

Charakterisierung und Simulation des Verhaltens von Dichtstoffen im Randverbund von Isolierverglasungen

IGF-Vorhaben 18042 N

Der Einsatz von Isolierverglasungen gehört mittlerweile zum unverzichtbaren Bestandteil im modernen Fassadenbau. Dabei wird die Funktionalität solcher Gläser durch technische Neuerungen stetig verbessert. Dies gilt nicht nur für die klassischen Anforderungen an beispielsweise Wärm- und Schallschutz, sondern auch für besondere Eigenschaften wie den Explosionsschutz. Die Möglichkeiten der Kombination von Optik und Funktion durch die Verwendung von Isolierglas machen dieses Produkt für Architekten und Ingenieure reizvoll. Bauherren und Architekten wünschen häufig eine maximierte Transparenz der Fassade, um besondere architektonische Akzente zu setzen. Ein Beleg dafür ist der in den letzten Jahren stetig wachsende Glasanteil im Fassadenbereich.

Die Bundesregierung fordert mit der aktuellen, seit 01. Oktober 2009 gültigen Energieeinsparverordnung EnEV 2009 [EnEV09] von einer modernen Fassade einen Beitrag zur Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung. Gegenüber der EnEV 2007 wurde das Anforderungsniveau um 30% gesteigert. Weitere Steigerungen sind mit der nächsten Novellierung der EnEV zu erwarten.

Mehrscheiben-Isoliergläser (MIG) bestehen aus mindestens zwei Scheiben, einem dazwischen liegenden Abstandhalter, Trocknungsmittel und Dichtungen, die den Scheibenzwischenraum hermetisch abschließen (siehe Abbildung 1). Diese Dichtungen, primäre und sekundäre Dichtstufe, verhindern das Bilden von Kondensat im Zwischenraum. Die Dichtungen stehen unter mechanischen Belastungen und Klimaeinflüssen und sollten eine Lebensdauer von 25 Jahren gewährleisten.

Der Scheibenzwischenraum ist üblicherweise mit Argon gefüllt. Während des Einsatzes entweicht Gas aus dem Scheibenzwischenraum durch die Dichtstoffe. Dieser Prozess überlagert sich mit Feuchteintritt aus der Umgebung. Die eindringende Feuchte wird zuerst vom Trocknungsmittel aufgenommen. Sobald dieses gesättigt ist, bildet sich Kondensat. Beim Auftreten des Kondensates ist die Lebensdauer der Isolierverglasung beendet. Ein MIG wird durch verschiedene Lasten wie Wind, Schnee, Eigengewicht oder Klima beansprucht, sodass neben den Glasscheiben auch der Randverbund Belastungen erfährt. Es wird angenommen, dass eine Verformung des Randverbundes mit einer Erhöhung der Durchlässigkeit einhergeht. Das heißt, dass die Lebensdauer eines MIG früher als gewünscht beendet sein kann.

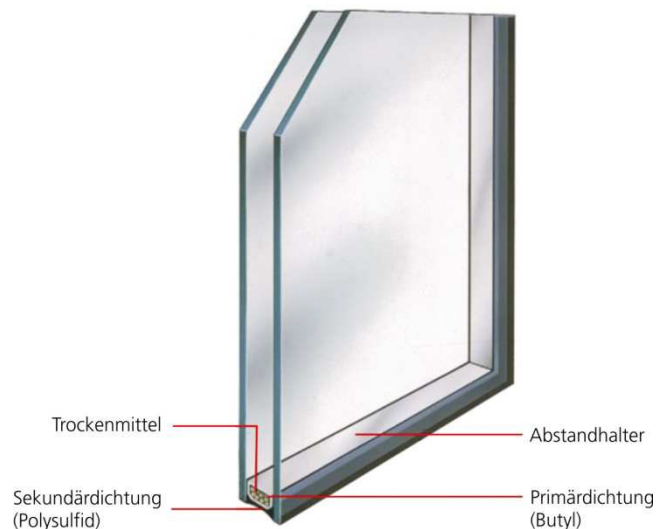


Abbildung 1: Aufbau einer Zweifach-Isolierverglasung, Interpane Glas Industrie AG, Lauenförde, <http://www.interpane.com/>.

Bislang existierten keine ausreichenden Daten über die Mechanik der Dichtstoffe im Randverbund (siehe Abbildung 2), sodass keine Verformungsberechnungen durchgeführt werden konnten. Es sind bislang ebenfalls keine gesicherten Daten über den Zusammenhang zwischen Durchlässigkeit und Verformung des Randverbundes vorhanden.

