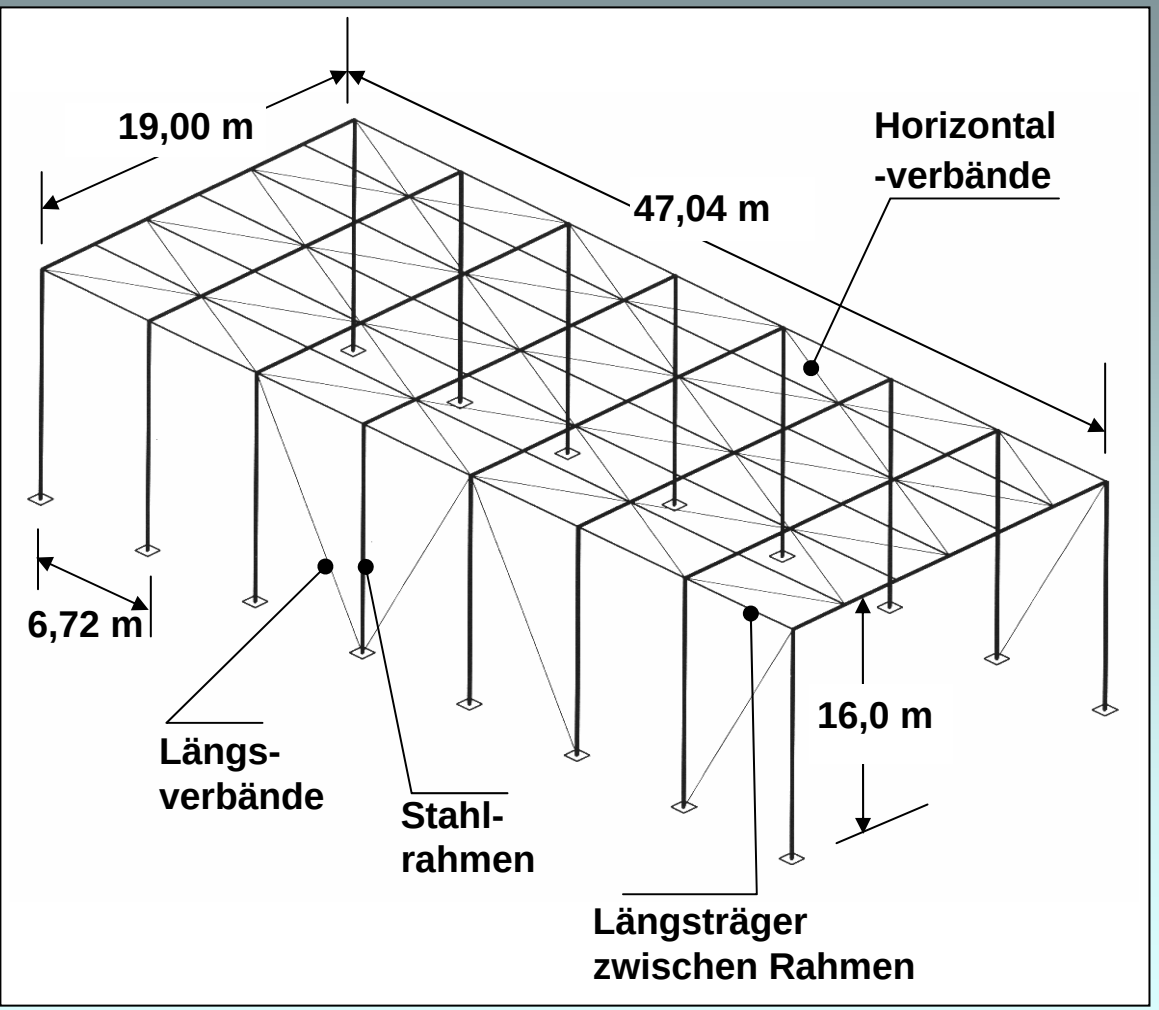
Die Herz-Jesu Kirche – ein wegweisendes Beispiel für Structural Glazing

Zilch + Müller Ingenieure GmbH, München

Inhalt

1. Die Konstruktion
2. Wirkungsweise der Klebverbindung
3. Bemessung Heute
4. Ausblick

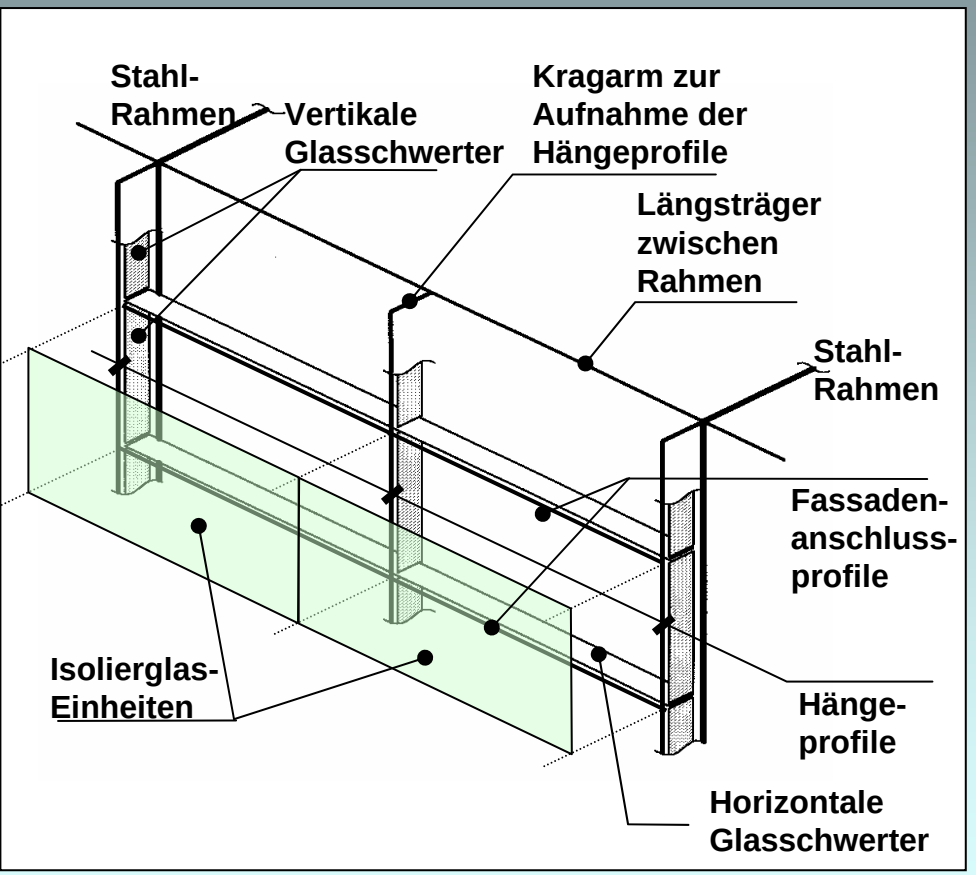
Das Tragwerk



- Stahltragwerk aus acht biegesteif eingespannten 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“

