometrien mit lokaler mehrdimensionaler Beanspruchung (z. B. U-förmige Verklebung) ungeeignet, da Abbildung mehrdimensionaler Spannungszustände auf zulässige Spannung nicht möglich

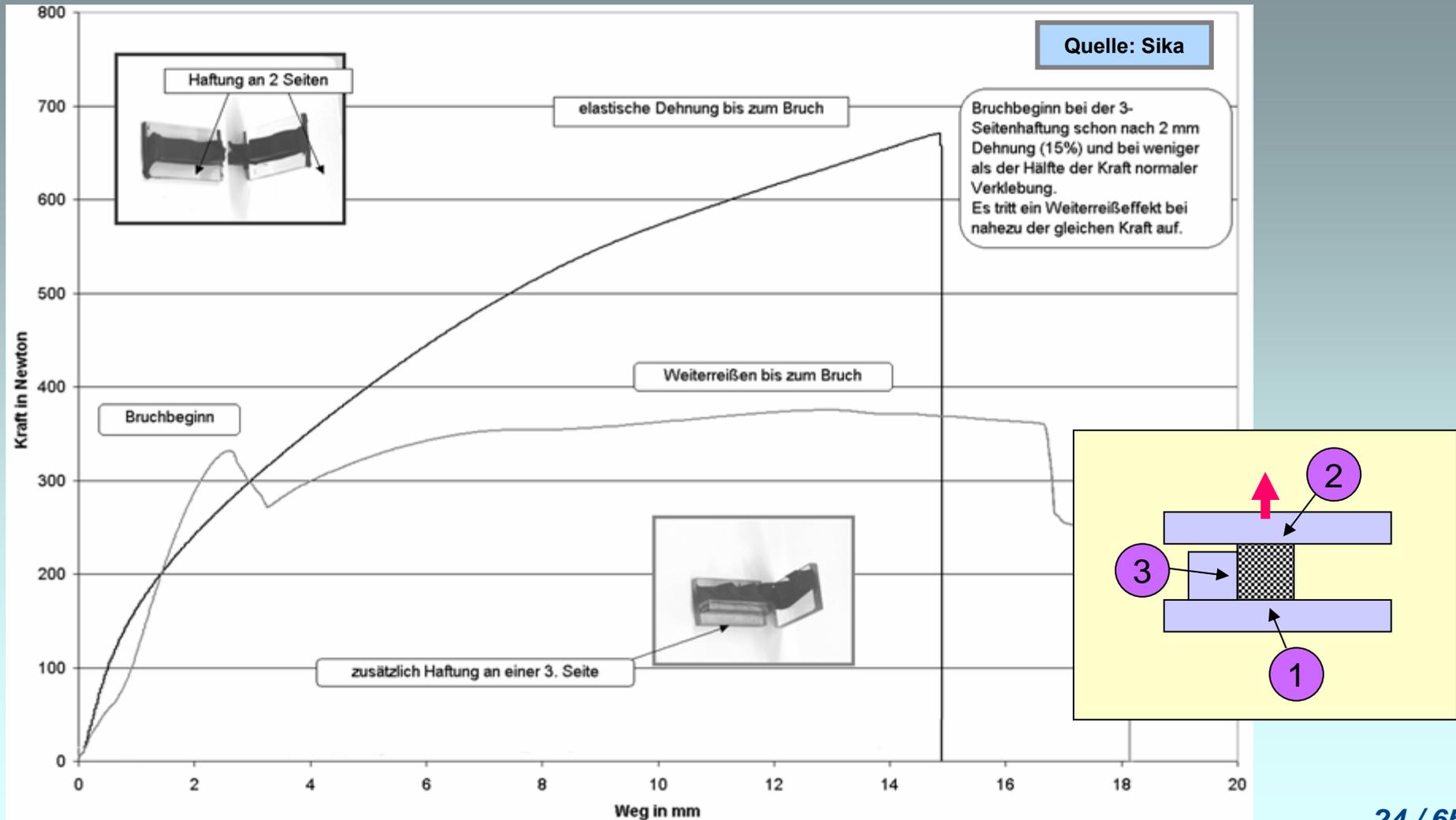
**Beachte: ETAG 002 schließt dreiseitige Verklebungen ausdrücklich (!) aus.**

## Die Verklebungsgeometrie

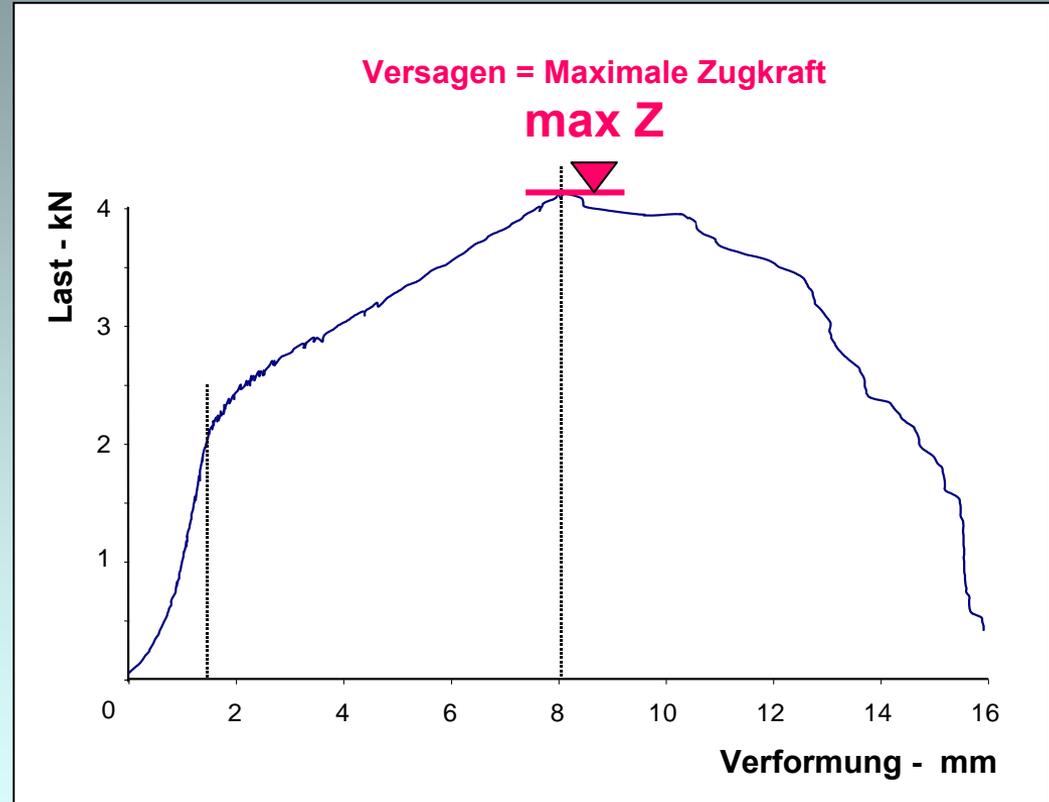
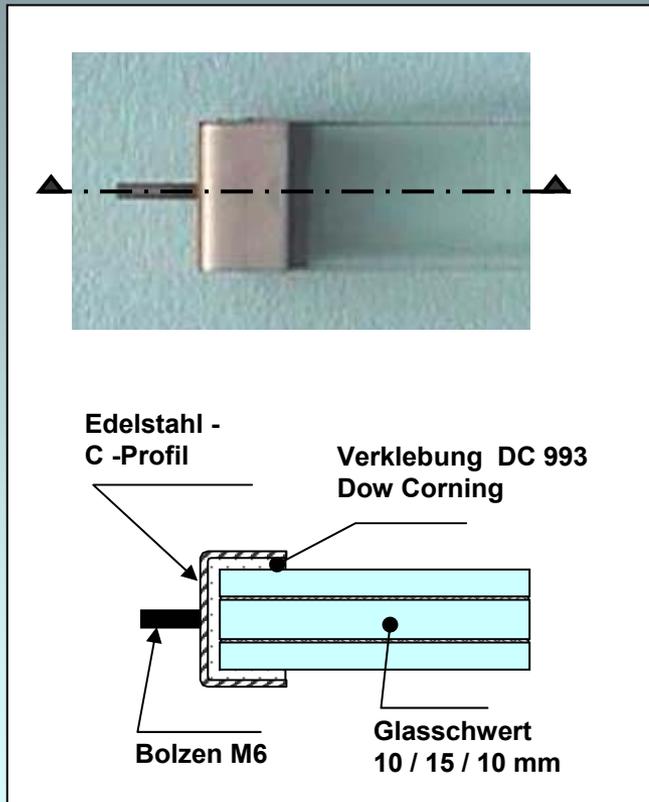


- **Dreiseitige Verklebung** des U-Profiles mit Glasschwert
- Komplexe Beanspruchung des Silikonwerkstoffs (Stirnseitiger Zug, flankenseitiger Schub, Querkontraktionsbehinderung und fast perfekte Inkompressibilität)
- Keine direkte Übertragung der Regeln nach ETAG 002 auf diese Art einer Verklebung möglich

## „Dreiseitige“ Verklebung – nach ETAG unzulässig



## Nachweis der Tragfähigkeit: 2000 auf der Basis von Versuchen



## 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

Daten:  
Mit freundlicher  
Genehmigung  
des Erzbischöf.  
Bauamts

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

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

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 4,128.1 N  
Standardabw. 245.6 N  
 $R_{u,5} = 3,612.4 \text{ N}$   
 $R_{u,5} / 6 = 602.1 \text{ N}$

Mittelwert 4,889.2 N  
Standardabw. 218.5 N  
 $R_{u,5} = 4,351.8 \text{ N}$   
 $R_{u,5} / 6 = 725.3 \text{ N}$

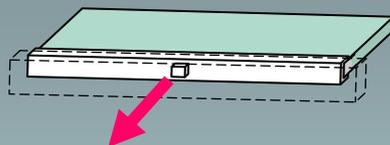
Mittelwert 4,552.5 N  
Standardabw. 395.3 N  
 $R_{u,5} = 3,493.0 \text{ N}$   
 $R_{u,5} / 6 = 582.2 \text{ N}$