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, gängige Dichtstoffe von Mehrscheiben-Isoliergläsern mit verhältnismäßig einfachen Materialmodellen abzubilden und damit Verformungen unter Lasten wie Wind, Schnee, Eigengewicht und Klima berechnen zu können. Darüber hinaus sollte der Zusammenhang zwischen Durchlässigkeit und Verformung untersucht werden. Als geeignete Materialmodelle wurden hyperelastische Materialmodelle für die verwendeten elastomeren Dichtstoffe (Sekundärdichtstufe) und ein linear-visko-elastisches Materialmodell für den thermoplastischen Dichtstoff Polyisobutylen (Primärdichtstufe) ausgewählt. Die Dichtstoffe wurden mechanisch charakterisiert und darauf basierend Parameter für in gängigen FE-Programmen implementierte hyperelastische Materialmodelle ermittelt sowie Prony-Parameter für das visko-elastische Modell identifiziert. Es erfolgten außerdem Validierungsrechnungen an belasteten Randverbundproben (Kleinproben) und Mehrscheiben-Isoliergläsern für die hyperelastischen Materialmodelle. Daneben wurden Versuche an MIG durchgeführt, bei welchen die MIG unter Druck gesetzt und der Gasverlust gemessen wurde.

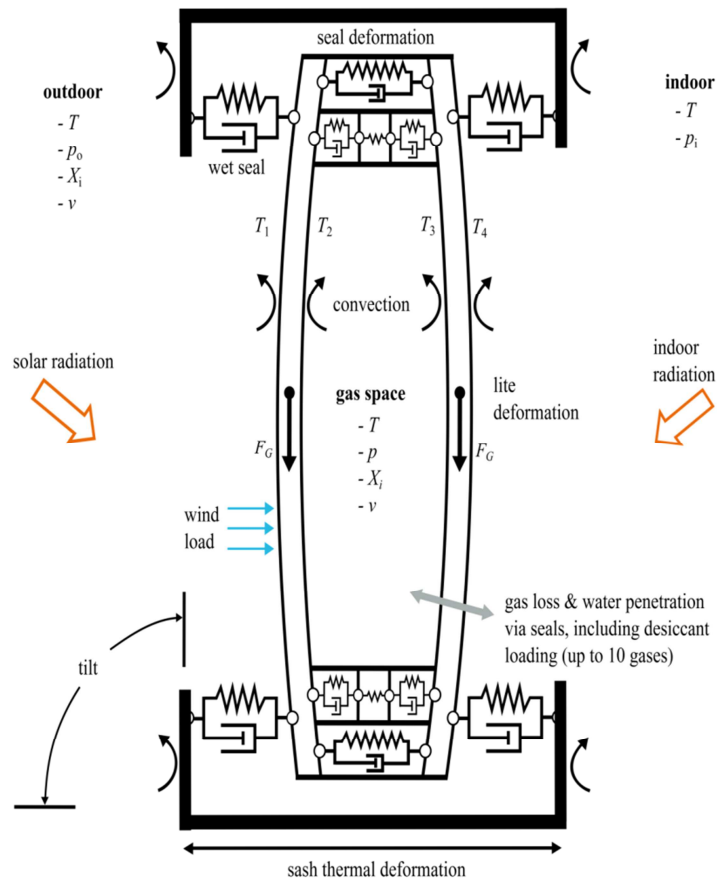


Abbildung 2: Schematische Darstellung der möglichen Verformungen und Beanspruchungen in einem Randverbund [Lic95; Lic05]

Die mechanische Charakterisierung für die hyperelastischen Materialmodelle erfolgte über die Durchführung von uniaxialen Zugversuchen zur Ermittlung der Materialparameter bei 23°C, 50°C, 65°C sowie 80°C. Die Scherversuche wurden auf Grundlage der in den uniaxialen Zugversuchen ermittelten Materialparameter für hyperelastische Materialmodelle im Sinne einer Validierung nachgerechnet, wobei sich eine Überschätzung der Steifigkeit ergab. Die geringste Abweichung zeigt das hyperelastische Materialmodell „Yeoh 3. Ordnung“ [Yeo93]. Beispielhaft sind dazu Ergebnisse in *Abbildung 3* dargestellt.