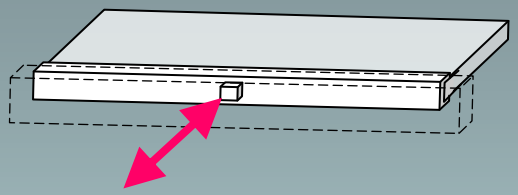
Entwurfsidee für die Fassade – tragend *und* transparent

Das Tragsystem der Glasfassade



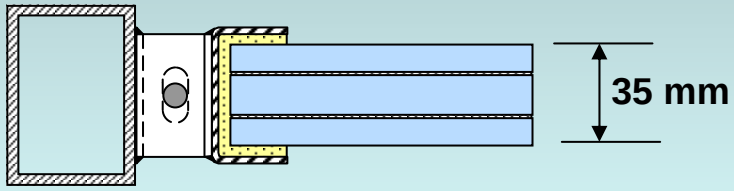
- Isolierglaseinheiten mit einer Breite von 3.35 m, maximale Höhe 2.40 m
- Horizontale Glasschwerter mit einer Länge von 6,20 m
- Vertikale Glasschwerter mit einer maximalen Höhe von 2,40 m
- Vertikale hängende Zugstäbe zur Aufnahme der Eigengewichtslasten
- Horizontale Adapterprofile für den Anschluss der Isolierglaseinheiten

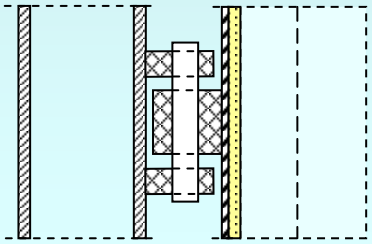
Entwurfsprozesse sind Kommunikationsprozesse – oder: Na dann kleben wir halt …

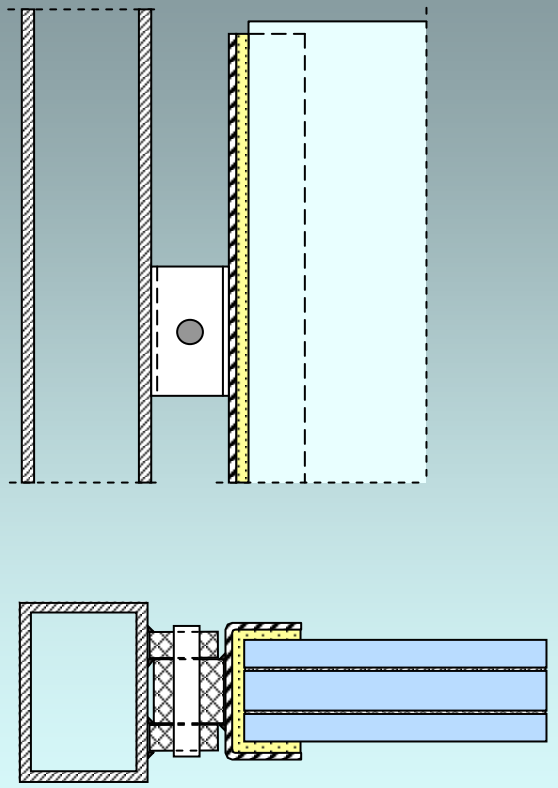


Horizontales Glasschwert:

Lastübertragung nur horizontal möglich







Lastübertragung vertikales Glasschwert:

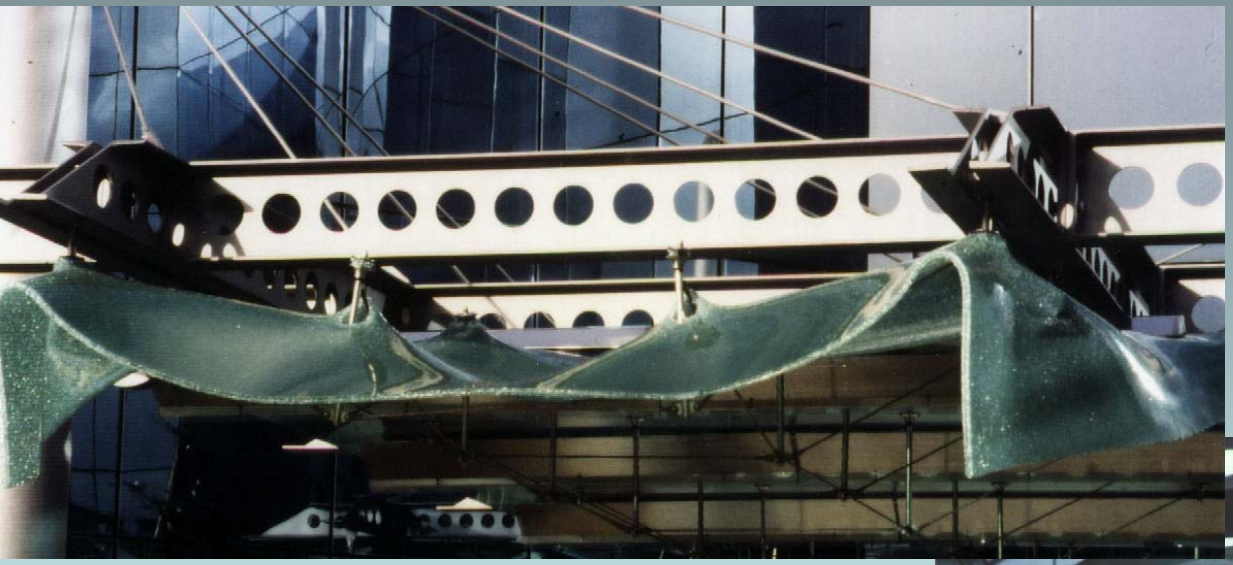
oben: vertikal und horizontal
unten: horizontal