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

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

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

## Bemessung der Anschlüsse im Jahr 2000

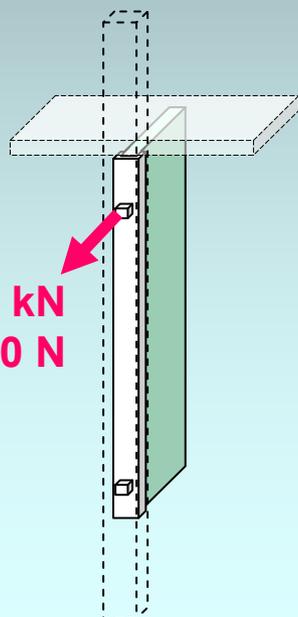


**1,8 kN = 1800 N**

mittragende Breite:  $\approx 30 \text{ cm}$

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

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



**0,6 kN  
= 600 N**

mittragende Breite:  $\approx 30 \text{ cm}$

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

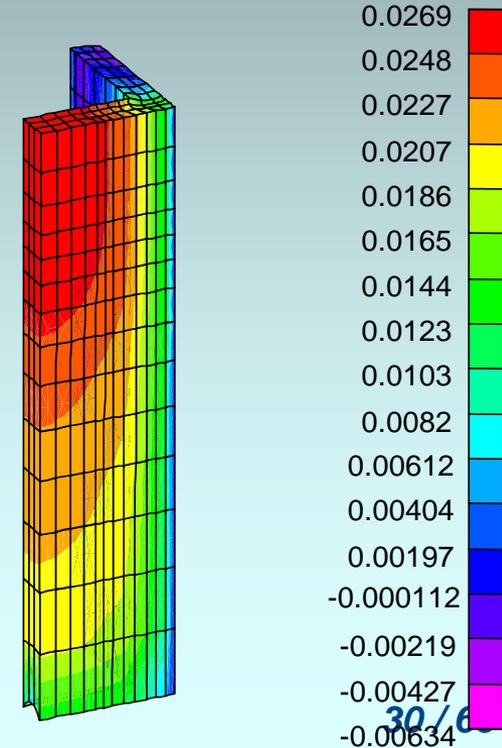
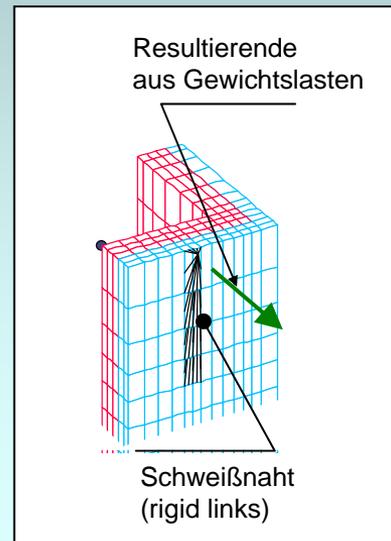
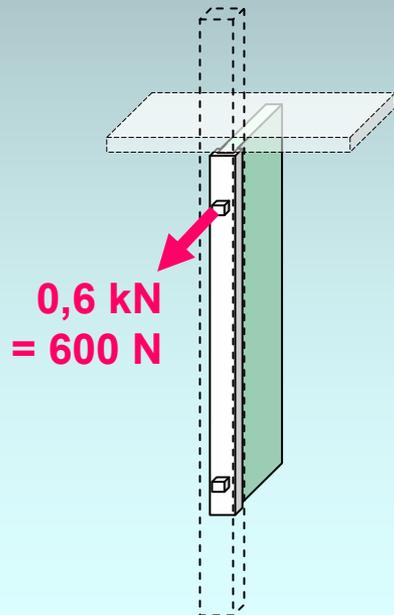
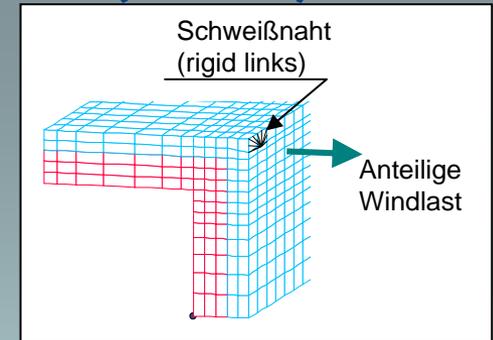
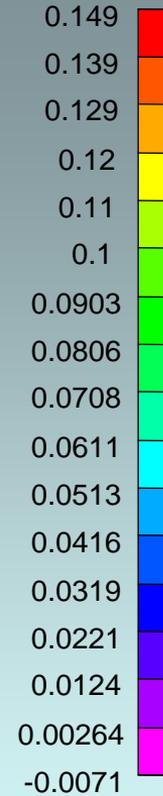
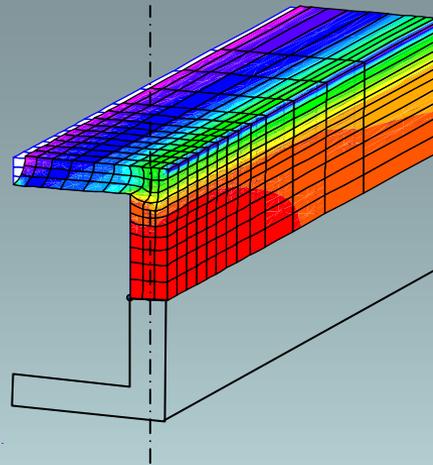
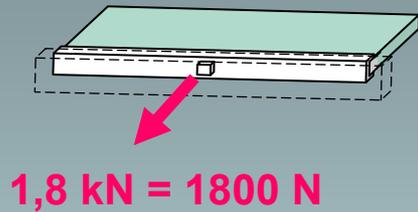
=  $1,74 \text{ kN} > 0,6 \text{ kN}$

wg. Dauerbelastung höherer  
Sicherheitsbeiwert  $\nu = 10$

## Vorgehen für den Rechnerischen Nachweis

- Versuche an der Verklebungsgeometrie, Prüfkörper mit 50 mm Länge und aufgeschweißtem Bolzen
- Auf der Basis der Versuchsergebnisse Nachweis der aufnehmbaren Last / m
- Der Untersuchungsbericht ist Basis der Statischen Berechnung, der Prüfung und der Zustimmung im Einzelfall
- Offene Punkte hierbei
  - Geometrie der Lasteinleitung passt nicht zur tatsächlichen Ausführung
  - Freie Einschnürung des Klebstoffs an den Kanten des Prüfkörpers weichen ab von der tatsächlichen Einbausituation
  - Bemessung auf der Basis von erreichten Bruchlasten vernachlässigt tatsächliches Bruchgeschehen innerhalb der Klebfuge
- Heute ist eine Dimensionierung auf der Basis realistischer Materialkennwerte mit FEM möglich
- Frage: Prüfbarkeit durch Statikprüfer ?

## Bemessung der Anschlüsse im Jahr 2000 (intern)



## Versuchsaufbau für Glasschwerter an der TU München

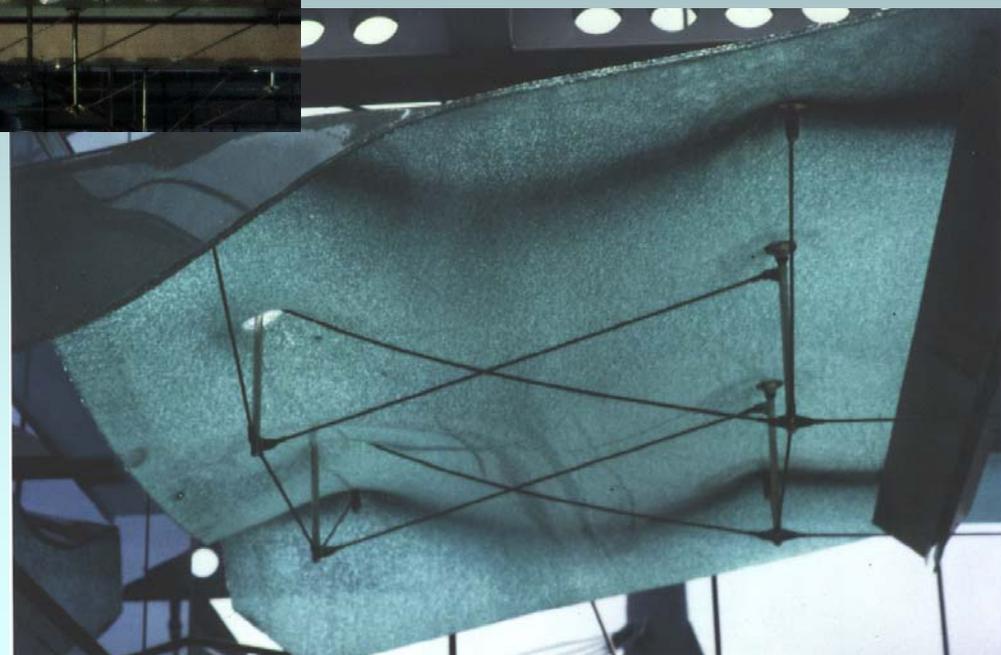


## Resttragfähigkeitsversuche an Glasschwertern (TUM)





Wenn ESG bricht ...



