

Merkblatt FKG 01/2021

Tragende Silikonklebstoffe im Konstruktiven Glasbau



Apple Store ICONSIAM ©seele/Andreas Keller

Datum: 01. September 2021

Disclaimer – Haftungsausschluss

Alle Informationen in diesem Merkblatt sind nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt. Wir weisen jedoch darauf hin, dass wir keine Haftung für die Richtigkeit, Aktualität und Vollständigkeit der Informationen übernehmen. Insbesondere ersetzt der Inhalt dieses Merkblattes keine technische Beratung im Einzelfall.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
1.1 Anlass	3
1.2 Ziel	4
1.3 Geltungsbereich	5
1.3.1 Randbedingungen nach ETAG 002	5
1.3.2 Erweiterte Randbedingungen	7
1.4 Hinweise zu kavitations-sensitiven und -insensitiven Klebfugen	7
1.5 Materialgerechtes Konstruieren	8
1.6 Materialverträglichkeiten	9
1.6.1 Erforderliche Nachweise	9
1.6.2 Risikominimierung	9
2. Berechnung und Bemessung von Silikonklebungen	10
2.1 Berechnungsverfahren nach ETAG 002	10
2.2 Nachweis analog zur ETAG 002	12
2.3 Nachweis mittels Ersatzmodell (Federmodell)	13
2.3.1 Allgemeines Konzept	13
2.3.2 Experimentelle Ermittlung von Steifigkeiten	17
2.4 Nachweis über 3D Volumenelemente nach der Finiten Element Methode	18
2.4.1 Allgemeines Konzept	18
2.4.2 Experimentelle Ermittlung von Steifigkeiten	20
3. Qualitätsanforderungen an den Klebprozess	21
3.1 Überwachung der Herstellung	21
3.1.1 Anforderungen an den Klebbetrieb	21
3.1.2 Werkseigene Produktionskontrolle (WPK)	23
3.1.3 Fremdüberwachung	29
3.2 Überwachung der Montage	29
4. Monitoring und Wartung	30
5. Reinigung	32
6. Literatur	33

1. Einleitung

1.1 Anlass

Das vorliegende Dokument wurde vom Arbeitskreis Kleben des Fachverbandes Konstruktiver Glasbau (FKG) e.V. erstellt. Es beinhaltet technische Vorgaben für die Auslegung von strukturell geklebten Verbindungen im konstruktiven Glasbau. Dabei werden die Grundlagen der European Technical Approval Guideline 002 [1], [2] (ETAG 002) als derzeit zur Anwendung kommendes technisches Regelwerk für strukturell geklebte Glasanwendungen herangezogen. Es ist zu erwarten, dass die beiden Normen EN 13022 [3] und EN 15434 [4] die ETAG 002 ablösen werden (Stand Mai 2021).

Das Merkblatt berücksichtigt als entscheidenden Inhalt den aktuellen Stand der Technik und erweitert den Anwendungsbereich für strukturelle Verklebungen gemäß ETAG 002.

Mit diesem Dokument sollen dem Anwender wesentliche Hinweise zur baupraktischen Umsetzung geklebter Konstruktionen gegeben werden. Geklebte Verbindungen sind bis heute in Deutschland i.d.R. über eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) / vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBg) oder eine Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ) / Allgemeine Bauartgenehmigung (ABg) zu regeln. Es empfiehlt sich, im Rahmen von Genehmigungsverfahren frühzeitig die zuständige Oberste Bauaufsichtsbehörde zu involvieren. Auch wenn seitens des planenden Unternehmens keine entsprechende Vorgabe existiert, sollte eine Kontaktaufnahme zur zuständigen Behörde bereits frühzeitig von den Projektbeteiligten während der Planungsphase erfolgen. Eine Begleitung durch eine hierfür anerkannte Überwachungs- und Zertifizierungsstelle ist zu empfehlen.

Die DIN 2304-1 [5] beschreibt den Stand der Technik hinsichtlich der Qualitätsanforderungen an die Ausführung von Klebungen entlang der Prozesskette Kleben. Sie dient in relevanten Bereichen als akzeptierte Grundlage für dieses Dokument. Die projektspezifische Umsetzung ist in Zusammenarbeit mit dem Klebstoffhersteller und ggf. der Überwachungs- und Zertifizierungsstelle zu bestimmen.

Eine Klebstoffauswahl ist in Rücksprache mit den Projektpartnern zu treffen, wobei sich die Auswahl bei bauaufsichtlich zugelassenen Systemen derzeit noch als gering darstellt.

Folgenden Kriterien wird Rechnung getragen, um sichere, wirtschaftliche und dauerhafte Klebfugen sicherzustellen:

1. Spezifische Werkstoffeigenschaften des verwendeten Silikon-Klebstoffs mit ETA-Zulassung
2. Berechnungs- und Bemessungsregeln in Erweiterung der bisher geltenden Regeln auf Basis der ETAG 002 [1], [2]
3. Qualitätsüberwachung (hohe Prozesssicherheit) und in Abhängigkeit der Risikoklassifizierung Monitoring

Das vorliegende Merkblatt dient dazu, geklebte Verbindungen des konstruktiven Glasbaus einheitlich auf nationaler Ebene bemessen, ausführen und hinsichtlich ihrer Ausführungsqualität kontrollieren zu können.

Die Grundlagen für das Merkblatt bilden dabei die mehr als 20-jährigen Erfahrungen und Kenntnisse der Verfasser im Bereich geklebter Verbindungen im konstruktiven Glasbau. Die ETAG 002 [1], [2] hat sich hinsichtlich ihres Nachweiskonzeptes grundsätzlich bewährt. Darüber hinaus liegen umfangreiche positive Erfahrungen für Anwendungen vor, die sich außerhalb der ETAG 002 befinden und zum großen Teil Eingang in dieses Merkblatt gefunden haben.

1.2 Ziel

Ziel ist es, ein national anerkanntes Papier zum Nachweis strukturell geklebter Verbindungen im konstruktiven Glasbau zu schaffen, das mittelfristig in die europäische Normung Eingang finden soll. Dieses Merkblatt dient als Ergänzung zur ETAG 002 [1], [2] für SG-Silikon-Klebfugen mit den in den weiteren Kapiteln angegebenen Randbedingungen und folgenden Erweiterungen:

- Festschreibung des aktuellen Stands der Technik (über die ETAG 002 [1], [2] hinaus)
- Standardisierung von numerischen Modellierungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der Überlagerung von Kurzzeitlasten, Wind- und Temperaturbeanspruchungen mit späterer Erweiterung bezüglich Dauerlasten; bei der Bemessung wird der Einfluss einer Dreiflankenhaftung nicht berücksichtigt und muss ggf. gesondert betrachtet werden (s. Bild 1)
- Wegfall der Forderung „mechanische Sicherung“ bei Einbauhöhen über 8 m
- Möglichkeit der Baustellenklebungen (Neubau/Reparaturklebung) unter besonderen Anforderungen (z.B. Vorsehen von Überwachungstätigkeiten)

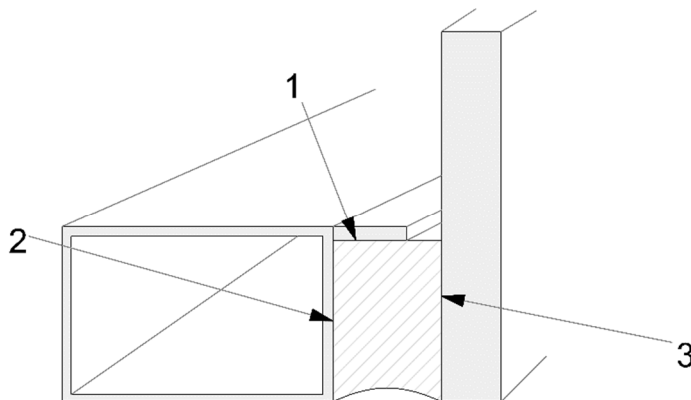


Bild 1 Beispiel einer Dreiflankenklebung (Quelle: ETAG 002), ©Verrotec

1.3 Geltungsbereich

Die ETAG 002 ist eine speziell für geklebte Glaskonstruktionen (SSGS, Structural Sealant Glazing Systems) durch die Europäische Organisation für Technische Zulassungen (EOTA, European Organisation for Technical Approvals) entwickelte Leitlinie und dient als Grundlage zur Erteilung einer Europäischen Technischen Bewertung (ETA, European Technical Assessment), welche in Deutschland durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) ausgestellt werden darf.

1.3.1 Randbedingungen nach ETAG 002

Aus Gründen der Vollständigkeit sind im Folgenden die sehr restriktiven Anforderungen und Randbedingungen nach der ETAG 002 aufgeführt:

- SG-Silikon mit ETA-Zulassung, z.B. DOWSIL 993 [6], DOWSIL 895 [6], Sikasil SG-500 [7] oder Ködiglaze S [8] nach ETAG 002 [1], [2] (Anwendungsbereich gemäß Zulassung für strukturelle Klebung des Isolierglasrandverbunds oder als SG-Klebung)
- Fügepartner nach ETAG 002 (eloxiertes Aluminium, Edelstahl, Glas, emailliertes Glas, beschichtetes Aluminium mit nachgewiesener Eignung)
- Berücksichtigung von veränderlichen Einwirkungen wie Wind und Temperatur, die zu Zug- oder Schubbeanspruchungen in der Klebfuge führen
- rechteckige Glasscheiben
- Standard-SG-Fugen als werkseitig aufgebrauchte allseitig umlaufende lineare Klebraupe aus Silikon mit rechteckigem Querschnitt (s. Bild 2). Die Einhaltung folgender Randbedingungen wird empfohlen:
 - Minimale Fugendicke $e \geq 6 \text{ mm}$
 - Maximale Fugenbreite $h_e < 20 \text{ mm}$
 - Fugenverhältnis $1 \leq h_e / e \leq 3$
- keine Haftung auf drei Oberflächen, Abstandsprofil bei Mehrscheiben-Isolierverglasung zählt als nicht tragend (haftend)
- zulässige Neigung der SG-Verglasung zur Horizontalen $\alpha > 7^\circ$, vgl. Bild 3
- max. Durchbiegung Tragrahmen: $L / 300$ (mit L: Seitenlänge Tragrahmen)
max. Durchbiegung Scheibenmitte (kurze Seite): $l / 100$ (mit l: kurze Seitenlänge Glasscheibe)

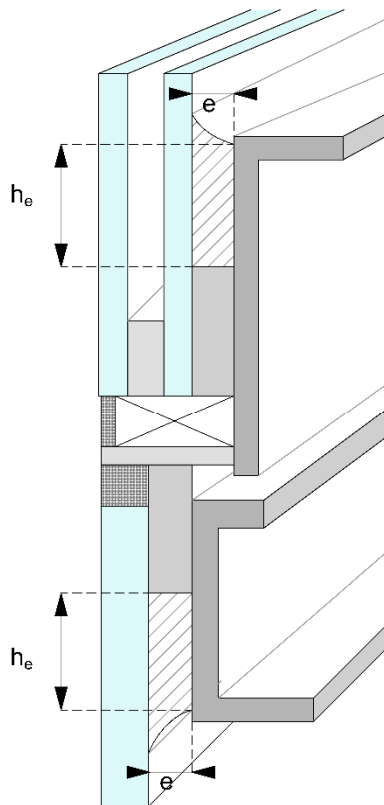


Bild 2 Kennzeichnung der Fugendicke e und Fugenbreite h_e [2], ©Verrotec

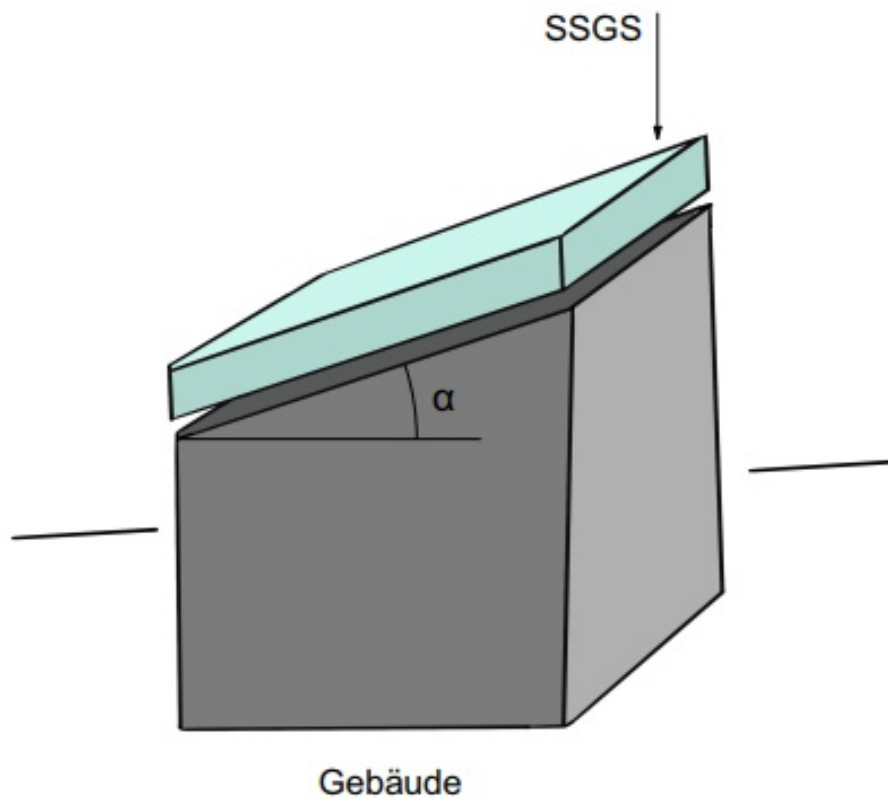


Bild 3 Zulässige Neigung SG-Verglasung gemäß ETAG 002, ©Verrotec

1.3.2 Erweiterte Randbedingungen

Das vorliegende Merkblatt beinhaltet Regelungen für Klebfugen beliebiger Scheibengeometrien, erweiterte Klebfugengeometrien sowie nicht ausschließlich allseitig geklebte Scheiben:

- keine allseitige Klebung der Glasscheiben notwendig, z.B. zweiseitig geklebte Glasscheiben, Ganzglasecken etc.
- Geometriefreiheit (beliebige Scheiben und Fugengeometrie) (s. Bild 4)

1.4 Hinweise zu kavitations-sensitiven und -insensitiven Klebfugen

Elastische Silikon-Klebstoffe sind in erster Näherung inkompressibel. Bei hoher Behinderung der Querkontraktion können sich daher neben den von der Oberfläche ausgehenden Anrissen auch Hohlräume, sogenannte Kavitäten, im Material ausbilden, die die Steifigkeit und Tragfähigkeit der Klebfuge stark reduzieren. Der folgende Ansatz ist ein einfaches, ingenieurmäßiges Kriterium zur Überprüfung, ob eine unter Zugbeanspruchung stehende Klebverbindung unter Ansatz ideal-steifer Fügepartner kavitationsanfällig ist oder nicht.

$$s = \frac{A}{U \cdot e}$$

mit A: Klebfläche [mm²]
U: Umfang der Klebfuge [mm]
e: Dicke der Klebfuge [mm]

S gibt dabei das Verhältnis der gezogenen Klebfläche A zum Produkt aus dem Umfang U und der Klebfugendicke e an (vgl. Bild 2). Für $S \leq 3$ ist die Klebfuge kavitations-insensitiv, sodass hier ein klassischer Nachweis entsprechend ETAG 002 oder entsprechend des vorliegenden Dokumentes geführt werden kann. Ist $S > 3$ sollte das volumetrische Verhalten und insbesondere das Kavitationsversagen der Klebfuge im Nachweis berücksichtigt werden.

Die Bemessung von kavitations-sensitiven Klebfugen ist aktuell noch Bestandteil von verschiedenen Forschungsprojekten. Für nähere Details zum Nachweis kavitations-sensitiver Klebfugen sei beispielhaft auf [9] verwiesen. Auf die notwendige Abstimmung mit dem Klebstoffhersteller wird ebenfalls hingewiesen. Bild 4 zeigt einige anschauliche Beispiele zur Klassifizierung der Klebfuge.

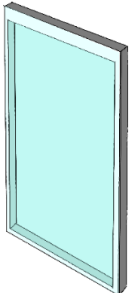
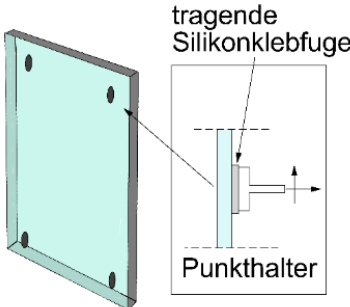
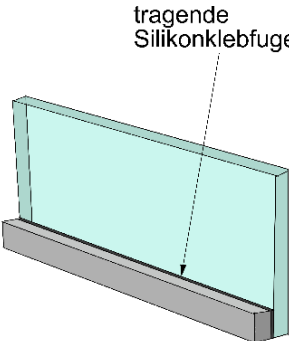
Klebung nach ETAG 002	Punktförmige Lagerung	Geklebte Glasbrüstung
		
Kavitations-insensitiv	Kavitations-sensitiv	Kavitations-insensitiv oder Kavitations-sensitiv (geometrieabhängig)

Bild 4 Klassifizierung von Klebfugen in kavitations-sensitiv / -insensitiv, ©Verrotec

1.5 Materialgerechtes Konstruieren

Als Grundvoraussetzung für die Anwendung dieser Richtlinie sind folgende Randbedingungen einzuhalten:

- Zur Sicherstellung dauerhafter Klebfugen sind geklebte Verbindung materialgerecht zu konstruieren (vgl. z.B. [3], [4], [10]).
- Vermeidung ungünstiger statischer Beanspruchungen [10]
- Vermeidung dauerhaften Zwanges
- Vermeidung von Mehrflankenhaftung durch Vorsehen einer Füllschnur
- Vermeidung hoher Schälbeanspruchung, da diese aufgrund des linienförmigen Angriffs zu Spannungsspitzen in der Klebfuge führen. Abhilfe kann hier durch konstruktive Modifikation der Klebgeometrie geschaffen werden (s. Bild 5)

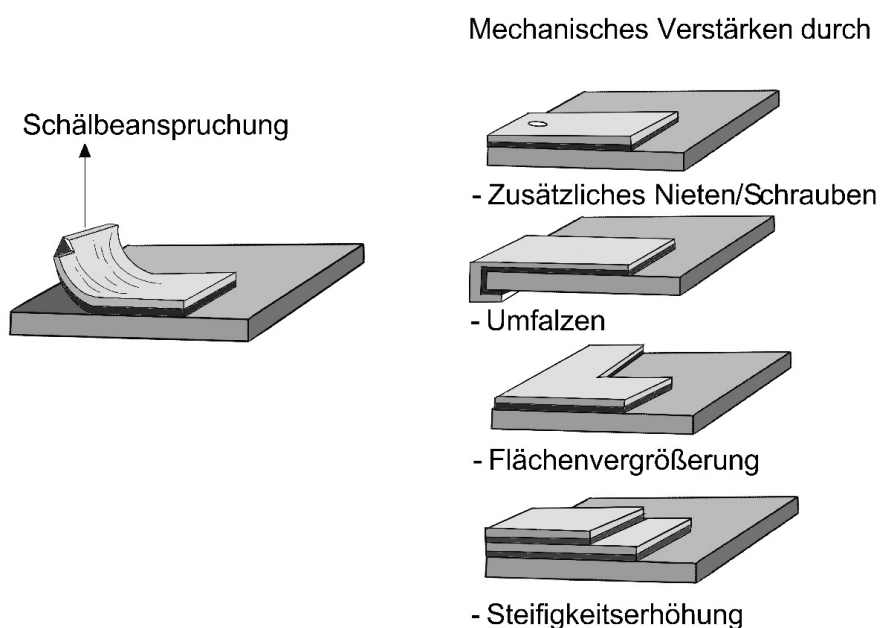


Bild 5 Konstruktive Möglichkeiten zur Vermeidung der Schälbeanspruchung bei Klebungen [10], ©Verrotec

Um ein materialgerechtes Konstruieren von Klebungen zu gewährleisten, sind weiterhin folgende Aspekte zu beachten:

- stehendes Wasser auf der Klebstoffuge ist nicht zulässig
- Dauerfeuchtigkeit der Klebstoffuge vermeiden
- übermäßiger Schimmel-, Moos-, Flechten-, Algenbildung ist vorzubeugen oder zu vermeiden
- Taupunktunterschreitungen im Bereich der Klebstoffuge sind möglichst zu vermeiden
- Dreiflankenhaftung ist zu vermeiden

Darüber hinaus muss in Abstimmung mit dem Klebstoffhersteller sichergestellt werden, dass der Klebstoff aushärten kann. Dies wird im Wesentlichen durch die Fugenbreite, Fugentiefe und Ablufffläche und dem verwendeten Klebstoffsystem (1-komponentig oder 2-komponentig) bestimmt.

1.6 Materialverträglichkeiten

Materialverträglichkeit im Sinne dieses Merkblatts ist die Sicherstellung der technischen und visuellen Funktionen eines gesamten Systems oder einer Baugruppe über die erwartete Lebensdauer.

Materialverträglichkeiten sind in Baugruppen und Systemen generell sicherzustellen, da andernfalls Unterwanderung, Ablösungen, Verlust der Adhäsion, Materialveränderungen möglich sind, was zu einem Versagen der Klebungen führen kann. Die Materialverträglichkeiten beziehen sich zum einen auf den Klebstoff und den jeweiligen Fügepartner, zum anderen jedoch auch auf die Verträglichkeit zwischen der Klebung und im Falle des Einsatzes von Verbundsicherheitsglas auf die Verträglichkeit zwischen Klebstoff und Folie.

1.6.1 Erforderliche Nachweise

Für die in der Fassadenkonstruktion üblichen polymerbasierten Werkstoffe stehen Kleb- und Dichtfunktionen meist im Vordergrund. Für die Prüfung der hierfür notwendigen Eigenschaften haben sich Prüfmethode aus der ETAG 002 für SG-Klebstoffe sowie die RAL GZ 716 (GKFP, Bonn) [11] und VE 08, DI 01 [14], und DI 02 [15] (ift, Rosenheim) für andere Komponenten bewährt. Verarbeitungsrichtlinien sind zu beachten.

Zu beachten ist, dass sich die in Prüfzeugnissen angegebenen Geltungsdauern nur auf die jeweiligen Prüfzeugnisse beziehen, nicht jedoch auf die dokumentierten Prüfergebnisse. Diese hängen von der Konstanz der Zusammensetzung der Werkstoffe ab, die über die dokumentierten Chargennummern der zur Prüfung eingesetzten Materialien beim jeweiligen Hersteller geklärt werden müssen.

Hersteller geben Auskunft zur Verträglichkeit ihrer Werkstoffe in Kontakt zu anderen Werkstoffen, idealerweise in Bezug auf die Funktion eines spezifizierten Gesamtsystems. Dies beinhaltet jedoch keine Aussage für den jeweils anderen (Kontakt-)Werkstoff. Es sind folglich immer Erklärungen aller beteiligten Materiallieferanten einzuholen. Übliche Materialien in Kontakt mit SG-Klebefugen sind Verbundmaterialien, Glasklötze, Dichtungen, Abstandshalter aus EPDM oder Silikon, Vorlegebänder, usw.

Überall dort, wo Kontakt zwischen Klebstoff und der Zwischenschicht von VG/VSG planmäßig vorgesehen ist bzw. Kontakt nicht ausgeschlossen werden kann, ist die Verträglichkeit zwischen Klebstoff und Zwischenschicht sicherzustellen.

1.6.2 Risikominimierung

Schäden durch Materialunverträglichkeiten können durch gründliche Überprüfungen und Verträglichkeitstests im Vorfeld verhindert oder zumindest das Risiko hierfür minimiert werden. Die Testergebnisse erlauben in der Regel aber keine generelle Kompatibilitätsgarantie, sondern erfordern immer eine systembezogene Interpretation. Vor diesem Hintergrund sollte mit Kompatibilitätslisten sorgfältig umgegangen werden. Abgesehen von den genannten Verträglichkeitsprüfungen kann das Risiko von Unverträglichkeitsreaktionen durch einige grundsätzliche Regeln zusätzlich minimiert werden.