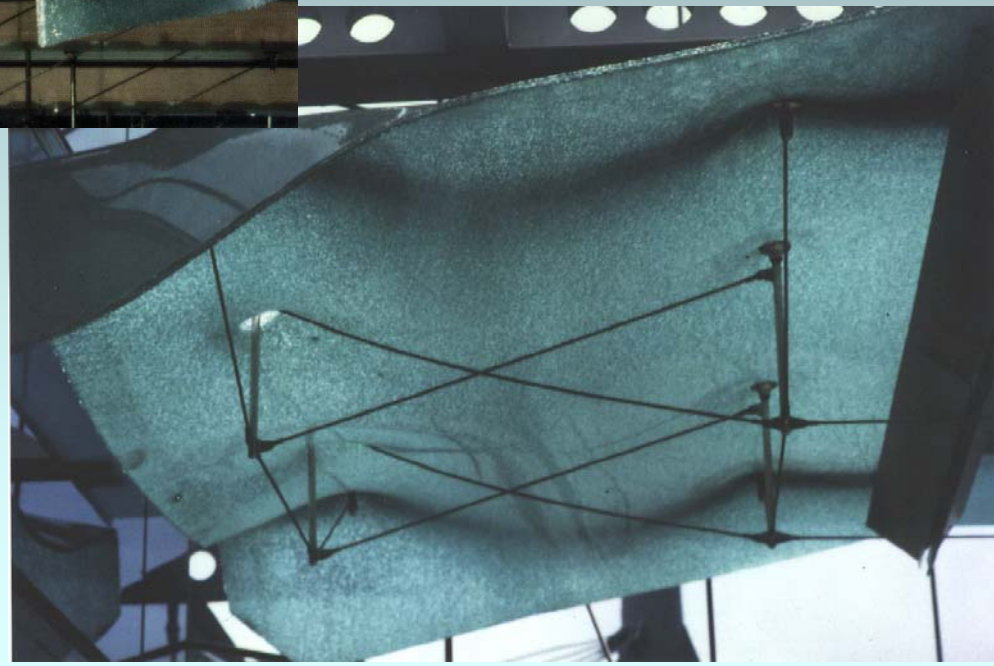
ZiE: Versuchsaufbau für Glasschwerter an der TU München

Nicht geregelte Bauart → Zustimmung im Einzelfall

horizontale Glasschwerter:	VSG aus 3 x ESG
vertikale Glasschwerter:	VSG aus 3 x Float

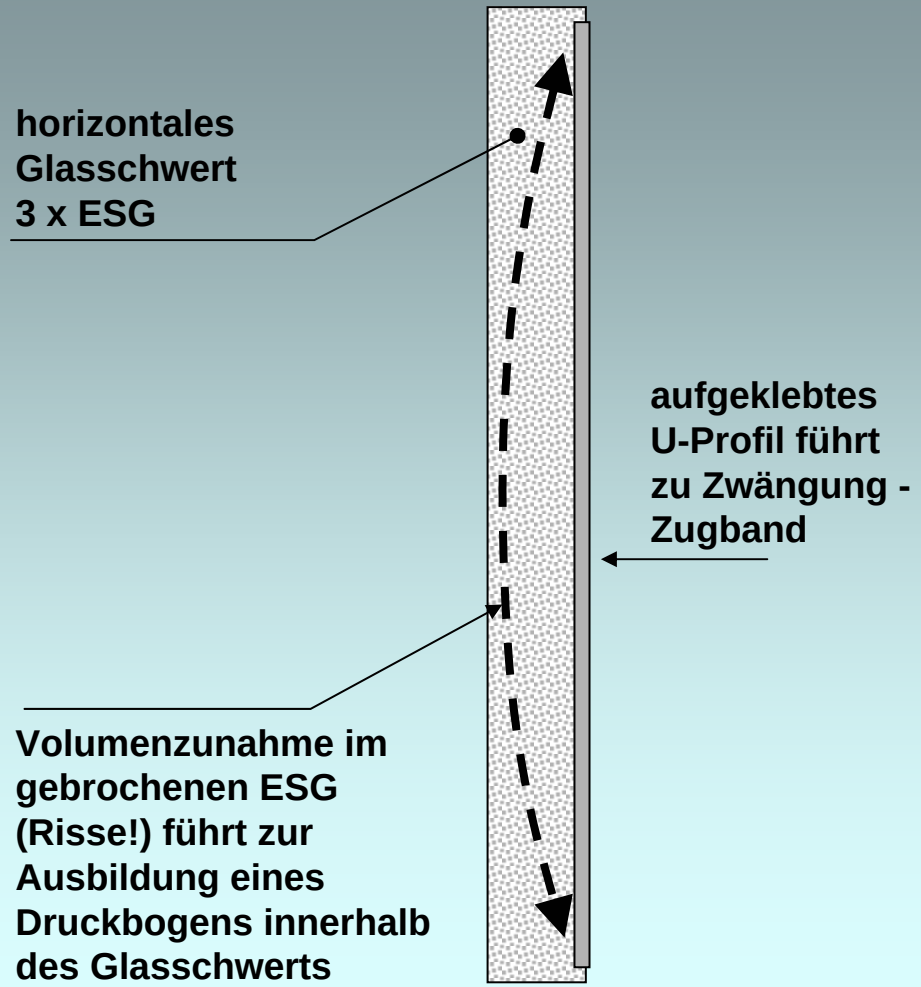
Wenn Verbundsicherheitsglas aus ESG bricht ...