**Bilder:**  
Mit freundlicher Genehmigung  
von R. Danz

## ... und hier ?



horizontales  
Glasschwert  
3 x ESG

Volumenzunahme im  
gebrochenen ESG  
führt zur Ausbildung  
eines Druckbogens  
innerhalb des  
Glasschwerts



aufgeklebtes  
U-Profil führt  
zu Zwängung -  
Zugband

## Kosten für Versuche im Rahmen der Zustimmung

- **Isolierglaseinheiten**      äußere Scheibe nicht geklemmt,  
Lastabtrag nur über Verbundfolie
- **Glasschwerter**            nicht geregelter Bauprodukt
- **Verklebung**                nicht geregelte Bauart

**Gesamtkosten der Kirche**

**ca. 23 Mio. DM**

**Kosten der ZiE**

**ca. 250.000 DM**

**(oder: ≈2% der Fassadenkosten!)**

## Inhalt

1. Die Kirche
2. Der Entwurf 1997
3. Das Baurecht
- 4. Die Ausführung**
5. Das ist die Zukunft
6. Zusammenfassung

## Montage der Stahlrahmen



## Montage der Stahlrahmen



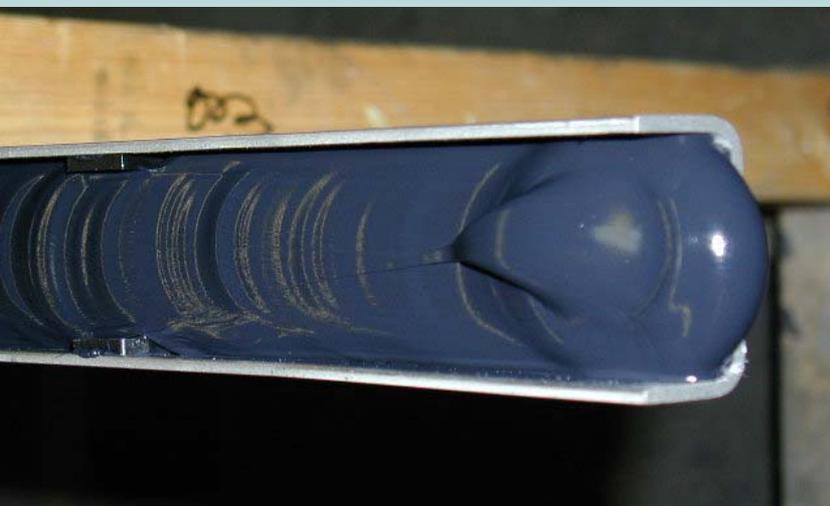
## Verankerung der Stahlrahmen



## Verankerung der Stahlrahmen



## Ausführung der Verklebung bei Fa. Brandl und BGT



## Tests während der Verklebungsarbeiten

„Butterfly“ – Test  
als Kontrolle der Mischqualität



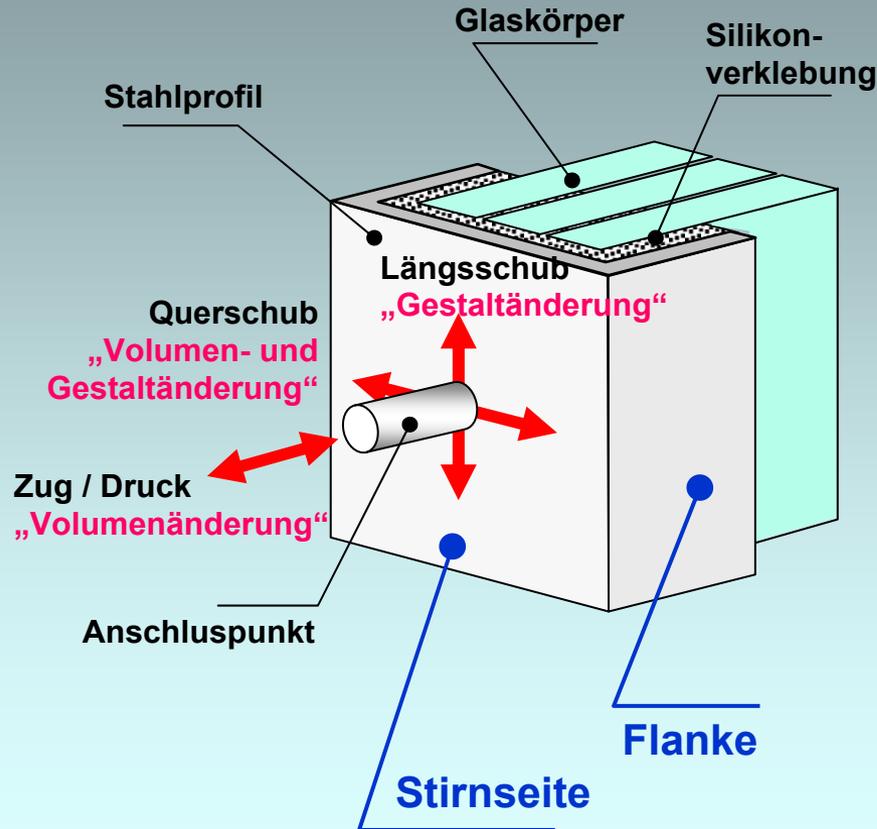
Herstellung von H-Prüfkörpern zur  
produktionsbegleitenden Qualitätskontrolle

## Inhalt

1. Die Kirche
2. Der Entwurf 1997
3. Das Baurecht
4. Die Ausführung
- 5. Das ist die Zukunft**
6. Zusammenfassung

## Belastung einer U-förmigen Verklebungen

Dominierende Effekte



**Bedeutung für die Bemessung:**

**Längsschub**    Thermische Lasten

**Querschub**    unkritisch durch Formschluss des U-Profiles

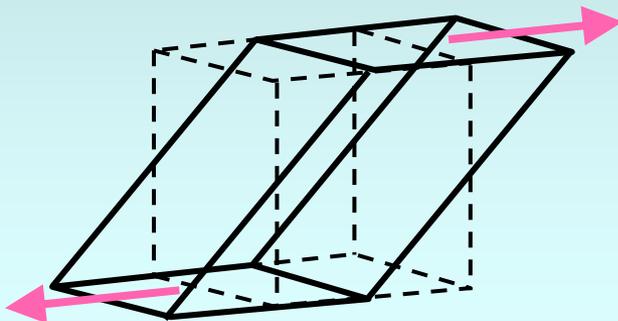
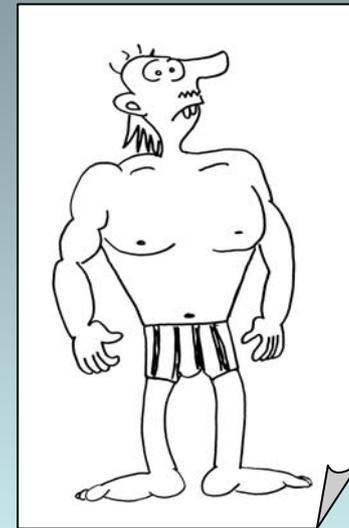
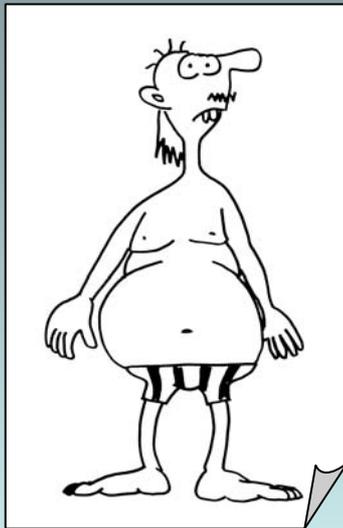
**Druck**        unkritisch durch Formschluss

**Zug**            kritischer Lastfall für U-förmige Verklebungen

## Elastische Eigenschaften von Elastomeren

mechanisch sehr unterschiedlich bei Gestalt- und Volumenänderung

### Gestaltänderung



Beispiel: Einfacher Schubversuch

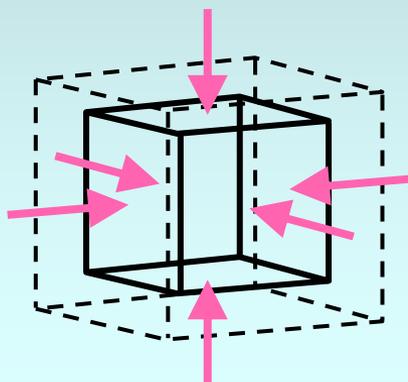
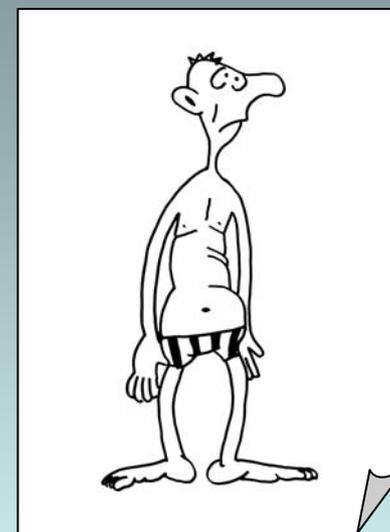
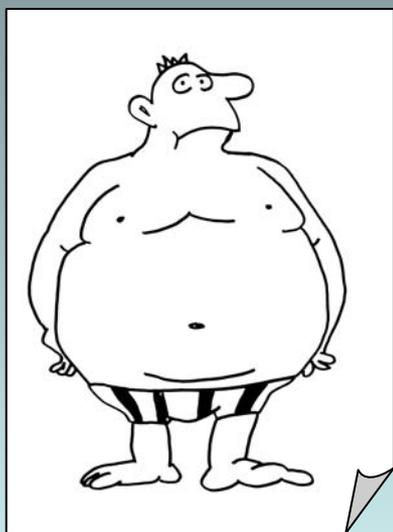
→ geringe Steifigkeit

→ große Verformung durch **Verschiebbarkeit der Molekülketten** gegeneinander

## Elastische Eigenschaften von Elastomeren

mechanisch sehr unterschiedlich bei Gestalt- und Volumenänderung

### Volumenänderung



**Beispiel: Kompressionsversuch**

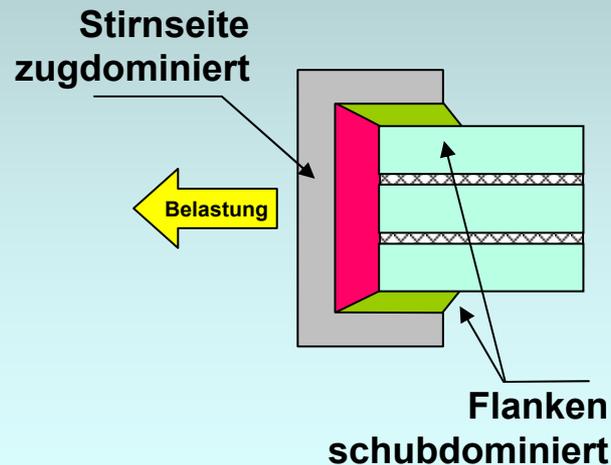
- hohe Steifigkeit (Inkompressibilität – „Volumenkonstanz“)
- geringe Verformung, da **Längenänderung der Molekülketten hohe Energie** erfordert