- Vermeidung von direktem Kontakt
- Verwendung von risikoarmen Materialien (z.B. PP, PA, PE, APAO/POM, Duroplaste, getemperte Silikonprofile)
- Verwendung von Materialien mit ähnlicher Polarität und angepassten Weichmachergehalten

Zudem muss die Einhaltung einschlägiger Verglasungsrichtlinien gewährleistet sein, wie z.B.:

- Begrenzung der Fugentiefe bei 1K-Silikonen (z.B. Wetterversiegelungen) auf 10 mm mit verträglichen Hinterfüllmaterialien wie geschlossenzelligem PE-Rundschnüren
- einwandfreie Falzraumbelüftung
- Einsatz qualitativ einwandfreier Folienverbunde ohne Schnittkanten

Selbst beim Einsatz technisch einwandfreier Folienlaminare können Blasenbildung und Ablösungen durch Schrumpfung im Kontaktbereich von einigen Millimetern nicht sicher ausgeschlossen werden.

2. Berechnung und Bemessung von Silikonklebungen

2.1 Berechnungsverfahren nach ETAG 002

Die ETAG 002 gibt Formeln zur Dimensionierung der Fugendicke e (in Abhängigkeit der Temperatur) und der Fugenbreite h_e (in Abhängigkeit der Windsoglast) vor. Dabei werden die Abmessungen der Klebfuge über die zulässigen Spannungen des verwendeten Klebstoffes bestimmt.

Die im Folgenden aufgeführten Formeln haben sich in der Vergangenheit bewährt und decken mit einem globalen „Sicherheitsfaktor“ (korrekt: Methodenfaktor) von 6 viele Unsicherheiten, methodische Unschärfen sowie lokale Spannungsspitzen im Material ab. Der globale Sicherheitsfaktor von 6 bezieht sich dabei auf kurzzeitig einwirkende Lasten wie Wind und Temperatur. Dauerlasten infolge beispielsweise des Eigengewichts der Verglasung erfordern darüber hinaus einen zusätzlichen „Kriechfaktor“ von mindestens 10, um Kriechmechanismen im Klebstoff zu unterbinden.

Nach ETAG 002 [1], Anhang 2, können die Fugenabmessungen wie folgt ermittelt werden:

- Fugenbreite: $h_e = \left| \frac{a W}{2\sigma_{des}} \right|$

mit: a = Abmessung der kurzen Seite der Glasscheibe [mm]

W = Windeinwirkung [MPa]

σ_{des} = Bemessungswert der Zugspannung [MPa]

- Fugendicke: $e = \left| \frac{G \cdot \Delta}{\tau_{des}} \right|$

mit: Δ = maximale Wärmebewegung in Fugenlängsrichtung [mm]

G = Schubmodul [MPa]

τ_{des} = Bemessungswert der Schubspannung [MPa]

Die Bemessungswerte der Zugspannung und Schubspannung sind im Rahmen der Produktzulassung (ETA) zu regeln. Aus den zuvor angegebenen Formeln lassen sich direkt die erforderlichen Fugenabmessungen bestimmen – eine Überlagerung von Zug- und Schubspannungen erfolgt nicht.

Tabelle 1 zeigt beispielhaft die zulässigen Spannungen für die Zweikomponentenmaterialien DOWSIL 993, Sikasil SG-500 und Ködiglaze S. Auch einkomponentige Materialien mit gültigen Produktzulassungen dürfen verwendet werden.

Tabelle 1 Beispielhafte Klebstoffkennwerte (DOWSIL 993, Sikasil SG-500 und Ködiglaze S) gemäß der jeweiligen Produktzulassung

		DOWSIL 993	Sikasil SG-500	Ködiglaze S
Hersteller		Dow	SIKA	Kömmerling
ETA Nr.		ETA-01/0005	ETA-03/0038	ETA-08/0286
σ_{des}	[MPa]	0,14	0,14	0,14
τ_{des}	[MPa]	0,11	0,105	0,21
τ_{∞}	[MPa]	0,011	0,0105	0,0105
E-Modul	[MPa]	1,4	1,5	2,8
G-Modul	[MPa]	0,47	0,50	0,93

Hinweis:

Die in Tabelle 1 angegebenen Werte der E-Moduln wurden an Substanzproben (Schulterzugproben) in Anlehnung an DIN ISO 527-1 [14] ermittelt und gelten nur für die Berechnung der Fugenabmessungen nach ETAG 002 (vgl. obige Berechnungsformeln). In Abhängigkeit von der Klebfugengeometrie sind in Abstimmung mit dem Klebstoffhersteller objektbezogene Werte und ggf. experimentelle Prüfungen zur Ermittlung von E-Modul / G-Modul durchzuführen.

2.2 Nachweis analog zur ETAG 002

Die in Kapitel 2.1 aufgeführten Gleichungen zur Berechnung der Fugenbreite h_e und Fugendicke e können wie im Folgenden dargestellt verallgemeinert werden. Unter den in der ETAG 002 definierten Voraussetzungen können einwirkende Kräfte in Spannungen umgerechnet und nachgewiesen werden. Dies ist hilfreich für eine Vielzahl praktischer Anwendungsfälle wie zum Beispiel einachsige gespannte und geklebte Glasscheiben oder Eckverklebungen.

Die vorherrschende Zugspannung ermittelt sich wie folgt:

$$\sigma = \frac{F}{h_e}$$

mit: F = Kraft pro Längeneinheit [N/mm]

h_e = Fugenbreite [mm]

Die Schubspannung wird analog berechnet:

$$\tau = \frac{F}{h_e}$$

mit: F = Kraft pro Längeneinheit [N/mm]

h_e = Fugenbreite [mm]

Die zugehörige Scherung (für kleine Winkel) ergibt sich zu:

$$\tan \gamma \approx \gamma = \frac{\Delta l}{e}$$

mit: γ = Scherwinkel [rad/°]

Δl = Längenänderung (z.B. infolge Temperatur) [mm]

e = Klebschichtdicke [mm]

Um den Nachweis der ausreichenden Tragfähigkeit der Klebfuge gemäß ETAG 002 zu führen, müssen folgende Gleichungen ausgewertet werden:

Zugspannungsnachweis: $\sigma \leq \sigma_{des}$

Schubspannungsnachweis: $\tau \leq \tau_{des}$

Der Nachweis der Überlagerung von Zug und Schub erfolgt gemäß folgender Interaktionsgleichung:

$$\text{Interaktion Zug und Schub: } \sqrt{(\sigma/\sigma_{des})^2 + (\tau/\tau_{des})^2} \leq 1.0$$

worin: σ_{des} und τ_{des} zulässige Spannungen nach ETA (vgl. Tabelle 1)

2.3 Nachweis mittels Ersatzmodell (Federmodell)

Es haben sich Berechnungsverfahren etabliert, bei denen die Klebfugen im Rechenmodell mittels Ersatzfedern abgebildet werden. Die Berechnung mit Federmodellen ist die Voraussetzung für eine praktikable Anwendung im Bauwesen, da so der Einfluss der Klebung auf das Tragverhalten auch in Globalmodellen berücksichtigt werden kann. Das Berechnungsmodell muss ausreichend genau, handhabbar und nachvollziehbar sein. Geometrisch-nichtlineare Effekte infolge großer Verformungen (Theorie II. Ordnung) sind im Einzelfall zu berücksichtigen.

Mit Hilfe der Federmodelle kann die Spannungsverteilung in der Klebfuge unter Berücksichtigung der Fügepartner-Steifigkeiten und des globalen Tragverhaltens mit guter Genauigkeit ermittelt werden. Der Berechnungsaufwand ist deutlich geringer als mit 3D-Volumenelementen (vgl. Abschnitt 2.4), aber größer als bei den in Abschnitt 2.2 diskutierten Handrechenverfahren.

2.3.1 Allgemeines Konzept

Bei dem vorliegenden Konzept wird eine Silikonfuge mit einer Reihe von linearen Kraft-Weg-Federn modelliert, wobei Biegemomente nicht übertragen werden können. Diese Idealisierung als Gelenk kann dann als erfüllt angesehen werden, wenn das Fugenverhältnis $1 \leq h_e / e \leq 3$ eingehalten wird. Aufgrund der Diskretisierung werden die Spannungen in der Fuge gemittelt. Das skizzierte Verfahren gilt nur für kleine Verformungen, wenn also das nichtlineare Materialverhalten durch einen linear elastischen Ansatz approximiert werden kann. Die anzusetzende Zug- bzw. Schubsteifigkeit ist abhängig von der Fugengeometrie und den auftretenden Zug- und Schubverformungen. Die Klebstoffhersteller können entsprechende Daten im Einzelfall bereitstellen (i.d.R. durch Angabe eines E-Moduls E_{Fuge} und eines Schubmoduls G_{Fuge}).

Im nächsten Schritt werden dann auf Basis der material- und geometrieabhängigen (ggf. experimentell ermittelten) Zug- und Schubsteifigkeiten, E_{Fuge} und G_{Fuge} , die linearen Federsteifigkeiten berechnet:

Feder in Dickenrichtung: $k_N = \frac{E_{Fuge} \cdot A}{e}$

Feder in Querrichtung: $k_V = \frac{G_{Fuge} \cdot A}{e}$

mit: A = Fläche = Breite x Länge (z.B. $20 \cdot 100$ [mm])

e = Klebschichtdicke (z.B. 10 mm)

Die Fläche A bezieht sich auf die gewählte Diskretisierung mit Federn und wird im Folgenden genauer erläutert. Wenn die im Folgenden aufgeführten Spannungsnachweise eingehalten werden, dann sind auch die Verzerrungen in der Silikonfuge als gering anzusehen, so dass die Annahme einer linearen Steifigkeit gerechtfertigt ist. Das Federmodell muss auf Grundlage experimenteller Ergebnisse validiert werden.

Beispiel: Ermittlung von Federkennwerten für Bild 6 im globalen Berechnungsmodell:

Randbedingungen:

Klebfugenhöhe e = 12 mm

Klebfugenbreite h_e = 20 mm

Elastizitätsmodul des Klebstoffs in Abhängigkeit von der Fugengeometrie:

E_{Fuge} = 4,0 MPa

Schubmodul des Klebstoffs in Abhängigkeit von der Fugengeometrie:

G_{Fuge} = 0,70 MPa

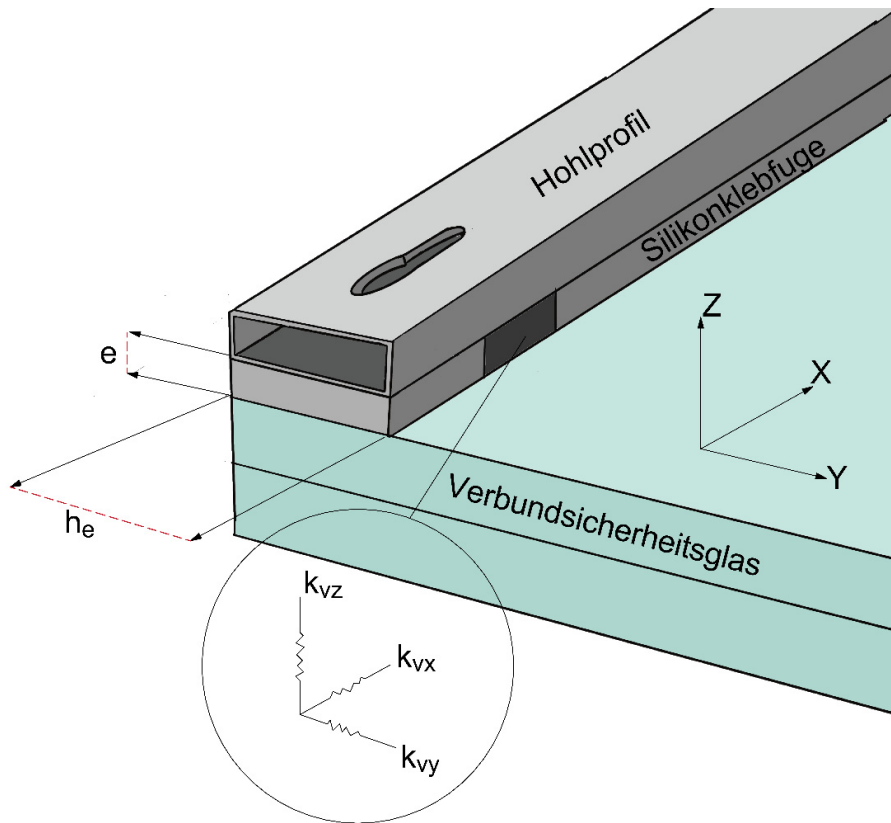


Bild 6 Federmodell einer beispielhaften Klebfuge, ©seele/Verrotec

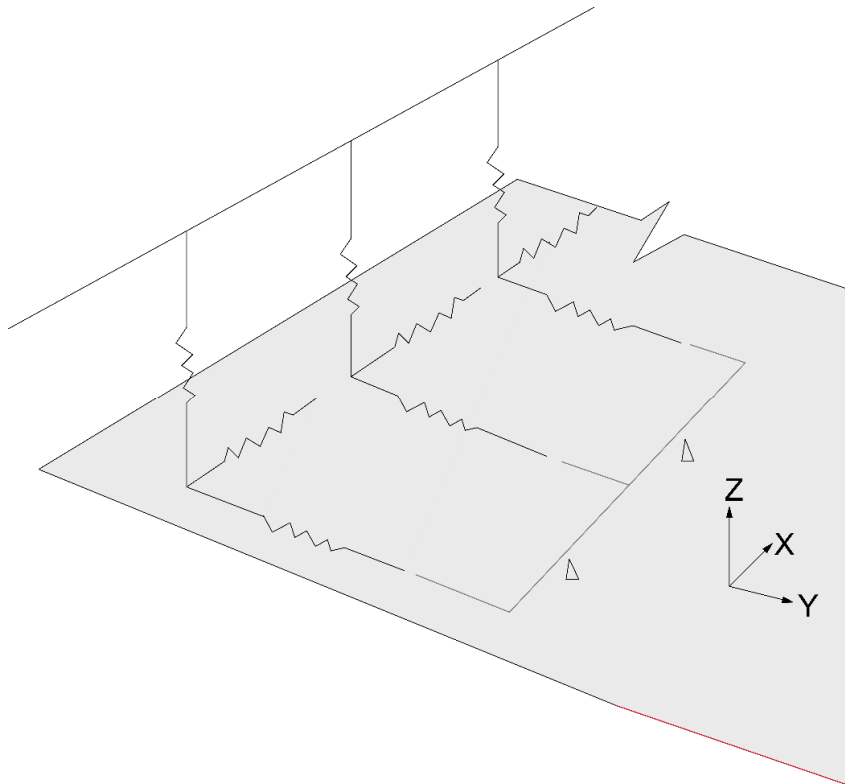


Bild 7 Abbildung der Klebfuge in der Bemessungssoftware, ©seele/Verrotec

Im gegebenen Beispiel ist das Hohlprofil als Balkenelement abgebildet (vgl. Bild 7), die Scheibe als Schalenelement und die Klebfuge ist über Federn mit dem Abstand Δ abgebildet. Der Abstand Δ zwischen den Federn entspricht der Länge zur Bestimmung der Klebfugenfläche für die Herleitung der Fugensteifigkeiten.

$$A = \Delta \cdot h_e$$

Δ ist bauteilbezogen unter Sicherstellung einer hinreichenden Konvergenz festzulegen (analog zu Konvergenzbetrachtungen bei FE-Berechnungen; für die Praxis hat sich eine Diskretisierung von 50 bis 100 mm bewährt). Konzentrieren sich in Bereichen des Modells Lasten bzw. Spannungen, empfiehlt es sich, in diesen Bereichen eine feinere Diskretisierung der Klebfuge vorzunehmen. Die Federsteifigkeiten k_N und k_V sind der entsprechenden Diskretisierung anzupassen.

Jeder einzelnen Feder sind die entsprechenden richtungsabhängigen Klebfugensteifigkeiten zuzuweisen (hier mit $A = 100 \times 20 = 2000 \text{ mm}^2$):

$$k_N = \frac{E_{Fuge} \cdot A}{e} = \frac{4 \text{ MPa} \cdot 2000 \text{ mm}^2}{12 \text{ mm}} = 666,7 \text{ N/mm}$$

$$k_V = \frac{G_{Fuge} \cdot A}{e} = \frac{0,7 \text{ MPa} \cdot 2000 \text{ mm}^2}{12 \text{ mm}} = 116,7 \text{ N/mm}$$

Die Federsteifigkeit k_V kann sowohl in Fugenlängs- als auch in Fugenquerrichtung angesetzt werden und wird in Bild 6 mit k_{Vx} und k_{Vy} bezeichnet.

Die ermittelten Fugensteifigkeiten sind im nächsten Schritt in die Bemessungssoftware bzw. das globale Bemessungsmodell zu übergeben. Mit dem Ersatzmodell werden die einwirkungs- und steifigkeitsabhängigen Schnittkräfte in den Federn berechnet.

Die Einwirkungskombination im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach EN 1990 liefert die faktorisierten Schnittkräfte in den Federn. Für den ETAG 002-konformen Fall sind die Schnittkräfte mit charakteristischen Lasten zu ermitteln.

Einwirkungen bzw. Kräfte in den Federn (Bemessungswerte):

Zugkraft in der Feder: +N

Druckkraft in der Feder: -N (wird i.d.R. nicht nachgewiesen)

Resultierende Querkraft in der Feder: $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$

Die resultierenden Kräfte in den Federn sind anschließend durch die Klebefläche zu dividieren, um auf die entsprechende Spannung zu kommen (analog zu Abschnitt 2.2).

Widerstände (Bemessungswerte):

Um experimentell den Bemessungswiderstand möglichst nah an der eingesetzten objektbezogenen Klebfugegeometrie zu ermitteln, muss zunächst an den bauteilähnlichen Klebfugegeometrien ein charakteristischer Bemessungswert σ_{ult} ermittelt werden. Hierzu können beispielsweise die Bruchfestigkeiten der bauteilähnlichen Klebfugegeometrien statistisch entsprechend ETAG 002 ausgewertet und so der 5 % Quantil-Wert der Festigkeit ermittelt werden. Diese so ermittelte charakteristische Bruchfestigkeit ist anschließend durch den sog. Methodenfaktor γ zu dividieren, um Unsicherheiten aus dem Berechnungsmodell, dem Alterungsverhaltens des Klebstoffes und Unsicherheiten bei der Beschreibung der Einwirkungsseite Rechnung zu tragen. Für den Methodenfaktor γ kann nach Abstimmung mit dem Klebstoffhersteller und der zuständigen Bauaufsichtsbehörde bei der Verwendung eines genaueren Berechnungsverfahrens ein Wert von 4 (bis 6) angesetzt werden.

Die experimentell ermittelte zulässige Spannung von objektbezogenen Klebfugegeometrien ergibt sich zu:

$$\text{zulässige Zugspannung: } \sigma_{\text{des}}^{\text{Exp}} = \frac{\sigma_{\text{ult}}}{\gamma}$$

$$\text{zulässige Schubspannung: } \tau_{\text{des}}^{\text{Exp}} = \frac{\tau_{\text{ult}}}{\gamma}$$

wobei σ_{ult} bzw. τ_{ult} der 5% Fraktilwert der experimentell ermittelten Bruchfestigkeit darstellt.

Oftmals dürfen objektbezogen die Bruchfestigkeiten σ_{ult} und τ_{ult} alternativ aus den in der ETA angegebenen zulässigen Spannungen ermittelt werden, indem die zulässige Spannung mit dem Methodenfaktor $\gamma = 6$ multipliziert wird. Für die in der Tabelle 1 aufgeführten Klebstoffe beträgt beispielsweise die zulässige Zugspannung $\sigma_{\text{des}} = 0,14 \text{ N/mm}^2$, sodass für σ_{ult} folgt: $\sigma_{\text{ult}} = 6 \cdot \sigma_{\text{des}} = 0,84 \text{ N/mm}^2$.

Mit Zustimmung des Klebstoffherstellers gilt dann: $\sigma_{\text{des}}^{\text{Exp}} = 0,84 / 4 = 0,21 \text{ N/mm}^2$ für $\gamma = 4$.

Nachweise für veränderliche Einwirkungen:

$$\text{Nachweis Zugspannungen: } \sigma / \sigma_{\text{des}}^{\text{Exp}} \leq 1$$

$$\text{Nachweis Schubspannungen: } \tau / \tau_{\text{des}}^{\text{Exp}} \leq 1$$

$$\text{Interaktion Zug und Schub: } \sqrt{\left(\sigma / \sigma_{\text{des}}^{\text{Exp}}\right)^2 + \left(\tau / \tau_{\text{des}}^{\text{Exp}}\right)^2} \leq 1$$

2.3.2 Experimentelle Ermittlung von Steifigkeiten

In der Regel können die Klebstoffhersteller die Steifigkeitswerte E_{Fuge} und G_{Fuge} für ETA-konforme Klebfugen zur Verfügung stellen. Weichen die geplanten Klebfugengeometrien von den in ETAG 002 definierten Grenzabmaßen ab oder entsprechen nicht den in den entsprechenden Zulassungen des Klebstoffs gegebenen Fugengeometrien, sind Bauteilversuche mit den projektspezifischen Klebfugengeometrien durchzuführen. Werden vom Klebstoffhersteller keine Werte für die Steifigkeiten des Klebstoffes in Abhängigkeit vom Klebfugenquerschnitt in den entsprechenden Zulassungen angegeben, sind die Fugensteifigkeiten E_{Fuge} und G_{Fuge} über Versuche zu bestimmen. Die Versuche können gleichzeitig zur Ermittlung der Festigkeiten σ_{ult} und τ_{ult} verwendet werden. Versuchsaufbau und Versuchsumfang müssen mit den Beteiligten und den Klebstoffherstellern im Einzelfall abgestimmt werden. Es ist eine projektspezifische Klebfugengeometrie mit ausreichender Länge zu prüfen. Um Randeinflüsse zu minimieren sollte die Fugenlänge l der Prüfkörper drei- bis fünfmal der Breite h_e der Klebfuge betragen.

Experimentelle Ermittlung von Zug- und Schubsteifigkeit

Zur Bestimmung des Zug-Elastizitätsmoduls E_{Fuge} sind die projektspezifischen, modifizierten H-Proben mit der zulässigen Spannung σ_{des} zu belasten. Die Zugkraft zur Bestimmung des Zug-Elastizitätsmoduls an der ETAG H-Probe ermittelt sich wie folgt:

$$F_{\text{des}} = h_e \times l \times \sigma_{\text{des}}$$

mit σ_{des} gemäß ETA (vgl. Tabelle 1), l = Fugenlänge

Die Schubkraft zur Bestimmung der Schubsteifigkeit in Fugenlängs- oder Fugenquerrichtung an der ETAG H-Probe wird wie folgt analog ermittelt:

$$V_{\text{des}} = h_e \times l \times \tau_{\text{des}}$$

mit τ_{des} gemäß ETA (vgl. Tabelle 1), l = Fugenlänge

Projektspezifische Anpassungen von F_{des} oder V_{des} können dann notwendig werden, wenn das Spannungsniveau wesentlich von den angesetzten zulässigen Spannungen abweicht. Die Belastungsgeschwindigkeit bei der Prüfung beträgt 5 mm/min gemäß ETAG 002.

Prüfumfang

Vor dem Hintergrund der statistischen Aussagekraft der Versuchsergebnisse sind je Parameter mindestens fünf Proben zu prüfen und statistisch auszuwerten.

Bestimmung des geometrieabhängigen Elastizitätsmoduls und Schubmoduls

Aus den Zugspannungs-Dehnungs-Diagrammen bzw. Scherspannungs-Gleitungs-Diagrammen kann das von der Klebfugengeometrie abhängige Elastizitätsmodul und Schubmodul (Sekantenmodul) abgeleitet werden:

$$E_{\text{Fuge}} = \sigma / \varepsilon$$

$$G_{\text{Fuge}} = \tau / \gamma$$

mit: ε = Dehnung [mm/mm]

γ = Scherwinkel [rad/°]

2.4 Nachweis über 3D Volumenelemente nach der Finiten Element Methode

2.4.1 Allgemeines Konzept

Der Nachweis der Klebfuge mittels FE-Berechnungen kann insbesondere für Sonderlösungen objektbezogen geeignet sein. In diesem Abschnitt werden Hilfestellungen für den Nachweis von Klebfugen unter Anwendung von 3D-Volumenelementen gegeben. Der Nachweis ist komplex und sollte daher nur bei Vorliegen von ausreichender Kenntnis im Bereich der FEM umgesetzt werden. Häufig ist der Nachweis auf Basis von Handrechenverfahren (Kapitel 2.2) oder mit Federmodellen (Kapitel 2.3) ausreichend genau.

Im Folgenden werden allgemein die notwendigen Schritte zur experimentellen und numerischen Charakterisierung eines Klebstoffs offengelegt. Es ist allerdings an dieser Stelle anzumerken, dass die baupraktisch üblichen Klebstoffe (vgl. Abschnitt 2.1) bereits experimentell charakterisiert sind und validierte Materialmodelle vorliegen, sodass für diese Klebstoffe die Schritte 1-3 ausgelassen werden können.