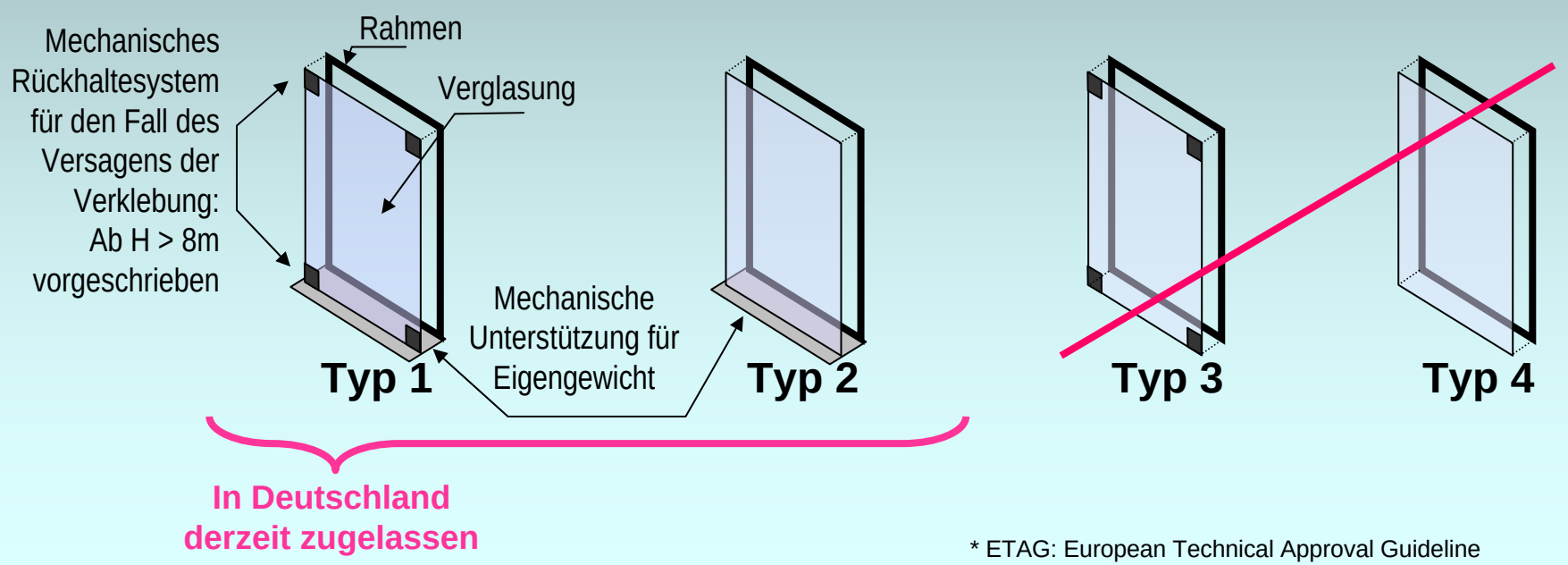
Bilder:
Mit freundlicher Genehmigung von Robert Danz

... was passiert hier ?



Verklebung in der Europäischen Normung – ETAG 002

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



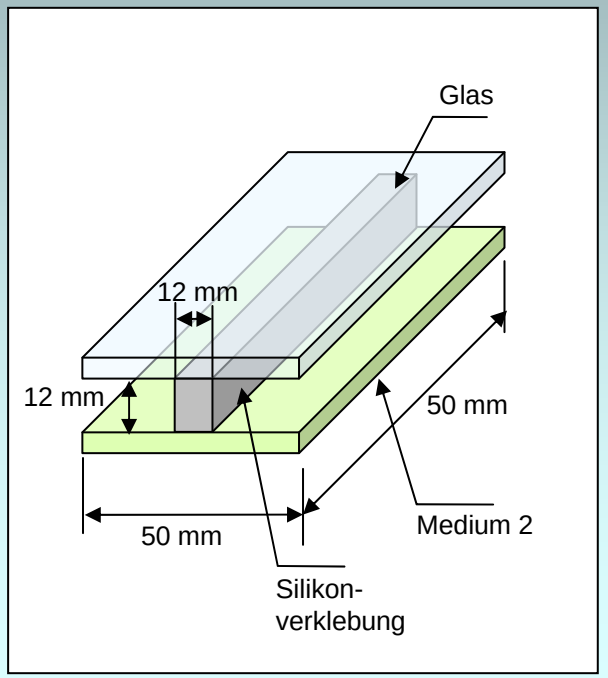
* ETAG: European Technical Approval Guideline

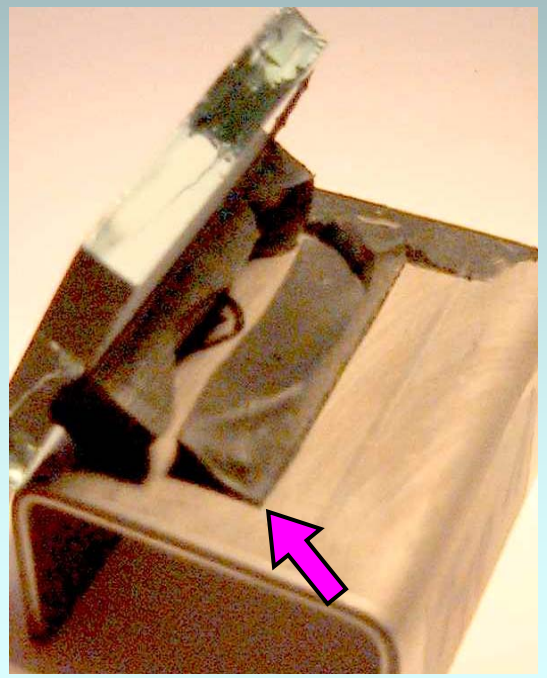
Auslegungsspannung nach ETAG 002

Ermittlung erfolgt an einem „**repräsentativen Abschnitt**“ einer linienförmigen Verklebung.

Aber: ⇒ Deutliche Einschnürung des Silikonmaterials unter Zug

⇒ Inhomogene Werkstoffbeanspruchung innerhalb des Silikons wegen **Querkontraktionsbehinderung an den Fügepartnern** (insbesondere an Ecken)