## Mechanische Abstraktion der Zugbelastung

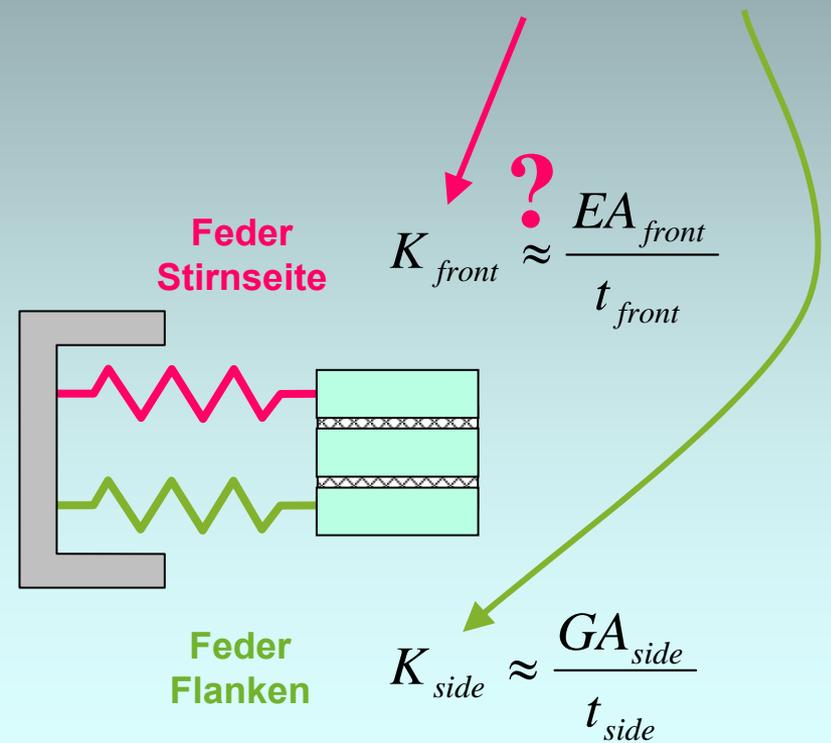
Tragmechanismus einer U-förmigen Verklebung entspricht zwei parallel geschalteter Federn:

**Flanken** (*side*) Schubbelastung dominierend

**Stirnseite** (*front*) Zugbelastung unter Querkontraktionsbehinderung dominierend

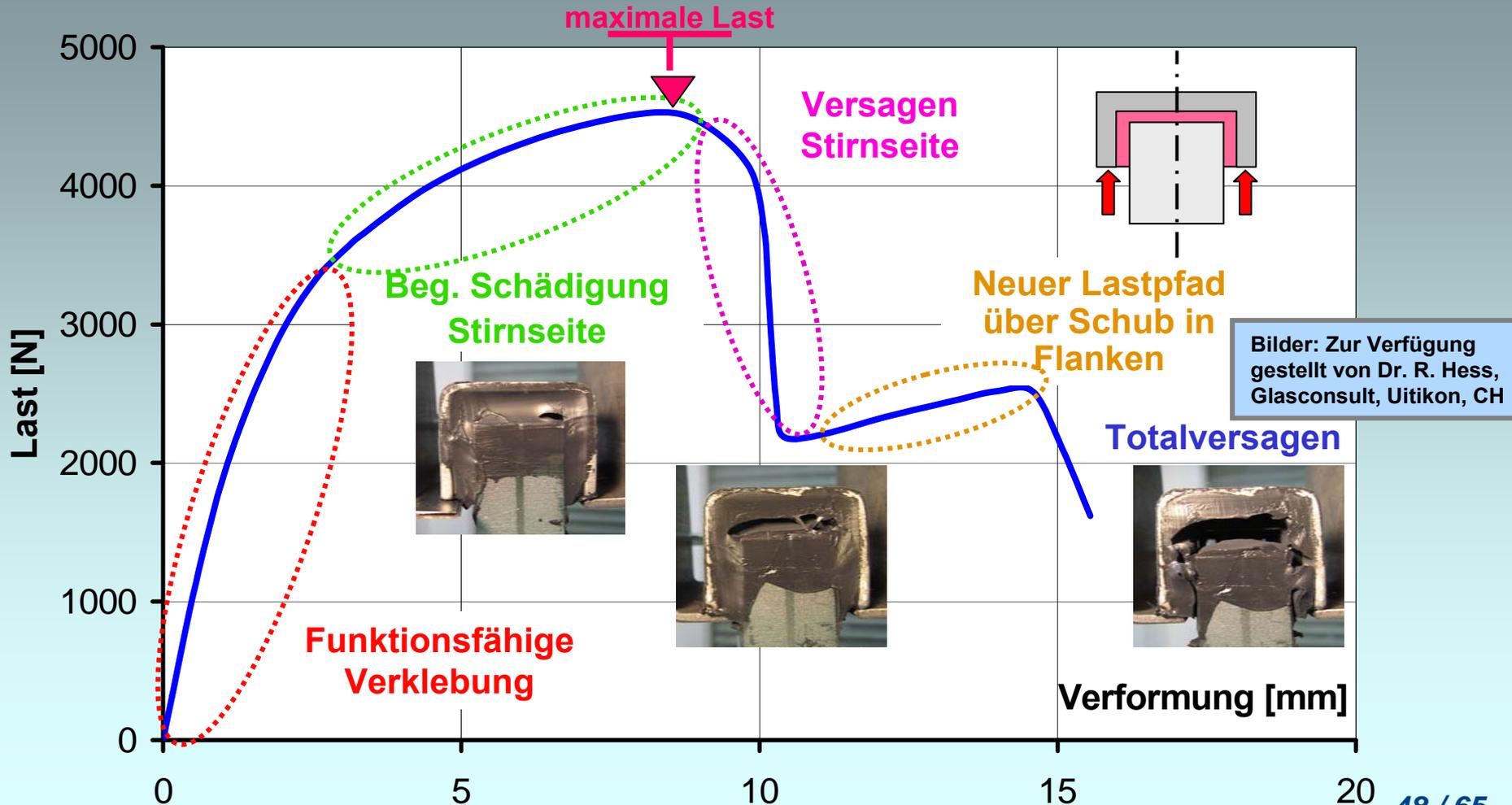


$$F = F_{front} + F_{side} = (K_{front} + K_{side}) u$$



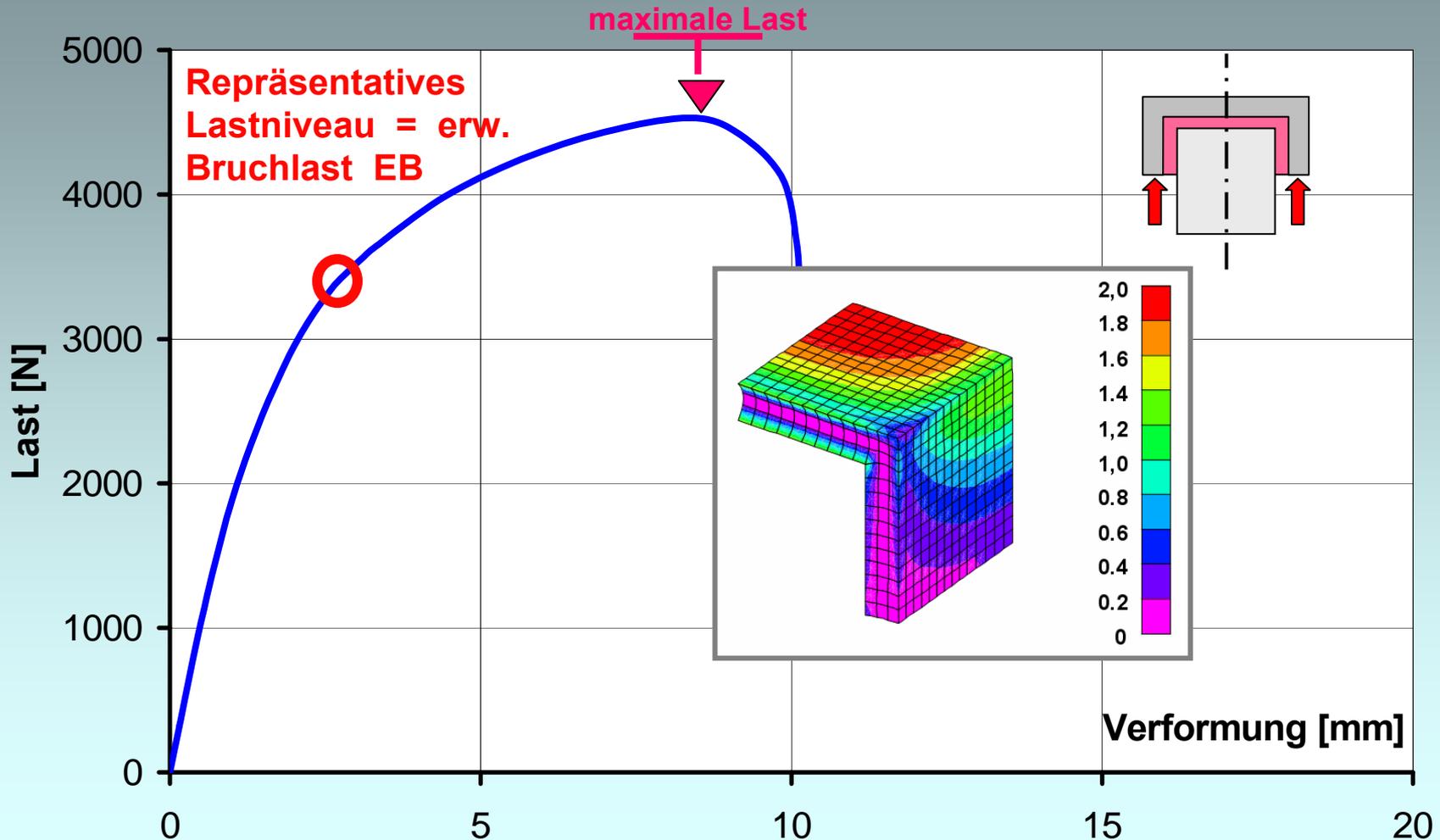
## Versuchsergebnisse einer U-Verklebung