1. Experimentelle Datenbasis des Klebstoffes in Form von technischen Spannungs-Dehnungs-Beziehungen für uniaxialen Zug, einfache Scherung oder biaxialen Zug unter quasi-statischen Randbedingungen. Für den Fall, dass eine Dreiflanken-Klebung vorliegt bzw. das nach ETAG 002 geforderte Fugenverhältnis nicht eingehalten wird, sind zusätzlich Kopfzugproben erforderlich, um das kompressible Verhalten des Klebstoffes unter hydrostatischen Spannungszuständen zu untersuchen (s. Bild 8).

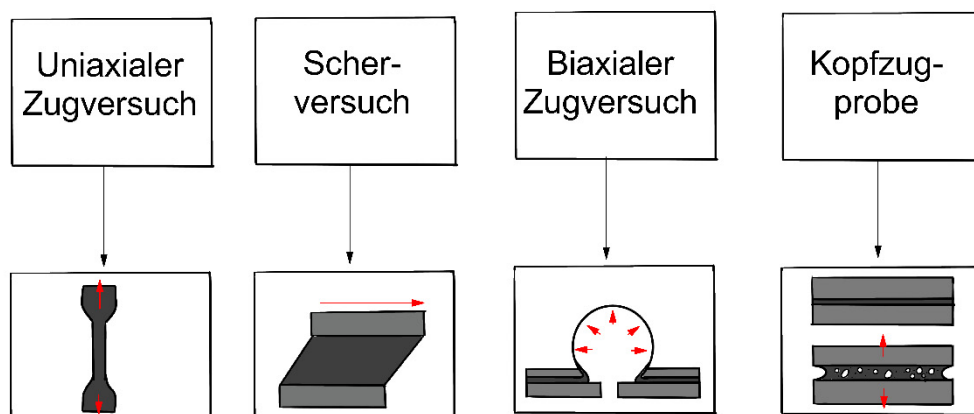


Bild 8 Darstellung notwendiger Versuche zur vollständigen Charakterisierung eines Klebstoffes, ©Verrotec

2. Auswahl eines geeigneten Stoffgesetzes (z.B. Neo-Hooke, Mooney-Rivlin², Ogden, Extended Tube Model). Es gilt hier die Prämisse, dass pro Materialparameter ein Experiment erforderlich ist. Liegen also nur uniaxiale Zugversuchsdaten vor, wird das Neo-Hooke Materialmodell empfohlen. Für baupraktische Anwendungen ist die Unterstellung eines linear-elastischen Stoffgesetzes als hinreichend genau anzusehen, vgl. Kapitel 2.3.
3. Ermittlung der Materialparameter auf Basis der experimentellen Ergebnisse (uniaxialer Zug, uniaxialer Druck, einfache Scherung) über Regressionsanalysen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Materialparameter simultan für alle o.g. Versuchsergebnisse zu ermitteln sind.
4. Validierung der ermittelten Materialparameter über Nachrechnung von Kleinbauteilversuchen, welche den tatsächlichen Abmessungen der Klebfuge im Bauvorhaben entsprechen. Die Umsetzung der experimentellen Untersuchungen erfolgt entsprechend Kapitel 2.3.2.

Liegen die Ergebnisse der Schritte 1-4 vor, muss nun das Sicherheitskonzept nach ETAG 002 mit dem Nachweisverfahren über FE-Simulationen in Einklang gebracht werden. Dieser Schritt ist notwendig, da FE-Lösungen im Allgemeinen zu netzabhängigen Lösungen führen und dies unbedingt im Nachweiskonzept berücksichtigt werden muss. Daher werden im Folgenden die notwendigen Schritte anhand eines Beispiels kurz vorgestellt:

1. Festlegung einer Netzdichte für das globale statische Modell der nachzuweisenden Konstruktion (z.B. $2 \times 2 \times 2$ [mm]) und gleichzeitige Übertragung dieses Netzes auf die ETAG H-Probe (s. Bild 9)

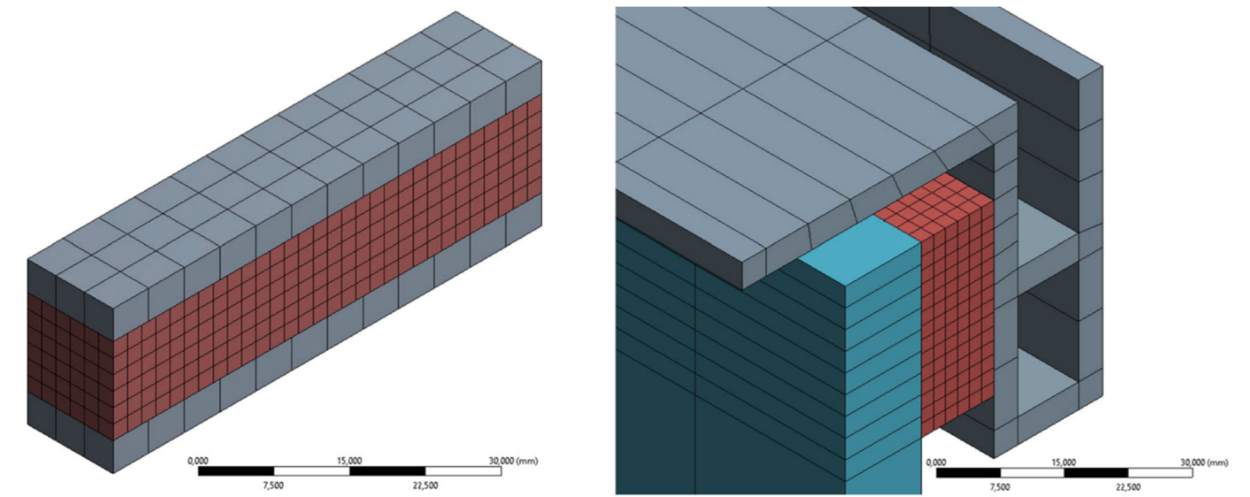


Bild 9 Identische Vernetzung der Klebung für die ETAG H-Probe (links) und die geklebte Konstruktion aus dem Globalmodell (rechts) [15]

2. FE-Simulation der ETAG H-Probe mit exakt identischem Netz aus dem Globalmodell und Beanspruchung der ETAG H-Probe mit σ_{des} bzw. F_{des} . Auswertung der wahren Spannung bzw. Dehnungen in der ETAG H-Probe. Hier ist anzumerken, dass es sich um einen zulässigen Designwert handelt, der den Effekt von Spannungssingularitäten beinhaltet. Als Beispiel wird im Folgenden für zwei unterschiedliche Netze die zulässige, wahre Designspannung $\sigma_{1,des}^{FE}$ exemplarisch dargestellt. Hierfür wurde die ETAG H-Probe mit der Design-Kraft

$$F_{des} = \sigma_{des} \cdot A = 0,14 \text{ MPa} \cdot 12 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm} = 84 \text{ N}$$

auf Zug beansprucht. Wie aus Bild 10 deutlich wird, unterscheidet sich die zulässige, wahre Designhauptspannung $\sigma_{1,des}^{FE}$ deutlich in Abhängigkeit des gewählten FE-Netzes.

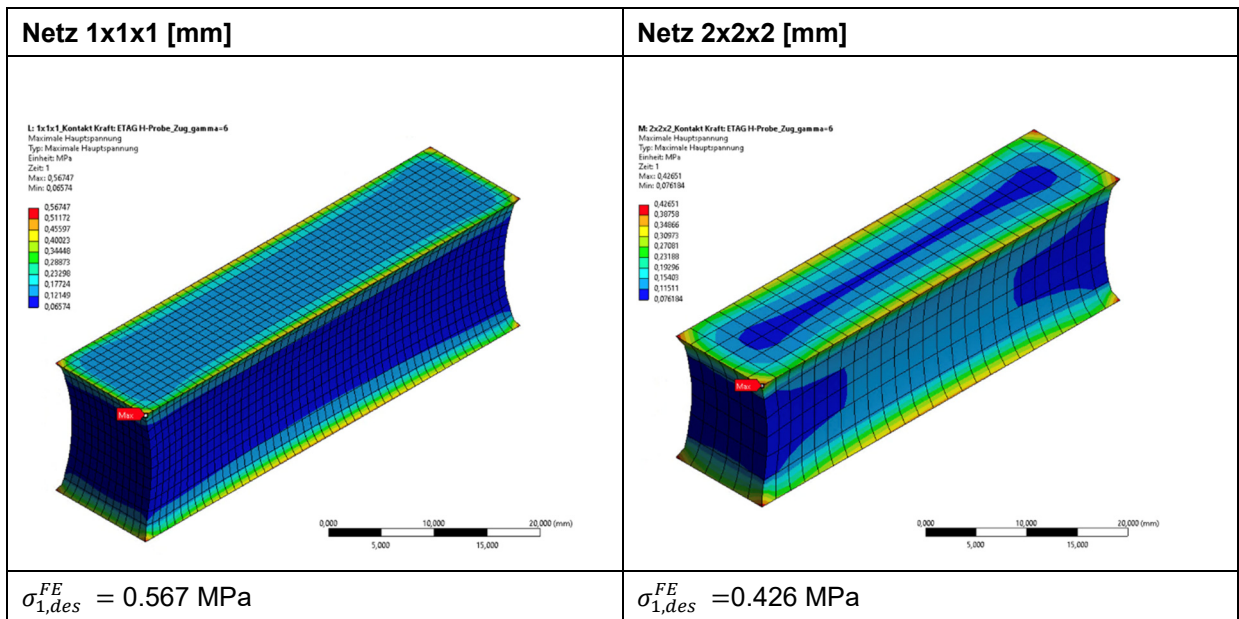


Bild 10 Auswertung der Hauptzugspannung am Beispiel der ETAG H-Probe für zwei unterschiedliche Netzfeinheiten zur Illustration des Effektes von Spannungssingularitäten (fiktive Werte)

3. Berechnung des statischen Gesamtmodells mit exakt der Netzdichte aus 1. und Auswertung der wahren Spannungen bzw. Dehnungen vergleichend mit zulässigem Designwert aus 2. In dem gewählten Beispiel liegt der Methodenfaktor bei $\gamma = 6$, wobei dieser nun auf die Finite Element Methode übertragen wurde. Der Nachweis der Klebfuge basierend auf der FEM wird wie folgt umgesetzt:

$$\sigma_{1,des} \leq \sigma_{1,des}^{FE}$$

Die Vernetzungen für die ETAG H-Probe und die Vernetzung der Klebung des Globalmodells muss zwingend identisch sein, da andernfalls der Nachweis nicht zulässig ist.

2.4.2 Experimentelle Ermittlung von Steifigkeiten

Die experimentelle Ermittlung von Steifigkeiten erfolgt analog zu Kapitel 2.3.2.

3. Qualitätsanforderungen an den Klebprozess

Die prinzipielle Eignung einer klebenden Stelle sowie die Bestätigung der Einhaltung technischer Anforderungen der Verbindung sind ausnahmslos in Form einer **Erstprüfung** durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle zu bestätigen.

Die Herstellung von tragenden Klebverbindungen ist zur Sicherstellung einer ausreichenden und reproduzierbaren Qualität während der Ausführung zu überwachen. Dies erfolgt durch Einführung einer **werkseigenen Produktionskontrolle** (WPK) sowie durch ergänzende **Fremdüberwachung**.

Die Vorgaben der Überwachungsmaßnahmen basieren auf den Anforderungen nach ETAG 002 sowie dem aktuellen Stand der Technik aus erfolgreich umgesetzten Projekten. Ergänzend hierzu sind in DIN 2304-1 [5] Anforderungen für die qualitätsgerechte Ausführung von lastübertragenden Klebverbindungen entlang der Prozesskette Kleben – von der Entwicklung über die Fertigung bis zur Instandhaltung – zusammengestellt. Für den konstruktiven Glasbau können diese Inhalte hilfreich zur Beherrschung des Klebprozesses sein und sollten, wo es sinnvoll ist, berücksichtigt werden.

Hinweis: Für den konstruktiven Glasbau wird derzeit die ETAG 002 als technische Grundlage für SG-Konstruktionen zugrunde gelegt.

Die DIN 2304-1 sowie die derzeit verfügbaren Spezifikationen der Reihe DIN SPEC 2305 sind im konstruktiven Glasbau nicht verpflichtend. Sie können als Hilfestellung für den Anwender gesehen und daher in einem angemessenen Rahmen berücksichtigt werden. Der Anwender erhält darin u.a. Hinweise zur Einstufung sicherheitsrelevanter Klebungen, zur klebgerechten Fertigungsumgebung und zur klebtechnischen Personalqualifizierung. Darüber hinaus werden Hinweise zur Erstellung einer klebtechnischen Arbeitsanweisung gegeben.