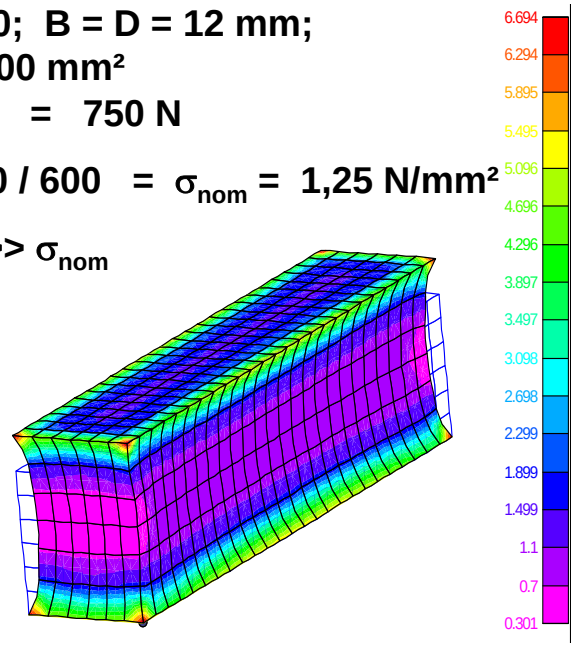




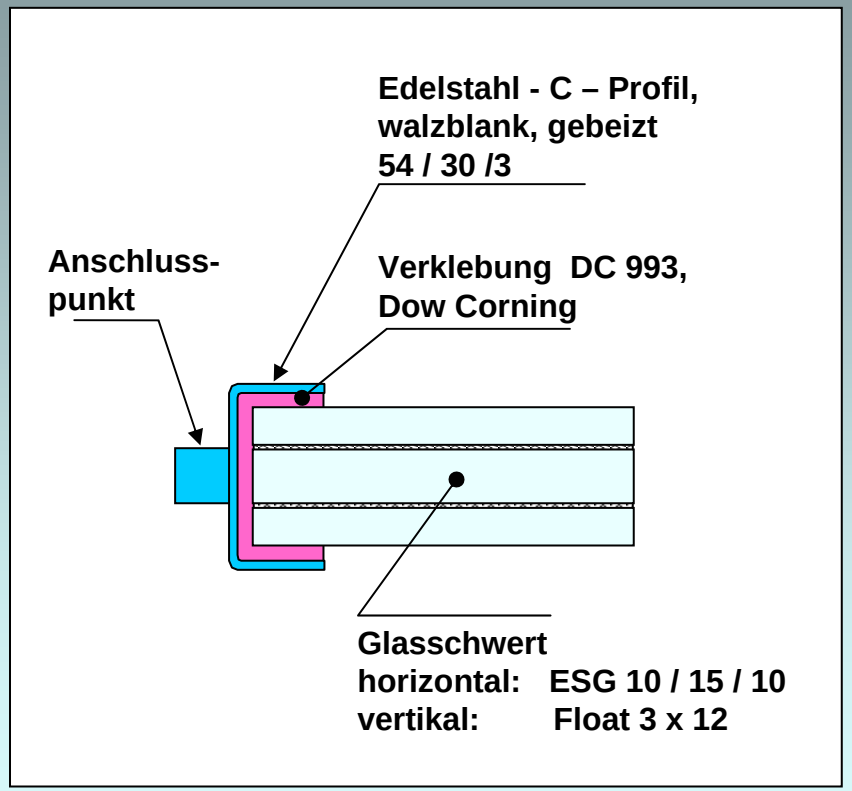
L = 50; B = D = 12 mm;
A = 600 mm²
P_{Bruch} = 750 N