Für die Materialien Polyurethan, Polysulfid und Silikon wurden die entsprechenden Parameter zur weiteren Verwendung ermittelt. Für das Polyisobutylen wurden zur Identifizierung der Prony-Parameter für das linear visko-elastische Modell ebenfalls Scherversuche durchgeführt. Es zeigt sich, dass die Beanspruchungen im Material innerhalb von ca. 30 s unabhängig vom Dehnungszustand bereits zu 90% relaxieren. Für die betrachteten Belastungsdauern von Wind, Eigengewicht, Schnee und Klimalasten kann die Primärdichtung bei der Berechnung also vernachlässigt werden. Bei der Berechnung von bspw. Windböen kann das linear-visko-elastische Modell für kleine Verformungen angewendet werden.

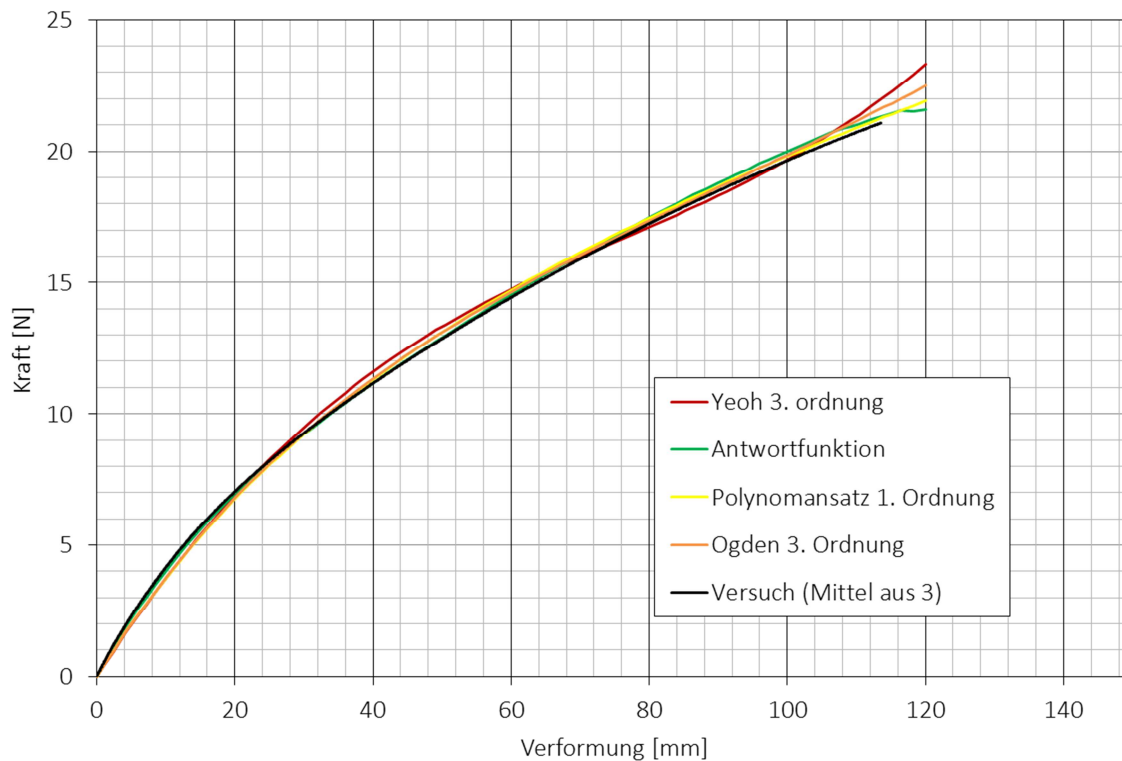


Abbildung 3: Werkstoffmodelle, Simulation der Zugversuche von Polysulfid.
Zugversuch (Fitting ANSYS bei $T = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Des Weiteren wurden Zugversuche an randverbundähnlichen Probekörpern bei einer sehr geringen (Versuchsdauer zwei Stunden) und einer schnelleren Verformungsgeschwindigkeit (Versuchsdauer eine Minute) durchgeführt. Bei den Probekörpern wurde ausschließlich die Sekundärdichtstufe eingebracht und das PIB über später entfernte doppelseitige Klebebänder substituiert. Die Versuchsergebnisse streuten hierbei stark. Die Versuche wurden mit den zuvor ermittelten hyperelastischen Materialmodellen nachgerechnet, wodurch sich auch hier eine Überschätzung der Steifigkeit wie bei den Scherversuchen insbesondere bei größeren Verformungen ergab. Bis zu einem kleinen Verformungsbereich von 0,2 mm bis 0,4 mm ergaben sich jedoch gute Übereinstimmungen. Beim langsamen Zugversuch zeigt sich bereits früh eine stärkere Abweichung zwischen Rechnung und Versuch, was vermutlich auf Krieeffekte zurückzuführen ist. Die Abweichungen bei größeren Verformungen sind vermutlich auf Schädigungen im Dichtstoff zurückzuführen.

Zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Deformation des Randverbundes und seiner Gasdurchlässigkeit wurden mehrere Konzepte zur Nachstellung von Klimalasten in MIG entwickelt, bewertet und in mehreren Versuchsreihen erprobt und weiter optimiert. Als bestgeeignetes Konzept erwies sich dabei eine Lastaufbringung, bei der die MIG unter Innendruck gesetzt werden, sodass sich der Randverbund deformiert. Es zeigte sich allerdings ein enorm hoher Einfluss der Fertigung und Präparation der MIG-Probekörper.

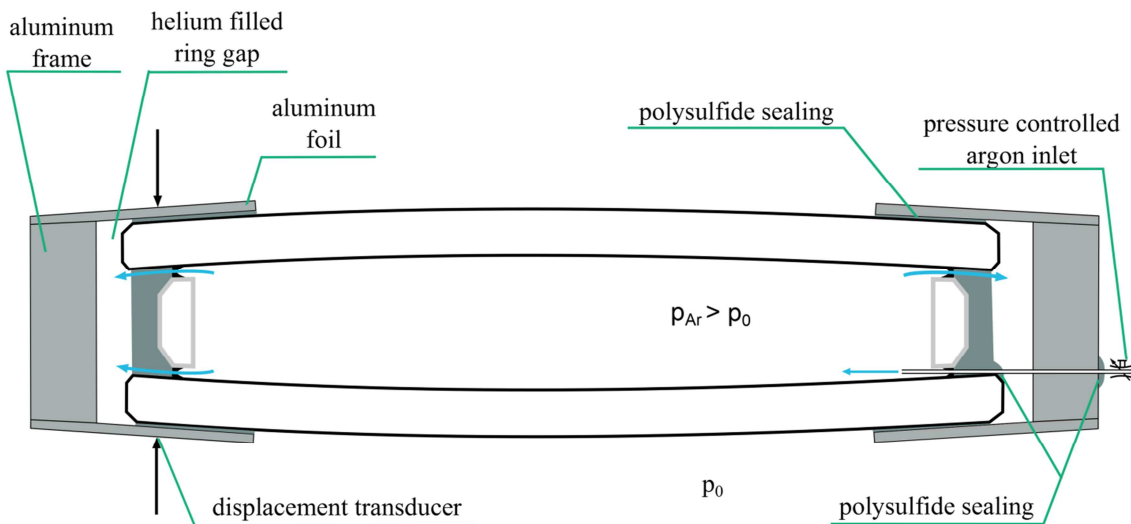


Abbildung 4: Belastung der Randdichtung mittels Injektion von Argon durch die Randdichtung hindurch

Literatur

- [EnEV09] EnEV 2009: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung, 29. April 2009, BGBl, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 23
- [Lic95] Lichtenberger, W..
Field performance of insulating glass.
Proceedings of Window Innovations '95, 1995.
- [Lic05] Lichtenberger, W..
Calculating the theoretical life expectancy of an insulating glass unit.
Glass Processing Days 2005 Report, 2005.
- [Yeo93] Yeoh, O..
Some forms of the strain energy function of rubber.
Rubber Chemistry and Technology, 66 (5), S. 754-771, 1993.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 18042 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Kunststoffe e. V., Schlossgartenstraße 6, 64289 Darmstadt zum Thema:

*„Charakterisierung und Simulation des Verhaltens von Dichtstoffen
im Randverbund von Isolierverglasungen“*

PolySim

wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschafts-forschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Für diese Förderung sei gedankt.

Auch für die Unterstützung der Forschungsgesellschaft Kunststoffe e.V. sei gedankt.

Weiterhin danken wir den im projektbegleitenden Ausschuss vertretenen Unternehmen für ihre fachliche Unterstützung und für die Bereitstellung von Materialien und Prüfmöglichkeiten.