Die Überprüfung der Qualität der Herstellung der Klebverbindung erfolgt an der Produktionsstelle, an der die Klebung ausgeführt wird („klebende Stelle“, Klebbetrieb) durch

- werkseigene Produktionskontrolle und
- eine regelmäßige Fremdüberwachung durch eine bauaufsichtlich anerkannte Überwachungsstelle.

3.1 Überwachung der Herstellung

3.1.1 Anforderungen an den Klebbetrieb

- **Fertigungsumgebung in einem Klebbetrieb [5]**

Für die qualitätsgesicherte Durchführung der Klebungen müssen Fertigungsbereiche zur Verfügung stehen, die für die Klebsysteme hinsichtlich Technik, Arbeitssicherheit und Umweltschutz geeignet sind. Dazu gehört insbesondere die Sicherstellung der notwendigen Umgebungsbedingungen, wie z.B. Temperatur, Luftfeuchte, Beleuchtung, Sauberkeit, Zugangsbeschränkung, Vermeidung von haftungs-/benetzungsstörenden Substanzen, Luftkontaminationen, Luftzug.

Es müssen Lagerbereiche für Fügeile, Kleb- und Klebhilfsstoffe zur Verfügung stehen, die eine anforderungsgerechte Lagerung erlauben.

Zur Lagerung von Gefahrstoffen (z.B. Primer) müssen Lagerbereiche vorhanden sein, die den jeweils gültigen Vorschriften entsprechen.

Die Klebbereiche müssen festgelegt sein.

- **Personalqualifizierung**

Der Klebbetrieb muss über ausreichendes und qualifiziertes Personal für die Planung, Ausführung und Überwachung der klebtechnischen Fertigung (Gesamtklebprozess) entsprechend der vorgeschriebenen Anforderungen verfügen.

Dabei muss der Klebbetrieb über Personal verfügen, welches das klebtechnische Personal in die entsprechenden Tätigkeiten einweisen und die Ausführung überwachen und prüfen kann. Gleichzeitig muss er über qualifiziertes und unterwiesenes Personal verfügen, das die vorgesehenen Klebverbindungen selbstständig und fachgerecht nach den entsprechenden Arbeitsanweisungen ausführen kann.

In der DIN SPEC 2305-3 [16] werden die personellen Anforderungen entsprechend DIN 2304-1 [5] für Klebungen der Sicherheitsklassen S1 bis S3 umfassend beschrieben und die hierfür benötigten fachlichen Qualifikationen sowie die Aufgaben des Personals erläutert.

Klebbetriebe aus dem konstruktiven Glasbau finden hier wertvolle Hinweise über die Inhalte einer klebtechnischen Aus- und Weiterbildung für das einweisende und ausführende Personal. Geeignete Qualifizierungen zur Verbesserung der Klebergebnisse sind u.a. ein Sachkundenachweis, die Qualifikation der Mitarbeiter (nach [16]) und ein regelmäßiges Training oder Schulungen der Mitarbeiter.

Eine adäquate Personalqualifizierung wird für den Klebbetrieb im konstruktiven Glasbau empfohlen.

▪ **Arbeitsanweisung nach DIN 2304-1 [5]**

Arbeitsanweisungen sichern den reibungslosen und gleichbleibenden Arbeitsablauf in der Fertigung und sind für die Qualität des Produktes entscheidend. Eine sorgfältige Beschreibung der klebtechnischen Arbeitsabläufe ist daher notwendig. Die Klebstoffhersteller unterstützen bei der Erstellung und stellen entsprechend für ihre Produkte spezifische Dokumente zur Verfügung.

Die folgende inhaltliche Beschreibung der Fertigungsunterlagen ist als Auflistung der Vielzahl an möglichen Inhalten zu verstehen und ist weder vollständig noch muss sie in dieser Form zutreffen. Die Liste soll primär die Erstellung der Fertigungsunterlagen erleichtern.

Arbeitsanweisungen basieren auf folgenden Dokumenten:

- Normen, Richtlinien, Merkblätter
- klebtechnische Planungsunterlagen (Zeichnungen, Stücklisten, Nachweisführungen, Klebplan)
- Produktspezifische Informationen (z.B. Technische Datenblätter, Sicherheitsdatenblätter, weitere Produktinformationen)
- branchenspezifische Informationen

Die Arbeitsanweisungen sollten folgende Punkte umfassen:

- Revisionsstand, Datum
- Kleb-, Dicht- und Hilfsstoffe (Material und Lieferform)
- spezielle Werkzeuge und Vorrichtungen
- betriebliche Voraussetzungen (z.B. an die Qualifikation des Personals, an die Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Feuchte, Licht)
- detaillierte Prozessbeschreibung, für z.B.:
 - Prüfung der Kleb- und Klebhilfsstoffe (Identität, benötigte Menge(n), Haltbarkeit, Haltbarkeit von bereits geöffneten Gebinden, Gebindebeschädigungen, offensichtliche Abweichungen von Farbe/Konsistenz)
 - Prüfung der Füge Teile (Identität, Beschädigung(en), Passgenauigkeit, Zustand der Füge teiloberflächen, benötigte Mengen)
 - Akklimatisierung von Füge teilen, Klebstoffen, Primern und weiterer Betriebsmittel an geeignetem Ort unter geeigneten Umgebungsbedingungen
 - Reinigung (Reinigungsmittel, Reinigungshilfsmittel, Ablüftzeiten, Badüberwachung, Rekontaminationsvermeidung)

- Oberflächenvorbehandlung (Verfahrensbeschreibung, -parameter, ggf. Überprüfung des Effekts, Maßnahmen zur Vermeidung von Re-Kontamination, Festlegung des min./max. Zeitintervalls bis zum Kleben)
- Klebstoffaufbereitung (Dosierung, Mischungsverhältnis, Mischungstoleranzen, Durchmischungsgrad)
- Klebstoffapplikation (Hilfsmittel, Menge, Auftragsform, Benetzung, Visualisierung)
- Fügen (Klebschichtdicken, Klebschichtbreiten, Anpressdruck, Benetzung)
- Fixieren (Vorrichtungen, Drücke, Dauer)
- Aushärtung (Dauer, Temperatur, weitere spezifische Parameter)

Sinnvoll sind darüber hinaus folgende Angaben:

- Hinweise zur Qualitätssicherung, Prozesskontrolle
- Fehlerkorrektur
- Vorgabe einer Fertigungsdokumentation (Rückverfolgbarkeit)
- Arbeitssicherheit und Umweltschutz, Entsorgung

3.1.2 Werkseigene Produktionskontrolle (WPK)

Die „klebende Stelle“ / Klebbetrieb hat eine werkseigene Produktionskontrolle (WPK) nach den Vorgaben der zuständigen Überwachungsstelle einzurichten.

Für jeden Objektauftrag ist eine Objektmappe mit folgendem Inhalt anzulegen (eine objektbezogene Abstimmung über den konkreten Inhalt ist immer objektbezogen erforderlich):

- objektbezogene Daten über Menge, Abmessungen, konstruktive Aufbauten, Darstellung der Klebung
- objektbezogene Mitteilung des Klebstoffherstellers über Anwendung von Reinigung und Primer für die eingesetzten Oberflächen
- alle erforderlichen Werkszeugnisse 2.2 nach DIN EN 10204 [17] für die Oberflächenbehandlungen der metallischen Profile
- alle objektbezogenen Produktnachweise der zur Verwendung kommenden Glasbauteile
- die arbeitstäglichen Protokolle der werkseigenen Produktionskontrolle
- die Ergebnisse der Haftprüfungen und Bruchbilder von Proben Typ A
- die Ergebnisse der Zugfestigkeiten und der Bruchbilder von Proben Typ B
- das Ergebnis der Überwachungsstelle von den zusätzlich hergestellten Proben je Objekt entsprechend den Festlegungen im Überwachungsvertrag
- Besonderheiten während der Fertigung
- Positionierung jedes einzelnen SG-Elementes oder von SG-Element-Chargen im Bauvorhaben

Die Ergebnisse aller Prüfungen sind im Protokoll der werkseigenen Produktionskontrolle einzutragen. Die Richtlinien der Klebstoffhersteller sind zu beachten.

Arbeitstägliche Prüfungen des Klebstoffes

Arbeitstäglich sind folgende Prüfungen des Klebstoffes durchzuführen:

1. 1-K-Systeme: Hautbildungszeit / Elastomertest
2. 2-K-Systeme: Überprüfung der Homogenität oder Streifenfreiheit der Klebstoffmischung durch den „Schmetterlingstest“. Ist die Bewertung nicht eindeutig, ist die Prüfung mit zwei Glasplatten zu wiederholen.
3. 2-K-Systeme: Überprüfung der Topfzeit bzw. des Mischungsverhältnisses
4. Die Überprüfung der Shore-A-Härte wird an der Probe der Haftprüfung nach einer Aushärtungszeit von 24 Stunden (bei 2-K-Systemen) mit einem Shore-Härte-Messgerät mit Schleppzeiger gemessen. Der vom Klebstoffhersteller vorgegebene Mindestwert muss nach 24 Stunden erreicht werden. Bei 1-K-Systemen beträgt die Aushärtungszeit i.d.R. länger (Herstellerangaben beachten).

Arbeitstägliche Haftprüfungen von Proben Typ A in Anlehnung an ETAG 002 (Peel-Test)

Die Haftprüfungen von Proben Typ A sind festgelegt in der jeweiligen ETA-Zulassung sowie in den Richtlinien der Klebstoffhersteller und dienen zur Beurteilung der Haftung des Klebstoffes zu den Substraten Glas und Aluminium bzw. Edelstahl im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle.

Probekörper-Herstellung:

An jedem Produktionstag werden (gemäß Zulassungs- oder Genehmigungsvorgaben) bspw. 1-3 Proben auf Glas und 1-3 Proben auf metallischer Unterkonstruktion hergestellt: z.B. zu Produktionsbeginn, während der Produktion und am Produktionsende. Darüber hinaus sind bei jedem Chargenwechsel und nach längeren Arbeitsunterbrechungen zusätzliche Proben zu erstellen.

Die Peel-Proben sind mit serienäquivalentem Material bzw. Material gemäß Bauausführung zu fertigen.

Die zu prüfenden Oberflächen werden entsprechend der ETA oder gemäß Herstellernachweis hinsichtlich geeigneter Vorbehandlung vorbehandelt. Im Abstand von 200 mm wird eine Trennfolie zur Abgrenzung des Prüfbereiches aufgebracht. Der Klebstoff wird als Raupe von ca. 6 mm Höhe, 25 mm Breite und 250 mm Länge appliziert (vgl. Bild 11). Es ist mind. eine Raupe zu applizieren. Die Aushärtung muss in Übereinstimmung mit den für den Klebstoff festgelegten Bedingungen entsprechend den Prozessbedingungen der Originalteile erfolgen. Nach einer mit dem Hersteller abzustimmenden Aushärtezeit, i.a. 72 Stunden, erfolgt die Prüfung. Zur Prüfung der Klebung wird die Raupe im nichthaftenden Bereich gefasst und in einem Winkel von ca. 180° abgezogen. Die Schälkraft muss erhöht werden, bis sich ein Riss ausbreitet. Wenn sich der Bruch im Klebstoff ausbreitet, muss die Raupe während des Schälprozesses fortlaufend neu eingeschnitten werden. Diese Einschnitte müssen im spitzen Winkel zwischen Raupe und Fügeiteiloberfläche bis zur Klebfläche weiterverlaufen. Zwischen jedem Einschnitt sollte eine Zeitspanne von etwa 3s liegen, während der das Material weiterer Dehnung ausgesetzt wird.

Für die Bewertung müssen die Bruchbilder der geschälten Raupen beurteilt werden. Die Bruchbilder müssen nach ISO10365 bewertet werden. Da sich ein Bruch auch in den Beschichtungen oder, bei mehrschichtigem Aufbau des Fügeiteils (Anstrichstoff, Primer, usw.), an ihren Grenzflächen ausbreiten kann, muss dies bei der Bewertung unterschieden werden. Die Prüfung ist bestanden, wenn ein 100% kohäsives Versagen im Klebstoff vorliegt. Ein Versagen innerhalb einer Primerschicht oder sonstigen Beschichtung sowie ein adhäsives Versagen ist nicht zulässig (vgl. Bild 12).