750 / 600 = σ_{nom} = 1,25 N/mm²

σ_{FE} >> σ_{nom}

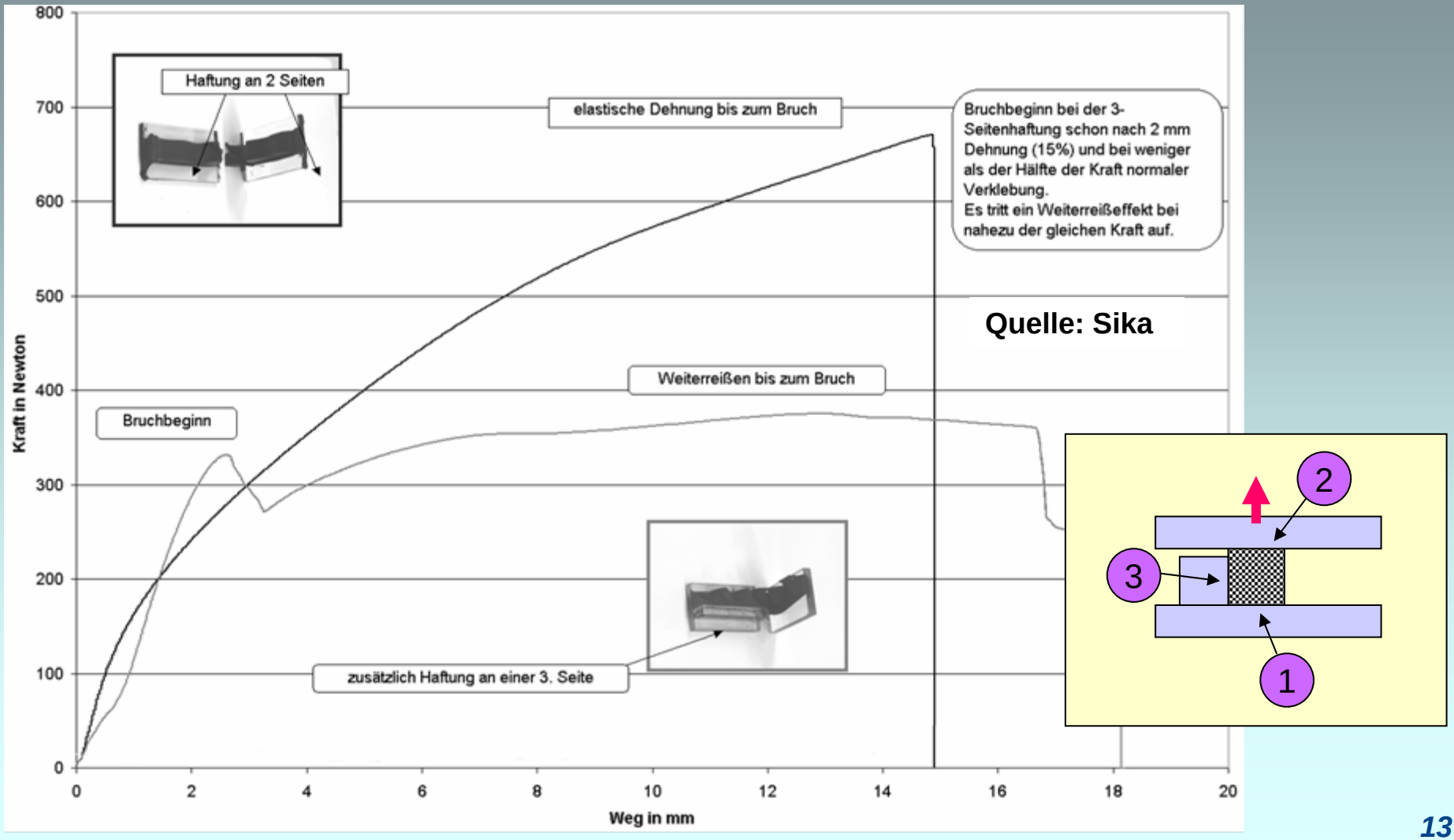


Die Verklebungsgeometrie ⇔ ETAG 002

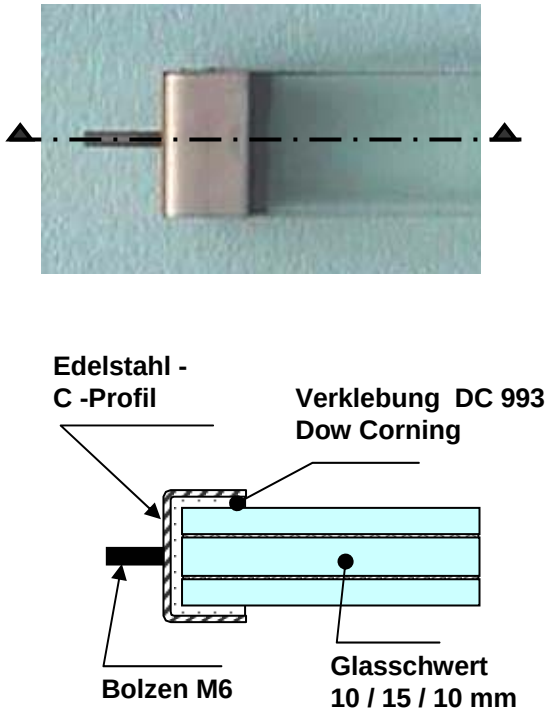


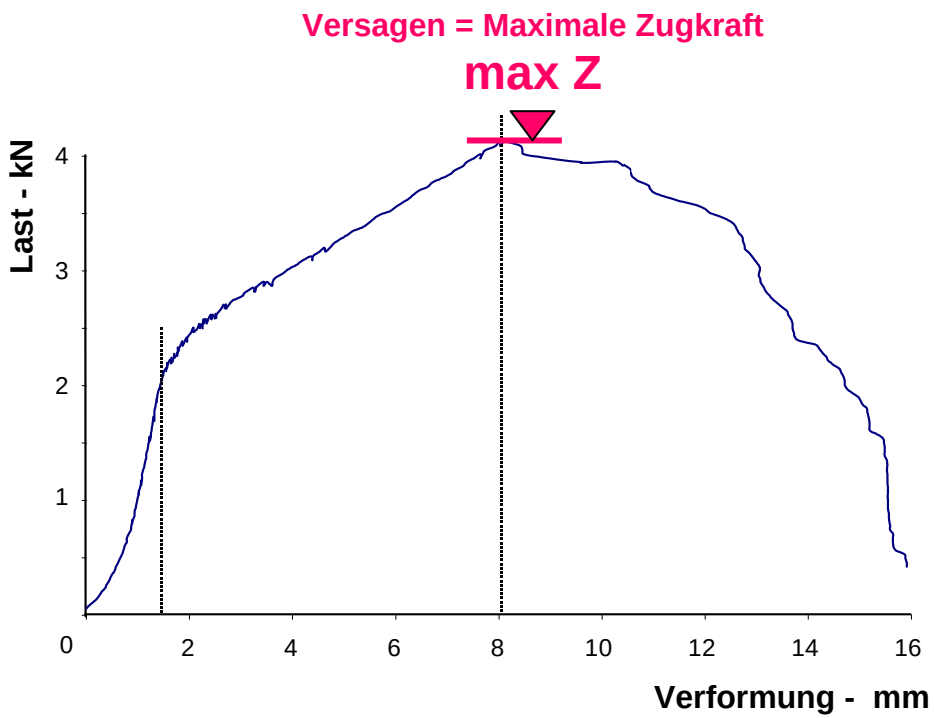
- Keine direkte Übertragung der Regeln nach ETAG 002 auf diese Art einer Verklebung möglich.
- Dreiseitige Verklebungen werden in der ETAG 002 ausdrücklich ausgeschlossen.
- **Dreiseitige Verklebung** des U-Profils mit Glasschwert ???
  - wirklich ???
- Komplexe Beanspruchung des Silikonwerkstoffs
  - Stirnseitiger Zug
  - flankenseitiger Schub
  - Querkontraktionsbehinderung und fast perfekte Inkompressibilität

„Dreiseitige“ Verklebung



Nachweis der Tragfähigkeit: In 2000 auf der Basis von Versuchen





- Geometrie der Lasteinleitung passt nicht zur tatsächlichen Ausführung
- Freie Einschnürung des Klebstoffs an den Kanten des Prüfkörpers weichen ab von der tatsächlichen Einbausituation (Prüfkörper L = 50mm)
- Bemessung auf der Basis von erreichten Bruchlasten vernachlässigt tatsächliches Bruchgeschehen innerhalb der Klebfuge

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 N
$R_{u,5}$ / 6 = 602.1 N
$R_{u,5}$ / 6 pro lfm 12.0 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 N
$R_{u,5}$ / 6 = 725.3 N
$R_{u,5}$ / 6 pro lfm 14.5 kN/m

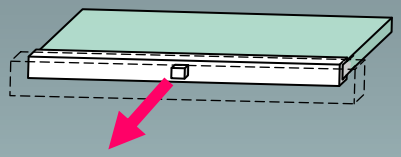
24.05.2000 künstl. gealtert 1.000 h

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

Mittelwert 4,552.5 N
Standardabw. 395.3 N
$R_{u,5}$ = 3,493.0 N
$R_{u,5}$ / 6 = 582.2 N
$R_{u,5}$ / 6 pro lfm 11.6 kN/m