Prüfkörper: Geometrie Herz-Jesu Kirche

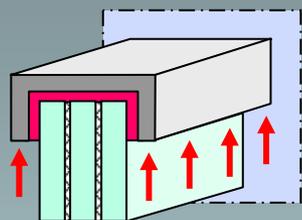


## Versuchsergebnisse einer U-Verklebung

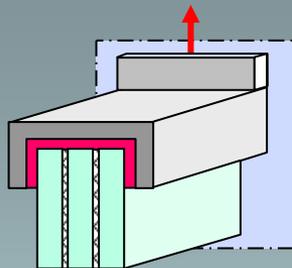
Prüfkörper: Geometrie Herz-Jesu Kirche



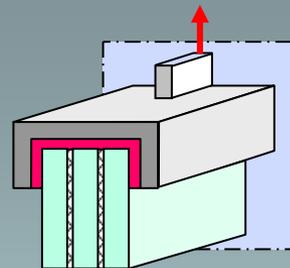
## Spannungsverteilung in U-Verklebungen



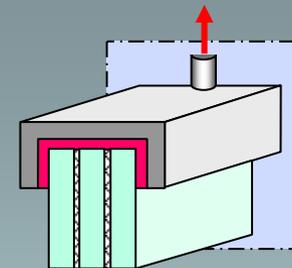
Typ U0 – linienförmige Lasteinleitung



Typ U1



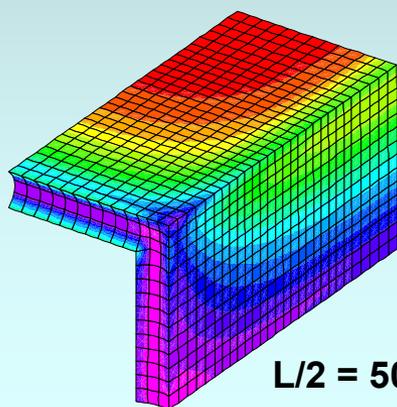
Typ U2



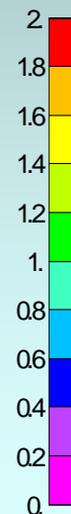
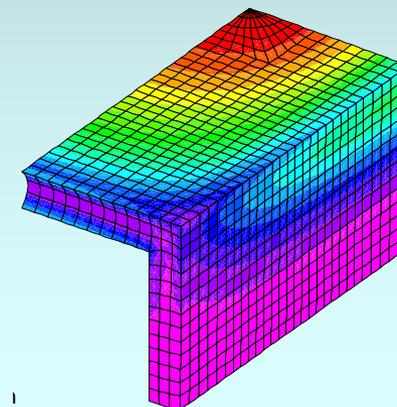
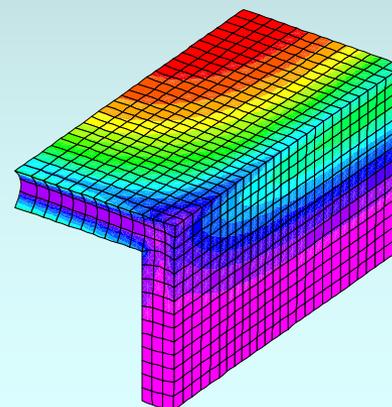
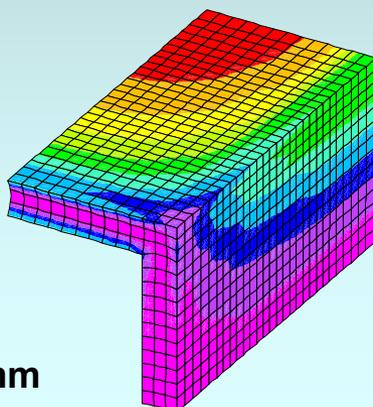
Typ U3

Vergleich von verschiedenen Lasteinleitungsgeometrien zeigt, dass die Spannungsverteilung maßgeblich von der Geometrie der Lasteinleitung abhängig ist.

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



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



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

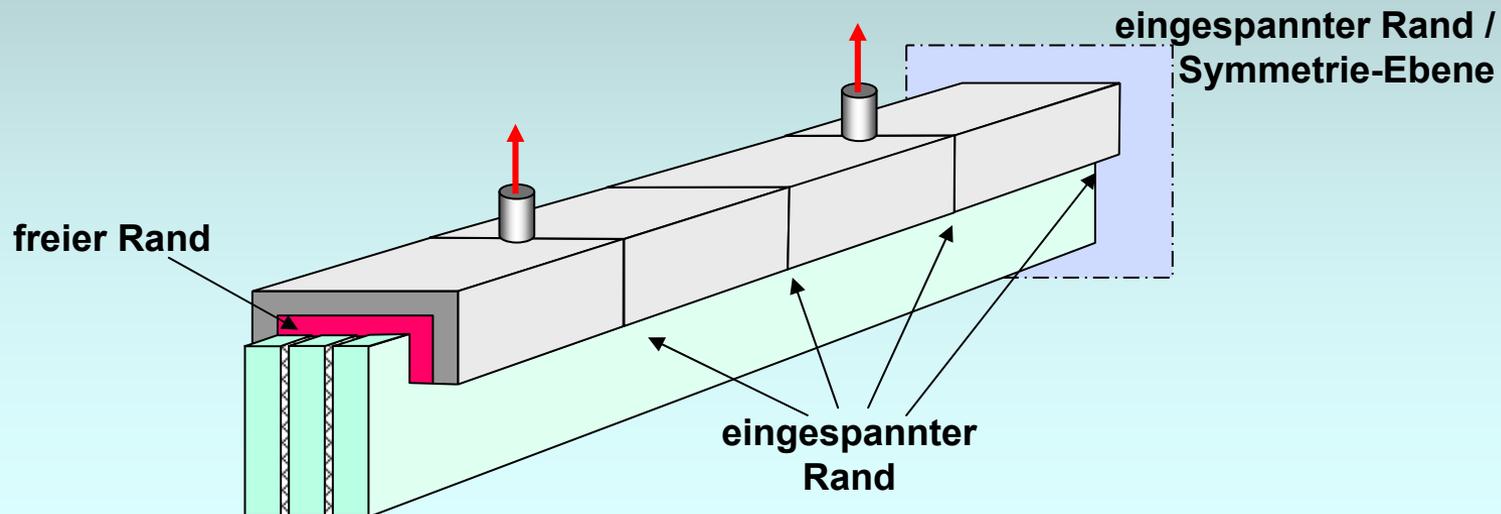
### Zwei Randbedingungen sind möglich:

**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

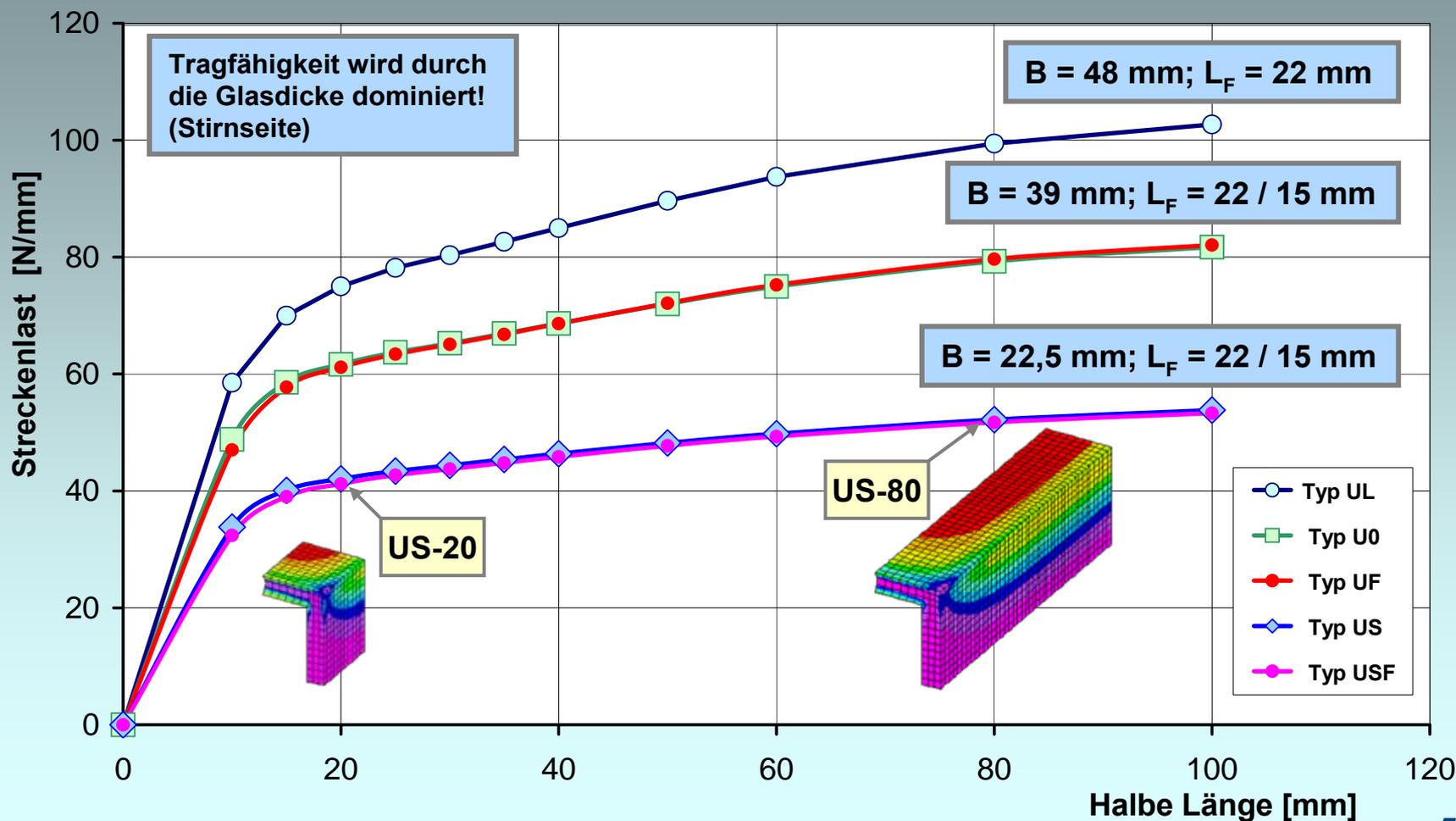
### Beachte:

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



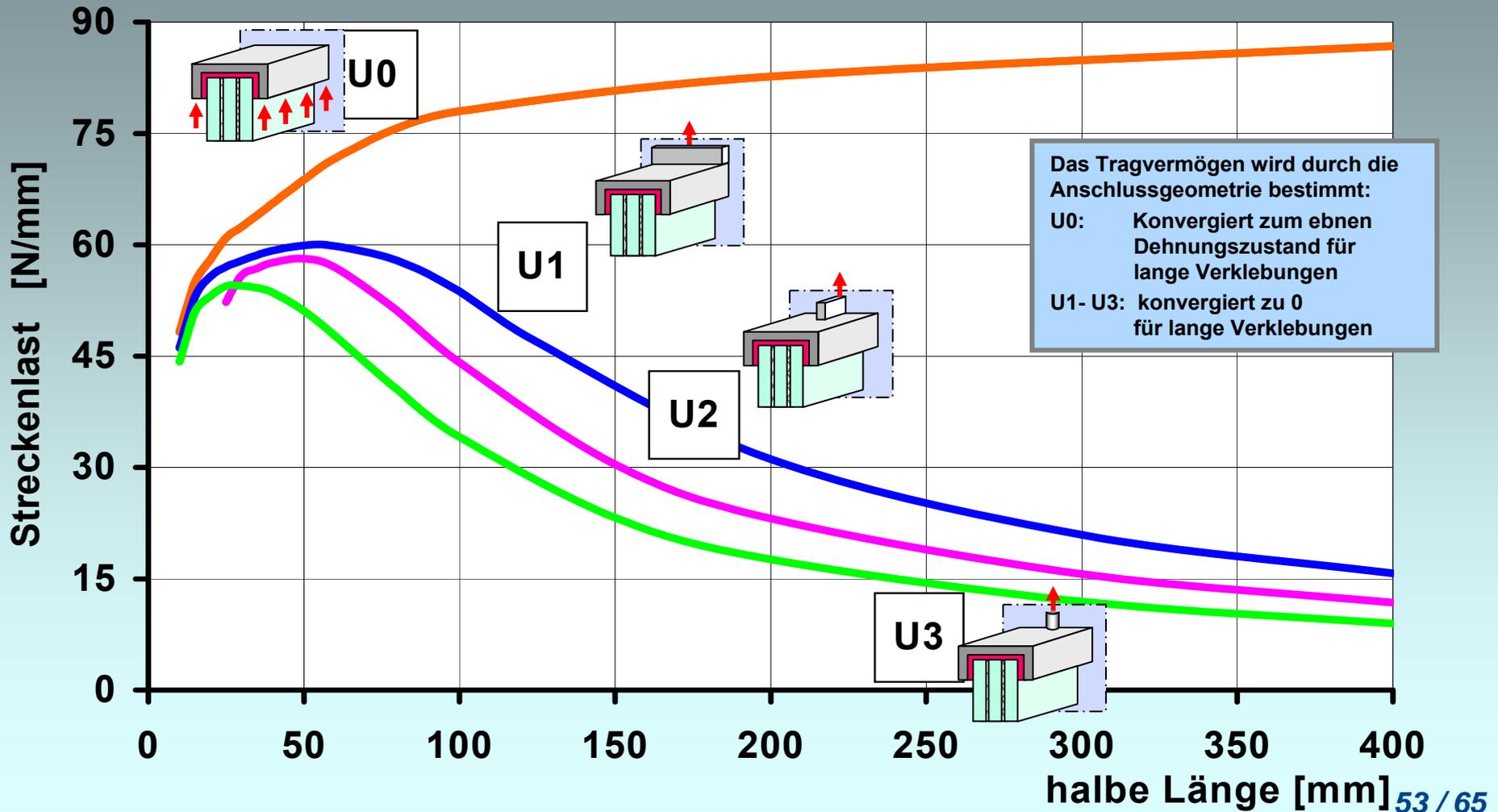
## Tragvermögen linienförmiger Lasteinleitung

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



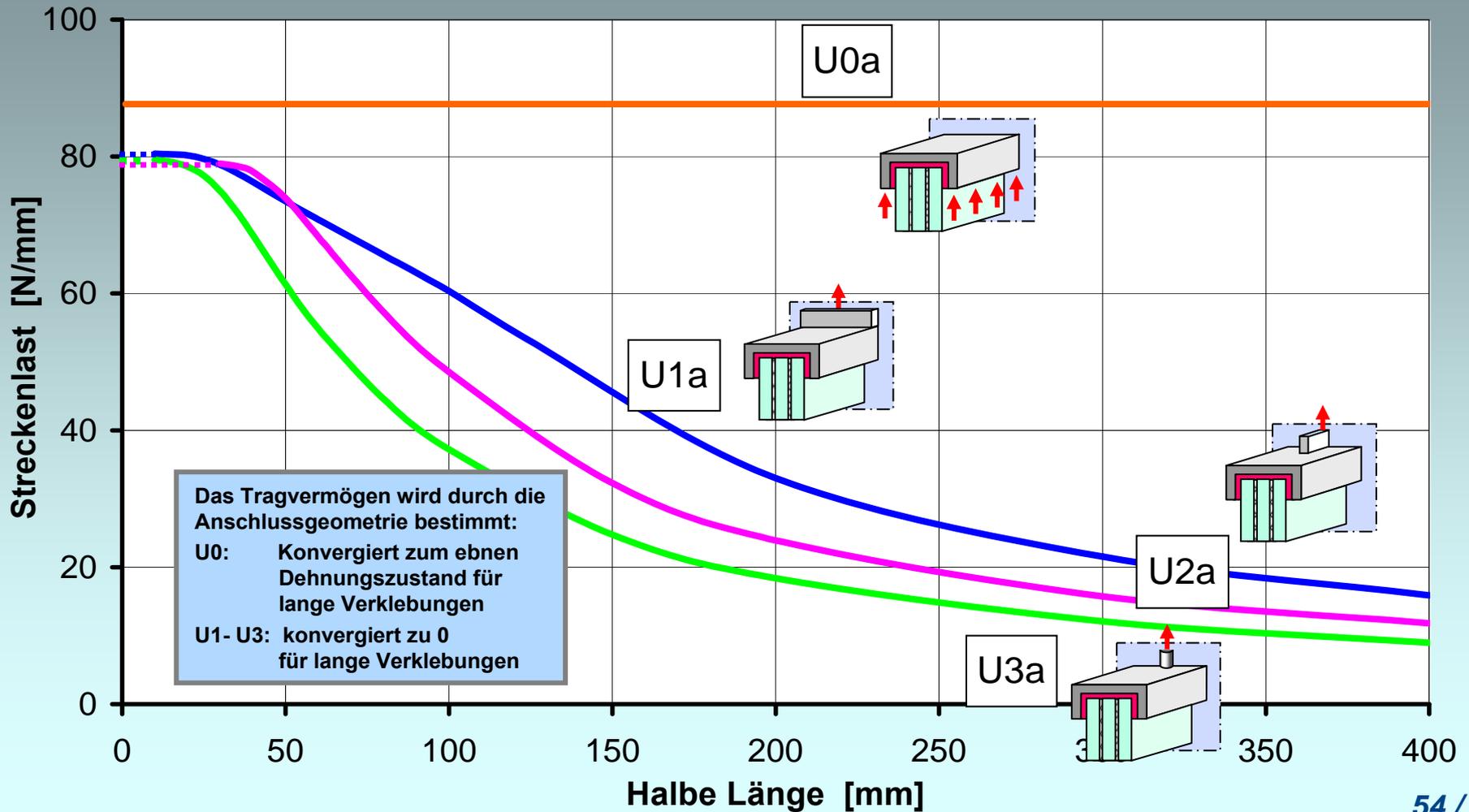
## Tragvermögen verschiedener Lasteinleitungen Typ U

Freie Ränder – ermöglichen Einschnüren der Verklebung

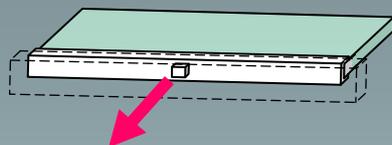


## Effizienz verschiedener Lasteinleitungen Typ U

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

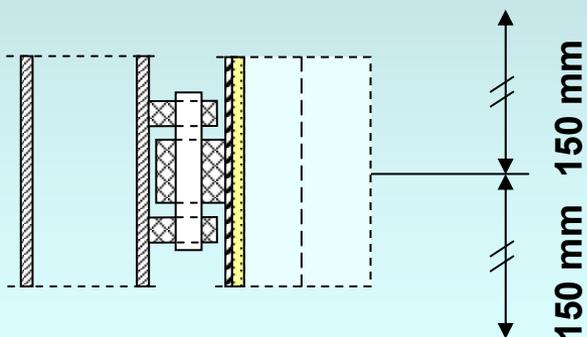
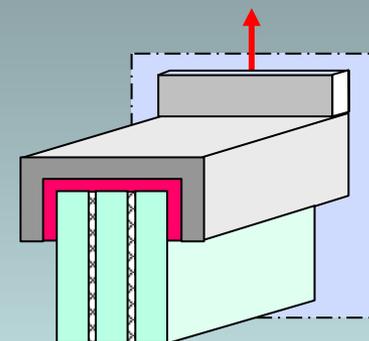
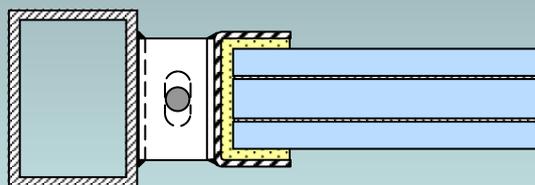