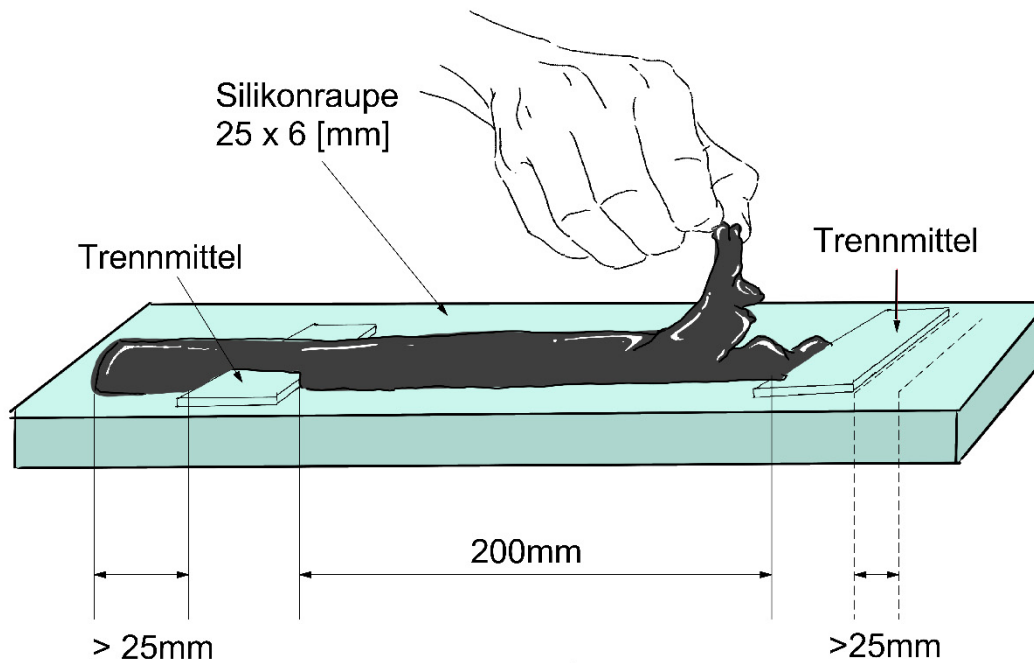


Bild 11 Peel-Test (Typ A), Beispiel für Kohäsionsbruch im Klebstoff (Bewertung positiv) [1], ©Verrotec

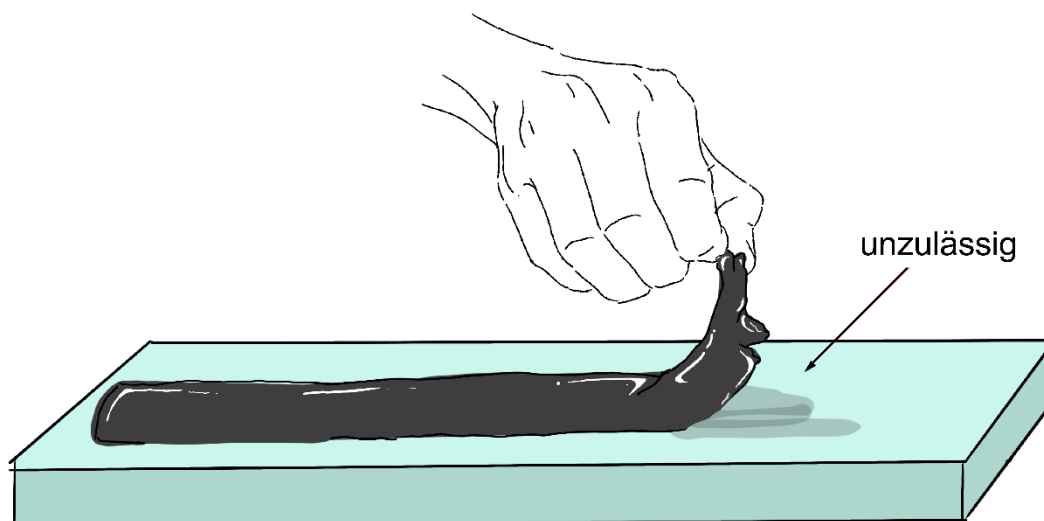


Bild 12 Peel-Test (Typ A), Beispiel Adhäsionsverlust des Klebstoffes vom Substrat (Bewertung negativ) [1], ©Verrotec

Entsprechend den Vereinbarungen mit den Zulassungs- bzw. Genehmigungsinhabern muss (je nach Vertragsgegenstand) die „planende“ oder „klebende Stelle“ beim Metallbauer bei Auftragserteilung Kurzstücke in vorgegebener Länge vom Originalprofil mit der festgelegten Oberflächenbehandlung und in der entsprechenden Stückzahl für die Herstellung der Proben vom Typ A anfordern.

Gleiches gilt für Glas. Wenn es sich zum Beispiel um beschichtetes Glas handelt, das im Bereich der Klebung nicht randentschichtet wird (z. B. Sonnenschutzglas oder emaillebeschichtetes Glas), ist das identische Produkt als Substrat zu verwenden.

Herstellung von Zugproben Typ B in Anlehnung an ETAG 002 (H-Probe)

Die Geometrie des Probekörpers Typ B ist beispielhaft in Bild 13 dargestellt. Die Probekörper sind unter gleichen Bedingungen wie die Fertigung der Originalteile herzustellen. Probekörpergeometrien sind mit der Überwachungsstelle abzustimmen und dürfen sich von den hier dargestellten Probekörpern unterscheiden.

Probekörper-Herstellung:

An jedem Produktionstag werden drei H-Proben hergestellt: bspw. zu Produktionsbeginn, während der Produktion und am Produktionsende. Darüber hinaus sind bei jedem Chargenwechsel und bei längeren Arbeitsunterbrechungen zusätzliche Proben zu erstellen.

Die Qualität der Proben ist maßgeblich entscheidend für das Ergebnis. Daher ist eine geeignete Fügevorrichtung für die Probenherstellung zu verwenden, um eine definierte Klebfläche zu erreichen. Der Klebstoff wird auf die gemäß ETA vorbehandelten Oberflächen appliziert und die Proben werden gefügt. Die Aushärtung muss den für den Klebstoff festgelegten Bedingungen sowie den Prozessbedingungen der Originalteile entsprechen. Die Proben sind nach mind. 1 und max. 3 Tagen vorsichtig aus den Fügevorrichtungen zu entnehmen und bis zur Prüfung entsprechend der o.g. Bedingungen zu lagern. Die Klebstoffhersteller geben hierzu eine umfassende Unterstützung.

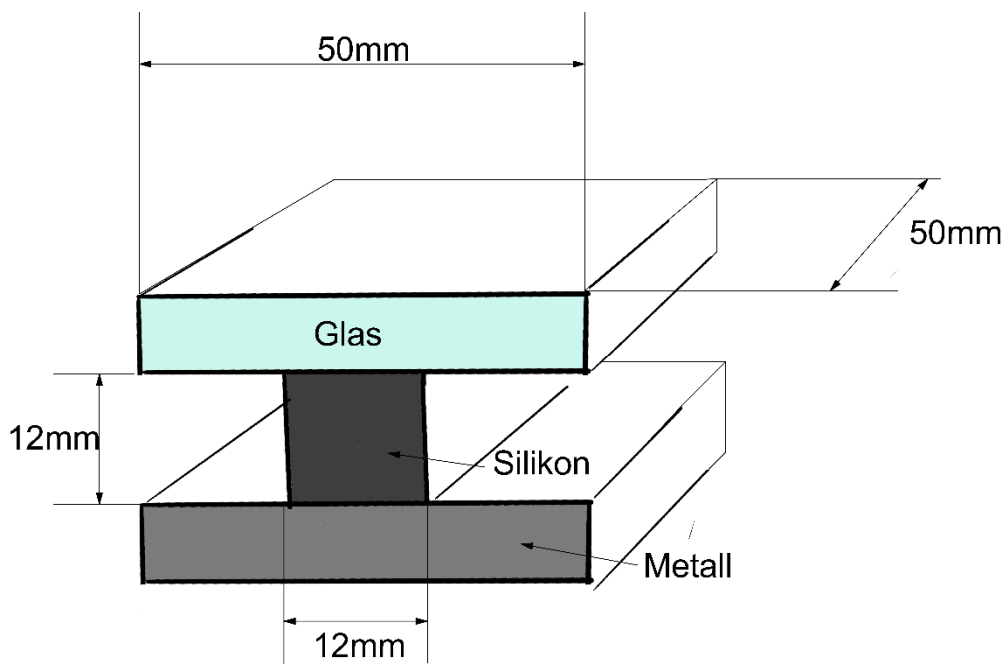


Bild 13 Beispiel für eine Probe Typ B, Klebfugenabmessung $h \times e \times l = 12 \times 12 \times 50$ [mm], ©Verrotec

Die „planende“ oder „klebende Stelle“ (je nach Vertragsgegenstand) kann beim Metallbauer Kurzstücke in vorgegebener Länge aus dem gleichen Material und mit der festgelegten Oberflächenbehandlung wie im Objekt für die Herstellung der Proben Typ B anfordern. Alternativ können die H-Proben mit nicht serienäquivalentem Glas oder Metall gefertigt werden (Begründung: Serienmaterial nicht zwingend erforderlich, da hier Kohäsionsfestigkeit des Klebstoffs geprüft wird, nicht Adhäsionsfestigkeit.).

Zur Prüfung wird die Probe in einer geeigneten Prüfvorrichtung unter Zugbelastung bis zum Versagen geprüft. Die Zugkraft in N ist dabei zu messen und zu dokumentieren. Das Ergebnis muss mindestens einer Mindestzugkraft, die vom Klebstoffhersteller vorgegeben wird, entsprechen. Das Bruchbild muss nach ISO 10365 [18] bewertet werden. Da sich ein Bruch auch in den Beschichtungen oder, bei mehrschichtigem Aufbau des Fügeteils (Anstrichstoff, Primer, usw.), an ihren Grenzflächen ausbreiten kann, muss dies bei der Bewertung unterschieden werden. Die Prüfung ist bestanden, wenn mehr als 90% Kohäsionsbruch (CF)-Anteil

im Klebstoff und weniger als 10% Adhäsionsbruch (AF) in Form des Ablösens des Klebstoffes von der Kontaktfläche erreicht wurde.

Tabelle 2 Übersicht der erforderlichen Proben Typ A und Typ B und ergebnisbezogene Handlungsempfehlung

Probentyp	A	B
Häufigkeit der Probenfertigung abhängig von Zulassungs-/Genehmigungsunterlagen	ein- bis dreimal täglich zu mind. zwei unterschiedlichen Zeitpunkten jeweils 1 Raupe auf Substrat 1 1 Raupe auf Substrat 2 d.h. pro Tag i.d.R. 2 - 6 Probekörper	bevorzugt zu mind. zwei unterschiedlichen Zeitpunkten pro Tag jeweils 3 H-Proben d.h. pro Tag i.d.R. mind. 3 Probekörper
Anfertigung der Proben zu folgenden Zeitpunkten	<ul style="list-style-type: none"> • Schichtanfang/ Produktionsanfang • Schichtende/ Produktionsende • Neue Charge (zwingend) • Längere Produktionsunterbrechung (zwingend) 	
Kriterium zum Bestehen der Prüfung, abweichend zur ETAG002	100% kohäsiv (CF) im Klebstoff	Zugkraft bis zum Bruch > als Mindestkraft nach Vorgabe des Klebstoffherstellers Versagen mind. 90% kohäsiv (CF) im Klebstoff
Vorgehen bei nicht bestandenem Prüfergebnis	Fehlersuche*, Protokollierung und Maßnahmeneinleitung	Fehlersuche*, Protokollierung und Maßnahmeneinleitung
Vorgehen bei unklarem Ergebnis der Fehlersuche oder gefundenem Fehler mit Auswirkung auf die Produktion	<ul style="list-style-type: none"> • Produktionsstopp • Vollständige Überprüfung des Fertigungsprozesses • Deglazing der betroffenen Elemente 	

* Bei der Fehlersuche ist der komplette Klebprozess zu prüfen, z.B. Anlagentechnik, ggf. Mischprozess, Umgebungsbedingungen, Reinigungs- und Vorbehandlungsprozess, Klebstoffapplikation etc.