* Durch Vorschädigungen bei Probenherstellung keine Auswertung für Probe 2

Bemessung der Anschlüsse im Jahr 2000

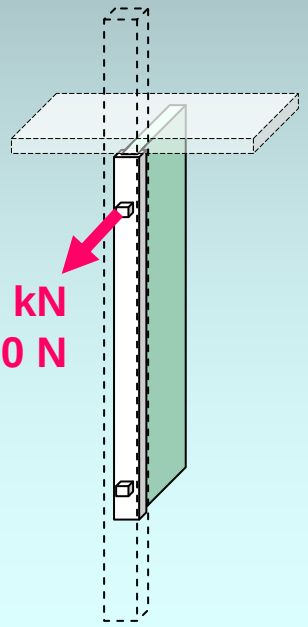


1,8 kN = 1800 N

mittragende Breite: ≈ 30 cm

zul. P = 0,30m x 11,6 kN/m

= 3,48 kN > 1,8 kN



0,6 kN
= 600 N

mittragende Breite: ≈ 30 cm

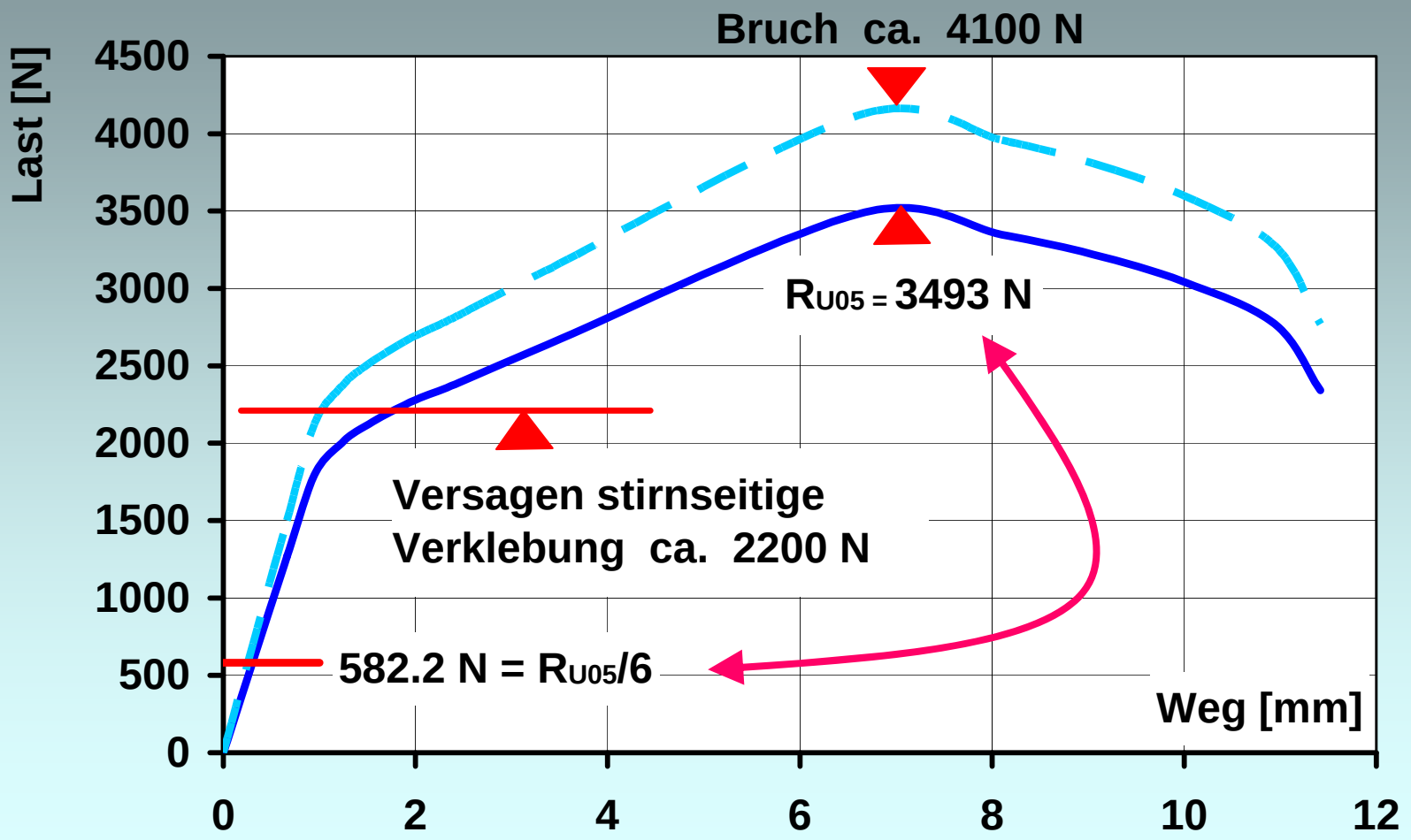
zul. P = 0,25m x 11,6 kN/m x $^{6}/_{10}$