## Nachweis Anschluss horizontales Glasschwert



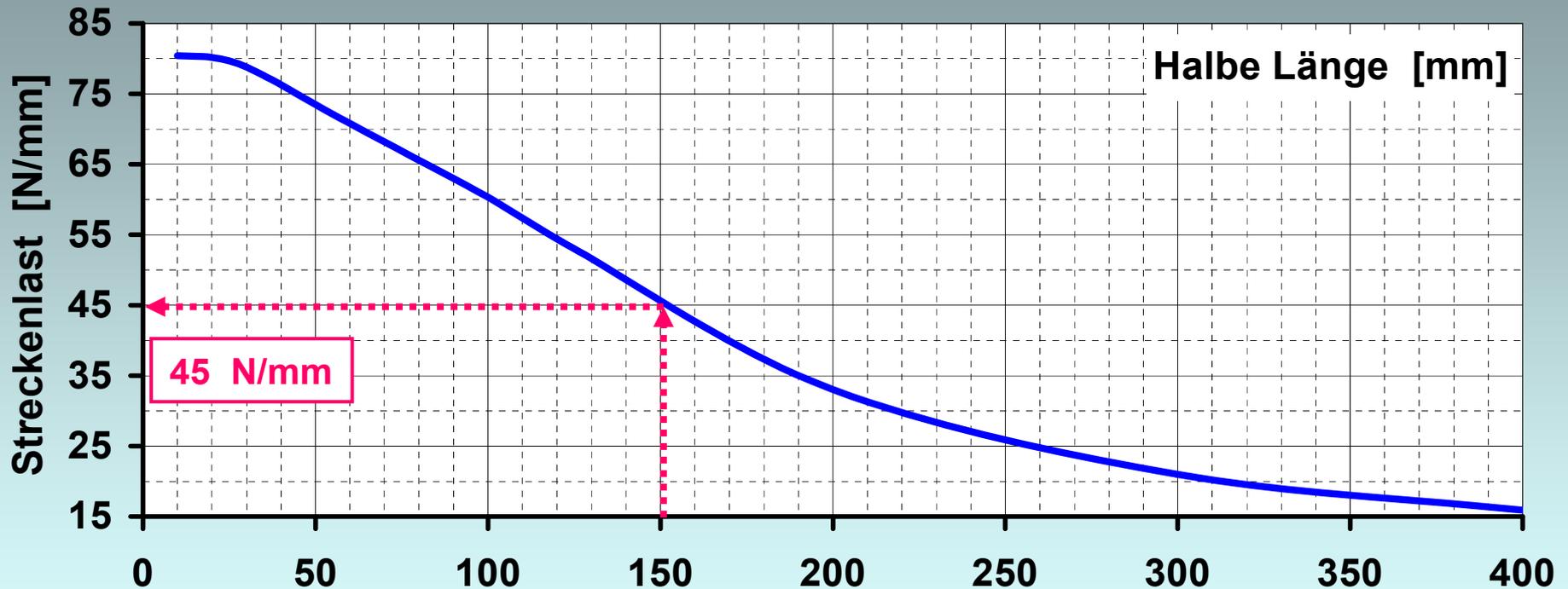
Lastübertragung  
nur horizontal

1,8 kN = 1800 N

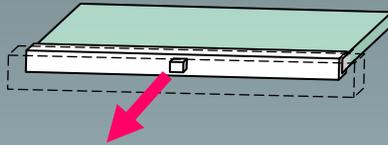


Anschluss Typ U1a

## Bemessungsdiagramm Typ U1a



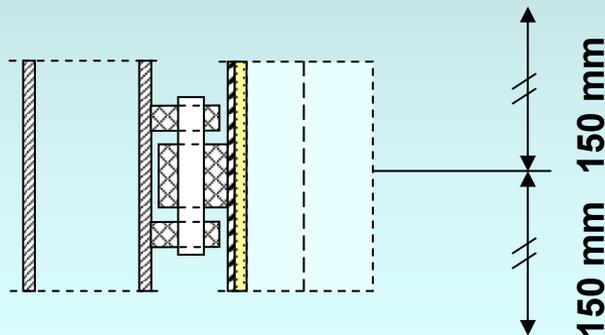
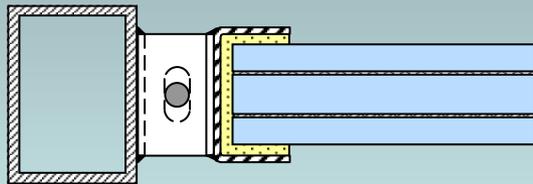
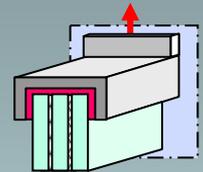
## Nachweis Anschluss horizontales Glasschwert



Lastübertragung  
nur horizontal

1,8 kN = 1800 N

Anschluss Typ U1a



**Erwartete Belastbarkeit - Kurzzeitlast:**

$$F_{EB} = 2 \times 150 \times 45 = 13.500 \text{ N} / 6$$

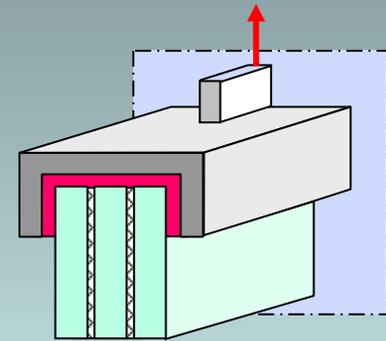
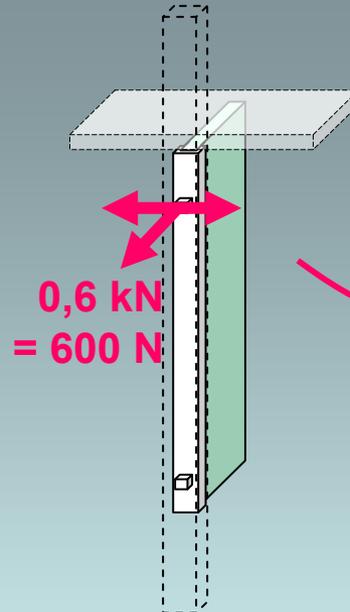
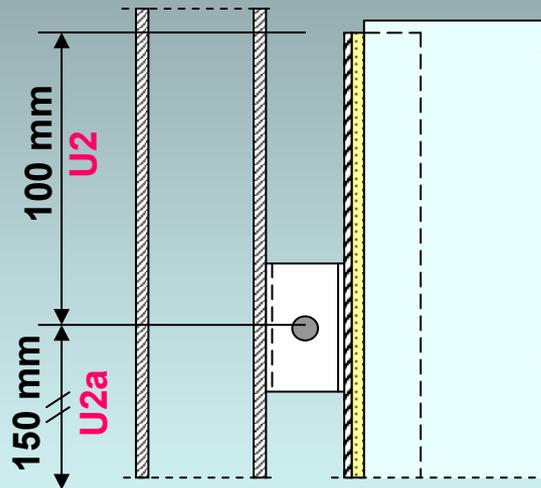
$$= 2.250 \text{ N}$$