Mögliche Fehler als Ursache einer nicht bestandenen Prüfung können sein (u.a.):

- für Klebarbeiten ungeeignete Fertigungsräume (Temperatur, Feuchte, etc.)
- Oberflächenverunreinigung durch Fette, Öle, feste Stoffe (Stäube)
- Feuchtigkeitskondensation durch Temperaturunterschiede
- Rückstände von Schutzpapieren bzw. -folien
- inhomogene Klebstoffmischung, falsches Mischungsverhältnis der beiden Komponenten oder falsche Härterkonzentration
- Verwendung von Reaktionsklebstoffen mit überschrittener Topfzeit
- zu spätes Ausschalen der Probekörper

Überprüfung der Lunkefreiheit

Durch Sichtprüfung sind alle herzustellenden SG-Elemente auf Lunke- oder Blasenfreiheit in der Klebfuge zu überprüfen und zu dokumentieren. Diese Überprüfung kann beim Herstellen der Klebstoffuge direkt vorgenommen werden, bei erkannten Fehlstellen ist dann sofort nachzuarbeiten.

Archivierung von Proben der qualitätssichernden Maßnahmen

Es wird empfohlen, die Proben von Typ A und B über die Dauer der Gewährleistung der Fassade bzw. der geklebten Fassadenelemente rückverfolgbar einzulagern. Die Dauer der Archivierung sollte einen Zeitraum von mindestens 5 Jahren umfassen.

3.1.3 Fremdüberwachung

Die technischen Dokumente der relevanten Bauprodukte bzw. Bauarten (z.B. ETA, AbZ, AbG) enthalten Vorgaben zur Durchführung der Eigen- und Fremdüberwachung. Im Folgenden wird eine Auswahl üblicher Anforderungen formuliert. Es wird darauf hingewiesen, dass die Anforderungen der entsprechenden technischen Dokumente der verwendeten Produkte und Bauarten bindend sind und von der folgenden Zusammenfassung abweichen können.

In einer **Erstprüfung** klärt die Überwachungs-/Zertifizierungsstelle, ob die technischen und personellen Voraussetzungen für eine ordnungsgemäße Herstellung von SG-Elementen nach den Vorgaben der Zulassung/Genehmigung/Vorgaben des Klebstoffherstellers gegeben sind und das Produkt die technischen Anforderungen erfüllt.

Die Überprüfung der werkseigenen Produktionskontrolle wird durch eine bauaufsichtlich anerkannte Überwachungsstelle durchgeführt und beinhaltet folgende Prüfungen:

- Überprüfung der Eigenüberwachung (WPK) inkl. Dokumentation
- Überprüfung der Produktionsbedingungen für die Herstellung der Klebefugen
- Überprüfung der Messgeräte
- Überwachung der Ausführung
- Überwachung der Versuchsdurchführung der Proben Typ A (Haftprüfung) und Typ B (Zugprüfung) im Rahmen der WPK
- Probekörperentnahme und Versuchsdurchführung der Proben Typ A (Haftprüfung) und Typ B (Zugprüfung) durch die fremdüberwachende Stelle.

Ergänzend zu den Produktprüfungen im Rahmen der WPK erfolgen Prüfungen von Proben Typ A und Typ B durch die Überwachungsstelle.

Die fremdüberwachende Stelle entnimmt stichprobenartig Proben aus den produktionsbegleitend hergestellten Prüfkörpern aus Tabelle 2. Die Anzahl der Proben für die Fremdüberwachung sind von der zuständigen Überwachungsstelle festzulegen.

Die Kontrolle der Abstellung etwaiger Mängel ist im Einzelfall mit der Überwachungsstelle zu vereinbaren.

3.2 Überwachung der Montage

Im Einzelfall ist die Montage durch eine fremdüberwachende Stelle mit folgenden Zielen zu überwachen:

- Vermeidung von unplanmäßigen Zwängungen
- Einhaltung der konstruktiven Vorgaben

Die zeitliche Abfolge der Durchführung der Überwachungsarbeiten wird durch die fremdüberwachende Stelle objektbezogen festgelegt. Sie hat mindestens zu Beginn der Montagearbeiten zu erfolgen und ist für jedes System umzusetzen.

Die Überwachungsarbeiten sind zu dokumentieren.

4. Monitoring und Wartung

Inspektionen an eingebauten Klebfugen dienen dazu, Veränderungen an der tragenden Verbindung rechtzeitig zu erkennen und geeignete Maßnahmen einzuleiten. Die Klebfugen werden hierzu in Sicherheitsklasse in Anlehnung an DIN 2304-1 [5] eingeteilt.

Tabelle 3 Sicherheitsklassen in Anlehnung an DIN 2304-1 [5]

Schadens- folgeklasse	Sicherheits- anforderung	Beispiele
S1	hoch	<p>Das Versagen der Klebverbindung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ führt mittel- oder unmittelbar zu einer unabwendbaren Gefahr für Leib und Leben ▪ führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen höchstwahrscheinlich zu einer unabwendbaren Gefahr für Leib und Leben führen
S2	mittel	<p>Das Versagen der Klebverbindung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ kann zu einer Gefahr für Leib und Leben führen ▪ führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen wahrscheinlich mit Schäden gegenüber Personen oder großen Umweltschäden verbunden sind ▪ führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen höchstwahrscheinlich mit weitreichenden Vermögensschäden verbunden sind
S3	gering	<p>Das Versagen der Klebverbindung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen wahrscheinlich nicht mit Schäden gegenüber Personen oder großen Schäden an der Umwelt verbunden sind ▪ führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen maximal mit Komfort- oder Leistungseinbußen verbunden sind ▪ führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen wahrscheinlich nicht mit größeren Vermögensschäden verbunden sind
S4	keine	<p>Das Versagen der Klebverbindung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ führt zu einem Ausfall der Funktionalität, bei deren Auswirkungen unter vorhersehbaren Bedingungen nicht mit Schäden gegenüber Personen oder Umwelt verbunden sind ▪ führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen ausschließlich mit Komfort- oder Leistungseinbußen verbunden sind ▪ führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen nicht mit größeren Vermögensschäden verbunden sind

Erfahrungen zeigen, dass sich die Dauerhaftigkeit von Klebfugen in der Regel bereits in den ersten zwei Jahren nach Herstellung prognostizieren lässt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass i.A. fehlende Dauerhaftigkeitseigenschaften auf fehlerhafte Herstellung zurückzuführen sind und dies bei sorgfältiger Überwachungstätigkeit frühzeitig erkennbar ist.

Klebfugen sind in Abhängigkeit von der Sicherheitsklasse über die gesamte Nutzungsdauer und in der in Tabelle 4 angegebenen Frequenz, ggf. durch Hinzuziehen einer externen Überwachungsstelle, zu inspizieren. Aufgrund der Gewährleistung führen einige Hersteller eine eigene Überwachung durch, so dass eine Fremdüberwachung ggf. nur ergänzend (z.B. als Kontrolle oder nach Gewährleistungsfrist) oder eventuell gar nicht notwendig ist.

Tabelle 4 Vorschläge über Fremdüberwachungsfrequenz entsprechend der Sicherheitsklassen

Schadensfolgeklasse	Überwachungsfrequenz	Fremdüberwachung erforderlich?
S1	häufig (zu Beginn einmal im Jahr, danach abstufend)	Ja, in Abstimmung mit Behörde und Überwachungsstelle
S2	regelmäßig (zu Beginn einmal im Jahr, danach abstufend)	Ja, in Abstimmung mit Behörde und Überwachungsstelle
S3 / S4	keine	Nein

Die Verantwortlichkeit über die Durchführung der Überwachungsmaßnahmen ist vertraglich zu regeln (in der Regel Bauherr oder Betreiberfirma). Die ordnungsgemäße Durchführung der Inspektion kann über Wartungsverträge geregelt werden.

Zur Überwachung der Klebfuge können begleitende visuelle Prüfungen oder zerstörungsfreie Prüfverfahren verwendet werden.

Visuelle Prüfung der Klebfugen

- Erkennen von Delaminationen mithilfe von geeigneten Lichtquellen
- optische Kontrolle der Klebfugen und des SZR bei Isolierglasscheiben; Wassereintritt oder Kondenswasser-Bildung können auf Undichtigkeiten und Alterung des Randverbundes oder der Verklebung hinweisen

Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Ermittlung mechanischer Werte

- Einbau von Messfühlern oder Wegaufnehmern an geeigneten Stellen und computergestützte Auslesung, anschließende Auswertung

5. Reinigung

Um Klebfugen nicht durch Reinigungsmaßnahmen zu schaden, sind für alle Bereiche mit angrenzenden SG-Fugen in Abstimmung mit dem Klebstoffhersteller Neutralreiniger oder Reinigungsmittel mit einer Tensidkonzentration von maximal 1-2% zu verwenden. Tenside müssen im Anschluss an die Reinigungsmaßnahmen mit Wasser entfernt werden. Feuchtigkeitsstau ist zu vermeiden.

6. Literatur

- [1] ETAG 002, "Guideline for European Technical Approval for Structural Sealant Glazing Kits," *European Organisation for Technical Approvals*. 2012.
- [2] ETAG 002-2, "Leitlinie für die Europäische Technische Zulassung für geklebte Glaskonstruktionen (SSGS) - Teil 2: Beschichtete Aluminium-Systeme (ETAG 002)," 2002.
- [3] DIN EN 13022, "Glas im Bauwesen – Geklebte Verglasungen, Teil 1 und 2."
- [4] DIN EN 15434, "Glas im Bauwesen – Produktnorm für lastübertragende und/oder UV-beständige Dichtstoffe (für geklebte Verglasungen und/oder Isolierverglasungen mit exponierten Dichtungen)."
- [5] DIN 2304-1, "Klebtechnik - Qualitätsanforderungen an Klebprozesse - Teil 1: Prozesskette Kleben," 2020.
- [6] ETA-01/0005, "Sealant used in structural sealant glazing systems to bond glass onto metal, DC993 and DC895," 2012.
- [7] ETA-03/0038, "Klebstoff zur Verwendung in geklebten Glaskonstruktionen, Sikasil SG500," 2014.
- [8] ETA 08/0286, "Structural sealant for use in structural sealant glazing systems, Ködiglaze S, Kömmerling Chemische Fabrik GmbH," 2013.
- [9] M. Drass, "Constitutive Modelling and Failure Prediction of Silicone Adhesives in Facade Design," Technische Universität Darmstadt, 2019.
- [10] G. Habenicht and T. Kleben–Grundlagen, "Anwendungen, 6., aktualisierte Auflage." Springer-Verlag, Berlin, 2009.
- [11] GKFP e.V, "Technischer Anhang zur RAL-GZ 716: Güte- und Prüfbestimmungen für Komponenten und Verfahren," Bonn, 2020.
- [12] ift Rosenheim, "ift-Richtlinie DI-01/1 – Verwendbarkeit von Dichtstoffen," 2008.
- [13] ift Rosenheim, "ift-Richtlinie DI-02/1 – Verwendbarkeit von Dichtstoffen, Teil 2," 2009.
- [14] DIN EN ISO 527-1, "Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 1: Allgemeine Grundsätze," 2019.
- [15] M. Drass and M. A. Kraus, "Semi-probabilistische Bemessung von Silikon-Kleerverbindungen: Ein Eurocode-konformer Ansatz unter Verwendung der Finiten-Element-Methode," *Bauingenieur*, 2021.
- [16] DIN SPEC 2305-3, "Klebtechnik - Qualitätsanforderungen an Klebprozesse - Teil 3: Anforderungen an das klebtechnische Personal," 2019.
- [17] DIN EN 10204:2005-01, "Metallische Erzeugnisse - Arten von Prüfbescheinigungen," 2005.
- [18] DIN EN ISO 10365, "Klebstoffe - Bezeichnung der wichtigsten Bruchbilder," 1995.

Diese Richtlinie wurde erarbeitet vom Arbeitskreis Kleben des Fachverbands Konstruktiver Glasbau e.V.

Dabei mitgewirkt haben:

The DOW Chemical Company, Edgetech Europe GmbH, Josef Gartner GmbH, HafenCity Universität Hamburg, ILEK Universität Stuttgart, Kömmerling Chemische Fabrik GmbH, Labor für Stahl- und Leichtmetallbau Hochschule München, Institut für Stahlbau RWTH Aachen University, seele GmbH, Sika Services AG, Institut für Füge- und Schweißtechnik Technische Universität Braunschweig, ISMD/MPA-IfW Technische Universität Darmstadt, Verrotec GmbH