= 1,74 kN > 0,6 kN

wg. Dauerbelastung höherer Sicherheitsbeiwert $\nu = 10$

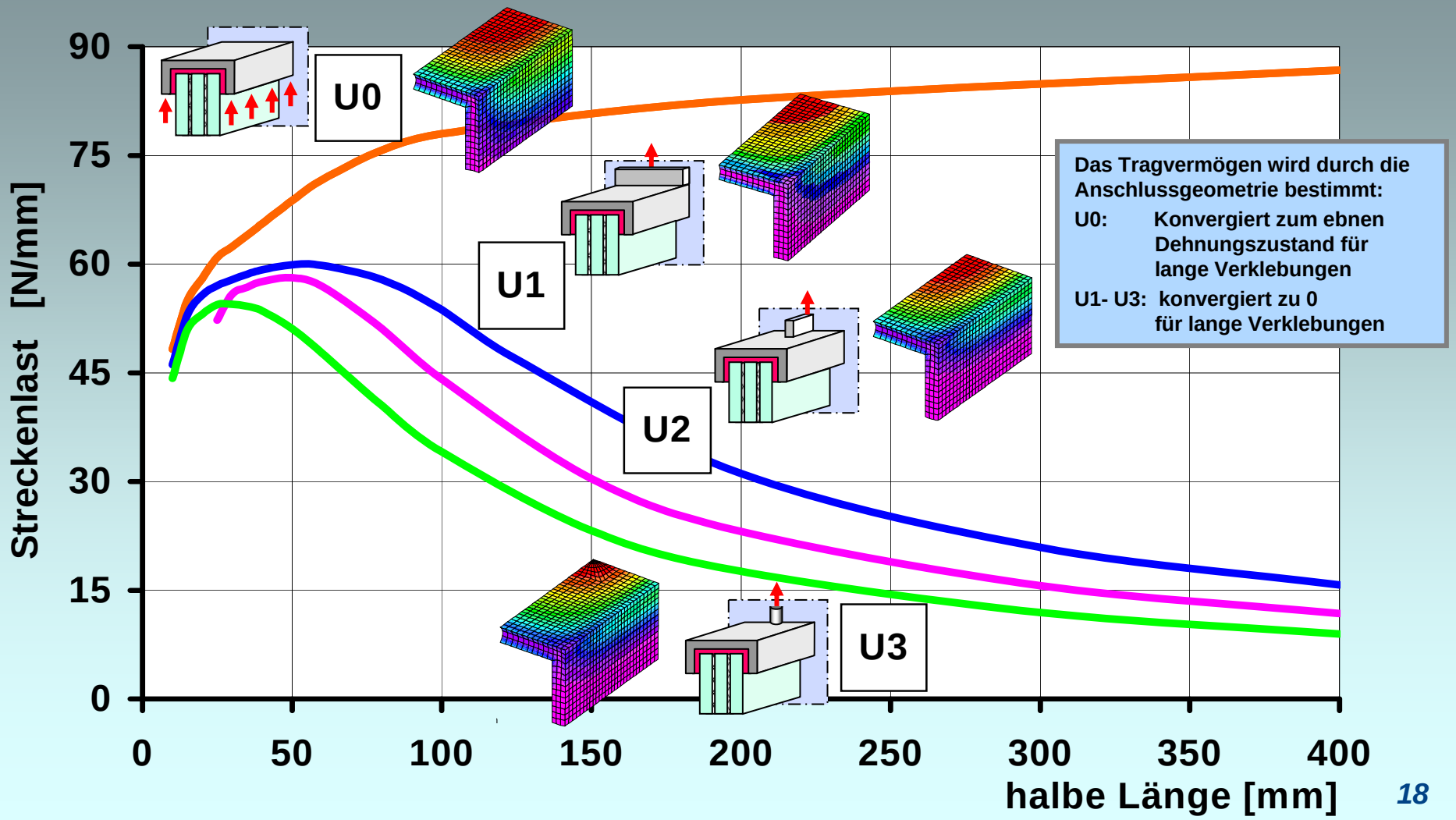
Versuchsergebnisse einer U-Verklebung

Prüfkörper: Geometrie Herz-Jesu Kirche, L = 50 mm

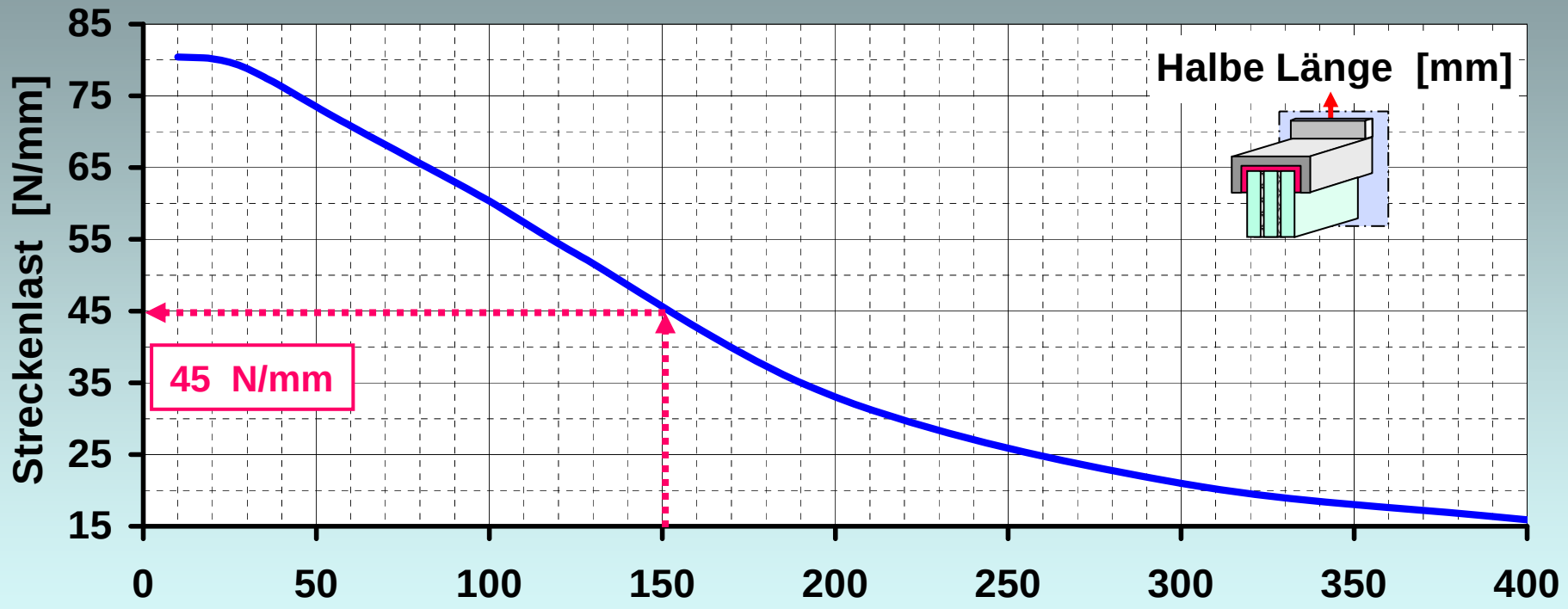


Tragvermögen verschiedener Lasteinleitungen Typ U

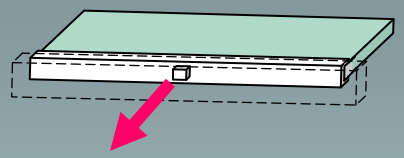
Freie Ränder – ermöglichen Einschnüren der Verklebung → Randeffekte



Bemessungsdiagramm Typ U1a



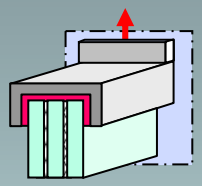
Nachweis Anschluss horizontales Glasschwert

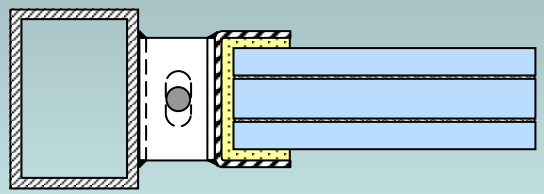


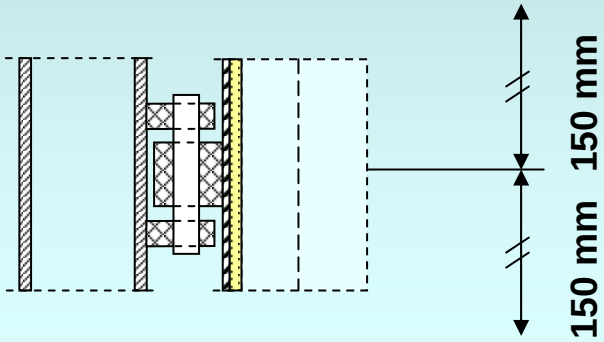
Lastübertragung nur horizontal

1,8 kN = 1800 N

Anschluss Typ U1a







Erwartete Belastbarkeit - Kurzzeitlast:

F_{EB} = 2 x 150 x 45 = 13.500 N / 6

= 2.250 N

= 2,25 kN > 1,8 kN

Sicherheitsbeiwert nach ETAG

Ausblick

- **Die gültige ETAG 002 beschränkt die Anwendung auf linienförmige Verklebungen.**
- **Komplexere Verklebungen, wie die hier vorgestellte U-förmige Verklebung, sind von diesem Nachweiskonzept zunächst ausgeschlossen.**
- **Dennoch erlaubt die ETAG 002 Nachweisverfahren, die auf Versuchen und Forschung basieren.**
- **Allgemeine Bemessungen von Verklebungsgeometrien sind schon Heute auf der Basis eines abgestimmten Verfahrens von Versuchen und Berechnungen möglich.**
- **Ein solches Bemessungs-Procedere wurde bei der Challenging Glas Conference 5 in Gent vorgestellt.**

Danke für Ihre Aufmerksamkeit