$$= 2,25 \text{ kN} > 1,8 \text{ kN}$$

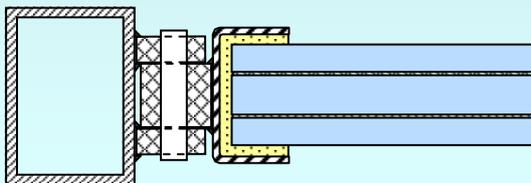
Sicherheitsbeiwert  
nach ETAG

## Nachweis Anschluss vertikales Glasschwert

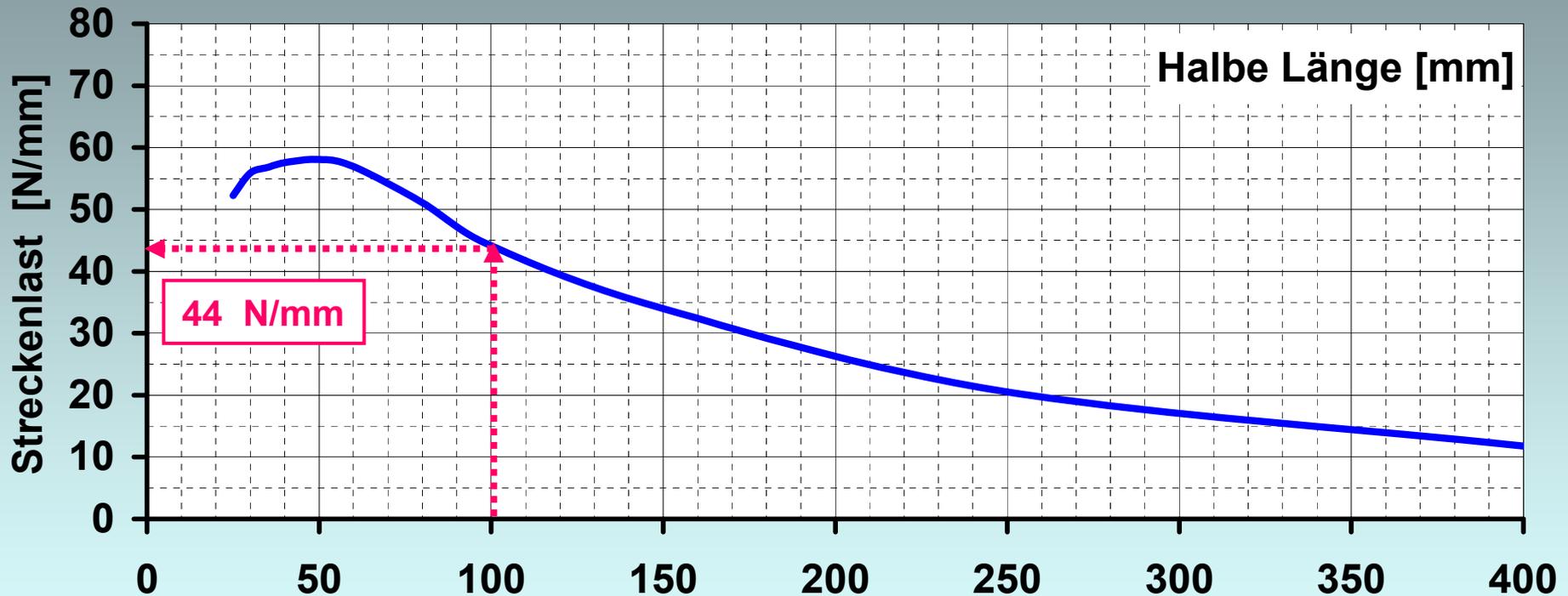
Lastübertragung  
quer und horizontal



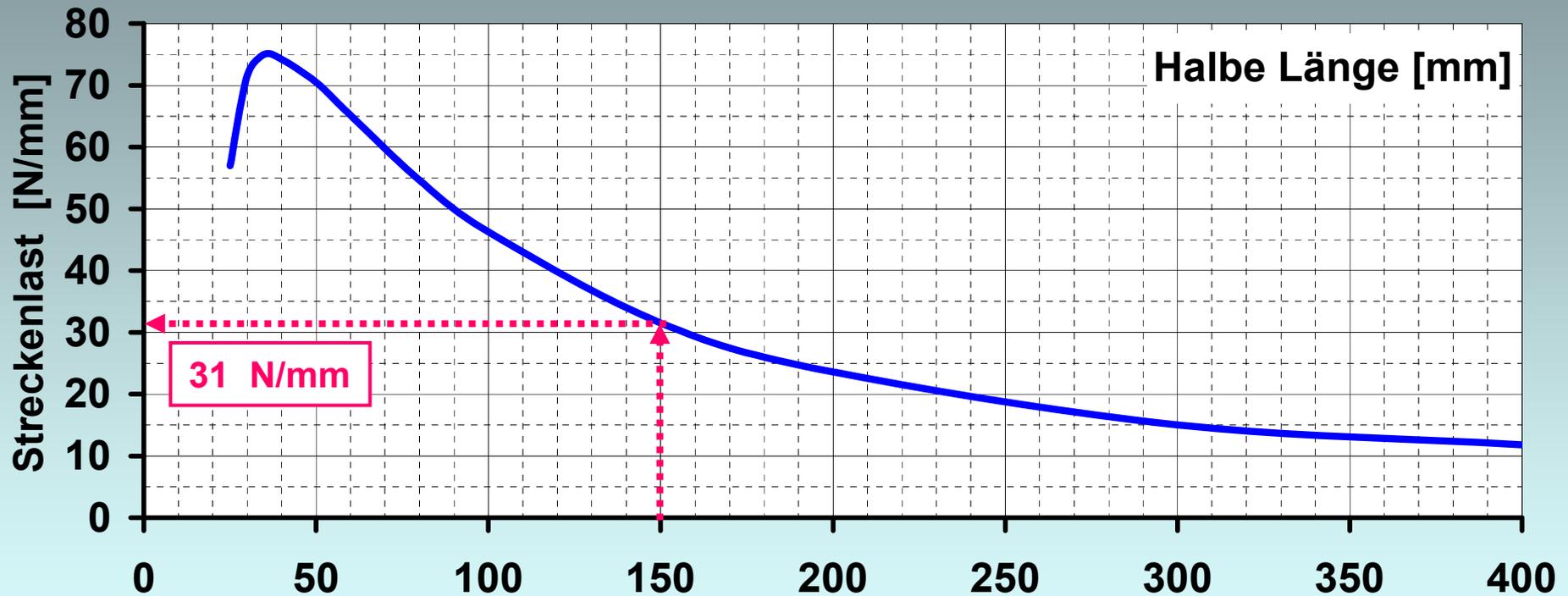
Anschluss Typ U2 + U2a



## Bemessungsdiagramm Typ U2

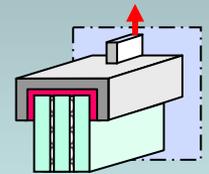
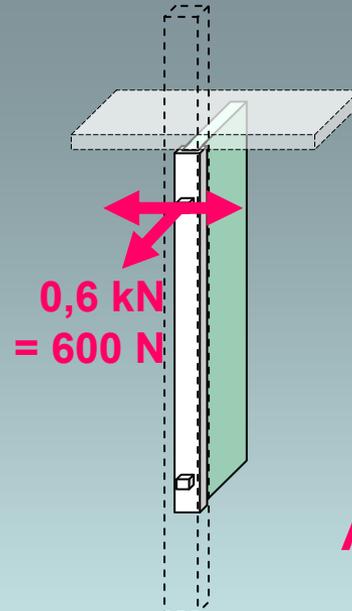
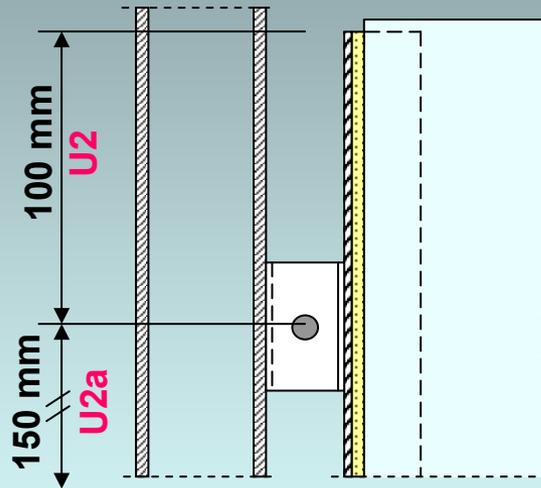


## Bemessungsdiagramm Typ U2a



## Nachweis Anschluss vertikales Glasschwert

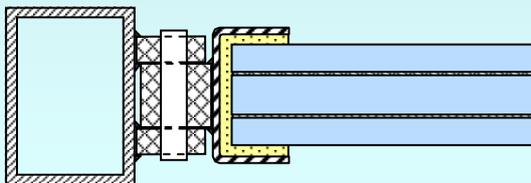
Lastübertragung  
quer und horizontal



Anschluss Typ U2 + U2a

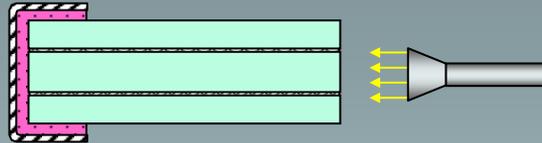
Erwartete Belastbarkeit - Dauerlast:

$$\begin{aligned}
 F_{EB} &= (100 \times 44 + 150 \times 31) = 9.050 \text{ N} / 10 \\
 &= 900 \text{ N} \\
 &= 0,9 \text{ kN} > 0,6 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Sicherheitsbeiwert  
nach ETAG

## Hohe Sicherheitsbeiwerte? – Fehlstellen in einer Verklebung



Fehlstelle der Verklebung,  
Lufteinschluss, Metallprofil im  
Hintergrund



Fehlstelle an der Glasoberfläche,  
Lufteinschluss

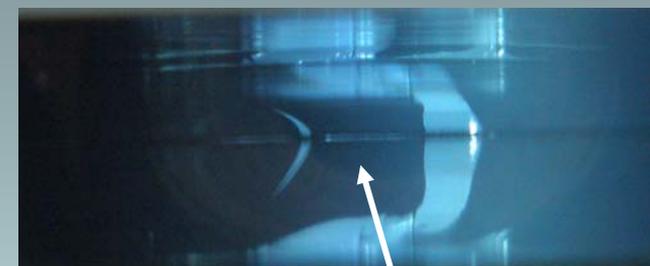
## Weitere mögliche Fehlstellen



### Schlechte Mischqualität

der Komponenten !

Gleicher Befund an einem  
Prüfkörper trotz bestandenem  
Butterfly-Test



Dies ist eine Klotzung!

**Achtung:**  
**Niemals eine Klotzung**  
**im Umfeld eines**  
**Lasteinleitungspunkts!**

## Inhalt

1. Die Kirche
2. Der Entwurf 1997
3. Das Baurecht
4. Die Ausführung
5. Das ist die Zukunft
6. **Zusammenfassung**

## Zusammenfassung 1

- Die Glaskonstruktion der Herz-Jesu Kirche ist als Structural Silicone Glazing Konstruktion bis heute einzigartig in Europa.
- Bei Nutzung der Klebtechnologie sind außergewöhnliche Konstruktionen möglich.
- Die Zustimmung konnte durch eine Vielzahl von Versuchen an Glas und Klebfuge realisiert werden.
- Ein frühzeitiges Einbeziehen von Bauaufsicht und Gutachtern spart Zeit und ermöglicht eine zügige Genehmigung = Zustimmung im Einzelfall.
- Für die Bemessung von komplexen Verklebungen fehlt der ETAG 002 die notwendige Allgemeingültigkeit, da hier lediglich ein Nachweis erbracht wird mit  $\text{Last} / \text{Fläche} < \text{zul.}\sigma$ .
- Inhalt aktueller Forschung ist die Erweiterung der derzeitigen Bemessungsregeln nach ETAG 002.

## Zusammenfassung 2

- Spezielle Materialgesetzmäßigkeiten des Werkstoffs Silikon müssen bei einer Bemessung von Klebfugen berücksichtigt werden.
- Experimentelles Wissen über U-förmige, punktuelle Klebungen und plane Punkthalter-Verklebungen ist heute bereits vorhanden.
- Die Möglichkeit analytischer Vorab-Untersuchung mit FEM von beliebigen Verklebungsgeometrien ist gegeben.
- Besondere Synergieeffekte sind möglich durch einen kombinierten Ansatz: Versuch + FEM.
- Heute hätte man einen geringeren Versuchsaufwand für die Findung und den Nachweis beliebiger Verklebungsgeometrien.
- Dadurch ergibt sich heute ein deutlich geringerer Prüfaufwand und reduzierte Risiken bis zu einer Genehmigung (ZiE).

# Ende

[www.a-hagl-ingenieure.de](http://www.a-hagl-ingenieure.de)  
[www.test-ing-material.de](http://www.test-ing-material.de)